

5. Conclusiones y observaciones

- Es posible la interconexión de datos, acceso a Internet y telefonía en los puntos de la red Willay Cusco mediante tecnología inalámbrica WiFi en la banda de frecuencia de 5.8 GHz, y haciendo uso del protocolo TCP/IP.
- Se necesita de la autorización correspondiente por parte del Ministerio de Telecomunicaciones para poder superar la PIRE máxima establecida de 36 dBm en áreas rurales o lugares considerados de preferente interés social.
- Para la simulación de los radioenlaces mediante Radio Mobile se toma un margen de seguridad mínimo de relación señal a ruido de 10 dB.
- La red Willay Cusco usa los mismos repetidores troncales que la red EHAS-ALIS para poder llegar hasta la ciudad de Cusco y brindar los servicios de acceso a Internet y conexión a la PSTN.
- Se hace uso del sistema operativo RouterOS de MikroTik sobre computadoras embebidas RouterBOARD 333 con tarjetas inalámbricas R52H en los repetidores troncales y locales; y con computadoras embebidas RouterBOARD 433 en los clientes finales de la red Willay Cusco. Estos equipos presentan un costo relativamente bajo, altas prestaciones, robustez y fácil configuración.
- La ganancia de las antenas queda determinada por la distancia de los enlaces que cubren, y a la vez por un intento de uniformizar al máximo los distintos tipos de antenas utilizadas. En enlaces cortos como repetidor Huáscar - Municipalidad Acomayo de 5.37 Km de distancia se emplean antenas de ganancia 27 dBi.
- En la mayoría de los enlaces troncales se eligen antenas de doble polaridad con la doble finalidad de ahorrar espacio en las torres ubicadas en los repetidores, y de dotar redundancia a la red. Además este tipo de antenas presenta mayores ganancias en la banda de frecuencia de 5.8 GHz.
- El protocolo propietario Nstream de MikroTik permite superar las limitaciones intrínsecas del estándar IEEE 802.11 en enlaces de larga distancia, así como implementar el sistema RTS/CTS para evitar el problema del nodo oculto. Mientras que mediante el estándar se obtiene un ancho de banda de 2.9 Mbps en el enlace repetidor UNSAAC - repetidor Josjojahuarina 1, con el uso de Nstreme y framer-policy exact-size se obtiene 6.72 Mbps.
- La telefonía se implementa mediante el software libre Asterisk sobre computadoras embebidas Alix 2C2 en los repetidores locales de la red Willay

Cusco. Estos equipos presentan un costo relativamente bajo y permiten la instalación de sistemas operativos de código libre.

- Se usa seguridad WPA/2 en la capa de enlace y seguridad IPSec en la capa IP. Aparte de brindar encriptación y autenticación en las comunicaciones inalámbricas, dichos protocolos resultan ser transparentes para el usuario final.
- El enrutamiento dinámico se implementa mediante el protocolo OSPF, que a la vez permite implementar la redundancia con la asignación manual de distintos costos en cada enlace inalámbrico. El uso de un protocolo de enrutamiento dinámico facilita tanto la configuración como el mantenimiento de las tablas de rutas para la conectividad de la red.
- La QoS distingue los tráficos de voz, internet, ssh, ftp, correo electrónico y datos internos, asignando a cada uno de ellos prioridades distintas. Cuando la red se satura, la priorización de tráficos sensibles al retardo como VoIP permite que las conversaciones telefónicas se perciban de forma clara por el usuario final.
- En los repetidores troncales no existe red de suministro eléctrico y por lo tanto se usa un sistema fotovoltaico de bajo consumo, 12 V de voltaje de salida, y con 3 días de autonomía.
- En los clientes finales dentro de cada municipio de la red Willay Cusco donde sí existe red de suministro eléctrico, se usan sistemas UPS para estabilizar la señal de alimentación.
- En las pruebas de implementación en Cusco se obtuvieron niveles de relación señal a ruido de alrededor de 15 dB en la red troncal, en la red de distribución de 25 dB y en los clientes finales de 35 dB.
- Se obtiene un ancho de banda de 6.72 Mbps en el enlace desde la UNSAAC hacia el Repetidor de Josjojahuarina 1, superando los 5 Mbps mínimos necesarios según las estimaciones en el peor escenario. Aunque el ancho de banda no será constante al tratarse de un enlace inalámbrico, los buenos márgenes obtenidos de relación señal a ruido garantizan que no fluctúe demasiado.
- El costo total del proyecto Willay Cusco es de 128,695 USD, correspondiente a la suma de los costos de equipos de telecomunicaciones, infraestructura, energía y protección eléctrica (precio de compra en lima) que son de 92,695 USD, costos de implementación que son de 6,000 USD, y costos de mano de obra que son de 30,000 USD.