



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 DEL SISTEMA DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES PARA EL SITIO ARQUEOLÓGICO - TURÍSTICO DE CARAL

Tesis para optar el título de **INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES**,  
que presenta el bachiller:

**Héctor Julio César Neyra Arbildo**

ASESOR: **David Chávez Muñoz**

Lima, febrero del 2010

## Resumen

El desarrollo de las telecomunicaciones en los últimos años se viene orientando a la aplicación de nuevas tecnologías de alta capacidad de transmisión, dirigidas a mejorar la calidad y a aumentar la cantidad de servicios brindados tales como telefonía, multimedia, videoconferencia, Internet, entre otros. Las cuales destacan las inalámbricas como Wi-Fi y WiMAX por su fácil instalación y bajo costo.

Surge así, la posibilidad de aplicar dichas tecnologías a la demanda de comunicaciones que requieren los habitantes de un lugar ausente de ellas. Por ello, el presente proyecto de tesis consiste en proponer el diseño de una plataforma de servicios de telecomunicaciones: telefonía fija, telefonía pública e Internet al sitio arqueológico y turístico de Caral, el cual no cuenta con tales servicios y los demanda cada día más debido al creciente número de turistas que atrae, trayendo como consecuencia brindarles las facilidades de comunicación en todo momento, y así activar económicamente a su población, a los establecimientos turísticos y a las actividades comerciales de la zona. De esta manera, se propone la tecnología de telecomunicaciones más adecuada para cubrir esta demanda y lograr su conectividad a todo el mundo.

Este trabajo de tesis se divide en 4 capítulos: el primer capítulo consiste en el estudio de la demanda demográfica de turistas y del tráfico que requerirán los servicios de telecomunicaciones en el centro turístico de Caral. En el segundo capítulo, se analizan las mejores alternativas tecnológicas inalámbricas para la plataforma de acceso a red de Caral, haciendo un estudio del estándar WiMAX y una comparación con el estándar Wi-Fi. En el tercer capítulo, se desarrolla la ingeniería del proyecto, es decir, el diseño de la red total a implementar en el centro arqueológico de Caral, eligiendo la tecnología a usar, la marca y los equipos de telecomunicaciones más adecuados a la misma. Por último, el cuarto capítulo, consiste en un análisis de los costos de inversión, operación y mantenimiento de la red puesta ya en marcha, brindando los servicios de telecomunicaciones y revisando a la vez la factibilidad y tiempo de recuperación de la inversión que implicó hacer este proyecto completo. Finalmente, se presentan las conclusiones de este proyecto, producto del desarrollo de la presente tesis.

# Índice

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Resumen</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>Lista de figuras</b> .....   | <b>4</b>  |
| <b>Lista de cuadros</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>Introducción</b> .....   | <b>8</b>  |
| <b>Capítulo 1: Estudio de la demanda de servicios de telecomunicación en el sitio arqueológico de Caral</b> .....       | <b>9</b>  |
| 1.1 Relevancia cultural y económica del sitio arqueológico de Caral .....   | 9         |
| 1.1.1 Ubicación .....   | 9         |
| 1.1.2 Acceso .....  | 9         |
| 1.1.3 Reseña histórica .....  | 10        |
| 1.1.4 Clima .....   | 11        |
| 1.1.5 Economía.....   | 11        |
| 1.2 Análisis de la demanda potencial a Caral .....  | 11        |
| 1.2.1 Generalidades.....  | 11        |
| 1.2.2 Demanda .....   | 12        |
| 1.2.3 Oferta.....   | 12        |
| 1.2.4 Debilidades y riesgos .....   | 13        |
| 1.2.5 Oportunidades y posibilidades .....   | 13        |
| 1.3 Cálculo de la demanda de turistas al sitio arqueológico de Caral.....   | 14        |
| 1.4 Cálculo de tráfico de los servicios de telecomunicaciones para Caral.....   | 18        |
| 1.4.1 Tráfico en telefonía fija.....  | 18        |
| 1.4.2 Tráfico en telefonía pública .....  | 29        |
| 1.4.3 Tráfico de datos e Internet .....   | 34        |
| <b>Capítulo 2: Estudio de las mejores alternativas tecnológicas para la plataforma de acceso a red para Caral</b> ..... | <b>38</b> |
| 2.1 Justificación .....   | 38        |
| 2.2 Definición WiMAX .....  | 39        |
| 2.3 Tecnología WiMAX .....  | 43        |
| 2.4 Aplicaciones WiMAX.....   | 46        |
| 2.5 Utilización del espectro radioeléctrico .....   | 48        |
| 2.6 WiMAX versus Wi-Fi.....   | 50        |
| <b>Capítulo 3: Diseño y equipamiento de la plataforma</b> .....   | <b>55</b> |

|   |            |
|---|------------|
| 3.1 Ubicación del centro de operaciones de red hacia el centro arqueológico de Caral..... | 55         |
| 3.2 Ancho de banda total del servicio a brindar .....                                     | 58         |
| 3.3 Diseño de la red.....   | 63         |
| 3.3.1 Frecuencias utilizadas en el proyecto .....   | 64         |
| 3.3.2 Determinación del equipamiento a emplear .....                                      | 64         |
| 3.3.3 Diseño de las estaciones base.....  | 66         |
| 3.3.4 Estructura general de la red.....   | 70         |
| 3.3.5 Cálculo de radio propagación.....   | 73         |
| 3.3.6 Especificaciones técnicas de los equipos.....                                       | 82         |
| 3.3.7 Sistema eléctrico y sistema de protección.....                                      | 84         |
| <b>Capítulo 4: Análisis de Costos .....</b>   | <b>87</b>  |
| 4.1 Costos de inversión .....   | 87         |
| 4.1.1 Red de acceso .....   | 87         |
| 4.1.2 Red de transporte .....   | 89         |
| 4.1.3 Centro de Operaciones de Red (NOC).....   | 90         |
| 4.2 Costos de operación.....  | 90         |
| 4.3 Ingresos.....   | 92         |
| 4.4 Flujo de Caja.....  | 94         |
| <b>Conclusiones.....</b>  | <b>96</b>  |
| <b>Bibliografía .....</b>   | <b>97</b>  |
| <b>Anexos .....</b>   | <b>100</b> |

## Lista de Figuras

| Número |   | Página |
|--------|---|--------|
| 01     | Plano de localización del sitio arqueológico de Caral .....   | 10     |
| 02     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Hotel de 5 Estrellas .....      | 20     |
| 03     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Hostal de 2 Estrellas .....     | 21     |
| 04     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Albergue.....                   | 22     |
| 05     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Restaurante.....                | 23     |
| 06     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Museo de Interpretación.....    | 24     |
| 07     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Puesto Policial.....            | 25     |
| 08     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en la Posta Médica .....              | 26     |
| 09     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en la Cabina de Internet.....         | 27     |
| 10     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en la Casa del Arqueólogo.....        | 28     |
| 11     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía pública en el Hotel de 5 Estrellas .....   | 30     |
| 12     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía pública en el Hostal de 2 Estrellas .....  | 31     |
| 13     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía pública en el Albergue.....                | 32     |
| 14     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía pública en el Museo de Interpretación..... | 33     |
| 15     | Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía pública en la Posta Médica .....           | 34     |
| 16     | Servicios de telecomunicaciones basados en IP .....   | 35     |
| 17     | Propagación LOS y NLOS en WiMAX.....  | 41     |
| 18     | Tipo de modulación en términos de alejamiento del BS .....  | 46     |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 19 | Conectividad rural usando la tecnología WiMAX .....                       | 48 |
| 20 | Bandas utilizadas para WiMAX .....  | 50 |
| 21 | Análisis del contexto provincial del distrito de Barranca.....            | 57 |
| 22 | Características del Códec de voz G.729 .....                              | 59 |
| 23 | División de la banda de frecuencias de 3400 MHz a 3600 MHz .....          | 64 |
| 24 | Sensibilidad de los equipos BreezeMAX del fabricante Alvarion .....       | 65 |
| 25 | Establecimientos a la entrada del Centro Arqueológico de Caral .....      | 66 |
| 26 | Establecimientos dentro del Centro Arqueológico de Caral .....            | 67 |
| 27 | Red desplegada para el Centro Arqueológico de Caral .....                 | 67 |
| 28 | Sectorización de la estación base WiMAX.....                              | 68 |
| 29 | Sectorización y distribución de frecuencias .....                         | 70 |
| 30 | Estructura completa de la red WiMAX para Caral.....                       | 71 |
| 31 | Zonas de Fresnel .....  | 74 |
| 32 | Inserción de unidades y coordenadas para ubicación en mapa geográfico ..  | 75 |
| 33 | Creación de Red de Enlace Microondas e Inserción Frecuencia de Trabajo    | 76 |
| 34 | Creación de equipos RF con sus respectivas características de radio ..... | 76 |
| 35 | Enlace de microondas satisfactorio entre el NOC y estación base WiMAX ..  | 77 |
| 36 | Creación de red de acceso WiMAX e inserción de frecuencia Downlink .....  | 78 |
| 37 | Miembros que componen la red de acceso WiMAX .....                        | 79 |
| 38 | Enlace Punto a Multipunto entre estación base WiMAX y CPE's.....          | 79 |
| 39 | Cobertura de la estación base WiMAX .....                                 | 80 |
| 40 | Enlace satisfactorio Uplink entre CPE más lejano y estación base WiMAX .. | 81 |



## Lista de Cuadros

| Número | Página  |
|--------|---|
| 01     | Flujo de turistas al Perú..... 15   |
| 02     | Flujo de turistas a Machupicchu ..... 15  |
| 03     | Flujo de turistas a Caral..... 16   |
| 04     | Proyección dinámica del flujo de turistas a Caral..... 16                         |
| 05     | Establecimientos públicos construidos al 2011 en Caral ..... 17                   |
| 06     | Demanda potencial de turistas diarios..... 18                                     |
| 07     | Intensidad de tráfico de telefonía fija en el Hotel de 5 Estrellas ..... 19       |
| 08     | Intensidad de tráfico de telefonía fija en el Hostal de 2 Estrellas ..... 20      |
| 09     | Intensidad de tráfico de telefonía fija en el Albergue ..... 21                   |
| 10     | Intensidad de tráfico de telefonía fija en el Restaurante ..... 22                |
| 11     | Intensidad de tráfico de telefonía fija en el Museo de Interpretación..... 23     |
| 12     | Intensidad de tráfico de telefonía fija en el Puesto Policial ..... 24            |
| 13     | Intensidad de tráfico de telefonía fija en la Posta Médica ..... 25               |
| 14     | Intensidad de tráfico de telefonía fija en la Cabina de Internet..... 26          |
| 15     | Intensidad de tráfico de telefonía fija en la Casa del Arqueólogo..... 27         |
| 16     | Demanda de tráfico total y líneas de telefonía fija ..... 28                      |
| 17     | Intensidad de tráfico de telefonía pública en el Hotel de 5 Estrellas ..... 29    |
| 18     | Intensidad de tráfico de telefonía pública en el Hostal de 2 Estrellas..... 30    |
| 19     | Intensidad de tráfico de telefonía pública en el Albergue..... 31                 |
| 20     | Intensidad de tráfico de telefonía pública en el Museo de Interpretación ..... 32 |
| 21     | Intensidad de tráfico de telefonía pública en la Posta Médica..... 33             |
| 22     | Demanda de líneas y tráfico total de telefonía pública..... 34                    |
| 23     | Paquetes de contrato para Internet ..... 36                                       |
| 24     | Demanda de accesos y tráfico de datos e Internet ..... 36                         |
| 25     | Tipos de acceso a una red WiMAX..... 41   |
| 26     | Multiplexación WiMAX..... 42  |
| 27     | Tipos de servicios WiMAX ..... 44   |
| 28     | Tipos de aplicaciones WiMAX ..... 47  |
| 29     | Escenarios de uso de WiMAX ..... 47   |
| 30     | Espectro radioeléctrico para WiMAX ..... 50                                       |
| 31     | Interfaces de radio WLAN IEEE 802.11 ..... 51                                     |
| 32     | Modulaciones empleadas en WiMAX ..... 52  |



|    |   |    |
|----|---|----|
| 33 | Comparación de las tecnologías WiMAX y Wi-Fi.....                                     | 53 |
| 34 | Ventajas y desventajas de aplicar WiMAX y Wi-Fi en el Centro Turístico de Caral ..... | 53 |
| 35 | Número establecimientos distrito de Barranca según actividad económica ..             | 57 |
| 36 | Tarifas de telefonía fija por minuto.....   | 60 |
| 37 | Minutos mensuales y tarifa a pagar por telefonía fija .....                           | 61 |
| 38 | Tarifa mensual total a pagar por establecimiento .....                                | 62 |
| 39 | Tarifas de telefonía pública por minuto .....   | 62 |
| 40 | Minutos mensuales y tarifa a pagar por telefonía pública .....                        | 63 |
| 41 | Asignación de frecuencias entre los operadores .....                                  | 64 |
| 42 | Comparación entre fabricantes de equipos WiMAX.....                                   | 65 |
| 43 | Canalización de frecuencias.....  | 68 |
| 44 | Costo de inversión por estación base.....   | 88 |
| 45 | Costos adicionales .....  | 88 |
| 46 | Costos del enlace microondas Punto a Punto .....                                      | 89 |
| 47 | Costos de operación y mantenimiento de la red.....                                    | 91 |
| 48 | Demanda potencial de turistas diarios por años .....                                  | 92 |
| 49 | Demanda futura de establecimientos para Caral hasta el 2020.....                      | 93 |
| 50 | Demanda futura de equipos terminales (CPE) para Caral hasta el 2020.....              | 94 |
| 51 | Flujo de caja del proyecto.....   | 95 |

## Introducción

La globalización de las comunicaciones y la información a través de los medios de telecomunicaciones, ha hecho que más personas estén cada día en mayor contacto y en la posibilidad de establecer relaciones comerciales, culturales, tecnológicas y científicas, entre ellos y entre pueblos lejanos.

Sin embargo, el acceso a dichos medios está limitado, casi siempre, por la pobre economía que presentan los pueblos que los necesitan, así como por el alto costo de las tecnologías disponibles para su implementación.

En el Perú, muchos de sus pueblos y lugares turísticos carecen de un sistema adecuado de telecomunicaciones que satisfaga la demanda de servicios que se requiere en ellos, y otros presentan la ausencia total de los principales servicios de telecomunicaciones aún no desarrollado por los proveedores de telecomunicaciones privados, como es el caso del centro arqueológico de Caral, debido al poco tiempo transcurrido desde que fue descubierta y por la falta de establecimientos existentes en sus alrededores para acoger al creciente número de turistas tanto nacionales como extranjeros. En este escenario, la presente tesis se enfoca en las características técnicas y económicas de la infraestructura de servicios de telecomunicaciones requerida para el sitio arqueológico de Caral, merced al importante potencial turístico que representa, en el marco de las acciones de posicionamiento y puesta en valor de sus activos, que tanto el Gobierno Central como Regional vienen desarrollando.

Por ello, el objetivo del presente proyecto de tesis consiste en proponer el diseño de una plataforma de servicios de telecomunicaciones: telefonía fija, telefonía pública e Internet al sitio arqueológico y turístico de Caral, trayendo como consecuencia atraer más turistas brindándoles las facilidades de comunicación en todo momento, y así activar económicamente a su población, a los establecimientos turísticos y a las actividades comerciales de la zona.

## Capítulo 1:

### Estudio de la demanda de servicios de telecomunicaciones en el sitio arqueológico de Caral

#### 1.1 Relevancia Cultural y Económica del Sitio Arqueológico de Caral

**1.1.1 Ubicación.** La Ciudad Sagrada de Caral (350 msnm) está ubicada en la margen izquierda del valle medio de Supe (45 msnm), provincia de Barranca, distrito de Supe (región Lima); a 206 km al norte de Lima (4 horas aprox.). Se sitúa en un medio desértico sobre una terraza aluviónica atravesada por estribaciones andinas y algunas dunas errantes. Su centro urbano ocupa aproximadamente 66 hectáreas, y las poblaciones cercanas presentan un mínimo número de habitantes. La separan alrededor de 150 Km de la ciudad de Lima y aproximadamente 23 kilómetros de la costa, donde se encuentran los principales núcleos urbanos como Supe Pueblo, Supe Puerto, Barranca o Huacho [2].

**1.1.2 Acceso.** Existen 2 vías de acceso, la primera de las cuales se inicia en el km 159 de la Carretera Panamericana Norte (altura del Centro Poblado de Mazo, distrito de Vegueta) tomando un desvío que conduce a la zona arqueológica por camino afirmado de 28 km; que, pese a no encontrarse señalizado, es transitable durante todo el año. La segunda vía recorre la Carretera Panamericana Norte

hasta el km 184 (3 horas), siguiendo la señal de ingreso por el lado Este (valle Supe) y 23 km de camino de tierra (1 hora aprox.). Entre los kilómetros 54 y 183 se han instalado teléfonos para emergencias [2].

Figura 1. Plano de localización del Sitio Arqueológico de Caral. [3]



**1.1.3 Reseña Histórica.** En Caral se desarrolló la civilización más antigua del Perú y de América. El lugar, descubierto hace pocos años, corresponde a uno de los 18 asentamientos urbanos pre-incas que conformaron el núcleo del Estado Supe, en estudio por la arqueóloga Ruth Shady. Por su extensión (66 hectáreas) y complejidad, la Ciudad Sagrada de Caral se considera una joya arqueológica. Su antigüedad (3000 - 2000 a.C.), la hace contemporánea a Mesopotamia y las antiguas culturas de Egipto, India y China. Las edificaciones, construidas y remodeladas en sucesivas etapas del período Arcaico Tardío, comprenden una zona nuclear con estructuras monumentales, dos plazas circulares hundidas, residencias de la élite, de los funcionarios y servidores en varios pisos o niveles.

Se pueden observar restos de talleres, espacios de congregación pública masiva y una zona periférica con viviendas. Existen además 37 cornetas hechas con huesos de camélidos y venados, y 32 flautas elaboradas con huesos de pelícanos y cóndores que evidencian la vinculación de la música con las actividades públicas de la sociedad de Supe [4].

**1.1.4 Clima.** Por encontrarse cerca del mar, Barranca y Supe tienen dos estaciones muy definidas durante el año. De abril a diciembre el cielo está cubierto y se pueden producir tenues lloviznas (garúas), pero el frío no es extremo. En cambio, desde mediados de diciembre hasta mediados de abril los días son despejados y la temperatura puede bordear los 30° C. Durante todo el año hay humedad constante en el ambiente [4].

**1.1.5 Economía.** El Distrito de Supe cuenta con alrededor de 18,596 habitantes concentrados en su mayoría en las poblaciones y núcleos costeros en torno a la Panamericana Norte. Su nivel socioeconómico presenta cierto grado de desarrollo por el hecho de situarse sobre la principal vía de comunicación del país, disponer de recursos marinos y contar con una agricultura extensiva en las zonas cercanas a la costa. La zona tiene como principal motor de desarrollo a la industria de transformación de harina de pescado, lo que ha permitido una mejora de la renta per cápita de sus habitantes. Otras actividades productivas de valor para el desarrollo socioeconómico del lugar están dadas por la avicultura y la agricultura; así como también el sector servicios [2].

## 1.2 Análisis de la Demanda a Caral

**1.2.1 Generalidades.** De acuerdo a lo propuesto por DIT Internacional (Desarrollo e Investigaciones Turísticas) [2], en el planeamiento del desarrollo turístico de nuevos espacios, es recomendable evitar la confusión entre recursos potenciales y recursos turísticos. Las potencialidades tienen que ver con los atractivos: paisajes, playas, conjuntos históricos o zonas arqueológicas que sólo se convierten en recursos turísticos cuando llevan asociados los servicios que permiten su puesta en mercado. La promoción de destinos sin existir los servicios turísticos necesarios produce decepción en la demanda, que no encuentra en el destino promocionado aquello que espera, y compromete su sostenibilidad a mediano y largo plazo.



El desarrollo de los destinos turísticos (apoyado en recursos potenciales o artificiales) requiere de la planificación y organización previa de un sistema turístico que permita, mediante la comercialización de determinados servicios, la puesta en valor del recurso y la obtención de beneficios para las empresas implicadas, las poblaciones locales y la preservación de los recursos. Esta puesta en valor ha de ser cuidadosa y técnicamente fundamentada, al actuar sobre recursos de elevado valor cultural y fragilidad considerable. Por ello es necesario que las acciones no se limiten a un aspecto o servicio sino a la totalidad y de manera conjunta de los componentes del sistema, como: *servicios turísticos*: trasportes, restaurantes, agencias receptoras y alojamientos; *servicios públicos* que usa tanto el turista como la población residente, tales como agua y alcantarillado, electricidad, servicios sanitarios, seguridad pública, comunicaciones, etc.; y, *la población residente*: presente en el espacio turístico y que interactúa con el visitante personalmente o a través de sus representantes y administraciones públicas.

**1.2.2 Demanda.** Como se refleja en el estudio de DIT antes mencionado [2]; hablar de demanda en el caso de Caral es complicado, ya que por ahora no constituye un recurso turístico puesto en valor. Los visitantes están más atraídos por una motivación científica que puramente turística. Ni siquiera la zona de influencia de Caral presenta actualmente un flujo turístico relevante; si bien existe cierto flujo de visitantes nacionales, éste no puede considerarse como significativo por su reducido número.

**1.2.3 Oferta.** Se puede afirmar que la zona de influencia de Caral no dispone de oferta turística propiamente dicha. El alojamiento y restaurantes existentes en las poblaciones cercanas tienen como público objetivo a clientes de paso y familiares que no llegan con interés turístico; lo que condiciona tanto el tipo de establecimientos como su nivel. Dicha situación se explica en el escaso tiempo que tiene la excavación de la ciudadela de Caral, la falta de conocimiento sobre ella; y su cercanía a Lima, donde el visitante puede encontrar los servicios y oferta que necesita. Sin embargo, mientras que para otras zonas de turismo potencial, la distancia constituye un elemento limitante para su puesta en valor; en el caso de Caral, su proximidad a Lima constituye una fortaleza en su etapa de afianzamiento. En Barranca, sin embargo, existen bancos con cajeros automáticos, farmacias, cabinas de internet, telefonía pública, revelado de fotos, mercado de abastos,



panaderías, discotecas y pubs. En Supe (24 km de Caral), existen locales de expendio de bebidas y víveres; talleres de mecánica, vulcanizadoras y estaciones de servicio de combustible y lubricantes [2].

**1.2.4 Debilidades y riesgos.** A partir del análisis de la situación actual, el estudio de DIT Internacional [2] ha identificado las siguientes debilidades y riesgos del recurso en particular y de su zona de influencia en general:

- El recurso arqueológico no se encuentra actualmente preparado para recibir turistas, no hay plan de manejo y de gestión turística.
- Los accesos son especialmente complicados y hay una carencia de señalización.
- Actualmente no hay una población cercana con capacidad de poner en marcha una oferta turística que facilite servicios y se beneficie del recurso arqueológico.
- La oferta de alojamiento y restaurantes de la zona carece de vocación turística y de capacitación en esta materia.
- Existe incompatibilidad del turismo con otras actividades, principalmente con la industria de harina de pescado, por la generación de olores y residuos en el mar.
- No hay una clara cohesión entre instituciones públicas de la zona, el estado y sector privado, que permita asegurar la puesta en marcha de iniciativas en materia turística.
- Es necesaria una importante inversión de dinero y de tiempo para poner el recurso en disposición de generar atracción turística.

**1.2.5 Oportunidades y potencialidades.** Se considera que las principales oportunidades y potencialidades del recurso en particular y de su zona de influencia en general son [2]:

- La singularidad histórica del recurso puede, con una correcta puesta en valor, consolidarlo como un recurso relevante.
- El acceso hasta Supe es especialmente bueno desde Lima.
- El recurso está muy cerca en tiempo de un importante mercado potencial como Lima.

- Existe en su entorno un considerable número de atractivos naturales con los que unir un programa de visita.
- Existe un aparente interés por la puesta en valor del sitio arqueológico de Caral por parte del Estado y empresas privadas, reflejado especialmente en la mayor dotación de recursos económicos para el Proyecto Especial Arqueológico Caral – Supe (PEACS) [3].

### 1.3 Cálculo de la Demanda de Turistas al Sitio Arqueológico de Caral

Nuestra metodología de cálculo para la proyección de la demanda de turistas a Caral, establece una primera fase (2007-2011) de crecimiento restringido; caracterizada por un visitante especializado, con conocimientos arqueológicos, de historia o interesado en este tipo de recursos; intercambio internacional de científicos, trabajo de campo de estudiantes nacionales e internacionales, etc.; acompañada de un crecimiento moderado del turismo nacional estimulado por el mejoramiento de las vías de acceso a la ciudadela que viene siendo ejecutado por el Gobierno Regional de Lima<sup>1</sup> en el presente año. Le sigue una segunda fase (2012-2020) de crecimiento sostenido de turistas extranjeros (no especializados) sustentado en la maduración de los programas de promoción, inversión en infraestructura y servicios en desarrollo<sup>2</sup>. Se asume además que, con la consolidación de políticas de promoción similares a las utilizadas en la promoción mundial de grandes atractivos turísticos como el santuario de Machu Picchu; se operarán cambios en la composición de origen del turismo receptivo en Caral, llevando a un 60% el porcentaje de participación (Machu Picchu es 70%) de visitantes extranjeros respecto de los nacionales, a partir del año 2014.

<sup>1</sup> El proyecto de inversión pública “Mejoramiento de las Vías de Acceso al Centro Arqueológico de Caral-Supe”, elaborado por el Gobierno Regional de Lima con fecha 25.07.2005; cuenta con código SNIP 21330 declarado viable, a un costo de S/. 3'248,426.00 y consiste en la rehabilitación y mejoramiento en dos tramos de la carretera San Nicolás-Caral, pasando por San Antonio de Llamahuaca.

<sup>2</sup> Comprende los proyectos a) “El Patrimonio Arqueológico de Caral-Supe como eje para un Desarrollo Integral Sustentable”, elaborado por el INC-Proyecto Especial Arqueológico Caral-Supe con fecha 25.04.2003, declarado viable con código SNIP 5141 a un costo de S/. 24'047,500.00 destinado a la formulación del Plan Maestro y puesta en valor del patrimonio arqueológico de Caral; el manejo medioambiental, el desarrollo turístico, infraestructura vial, promoción, integración y participación social; b) “Construcción de Módulos Multiusos en Caral”, elaborado por el Gobierno Regional de Lima con fecha 25.09.2003 y declarado viable con código SNIP 6944 a un costo de S/. 45,600.00 para la construcción de 10 módulos multiusos con materiales de la zona (adobe, piedra y madera); c) “Construcción de Infraestructura de Servicios Turísticos en la Ciudadela Sagrada de Caral”, elaborado por el Gobierno Regional de Lima el 24.11.2003, declarado viable con código SNIP 7475 a un costo de S/. 250,000.00 comprendiendo la construcción de sala de exposiciones, cafetería, módulos de venta, SSHH y áreas exteriores utilizando materiales de la zona.

El cuadro N° 1 muestra el flujo histórico de ingreso de turistas al Perú, con un nivel relativamente bajo de crecimiento, como respuesta a la deficiente política de promoción y desarrollo turístico actual, el cual debería estar sustentado en estándares internacionales.

**CUADRO N° 1**  
**FLUJO DE TURISTAS AL PERU. [1]**  
(En miles)

| AÑO   | EXTRANJEROS | NACIONALES* | TOTAL |
|-------|-------------|-------------|-------|
| 2003  | 1,070       | 459         | 1,529 |
| 2004  | 1,277       | 547         | 1,824 |
| 2005  | 1,486       | 637         | 2,123 |
| 2006  | 1,635       | 701         | 2,336 |
| TOTAL | 5,468       | 2,344       | 7,812 |

(\*) Flujo corregido respecto a movimiento de pasajeros nacionales en fin de semana largo.

El cuadro N° 2 presenta el flujo de visitantes al santuario de Machu Picchu, representando un 31.8 % del total nacional. Como puede observarse, la estructura y composición de los flujos, tanto de extranjeros como de nacionales; sigue el mismo patrón respecto del presentado a nivel país.

**CUADRO N° 2**  
**FLUJO DE TURISTAS A MACHU PICCHU. [1]**  
(En miles)

| AÑO   | EXTRANJEROS | NACIONALES | TOTAL |
|-------|-------------|------------|-------|
| 2003  | 334         | 190        | 524   |
| 2004  | 403         | 184        | 587   |
| 2005  | 475         | 205        | 680   |
| 2006  | 481         | 211        | 692   |
| TOTAL | 1,693       | 790        | 2,483 |

A diferencia de las estadísticas de Machu Picchu, las correspondientes al sitio arqueológico de Caral en el cuadro N° 3, no reflejan un flujo turístico propiamente dicho por tratarse de un recurso aún no puesto en valor. Estas corresponden casi exclusivamente al ingreso de arqueólogos y científicos interesados en el estudio del centro arqueológico; lo cual no permite establecer una base histórica de cálculo para la proyección. Por tal razón, el sitio arqueológico de Caral, considerado como destino turístico incipiente; toma como

referente el recurso Cusco-Machu Picchu, por constituir el principal destino turístico del país y sus evidentes coincidencias en valores y recursos.

**CUADRO N° 3**  
**FLUJO DE TURISTAS A CARAL. [1]**  
(En miles)

| AÑO   | EXTRANJEROS | NACIONALES | TOTAL |
|-------|-------------|------------|-------|
| 2003  | 1           | 7          | 8     |
| 2004  | 1           | 14         | 15    |
| 2005  | 2           | 20         | 22    |
| 2006  | 4           | 26         | 30    |
| TOTAL | 8           | 67         | 75    |

A partir de las premisas para el cálculo de la demanda antes presentada, se han proyectado valores para el periodo 2007-2020 del cuadro N° 4. Dichos parámetros además, se sitúan en el marco de un plan integral de desarrollo de atractivos integrados en circuitos turísticos como las dunas costeras, la reserva natural Albufera de Nuevo Mundo, Lomas de Lachay, la Isla del Faraón y casa Bancharo Rossi en Supe Puerto; las playas de Atarraya, La Bandurria, El Colorado y la escultura lítica del Cristo Redentor en Barranca; el Museo Bolivariano en Pativilca; el templo chimú Fortaleza de Paramonga (1100 - 1400 d.C.); etc.

**CUADRO N° 4**  
**PROYECCIÓN DINÁMICA DEL FLUJO DE TURISTAS A**  
**CARAL. [24]**  
(En miles)

| AÑO   | EXTRANJEROS | NACIONALES | TOTAL |
|-------|-------------|------------|-------|
| 2007  | 4           | 33         | 37    |
| 2008  | 5           | 58         | 63    |
| 2009  | 6           | 68         | 74    |
| 2010  | 7           | 77         | 84    |
| 2011  | 16          | 87         | 103   |
| 2012  | 45          | 96         | 141   |
| 2013  | 80          | 105        | 185   |
| 2014  | 121         | 116        | 237   |
| 2015  | 168         | 125        | 293   |
| 2016  | 221         | 134        | 355   |
| 2017  | 280         | 144        | 424   |
| 2018  | 345         | 153        | 498   |
| 2019  | 416         | 162        | 578   |
| 2020  | 493         | 171        | 664   |
| TOTAL | 2207        | 1529       | 3736  |

Tomando como base los proyectos en ejecución y los previstos a futuro para el centro arqueológico de Caral por parte del Gobierno Regional de Lima, los municipios tanto de Barranca como de Supe y el Proyecto Especial Arqueológico Caral Supe (PEACS) [3]; se operará un cambio significativo de los servicios turísticos a partir del año 2011; debido a la mejora de la carretera de acceso a Caral, la construcción de establecimientos de hospedaje para el turista extranjero y para el nacional, un albergue, restaurantes, así como también un museo de interpretación, un puesto policial, una posta médica que proporcione primeros auxilios a los turistas, cajeros automáticos y cabinas de Internet que brinden acceso a los turistas a la información sobre Caral y del resto del mundo, teniendo así el sector privado los incentivos requeridos para el desarrollo de las facilidades comerciales para el turismo (hoteles, restaurantes, etc.).

En consecuencia, el número de establecimientos de hospedaje y servicios de comunicación propuestos para su implementación al 2011, se muestra en el cuadro N° 5 a continuación:

CUADRO N° 5

### ESTABLECIMIENTOS PÚBLICOS CONSTRUIDOS AL 2011 EN CARAL. [24]

| CANTIDAD | CATEGORÍA               | DESCRIPCIÓN   |
|----------|-------------------------|---|
| 1        | Hotel de 5 estrellas    | De lujo con 30 habitaciones   |
| 2        | Hostal de 2 estrellas   | De 20 habitaciones por cada hostal  |
| 1        | Albergue                | De 80 habitaciones  |
| 3        | Restaurante             | Para degustar de comidas típicas de la zona   |
| 1        | Museo de Interpretación | Lugar turístico para ver los restos históricos y culturales de las ruínas de Caral    |
| 1        | Puesto Policial         | Para establecer el orden dentro y fuera de las ruínas de Caral                        |
| 1        | Posta Médica            | Para brindar apoyo de primeros auxilios a los turistas y salud                        |
| 1        | Cajero Automático       | Para brindar el servicio de banca remota a los turistas en Caral                      |
| 1        | Cabina de Internet      | Para permitir el uso del Internet público a los diferentes turistas que visiten Caral |

Dichos establecimientos, construidos para el año 2011 en la ciudad de Caral, con sus respectivas demandas en telefonía fija, telefonía pública y de datos, constituirán la oferta de servicios para el sitio arqueológico; además de teléfonos



públicos ubicados en los alrededores del centro arqueológico por sus características de adaptabilidad a las zonas rurales; destinados a turistas que no hagan uso de los establecimientos de hospedaje.

El año de referencia para el cálculo de tráfico de los servicios de telecomunicaciones que se brindarán en el sitio corresponde al 2011, tomado de la Proyección Dinámica del Flujo de Turistas a Caral en el cuadro N° 4, como año de maduración de los proyectos de infraestructura. En consecuencia, el cuadro N° 6 muestra la demanda potencial diaria de turistas para la ciudad de Caral:

CUADRO N° 6

**DEMANDA POTENCIAL DE TURISTAS DIARIOS. [24]**

| INGRESO MÁXIMO DE TURISTAS MENSUALES PICO | INGRESO MÁXIMO DE TURISTAS DIARIOS | NÚMERO DINÁMICO MÁXIMO DE TURISTAS DIARIOS |
|---|------------------------------------|--|
| 15450                                     | 515                                | 600  |

Tomando para el ingreso máximo de turistas mensuales pico, el 15% del ingreso total de turistas del año 2011 como un número de ingreso máximo, pues el mes de julio presenta mayor flujo de turistas en Caral cada año; y el número dinámico máximo de turistas diarios resultó de la suma del ingreso máximo de turistas diarios con el número máximo de turistas que se quedan en Caral por dos días como media y la cual para el mes de máximo flujo es de 85 turistas que pernoctan una noche.

#### 1.4 Cálculo de Tráfico de los Servicios de Telecomunicaciones para Caral

**1.4.1 Tráfico en telefonía fija.** Para el cálculo de tráfico se tomará en cuenta el número de establecimientos estimado en el cuadro N° 5 a implementarse hacia el año 2011; además de “*la Casa del Arqueólogo*”, destinada a albergar a estudiosos y científicos en el sitio arqueológico y cuya labor es profundizar el estudio de los restos históricos y el pasado de Caral. Como resultado, obtendremos el tráfico para cada establecimiento durante la hora cargada<sup>3</sup> (BHT: Busy Hour Traffic) de acuerdo a la siguiente fórmula:

<sup>3</sup> Para el cálculo de la intensidad de tráfico (Erlang) en cada establecimiento, se supuso valores estadísticos de ocupaciones de llamadas durante la hora cargada (BHT) y su tiempo de duración promedio.



$$\text{BHT} = [(\text{duración de llamada promedio(s)} \times \text{ocupación del canal}) / 3600] \text{ Erlangs}$$

En donde el número de llamadas (ocupaciones) durante la hora cargada son valores tomados de estadísticas de tráfico por suposición por ser todos ellos nuevos establecimientos en Caral.

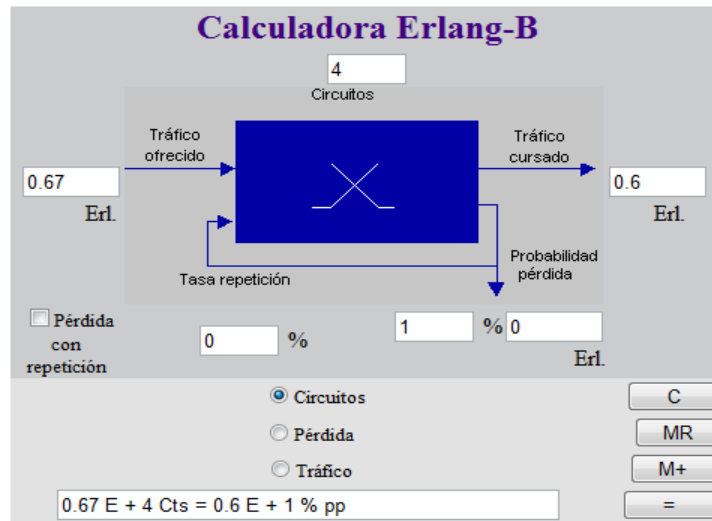
Así, la demanda de circuitos o líneas fijas de abonados, que necesitará cada establecimiento involucrado en el proyecto, empleando la calculadora Erlang B y como su parámetro de entrada el tráfico cursado y asumiendo un sistema de llamadas a pérdidas con una probabilidad de pérdida de 1%, se muestra a continuación:

CUADRO N° 7

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA FIJA EN  
EL HOTEL DE 5 ESTRELLAS. [24]  
(En Erlang)**

| NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)                   |             |
|--|-------------|
| OCUPACIONES DE ENTRADA   | 12 llamadas |
| OCUPACIONES DE SALIDA  | 8 llamadas  |
| TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA                        | 2 minutos   |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                            |             |
| $\text{BHT} = (2 \times 60 \times 12) / 3600 = 0.4 \text{ Erlang}$ |             |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                             |             |
| $\text{BHT} = (2 \times 60 \times 8) / 3600 = 0.27 \text{ Erlang}$ |             |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                                |             |
| $\text{BHT} = 0.4 + 0.27 = 0.67 \text{ Erlang}$                    |             |

Figura 2. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Hotel de 5 Estrellas. [5]

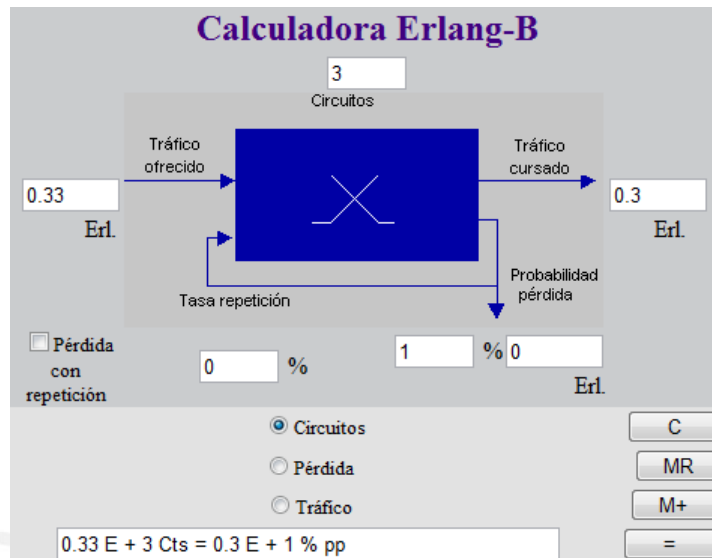


CUADRO N° 8

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA FIJA EN EL HOSTAL DE 2 ESTRELLAS. [24]**  
(En Erlang)

|   |            |
|---|------------|
| <b>NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)</b>     |            |
| <b>OCUPACIONES DE ENTRADA</b>                               | 6 llamadas |
| <b>OCUPACIONES DE SALIDA</b>                                | 4 llamadas |
| <b>TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA</b>          | 2 minutos  |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                     |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 6) / 3600 = 0.2 \text{ Erlang}$  |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                      |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 4) / 3600 = 0.13 \text{ Erlang}$ |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                         |            |
| $BHT = 0.2 + 0.13 = 0.33 \text{ Erlang}$                    |            |

Figura 3. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Hostal de 2 Estrellas. [5]

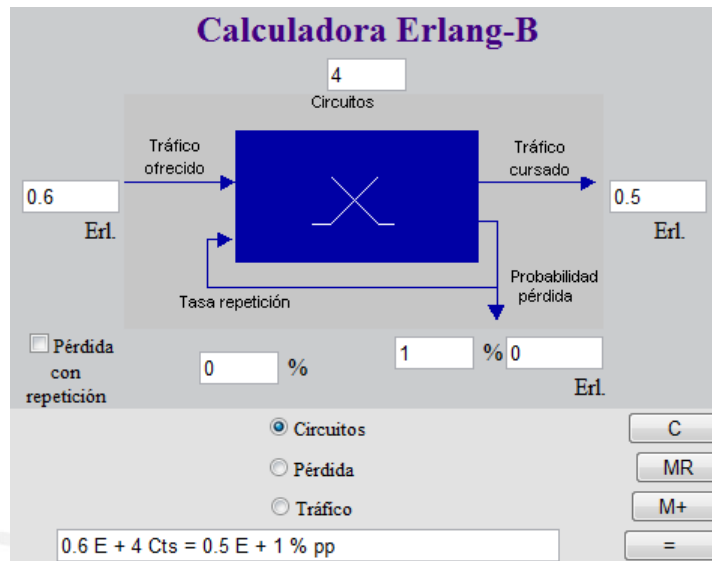


CUADRO N° 9

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA FIJA EN EL ALBERGUE. [24]**  
(En Erlang)

|   |             |
|---|-------------|
| <b>NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)</b>     |             |
| <b>OCUPACIONES DE ENTRADA</b>                               | 12 llamadas |
| <b>OCUPACIONES DE SALIDA</b>                                | 6 llamadas  |
| <b>TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA</b>          | 2 minutos   |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                     |             |
| $BHT = (2 \times 60 \times 12) / 3600 = 0.4 \text{ Erlang}$ |             |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                      |             |
| $BHT = (2 \times 60 \times 6) / 3600 = 0.2 \text{ Erlang}$  |             |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                         |             |
| $BHT = 0.4 + 0.2 = 0.6 \text{ Erlang}$                      |             |

Figura 4. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Albergue. [5]

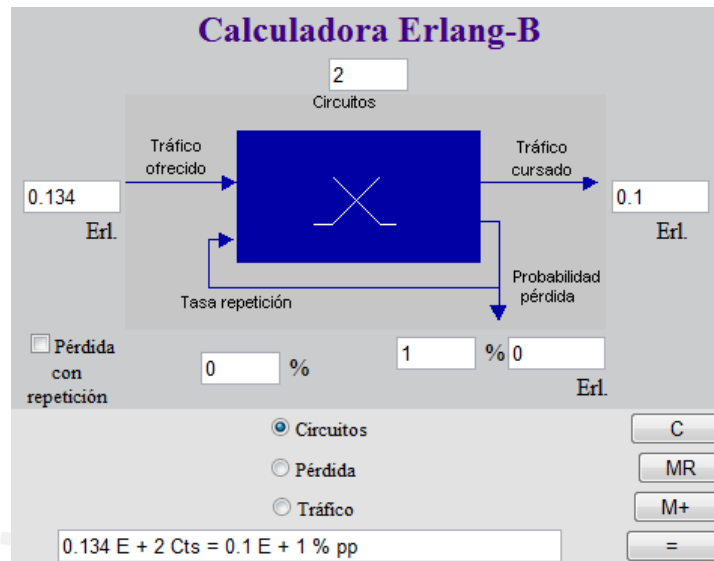


CUADRO N° 10

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA FIJA EN EL RESTAURANTE. [24]**  
(En Erlang)

|  |            |
|--|------------|
| <b>NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)</b>      |            |
| <b>OCUPACIONES DE ENTRADA</b>                                | 2 llamadas |
| <b>OCUPACIONES DE SALIDA</b>                                 | 2 llamadas |
| <b>TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA</b>           | 2 minutos  |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                      |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 2) / 3600 = 0.067 \text{ Erlang}$ |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                       |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 2) / 3600 = 0.067 \text{ Erlang}$ |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                          |            |
| $BHT = 0.067 + 0.067 = 0.134 \text{ Erlang}$                 |            |

Figura 5. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Restaurante. [5]

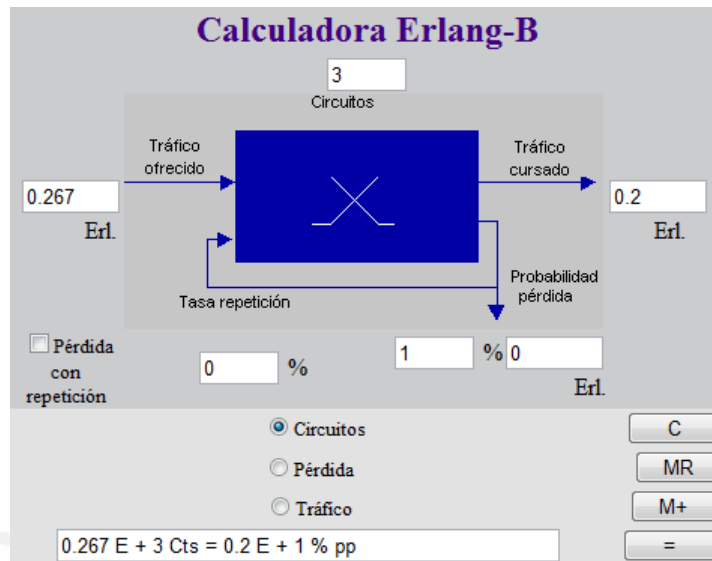


CUADRO N° 11

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA FIJA EN EL MUSEO DE INTERPRETACIÓN. [24]**  
(En Erlang)

|  |            |
|--|------------|
| <b>NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)</b>      |            |
| <b>OCUPACIONES DE ENTRADA</b>                                | 5 llamadas |
| <b>OCUPACIONES DE SALIDA</b>                                 | 3 llamadas |
| <b>TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA</b>           | 2 minutos  |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                      |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 5) / 3600 = 0.167 \text{ Erlang}$ |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                       |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 3) / 3600 = 0.1 \text{ Erlang}$   |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                          |            |
| $BHT = 0.167 + 0.1 = 0.267 \text{ Erlang}$                   |            |

Figura 6. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Museo de Interpretación. [5]



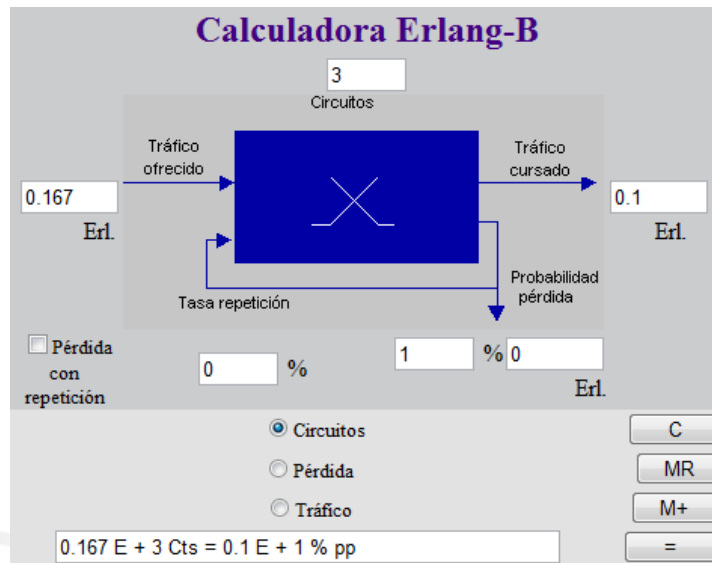
CUADRO N° 12

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA FIJA EN EL PUESTO POLICIAL. [24]**  
(En Erlang)

|  |            |
|--|------------|
| <b>NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)</b>      |            |
| <b>OCUPACIONES DE ENTRADA</b>                                | 3 llamadas |
| <b>OCUPACIONES DE SALIDA</b>                                 | 2 llamadas |
| <b>TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA</b>           | 2 minutos  |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                      |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 3) / 3600 = 0.1 \text{ Erlang}$   |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                       |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 2) / 3600 = 0.067 \text{ Erlang}$ |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                          |            |
| $BHT = 0.1 + 0.067 = 0.167 \text{ Erlang}$                   |            |



Figura 7. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Puesto Policial. [5]

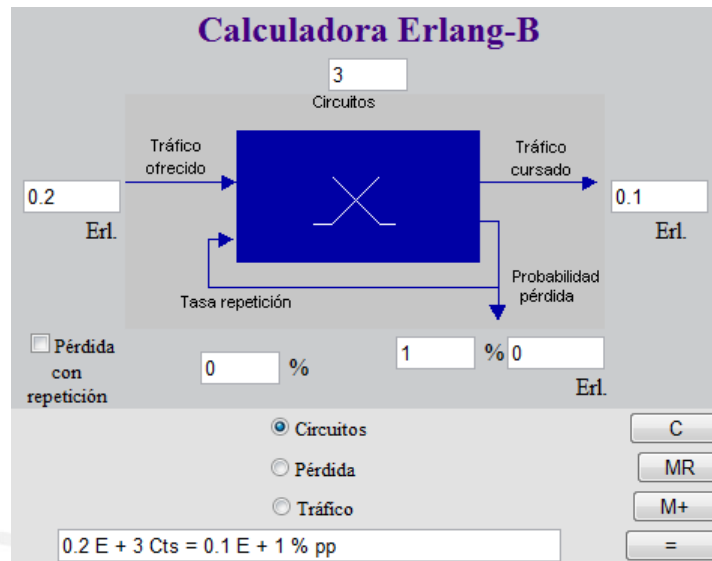


CUADRO N° 13

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA FIJA EN LA POSTA MÉDICA. [24]**  
(En Erlang)

|  |            |
|--|------------|
| <b>NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)</b>      |            |
| OCUPACIONES DE ENTRADA                                       | 4 llamadas |
| OCUPACIONES DE SALIDA  | 2 llamadas |
| TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA                  | 2 minutos  |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                      |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 4) / 3600 = 0.133 \text{ Erlang}$ |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                       |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 2) / 3600 = 0.067 \text{ Erlang}$ |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                          |            |
| $BHT = 0.133 + 0.067 = 0.2 \text{ Erlang}$                   |            |

Figura 8. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Posta Médica. [5]

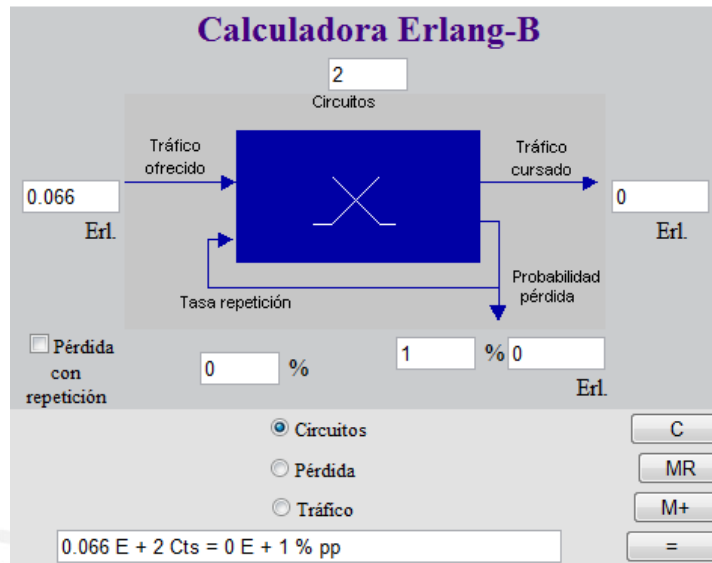


CUADRO N° 14

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA FIJA EN LA CABINA DE INTERNET. [24]**  
(En Erlang)

|  |            |
|--|------------|
| <b>NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)</b>      |            |
| <b>OCUPACIONES DE ENTRADA</b>                                | 1 llamadas |
| <b>OCUPACIONES DE SALIDA</b>                                 | 1 llamadas |
| <b>TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA</b>           | 2 minutos  |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                      |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 1) / 3600 = 0.033 \text{ Erlang}$ |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                       |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 1) / 3600 = 0.033 \text{ Erlang}$ |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                          |            |
| $BHT = 0.033 + 0.033 = 0.066 \text{ Erlang}$                 |            |

Figura 9. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Cabina de Internet. [5]

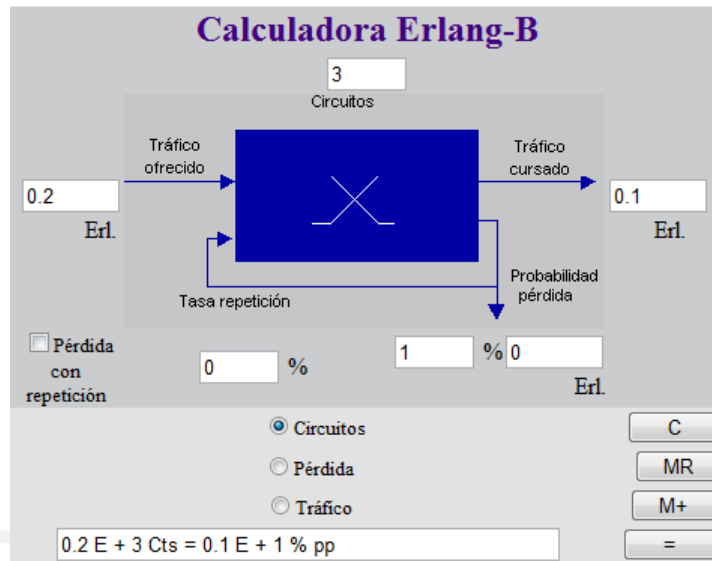


CUADRO N° 15

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA FIJA EN LA CASA DEL ARQUEÓLOGO. [24]**  
(En Erlang)

|  |            |
|--|------------|
| <b>NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)</b>    |            |
| <b>OCUPACIONES DE ENTRADA</b>                              | 3 llamadas |
| <b>OCUPACIONES DE SALIDA</b>                               | 3 llamadas |
| <b>TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA</b>         | 2 minutos  |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                    |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 3) / 3600 = 0.1 \text{ Erlang}$ |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                     |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 3) / 3600 = 0.1 \text{ Erlang}$ |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                        |            |
| $BHT = 0.1 + 0.1 = 0.2 \text{ Erlang}$                     |            |

Figura 10. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía fija en el Casa del Arqueólogo. [5]



Finalmente, obtenemos el cuadro N° 16, que nos muestra el tráfico total de telefonía fija y líneas telefónicas requerido por la demanda potencial de turistas y pobladores en el centro arqueológico de Caral:

CUADRO N° 16

**DEMANDA DE TRÁFICO TOTAL Y LÍNEAS DE TELEFONÍA FIJA. [24]**

| CANTIDAD     | TIPO DE ESTABLECIMIENTOS | TRÁFICO POR ESTABLECIMIENTO (Erlang) | LÍNEAS DE TELEFONÍA FIJA |
|--------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| 1            | Hotel de 5 estrellas     | 0.670                                | 4                        |
| 1            | Hostal de 2 estrellas    | 0.330                                | 3                        |
| 1            | Hostal de 2 estrellas    | 0.330                                | 3                        |
| 1            | Albergue                 | 0.600                                | 4                        |
| 1            | Restaurante              | 0.134                                | 2                        |
| 1            | Restaurante              | 0.134                                | 2                        |
| 1            | Restaurante              | 0.134                                | 2                        |
| 1            | Museo de Interpretación  | 0.267                                | 3                        |
| 1            | Puesto Policial          | 0.167                                | 3                        |
| 1            | Posta Médica             | 0.200                                | 3                        |
| 1            | Cabina de Internet       | 0.066                                | 2                        |
| 1            | Casa del Arqueólogo      | 0.200                                | 3                        |
| <b>TOTAL</b> |                          | 3.232 Erlang                         | 34 circuitos             |

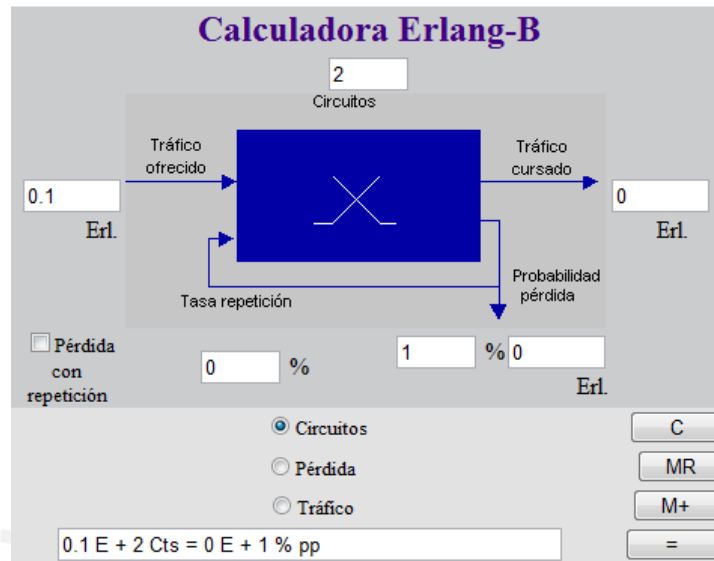
**1.4.2 Tráfico en telefonía pública.** El cálculo de tráfico será calculado primero en base a los establecimientos públicos que acojan y representen un flujo de personas importante para ellos, como son el hotel de 5 estrellas, los hostales de 2 estrellas, el albergue, el museo de interpretación y la posta médica; y por último, para el cálculo total se tomará en cuenta el cuadro N° 6 y su número dinámico máximo de turistas diarios en Caral para establecer la cantidad de teléfonos públicos que soporten esta demanda potencial máxima por día, respecto a una densidad de penetración de una línea por 100 turistas, que serán instalados en los alrededores del centro arqueológico. Igual que en el cálculo anterior de telefonía fija, para la telefonía pública, el número de llamadas (ocupaciones) durante la hora cargada son valores tomados de estadísticas de tráfico por suposición por ser todos ellos nuevos establecimientos en Caral, así para calcular la demanda de circuitos de telefonía pública se empleará la calculadora Erlang B y como su parámetro de entrada el tráfico cursado, asumiendo un sistema de llamadas a pérdidas con una probabilidad de pérdida de 1%, como se muestra a continuación para los siguientes establecimientos públicos:

CUADRO N° 17

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA PÚBLICA  
EN EL HOTEL DE 5 ESTRELLAS. [24]  
(En Erlang)**

|   |            |
|---|------------|
| <b>NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)</b> |            |
| <b>OCUPACIONES DE ENTRADA</b>                           | 0 llamadas |
| <b>OCUPACIONES DE SALIDA</b>                            | 3 llamadas |
| <b>TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA</b>      | 2 minutos  |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                 |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 0) / 3600 = 0$ Erlang        |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                  |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 3) / 3600 = 0.1$ Erlang      |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                     |            |
| $BHT = 0 + 0.17 = 0.1$ Erlang                           |            |

Figura 11. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía pública en el Hotel de 5 Estrellas. [5]



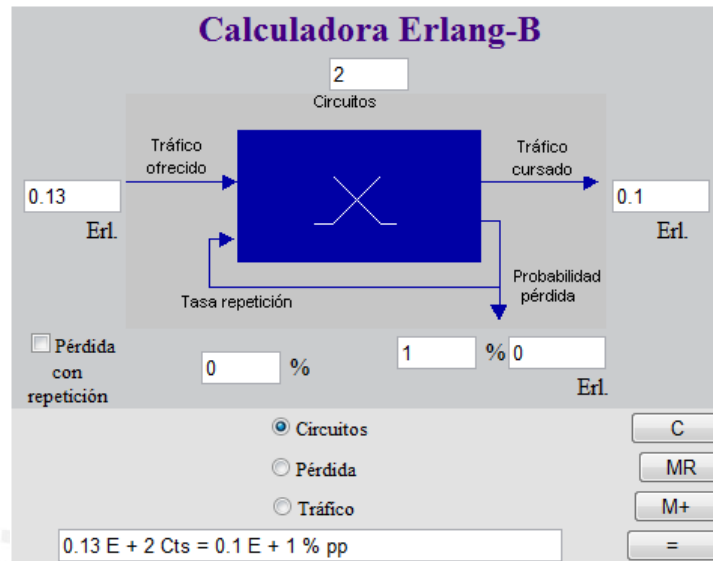
CUADRO N° 18

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA PÚBLICA EN EL HOSTAL DE 2 ESTRELLAS. [24]**  
(En Erlang)

|   |            |
|---|------------|
| <b>NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)</b> |            |
| <b>OCUPACIONES DE ENTRADA</b>                           | 0 llamadas |
| <b>OCUPACIONES DE SALIDA</b>                            | 4 llamadas |
| <b>TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA</b>      | 2 minutos  |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                 |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 0) / 3600 = 0$ Erlang        |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                  |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 4) / 3600 = 0.13$ Erlang     |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                     |            |
| $BHT = 0 + 0.13 = 0.13$ Erlang                          |            |



Figura 12. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía pública en el Hostal de 2 Estrellas. [5]

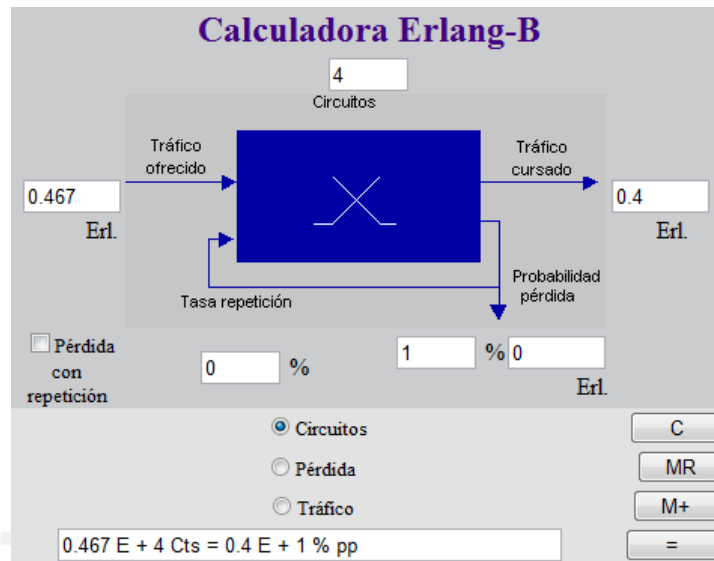


CUADRO N° 19

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA PÚBLICA EN EL ALBERGUE. [24]**  
(En Erlang)

|   |             |
|---|-------------|
| <b>NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)</b> |             |
| <b>OCUPACIONES DE ENTRADA</b>                           | 0 llamadas  |
| <b>OCUPACIONES DE SALIDA</b>                            | 14 llamadas |
| <b>TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA</b>      | 2 minutos   |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                 |             |
| $BHT = (2 \times 60 \times 0) / 3600 = 0$ Erlang        |             |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                  |             |
| $BHT = (2 \times 60 \times 14) / 3600 = 0.467$ Erlang   |             |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                     |             |
| $BHT = 0 + 0.467 = 0.467$ Erlang                        |             |

Figura 13. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía pública en el Albergue. [5]

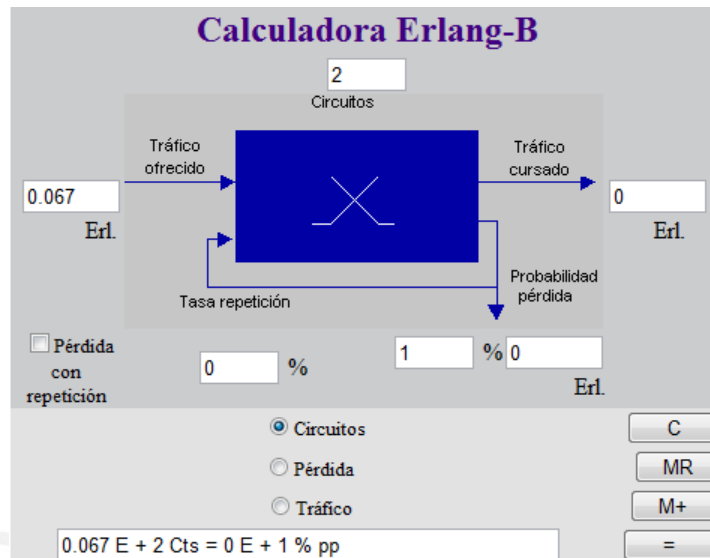


CUADRO N° 20

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA PÚBLICA EN EL MUSEO DE INTERPRETACIÓN. [24]**  
(En Erlang)

|  |            |
|--|------------|
| <b>NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)</b>      |            |
| OCUPACIONES DE ENTRADA                                       | 0 llamadas |
| OCUPACIONES DE SALIDA  | 2 llamadas |
| TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA                  | 2 minutos  |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                      |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 0) / 3600 = 0 \text{ Erlang}$     |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                       |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 2) / 3600 = 0.067 \text{ Erlang}$ |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                          |            |
| $BHT = 0 + 0.067 = 0.067 \text{ Erlang}$                     |            |

Figura 14. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía pública en el Museo de Interpretación. [5]

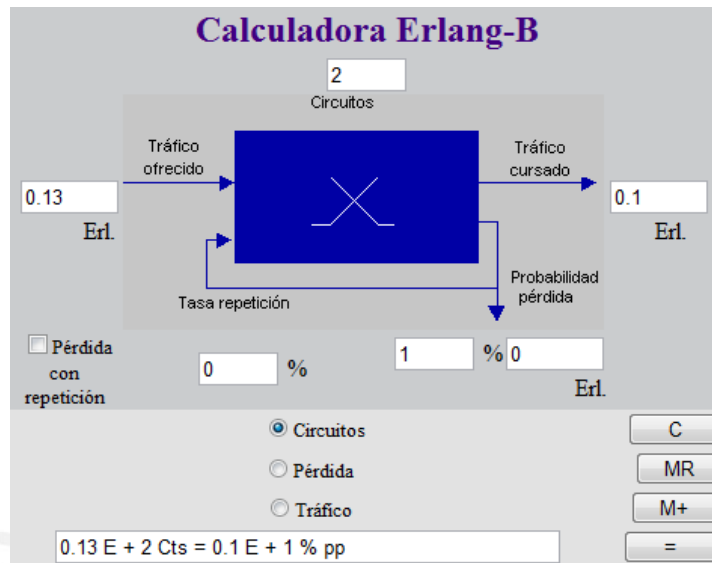


CUADRO N° 21

**INTENSIDAD DE TRÁFICO DE TELEFONÍA PÚBLICA EN LA POSTA MÉDICA. [24]**  
(En Erlang)

|   |            |
|---|------------|
| <b>NÚMERO DE LLAMADAS DURANTE LA HORA CARGADA (BHT)</b>     |            |
| <b>OCUPACIONES DE ENTRADA</b>                               | 0 llamadas |
| <b>OCUPACIONES DE SALIDA</b>                                | 4 llamadas |
| <b>TIEMPO PROMEDIO DE DURACIÓN DE CADA LLAMADA</b>          | 2 minutos  |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE ENTRADA</b>                     |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 0) / 3600 = 0 \text{ Erlang}$    |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO DE SALIDA</b>                      |            |
| $BHT = (2 \times 60 \times 4) / 3600 = 0.13 \text{ Erlang}$ |            |
| <b>INTENSIDAD DE TRÁFICO TOTAL:</b>                         |            |
| $BHT = 0 + 0.13 = 0.13 \text{ Erlang}$                      |            |

Figura 15. Cálculo del número de circuitos para el tráfico de telefonía pública en el Posta Médica. [5]



Así, el tráfico total de telefonía pública que requerirá la demanda potencial de turistas y pobladores en el centro arqueológico de Caral, se muestra en el cuadro N° 22:

CUADRO N° 22

**DEMANDA DE LÍNEAS Y TRÁFICO TOTAL DE TELEFONÍA PÚBLICA. [24]**

| CANTIDAD  | TIPO DE ESTABLECIMIENTOS | TRÁFICO POR ESTABLECIMIENTO (Erlang)                                    | LÍNEAS DE TELEFONÍA PÚBLICA |
|---|--------------------------|---|-----------------------------|
| 1   | Hotel de 5 estrellas     | 0.100   | 2                           |
| 1   | Hostal de 2 estrellas    | 0.130   | 2                           |
| 1   | Hostal de 2 estrellas    | 0.130   | 2                           |
| 1   | Albergue                 | 0.467   | 4                           |
| 1   | Museo de Interpretación  | 0.067   | 2                           |
| 1   | Posta Médica             | 0.130   | 2                           |
| <b>TOTAL</b>                                      |                          | 1.024 Erlang  | 14 circuitos                |
| <b>NÚMERO DINÁMICO MÁXIMO DE TURISTAS DIARIOS</b> |                          | <b>LÍNEAS DE TELEFONÍA PÚBLICA EXTERNAS (con una penetración de 1%)</b> |                             |
| 600   |                          | 6   |                             |
| <b>TOTAL DE LÍNEAS</b>                            |                          | <b>14 + 6 = 20</b>  |                             |

**1.4.3 Tráfico de datos e Internet.** En este caso, el cálculo de tráfico estará dado por el número de conexiones o accesos a Internet que contarán los

establecimientos turísticos de Caral, las necesidades actuales de velocidad de datos que demandarán por su cantidad de usuarios que utilizarán el servicio de Internet y las posibilidades económicas de cada cliente (establecimiento) de contratar un paquete de velocidad de datos adecuado a su demanda; lo cual se verá reflejado en una mejor calidad -medida en función al ancho de banda que se brinde a cada uno- utilizando una única red capaz de soportar todos los servicios de telecomunicaciones sin dejar de lado las altas tasas de transmisión, la calidad de servicio, la seguridad y la escalabilidad de la red. Por ello, la solución se encuentra en el uso masivo de las redes IP, por su uso más extendido a nivel mundial y la tendencia creada hacia servicios basados en IP como VoIP, IPTV, Skype, entre otros. Todo ello nos lleva a la teoría de la convergencia de las telecomunicaciones que indica que todos los servicios en un futuro deberán estar basados en IP y que ofrecerán y necesitarán anchos de banda muy superiores al actual como lo muestra la siguiente figura:



Y como se observa en el gráfico anterior, los servicios de telecomunicaciones se vuelven más exigentes y esto se refleja en el aumento de ancho de banda que requieren, cuya calidad dependerá de la tasa de transmisión que el cliente contrate y de la disponibilidad de dichos servicios.

Así, tanto a usuarios residenciales como empresariales situados en los alrededores del centro arqueológico de Caral, se les brindará los siguientes

paquetes de velocidades de ancho de banda de acuerdo a las posibilidades de cada uno de ellos:

CUADRO N° 23

### PAQUETES DE CONTRATO PARA INTERNET. [7]

| Acceso a Internet | Tarifa Mensual |
|-------------------|----------------|
| 1 Mbps            | 70 dólares     |
| 2 Mbps            | 110 dólares    |
| 3 Mbps            | 160 dólares    |
| 4 Mbps            | 230 dólares    |

1 Mbps será destinado a usuarios residenciales de los alrededores del centro arqueológico de Caral, y las demás velocidades de ancho de banda serán destinadas a los clientes corporativos, como en este caso, hostales, hoteles, albergues, entre otros. Por consiguiente, los paquetes de tasa de transmisión a ser proporcionados a los establecimientos del centro arqueológico de Caral serán los mostrados en el cuadro N° 24 a continuación:

CUADRO N° 24

### DEMANDA DE ACCESOS Y TRÁFICO DE DATOS E INTERNET. [24]

| CANTIDAD                   | TIPO DE ESTABLECIMIENTO | ACCESOS A INTERNET | GRADO DE TRÁFICO                      | NÚMERO APROXIMADO DE USUARIOS QUE USARÁN EL ACCESO POR ESTABLECIMIENTO | ANCHO DE BANDA POR ESTABLECIMIENTO (Kbps) |
|----------------------------|-------------------------|--------------------|---------------------------------------|--|---|
| 1                          | Hotel de 5 estrellas    | 1                  | Alto                                  | 25   | 3000                                      |
| 1                          | Hostal de 2 estrellas   | 1                  | Medio-Alto                            | 10   | 2000                                      |
| 1                          | Hostal de 2 estrellas   | 1                  | Medio-Alto                            | 10   | 2000                                      |
| 1                          | Albergue                | 1                  | Alto                                  | 20   | 3000                                      |
| 1                          | Museo de Interpretación | 1                  | Medio                                 | 5  | 1000                                      |
| 1                          | Puesto Policial         | 1                  | Medio                                 | 5  | 1000                                      |
| 1                          | Posta Médica            | 1                  | Medio                                 | 5  | 1000                                      |
| 1                          | Casa del Arqueólogo     | 1                  | Medio-Alto                            | 12   | 2000                                      |
| 1                          | Cajero automático       | 1                  | Medio                                 | 5  | 1000                                      |
| 1                          | Cabina de Internet      | 1                  | Alto                                  | 20   | 3000                                      |
| <b>TOTAL DE CONEXIONES</b> |                         | 10                 | <b>TOTAL DE ANCHO DE BANDA (Kbps)</b> |  | 19000                                     |



Lo cual significa que cada establecimiento contratará y pagará solo por el servicio de Internet (transmisión de datos), separado del servicio de telefonía, la cual se les facturará aparte de acuerdo a las demandas de cada uno de ellos. Por ello, aunque todo el tráfico de nuestra red será IP (datos), esto vendrá a ser posible por la conversión del tráfico telefónico de Erlangs a bps, para lo cual se le añadirá y sumará el precio que esto conlleve al precio que cada cliente contrató para los paquetes de Internet solamente.



## Capítulo 2:

### Estudio de las mejores alternativas tecnológicas para la plataforma de acceso a red para Caral

#### 2.1 Justificación

De manera histórica, la comunicación ha demostrado ser el mecanismo más efectivo para la resolución de problemas y la evolución humana, al grado de que en la actualidad los sistemas de telecomunicaciones son elementos indispensables en cualquier sociedad debido a que proveen el medio más eficaz para el desarrollo de los procesos de comunicación a nivel mundial y por tal razón, es primordial brindar estos servicios especialmente a zonas rurales donde no existen como es el caso del centro arqueológico de Caral.

Además, el creciente número de turistas que visitan e incrementan cada año hacia el centro arqueológico, hacen necesaria una infraestructura de comunicaciones aún no desarrollada por los proveedores de telecomunicaciones privados, debido al poco tiempo transcurrido desde que la ciudad arqueológica fue descubierta y por la falta de establecimientos existentes en sus alrededores para acoger a los turistas tanto nacionales como extranjeros.

Por ello, las redes inalámbricas de banda ancha representan una alternativa clave para el desarrollo económico y futuro de las comunicaciones en la zona, dadas las condiciones geográficas inaccesibles y el atraso en infraestructura cableada desplegada por grupos privados de telecomunicaciones en los alrededores del centro arqueológico de Caral, así como en las localidades de Barranca y Supe; por lo que, hasta ahora la opción más viable en los aspectos técnico y económico, es la comunicación inalámbrica mediante señales de radio.

En dicha perspectiva se propone el establecimiento de una infraestructura de telecomunicaciones a lo largo de todo el centro arqueológico de Caral, con cobertura plena a todos los posibles establecimientos que en un futuro muy próximo se construirán para dar acogida a la cantidad creciente de turistas que lleguen, además de aquellos destinados a brindar la seguridad y servicios adicionales que estos requieran. El objetivo de potenciar el desarrollo social y tecnológico del centro arqueológico de Caral, mediante una aplicación rural de telecomunicaciones backhaul y de última milla, ha definido como mejor opción el uso de la tecnología WiMAX, acrónimo de *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, en tanto que, para el acceso de los usuarios hacia la red WiMAX, se ha seleccionado la tecnología Wi-Fi<sup>4</sup>, acrónimo de *Wireless Fidelity*, debido a la gran evolución y difusión que ha tenido en todo el mundo y su performance y bajos costos operativos, que aparecen no sólo en computadores portátiles y asistentes digitales personales (PDAs), sino en equipos tan diversos como teléfonos móviles, cámaras y videoconsolas.

## 2.2 Definición WiMAX

Es una solución metropolitana de acceso inalámbrico de última milla basado en el estándar IEEE 802.16 que ofrece acceso de banda ancha a altas velocidades, y por ser inalámbrico, lo hace menos costoso que el cable o el DSL y mucho más fácil de expandir en términos de cobertura tanto en áreas urbanas como rurales; característica que lo hace accesible al centro arqueológico de Caral. El desarrollo de esta nueva tecnología se realizó gracias al esfuerzo del WiMAX Forum [8], que es una asociación de más de 400 compañías alrededor de 50

---

<sup>4</sup> Siglas del inglés Wireless-Fidelity; es un conjunto de estándares para redes inalámbricas basados en especificaciones IEEE 802.11, creado para ser utilizado en redes locales inalámbricas y también para acceso a Internet.

países, encargados de la adopción del estándar IEEE 802.16 tanto en la construcción de los equipos como en los sistemas de acceso de banda ancha inalámbricos para definir la arquitectura de red y asegurar la interoperabilidad.

Entre los fabricantes de equipos WiMAX y que a su vez conforman el WiMAX Forum tenemos:

- AirSpan Networks
- Alvarion
- Aperto Networks
- Huawei
- Intel Corporation
- Motorola
- Samsung
- ZTE Corporation

Existen dos versiones de WiMAX que direccionan la demanda de los diferentes tipos de acceso de última milla, la primera basada en el estándar IEEE 802.16-2004 destinada al acceso inalámbrico de banda ancha fijo y nomádico; y la segunda versión designada al soporte de movilidad y portabilidad, basada en el estándar IEEE 802.16e [9].

- **IEEE 802.16d WiMAX:** basado en la versión 802.16-2004 del estándar IEEE 802.16, usa Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM) y soporta acceso fijo y nomádico en entornos de línea de vista (LOS) y no línea de vista (NLOS), donde ya se han desarrollado equipos WiMAX outdoor e indoor (CPEs) y tarjetas para laptops PCMCIA, para trabajo en bandas de frecuencia de 2.5 GHz, 3.5 GHz (bandas licenciadas), y 5.8 GHz (banda no licenciada). Debe tenerse presente que para este estándar se tienen tres tipos de modulación para la capa PHY (capa física): modulación de una sola portadora, modulación de OFDM de 256 portadoras y de 2048 portadoras, pero el elegido es OFDM de 256 portadoras, debido a su alto rendimiento y menor complejidad de cálculos con respecto a la de 2048 portadoras. Éste estándar es más definido para sistemas inalámbricos fijos, por ejemplo como una alternativa de backhaul (enlace de red) para redes de distribución Wi-Fi, por ejemplo en zonas rurales.

- **IEEE 802.16e WiMAX:** optimizado para canales de radio móviles dinámicos, provee el soporte para handoff y roaming. Usa Acceso de Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Escalable (SOFDMA), que es una técnica de modulación multiportadora que usa subcanalización; y las bandas de frecuencias donde trabajan son la de 2.3 GHz y la de 2.5 GHz; y es definido para brindar acceso a móviles, por ejemplo en zonas urbanas.

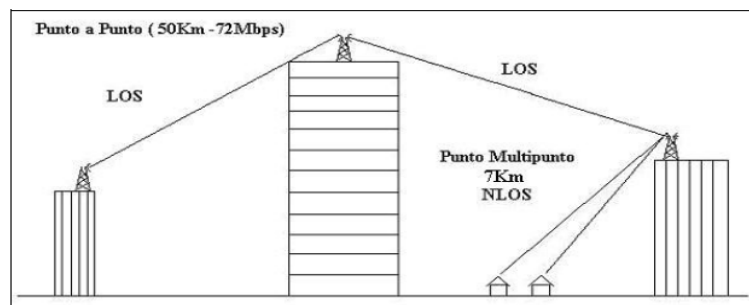
El cuadro N° 25 muestra cómo WiMAX soporta diferentes tipos de acceso y sus requerimientos:

**CUADRO N° 25**  
**TIPOS DE ACCESO A UNA RED WIMAX. [9]**

| Definición        | Equipos  | Posición / Velocidad                | Redireccionador           | 802.16-2004 | 802.16e |
|-------------------|--|-------------------------------------|---------------------------|-------------|---------|
| Acceso fijo       | CPEs exteriores e interiores                                 | Única / Estacionaria                | No                        | Si          | Si      |
| Acceso itinerante | CPEs interiores, tarjetas PCMCIA                             | Múltiple / Estacionaria             | No                        | Si          | Si      |
| Portabilidad      | Laptop PCMCIA o mini tarjetas                                | Múltiple / Velocidad de paso        | Redireccionador monocanal | No          | Si      |
| Movilidad simple  | Laptop PCMCIA o mini tarjetas, PDAs o teléfonos inteligentes | Múltiple / Velocidad vehicular baja | Redireccionador monocanal | No          | Si      |
| Movilidad plena   | Laptop PCMCIA o mini tarjetas, PDAs o teléfonos inteligentes | Múltiple / Velocidad vehicular alta | Redireccionador paralelo  | No          | Si      |

WiMAX ofrece además enlaces como backhaul (punto a punto) de hasta 50 km con una capacidad de 72 Mbps como enlace punto a punto con línea de vista (LOS) y ofrece rangos de no línea de vista (NLOS) de hasta 7 km para una distribución punto a multipunto [11]. La figura 17 muestra un esquema de propagación LOS y NLOS:

**Figura 17. Propagación LOS y NLOS en WiMAX. [11]**



Por estas razones WiMAX presenta una solución para conexiones de áreas rurales o poco accesibles, cuyas características y beneficios más importantes son los siguientes:

- Madurez de la tecnología de más de doce meses de despliegue de redes a nivel mundial.
- Confiabilidad de operación y disponibilidad de bandas tanto licenciadas como no licenciadas.
- Seguridad en la oferta del mercado en virtud del proceso de estandarización y certificación lo cual abaratará aún más los precios de los equipos.
- Alta capacidad tanto en tasa de transferencia como en alcance a distancia.
- No implica tener línea de vista (NLOS) con la estación base.
- Soporta mecanismos de antenas inteligentes (MIMO), los cuales mejoran la eficiencia espectral en los sistemas inalámbricos.
- Soporta multiplexaciones TDM y FDM, permitiendo la interoperabilidad entre los sistemas celulares (FDM) y los inalámbricos (TDM). Además TDM es recomendado para operadores con espectro no licenciado, pues todo el tráfico requiere de un solo canal simple, con tráficos uplink y downlink en diferentes espacios de tiempo, mientras que FDM requiere dos canales, uno para el tráfico de uplink y otro para el de downlink. El cuadro N° 26 siguiente muestra el perfil determinado de multiplexación para cada frecuencia en WiMAX:

CUADRO N° 26

**MULTIPLEXACION WiMAX. [9]**

| Frecuencia (MHz) | Duplexación | Canales (MHz) | IEEE Estándar |
|------------------|-------------|---------------|---------------|
| 3400-3600        | TDD         | 3.5           | 802.16-2004   |
| 3400-3600        | FDD         | 3.5           | 802.16-2004   |
| 3400-3600        | TDD         | 7             | 802.16-2004   |
| 3400-3600        | FDD         | 7             | 802.16-2004   |
| 5725-5850        | TDD         | 10            | 802.16-2004   |

- Utiliza la modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) que permite la transmisión en distintas frecuencias



simultáneamente, utilizando un espaciamiento ortogonal para garantizar que no haya interferencia entre ellas.

- Presenta técnicas de modulación adaptativa para mejorar la relación señal-ruido (SNR), técnicas como FEC, codificación convolutiva y otros algoritmos para la corrección de errores, e incorpora el ARQ (Automatic Repeat Request), para solucionar los errores que no puede solucionar el FEC.

### 2.3 Tecnología WiMAX

El estándar WiMAX ha sido desarrollado con muchos objetivos en mente [10], los cuales se resumen en:

- **Arquitectura flexible:** Por el soporte de varios sistemas de arquitecturas como la de punto a punto, y la de punto a multipunto, que hace consistir a la instalación WiMAX de dos partes mínimas: una estación base WiMAX (BS), similar en concepto a una torre de telefonía celular o un Access Point Wi-Fi; y un receptor WiMAX o Customer Premises Equipment (CPE), que es el equipo cliente para la estación base, y varía con la aplicación pues éste puede ser un phone handset, o en el futuro, una desktop o laptop con una tarjeta integrada WiMAX. El WiMAX MAC (Media Access Control) soporta el servicio punto a multipunto programando un intervalo de tiempo para cada estación subscriptora (SS o CPE). Si solo hay un SS en la red, la estación base WiMAX (BS) se comunicará con el SS en un esquema punto a punto, y además la estación base podría usar un patrón de antena más angosto para cubrir distancias más largas. En cuanto al hardware de WiMAX, las antenas de las estaciones base (BS), pueden compartir las torres usadas por las antenas de telefonía celular, y el tipo de antena implementado depende de la arquitectura de red elegida, pues para un enlace punto a punto (PTP), la elección más adecuada es un panel de antena direccional, que transmite y recibe máxima potencia en una dirección específica, mientras que para un enlace punto a multipunto (PTM), las mejores elecciones son las antenas: direccionales ( $360^{\circ}$ ), para adaptarse a áreas de cobertura de gran densidad de clientes; y sectoriales ( $60^{\circ}$ - $210^{\circ}$ ), para reemplazarlas por las direccionales cuando la demanda de rangos de cobertura y velocidad (throughput) exceden a estas y son

necesarias para mejorar los servicios brindados. En cuanto a los receptores WiMAX, se encuentran los dispositivos de mano portátiles ya mencionados arriba, y también los CPEs (Customer Premises Equipment) tanto indoor como outdoor, cuyas diferencias son que el outdoor CPE es un equipo de línea de vista (LOS) y por ello tiene mejor rendimiento que un indoor CPE, pero es más complicado de instalar; en cambio, la ventaja del indoor CPE es su facilidad de instalación, pero por ser un equipo que funciona sin línea de vista, la distancia entre la estación base y el indoor CPE debe ser más cercana, que con un outdoor CPE.

- **Alta seguridad:** WiMAX soporta AES (Advanced Encryption Standard) y 3DES (Triple DES, donde DES es el estándar de encriptación de datos), encriptando los enlaces entre la estación base (BS) y la estación subscriptora (SS), proveyendo de esta manera seguridad a lo largo de la interface inalámbrica de banda ancha, además también soporta VLANs, que provee protección de datos que está siendo transmitido por diferentes usuarios sobre la misma estación base.
- **Calidad de servicio (QoS):** Soporta cuatro tipos de servicios, que se muestran en el cuadro N° 27, y que optimizan la mezcla de tráfico que está siendo transportada:

CUADRO N° 27

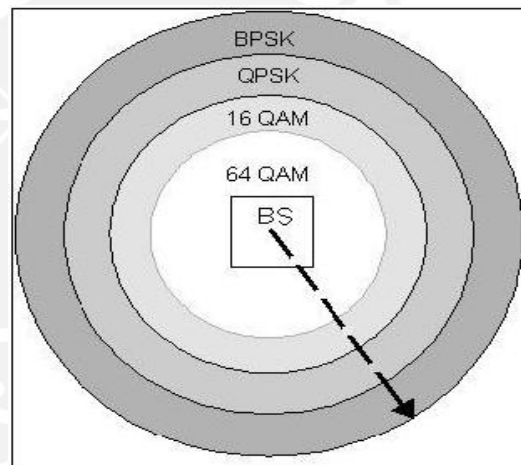
## TIPOS DE SERVICIOS WiMAX. [10]

| Tipo de Servicio                             | Descripción  |
|--|--|
| Concesión de Servicio No solicitado (UGS)    | UGS (Unsolicited Grant Service) diseñado para brindar soporte a las secuencias de datos en tiempo real mediante paquetes de datos de tamaño fijo emitidos a intervalos periódicos, tales como T1/E1 y Voz sobre IP.                    |
| Servicio de Sondeo en Tiempo Real (rtPS)     | rtPS (Real-Time Polling Service) diseñado para brindar soporte a las secuencias de datos en tiempo real mediante paquetes de datos de tamaño variable emitidos a intervalos periódicos, tal como el video MPEG.                        |
| Servicio de Sondeo en Tiempo No Real (nrtPS) | nrtPS (Non-Real-Time Polling Service) diseñado para brindar soporte a las secuencias de datos con retardo tolerable mediante paquetes de datos de tamaño variable, para los cuales se requiere una tasa de datos mínima, tal como FTP. |
| Mejor Esfuerzo (BE)                          | BE (Best Effort) diseñado para brindar soporte a secuencias de datos que no requieren un nivel mínimo de servicio y que pueden ser atendidas sobre la base de disponibilidad de espacio.   |

- **Rápido desarrollo:** Comparado con el desarrollo de soluciones alámbricas, WiMAX requiere poca o ninguna construcción de planta externa, sin excavaciones para introducir cables, y lo único que se necesita para tener listo el servicio es la antena y el equipo instalado y encendido; lo cual hace que el despliegue completo de WiMAX se realice en horas comparado con los meses de otras soluciones.
- **Servicio Multi-nivel (SLA):** Es la manera en que la calidad de servicio (QoS) es entregado, basado en el Service Level Agreement (SLA), entre el proveedor del servicio y los usuarios finales, y mediante esto se pueden ofrecer diferentes SLAs a diferentes subscriptores o diferentes usuarios en la misma SS.
- **Interoperabilidad:** El estar basado en un estándar internacional, hace más fácil el transporte de los SS de los usuarios finales hacia diferentes sitios, con diferentes proveedores de servicios; protegiendo así la inversión del operador que puede elegir los equipos de diferentes fabricantes sin temor a incompatibilidad con su red.
- **Portabilidad:** Como ocurre en sistemas celulares, una vez que el SS es encendido, se identifica a si mismo y se enlaza a la BS, a la vez que el SS es registrado en el sistema de base de datos y entonces comienza la negociación de transmisión de datos entre ambos.
- **Movilidad:** Con la creación del estándar IEEE 802.16e se ha conseguido el soporte para la movilidad en una red WiMAX, con el uso de SOFDMA, antenas MIMO, handoff y roaming, que permite total movilidad a velocidades de 160 km/h, además de mantener una alto rendimiento en enlaces NOLS (sin línea de vista) y una resistencia a la atenuación de multicaminos, haciéndolo predilecto para medios móviles.
- **Costo efectivo:** WiMAX por estar basado en un estándar internacional abierto, la mayor adopción de éste, y la mayor producción de equipos WiMAX, reducirán dramáticamente los precios y costos de WiMAX ahora y en adelante.

- **Cobertura de gran ancho de banda:** WiMAX soporta múltiples niveles de modulación como BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM. Cuando es equipado con un amplificador de alto poder y trabajando a un bajo nivel de modulación (BPSK o QPSK), los sistemas WiMAX son capaces de cubrir grandes área geográficas cuando el camino entre el BS y el SS esta obstaculizado. En el gráfico de la figura 18 se muestra el tipo de modulación utilizado en términos de alejamiento a la estación base (BS) desde una estación subscriptora (SS o CPE) y donde se observa que para las estaciones más alejadas se necesitará mayores potencias de transmisión.

Figura 18. Tipo de modulación en términos de alejamiento del BS. [11]



- **Operación sin línea de vista (NLOS):** NLOS usualmente se refiere a el camino de radio en el cual su primera zona de Fresnel está completamente bloqueada, y WiMAX, por estar basado en una tecnología OFDM, que tiene la capacidad de manejar medios NLOS, lleva el acceso de banda ancha inalámbrica de gran alcance, que otros productos inalámbricos no lo hacen.
- **Alta capacidad:** Utilizando altas modulaciones (64-QAM) y canales de gran ancho de banda (comúnmente 7 MHz), WiMAX provee gran ancho de banda a los usuarios finales.

## 2.4 Aplicaciones WiMAX

El estándar WiMAX ha sido desarrollado para un gran número de aplicaciones, resumidas en el cuadro N° 28 a continuación:

CUADRO N° 28

**TIPOS DE APLICACIONES WiMAX. [10]**

| Descripción de Clase                                     | ¿Tiempo Real? | Tipo de Aplicación                    | Ancho de Banda      |
|--|---------------|---------------------------------------|---------------------|
| Juegos Interactivos                                      | Si            | Juegos Interactivos                   | 50 – 85 Kbps        |
| VoIP, Video Conferencia                                  | Si            | VoIP                                  | 4 – 64 Kbps         |
|  |               | Video Fono                            | 32 – 384 Kbps       |
| Medios Corrientes  | Si            | Música / Comunicación                 | 5 – 128 Kbps        |
|  |               | Archivos de Video                     | 20 – 384 Kbps       |
|  |               | Películas                             | > 2 Mbps            |
| Tecnología de Información                                | No            | Mensaje Instantáneo                   | Mensajes < 250 byte |
|  |               | Navegador Web                         | > 500 Kbps          |
|  |               | Correo (con adjuntos)                 | > 500 Kbps          |
| Descarga de contenido de Medios (Almacenar y Transmitir) | No            | Masa de Datos / Descarga de Películas | > 1 Mbps            |
|  |               | Punto-a-Punto                         | > 500 Kbps          |

Y sus escenarios de uso exitoso en todo el mundo, debidamente comprobado, se muestran en el cuadro N° 29:

CUADRO N° 29

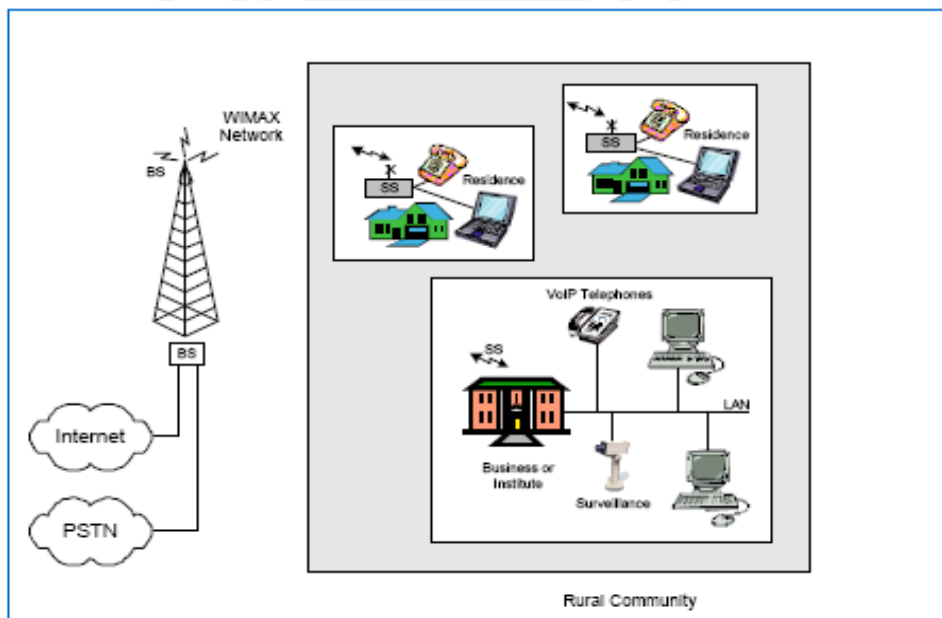
**ESCENARIOS DE USO DE WiMAX. [10]**

|                             | Arquitectura Flexible | Alta Seguridad | WiMAX QoS | Despliegue Rápido | Servicio de Nivel Múltiple | Interoperabilidad | Portabilidad | Movilidad | Rentabilidad | Amplia Cobertura | NLOS | Alta Capacidad |
|-----------------------------|-----------------------|----------------|-----------|-------------------|----------------------------|-------------------|--------------|-----------|--------------|------------------|------|----------------|
| Interconexión Celular       |                       |                |           | X                 |                            |                   |              |           | X            |                  |      | X              |
| Enlace de Interconexión WSP |                       |                |           | X                 |                            |                   |              |           | X            |                  |      | X              |
| Redes Bancarias             | X                     | X              | X         |                   |                            |                   |              |           | X            |                  | X    |                |
| Redes Educativas            | X                     |                | X         |                   |                            |                   |              |           | X            | X                |      |                |
| Seguridad Pública           | X                     | X              | X         | X                 |                            |                   | X            | X         |              |                  | X    |                |
| Comunicación Remota         | X                     |                | X         |                   |                            |                   | X            | X         |              | X                | X    |                |
| Conectividad de Área        | X                     | X              | X         |                   |                            |                   |              |           |              |                  |      | X              |
| Construcción Temporal       |                       |                | X         | X                 |                            |                   | X            |           |              |                  | X    |                |
| Temática de Parques         | X                     |                | X         |                   |                            |                   | X            | X         |              |                  | X    |                |
| Redes de Acceso WSP         |                       | X              | X         |                   | X                          | X                 |              |           | X            |                  | X    | X              |
| Conectividad Rural          |                       |                | X         |                   |                            | X                 |              |           | X            | X                |      |                |
| Campo de batalla militar    | X                     | X              |           | X                 |                            |                   | X            | X         |              |                  |      |                |



En tal sentido vemos que la tecnología WiMAX ha revolucionado la manera en que nos comunicamos hoy en día, permitiéndonos estar conectados mediante los servicios de voz, datos y video. Por ello WiMAX encaja perfectamente en el uso rural requerido para el desarrollo de la plataforma de red para el centro arqueológico de Caral, debido a la falta de infraestructura de comunicaciones y la necesidad de conectividad de los servicios de telefonía de voz y de Internet. Wimax provee una cobertura extensa y una solución a bajo costo, cuya instalación es implementada rápidamente, proporcionando un ambiente seguro y ayudando a mejorar la economía local y turística de la zona. Así, una idea de conectividad rural basada en la tecnología WiMAX se observa en la siguiente figura:

**Figura 19. Conectividad Rural usando la tecnología WiMAX. [10]**



## 2.5 Utilización del espectro radioeléctrico

Si bien es cierto que existe el WiMAX Forum, como la entidad encargada de garantizar la interoperabilidad entre los equipos WiMAX, esto no implica que sea aceptada a nivel mundial. Un ejemplo de esto es que las bandas de frecuencia de radio varían según la región donde se encuentren, y así las autoridades de cada gobierno juegan un rol importante en determinar el uso eficiente del espectro y que armonice a nivel mundial.

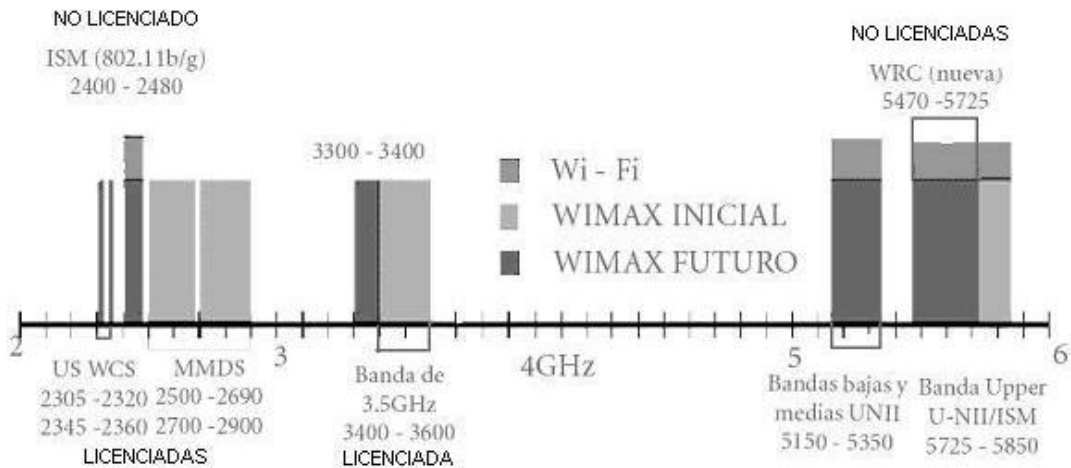


Actualmente WiMAX está enfocado en porciones del espectro ubicadas en el rango de 2 a 6 GHz, cuya distribución de frecuencias es la siguiente [11]:

- **3.5GHz:** Esta banda es un espectro licenciado que está disponible en muchos países de Europa y Asia. Esta banda tiene un ancho de 300 MHz para el rango de 3.3 a 3.6 GHz, ofrece gran flexibilidad para un gran portador para los servicios de la WAN. Cabe destacar que en el Perú se encuentra disponible la banda de 3.4 a 3.6 GHz para los servicios públicos.
- **Bandas de 5 GHz U-NII & WRC:** La U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure) tiene las tres mayores bandas de frecuencia: Bandas U-NII bajas y medias (5150 – 5350 MHz), WRC (World Radio Conference) (5470 – 5735 MHz) y banda superior U-NII/ISM (5725 – 5850 MHz). Wi-Fi opera en el rango de bajas y medias. En cambio WiMAX, opera en el rango superior U-NII 5725 a 5850 MHz, banda no licenciada que cuenta con pocos servicios que compitan y causen interferencia, en la que se espera que WiMAX se desarrolle.
- **WCS (Wireless Communication Service):** Presenta dos bandas gemelas de 15 MHz que van de 2305 a 2320 y de 2345 a 2360 MHz. El espacio entre bandas atribuido para DARS (Digital Audio Radio Service), puede ser fuente de posibles interferencias causadas por repetidoras terrestres. Su uso requiere una excepcional eficiencia en el uso del espectro, como las ofrecidas por OFDM.
- **2.4 GHz ISM (Industrial, Scientific and Medical):** La banda de 2.4 GHz es no licenciada y ofrece aproximadamente un ancho de banda de 80 MHz. Esta banda también es usada por Wi-Fi para dar un servicio de WLAN.
- **MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service):** Este servicio incluye 31 canales separados 6 MHz entre el rango de 2500 y 2690 MHz e incluye al ITFS (Instructional Television Fixed Service). Se espera que esta banda tendrá un significado comercial importante en los próximos años.

WiMAX Forum se está enfocando en MMDS, la banda licenciada de 3.5 GHz y la banda no licenciada mayor de U-NII 5 GHz, por presentar menor interferencias, razonables niveles de potencia y un adecuado ancho de banda. La figura 20 muestra la utilización de bandas de WiMAX:

Figura 20. Bandas utilizadas para WiMAX. [11]



Por último el espectro radioeléctrico en el Perú es tal como se muestra en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 30

ESPECTRO RADIOELÉCTRICO PARA WiMAX. [11]

|      | 2.3GHz WIMAX | 2.4GHz Wi-Fi | 2.5GHz WIMAX | 3.5GHz WIMAX | 5.4GHz Wi-Fi | 5.8GHz WIMAX |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Perú | Licenciado   | Uso Libre    | Licenciado   | Licenciado   | Uso Libre    | Uso Libre    |

2.6 Wi-Fi vs. WiMAX

Se hace necesaria la comparación entre estas dos tecnologías inalámbricas, pues no hay una idea clara de las diferencias y ventajas de usar una y otra en aplicaciones específicas. Comenzando [12], Wi-Fi fue creado como una solución inalámbrica de áreas locales (Wireless LAN) para dar movilidad a redes LAN alámbricas, y rinde muy bien para el entorno el cual fue desarrollado, con el objetivo de ser un sustituto inalámbrico al cable Ethernet. En cambio WiMAX es una solución inalámbrica de áreas metropolitanas (Wireless MAN) y como tal provee más grandes rangos y velocidades que Wi-Fi, pero eso no es todo, pues

proporciona grados de calidad de servicio (QoS) y características de seguridad, además de competir con soluciones cableadas como el DSL y el cable. Así que, mientras Wi-Fi soporta rangos de transmisiones de unos pocos cientos de metros, WiMAX puede soportar usuarios a rangos de 50 Km.

Otra diferencia es que el objetivo de Wi-Fi es el usuario final, mientras que WiMAX se ha enfocado en los operadores de servicios de telecomunicaciones, desarrollando estaciones base (BS) y customer premises equipment (CPE), que los operadores usarán para entregar su servicio de telecomunicaciones.

Otra ventaja adicional que tendrá el usuario final al usar estas tecnologías es que en un futuro próximo Wi-Fi y Mobile WiMAX podrían ser soportados en la misma tarjeta; así, un usuario podrá acceder al Internet en un Hot Spot (punto de acceso inalámbrico Wi-Fi) de 100 metros o en un Hot Zone (punto de acceso inalámbrico WiMAX) de 6 km. En el cuadro N° 31 se muestran las cuatro interfaces de enlace de radio descritas por el estándar IEEE 802.11:

CUADRO N° 31

**INTERFACES DE RADIO WLAN IEEE 802.11. [12]**

| Estándar | Tasa Máxima de Proceso | Tasa de Reemplazo   | Canales Disponibles | Frecuencia de Banda | Técnica de Radio |
|----------|------------------------|---|---------------------|---------------------|------------------|
| 802.11   | 2 Mbps                 | 1 Mbps  | 3                   | 2.4 GHz             | FHSS o DSSS      |
| 802.11b  | 11 Mbps                | 5.5 Mbps<br>2 Mbps<br>1 Mbps  | 3                   | 2.4 GHz             | DSSS             |
| 802.11a  | 54 Mbps                | 48 Mbps<br>36 Mbps<br>24 Mbps<br>18 Mbps<br>12 Mbps<br>9 Mbps<br>6 Mbps | 12                  | 5 GHz               | OFDM             |
| 802.11g  | 54 Mbps                | Similar a 802.11a   | 3                   | 2.4 GHz             | OFDM             |

Un atributo de WiMAX con respecto a Wi-Fi es que WiMAX se acomoda al modo de operación y características de cada operador de telecomunicaciones en todo el mundo, dado que los sistemas WiMAX pueden ser configurados para dual-channel (dos canales: inbound/outbound) mediante la multiplexación por división de frecuencias (FDM), o para un single-channel (un solo canal) para la multiplexación por división de tiempo (TDM) en el cual, espacios de tiempo

separados son asignados para transmisiones inbound y outbound, así que el canal es esencialmente full dúplex, lo cual reduce al 50% la tasa de transmisión, pero los sistemas TDM usan la mitad del ancho de banda de radio que los sistemas FDM. En cambio las redes Wi-Fi, basadas en el sistema TDM, donde el access point y las estaciones móviles usan el mismo canal, y por el medio compartido, operan en modo half dúplex.

En cuanto al ancho de banda por canal, Wi-Fi define un ancho de banda fijo de 25 MHz para el estándar 802.11b y 20 MHz para el estándar 802.11a y 802.11g, mientras que en WiMAX, el ancho de banda por canal es ajustable de 1.25 MHz a 20 MHz, donde la tasa de transmisión del canal será determinada por la modulación de señal que es usada.

Como similitud entre Wi-Fi y WiMAX, es que ambos usan modulación adaptiva y corrección de errores FEC para mejorar sus tasas de transmisión y el rendimiento contra errores. Así en el cuadro N° 32 se muestra las modulaciones que WiMAX tiene:

CUADRO N° 32

**MODULACIONES EMPLEADAS EN WiMAX. [12]**

| Modulación | Transmisión Ascendente | Transmisión Descendente | Codificación FEC          | Bits / Símbolo          |
|------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| BPSK       | Obligatorio            | Opcional                | 1/2, 3/4                  | 1/2, 3/4                |
| QPSK       | Obligatorio            | Obligatorio             | 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, y 7/8 | 1, 4/3, 3/2, 5/3, y 7/4 |
| 16-QAM     | Obligatorio            | Obligatorio             | 1/2, 3/4                  | 2, 3                    |
| 64-QAM     | Opcional               | Obligatorio             | 2/3, 5/6                  | 4, 5                    |
| 256-QAM    | Opcional               | Opcional                | 3/4, 7/8                  | 6, 7                    |

Además, se muestra la comparación de los mayores atributos entre las tecnologías Wi-Fi y WiMAX en el cuadro N° 33:

CUADRO N° 33

## COMPARACION DE LAS TECNOLOGIAS WiMAX Y Wi-Fi. [12]

|   | WiMAX<br>( 802.16a )                       | Wi-Fi<br>( 802.11b )                       | Wi-Fi<br>( 802.11a / g )            |
|---|--|--|-------------------------------------|
| Aplicación Primaria   | Acceso Inalámbrico de Banda Ancha          | LAN Inalámbrico                            | LAN Inalámbrico                     |
| Frecuencia de Banda   | Autorizado / No autorizado<br>2 G a 11 GHz | 2.4 GHz ISM                                | 2.4 GHz ISM (g)<br>5 GHz U-NII (a)  |
| Ancho de Banda de Canal   | Regulable<br>1.25 M a 20 MHz               | 25 MHz                                     | 20 MHz                              |
| Bidireccionalidad Media / Completa  | Completo                                   | Medio                                      | Medio                               |
| Tecnología de Radio   | OFDM<br>( 256 – canales )                  | Secuencia Directa<br>Extensión de Espectro | OFDM<br>( 64 – canales )            |
| Eficiencia de Ancho de Banda  | $\leq 5$ bps/Hz                            | $\leq 0.44$ bps/Hz                         | $\leq 2.7$ bps/Hz                   |
| Modulación  | BPSK, QPSK<br>16-, 64-, 256-QAM            | QPSK                                       | BPSK, QPSK<br>16-, 64-QAM           |
| FEC   | Código circunvolucional<br>Reed-Solomon    | Ninguno                                    | Código circunvolucional             |
| Codificación  | Obligatorio – 3DES<br>Opcional - AES       | Opcional- RC4<br>( AES en 802.11i )        | Opcional- RC4<br>( AES en 802.11i ) |
| Protocolo de Acceso<br>- Mejor esfuerzo<br>- Prioridad de dato<br>- Retraso constante | Pedido / Concesión                         | CSMA/CA                                    | CSMA/CA                             |
|   | Si   | Si   | Si                                  |
|   | Si   | 802.11e WME                                | 802.11e WME                         |
|   | Si   | 802.11e WSM                                | 802.11e WSM                         |
| Movilidad   | Móvil WiMAX<br>( 802.16e )                 | En desarrollo                              | En desarrollo                       |
| Acoplamiento  | Si   | Vendedor Propietario                       | Vendedor Propietario                |

Por último, se muestra en el cuadro N° 34, las ventajas y desventajas de aplicar la tecnología WiMAX y Wi-Fi, sobre nuestro proyecto propuesto para el centro arqueológico y turístico de Caral:

CUADRO N° 34

## VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE APLICAR WIMAX Y WI-FI EN EL CENTRO TURÍSTICO DE CARAL. [24]

| VENTAJAS: WiMAX   | DESVENTAJAS: Wi-Fi   |
|---|--|
| Nuestro proyecto buscará la construcción del menor número de estaciones base inalámbricas con la mejor calidad de servicio de voz y datos, y contando con el gran alcance y cobertura de WiMAX (alrededor de 8 Km) sobre Wi-Fi (alrededor de 300 metros) brindadas a los establecimientos construidos en Caral, se necesitará entonces menos cantidad de repetidores y estaciones base, que resultarían usando Wi-Fi, y finalmente conseguir un menor costo de inversión. | La implementación de nuestro proyecto con estaciones base Wi-Fi, sería muy numerosa e incrementaría el costo por estación base construida incluyendo mas torres, equipos, sistemas de seguridad eléctrica, etc., además el retardo por el paso de las señales de radio por cada repetidor aumentaría y provocaría una mala calidad del servicio que se requiere entregar a Caral y el cual lo demanda. |



|  |  |
|--|--|
| <p>La calidad del acceso de banda ancha para los servicios de voz y datos que brindará nuestro proyecto en Caral debe estar ausente de interferencias, y es por ello se elige una banda licenciada 3.5 GHz que WiMAX lo soporta proveyendo además QoS para la priorización de la voz, video, imágenes y datos.</p>   | <p>En Wi-Fi, todas las bandas de frecuencias que maneja son no licenciadas, por lo que son predispuestas a tener mucha interferencia de otros equipos que trabajen en la misma banda de frecuencias y con altas potencias de transmisión, lo cual ocasionaría dar un servicio de mala calidad con cortes por interferencia en nuestra red brindada a Caral, y la ausencia de priorización de los paquetes de voz, video y datos que Wi-Fi no lo soporta.</p>   |
| <p>La red de acceso propuesta en nuestro proyecto tiene por objetivo brindar altas velocidades de transmisión a los clientes finales, ya sean los establecimientos construidos o los usuarios móviles que usen la red, por ello WiMAX provee una velocidad teórica de 72 Mbps, comparada a la de Wi-Fi de 54 Mbps, lo cual es muy superior, y en instalaciones reales ya hechas, WiMAX alcanza, por usuario final compartiendo una estación base, alrededor de 12 Mbps, mientras que Wi-Fi, solo 2 Mbps, y WiMAX hace posible esto por el uso de antenas inteligentes (smart antennas) que favorecen la eficiencia espectral.</p>      | <p>La menor velocidad de ancho de banda de Wi-Fi y falta de priorización de su eficiencia espectral, hacen que esta tecnología sea inadecuada para el acceso de última milla propuesto en nuestro proyecto, pues no cuentan con aplicaciones y técnicas avanzadas que ofrece WiMAX para mejorar la calidad de servicio para transmisión y recepción de señales de radio de gran distancia como la que se necesita en Caral.</p>  |
| <p>El área de ubicación de Caral, es una zona rural, donde no han llegado las operadoras telefónicas privadas, y es en este escenario que WiMAX brindará el acceso de banda ancha en zonas suburbanas y rurales como la necesitada en nuestro proyecto, pues es una tecnología inalámbrica WMAN, enfocada a operadores de servicios de telecomunicaciones como la que se diseñará en nuestro proyecto la cual servirá de plataforma para comunicar a Caral con el resto del mundo.</p>   | <p>Wi-Fi, en cambio es una tecnología inalámbrica WLAN, enfocada a usuarios finales y no a operadoras de servicios telefónicos, lo cual lo hace inadecuado para ser aplicado en nuestra red de acceso de servicios de telecomunicaciones de última milla como si lo hace la implementación con WiMAX.</p>  |
| <p><b>DESVENTAJAS: WiMAX</b></p>   | <p><b>VENTAJAS: Wi-Fi</b></p>  |
| <p>En cuanto a los equipos y dispositivos destinados a los usuarios finales empleando la tecnología WiMAX (CPE, laptops con tarjeta WiMAX, PDA's, dispositivos móviles, etc.) todavía no están muy difundidos, pues recién salen al mercado y otros están en prueba, por lo que el costo y acceso de estos es mucho mayor a los dispositivos empleados en Wi-Fi, por ello en nuestro proyecto, cada establecimiento solo contará con una estación suscriptor WiMAX (CPE) con interface Wi-Fi para brindar acceso WLAN a los usuarios que demanden los servicios de voz, video y datos en cada establecimiento construido en Caral.</p> | <p>La ventaja de usar Wi-Fi en nuestro proyecto, en la conexión de nuestra red de acceso de última milla WiMAX hacia los establecimientos y usuarios finales, será el uso de equipos con interface WiMAX/Wi-Fi, para que brinden el acceso de banda ancha a equipos y dispositivos que funcionen totalmente con la tecnología Wi-Fi que los turistas puedan traer hacia Caral, ya que están ampliamente difundidos y funcionan muy bien en las redes WLAN actuales, y los costos de estos equipos son mucho menores que los CPE WiMAX.</p> |

En conclusión, la mejor solución es la combinación de los dos, WiMAX como enlace de backhaul de gran distancia y solución de última milla; y Wi-Fi, como puntos de acceso para el backend de los usuarios finales, pues WiMAX no ha sido diseñado para suplir a Wi-Fi, sino a complementar las carencias que presenta, y a la vez, por la difusión y abundancia de equipos Wi-Fi, será necesaria hacer esta integración y solución para el centro arqueológico de Caral, por la gran acogida de turistas que tiene y tendrá en el futuro cercano.



## Capítulo 3:

### Diseño y equipamiento de la plataforma

#### 3.1 Ubicación del centro de operaciones de red hacia el centro arqueológico de Caral

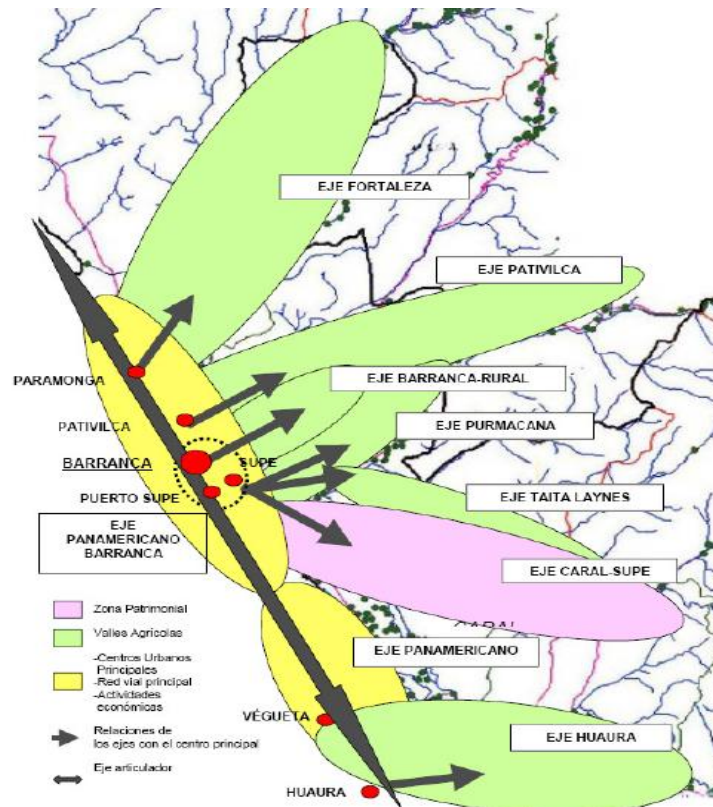
Para tener la certeza de la elección de la ubicación del centro de operaciones de la red para el presente proyecto, se tuvo que investigar profundamente en los distritos más cercanos a nuestro objetivo final: el centro arqueológico de Caral, por lo que geográficamente estos corresponden al distrito de Barranca y al distrito de Supe (Supe Pueblo). Esta investigación consistió en averiguar los servicios que cada uno de los distritos tenía y además tener conocimiento sobre el plan de expansión y desarrollo urbano de cada uno de ellos, lo cual es una fuente muy valiosa de las posibilidades que cada uno de estos distritos cuenta para ser el centro de operaciones de nuestra red WiMAX. Y por último para constatar, validar y cerciorar toda esta información proveniente de las municipalidades de cada distrito, se tuvo que hacer el viaje de reconocimiento de las zonas implicadas en este proyecto, como el centro arqueológico de Caral, y los distritos aledaños de Barranca y Supe Pueblo, lo cual sirvió para localizar los puntos exactos donde se ubicarían las estaciones base para brindar el servicio de telefonía e internet hacia el centro arqueológico empleando como herramienta un

dispositivo GPS personal para obtener coordenadas más precisas de los lugares elegidos.

En el viaje realizado, se encontró que el distrito de Supe Pueblo cuenta solo con un teléfono fijo rural para todo el distrito y además con una conexión de internet satelital que llega sólo a la municipalidad, para brindar su página Web: <http://www.minisupe.gob.pe>, lo cual indica una incipiente y deficiente llegada de los servicios de telecomunicaciones al distrito de Supe Pueblo. Y en cuanto a su población, cuenta con alrededor de 18,596 habitantes, los cuales se dedican la mayoría a la agricultura extensiva, la avicultura y la transformación de la harina de pescado, como principal motor socioeconómico.

Este panorama en relación al distrito de Supe Pueblo, orienta nuestra decisión sobre la mejor ubicación de nuestro centro de operaciones de red hacia el distrito de Barranca; el cual si cuenta con todos los servicios requeridos en las urbes como son agua potable, desagüe y alcantarillado, vías de transporte en buen estado, y lo más destacable a nuestros fines es que tiene servicios de telecomunicaciones como telefonía fija, telefonía pública e Internet [13]. Y toda esta gama de servicios en el distrito de Barranca se debe a que es el principal centro urbano al norte de la región de Lima, su posicionamiento geo-socioeconómico lo consolida en el contexto de la estructura urbana nacional como ciudad intermedia comercial, agroindustrial y turística de trascendencia internacional. Cuenta además con 61,513 habitantes que constituye más del triple del distrito de Supe Pueblo, los cuales se dividen entre 54,342 habitantes en el área urbana y 7,171 en el área rural; por otra parte, la población localizada en el distrito de Barranca constituye el 44.7% de la población total de la provincia de Barranca, en la cual se incluye el distrito de Supe Pueblo [13]. El distrito de Barranca se convierte así en eje de los centros urbanos tanto en el comercio como en la economía de la provincia, teniendo como centros urbanos subsidiarios del sistema Barranca a: Paramonga, Pativilca, Supe Puerto y Supe Pueblo, como se muestra en la figura 21:

Figura 21. Análisis del contexto provincial del distrito de Barranca. [13]



Otras características que hacen de Barranca el mejor lugar de nuestra elección son las estadísticas tomadas de su plan de expansión, que nos muestran que el alfabetismo de la población es de 93.6%, la esperanza de vida es 73.8 años, y el ingreso per cápita de 590 soles. El cuadro N° 35 a continuación, muestra las actividades económicas y número de establecimientos con los cuales cuenta cada una de ellas en el distrito de Barranca.

CUADRO N° 35

Número de establecimientos en el distrito de Barranca, según actividad económica. [13]

| ACTIVIDAD ECONOMICA          | NÚMERO | %     |
|------------------------------|--------|-------|
| Industria Manufacturera      | 101    | 7.64  |
| Comercio                     | 850    | 64.3  |
| Restaurantes y Hoteles       | 176    | 13.31 |
| Transportes y Comunicaciones | 23     | 1.74  |
| Inmobiliaria                 | 53     | 4.01  |
| Enseñanza Privada            | 25     | 1.89  |
| Seguridad Social y Salud     | 29     | 2.19  |
| Otros Servicios              | 65     | 4.92  |
| TOTAL                        | 1322   | 100   |

Y por último otras economías potenciales con las que cuenta Barranca son: el centro de turismo arqueológico y cultural, acceso vial a principales mercados, la actividad productiva agropecuaria y pesquera, el ahorro financiero, las playas turísticas y los servicios de telecomunicaciones, viales y de agua (84.39%), desagüe y alcantarillado (77.80%) para toda la población del distrito.

Por todo ello, el centro de operaciones de nuestra red (NOC) estará en el distrito de Barranca, por concentrarse allí la mayor cantidad de negocios, zonas residenciales, restaurantes, colegios, etc., y será allí en el NOC donde se realizará la conmutación, monitoreo de las alarmas, la configuración de las estaciones base, la conexión con la PSTN (Red pública de telefonía conmutada), el acceso a Internet, entre otros.

### 3.2 Ancho de banda total del servicio a brindar

El servicio que ofrecerá nuestra red de acceso será de telefonía fija, telefonía pública y de Internet, a partir de las estaciones WiMAX las cuales se utilizan como redes de acceso de protocolo IP, seguidos por una infraestructura del core también basado en la IP, lo cual hace posible la convergencia de tecnologías y redes distintas: Internet, PSTN (Public Switched Telephone Network), ISDN (Integrated Services Digital Network), televisión por cable, PLMN (Public Land Mobile Network), etc., sobre una sola infraestructura de red del tipo IP. Por ello, todo el tráfico de telefonía pasará por nuestra red IP en forma de paquetes y no de circuitos por lo que se empleará la tecnología de VoIP (voz sobre el protocolo IP), para lo cual, la intensidad de tráfico (Erlang) del número total de circuitos de voz hallados tanto en la demanda para la telefonía fija como la telefonía pública, será transformado a bps (bits por segundo), que luego será sumado al tráfico de datos definido para la Internet para tener el tráfico total IP que necesitará nuestra red.

Mirando entonces los cuadros N° 16 y N° 22 de la demandas de líneas y tráfico total de telefonía tanto fija como pública se obtiene la cantidad de circuitos totales de voz que demandará nuestro proyecto en Caral, lo que resulta en:  $34 + 20 = 54$  circuitos de voz a la salida de la red de acceso que tendrá nuestra red y que serán implementados por un enlace Fast Ethernet del router de core por donde se priorizarán los paquetes de voz sobre los de datos, y para ello vamos a utilizar el códec G.729 que tiene una velocidad de compresión de 8 Kbps [14]; sin

embargo, hay que considerar que todos los paquetes de VoIP contienen las propias muestras de voz y las cabeceras RTP, UDP e IP, así como los bytes de cabecera de la capa 2, en este caso de Ethernet por lo que la velocidad será mayor de 8 Kbps.

Por consiguiente, asumiremos que hemos configurado la red de acceso de toda nuestra red para enviar 50 paquetes/segundo y que no vamos a usar VAD (Voice Activity Detection). Cuando el VAD está desactivado, los códecs envían paquetes todo el tiempo haya conversación o silencio; por el contrario, cuando el VAD está activado, sólo enviarán paquetes RTP cuando hay conversación y no cuando haya silencio, permitiendo reducir el ancho de banda del enlace.

Así que, para el objetivo del presente proyecto, tendremos el VAD desactivado y usaremos RTP y no cRTP (compressed RTP). Para determinar la velocidad del códec, emplearemos la lista de codecs de Cisco para la voz, como muestra la siguiente figura:

**Figura 22. Características del Códec de voz G.729. [14]**

| Algoritmo | Ancho de banda de la voz (Kbps) | Tamaño de Trama (bytes) | Cisco Payload (bytes) | Paquetes por segundo | Cabeceras IP/UDP/RTP (bytes) | Cabecera cRTP (bytes) | L2    | Cabecera de la Capa 2 (bytes) | Ancho de Banda Total (Kbps) sin VAD | Ancho de Banda Total (kbps) con VAD |
|-----------|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------|-----------------------|-------|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| G.729     | 8                               | 10                      | 20                    | 50                   | 40                           | -                     | Ether | 14                            | 29.6                                | 14.8                                |
| G.729     | 8                               | 10                      | 20                    | 50                   | -                            | 2                     | Ether | 14                            | 14.4                                | 7.2                                 |
| G.729     | 8                               | 10                      | 20                    | 50                   | 40                           | -                     | PPP   | 6                             | 26.4                                | 13.2                                |
| G.729     | 8                               | 10                      | 20                    | 50                   | -                            | 2                     | PPP   | 6                             | 11.2                                | 5.6                                 |
| G.729     | 8                               | 10                      | 20                    | 50                   | 40                           | -                     | FR    | 4                             | 25.6                                | 12.8                                |
| G.729     | 8                               | 10                      | 20                    | 50                   | -                            | 2                     | FR    | 4                             | 10.4                                | 5.2                                 |
| G.729     | 8                               | 10                      | 30                    | 33                   | 40                           | -                     | Ether | 14                            | 22.4                                | 11.2                                |
| G.729     | 8                               | 10                      | 30                    | 33                   | -                            | 2                     | Ether | 14                            | 12.3                                | 6.1                                 |
| G.729     | 8                               | 10                      | 30                    | 33                   | 40                           | -                     | PPP   | 6                             | 20.3                                | 10.1                                |
| G.729     | 8                               | 10                      | 30                    | 33                   | -                            | 2                     | PPP   | 6                             | 10.1                                | 5.1                                 |
| G.729     | 8                               | 10                      | 30                    | 33                   | 40                           | -                     | FR    | 4                             | 19.7                                | 9.9                                 |
| G.729     | 8                               | 10                      | 30                    | 33                   | -                            | 2                     | FR    | 4                             | 9.6                                 | 4.8                                 |

Con lo que determinamos que la velocidad de cada circuito será de 29.6 Kbps, por lo tanto el ancho de banda total requerido será de  $54 \times 29.6 \text{ Kbps} = 1598.4 \text{ Kbps}$ .

Por lo tanto el ancho de banda total que nuestra red demandará será la suma del obtenido por el acceso de Internet y éste último obtenido del tráfico



telefónico fijo y público, lo que nos da como resultado 19000 Kbps + 1598.4 Kbps = 20598.4 Kbps.

Ya que cada servicio de Internet y el de telefonía fija tendrán costos individuales que les serán facturados luego a cada establecimiento como la suma de ambos, procedemos a calcular los minutos mensuales que cada establecimiento de este proyecto demandará y su precio a pagar mensualmente, basándonos primero en la tarificación de telefonía fija por minuto que tomaremos como referencia de los costos del operador Telmex, los cuales nos servirá para introducir nuestras tarifas que tendrá nuestro proyecto, y también las tarifas a pagar a nuestros operadores externos de la PSTN y sistema móvil, por los convenios de compra de grandes bolsas de minutos y políticas de OSIPTEL de reducir las tarifas telefónicas para las zonas rurales del Perú<sup>5</sup> [16], cuyos costos del operador serán del 15% de nuestras tarifas ofrecidas a los clientes de nuestro proyecto, y así, competir agresivamente con los futuros operadores que quieran ingresar al mercado turístico de Caral, como muestra el siguiente cuadro:

CUADRO N° 36

**TARIFAS DE TELEFONÍA FIJA POR MINUTO. [15]**

| TIPO   | TARIFAS DE REFERENCIA TELMEX      | TARIFAS DE NUESTRO PROYECTO       | TARIFAS A PAGAR A OPERADOR POR BOLSA DE MINUTOS | TARIFICACIÓN |
|--|-----------------------------------|-----------------------------------|---|--------------|
| Llamadas Locales                             | Fijo: S/. 0.05<br>Móvil: S/. 0.96 | Fijo: S/. 0.05<br>Móvil: S/. 0.96 | Fijo: S/. 0.0075<br>Móvil: S/. 0.144            | x minuto     |
| Llamadas Larga Distancia Nacional (LDN)      | Fijo: S/. 0.14<br>Móvil: S/. 1.13 | Fijo: S/. 0.14<br>Móvil: S/. 1.13 | Fijo: S/. 0.021<br>Móvil: S/. 0.17              | x minuto     |
| Llamadas Larga Distancia Internacional (LDI) | S/. 0.21                          | S/. 0.21                          | S/. 0.031                                       | x minuto     |

Y por último, basándonos en los porcentajes del tipo de llamada por cada establecimiento asumido para este proyecto junto con los cuadros N° 16 y N° 36,

<sup>5</sup> El Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL) publicó dos resoluciones: No. 005-2010-CD/OSIPTEL y No. 007-2010-CD/OSIPTEL, aprobadas por un consejo directivo para fomentar la reducción de las tarifas de las llamadas que se realicen desde las áreas rurales hacia las ciudades y viceversa, mediante la determinación de los cargos por interconexión, que permiten a los operadores rurales pagar una menor tarifa de interconexión al operador privado por el uso de su red o infraestructura.



obtendremos las tarifas mensuales a pagar en dólares (tipo de cambio 1 dólar = 3 soles) por cada uno de ellos, como muestra el siguiente cuadro:

CUADRO N° 37

**MINUTOS MENSUALES Y TARIFA A PAGAR POR TELEFONÍA FIJA. [24]**

| CANTIDAD | CATEGORÍA               | TRÁFICO (Erlang) | MINUTOS MENSUALES CAPACIDAD TOTAL / MINUTOS MENSUALES | PORCENTAJES DEL TIPO DE LLAMADA MENSUAL POR CADA |                                     |                                |                                 |                               | TARIFA MENSUAL (\$) |
|----------|-------------------------|------------------|---|--|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------|
|          |                         |                  |   | MINUTOS DE LLAMADAS LOCALES A FIJO               | MINUTOS DE LLAMADAS LOCALES A MÓVIL | MINUTOS DE LLAMADAS LDN A FIJO | MINUTOS DE LLAMADAS LDN A MÓVIL | MINUTOS DE LLAMADA LDI A FIJO |                     |
| 1        | Hotel de 5 estrellas    | 0.67             | 28944 / 7236  | 60%<br>4342 min.<br>\$72                         | 10%<br>724 min.<br>\$231            | 15%<br>1085 min.<br>\$51       | 5%<br>362 min.<br>\$136         | 10%<br>724 min.<br>\$51       | \$541               |
| 1        | Hostal de 2 estrellas   | 0.33             | 14256 / 3564  | 69%<br>2459 min.<br>\$41                         | 10%<br>356 min.<br>\$114            | 15%<br>535 min.<br>\$25        | 3%<br>107<br>\$40               | 3%<br>107<br>\$8              | \$228               |
| 1        | Hostal de 2 estrellas   | 0.33             | 14256 / 3564  | 69%<br>2459 min.<br>\$41                         | 10%<br>356 min.<br>\$114            | 15%<br>535 min.<br>\$25        | 3%<br>107<br>\$40               | 3%<br>107<br>\$8              | \$228               |
| 1        | Albergue                | 0.6              | 25920 / 6480  | 60%<br>3888 min.<br>\$65                         | 10%<br>648 min.<br>\$207            | 20%<br>1296 min.<br>\$61       | 5%<br>324 min.<br>\$122         | 5%<br>324 min.<br>\$23        | \$478               |
| 1        | Restaurante             | 0.134            | 5789 / 1447   | 75%<br>1085 min.<br>\$18                         | 10%<br>145 min.<br>\$46             | 10%<br>145 min.<br>\$7         | 4%<br>58 min.<br>\$22           | 1%<br>15 min.<br>\$1          | \$94                |
| 1        | Restaurante             | 0.134            | 5789 / 1447   | 75%<br>1085 min.<br>\$18                         | 10%<br>145 min.<br>\$46             | 10%<br>145 min.<br>\$7         | 4%<br>58 min.<br>\$22           | 1%<br>15 min.<br>\$1          | \$94                |
| 1        | Restaurante             | 0.134            | 5789 / 1447   | 75%<br>1085 min.<br>\$18                         | 10%<br>145 min.<br>\$46             | 10%<br>145 min.<br>\$7         | 4%<br>58 min.<br>\$22           | 1%<br>15 min.<br>\$1          | \$94                |
| 1        | Museo de Interpretación | 0.267            | 11534 / 2884  | 65%<br>1875 min.<br>\$31                         | 10%<br>288 min.<br>\$92             | 15%<br>433 min.<br>\$20        | 5%<br>144 min.<br>\$54          | 5%<br>144 min.<br>\$10        | \$207               |
| 1        | Puesto Policial         | 0.167            | 7214 / 1804   | 70%<br>1263 min.<br>\$21                         | 10%<br>180 min.<br>\$58             | 15%<br>271 min.<br>\$13        | 4%<br>72 min.<br>\$27           | 1%<br>18 min.<br>\$1          | \$120               |
| 1        | Posta Médica            | 0.2              | 8640 / 2160   | 75%<br>1620 min.<br>\$27                         | 10%<br>216 min.<br>\$69             | 12%<br>259 min.<br>\$12        | 2%<br>43 min.<br>\$16           | 1%<br>22 min.<br>\$2          | \$126               |
| 1        | Cabina de Internet      | 0.066            | 2851 / 713  | 80%<br>570 min.<br>\$10                          | 10%<br>71 min.<br>\$23              | 5%<br>36 min.<br>\$2           | 4%<br>29 min.<br>\$11           | 1%<br>7 min.<br>\$1           | \$47                |
| 1        | Casa del Arqueólogo     | 0.2              | 8640 / 2160   | 65%<br>1404 min.<br>\$23                         | 10%<br>216 min.<br>\$69             | 15%<br>324 min.<br>\$15        | 5%<br>108 min.<br>\$41          | 5%<br>108 min.<br>\$8         | \$156               |

De esta manera cada establecimiento mensualmente pagará por Internet y telefonía fija la suma basada en los cuadros N° 23, N° 24 y N° 37, cuyo resultado es el siguiente:

CUADRO N° 38

### TARIFA MENSUAL TOTAL A PAGAR POR ESTABLECIMIENTO. [24]

| CANTIDAD     | TIPO DE ESTABLECIMIENTO | TARIFA MENSUAL (INTERNET + TELEFONÍA FIJA) |
|--------------|-------------------------|--|
| 1            | Hotel de 5 estrellas    | 160 + 541 = \$701                          |
| 1            | Hostal de 2 estrellas   | 110 + 228 = \$338                          |
| 1            | Hostal de 2 estrellas   | 110 + 228 = \$338                          |
| 1            | Albergue                | 160 + 478 = \$638                          |
| 1            | Restaurante             | 0 + 94 = \$94                              |
| 1            | Restaurante             | 0 + 94 = \$94                              |
| 1            | Restaurante             | 0 + 94 = \$94                              |
| 1            | Museo de Interpretación | 70 + 207 = \$277                           |
| 1            | Puesto Policial         | 70 + 120 = \$190                           |
| 1            | Posta Médica            | 70 + 126 = \$196                           |
| 1            | Cabina de Internet      | 160 + 47 = \$207                           |
| 1            | Casa del Arqueólogo     | 110 + 156 = \$266                          |
| 1            | Cajero Automático       | 70 + 0 = \$70                              |
| <b>TOTAL</b> |                         | <b>\$3503</b>                              |

Para el caso de la telefonía pública, siguiendo la estrategia anterior dada para la telefonía fija, se toma de referencia las tarifas que ofrece el operador Telefónica del Perú para Telefonía Pública Rural, como costo de las tarifas ofrecidas a nuestros clientes. Además las tarifas a pagar a nuestros operadores externos de la PSTN y sistema móvil, por los convenios de compra de grandes bolsas de minutos y políticas de OSIPTEL de reducir las tarifas telefónicas para las zonas rurales del Perú, serán del 15% de nuestras tarifas ofrecidas a los clientes de nuestro proyecto, así como muestra el siguiente cuadro:

CUADRO N° 39

### TARIFAS DE TELEFONÍA PÚBLICA POR MINUTO. [17]

| TIPO   | TARIFAS DE REFERENCIA TELEFÓNICA DEL PERÚ | TARIFAS DE NUESTRO PROYECTO       | TARIFAS A PAGAR A OPERADOR POR BOLSA DE MINUTOS | TARIFICACIÓN |
|--|---|-----------------------------------|---|--------------|
| Llamadas Locales                             | Fijo: S/. 0.50<br>Móvil: S/. 1.00         | Fijo: S/. 0.50<br>Móvil: S/. 1.00 | Fijo: S/. 0.075<br>Móvil: S/. 0.15              | x minuto     |
| Llamadas Larga Distancia Nacional (LDN)      | Fijo: S/. 1.00<br>Móvil: S/. 2.00         | Fijo: S/. 1.00<br>Móvil: S/. 2.00 | Fijo: S/. 0.15<br>Móvil: S/. 0.3                | x minuto     |
| Llamadas Larga Distancia Internacional (LDI) | S/. 2.50                                  | S/. 2.50                          | S/. 0.375                                       | x minuto     |

Así, basándonos en los porcentajes del tipo de llamada por cada establecimiento, que cuenta con teléfonos públicos asumidos para este proyecto y junto con los cuadros N° 22 y N° 39, obtendremos las tarifas mensuales a pagar en dólares (tipo de cambio 1 dólar = 3 soles) por cada uno de ellos, y para los demás teléfonos públicos externos que cubren la demanda de turistas en el centro turístico de Caral, como muestra el siguiente cuadro:

CUADRO N° 40

**MINUTOS MENSUALES Y TARIFA A PAGAR POR TELEFONÍA PÚBLICA. [24]**

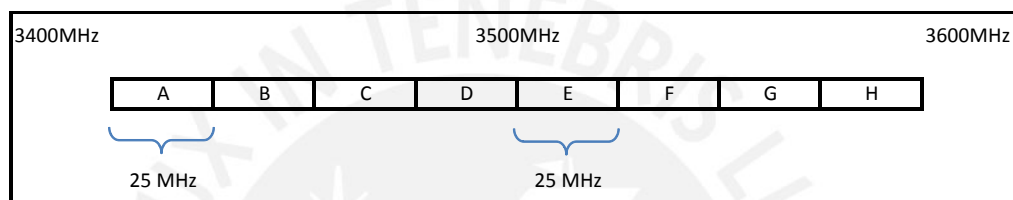
| CANTIDAD | CATEGORÍA  | TRÁFICO (Erlang) | MINUTOS MENSUALES CAPACIDAD TOTAL / MINUTOS MENSUALES USADOS (25% DEL TOTAL) | PORCENTAJES DEL TIPO DE LLAMADA MENSUAL POR CADA ESTABLECIMIENTO |                                     |                                |                                 |                               | TARIFA MENSUAL (\$) |
|----------|--|------------------|--|--|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------|
|          |  |                  |  | MINUTOS DE LLAMADAS LOCALES A FIJO                               | MINUTOS DE LLAMADAS LOCALES A MÓVIL | MINUTOS DE LLAMADAS LDN A FIJO | MINUTOS DE LLAMADAS LDN A MÓVIL | MINUTOS DE LLAMADA LDI A FIJO |                     |
| 1        | Hotel de 5 estrellas                               | 0.1              | 4320 / 1080  | 10%<br>108 min.<br>\$18  | 50%<br>540 min.<br>\$180            | 7%<br>76 min.<br>\$25          | 30%<br>324 min.<br>\$216        | 3%<br>32 min.<br>\$27         | \$466               |
| 1        | Hostal de 2 estrellas                              | 0.13             | 5616 / 1404  | 9%<br>126 min.<br>\$21   | 45%<br>632 min.<br>\$211            | 5%<br>70 min.<br>\$23          | 40%<br>562 min.<br>\$375        | 1%<br>14 min.<br>\$12         | \$642               |
| 1        | Hostal de 2 estrellas                              | 0.13             | 5616 / 1404  | 9%<br>126 min.<br>\$21   | 45%<br>632 min.<br>\$211            | 5%<br>70 min.<br>\$23          | 40%<br>562 min.<br>\$375        | 1%<br>14 min.<br>\$12         | \$642               |
| 1        | Albergue   | 0.467            | 20174 / 5044   | 15%<br>757 min.<br>\$126   | 40%<br>2018 min.<br>\$673           | 10%<br>504 min.<br>\$168       | 30%<br>1513 min.<br>\$1009      | 5%<br>252 min.<br>\$210       | \$2186              |
| 1        | Museo de Interpretación                            | 0.067            | 2894 / 724   | 12%<br>87 min.<br>\$15   | 40%<br>290 min.<br>\$97             | 10%<br>72 min.<br>\$24         | 35%<br>253 min.<br>\$169        | 3%<br>22 min.<br>\$18         | \$323               |
| 1        | Posta Médica                                       | 0.13             | 5616 / 1404  | 15%<br>211 min.<br>\$35  | 40%<br>562 min.<br>\$187            | 14%<br>197 min.<br>\$66        | 30%<br>421 min.<br>\$281        | 1%<br>14 min.<br>\$12         | \$581               |
| 1        | Líneas de Telefonía Pública externas (6 circuitos) | 1.65             | 71280 / 17820  | 50%<br>8910 min.<br>\$1485                                       | 17%<br>3030 min.<br>\$1010          | 15%<br>2673 min.<br>\$891      | 15%<br>2673 min.<br>\$1782      | 3%<br>535 min.<br>\$446       | \$5614              |

**3.3 Diseño de la red**

En el desarrollo del diseño se han considerado conceptos de manuales y brochures de fabricantes como Alvarion, Aperto, RedLine, AirSpan y Motorola, 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 han consultado documentos publicados en el WiMAX Forum, OSIPTEL, y del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para verificar la distribución de frecuencias atribuidas para el uso de WiMAX en el Perú.

**3.3.1 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- sólo 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 [18]. Dado que la tecnología de WiMAX encaja dentro de este rango de frecuencias, se dispondrá del uso y asignación de los bloques para este proyecto según el esquema siguiente:

**Figura 23. División de la banda de frecuencias de 3400 MHz a 3600 MHz. [18]**



Así, la asignación de los bloques entre las operadoras locales se muestra en el cuadro N° 41 a continuación:

**CUADRO N° 41**

**ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS ENTRE LOS OPERADORES. [18]**

| Empresa             | Banda | Área de asignación   |
|---------------------|-------|--|
| Telefónica del Perú | B-F   | Nivel Nacional   |
| Milicom Perú S.A.   | A-E   | Dptos.: Lima, Ancash, Arequipa, Ica, La Libertad, Lambayeque, Piura y Tacna.                               |
| Americatel Perú     | C-G   | Dptos.: Lima y Callao, Arequipa, Ica, La Libertad y Lambayeque.  |
| Telmex Perú S.A.    | D-H   | Provincias: Lima, Callao, Arequipa, Cajamarca, Cusco, Trujillo, Chiclayo, Maynas Piura y Coronel Portillo. |

Se puede observar que la banda está completamente asignada entre cuatro operadores, sin embargo, para efectos del diseño de este proyecto en la presente tesis se utilizarán los bloques A y E.

**3.3.2 Determinación del equipamiento a emplear:** Para este proyecto se compararon equipos WiMAX de diferentes fabricantes mirando sus hojas de especificaciones, los cuales se muestran en el siguiente cuadro:

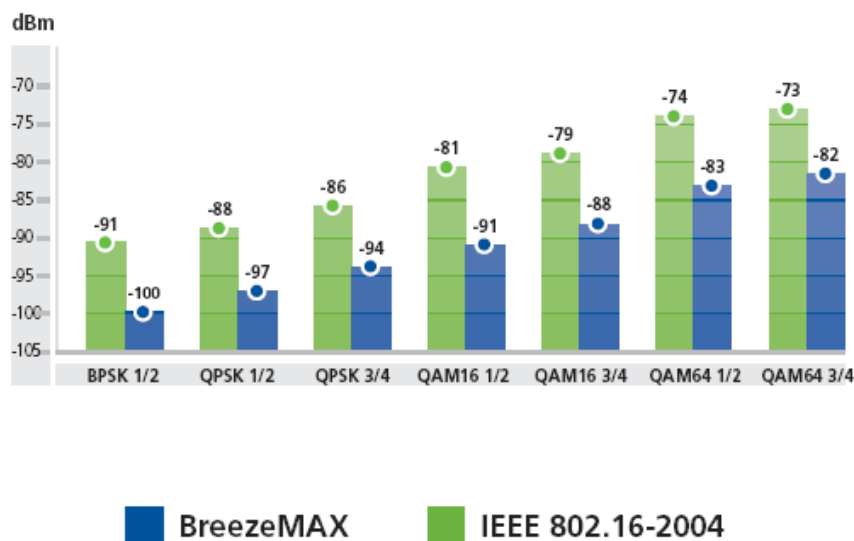
CUADRO N° 42

COMPARACIÓN ENTRE FABRICANTES DE EQUIPOS WIMAX. [24]

| Características |                                   |                    |                               |            |                            |
|-----------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------------------|------------|----------------------------|
| fabricante      | Equipo Comparado                  | Sensibilidad (dBm) | Potencia de Transmisión (dBm) | Estándar   | Modulación                 |
| ALVARION        | BreezeMAX3500                     | -98                | 34                            | Fijo/Móvil | 64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK |
| AIRSPAN         | MicroMAX-SOC                      | -103               | 32                            | Fijo/Móvil | 64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK |
| APERTO          | Packet MAX100                     | -98                | 20                            | Fijo/Móvil | 64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK |
| NAVINI          | Navini RipWave MX 3.4/3.5/3.6 GHz | -141               | 30                            | Fijo/Móvil | 16 QAM, 8 QAM, 4 QAM       |
| PROXIM          | Tsunami MP.16 3500                | -95                | 21                            | Fijo       | 64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK |
| REDLINE         | RedMAX Base Station (AN-100U)     | -98                | 23                            | Fijo       | 64 QAM, 16 QAM, QPSK, BPSK |

Y como resultado de hacer un análisis de los productos ofrecidos por los fabricantes de equipos WiMAX para el estándar fijo (IEE 802.16d-2004), entre los cuales destacan AirSpan, Aperto, Navini, Proxim, RedLine y Alvarion, se eligió a Alvarion porque presenta muy buena sensibilidad de recepción y potencia de transmisión frente a las demás, y además porque la mayoría de las grandes operadoras en el mundo han apostado en trabajar con equipos Wimax del fabricante Alvarion, como por ejemplo Altitud Telecom (Francia), Iberbanda (España), Telmex (Latinoamérica), Entel (chile), etc. A continuación se muestra los niveles de sensibilidad garantizados por Alvarion para sus equipos Wimax:

Figura 24. Sensibilidad de los equipos BreezeMAX del fabricante Alvarion. [19]





Por este motivo, el fabricante Alvarion presenta una importante presencia a nivel mundial de infraestructura instalada en los operadores de telecomunicaciones, lo que hace de la línea de WiMAX de Alvarion una alternativa confiable para el desarrollo del presente proyecto.

Por otro lado, se eligieron los equipos del fabricante NEC para los enlaces microondas punto a punto, y las antenas del fabricante Andrew para las estaciones base y también para los enlaces microondas de la red de transporte, por ser marcas de gran prestigio y confiabilidad en el mercado de las telecomunicaciones.

**3.3.3 Diseño de las estaciones base:** Para determinar el número de estaciones base o celdas que necesitará el proyecto, se analizó la zona geográfica, distancias y cobertura que tendría nuestra red, comenzando desde el NOC ubicado en Barranca hasta llegar a los equipos terminales ubicados muy cerca del Centro Arqueológico de Caral; determinándose, con ayuda de la herramienta de software Google Earth, que sólo era necesaria una estación base para dar cobertura a todos los establecimientos y servicios que ofrecerá nuestra red. Las siguientes figuras muestran los establecimientos desplegados en los alrededores del centro arqueológico que permitirán brindar todo tipo de servicios a los turistas nacionales y extranjeros:

**Figura 25. Establecimientos a la entrada del Centro Arqueológico de Caral. [24]**





Figura 26. Establecimientos dentro del Centro Arqueológico de Caral. [24]



La siguiente figura nos muestra una vista completa de toda la red desplegada, observándose que sólo es necesario tener una estación base WiMAX para cubrir toda la zona de establecimientos involucrada.

Figura 27. Red desplegada para el Centro Arqueológico de Caral. [24]



La distancia desde el NOC de la red hasta la estación base es de 24.48 kilómetros. De otro lado, según la ubicación de la estación base WiMAX respecto de los establecimientos, sólo serán requeridos dos sectores en la estación base, que apuntarán y brindarán servicio en las direcciones mostradas en la siguiente figura:

Figura 28. Sectorización de la Estación Base WiMAX. [24]



De esta manera, en la canalización de la estación base se utilizará la técnica de duplexaje FDD (Duplexación por División de Frecuencia), que utiliza un canal para el tráfico de subida (Uplink) y otro canal para el tráfico de bajada (Downlink). Según especificaciones de operadores y fabricantes con experiencia en otros países, se recomienda una separación de 100 MHz entre la frecuencia central del canal de subida y la frecuencia central del canal de bajada. Considerando que la estación base WiMAX del fabricante Alvarion puede proveer canales de anchos de banda por portadora de 1.75 MHz, 3.5 MHz, 7 MHz y 10 MHz, se elige un canal de 7 MHz, en razón de ser el ancho de banda de canal más conveniente para sectorizar nuestra estación base en 3 frecuencias o canales disponibles distintas sobre una banda de 25 MHz. Por consiguiente, se tienen 3 pares de canales FDD para ser empleados en las dos bandas asignadas por operador (un total de 50 MHz), tanto para el tráfico de subida como para el tráfico de bajada. El siguiente cuadro muestra la canalización de frecuencias resultantes:

CUADRO N° 43

**CANALIZACIÓN DE FRECUENCIAS. [24]**

| Frecuencia Central     |                      |
|------------------------|----------------------|
| Canales Downlink (MHz) | Canales Uplink (MHz) |
| F1: 3503.5             | F1: 3403.5           |
| F1: 3510.5             | F1: 3410.5           |
| F1: 3517.5             | F1: 3417.5           |

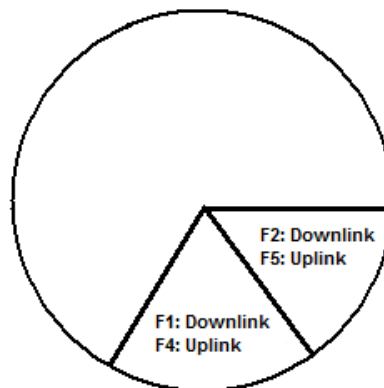


La elección de un canal de 7 MHz se debe al factor de eficiencia espectral que presenta la estación base BreezeMAX de Alvarion que es de 3.24 bps/Hz, lo cual nos da un máximo de 22.68 Mbps (7 MHz x 3.24 bps/Hz) por sector, con el uso de la modulación de canal 64 QAM  $\frac{3}{4}$  y una cobertura máxima de 8 Km alrededor, consiguiendo la velocidad más alta que nos permite obtener ese ancho de banda de canal, lo cual es suficiente para cubrir la demanda de tráfico que nuestra red necesita para el primer sector, el cual es de 20.5984 Mbps, ya que todos los establecimientos se concentran en ese primer sector. En el caso del segundo sector, este servirá para futuros crecimientos en la capacidad de la red y de la infraestructura mobiliaria que se puedan construir en esa zona.

En las especificaciones del fabricante Alvarion se observó que una estación base puede alcanzar hasta 72 Mbps por sector (con canales de 20 MHz) y hasta 432 Mbps por celda (con 6 sectores por estación base) con los equipos BreezeMAX (ver Anexo 1). Y esta capacidad se incrementa de manera gradual al agregarse tarjetas de interface de 18 Mbps cada una al módulo de la estación base. De esta manera, en nuestro caso, la estación base que debe brindar 20.5984 Mbps en total y direccionado al primer sector, necesitará de 2 tarjetas de interface de 18 Mbps cada una (totalizando 36 Mbps) del cual como máximo sólo se podrán usar 22.68 Mbps debido a la canalización, modulación y eficiencia espectral. El segundo sector no poseerá por el momento ninguna tarjeta, ya que la demanda en esa zona todavía no aparece, pero cuando ésta exista ya estará disponible la infraestructura para solo agregársele la tarjeta de interface al segundo sector de la estación base permitiendo satisfacer tal demanda y brindar el servicio de telecomunicaciones de la red.

Como se mencionó anteriormente, la canalización con 7 MHz permite tener 3 pares de frecuencias disponibles para su reutilización y así mejorar el planeamiento de la red, aunque por el momento, el presente proyecto sólo necesita de una estación base con dos sectores, que utilizarán un par de frecuencias centrales por cada sector como se muestra en la figura:

Figura 29. Sectorización y distribución de frecuencias. [24]

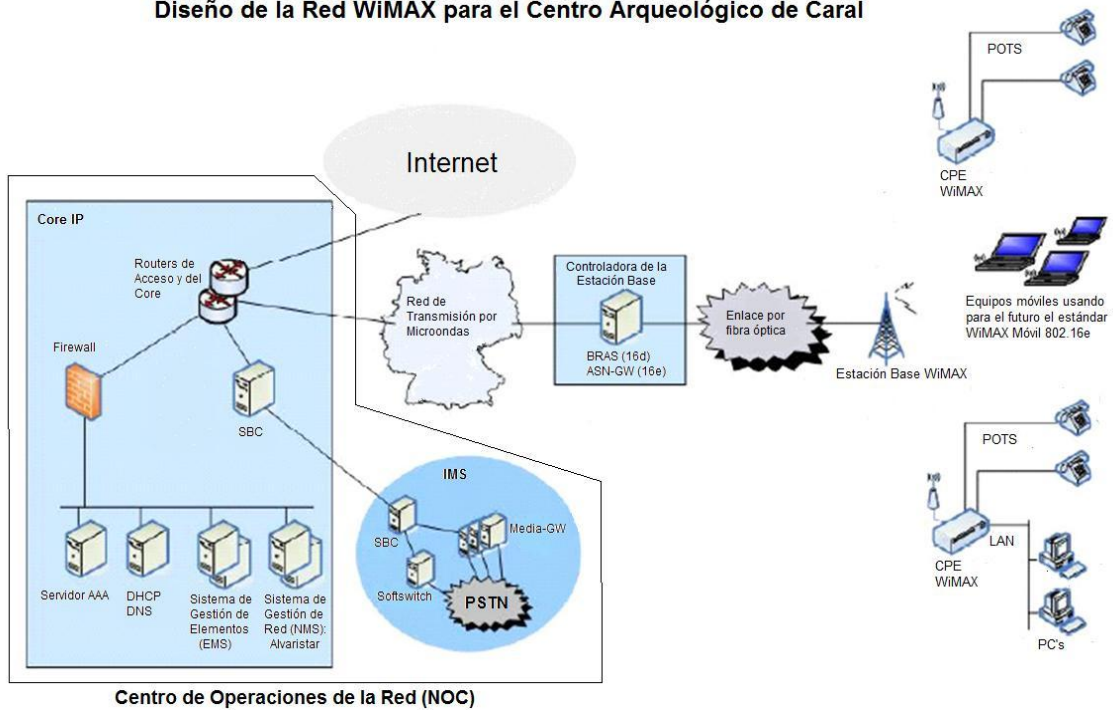


De esta manera, se tendrá para cada sector un radio transceptor (que ofrece un canal de subida y otro de bajada) asociada solo para el primer sector con 2 tarjetas de interface (llamados IDU BreezeMAX, que son los módems WiMAX responsables de las conexiones inalámbricas) como se mencionó anteriormente. Además, cada rack BreezeMAX tiene capacidad para 6 tarjetas de interface como máximo, por lo que se necesitará sólo un rack, 2 antenas sectoriales de 65° y 2 ODU BreezeMAX (que son los radio transceptores que se conectan tanto a los IDU BreezeMAX como a las antenas sectoriales externas para una superior señal de penetración) para la estación base WiMAX. Adicionalmente, el rack tendrá asignado un slot para una tarjeta de interface de backup o redundancia, por lo que se necesitarán 3 tarjetas de interface en total para la estación base de nuestra red.

**3.3.4 Estructura general de la red:** La infraestructura de nuestra red tendrá sus raíces en el NOC, en el cual también estará ubicada la cabecera o estación de enlace principal de microondas de nuestra red, cuya ubicación tiene como coordenadas: Latitud 10°45'41.69"S y Longitud 77°45'11.30"O; desde donde partirán las conexiones necesarias para la Internet y la PSTN (Red Pública de Telefonía Conmutada), cuya estructura se muestra a continuación:

**Figura 30. Estructura completa de la red WiMAX para Caral. [24]**

**Diseño de la Red WiMAX para el Centro Arqueológico de Caral**



En dicho esquema, el NOC de nuestra red estará compuesto del Core IP y del IMS (IP multimedia Subsystem). Así, los equipos que componen el Core IP son: un Router de acceso hacia el proveedor de servicios de Internet (ISP), 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 (cortafuegos) para la seguridad contra intrusos que quisieran infiltrarse en la red interna, un servidor AAA para la autenticación, autorización y contabilidad de los servicios de telecomunicaciones ofrecidos a los clientes; un servidor DHCP y DNS para 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 4) y que será usado para el monitoreo y configuración de las estaciones base y equipos terminales WiMAX del mismo fabricante Alvarion; y por último, un equipo SBC (Session Border Controller) de salida del Core IP para la conexión con el 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 brindarle mayor seguridad y control a los servicios de telefonía 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.

Dentro de las otras estructuras de la red para el Centro Arqueológico de Caral se encuentran: 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.

En cuanto a la ubicación de la estación base, se realizó teniendo en cuenta la línea de vista que existía con los equipos terminales que irían en los establecimientos del presente proyecto, la cantidad de tráfico a cursar por sector y la cobertura que se desea obtener. Por lo cual, la estación base se encuentra en las coordenadas: Latitud 10°52'33.02"S y Longitud 77°33'39.97"O a una altura de 608.39 m.s.n.m. La topología de red a seguir, cuando se tenga más de una



estación base WiMAX debido al crecimiento de tráfico en nuestra red, será la de tipo estrella, siendo su origen esta estación base que se está implementando justo ahora, la cual tendrá la controladora de todas las demás estaciones base WiMAX.

**3.3.5 Cálculo de radio propagación:** Para los cálculos de propagación y cobertura en la red de transporte (enlaces Microondas) y la red de acceso (WiMAX) de nuestro proyecto, se usó la herramienta de software llamado Radio Mobile, que permite analizar y planificar el funcionamiento de sistemas de radiocomunicaciones fijos y móviles, basando sus cálculos en modelos desarrollados de propagación de radio. Éste software es gratuito y se encuentra disponible en la dirección Web: <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>.

La red de transporte estará conformada por el enlace microondas de muy alta frecuencia que unirá al NOC con la estación base y que trabajará la frecuencia de 18 GHz, usando 2 equipos microondas PASOLINK del fabricante NEC y 2 antenas sectoriales del fabricante Andrew (ver Anexo 6). Este enlace microondas brindará un ancho de banda máximo de 40 Mbps, encajando a lo que requiere la demanda inicial de nuestra red en sus inicios de 20.5984 Mbps, y para ello utilizando una modulación 16 QAM y un ancho de banda de canal de 14 MHz.

Un aspecto fundamental en este tipo de enlaces es conocer la visibilidad de la primera Zona de Fresnel, que es la zona de despeje adicional a tener en consideración; además de la línea de vista entre un emisor y un receptor de radio, recomendándose el mínimo equivalente al 60% de la primera Zona de Fresnel para tener un enlace óptimo. [20]

El radio de la Zona de Fresnel se calcula con la siguiente fórmula:

$$r_n = \sqrt{(d1 \times d2 \times n \times \frac{\lambda}{a})}$$

Donde:

d1= distancia del transmisor al punto.

d2= distancia del receptor al punto.

d = la distancia entre los dos puntos que se desea enlazar.

$r_n$  = el radio de la  $n$ -ésima Zona de Fresnel en la parte central.

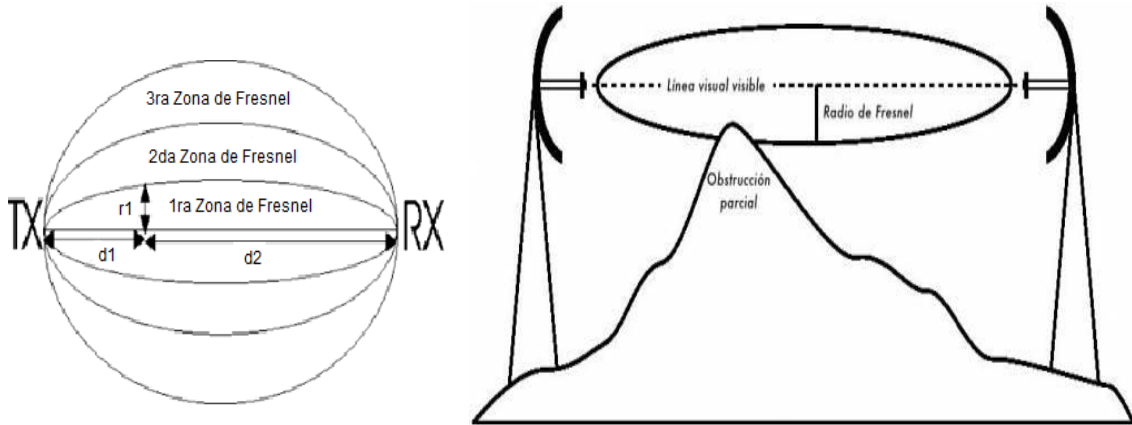
c= velocidad de la luz =  $(3 \times 10^8 \text{ m/s}) = \lambda \times f$

$f$  = frecuencia de transmisión.

$\lambda$  = longitud de la onda empleada.

En el enlace, se considera que  $d_1$  y  $d_2$  son iguales a  $d/2$  y  $n=1$  (primera Zona de Fresnel). [20]

Figura 31. Zonas de Fresnel. [20]



Y el otro aspecto fundamental, para este tipo de enlaces microondas de la red de transporte, y también de la red de acceso (conformado por la estación base WiMAX y los equipos terminales), es el cálculo de la sensibilidad del equipo receptor para que la comunicación sea óptima. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Sensibilidad} = P_{TX} - L_{RF} + G_{TX} + G_{RX} - L_o$$

Donde:

$P_{TX}$  = Potencia del transmisor (dBm).

$L_{RF}$  = Pérdidas originadas por los cables (se considera un valor promedio de -2.5 dB).

$G_{TX}$  = Ganancia de la antena de transmisión.

$G_{RX}$  = Ganancia de la antena de recepción.

$L_o$  = Pérdidas en el espacio libre.

El valor hallado debe ser mayor que la sensibilidad del receptor. [20]

Teniendo como base la parte teórica de los principales cálculos de radio propagación, procedemos a utilizar el software radio Mobile para determinar la

factibilidad del enlace 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
- Y la frecuencia de operación en la que trabajarán

Las siguientes figuras muestran cómo se colocaron los datos en el Radio Mobile:

**Figura 32. Inserción de unidades y coordenadas para la ubicación en el mapa geográfico. [24]**

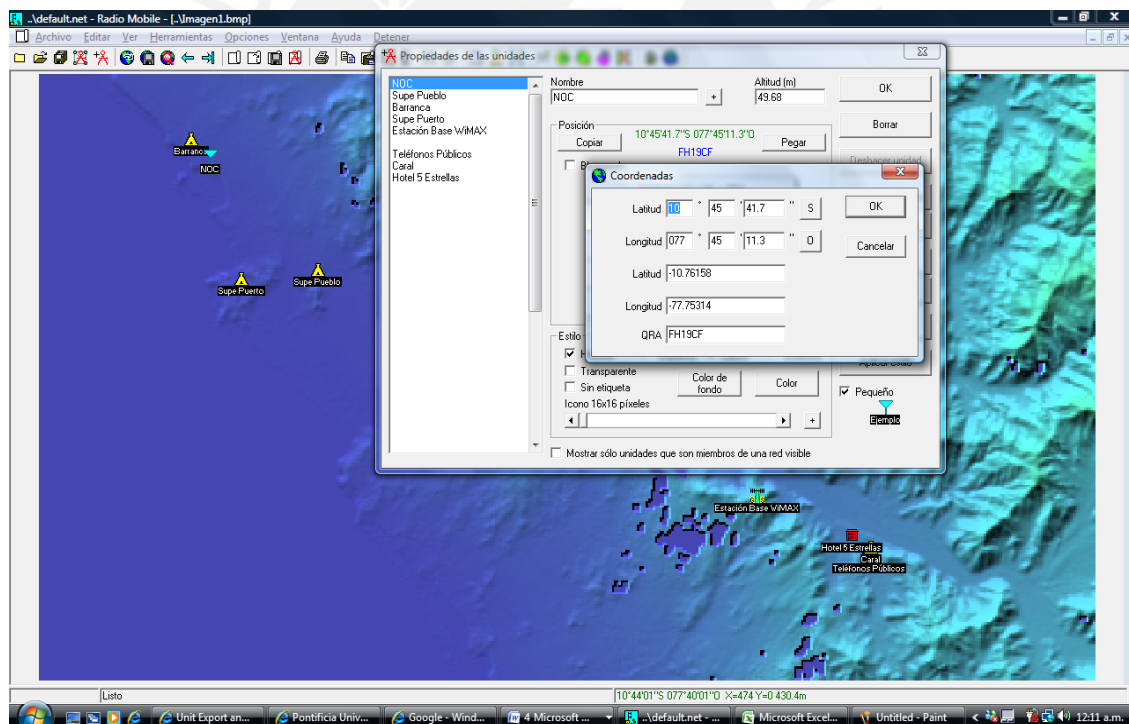


Figura 33. Creación de red de Enlace Microondas e inserción de frecuencia de trabajo. [24]

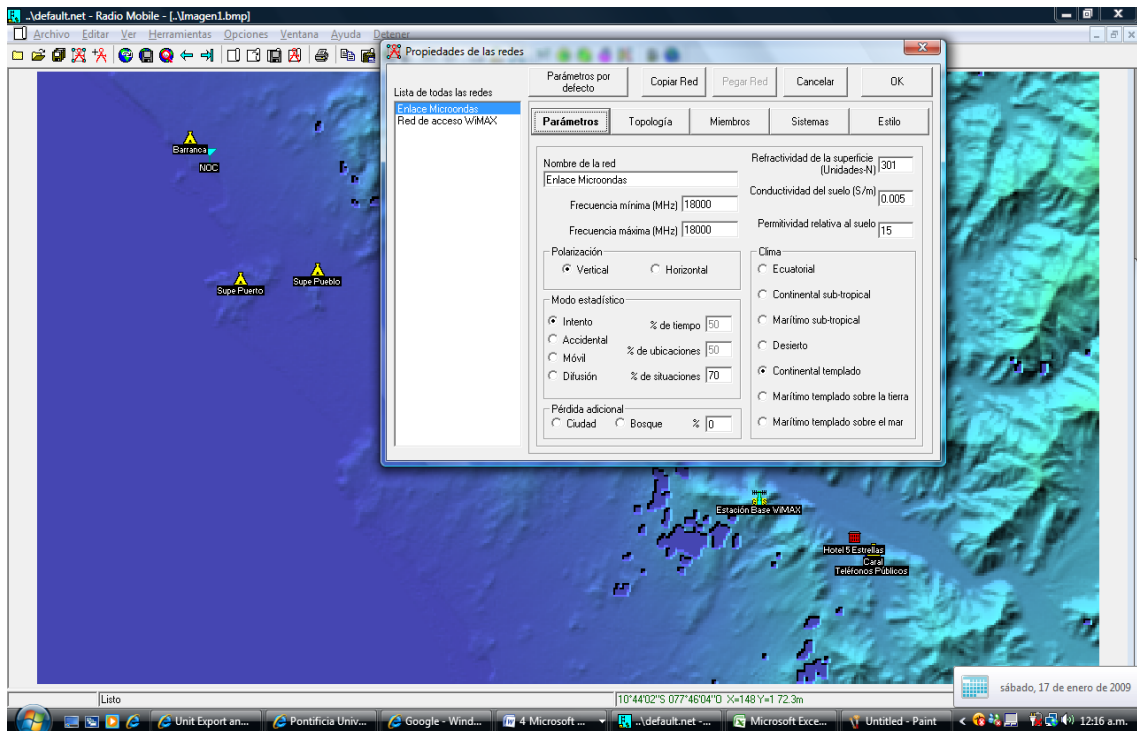
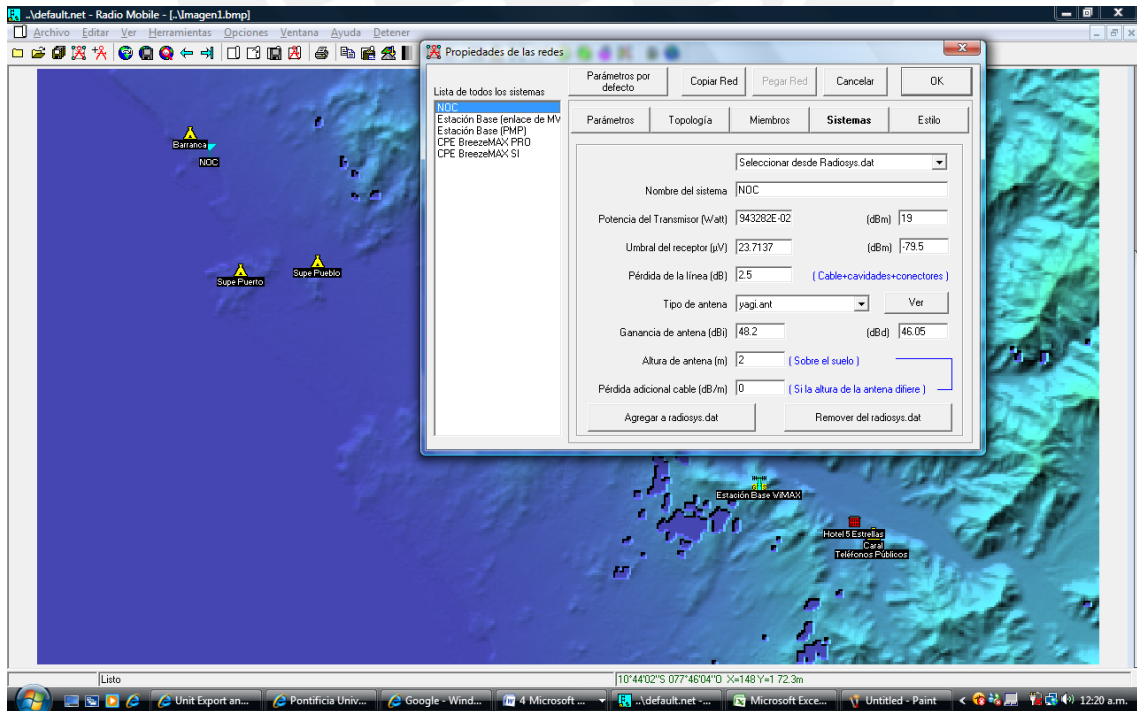
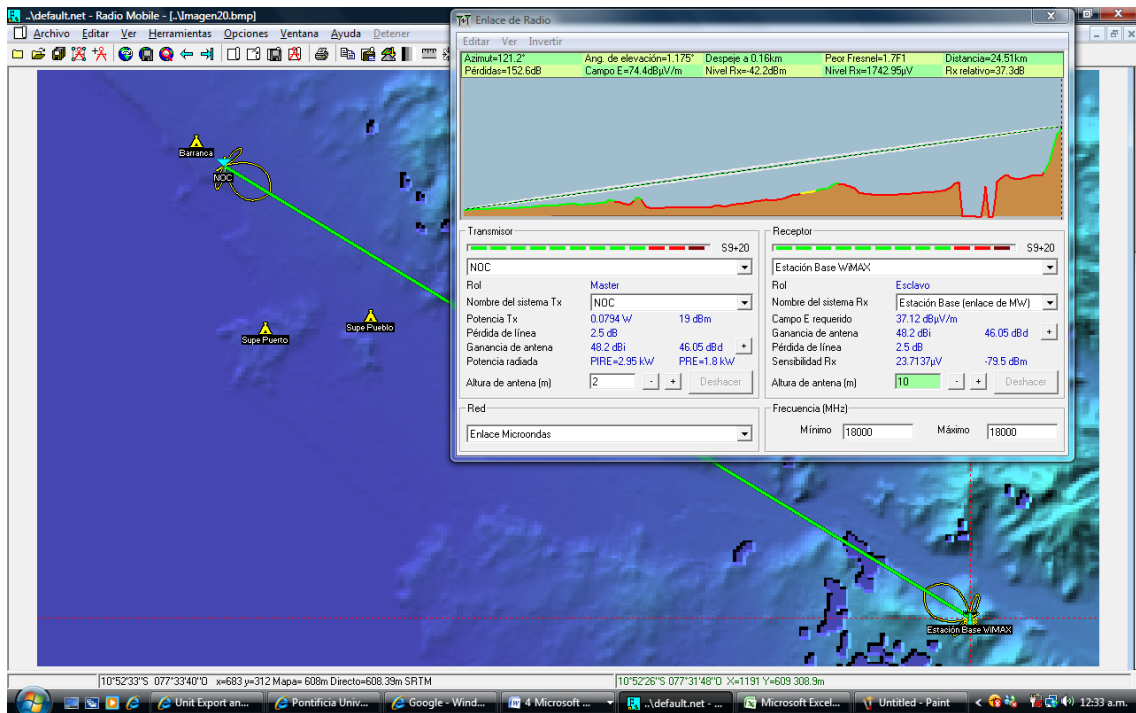


Figura 34. Creación de los equipos RF con sus respectivas características de radio. [24]



**Figura 35. Enlace de Microondas satisfactorio entre el NOC y la estación base WiMAX. [24]**



En la figura 35, la línea de color verde nos indica un enlace óptimo para las comunicaciones microondas entre el NOC y la estación base WiMAX de la red, empleando para ello antenas sectoriales, apreciándose los siguientes valores muy importantes dentro de los cálculos de radio propagación:

- La distancia máxima entre el NOC y la estación base es 24.51 Km.
- La frecuencia de trabajo es de 18 GHz.
- La Zona de Fresnel entre ellos es de 170%, por lo que hay visibilidad completa en su primera zona.
- La pérdida por el espacio libre es de 152.6 dB.
- Y en nivel de recepción es de -42.2 dB, que es mayor a la sensibilidad máxima del equipo receptor microondas que es de -79.5 dB.

La red de acceso estará conformada por la estación base WiMAX y los equipos terminales WiMAX en cada uno de los establecimientos del proyecto. La estación base BreezeMAX que trabajará a las frecuencias de 3503.5 MHz para Downlink y 3403.5 MHz para el Uplink, únicamente con su primer sector activo, utilizará antenas Andrew sectoriales de 65° (ver Anexo 1). Los equipos terminales (CPE's) para los clientes de nuestra red, serán del fabricante Alvarion, modelo







Figura 37. Miembros que componen la red de acceso WiMAX. [24]

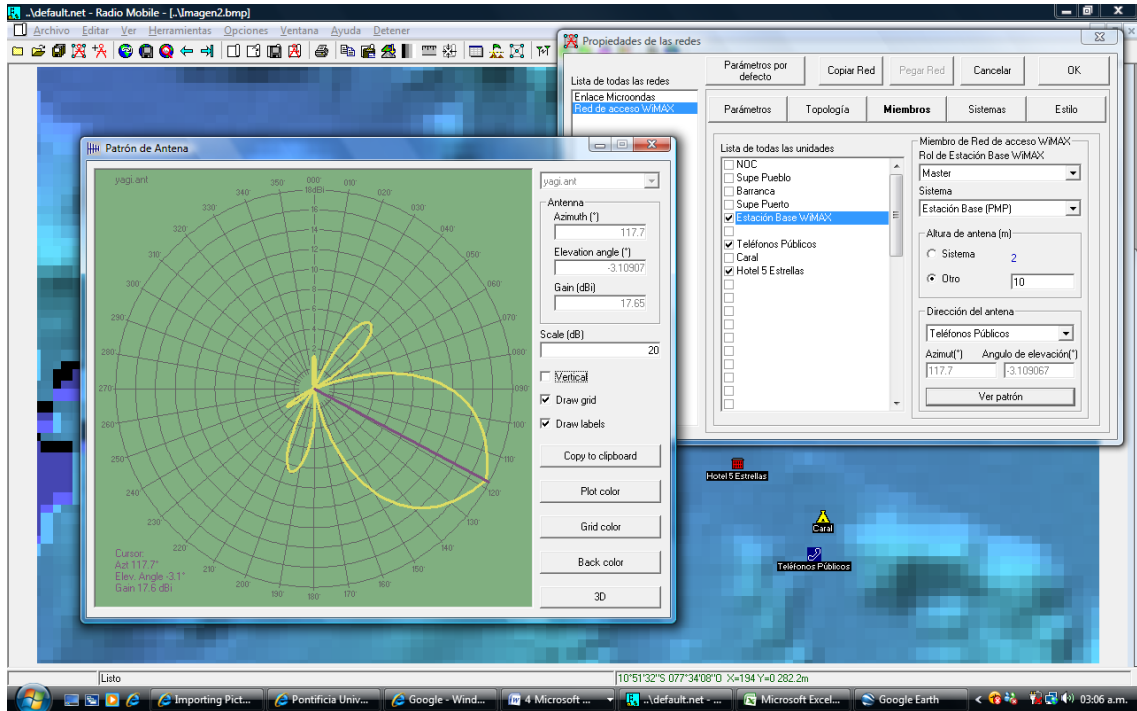
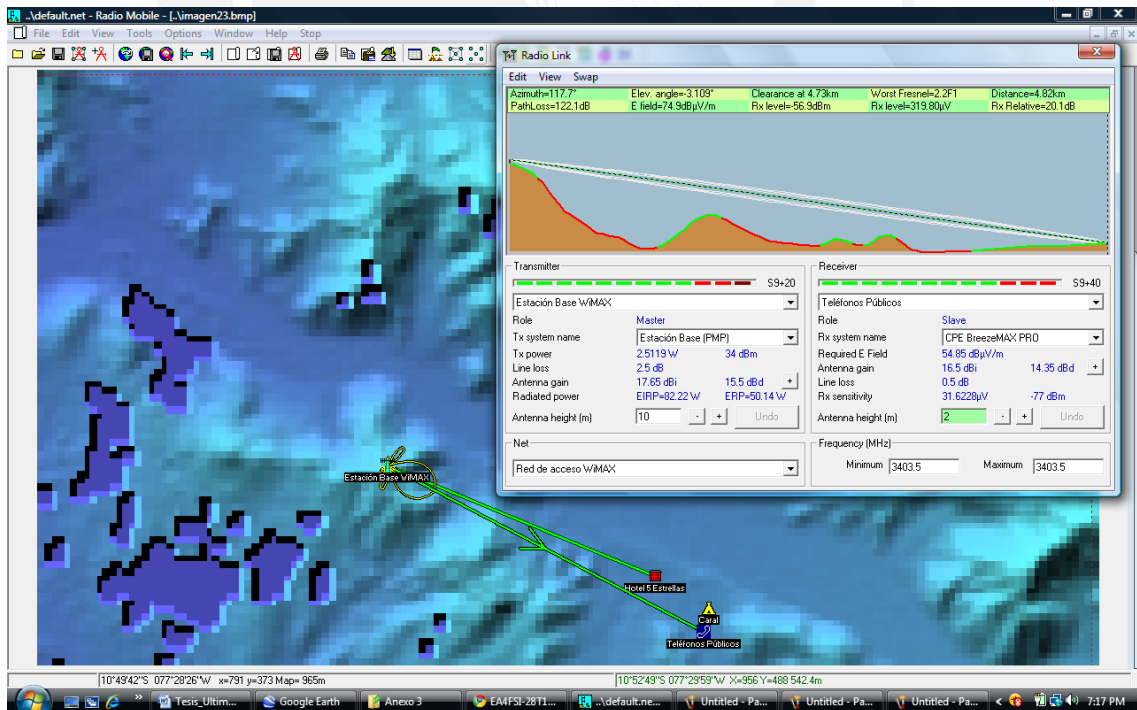


Figura 38. Enlace Punto a Multipunto entre la estación base WiMAX y los CPE's. [24]



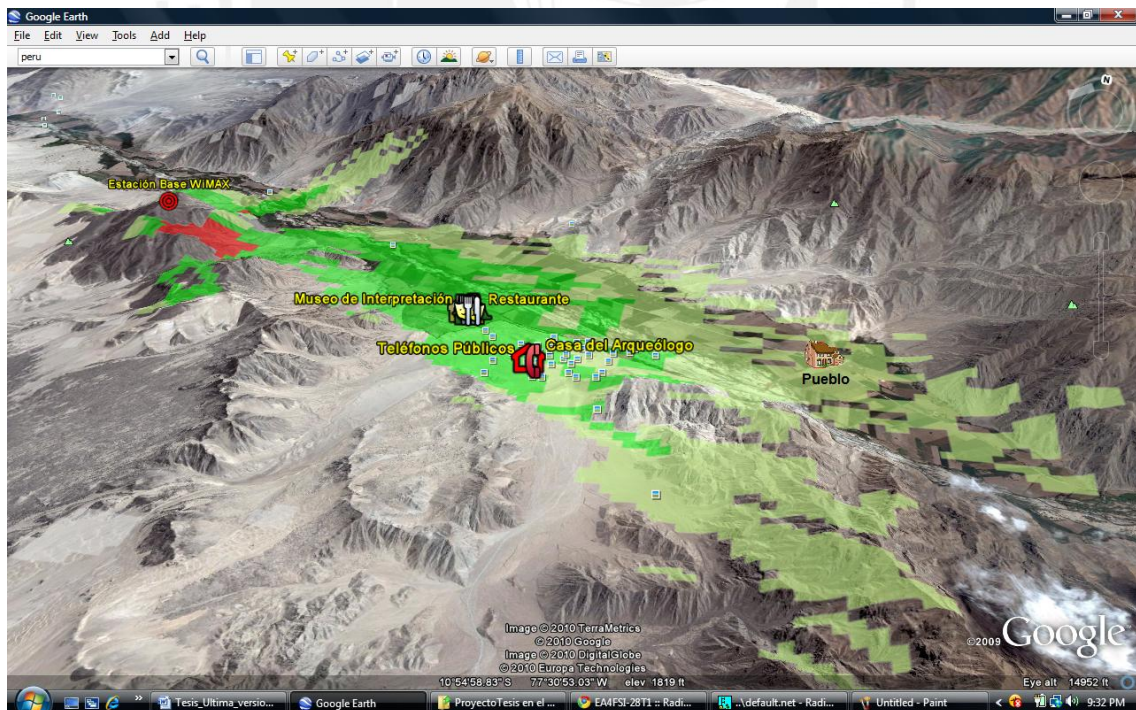
Nuevamente, los enlaces de color verde nos indican que las comunicaciones entre la estación base WiMAX y los equipos terminales WiMAX son las mejores y óptimas. Además se pueden apreciar valores muy importantes

mostrados a continuación, dentro de los cálculos de radio propagación para el downlink (tráfico de bajada de la estación base a los equipos terminales) tomando como referencia al CPE más alejado de la estación base:

- La distancia máxima entre la estación base y el CPE de los teléfonos públicos ubicados en el centro arqueológico de Caral es de 4.82 Km.
- La frecuencia de trabajo de bajada (downlink) es de 3503.5 MHz.
- La Zona de Fresnel entre ellos es de 220%, por lo que hay visibilidad completa en su primera zona.
- La pérdida por el espacio libre es de 122.1 dB.
- Y el nivel de recepción es de -56.9 dBm, que es mayor a la sensibilidad máxima del equipo receptor CPE que es de -77 dBm.

La cobertura downlink se muestra en la figura siguiente, en la que se aprecian los futuros posibles lugares donde construir nuevos establecimientos y proveer de servicios de telecomunicaciones a estos.

**Figura 39. Cobertura de la estación base WiMAX. [24]**



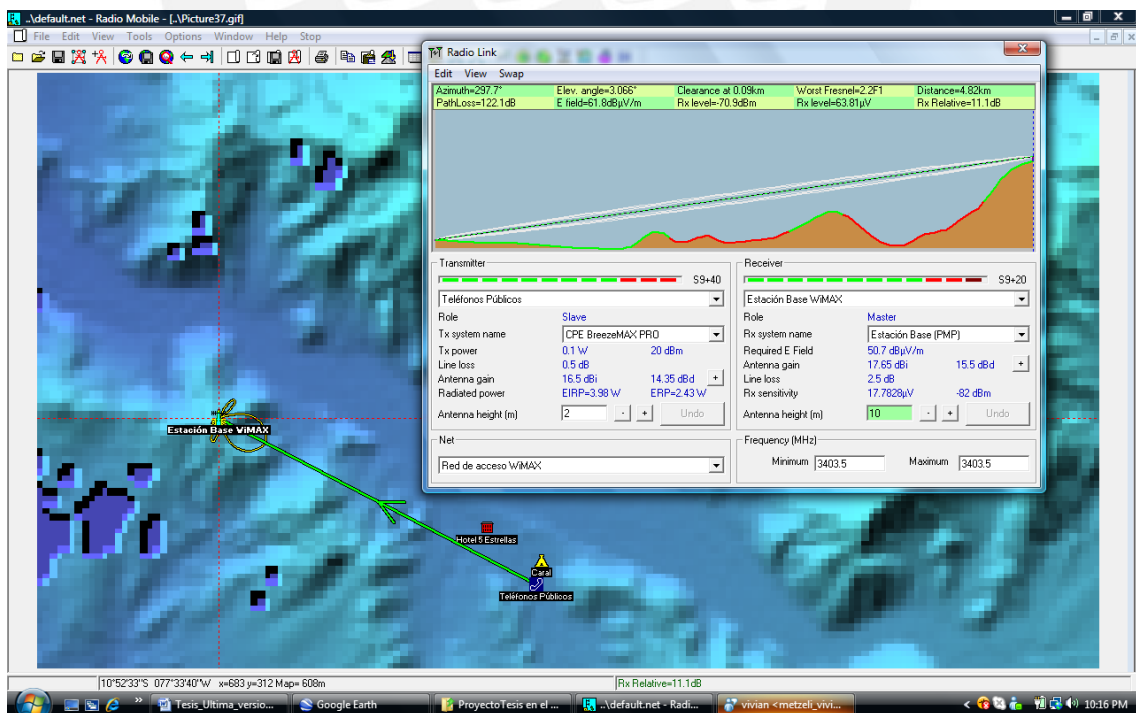
Todo ello muestra que el enlace punto a multipunto entre la estación base WiMAX y los equipos terminales WiMAX fue satisfactoria, empleando para ello la

antena sectorial de la estación base y las antenas omnidireccionales de cada terminal WiMAX como se muestra en la figura 38.

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 las figuras siguientes:

**Figura 40. Enlace satisfactorio de uplink entre CPE más lejano y estación base WiMAX. [24]**



Se observa el enlace de color verde, indicativo de que las comunicaciones entre el equipo terminal WiMAX más lejano y la estación base WiMAX son las



mejores y óptimas, con lo cual, el criterio de uplink se cumple satisfactoriamente. También se aprecian los valores muy importantes a continuación, dentro de los cálculos de radio propagación para el uplink:

- La distancia máxima entre la estación base y el CPE de los teléfonos públicos ubicados en el centro arqueológico de Caral es de 4.82 Km.
- La frecuencia de trabajo de subida (uplink) es de 3403.5 MHz.
- La Zona de Fresnel entre ellos es de 220%, por lo que hay visibilidad completa en su primera zona.
- La pérdida por el espacio libre es de 122.1 dB.
- Y el nivel de recepción es de -70.9 dBm, que es mayor a la sensibilidad máxima de la estación base que es de -82 dBm.

Cabe destacar, que en la visita realizada a los alrededores del Centro Arqueológico de Caral, se observó un pequeño pueblo de habitantes sin servicios de telecomunicaciones, los cuales en un futuro, puedan contar con la economía suficiente para adquirir equipos terminales WiMAX y disfrutar de los servicios que brindará la red del proyecto, dentro de la cobertura de la estación base que se muestra en la figura 39 en la cual dicho pueblito está incluido.

**3.3.6 Especificaciones técnicas de los equipos:** En la estación base se empleará la tecnología WiMAX IEEE 802.16d fijo, cuyas especificaciones son las siguientes (ver Anexo 1):

- Se empleará la estación base BreezeMAX 3500 del fabricante Alvarion que opera en el banda de frecuencias de 3400 MHz a 3600 MHz, que tiene una potencia de transmisión de 34 dBm, polarización vertical y una sensibilidad de recepción de -82 dBm.
- Tendrá un Base Station Shelf, que es un rack de 19" o 22" que contiene compartimientos disponibles para un procesador, un power supply, un power feeder, y módulos de unidades de acceso.
- Tendrá un Base Station Network Processor Unit, que es la unidad de procesamiento central que administra los componentes de los equipos terminales que interconecta.
- Tiene un Base Station Power Supply Unit, para abastecerse de energía.

- Tendrá 2 Base Station Outdoor Radio units, que son los radio transceptores que se encargan del establecimiento de la conexión y la administración del ancho de banda.
- Tendrá 3 tarjetas de interface (Indoor Radio Units).
- Tendrá 2 antenas del fabricante Andrew que operan en la banda de frecuencias de 3400 MHz a 3600 MHz, que tiene una ganancia de antena de 15.5 dBd, son sectoriales de 65° y polarización vertical.

En el equipo terminal o CPE se empleará también la tecnología WiMAX IEEE 802.16d fijo, cuyos elementos son las siguientes (ver Anexo 3):

- Se empleará el CPE BreezeMAX PRO 1100 del fabricante Alvarion, que se divide en dos partes: la parte indoor (interface de datos FastEthernet) y el parte outdoor (que contiene al radio modem, al procesador de datos y una antena integrada omnidireccional), y que opera en la banda de frecuencias de 3400 MHz a 3600 MHz, que tiene una potencia de transmisión de 20 dBm, polarización vertical, ganancia de antena de 14.35 dBd, y una sensibilidad de recepción de -77 dBm.
- Se empleará el Voice Gateway IDU-1D1V, que se conecta al componente IDU del CPE BreezeMAX PRO 1100, y provee servicios de voz y datos para los usuarios residenciales con 1 puerto de datos Fast Ethernet 10/100 Base-T y un puerto POTS RJ11 para telefonía analógica, con funcionalidades de etiquetado VLAN, priorización de tráfico, soporte de los protocolos H.323 y SIP, lo cual lo convierte en una solución para integrar los servicios de voz (VoIP y TDM) y datos (Internet) de banda ancha.

En el enlace microondas punto a punto se empleará la tecnología PDH, cuyas especificaciones son las siguientes (ver Anexo 6):

- Se emplearán 2 equipos de microondas PASOLINK del fabricante NEC que trabajará a una frecuencia de 18 GHz, con una potencia de transmisión de 19 dBm y con una sensibilidad de recepción de -79.5 dB, para brindar 40 Mbps de velocidad de transmisión usando la modulación 16 QAM y un espectro de 14 MHz.
- Tendrá 2 antenas del fabricante Andrew que operan en la banda de frecuencias de 17.7 GHz a 19.7 GHz, que tiene una ganancia de antena

de 46.05 dBd, son sectoriales de 6 pies de diámetro y tienen polarización dual.

- La conexión a internet la proporcionará un ISP (Internet Service Provider), la cual se conectará por medio de fibra óptica hacia nuestro router de acceso y luego hacia nuestro equipo microondas de cabecera, para lo cual se usarán en este último 11 E1 (11 x 2.048 Mbps) de una tarjeta de 16 E1 (ver especificaciones del equipo PASOLINK del fabricante NEC), por requerir nuestra red de transporte un máximo de 20.5984 Mbps.
- La conexión a la telefonía pública la proporcionará un operador PSTN, el cual se conectará por medio de una tarjeta primaria E1 (30 canales de voz) hacia nuestro Media-GW, para brindar el servicio a nuestros clientes de telefonía analógica (teléfonos analógicos y Faxes), y además, tendremos otra tarjeta primaria E1 (2.048 Mbps) que se conectará a nuestro Softswitch para brindar telefonía IP mediante troncales SIP, pues de todos los 54 circuitos que demanda nuestro proyecto para telefonía fija y pública, se necesitará solo un ancho de banda total de 1.5984 Mbps (29.6 Kbps por cada troncal SIP).

Y por último, todos los equipos que integran el Centro de Operaciones de Red (NOC), serán del mayor fabricante de equipos de Core IP e IMS de las redes mundiales llamado Cisco Systems.

**3.3.7 Sistema eléctrico y sistema de protección:** En el presente punto se desarrollan la energía necesaria y la protección obligatoria que se tendrán en consideración para nuestra red de acceso, además de indicarse el tipo de torre que se empleará para la estación base WiMAX del proyecto.

El sistema eléctrico proveerá de energía a los distintos equipos de telecomunicaciones mediante el uso de paneles solares del fabricante Kyocera (ver Anexo 2), debido a la ubicación de la estación base en una zona rural, y además, los equipos estarán resguardados en caso de cortes de energía por medio de baterías de la marca Powerfit (ver Anexo 2). Todos estos equipos trabajan a - 48 V DC, por lo que se necesitará un rectificador de energía con resguardo para cumplir esta función del fabricante Eltek (ver Anexo 2). Adicionalmente se instalarán interruptores termo-magnéticos (breakers) dependiendo del amperaje que



requieran nuestros equipos para así cuidarlos contra posibles descargas y cortocircuitos.

Para nuestra estación base WiMAX BreezeMAX (ver Anexo 1), según la hoja de especificaciones se tiene las siguientes características eléctricas:

- Potencia a plena carga de la estación base BreezeMAX: 1420 W para un total de 6 sectores, pero como en nuestro caso sólo usaremos un sector, se consumirá 236.7 W, pero se considera 295.87 W porque en la práctica se presentan picos de voltaje, por lo que se recomienda dimensionar un 25% más.
- Consumo de potencia del equipo microondas PASOLINK: 58 W
- Voltaje nominal: - 48 V
- Carga de corriente total:  $( 295.87 \text{ W} + 58 \text{ W} ) / 48 \text{ V} = 12.33 \text{ A}$
- Consumo total por 24 horas:  $12.33 \text{ A} \times 24 = 295.92 \text{ A/día}$

Con base a estos datos, el dimensionamiento de los paneles solares es así:

- Se tiene el panel solar modelo KC120 del fabricante Kyocera, con una potencia de 120 W, y tensión nominal de 16.9 V, por lo que tendrá:  $120 \text{ W} / 16.9 \text{ V} = 7.10 \text{ A/H}$
- El panel generará un amperaje de  $7.10 \text{ A/H} \times 24 \text{ H/día} = 170.4 \text{ A/día}$
- La cantidad de paneles totales a usar será entonces  $(295.92 \text{ A/día}) / (170.4 \text{ A/día}) = 1.74$ , es decir se usarán en total dos paneles solares para la estación base WiMAX.

El dimensionamiento de las baterías será:

- Para encontrar la batería ideal a usar en las hojas de especificaciones del fabricante Powerfit, se necesita saber el consumo de amperaje total por hora, lo cual es  $( 295.92 \text{ A/día} ) / 24 = 12.33 \text{ A/H}$ , por lo que se utilizará el modelo S312/26 G5 que ofrece una tensión nominal de 12 V y un amperaje de 15.6 A/H.

Acabando con el sistema eléctrico, el dimensionamiento del rectificador sería:

- Voltaje: - 48 V DC
- Potencia total necesaria:  $295.87 \text{ W} + 58 \text{ W} = 353.87 \text{ W}$ .

Para lo cual se elige como rectificador al modelo Flatpack 700 48VDC del fabricante Eltek.

El sistema de protección proveerá la protección necesaria a los equipos de telecomunicaciones y constará 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 (ver Anexo 2), que estará instalado en lo más alto de la torre y que se conectará con los demás equipos de telecomunicaciones, con lo cual se 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 último, para el presente proyecto se emplearán torres auto soportadas (ver Anexo 5), cuya característica es que son robustas y pesadas; y muy resistentes a los fuertes vientos en altura, por lo cual son más caras que las demás.

## Capítulo 4:

### Análisis de costos

#### 4.1 Costos de inversión

Habiéndose definido previamente los equipos a utilizar y emplear en la infraestructura de red total del presente proyecto, procederemos a calcular la suma total de costos de estos, que se encuentran desplegados en la red de acceso, red de transporte y Centro de Operaciones de nuestra red (NOC), considerando costos referenciales proporcionados por la empresa “ELECTRODATA S.A.C.”, quienes suministran soluciones empleando equipos Alvarion, Cisco, Andrew, NEC, etc. [21], y también del artículo publicado por el WiMAX Forum llamado: “WiMAX: The Business Case for Fixed Wireless Access in Emerging Markets” [22], en donde de ambos se toman valores referenciales para los costos finales de nuestro proyecto.

**4.1.1 Red de acceso:** A continuación se detallan los elementos que componen la red de acceso y sus respectivos costos referenciales proveídos por Electrodata en el siguiente cuadro (ver Anexo 8):

CUADRO N° 44

## COSTO DE INVERSIÓN POR ESTACIÓN BASE. [24]

| Descripción  | Precio (\$) |
|--|-------------|
| 1 Licencia de administración para AlvariSTAR por BTS | 3000        |
| 1 BreezeMAX Base Station Shelf                       | 3580        |
| 1 BreezeMAX Network Processor 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       |
| 2 Antenas Andrew sectoriales de 120 grados           | 900         |
| 1 Torre autosoportada de 10 m                        | 3000        |
| Sistema de Protección Eléctrica (UPS)                | 900         |
| 2 Paneles solares                                    | 1000        |
| Costo inicial de instalación de energía AC           | 2000        |
| Motor generador AC de (respaldo)                     | 1500        |
| Rectificador AC                                      | 2000        |
| 1 Batería  | 600         |
| Instalación de energía                               | 700         |
| Armarios, cableado, ferretería, etc                  | 3000        |
| Sistema de puesta a tierra                           | 1500        |
| Estudio del Impacto Ambiental                        | 700         |
| Preparación de obras civiles y construcción          | 3000        |
| Estudios de la ingeniería de comunicaciones          | 1000        |
| Permisos municipales, licencias, etc                 | 2000        |
| Transporte de equipos                                | 1000        |
| Total  | 63250       |

Se estima que nuestra estación base WiMAX tendrá un costo de US\$63250, el cual será incrementado en un 3% a fin de cubrir contingencias económicas correspondientes a imprevistos y/o variación de precios de los equipos, obteniéndose el costo total para la estación base así:

CUADRO N° 45

## COSTOS ADICIONALES. [24]

| Rubros           | Costo por Estación Base (\$) |
|------------------|------------------------------|
| Costo de capital | 63250                        |
| Contingencias    | 1898                         |
| Total            | 65148                        |

Por lo tanto la estación base WiMAX del presente proyecto tendrá el costo total de US\$65148.

Para el equipo terminal WiMAX, se empleará el modelo CPE BreezeMAX PRO 1100, que tiene un costo de US\$350 cada uno y además vendrá acompañado del Voice Gateway IDU-1D1V que tiene un costo de US\$100 cada uno; que serán entregados a cada establecimiento que conforma este proyecto a calidad de préstamo, debido a que su costo todavía resulta elevado para cobrarse al cliente final. De acuerdo a ello y al número de establecimientos que se observan en las figuras 25 y 26, se tienen 15 equipos terminales BreezeMAX PRO 1100 y 12 equipos terminales Voice Gateway, pues no se consideran éstos últimos equipos en las soluciones del cajero automático ni de los teléfonos públicos externos. Todo ello costaría en total US\$6450.

**4.1.2 Red de transporte:** A continuación se detallan los elementos que componen la red de transporte y sus respectivos costos referenciales proveídos por Electrodata en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 46

**COSTOS DEL ENLACE MICROONDAS PUNTO A PUNTO. [24]**

| Descripción                                   | Precio ( \$ ) |
|---|---------------|
| 2 Equipos Microondas PASOLINK                 | 8000          |
| 2 antenas Andrew para el enlace Punto a Punto | 1200          |
| 1 Torre autosoportada de 5 m                  | 1500          |
| Sistema de Protección Eléctrica (UPS)         | 900           |
| Costo inicial de instalación de energía AC    | 2000          |
| Motor generador AC de (respaldo)              | 1500          |
| Rectificador AC                               | 2000          |
| Instalación de energía                        | 700           |
| Armarios, cableado, ferretería, etc           | 2000          |
| Sistema de puesta a tierra                    | 1500          |
| Preparación de obras civiles y construcción   | 1000          |
| Permisos municipales, licencias, etc          | 1500          |
| Transporte de equipos                         | 800           |
| Total   | 24600         |

El presupuesto total para nuestro enlace punto a punto es de será de US\$24600.

**4.1.3 Centro de Operaciones de Red (NOC):** Estará conformado por los equipos de la red Core IP y los equipos de la red IMS, donde todos serán del mayor fabricante de equipos de redes llamado Cisco System, por ser el más reconocido a nivel mundial y por su alta tecnología desarrollada (ver Anexo 7). De este modo se tendrá un contrato de venta de los equipos así como un contrato de soporte las 24 horas del día y los 365 días del año, ante cualquier falla o inconveniente que pueda tener el NOC de nuestro proyecto.

De esta manera, el costo total aproximado de los equipos del NOC será de US\$150000 y del contrato de soporte US\$12000 por año, el cual será considerado como gasto de operación anual.

La gestión de la red se va a llevar a cabo por medio del sistema AlvariSTAR (ver Anexo 4), proporcionado por Alvarion, que es un conjunto de aplicaciones de software de gestión, control, mantenimiento, seguridad y configuración de las estaciones base y CPE's, cuyo costo del servidor con la licencia del software AlvariSTAR 4.5 que incluye una base de datos Oracle interna, incluyendo el hardware, será de US\$12000, y el costo de cada licencia por CPE será de US\$18.

Por último se tiene el costo de la infraestructura del NOC a construir calculado en US\$20000, la misma que constará de un inmueble de 1 piso que albergará todos los equipos, en cuyo techo se construirá la torre cabecera principal para el enlace microondas de transporte.

Sumando todos los costos tanto de la red de acceso, la red de transporte y el NOC, se tiene un costo de capital de inversión (CAPEX) de US\$278468.

## 4.2 Costos de operación

Estos costos se relacionan con la operación y mantenimiento correctivo y preventivo de la red, cuyos costos referenciales son proveídos por Electrodata e información de otros proveedores de servicios, los cuales se muestran en el siguiente cuadro:



CUADRO N° 47

**COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED. [24]**

| Descripción  | Precio ( \$ ) |
|--|---------------|
| Mantenimiento de equipos del NOC   | 5000          |
| Pago anual por el servicio de soporte de Cisco para el NOC                             | 12000         |
| Electricidad   | 2000          |
| Mantenimiento preventivo anual de la estación base                                     | 1500          |
| Mantenimiento correctivo de la estación base   | 2000          |
| Gastos de venta y márketing  | 2000          |
| Mano de obra por instalación de los equipos terminales (CPE's)                         | 3200          |
| Pago anual por canon radioeléctrico (banda de frecuencia alquilada a operador)         | 24000         |
| Mantenimiento operativo de los equipos terminales (CPE's) (soporte técnico al usuario) | 500           |
| Mantenimiento de los locales (NOC y estación base) y servicios                         | 2400          |
| Alquiler del terreno para la estación base   | 3600          |
| Pago al ISP por el servicio de interconexión y acceso de Internet                      | 18000         |
| Gastos generales y Administrativos   | 36000         |
| Total  | 112200        |

En cuanto a la banda de frecuencia licenciada en la cual operará nuestra plataforma de telecomunicaciones de 3.5 GHz, por el alto costo que presenta obtener una concesión con el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) como ocurrió en el caso de la empresa “Yota del Perú” al adquirir la frecuencia de 2.6 GHz por 20 años a un precio de US\$3900001 [23], nuestro enfoque de negocios empleado para este proyecto de operar en una banda licenciada de 3.5GHz, será la de firmar un acuerdo y contrato de negocios con la operadora Nextel del Perú (antes Milicom Perú), de operar en su banda de frecuencias sin costo alguno, beneficiándonos a desarrollo de nuestro proyecto, y para ellos les generaría los beneficios de obtener ganancias de la venta hacia nosotros de los servicios de telefonía fija, pública e internet, y lo más importante, darles más penetración de llegada tanto comercial como tecnológica frente al MTC y al estado peruano, ampliando la cobertura de sus servicios de telecomunicaciones en todo el país y sobre todo en el sitio turístico de Caral. En el peor de los casos de no alcanzar este objetivo se buscará el alquiler de la banda de frecuencia al precio más competitivo entre los operadores Nextel, Telmex y Telefónica del Perú, por lo que se asumirá como contingencia en nuestro proyecto este alquiler con un precio de US\$24000 como gasto operativo anual, como se colocó en el cuadro anterior.

Por todo ello se obtiene la suma total de US\$112200 anuales para el costo de operación (OPEX) de toda la red del proyecto.

### 4.3 Ingresos

El presente proyecto como se mencionó al comienzo estará dividido en dos fases: la primera desde el año 2007 al 2011, tendrá un crecimiento restringido de turistas al no contar todavía con los medios e infraestructura turística y de telecomunicaciones, pero a inicios del 2011 es cuando se da el gran cambio con la construcción de los establecimientos que acogerán a todos los turistas que visiten en Centro Arqueológico de Caral, y además, la creación de la red de telecomunicaciones, que proveerá de los servicios de telefonía fija, telefonía pública e Internet a todos los establecimientos hasta ahora construidos. Por ello es que desde el año 2011 se tomarán los ingresos que tendrá nuestra red WiMAX y mirando los cuadros 38 y 40, podemos calcular el ingreso mensual de US\$13957, lo cual genera un ingreso anual neto que asciende a US\$167484. La segunda fase que comienza desde el año 2012 hacia adelante tendrá un alto crecimiento de turistas especialmente de extranjeros no especializados que sienten mucha curiosidad de visitar la ciudadela más antigua de América. Y como se observa en el cuadro número 4, el crecimiento de turistas totales sería exponencial, lo cual es reflejado en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 48

#### DEMANDA POTENCIAL DE TURISTAS DIARIOS POR AÑOS. [24]

| AÑO  | INGRESO MÁXIMO DE TURISTAS MENSUALES | INGRESO MÁXIMO DE TURISTAS DIARIOS | NÚMERO DINÁMICO MÁXIMO DE TURISTAS DIARIOS | NÚMERO DE TURISTAS QUE SE QUEDARÍAN MAS DE UNA NOCHE EN CARAL |
|------|--------------------------------------|------------------------------------|--|---|
| 2011 | 15450                                | 515                                | 600  | 85  |
| 2012 | 21150                                | 705                                | 815  | 110   |
| 2013 | 27750                                | 925                                | 1055                                       | 130   |
| 2014 | 35550                                | 1185                               | 1325                                       | 140   |
| 2015 | 43950                                | 1465                               | 1620                                       | 155   |
| 2016 | 53250                                | 1775                               | 1948                                       | 173   |
| 2017 | 63600                                | 2120                               | 2305                                       | 185   |
| 2018 | 74700                                | 2490                               | 2690                                       | 200   |
| 2019 | 86700                                | 2890                               | 3105                                       | 215   |
| 2020 | 99600                                | 3320                               | 3570                                       | 250   |

Lo que traerá más inversión en infraestructura privada de hospedaje y de servicios turísticos en el rango de estos años, por lo que de acuerdo a este crecimiento, se presenta la demanda futura de establecimientos que el centro turístico de Caral demandará hasta el 2020, todo ello asumiendo el ingreso de la inversión privada que se beneficiará con la plataforma de servicios de telecomunicaciones instalada para Caral, como se muestra en el siguiente cuadro:

CUADRO N° 49

**DEMANDA FUTURA DE ESTABLECIMIENTOS PARA CARAL HASTA EL 2020. [24]**

|                                      | ESTABLECIMIENTOS CONSTRUIDOS EN CADA AÑO |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ESTABLECIMIENTOS ACUMULADOS CONSTRUIDOS EN TOTAL |      |      |       |      |       |      |       |      |       |
|--------------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|
|                                      | 2011                                     | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2011   | 2012 | 2013 | 2014  | 2015 | 2016  | 2017 | 2018  | 2019 | 2020  |
| Hotel 5 estrellas                    | 1  | -    | -    | -    | -    | 1    | -    | -    | -    | 1    | 1  | 1    | 1    | 1     | 1    | 2     | 2    | 2     | 2    | 3     |
| Hostal 2 Estrellas                   | 2  | -    | -    | -    | -    | 2    | -    | 1    | -    | 1    | 2  | 2    | 2    | 2     | 2    | 4     | 4    | 5     | 5    | 6     |
| Albergue                             | 1  | -    | -    | 1    | -    | -    | -    | 1    | -    | -    | 1  | 1    | 1    | 2     | 2    | 2     | 2    | 3     | 3    | 3     |
| Restaurante                          | 3  | -    | -    | 1    | -    | 2    | -    | 2    | -    | 1    | 3  | 3    | 3    | 4     | 4    | 6     | 6    | 8     | 8    | 9     |
| Museo de Interpretación              | 1  | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 1  | 1    | 1    | 1     | 1    | 1     | 1    | 1     | 1    | 1     |
| Puesto Policial                      | 1  | -    | -    | -    | -    | 1    | -    | -    | -    | -    | 1  | 1    | 1    | 1     | 1    | 2     | 2    | 2     | 2    | 2     |
| Posta Médica                         | 1  | -    | -    | -    | -    | 1    | -    | -    | -    | -    | 1  | 1    | 1    | 1     | 1    | 2     | 2    | 2     | 2    | 2     |
| Cajero Automático                    | 1  | -    | -    | 1    | -    | -    | -    | 1    | -    | -    | 1  | 1    | 1    | 2     | 2    | 2     | 2    | 3     | 3    | 3     |
| Cabina de Internet                   | 1  | -    | -    | 1    | -    | -    | -    | -    | -    | 1    | 1  | 1    | 1    | 2     | 2    | 2     | 2    | 2     | 2    | 3     |
| Teléfonos Públicos Internos/Externos | 14/6                                     | -    | -    | 4/6  | -    | 8    | -    | 6    | -    | 4/6  | 14/6   | -    | -    | 18/12 | -    | 26/12 | -    | 32/12 | -    | 36/18 |

Tomando en cuenta que los establecimientos construidos desde el 2014 hasta el 2020 estarán junto al Pueblo que se ve en la figura 39, demandando así la habilitación y puesta en marcha del otro sector libre de la estación base para cubrir las necesidades de servicios de telecomunicaciones de los nuevos establecimientos y del propio pueblo. En cuanto al tráfico, se observa que para el año 2018 será necesario la instalación de una nueva estación base WiMAX, para cubrir la demanda de exceso de tráfico que ya no es cubierta por solo la primera estación base, y que sería instalado en el pueblo.

Además, cada establecimiento necesitará del CPE BreezeMAX PRO junto con el Voice Gateway, para recibir los servicios de telefonía e Internet, pero en el caso de los teléfonos públicos externos, por cada 6 líneas públicas, se necesitará solo 1 CPE BreezeMAX PRO, lo mismo que ocurrirá con el cajero automático que sólo necesitará del 1 CPE BreezeMAX PRO, como muestra el siguiente cuadro de la demanda de equipos terminales para Caral contemplado en nuestro proyecto.

CUADRO N° 50

DEMANDA FUTURA DE EQUIPOS TERMINALES (CPE) PARA CARAL HASTA EL 2020. [24]

|                         | EQUIPOS TERMINALES PARA CADA AÑO<br>(BreezeMax PRO + Voice Gateway) |      |      |      |      |      |      |      |      |      | EQUIPOS TERMINALES ACUMULADOS INSTALADOS EN TOTAL<br>(BreeMAX PRO + Voice Gateway) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                         | 2011  | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2011   | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  | 2016  | 2017  | 2018  | 2019  | 2020  |
| Hotel 5 estrellas       | 1+1   | -    | -    | -    | -    | 1+1  | -    | -    | -    | 1+1  | 1+1  | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 3+3   |
| Hostal 2 Estrellas      | 2+2   | -    | -    | -    | -    | 2+2  | -    | 1+1  | -    | 1+1  | 2+2  | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 4+4   | 4+4   | 5+5   | 5+5   | 6+6   |
| Albergue                | 1+1   | -    | -    | 1+1  | -    | -    | -    | 1+1  | -    | -    | 1+1  | 1+1   | 1+1   | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 3+3   | 3+3   | 3+3   |
| Restaurante             | 3+3   | -    | -    | 1+1  | -    | 2+2  | -    | 2+2  | -    | 1+1  | 3+3  | 3+3   | 3+3   | 4+4   | 4+4   | 6+6   | 6+6   | 8+8   | 8+8   | 9+9   |
| Museo de Interpretación | 1+1   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 1+1  | 1+1  | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   |
| Puesto Policial         | 1+1   | -    | -    | -    | -    | 1+1  | -    | -    | -    | -    | 1+1  | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 2+2   |
| Posta Médica            | 1+1   | -    | -    | -    | -    | 1+1  | -    | -    | -    | -    | 1+1  | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 2+2   |
| Cajero Automático       | 1+0   | -    | -    | 1+0  | -    | -    | -    | 1+0  | -    | -    | 1+0  | 1+0   | 1+0   | 2+0   | 2+0   | 2+0   | 2+0   | 3+0   | 3+0   | 3+0   |
| Cabina de Internet      | 1+1   | -    | -    | 1+1  | -    | -    | -    | -    | -    | 1+1  | 1+1  | 1+1   | 1+1   | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 2+2   | 3+3   |
| Casa del Arqueólogo     | 1+1   | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 1+1  | 1+1  | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   | 1+1   |
| Teléfonos públicos      | 2+0   | -    | -    | 1+0  | -    | -    | -    | -    | -    | 1+0  | 2+0  | 2+0   | 2+0   | 3+0   | 3+0   | 3+0   | 3+0   | 3+0   | 3+0   | 4+0   |
| TOTAL                   | 15+12   | -    | -    | 5+3  | -    | 7+7  | -    | 5+4  | -    | 5+4  | 15+12  | 15+12 | 15+12 | 20+15 | 20+15 | 27+22 | 27+22 | 32+26 | 32+26 | 37+30 |

Y los costos de tales equipos: el CPE BreezeMAX PRO y el Voice Gateway serán subvencionados al 100% por nuestro proyecto, sin cobro alguno a los clientes, pues su costo todavía sigue siendo elevado y caro. Todo lo dicho antes, nos muestra que nuestra red tiene tendencia a crecer en el tiempo, con una demanda mayor de tráfico de los servicios de telecomunicaciones, de compra de equipos terminales y un mayor gasto de operación y mantenimiento de la misma.

4.4 Flujo de caja

Con todos los aspectos mencionados en los costos de inversión (CAPEX), costos de operación (OPEX) y en los ingresos, se tiene el flujo de caja final, que nos mostrará si nuestro proyecto es factible y rentable económicamente con el siguiente cuadro:

**CUADRO N° 51**  
**FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO. [24]**

|  | Año 0              | Año 1<br>(2011)    | Año 2<br>(2012)    | Año 3<br>(2013)    | Año 4<br>(2014)    | Año 5<br>(2015)   | Año 6<br>(2016)   | Año 7<br>(2017)   | Año 8<br>(2018)   | Año 9<br>(2019)   | Año 10<br>(2020)  |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>INGRESOS</b>  |                    | \$ 167,484         | \$ 167,484         | \$ 167,484         | \$ 273,192         | \$ 273,192        | \$ 324,576        | \$ 324,576        | \$ 373,320        | \$ 373,320        | \$ 470,064        |
| <b>Telefonía Fija</b>  |                    | \$ 28,956          | \$ 28,956          | \$ 28,956          | \$ 36,384          | \$ 36,384         | \$ 53,556         | \$ 53,556         | \$ 64,284         | \$ 64,284         | \$ 75,204         |
| Ingreso adicional por año                                    |                    | \$ 28,956          | -                  | -                  | \$ 7,428           | -                 | \$ 17,172         | -                 | \$ 10,728         | -                 | \$ 10,920         |
| <b>Telefonía Pública</b>                                     |                    | \$ 125,448         | \$ 125,448         | \$ 125,448         | \$ 219,048         | \$ 219,048        | \$ 247,020        | \$ 247,020        | \$ 280,956        | \$ 280,956        | \$ 361,620        |
| Ingreso adicional por año                                    |                    | \$ 125,448         | -                  | -                  | \$ 93,600          | -                 | \$ 27,972         | -                 | \$ 33,936         | -                 | \$ 80,664         |
| <b>Internet</b>  |                    | \$ 13,080          | \$ 13,080          | \$ 13,080          | \$ 17,760          | \$ 17,760         | \$ 24,000         | \$ 24,000         | \$ 28,080         | \$ 28,080         | \$ 33,240         |
| Ingreso adicional por año                                    |                    | \$ 13,080          | -                  | -                  | \$ 4,680           | -                 | \$ 6,240          | -                 | \$ 4,080          | -                 | \$ 5,160          |
| <b>EGRESOS</b>   | \$ 278,468         | \$ 137,977         | \$ 137,977         | \$ 137,977         | \$ 167,207         | \$ 154,067        | \$ 165,362        | \$ 162,086        | \$ 260,090        | \$ 169,602        | \$ 186,612        |
| <b>Costos de inversión (CAPEX)</b>                           | \$ 278,468         | -                  | -                  | -                  | \$ 13,140          | -                 | \$ 3,276          | -                 | \$ 90,488         | -                 | \$ 2,240          |
| Costo por CPE's  | \$ 6,450           | -                  | -                  | -                  | \$ 2,050           | -                 | \$ 3,150          | -                 | \$ 2,150          | -                 | \$ 2,150          |
| BreeMAX PRO 1100   | \$ 5,250           | -                  | -                  | -                  | \$ 1,750           | -                 | \$ 2,450          | -                 | \$ 1,750          | -                 | \$ 1,750          |
| Voice Gateway IDU-ID1V                                       | \$ 1,200           | -                  | -                  | -                  | \$ 300             | -                 | \$ 700            | -                 | \$ 400            | -                 | \$ 400            |
| Costo por Estación Base                                      | \$ 65,148          | -                  | -                  | -                  | -                  | -                 | -                 | -                 | \$ 65,148         | -                 | -                 |
| Costos adicionales por módulos y tarjetas a la Estación Base | -                  | -                  | -                  | -                  | \$ 11,000          | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 | -                 |
| Costo total equipos del NOC                                  | \$ 150,000         |                    |                    |                    |                    |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| Costo por Enlace Microondas                                  | \$ 24,600          |                    |                    |                    |                    |                   |                   |                   | \$ 23,100         |                   |                   |
| Costo del servidor AlvariSTAR                                | \$ 12,000          |                    |                    |                    |                    |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| Costo de inmueble para el NOC                                | \$ 20,000          |                    |                    |                    |                    |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| Costo de licencias CPEs para software AlvariSTAR             | \$ 270             | -                  | -                  | -                  | \$ 90              | -                 | \$ 126            | -                 | \$ 90             | -                 | \$ 90             |
| <b>Costos de operación (OPEX)</b>                            |                    | \$ 137,977         | \$ 137,977         | \$ 137,977         | \$ 154,067         | \$ 154,067        | \$ 162,086        | \$ 162,086        | \$ 169,602        | \$ 169,602        | \$ 184,372        |
| Costos de operación y mantenimiento de la red                |                    | \$ 112,200         | \$ 112,200         | \$ 112,200         | \$ 112,200         | \$ 112,200        | \$ 112,200        | \$ 112,200        | \$ 112,200        | \$ 112,200        | \$ 112,200        |
| Pago de Telefonía Fija al proveedor (15% del ingreso)        |                    | \$ 4,343           | \$ 4,343           | \$ 4,343           | \$ 5,458           | \$ 5,458          | \$ 8,033          | \$ 8,033          | \$ 9,643          | \$ 9,643          | \$ 11,281         |
| Pago de Telefonía Pública al proveedor (15% del ingreso)     |                    | \$ 18,817          | \$ 18,817          | \$ 18,817          | \$ 32,857          | \$ 32,857         | \$ 37,053         | \$ 37,053         | \$ 42,143         | \$ 42,143         | \$ 54,243         |
| Pago de Internet al proveedor (20% del ingreso)              |                    | \$ 2,616           | \$ 2,616           | \$ 2,616           | \$ 3,552           | \$ 3,552          | \$ 4,800          | \$ 4,800          | \$ 5,616          | \$ 5,616          | \$ 6,648          |
| <b>FLUJO DE CAJA</b>   | <b>\$ -278,468</b> | <b>\$ 29,507</b>   | <b>\$ 29,507</b>   | <b>\$ 29,507</b>   | <b>\$ 105,985</b>  | <b>\$ 119,125</b> | <b>\$ 159,214</b> | <b>\$ 162,490</b> | <b>\$ 113,230</b> | <b>\$ 203,718</b> | <b>\$ 283,452</b> |
| <b>TASA DE DESCUENTO</b>                                     |                    | <b>VAN</b>         |                    |                    | <b>TIR</b>         |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| 12%  |                    | \$ 260,694         |                    |                    | 26%                |                   |                   |                   |                   |                   |                   |
| <b>PERIODO DE RECUPERACIÓN</b>                               | Año 0              | Año 1              | Año 2              | Año 3              | Año 4              | Año 5             | Año 6             | Año 7             | Año 8             | Año 9             | Año 10            |
| <b>Valor acumulado</b>                                       | <b>\$ -278,468</b> | <b>\$ 29,507</b>   | <b>\$ 29,507</b>   | <b>\$ 29,507</b>   | <b>\$ 105,985</b>  | <b>\$ 119,125</b> | <b>\$ 159,214</b> | <b>\$ 162,490</b> | <b>\$ 113,230</b> | <b>\$ 203,718</b> | <b>\$ 283,452</b> |
|  |                    | <b>\$ -225,109</b> | <b>\$ -204,106</b> | <b>\$ -185,354</b> | <b>\$ -125,215</b> | <b>\$ -64,862</b> | <b>\$ 7,158</b>   | <b>\$ 72,785</b>  | <b>\$ 113,616</b> | <b>\$ 179,208</b> | <b>\$ 260,694</b> |

El cuadro nos muestra, que el presente proyecto es totalmente factible y muy rentable, pues tiene una tasa interna de retorno del 26% y un valor actual neto de US\$260694 al cabo de 10 años. Y el periodo de recuperación de la inversión hecha en el proyecto sería en el sexto año como se muestra en el cuadro. Todo ello hace realidad la gran idea de realización del proyecto y su implementación en el Centro Arqueológico de Caral para brindar los servicios de telecomunicaciones que necesita y a la vez tener una gran rentabilidad de ganancia en base a los servicios brindados.



## CONCLUSIONES

De acuerdo, al desarrollo de la presente tesis se puede concluir lo siguiente:

- Este proyecto dará solución a los problemas de acceso a servicios de telecomunicaciones a establecimientos turísticos, culturales y de otros rubros construidos en el Centro Turístico de Caral y pueblos aledaños, los cuales tendrán telefonía fija, telefonía pública e Internet de alta velocidad, tanto a nivel local, nacional y mundial, que significará un gran impulso a favor de la lucha contra la pobreza y que países en desarrollo como el nuestro, deben tomar como una de sus principales prioridades, y todo ello ha sido el principal objetivo buscado desde la concepción de este proyecto que permanecerá como parte del compromiso para con uno mismo y la sociedad.
- Para implementar el sistema de red que brinde los servicios de telecomunicaciones al Centro Turístico de Caral, se sugiere formar un equipo multidisciplinario en el cual participen personas especialistas de las áreas de Economía (para mantener la viabilidad económica del proyecto), Derecho (para ver los temas legales de la puesta en marcha de la red y de su operación), Comunicación para el Desarrollo (para generar campañas de venta y publicidad de los servicios de telecomunicaciones de este proyecto a los futuros clientes), Psicología Social (para hacer el estudio del impacto social y ambiental que tendrán los clientes y pueblos aledaños frente a la instalación de la red que conlleva este proyecto) e Ingeniería de las Telecomunicaciones (para hacer el correcto dimensionamiento de cobertura y capacidad de la red, y luego la planificación, instalación y operación de ésta en el Centro Turístico de Caral).
- Una inversión de capital de US\$278468, según lo obtenido en el flujo de caja del capítulo 4, será necesaria y suficiente para implementar la red de acceso de telecomunicaciones de banda ancha de este proyecto en el Centro Turístico de Caral empleando la tecnología WiMAX, y basándonos en el flujo de caja del proyecto que este es totalmente factible y rentable económicamente, pues tiene una tasa interna de retorno del 26%, un valor actual neto de US\$260694

al cabo de 10 años y el periodo de recuperación de la inversión hecha en este proyecto sería en el sexto año.

- Queda demostrado que la mejor alternativa tecnológica para el diseño a implementar para este proyecto, es la solución mediante WiMAX para la red de acceso de última milla, porque ofrece gran ancho de banda, robustez frente al ruido e interferencias y priorización con calidad de servicio para la voz y datos que se transmitan por la red. A su vez, la combinación de WiMAX con Wi-Fi mediante equipos terminales (CPE) que lleven estas dos tecnologías, ayudará a los turistas y clientes finales la facilidad de acceso a nuestra red con costos mucho más baratos de conexión y mayor difusión por el entorno actual.
- Cuando sea necesario el crecimiento de capacidad y cobertura de la red, teniendo un modelo de tráfico distribuido por zonas y la demanda de las mismas basadas en el crecimiento de turistas y el acceso económico de los pueblos aledaños al Centro Turístico de Caral, será necesario hacer simulaciones y predicciones de señal con el software Radio Mobile, con el fin de encontrar las mejores ubicaciones de las futuras estaciones base WiMAX que aseguren una óptima calidad de señal y gran ancho de banda que los usuarios requieren y luego ser reforzadas con recorridos de medición de señal mediante Drive Test para verificar la cobertura de cada estación base instalada después de la planificación de la red.
- 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 en el NOC 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 nos servirán para proponer y tomar decisiones de cambios y optimización de la capacidad y la cobertura de toda nuestra red.
- Luego del estudio realizado en la presente tesis podemos predecir que Wimax será una de las tecnologías que liderará el mercado de las telecomunicaciones por varios motivos: fácil despliegue debido a su naturaleza inalámbrica, arquitectura ALL-IP, altas tasas de transmisión, calidad de servicio (QoS),

escalabilidad y lo más importante, para nuestros futuros despliegues es que tendrá movilidad.

- Los trabajos a futuro con este proyecto son:
  - Buscar la inversión privada de algún operador de telecomunicaciones, de preferencia Nextel, que muestre bastante interés en la ejecución de este proyecto, junto con el apoyo del Proyecto Especial Arqueológico de Caral-Supe (PEACS), para brindar los servicios de telecomunicaciones que los turistas del Centro Turístico de Caral necesitan ahora.
  - Con la alianza hecha con el operador de telecomunicaciones para ejecutar este proyecto, buscar los mejores precios en los equipos adecuados que serán necesarios para implementarlos en nuestra red, de preferencia del proveedor Alvarion, y a su vez hacer un estudio de mercado de los demás proveedores que compiten con este para ajustar precios y ver soluciones alternativas que estos últimos nos pueden ofrecer.
  - Ya ejecutado este proyecto, prever siempre en lo posible el adelantarse a las demandas futuras de tráfico de nuevos clientes, capacidad y cobertura de la red, optimización de fallas, etc., para brindar un servicio al Centro Turístico de Caral de mucha calidad que genere muy buena impresión a todos los turistas que visiten este centro histórico y a su vez los demás parajes turísticos aledaños y puedan comunicarse siempre en todo momento sin cortes con todo el mundo.

## Bibliografía

- [1] MINISTERIO DE COMERCIO EXTERIOR Y TURISMO – MINCETUR (2007). La Importancia del Turismo para el Perú – Enero 2007. Perú.
- [2] DESARROLLO E INVESTIGACIONES TURÍSTICAS – DIT INTERNACIONAL (2002). Estudio de Viabilidad de Alojamientos Rurales en Zonas Arqueológicas del Norte del Perú – Julio 2002. España.
- [3] PROYECTO ESPECIAL ARQUEOLÓGICO CARAL-SUPE/INC – PEACS. Caral La Civilización más Antigua de América.  
<http://www.caralperu.gob.pe>.  
<http://www.caralperu.gob.pe/imagenes/rutascaral.jpg>.  
Último acceso: 22 de Mayo del 2010.
- [4] D'AURIOL, Mylene. La Ciudad Sagrada de Caral (2008).  
<http://www.peru.info/catalogo/attach/8375.pdf>.  
Último acceso: 15 de Agosto del 2008.
- [5] CALCULADORA ERLANG-B (2010).  
<http://personal.telefonica.terra.es/web/vr/erlang/cerlangb.htm>.  
Último acceso: 10 de Abril del 2010.
- [6] MONTES BALAZAR, Luís (2008). Curso Proyecto de Telecomunicaciones Primera Parte, diapositiva 24, PUCP. Perú.
- [7] TELEFÓNICA DEL PERÚ – SPEEDY (2010). Tarifas Speedy. Perú  
[http://www.speedy.com.pe/empresa\\_tarifa\\_ne.shtml](http://www.speedy.com.pe/empresa_tarifa_ne.shtml)  
Último acceso: 15 de abril del 2010.
- [8] WIMAX FORUM (2010).  
<http://www.wimaxforum.org>.  
Último acceso: 20 de Mayo del 2010.
- [9] SENA FILI CONSULTING (2005). Fixed, nomadic, portable and mobile applications for 802.16-2004 and 802.16e WiMAX networks. USA.  
[http://www.senzafiliconsulting.com/downloads/SenzaFili\\_WiMAXForum\\_WhitePaper.pdf](http://www.senzafiliconsulting.com/downloads/SenzaFili_WiMAXForum_WhitePaper.pdf).  
Último acceso: 20 de Octubre del 2008.
- [10] REDLINE COMMUNICATIONS (2005). Can WiMAX address your applications?. USA.

[http://www.redlinecommunications.com/news/resourcecenter/whitepapers/Can\\_WiMAX\\_Address\\_Your\\_Applications\\_final.pdf](http://www.redlinecommunications.com/news/resourcecenter/whitepapers/Can_WiMAX_Address_Your_Applications_final.pdf).

Último acceso: 10 de Noviembre del 2008.

[11] OSIPTEL (2006). Cuarto Boletín Tecnológico: WiMAX. Perú.

[http://www2.osiptel.gob.pe/OsiptelDocs/GCC/NOTICIAS\\_PUBLICACIONES/PUBLICACIONES/FILES/boltec042006.pdf](http://www2.osiptel.gob.pe/OsiptelDocs/GCC/NOTICIAS_PUBLICACIONES/PUBLICACIONES/FILES/boltec042006.pdf).

Último acceso: 11 de Noviembre del 2008

[12] FINNERAN, Michael (2004). WiMAX versus Wi-Fi: A Comparison of Technologies, Markets, and Business Plans. USA. dBrn Associates, Inc.

[13] MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE BARRANCA (2008). Plan de Desarrollo Urbano de Barranca 2008 – 2011. Perú.

<http://www.munibarranca.gob.pe>.

Último acceso: 10 de Enero del 2010.

[14] VELARDE, Edgar (2008). Ancho de banda para VoIP. Blog: Telecomunicaciones. Perú.

<http://blog.pucp.edu.pe/item/25802>.

Último acceso: 11 de Enero del 2010.

[15] TELMET PERÚ (2010). Tarifas por minuto para telefonía fija. Perú.

[http://www.telmex.com.pe/telmexnegocio/indext.asp?derecha=menu\\_paquetes.htm&contenido=paquetes300.html](http://www.telmex.com.pe/telmexnegocio/indext.asp?derecha=menu_paquetes.htm&contenido=paquetes300.html).

<http://190.81.59.252/tarifas/Upload/38.pdf>.

Último acceso: 15 de marzo del 2010.

[16] MERCADOENERGÍA.COM (2010). Osiptel fomentará reducción de tarifas telefónicas desde las áreas rurales hacia las ciudades. Perú.

<http://mercadoenergia.com/mercado/2010/02/17/osiptel-fomentara-reduccion-de-tarifas-telefonicas-desde-las-areas-rurales-hacia-las-ciudades.html>.

Último acceso: 17 de marzo del 2010.

[17] TELEFÓNICA DEL PERÚ (2010). Tarifa por minuto para telefonía pública rural de Telefónica del Perú. Perú

[http://www.telefonica.com.pe/tar\\_fija/p\\_rurales.shtml](http://www.telefonica.com.pe/tar_fija/p_rurales.shtml).

Último acceso: 18 de marzo del 2010.

[18] MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES – MTC (2010). Registro nacional de Frecuencias: Bandas 3400 – 3600 MHz. Perú.

[http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/concesion/registros/rnf/Bandas\\_3400-3600.html](http://www.mtc.gob.pe/portal/comunicacion/concesion/registros/rnf/Bandas_3400-3600.html).



Último acceso: 19 de marzo del 2010.

[19] ALVARION (2005). BreezeMAX: Delivering the Promise of WiMAX. USA. Alvarion Ltd.

[20] SEYBOLD, John (2005). Introduction to RF Propagation. USA. John Wiley & Sons, Inc.

[21] ELECTRODATA S.A.C. (2010). Venta de equipos de telecomunicaciones. Perú.

<http://www.electrodata.com.pe>.

Último acceso: 10 de abril del 2010.

[22] REDLINE COMMUNICATIONS (2005). WiMAX: The Business Case for Fixed Wireless Access in Emerging Markets. USA.

[http://www.redlinecommunications.com/news/resourcecenter/whitepapers/Business\\_Case\\_for\\_Emerging\\_Mkts\\_Rev1\\_2.pdf](http://www.redlinecommunications.com/news/resourcecenter/whitepapers/Business_Case_for_Emerging_Mkts_Rev1_2.pdf).

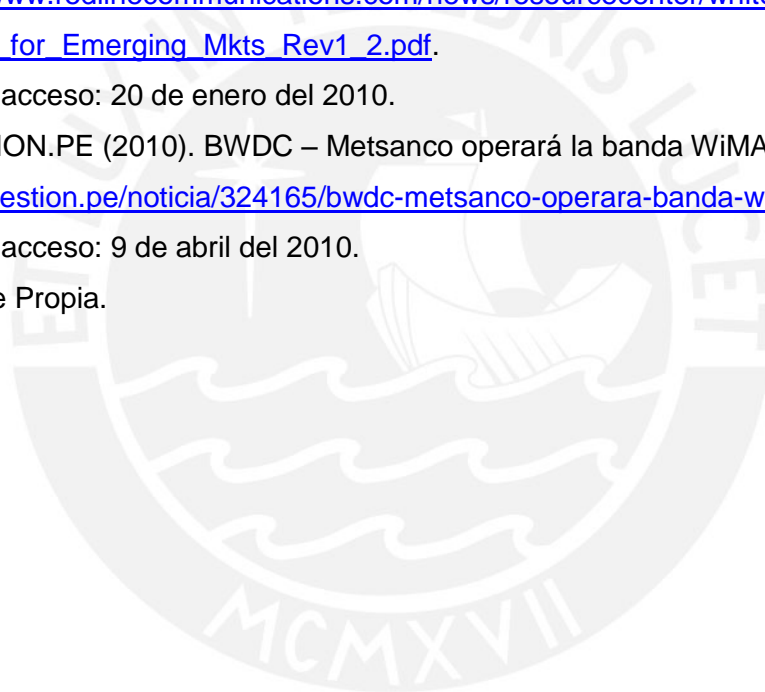
Último acceso: 20 de enero del 2010.

[23] GESTION.PE (2010). BWDC – Metsanco operará la banda WiMAX. Perú.

<http://gestion.pe/noticia/324165/bwdc-metsanco-operara-banda-wi-max>.

Último acceso: 9 de abril del 2010.

[24] Fuente Propia.



## Anexos

### **A1) ANEXO 1: EQUIPOS PARA LA ESTACIÓN BASE WIMAX.**

En este anexo se detallan las especificaciones técnicas de la estación base BreezeMAX 3500 WiMAX del fabricante Alvarion, sus componentes principales que la conforman y la especificación técnica de la antena sectorial de 65° del fabricante Andrew.

### **A2) ANEXO 2: EQUIPOS DE SISTEMA ELÉCTRICO Y DE PROTECCIÓN.**

En este anexo se detallan las especificaciones técnicas de los equipos empleados para el sistema eléctrico y de protección, para la estación base como para los equipos del enlace microondas, los cuales son: baterías Powerfit, UPS On Line, paneles solares Kyocera, pararrayos Ingesco, y rectificadores de corriente Eltek.

### **A3) ANEXO 3: EQUIPOS TERMINALES CPE WIMAX.**

En este anexo se detallan las especificaciones técnicas de los CPE WiMAX, los cuales son el BreezeMAX PRO 1100 y el Voice Gateway IDU-1D1V del fabricante Alvarion.

### **A4) ANEXO 4: SOFTWARE ALVARISTAR DE ADMINISTRACIÓN DE WIMAX.**

En este anexo se detalla el software de administración del fabricante Alvarion de estaciones base WiMAX, equipos terminales CPE, monitoreo del rendimiento del sistema para asegurar calidad de servicio y optimización de la red.

### **A5) ANEXO 5: FOTOS DE ESTACIÓN BASE WIMAX.**

En este anexo se aprecian fotos de una estación base WiMAX real señalando sus componentes e infraestructura.

### **A6) ANEXO 6: EQUIPOS PARA ENLACE MICROONDAS PDH.**

En este anexo se detallan las especificaciones técnicas del equipo de transmisión microondas PASOLINK del fabricante NEC y la especificación técnica de la antena microondas de 6 pies de diámetro del fabricante Andrew.

#### **A7) ANEXO 7: SOLUCIÓN WIMAX ENTRE NOC DE CISCO Y ESTACIÓN BASE ALVARION.**

En este anexo se detalla la solución gráfica de implementar una red WiMAX usando como equipos de core al fabricante Cisco y como equipos de acceso de última milla inalámbrica al fabricante Alvarion.

#### **A8) ANEXO 8: COTIZACIÓN DE ESTACIÓN BASE WIMAX DE ELECTRODATA.**

En este anexo se detalla la cotización referencial del proveedor ELECTRONIC, de la estación base Wimax del fabricante Alvarion junto con todos sus componentes principales.

