

Proyecto Banda Ancha para el Desarrollo del Valle de los Ríos Apurímac y Ene VRAE

Carlos Alberto Sotelo López*

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú

Resumen— El presente artículo detalla los aspectos técnicos fundamentales que fueron considerados en la formulación del proyecto de comunicaciones rurales VRAE, el cual beneficia a 311 localidades con servicios de telefonía fija, pública, Internet y accesos a servicios de información. La presencia de accidentes geográficos y densa vegetación dificulta la instalación de los servicios de telecomunicaciones, la solución técnica requiere de un análisis detallado en lo que respecta a la accesibilidad, confiabilidad de radio enlaces, garantía del ancho de banda y calidad de servicio a un costo que permita asegurar la sostenibilidad del proyecto, la cual ha sido estimada empleando el modelo de Gompertz.

Abstract— This article details the technical aspects that were considered essential in the formulation of the project rural communications VRA, which benefited 311 localities with fixed telephony services, public Internet access and information services. The presence of dense vegetation and landforms complicates the installation of telecommunications services, technical solution requires a detailed analysis in terms of accessibility, reliability radio links, ensuring the width of banda and quality service at a cost that would ensure the sustainability of the project, which has been estimated using the Gompertz model.

Palabras Clave— VRAE, WI-FI, VSAT.802.11

I. INTRODUCCIÓN

La zona del VRAE (Valle de los ríos Apurímac y Ene) conformada por 13 distritos en los departamentos de Junín, Cuzco y Ayacucho, es una región accidentada cubierta de exuberante vegetación y presenta características de pobreza, aislamiento y narcotráfico. La provisión de banda ancha a los centros poblados de dicha zona constituye un reto grande desde el punto de vista técnico económico y forma parte de la política de pacificación y disminución de la brecha digital entre el área urbana y la rural en el país. Aunque desde la perspectiva técnica existen muchas tecnologías que pueden brindar conectividad a una zona de interés, para tomar la decisión final sobre una tecnología específica es necesario analizar otros

aspectos de índole económico no sólo a nivel de inversiones (CAPEX), sino también a nivel de costos operación (OPEX).

El Proyecto VRAE constituye un modelo interesante de solución a la problemática de comunicaciones de 311 centros poblados a los que se les proveerá servicios de acceso a Internet, telefonía fija y telefonía pública.

Si bien la solución satelital constituida por un HUB y un conjunto de VSATs presenta la ventaja de sencillez en el diseño, los costos operativos debido principalmente a los elevados costos del segmento satelital \$4000 mensuales por 1 MHz, resulta prohibitivo para asegurar un servicio de banda ancha para todos los centros poblados considerados en el proyecto. Por otro lado, el proyecto es viable gracias a la partición pública y privada en la que la empresa Transportadora de Gas del Perú TGP brinda conectividad a su fibra óptica montada sobre el gaseoducto de CAMISEA a través del cual 155 de los 311 pueblos obtienen conectividad con Lima y de este modo conectividad con las otras localidades del proyecto por medio del HUB satelital y también por medio de la central telefónica ubicada en la zona del VRAE.

Uno de los objetivos del proyecto es la provisión de servicios de información para lo cual se ha considerado la implementación de servidores de contenido y *videosteaming*.

II. ALTERNATIVAS DE ENLACES

El proyecto emplea diversas alternativas tecnológicas entre ellas:

Fibra óptica, la que aprovecha el tendido de fibra óptica de la empresa Transportadora de gas del Perú TGP que atraviesa parte de la región del VRAE y toma señal de comunicaciones de los terminales ubicadas en válvulas de control del gaseoducto, a partir de ellas se tiene 2 puntos de acceso que proveerán comunicaciones a 155 centros poblados ubicados en la zona sur del VRAE, mediante radioenlaces inalámbricos en banda no licenciadas en 2.4GHz y 5.7GHz.

Radioenlaces terrestres, en la zona de VRAE en el distrito de San Cristóbal existe una central telefónica

* Carlos Alberto Sotelo López, e-mail: csotelo@mtc.com.pe.

cuya interconexión permitirá brindar telefonía a un conjunto de centros poblados ubicados en la zona norte.

Enlaces Satelitales VSAT combinados con enlaces terrestres en bandas no licenciadas. En la zona del VRAE existen centros poblados alejados de toda infraestructura de telecomunicaciones, para estos centros poblados la única alternativa de conexión a las redes de telecomunicaciones nacionales es el empleo de enlaces satelitales VSAT.

A. Descripción de la Solución Técnica

La solución total de la presente alternativa posee las siguientes partes principales. Red de acceso, Red transporte, Conmutación.

1) La red de acceso

El acceso de última milla para los servicios de telefonía de abonado, publica y de acceso a Internet se realizará a través de radioenlaces terrestre de bajo retardo de enlace (menores a 10ms). Cabe resaltar que los radioenlaces en bandas no licenciadas que emplean la norma 802.11 poseen un elevado retardo y no serían adecuados para enlaces de transporte terrestre de la solución planteada, pero sí podrían ser empleados para el acceso (estaciones ubicadas en las localidades atendidas la razón de ello es debido a que en la presente solución emplean una secuencia larga de radioenlaces, desde el noo de acceso hasta el extremo terminal.

Las estaciones radioeléctricas dependiendo de la ubicación dentro de la red de acceso están conformadas por el siguiente equipamiento típico:

TABLA I
EQUIPAMIENTO REQUERIDO.

Sistema de Radio
Radio 2.4 Ghz 100mw
Amplificador de RF 2.4GHz
Radio 5.7 Ghz 100mw
Amplificador de RF 5.7 GHz
power over ethernet
Splitter
Protección contra estática-arrestor
accesorios
Torre de 39 mts 35 cm de lado 3m, inc accesorios
Antena directiva con ganancia de 16 dBi 2.74 GHz
Antena sectorial 90, 14dBi, 2.4GHz
Antena directiva de 24 dBi, 2.4 Ghz
Antena omni de 12 dBi, 2.4GHz
Antena directiva de 24 dBi, 5.7 GHz
Antena directiva de 17 dBi, 5.7 GHz
Antena sectorial 90,14dBi,5.7GHz

a) Características técnicas de los equipos de radio

Con la finalidad de cumplir con las exigencias de disponibilidad del servicio al 99.9885%, para la evaluación de la infraestructura de RF necesaria, a fin de determinar a un costo aproximado de dicha infraestructura, se ha considerado un equipamiento de radio referencial con características técnica promedio:

- Radios con supervisión remota TCP/IP
- Radios Outdoor
- Potencia de transmisión: 20 dBm
- Sensibilidad a 1Mbps, 2Mbps, 5,5Mbps, 11Mbps, 18Mbps, 36Mbps, 54Mbps,:

En los enlaces de radio a fin de garantizar la disponibilidad del servicio, para el análisis de cobertura de enlaces, se ha considerado el equipamiento para cada radioenlace que permita garantizar un adecuado margen de desvanecimiento en función de la distancia, de acuerdo con la tabla I.

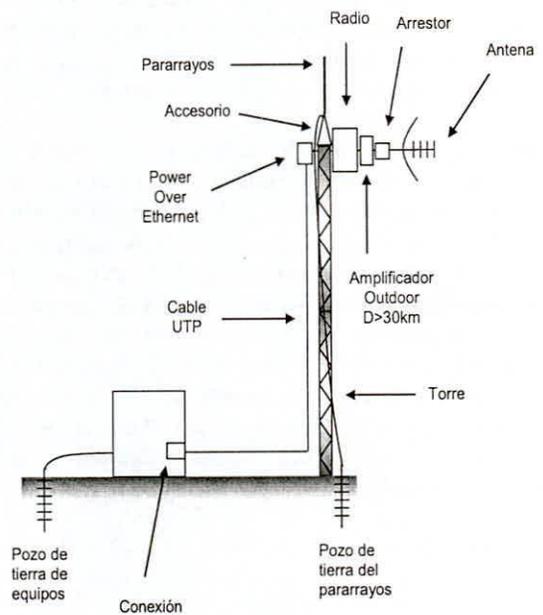


Fig. 1. Equipamiento de los Radioenlaces

TABLA II
MARGEN DE DESVANECIMIENTO PARA LOS ENLACES DE RADIO.

	5Km	10 Km	20Km	30Km
Margen	0.5 dB	8 dB	17 dB	22.3 dB

Por otro lado, para todos los radioenlaces se ha considerado que éstos dispongan de línea de vista, cuyas pérdidas de propagación en el espacio libre de acuerdo con la fórmula de FRISS es:

$$LP = 92.45 + 20\text{Log}10F + 20\text{Log}10d$$

LP = Pérdida en decibeles

F = Frecuencia en GHz

d = Distancia en kilómetros

A estas pérdidas se adicionó las pérdidas por terreno y por clima, que se encuentran en las Tablas III y IV.

TABLA III

FACTORES DE ATENUACIÓN DEBIDO AL TERRENO

Factor Terreno		
Montañoso	Promedio	Suave
0.5	1	4

TABLA IV

FACTORES DE ATENUACIÓN DEBIDO AL CLIMA

Factor Terreno		
Promedio	Seco	Humedo
0.5	1	4

La sensibilidad de los equipos de radio depende de la velocidad de transmisor cursada, de acuerdo a los cuadros que se muestran a continuación.

TABLA V

SENSIBILIDAD REFERENCIAL DE DE LOS EQUIPOS DE RADIO EN 2.4GHZ

Sensibilidad Referencial del Equipo de 2.4GHZ	
1Mbps	-93 dBm
2Mbps	-90 dBm
5.5 Mbps	-86 dBm
11Mbps	-81 dBm

2) *La red de transporte*

Está conformada por enlaces satelitales desde el HUB ubicado en Lima a los VSAT que se encuentran en diversas zonas del Proyecto, enlaces de fibra óptica a través del gaseoducto de CAMISEA y enlaces terrestres a la central telefónica del VRAE.

3) *La conmutación.*

Está basada en conmutación de paquetes bajo el concepto de redes convergentes NGN. Existe una central telefónica IP ubicada en Lima, una central IP en la localidad de San Cristóbal, y conmutadores locales en cada zona del proyecto.

4) *Centro de Gestión.*

La red del proyecto tiene un centro de gestión a través del cual se administra todas las funcionalidades de la red, entre ellas los servicios de correo, la seguridad de acceso, el tráfico, el ancho de banda, entre otros.

TOPOLOGÍA DE LA RED VRAE

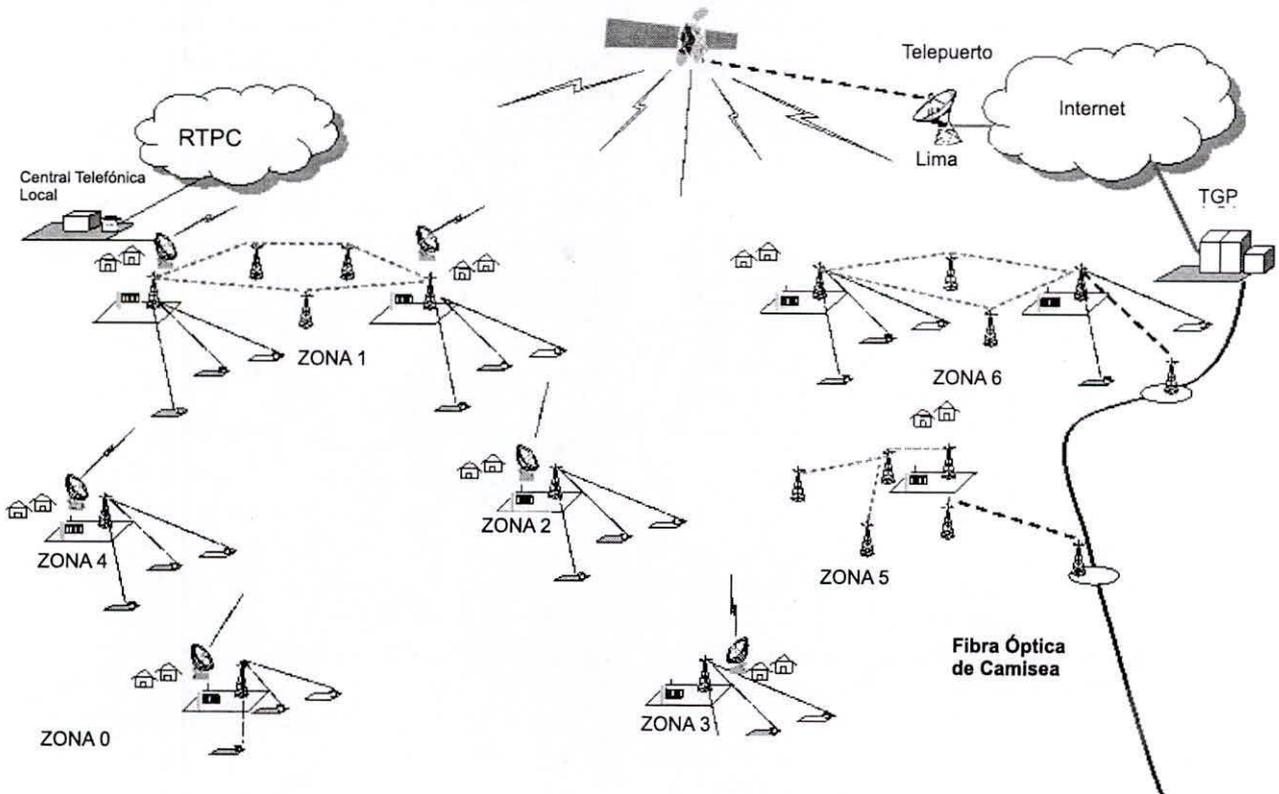


Fig. 2. Inducción Topología de la Red VRAE

III. TOPOLOGÍA DE LA RED DEL PROYECTO

La solución completa de conectividad total del proyecto considera el criterio de conformación de CLUSTER o zonas de integración en la que los centros poblados beneficiados que se encuentran próximos se interconectan a nivel local.

En este escenario tenemos un conjunto de 7 zonas o CLUSTER, numeradas del 0 al 6. La primera zona 0 está conformada por 6 centros poblados ubicados en el distrito de Ayahuanco, se interconectan mediante radioenlaces terrestres a una estación VSAT que se enlaza a un HUB satelital ubicado en Lima. La zona 1 comprende 97 centros poblados en los distritos de Mazamari, Pangoa, Río Tambo, los que están integrados mediante enlaces terrestres conformando un anillo que permite brindar una mayor confiabilidad a las comunicaciones. Esta zona posee dos estaciones VSAT y posee conexión a una central telefónica local ubicada en la localidad de San Cristóbal. La zona 2 comprende el área geográfica de Río Tambo y comprende 10 centros poblados. La zona 3, comprendida por el área geográfica del distrito Río Tambo, abarca 13 centros

La zona 4 comprendida por el área geográfica de los distritos Llochegua, Pichari, Pangoa, Río Tambo, abarca 13 centros poblados. La zona 5 comprendida por el área geográfica de los distritos: Anco, Ayna, Chunqui, Kimbiri, Lloquegua, Pichari, Sivia, San Miguel y Santa Rosa abarca 117 centros poblados y posee una conexión a la fibra óptica de la empresa TGP. La zona 6 comprendida por el área geográfica de los distritos de Anco y San Miguel abarca 35 centros poblados y posee una conexión a la fibra óptica de la empresa TGP.

IV. INFRAESTRUCTURA E INTERCONEXIÓN

A. Equipos de Radio

El equipamiento de radio está conformado por radios de acceso y radios de enlace de transporte, los que emplearán bandas no licenciadas en frecuencias de 900MHz 2.4GHz y 5.7GHz.

B. Centrales telefónica IP

Para el proyecto se ha considerado una solución de conmutación distribuida en la cual se plantea el establecimiento de una central de conmutación local ubicada en la zona 1 del proyecto, en la localidad de Cerro Verde, provincia de Satipo, departamento de Junín y otra central ubicada en Lima, esta última se encargaría de la gestión total de la red.

La telefonía IP permitiría que las comunicaciones conmuten a nivel local a través de equipos switch con calidad de servicio QoS ubicados en los centros poblados de la red.

C. Servidor de contenidos, correo y seguridad

El servidor de contenidos permitirá que los pobladores beneficiados por el proyecto tengan acceso

a alta velocidad, a servicios de información de diversa índole alojada localmente. El servidor indicado, será empleado en programas de desarrollo de diversos sectores del Estado.

D. Transporte satelital

Debido a que existen zonas en la VRAE que no disponen de facilidades de conexión local a Internet ni a redes de telefonía pública se está considerando en estos casos en el Proyecto el empleo de enlaces de transporte satelital a través de VSAT. Para el proyecto se ha considerado la compra de 16 VSAT y también el alquiler de segmento satelital para dichos VSAT.

E. Interconexión

La interconexión se realizará: En Lima y en Junín. En el departamento de Junín la central de interconexión estará ubicada en la localidad de Cerro Verde provincia de Satipo. Las capacidades de Interconexión requeridas son las siguientes: 3E1 para los primeros 5 años y 5E1 para los posteriores.

La central telefónica ubicada en Lima tendrá el siguiente requerimiento de interconexión: 2E1 par los primeros años y 3E1 para los posteriores.

F. Conexión a Internet

La conexión a Internet de la red del proyecto se realizará mediante un enlace terrestre 1:1 ubicado en Lima cuya capacidad es la suma de todos los requerimientos de acceso a Internet considerados en Proyecto.

III. DIMENSIONAMIENTO DE LA RED

Para la dimensionamiento de la red se tienen que tomar en cuenta dos aspectos fundamentales: la estimación del tráfico actual y la proyección de la demanda por el periodo de vida de proyecto que se estima en 10 años.

A. Determinación del tráfico

Para el análisis de tráfico se tomó datos históricos de otras redes de telecomunicaciones rurales, en base a ello se estimó un grado de servicio de 1% para un teléfono público y 5% para un teléfono residencia. El grado de servicio está relacionado con la probabilidad de bloqueo P_b la que se expresa de la manera siguiente

$$P_b = \frac{E^N}{N!} \sum_{X=0}^{X=N} \frac{E^X}{X!}$$

Donde:

E, es el tráfico expresado en Erlangs

N, es el número de circuitos necesarios

Por otro lado, se debe tomar en cuenta que la distribución de tráfico no es uniforme durante el día y varía de acuerdo con la hora del día como se muestra en la figura, en la figura se puede observar que aproximadamente el 9% del tráfico diario se cursa en la hora pico, sin embargo es un criterio de diseño considerar que el 17% del tráfico diario se cursará en la hora pico.

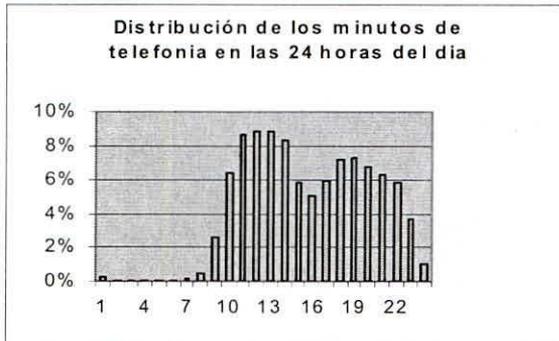


Fig. 3. Distribución de los minutos de telefonía en las 24 horas del día.

B. Estimación de la capacidad

Teniendo en cuenta que el presente proyecto es un proyecto de índole social la selección de localidades beneficiadas y los servicios a ser brindados en ellas se determino en base a los siguientes criterios:

C. Telefonía fija de abonado

Si el centro poblado cuenta con energía eléctrica y tiene 300 o más habitantes. Para este servicio se ha considerado un ancho de banda de voz de 16Kbps y un grado de servicio de 5%.

D. Internet

Si el centro poblado cuenta con energía y posee 200 o más habitantes. Para este servicio se ha considerado una velocidad de bajada de 600Kbps, una asimetría de 4 a 1 y sobre suscripción de 10 a 1.

E. Telefonía pública

Si el centro poblado no cuenta con energía eléctrica, se exige un mínimo de 150 habitantes. Si el pueblo cuenta con energía eléctrica sólo es necesario 100 habitantes.

Para este servicio se ha considerado un ancho de banda de voz de 16Kbps y un grado de servicio de 1%.

En base a los criterios adoptados se ha determinado la cantidad de circuitos de vos (telefonía de abonado y telefonía pública) requeridos en cada nodo de la red y en cada punto de interconexión, con ello aplicando la tasa de 16Kbps por canal de voz se determinó el ancho de banda de voz. A este ancho de banda de voz se adicionó el ancho de banda de datos sumando todos los suscriptores de Internet por cada nodo.

Como resultado para la interconexión de la central telefónica en Lima se requerirá 2E1, para la central telefónica en el VRAE 1E1, para el acceso a Internet de todo el proyecto se requerirá 3Mbps.

Sin embargo, es necesario dimensionar la red considerando un crecimiento a lo largo del período de vida del proyecto. Esto es posible estimarlo mediante el modelo de Gompertz .

F) Estimación de la demanda y su proyección

La estimación de la demanda actual se servicio se hizo en base al empleo de información secundaria a partir de la demanda existente en otros proyectos de comunicaciones rurales en el país.

La proyección de la demanda se hizo empleando el modelo de Gompertz, cuya fórmula se indica a continuación:

$$T(t) = A \times e^{-b \times c^t}$$

Donde

A: es el valor meta, es decir la asíntota o tendencia de crecimiento de la variable analizada.

B y C. Variables que regulan la pendiente de crecimiento para cada unidad de tiempo.

$$b = -\ln\left(\frac{T(0)}{A}\right)$$

Para el presente proyecto se tiene la siguiente curva de crecimiento para el número de abonados durante el periodo vida del proyecto.

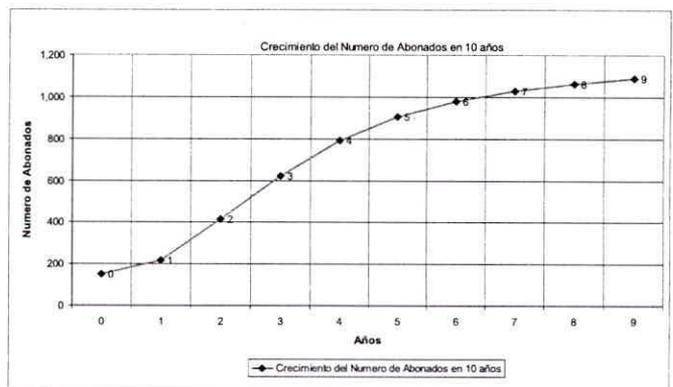


Fig. 4. Crecimiento para el número de abonados durante el periodo vida del proyecto.

De acuerdo con la curva de Gompertz tenemos que en el primer año se tendrá una demanda de 150 abonados llegando a 1050 abonados al 10 año. En forma similar la penetración del servicio en la zona de intervención del proyecto variará de 0.15% al primera año 3.5% al 10 año.

IV. CONCLUSIONES

La formulación del Proyecto Banda Ancha para el desarrollo del Valle de los Ríos Apurímac y Ene VRAE constituye una experiencia técnica importante

en nuestro medio relacionada con las comunicaciones rurales, debido a la variedad de la problemática de índole técnico y también de índole socioeconómico al ser una zona convulsionada por el terrorismo y el narcotráfico.

El hecho de prevalecer las comunicaciones terrestres en el proyecto, favorecerá la integración de los centros poblados al posibilitar un mayor ancho de banda en las comunicaciones a menor costo, comparado con la solución satelital.

V. REFERENCIAS

- [1] Roger L. Freeman Telecommunication System Engineering John Wiley & Sons, INC, 1996, ISBN 0-471-13302
- [2] Guia General de Identificación, Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Publica, Ministerio de Economía y Finanzas, Lima julio de 2003
- [3] Nathan J. Muller, WiFi for The Enterprise, Ed. New York, McGraw-Hill, 2003, pp. 141-165.
- [4] Regis J. Bates, Broadband Telecommunications Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill - telecommunications, 2002, ISBN 0-07-139851-1
- [5] O. Sallent, J. Valenzuela, R. Agustí, Principios de Comunicaciones Móviles, 1st ed., Ediciones UPC, 2003, ISBN: 84-8301-715-6