

2. Diseño de la red de telecomunicación

2.1. Diseño de los radioenlaces y elección de equipos

Para el diseño de la red Willay Cusco se tomó como referencia la experiencia de la red EHAS-ALIS. Ambas redes compartirán la misma infraestructura por lo cual se tiene presente que ambas no deben interferirse, es por ello que la red Willay Cusco trabajará en 802.11a de acuerdo al análisis anterior. Por otro lado, el repetidor Cusco de la red EHAS-ALIS no será parte de la red Willay Cusco. Para esto los responsables de la red establecieron que la Facultad de Electrónica de la Universidad Nacional Abad del Cusco sea el punto en el Cusco para la red Willay Cusco, desde donde se podrá acceder a Internet y la telefonía pública.

2.1.1. Uso del Radio Mobile

El software que se utilizó para simular los radioenlaces de la red Willay Cusco es el Radio Mobile. Aunque existen otros como SPLAT que ofrecen prestaciones adicionales en el análisis de interferencias, se ha elegido usar Radio Mobile por su sencillez de uso, entorno gráfico y aceptable fiabilidad que presenta en los resultados. Radio Mobile usa Longley-Rice, o conocido también como Modelo de Terreno Irregular (ITM), como modelo de radiopropagación en el rango de frecuencias de 20 MHz a 20 GHz.

El diseño de los radioenlaces mediante simulación establece los valores mínimos de la ganancia de las antenas, potencia en transmisión, sensibilidades de los radios, y de la pérdida de los cables y conectores a usar. En base a dichos valores se determinan los requisitos mínimos para la elección de los equipos y sistemas que ofrece el mercado.

En la siguiente lista se muestra la configuración del Radio Mobile para la simulación de los radioenlaces:

- Frecuencia mínima: 5745 Hz
- Frecuencia máxima: 5825 Hz
- Polarización: Horizontal y/o Vertical

- Modo estadístico: Difusión con los siguientes parámetros 90% de tiempo, 80% de ubicaciones y 80% de situaciones.
- Refractividad de la superficie: 301 Unidades-N
- Conductividad del suelo: 0.005 S/m
- Permitividad relativa al suelo: 15
- Clima: Continental sub-tropical y Continental templado
- Topología: Red de datos, Topología estrella (Master / Esclavo)

En cualquier modelo de propagación de señal usado para la simulación de radioenlaces (espacio libre, tierra plana, Okumura-Hata, Longley-Rice entre otros), siempre se cumple que las pérdidas por propagación aumentan con el aumento de la frecuencia de operación y la distancia entre el transmisor y receptor. La siguiente expresión matemática muestra en general la potencia de la señal recibida en un enlace:

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{ccTX} - L_{ccRX} - L_p$$

Donde:

P_{RX} : Potencia recibida de la señal en dBm.

P_{TX} : Potencia transmitida de la señal en dBm.

G_{TX} : Ganancia de la antena en transmisión en dB.

G_{RX} : Ganancia de la antena en recepción en dB.

L_{ccTX} : Pérdidas por los conectores y cable en transmisión en dB.

L_{ccRX} : Pérdidas por los conectores y cable en recepción en dB.

L_p : Pérdidas por propagación de la señal en función de la frecuencia de operación y distancia según el modelo de propagación usado en dB.

Esta expresión muestra que para obtener un buen margen de la señal en recepción, los únicos factores que se pueden modificar son la ganancia de las antenas en transmisión y recepción, la potencia de la señal emitida en transmisión y las pérdidas que presentan tanto los cables coaxiales como los conectores.

Además, en cualquier radioenlace el 60% de la primera zona de Fresnel debe estar despejada para disponer de una buena comunicación con línea de vista sin obstrucciones debido al terreno. La siguiente fórmula fija el radio mínimo de la zona de

Fresnel respecto a la línea de vista, a una distancia d_1 y d_2 de la antena transmisora y receptora respectivamente.

$$F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Si se tiene asegurado el 60% de la primera zona de Fresnel despejada, el margen de potencia recibida puede variar en función de la altura de la antena, y con más razón en una torre donde existen varias antenas y no siempre se puede ubicar cada una de ellas a la altura teóricamente ideal para su radioenlace. Ello es debido a que el origen de la primera zona de Fresnel son todas aquellas señales (la principal más las originadas por difracción), que mantienen su fase entre 0 y $\frac{\pi}{2}$. Por lo tanto, pequeñas variaciones en la altura de la antena pueden cambiar substancialmente las difracciones internas que se originan a lo largo del radioenlace, y en consecuencia empeorar o mejorar el margen de la potencia recibida. Por lo tanto si se tienen varias antenas en una misma torre, es recomendable primero buscar la ubicación óptima para las antenas de enlaces de más larga distancia, o aquellas que presentan una relación señal a ruido menor en recepción.

2.1.2. Simulación de los radioenlaces

El diseño de los radioenlaces por medio del Radio Mobile permitirá conocer los rangos de la ganancia de las antenas, la pérdida tolerable de las conexiones, y la potencia mínima de transmisión de los radios en cada enlace.

Para comenzar con la simulación se necesitará la ubicación de los puntos involucrados en la red. En la tabla siguiente se muestran las coordenadas geográficas y la altitud de todos los puntos o nodos involucrados en la red Willay Cusco:

NODOS	ALTITUD	COORDENADAS GEOGRAFICAS	
		Latitud SUR	Longitud OESTE
TRONCALES	m.s.n.m.		
Facultad de Eléctrica UNSAAC - Cusco	3286	13° 31' 21.6"	71° 57' 11.2"
Repetidor Josojahuarina 1	4268	13° 39' 00.6"	71° 35' 17.9"
Repetidor Don Juan	4456	14° 00' 39.2"	71° 29' 24.8"
Repetidor Laykatuyoc	4211	13° 55' 38.1"	71° 37' 38.0"
Repetidor Huáscar	3520	13° 57' 16.7"	71° 43' 03.4"

Repetidor Pomacanchi	3938	14° 01' 26.3"	71° 34' 40.5"
ACOMAYO	m.s.n.m.	Latitud SUR	Longitud OESTE
Municipalidad	3227	13° 55' 09.5"	71° 41' 01.3"
UGEL	3222	13° 55' 24.2"	71° 40' 42.8"
Colegio Tomasa Ttito Condemayta	3271	13° 55' 20.1"	71° 40' 47.2"
Comisaría PNP	3238	13° 55' 22.6"	71° 40' 46.6"
POMACANCHI	m.s.n.m.	Latitud SUR	Longitud OESTE
Municipalidad	3716	14° 02' 07.2"	71° 34' 17.1"
Colegio San José Obrero	3733	14° 02' 20.5"	71° 34' 13.7"
Colegio Simón Bolívar	3715	14° 01' 40.2"	71° 34' 23.5"
Instituto Pedagógico	3718	14° 01' 53.7"	71° 34' 27.8"
Comisaría PNP	3712	14° 02' 04.1"	71° 34' 14.1"
SANGARARÁ	m.s.n.m.	Latitud SUR	Longitud OESTE
Municipalidad	3790	13° 56' 50.8"	71° 36' 11.5"
Colegio Libertadores de América	3742	13° 56' 57.4"	71° 36' 19.1"
Instituto Tecnológico	3780	13° 57' 13"	71° 36' 00.2"
Comisaría PNP	3779	13° 56' 57.2"	71° 36' 18.7"

Tabla 2.1: Coordenadas geográficas y altitud de los puntos de la red

Las antenas de la red troncal Willay Cusco estarán ubicadas en las torres de la red troncal EHAS-ALIS. Las torres de esta red son de 12 m de altura y según recomendaciones comentadas en el análisis, las antenas deben estar por encima de los 3 m del suelo y estar separadas unos 1.5 m entre ellas, por lo tanto sólo es posible ubicar 6 antenas como máximo en cada torre.

En la red Willay Cusco se implementará redundancia en los enlaces de la red troncal, la cual va a consistir en tener dos enlaces independientes por cada salto. Esto no se da en el enlace entre el repetidor Don Juan y el repetidor de Pomacanchi, pero cuando se sumen otros municipios conectándose a través del repetidor de Pomacanchi será recomendable su implementación. Por lo tanto, si por cada enlace en la red troncal Willay Cusco se usa una antena independiente, en la torre del repetidor de Josjojahuarina 1 habría que ubicar 10 antenas (6 de EHAS-ALIS + 2 antenas hacia el repetidor de Cusco + 2 antenas hacia el repetidor de Don Juan), en el repetidor de Don Juan habría que ubicar 7 antenas (2 de EHAS-ALIS + 1 antena hacia el repetidor de Pomacanchi + 2 antenas hacia el repetidor de Josjojahuarina 1 + 2 antenas hacia el repetidor de Laykatuyoc), en el repetidor de Laykatuyoc habría que ubicar 8 antenas (3 de EHAS-ALIS + 1 antena hacia la Comisaría PNP de Sangarará + 2 antenas hacia el repetidor de Don Juan + 2 antenas hacia el repetidor de Huáscar), en el repetidor de Huáscar habría que ubicar 6 antenas (3 de EHAS-ALIS + 1 antena hacia la Municipalidad de Acomayo + 2 antenas hacia el repetidor de Laykatuyoc). Por lo tanto, sólo el repetidor de Huáscar cumpliría con tener un total de 6 antenas por torre. En el resto de repetidores de la red troncal, como se superaría el número permitido de antenas por torre, se utilizarán antenas de doble polaridad con el fin de disminuir su

cantidad y ahorrar en costos. En el caso particular del repetidor de Josjojahuarina 1, como aun usando antenas de doble polaridad existirían un total de 8 antenas, es necesario aumentar un tramo más de torre. La siguiente tabla muestra la carga de antenas por torre para la red EHAS-ALIS y la red Willay Cusco.

Torre	Altura (m)	Antenas red EHAS-ALIS	Antenas particulares	Antenas red Willay Cusco	Total antenas
Repetidor Josjojahuarina 1	12	5	1	2	10
Repetidor Don Juan	12	2	0	3	7
Repetidor Laykatuyoc	12	3	0	3	8
Repetidor Huáscar	12	3	0	2	6

Tabla 2.2: Carga de antenas por torre

Sobre las ganancias de las antenas, se pueden elegir antes del diseño pero validando los resultados en la simulación. La red EHAS-ALIS en sus enlaces utiliza antenas directivas, panel y sectoriales de ganancias entre 19 dBi y 24 dBi, esto da una referencia para buscar la ganancia de las antenas en la red Willay Cusco. Se ha optado por la marca HyperLink Technologies por los buenos precios que presenta en relación a la calidad de sus productos, y además por tener proveedores en Perú. Hyperlink ofrece antenas directivas de grilla de ganancia de 22 dBi y 27 dBi, antenas panel de ganancia de 8 dBi, 11 dBi y 19 dBi, antenas omnidireccionales de ganancia de 8 dBi y 12 dBi, antena sectorial de 90° de ganancia de 17 dBi. Las antenas de plato parabólico que ofrece presentan dos tipos de antena, las de una sola polaridad y las de doble polaridad. Las de una sola polaridad tienen una ganancia de 17 dBi, 24 dBi, 29 dBi y 32.5 dBi, mientras que las de doble polaridad tienen una ganancia de 28.5 dBi y 32 dBi.

El siguiente gráfico muestra la distribución de las antenas en la red Willay Cusco, donde se observa el tipo de antena según su ubicación en la red.

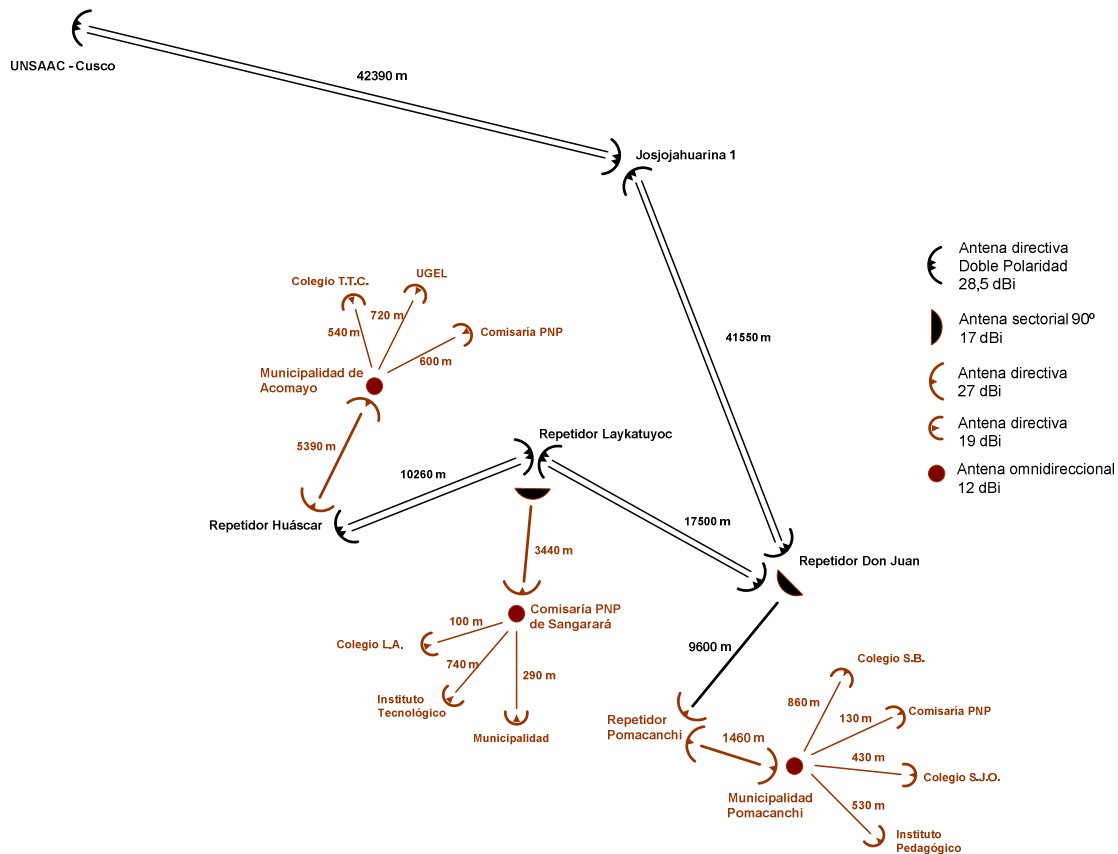


Figura 2.1: Tipos de antenas elegidas

En los enlaces de la red troncal con redundancia se utilizarán antenas directivas de doble polaridad con ganancia de 28.5 dBi. En los enlaces de distribución como el del repetidor Laykatuyoc y el del repetidor de Don Juan, se usarán antenas sectoriales de 90° con ganancia de 17 dBi dado que en un futuro es probable que se sumen más municipios ubicados alrededor de ambos repetidores. Para el resto de enlaces de distribución se usarán antenas directivas con ganancia de 27 dBi (aunque en algunos enlaces no sea necesaria tanta ganancia la idea de fondo es uniformizar el tipo de antenas usadas para facilitar el mantenimiento y reparación de las mismas). En los clientes dentro de cada municipio se utilizarán antenas directivas con ganancia de 19 dBi. En el repetidor local de cada municipio se utilizarán antenas omnidireccionales con ganancia de 12 dBi para dar conectividad a los clientes dispersos en cada municipio.

En la simulación de los radioenlaces con el Radio Mobile se toma 10 dB como margen de seguridad, esto significa que para considerar un enlace como estable y robusto la potencia de la señal recibida debe de ser 10 dB superior a la sensibilidad que presenta la tarjeta inalámbrica del receptor. El valor de la sensibilidad es un parámetro que tiene que ser estimado en la simulación. Según los valores típicos que ofrecen la mayoría

de tarjetas inalámbricas -90 dBm es un valor frecuente, por lo que se toma éste como referencia.

El cable coaxial elegido es el modelo lmr600 de la marca Times Microwave Systems que presenta una atenuación en la banda 5.8 GHz de 23.8 dB / 100 m. Aunque existen cables de mejores prestaciones en el mercado como el Heliax ldf4-50a de la marca Andrews con una atenuación de 19.7 dB / 100 m en la misma banda de frecuencia, a nivel de costos el lmr600 es un 40% más económico que el Heliax ldf4-50a lo cual es importante para futuras reparaciones, y además es un cable fácil de encontrar en el mercado peruano, por lo que queda como elegido. Además se ha considerado una pérdida de 1 dB por los dos conectores por cada cable coaxial que se utilizará.

En la tabla 2.3 se muestran los resultados de la simulación con Radio Mobile. En dicha tabla se fijan los valores de las alturas de las antenas según el enlace, el valor estimado de la sensibilidad, la longitud de cable lmr600 usado y zoom al cual se trabaja con Radio Mobile en cada caso. A partir de estos valores se determina la potencia mínima de la tarjeta inalámbrica (con un valor mínimo acotado de 1 dBm) en cada enlace para obtener un margen mínimo de seguridad de 10 dB.

Nodo	Nodo destino	Distancia del enlace (Km)	Altura de la antena del nodo (m)	Mínima potencia de transmisión del nodo (dBm)	Sensibilidad del nodo destino (dBm)	Antena HyperLink del nodo	Cable lmr600 del nodo (m)	Rx relativo en el nodo destino (dB)	Zoom del Radio Mobile (Km)
TRONCALES									
Repetidor UNSAAC	Repetidor Josijahuarina 1	41.88	15	25	-90	Directiva D.P. 28.5 dBi	12	10.7	30
Repetidor Josijahuarina 1	Repetidor UNSAAC	41.88	4	25	-90	Directiva D.P. 28.5 dBi	12	10.7	30
Repetidor Josijahuarina 1	Repetidor Don Juan	41.46	12	25	-90	Directiva D.P. 28.5 dBi	12	10.2	50
Repetidor Don Juan	Repetidor Josijahuarina 1	41.46	7.5	25	-90	Directiva D.P. 28.5 dBi	12	10.2	50
Repetidor Don Juan	Repetidor Pomacanchi	9.57	10.5	25	-90	Sectorial 17 dBi 90°	12	10	8
Repetidor Pomacanchi	Repetidor Don Juan	9.57	9	25	-90	Directiva 27 dBi	12	10	8
Repetidor Don Juan	Repetidor Laykatuyoc	17.46	9	18	-90	Directiva D.P. 28.5 dBi	12	10.8	12
Repetidor Laykatuyoc	Repetidor Don Juan	17.46	7.5	18	-90	Directiva D.P. 28.5 dBi	12	10.8	12
Repetidor Laykatuyoc	Repetidor Huáscar	10.21	12	12	-90	Directiva D.P. 28.5 dBi	12	10.5	8
Repetidor Huáscar	Repetidor Laykatuyoc	10.21	7.5	12	-90	Directiva D.P. 28.5 dBi	12	10.5	8
MUNICIPIO ACOMAYO									
Repetidor Huáscar	Municipalidad	5.37	9	9	-90	Directiva 27 dBi	12	10.6	5
Municipalidad	Repetidor Huáscar	5.37	15	9	-90	Directiva 27 dBi	12	10.6	5
Municipalidad	UGEL	0.71	13.5	12	-90	Omni direccional 12 dBi	12	10.9	1
Municipalidad	Municipalidad	0.71	5	12	-90	Directiva 19 dBi	12	10.9	1
Municipalidad	Colegio Tomasa Tito Condemayta	0.53	13.5	10	-90	Omni direccional 12 dBi	12	10.4	1
Municipalidad	Colegio Tomasa Tito Condemayta	0.53	5	10	-90	Directiva 19 dBi	12	10.4	1
Municipalidad	Comisaría PNP	0.6	13.5	10	-90	Omni direccional 12 dBi	12	10.8	1
Comisaría PNP	Municipalidad	0.6	5	10	-90	Directiva 19 dBi	12	10.8	1
MUNICIPIO POMACANCHI									
Repetidor Pomacanchi	Municipalidad	1.44	10.5	2	-90	Directiva 27 dBi	12	10.7	2
Municipalidad	Repetidor Pomacanchi	1.44	15	2	-90	Directiva 27 dBi	12	10.7	2
Municipalidad	Colegio San José Obrero	0.42	13.5	7	-90	Omni direccional 12 dBi	12	10.3	1
Colegio San José Obrero	Municipalidad	0.42	5	7	-90	Directiva 19 dBi	12	10.3	1
Municipalidad	Colegio Simón Bolívar	0.86	13.5	16	-90	Omni direccional 12 dBi	12	10.9	1
Colegio Simón Bolívar	Municipalidad	0.86	5	16	-90	Directiva 19 dBi	12	10.9	1
Municipalidad	Instituto Pedagógico	0.52	13.5	8	-90	Omni direccional 12 dBi	12	10	1
Instituto Pedagógico	Municipalidad	0.52	5	8	-90	Directiva 19 dBi	12	10	1
Municipalidad	Comisaría PNP	0.13	13.5	1	-90	Omni direccional 12 dBi	12	14.4	1
Comisaría PNP	Municipalidad	0.13	5	1	-90	Directiva 19 dBi	12	14.4	1
MUNICIPIO SANGARARA									
Repetidor Laykatuyoc	Comisaría PNP	3.41	10.5	16	-90	Sectorial 17 dBi 90°	12	10.6	3
Comisaría PNP	Repetidor Laykatuyoc	3.41	6.5	16	-90	Directiva 27 dBi	12	10.6	3
Comisaría PNP	Municipalidad	0.29	5	5	-90	Omni direccional 12 dBi	12	10.9	1
Municipalidad	Comisaría PNP	0.29	5	5	-90	Directiva 19 dBi	12	10.9	1
Comisaría PNP	Colegio Libertadores de América	0.01	5	1	-90	Omni direccional 12 dBi	12	38.4	1
Colegio Libertadores de América	Comisaría PNP	0.01	5	1	-90	Directiva 19 dBi	12	38.4	1
Comisaría PNP	Instituto Tecnológico	0.74	5	12	-90	Omni direccional 12 dBi	12	10.2	1
Instituto Tecnológico	Comisaría PNP	0.74	5	12	-90	Directiva 19 dBi	12	10.2	1

D.P. = Doble Polaridad

Tabla 2.3: Resultados de la simulación

Los resultados establecen que la tarjeta inalámbrica debe ser mínimo de unos 25 dBm (316 mW) de potencia de transmisión para toda la red.

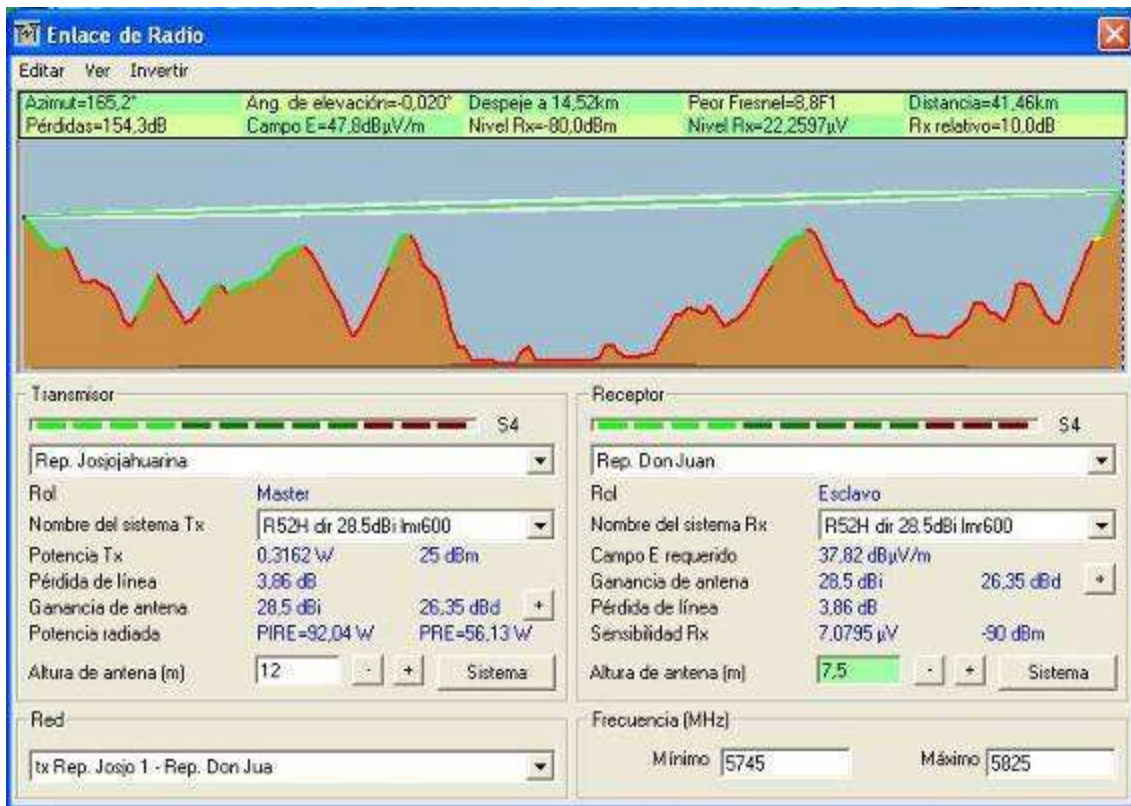


Figura 2.2: Simulación del radioenlace entre dos repetidores de la red troncal



Figura 2.3: Simulación del radioenlace entre un punto final y su repetidor local

En la figura 2.2 se pueden observar varios resultados interesantes, entre otros que un enlace de más de 40 Km requiere de antenas directivas con ganancia 28.5 dBi, y una potencia de las tarjetas inalámbricas de 25 dBm para obtener un margen de seguridad de 10 dB. También se tiene el valor del peor radio de Fresnel que es de 8.81R1, y las alturas de ambas antenas que son de 12 m y 7.5 m respectivamente. En el enlace con una distancia de 0.7 Km dentro de un municipio como el que se muestra en la figura 2.3, se puede obtener fácilmente un margen de seguridad de 10.9 dB con el uso de antenas de menor ganancia, y potencias de transmisión mucho menores que en el caso anterior.

2.1.3. Elección de la solución

Como equipo 802.11a se optó por una solución comercial (computadora embebida, tarjeta inalámbrica, sistema operativo y driver). Entre éstas se encontró a las marcas MikroTik, Lobometrics y Smart Bridges. La tarjeta inalámbrica elegida debe tener una potencia de transmisión mínima de 25 dBm, y una sensibilidad de -90 dBm, o en cualquier caso que la ratio entre la primera y la segunda sea siempre mayor que 115 dB.

Solución Mikrotik: La solución MikroTik está compuesta en este caso por la computadora embebida RouterBOARD 333, el Sistema Operativo de MikroTik RouterOS y la tarjeta inalámbrica R52H. La tarjeta inalámbrica R52H soporta los estándares IEEE 802.11a/b/g con su respectivo mecanismo de acceso al medio CSMA/CA, y dispone también de seguridad WEP, WPA y WPA2. Es la única tarjeta inalámbrica de MikroTik que presenta una potencia máxima de transmisión que es de 25 dBm y además una sensibilidad máxima en la banda de 5 GHz que es de -90 dBm. La R52H está optimizada para trabajar con el protocolo de largas distancias Nstreme de MikroTik, el cual está diseñado para superar las limitaciones en distancia y caudal efectivo que presenta el estándar IEEE 802.11. También soporta el protocolo Nstreme-dual diseñado para ofrecer comunicaciones inalámbricas realmente full-duplex usando 2 tarjetas inalámbricas a la vez, una para transmitir y la otra para recibir. La computadora embebida elegida para la solución MikroTik es la RouterBOARD 333 de entre todas las RouterBOARD posibles (RB192, RB133C, RB133, RB150, RB532/A, RB230, RB333, CROSSROADS, RB133C, RB450, RB411/A/AH, RB493/AH, RB230, RB433/AH, RB600A, RB1000) y las principales razones para ello es que presenta 3 ranuras miniPCI lo que permitiría disponer de tres enlaces independientes, 3 puertos ethernet 10/100, un procesador PowerPC de 333 MHz, y un consumo promedio de 12W. La RouterBOARD 333 viene con el software propietario RouterOS con nivel 4, lo que significa que se puede implementar hasta un Proveedor de Servicios de Internet Inalámbrico (WISP), y además trae herramientas que son suficientes para cumplir los objetivos. El costo de la RouterBOARD 333 con 1 tarjeta inalámbrica R52H y accesorios está alrededor de 400 USD.



Figura 2.4: RouterBORD 333 + Tarjeta Inalámbrica R52H + pigtail

Solución Lobometrics: En esta solución se ha optado por el modelo 954HR, de entre la alta variedad de productos que ofrece Lobometrics en la banda de 5.8 GHz (Miura Five, 999T, 968T, 968R, 954T, 954R, 954HR, 805A, 968TS, 968RS, 954TS y 954RS). Básicamente por ser el único en su grupo que tiene 3 interfaces (permitiría disponer de tres enlaces independientes en la red Willay Cusco por producto), porque cada radio tiene una potencia máxima de transmisión de 26 dB, y por su relativo bajo costo de 1500 USD (no incluye antenas) en comparación con los otros modelos de la misma marca. Además este modelo presenta una sensibilidad máxima de -105 dBi, una CPU IBM RISC de 335 MHz, 3 conectores N-Hembra, 4 puertos ethernet 10/100, implementa seguridad WEP, WPA y WPA2, y tiene un consumo energético medio de 10,92 W. Este modelo ofrece un caudal efectivo de 130 Mbps en un enlace con línea de vista de 20 Km. Aunque Lobometrics ofrece soluciones inalámbricas para larga distancia, no especifica qué modificaciones contiene su protocolo propietario para lograrlo.



Figura 2.5: Lobometrics 954HR

Solución Smart Bridges: En el caso de Smart Bridges, el modelo elegido es el Access Point sB3216 especialmente diseñado para ambientes exteriores. Dicho modelo muestra que es compatible con los estándares IEEE 802.11a/d/h/i aunque añade un modo de funcionamiento propietario que mejora las prestaciones de dichos estándares. Esta mejora permite alcanzar enlaces punto a punto de hasta 40 Km usando antenas de 31 dBi de ganancia en ambos radios. El sB3216 tiene 1 interfaz radio en la banda de 5.8 GHz (4.800 MHz – 5.900 MHz) lo que permitiría disponer de un único enlace independiente en la red. La máxima sensibilidad en esa banda es de -108 dBm, tiene una potencia máxima de transmisión de 27 dBm, tiene dos puertos ethernet 10/100, implementa seguridad WEP, WPA y WPA2, tiene un conector N-Hembra, tiene una antena integrada con ganancia de 12 dBi, y tiene un consumo

energético medio de 9,6 W. El caudal efectivo de este modelo es de 25 Mbps de tráfico TCP en un enlace punto a punto. Aunque Smart Bridges ofrece soluciones inalámbricas para larga distancia, no especifica qué modificaciones contienen sus mejoras respecto al estándar para lograrlo. El precio del modelo Smart Bridges elegido es aproximadamente de 1200 USD.



Figura 2.6: Smart Bridges sB3216

Solución	Máxima potencia de transmisión de la tarjeta inalámbrica	Sensibilidad de la tarjeta inalámbrica en WLAN 802.11a	Implementa solución para enlaces de larga distancia	Costo
MikroTik - RouterBOARD 333 + R52H + pigtail + caja + accesorios caja	25 dBm	-90 dBm	SI	400 USD
Lobometrics - 954HR	26 dBm	-105 dBm	SI	1500 USD
Smart Bridges - sB3216	27 dBm	-108 dBm	SI	1200 USD

Tabla 2.4: Características de las soluciones

La solución Smart Bridges presenta una limitación, sólo garantiza enlaces de hasta 40 Km y la red Willay Cusco tiene 2 enlaces en la troncal que superan los 40 Km. Aparte al disponer únicamente de una interfaz radio por producto, hace necesario la adquisición de más productos triplicando su costo. La solución Lobometrics, a pesar de tener un excelente nivel de sensibilidad lo cual da más margen de degradación a la potencia recibida, y disponer de un protocolo propietario para enlaces de larga distancia, su excesivo costo lo descarta para el presente proyecto. Por lo tanto la solución definitiva para la red Willay Cusco, pasa por la implementación de la solución MikroTik, la cual cumple con las especificaciones impuestas por la simulación de los enlaces, y a la vez es una solución relativamente económica.

Llegado a este punto, se observa que las prestaciones que ofrece la solución MikroTik elegida (computadora embebida RouterBOARD 333 + tarjeta inalámbrica R52H + Sistema Operativo RouterOS) son buenas para determinados puntos de la red como los repetidores troncales, pero excesivas en los clientes de cada municipio. A partir de aquí se hace una búsqueda de una computadora embebida, dentro de la misma marca RouterBOARD, cuyo rendimiento sea el adecuado para los clientes finales donde no se implementan muchas aplicaciones, y que a la vez soporte el nivel 4 del RouterOS. La computadora embebida elegida es la RouterBOARD 433, que aparte de tener un costo de 350 USD (50 USD menos que la RouterBOARD 333), también tiene un consumo menor de 9 W y una frecuencia menor de la CPU de 300 MHz. Lo interesante de esta computadora embebida es que mantiene los 3 puertos ethernet 10/100 y dispone de 3 ranuras miniPCI como la RouterBOARD 333.

2.2. Diseño radio de la red wifi Willay Cusco

MikroTik RouterOS es un sistema operativo propietario basado en el núcleo de Linux, se puede instalar en distintos tipos de arquitectura hardware convirtiendo al equipo en un enrutador dedicado. El RouterOS presenta distintos tipos de licencia (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6), según la cual se permite o restringe el uso de todos sus contenidos y funcionalidades. También dependiendo de la licencia, el software se podrá actualizar hasta cierto grado o no. La licencia mínima que se necesita para poder implementar una red inalámbrica adecuada es la 4, la cual principalmente permite el funcionamiento de la tarjeta inalámbrica en modo AP (Punto de Acceso). En ese nivel de licencia el RouterOS se puede actualizar sólo dentro de las versiones 3.X. que son las actuales, y su costo es de 90 USD. Los principales contenidos y funcionalidades que ofrece y soporta el RouterOS se listan a continuación:

- Cliente y servidor SSH (Licencia 1 mínima requerida).
- Servidor FTP (Licencia 1 mínima requerida).
- Acceso a nivel MAC: Se usa para acceder a un enrutador que no tiene ninguna IP asignada (Licencia 1 mínima requerida).
- WinBox: Es una consola para configurar y administrar un enrutador MikroTik mediante una Interfaz de Usuario Gráfica.
- Protocolos de enrutamiento dinámico BGP, OSPF y RIP (Licencia 3 mínima requerida).
- Política de enrutamiento y ECM (Licencia 1 mínima requerida).

- Bonding: Es una tecnología que permite agregar múltiples interfaces tipo ethernet en un solo enlace virtual (Licencia 1 mínima requerida).
- Bridge (Licencia 3 mínima requerida).
- M3P: Es un protocolo propietario de MikroTik para optimizar la velocidad de datos en protocolos que tienen un alto overhead (pocos datos de información en comparación a los datos de la cabecera) por paquete transmitido (Licencia 1 mínima requerida).
- Seguridad mediante IPSec, L2TP, PPTP (Licencia 1-3- 5 mínima requerida).
- VLAN (Licencia 1-3 mínima requerida).
- QoS (Licencia 1-3 mínima requerida).
- Marcado y filtrado de paquetes (Licencia 1 mínima requerida).
- NAT (Licencia 1-3 mínima requerida).
- Testeo de ancho de banda (Licencia 1 mínima requerida).
- Scripting (Licencia 1 mínima requerida).
- Scheduler: Es un programador para ejecutar scripts en determinados tiempos (Licencia 1 mínima requerida).
- NTP (Licencia 1 mínima requerida).
- MNDP: MikroTik Neighbor Discovery Protocol es un protocolo para obtener información de los vecinos dentro de un mismo segmento de red (Licencia 1 mínima requerida).
- Nstreme: Nstreme es un protocolo propietario de MikroTik para superar las limitaciones que presenta el estándar IEEE 802.11 en enlaces de larga distancia (Licencia 3-4 mínima requerida).

El módulo radio para la red Willay Cusco estará compuesto por la computadora embebida RouterBOARD (333 ó 433), tarjeta inalámbrica R52H, pigtail y una antena respectiva. La tarjeta inalámbrica R52H dispone de dos conectores U.fl para poder conectar dos antenas e implementar diversidad espacial. Pero esto no será implementado porque aumentaría el número de antenas en la torre, entonces sólo se usará una antena por tarjeta inalámbrica en toda la red. Por el otro extremo del pigtail se va a usar una terminación en N-Hembra, lo que implica usar un cable coaxial con terminación N-Macho por ambos extremos (configuración más común), y el otro extremo del cable coaxial va a estar conectado a la antena.

Las velocidades de transmisión en los enlaces serán configuradas para soportar 6 Mbps, 9 Mbps (ambas usando codificación BPSK), 12 Mbps y hasta 18 Mbps (ambas

usando codificación QPSK). No se pueden soportar todas las velocidades en enlaces inalámbricos de larga distancia, puesto que al aumentar la velocidad de transmisión la sensibilidad de cualquier tarjeta inalámbrica también aumenta, por ejemplo a 54 Mbps la sensibilidad es -70 dBm, que es superior a los -90 dBm establecidos en la simulación. Según las especificaciones no se sabe qué sensibilidad presentan las velocidades soportadas de 9 Mbps, 12 Mbps y 18 Mbps, lo único que se puede suponer es que, al usar esquemas de modulación de pocos símbolos (2 símbolos en BPSK y 4 símbolos en QPSK), es probable que no presenten una variación muy fuerte respecto a la sensibilidad de -90 dBm en 6 Mbps, puesto que al mandar relativamente poca información no se precisa de una SNR alta para decodificar con precisión la información. A partir de la velocidad de 24 Mbps, al usar una codificación 16-QAM con 16 símbolos es más probable que la sensibilidad aumente al incrementarse de forma notoria el número de símbolos utilizados.

En lo que a la PIRE máxima de la red Willay Cusco se refiere, en el peor caso de la simulación con Radio Mobile se ha visto que es de 53.5 dBm (25 dBm de potencia de transmisión de la tarjeta inalámbrica + 28.5 dB de ganancia de antena) en los dos enlaces más largos de la red, repetidor UNSAAC - repetidor Josjojahuarina 1 y repetidor Josjojahuarina 1 - repetidor Don Juan. El uso de forma legal en Perú de las frecuencias dentro de las bandas ISM, queda regulado por el Ministerio de Telecomunicaciones mediante la Resolución Ministerial 777 aprobada el 2005 [8]. En el artículo 3 apartado a.1) del Anexo, se establece que la PIRE máxima en el rango de frecuencias 5725 - 5850 MHz no debe excederse de 36 dBm (4 W). Por otra parte, en el mismo artículo apartado b.1) del Anexo de la resolución, se establece que la potencia pico máxima de un transmisor en el rango de frecuencias 5725 - 5850 Mhz no debe excederse de 30 dBm (1 W). El artículo 10 hace referencia al ámbito rural y a lugares de preferente interés social, autorizando el uso de antenas de mayor ganancia que las previamente establecidas y por lo tanto pudiendo sobrepasar la PIRE de 36 dBm, siempre y cuando mediante la previa obtención de la autorización correspondiente (al ser el proyecto Willay Cusco de ámbito privado) por parte del Ministerio de Telecomunicaciones. En cualquier caso, el diseño de la red se entregará a las autoridades pertinentes del proyecto Willay Cusco para solucionar los permisos legales.

En el estándar IEEE 802.11a se comenta que la banda alta de frecuencias UNII (UNII es la norma regulada por la Comisión de Comunicaciones Federal (FCC) para los dispositivos inalámbricos en 5.8 GHz) puede variar según la regulación de cada país, y

establece que la canalización debe ser de 20 MHz. También se comenta que la frecuencia central del canal viene dada por la siguiente fórmula,

$$f = 5000 + 5 \times n_{ch} \text{ (MHz)} \quad \text{donde } n_{ch} = 0,1,\dots,200$$

En el caso concreto de Perú, la Resolución Ministerial 777 establece el rango de frecuencias 5725 - 5850 MHz dentro de la banda de 5.8 GHz. La banda alta UNII equivalente es la comprendida dentro del rango 5725 - 5850 MHz, por lo tanto ello corresponde a poder usar los canales 149 (frecuencia central 5745 MHz), 153 (frecuencia central 5765 MHz), 157 (frecuencia central 5785 MHz), 161 (frecuencia central 5805 MHz) y 165 (frecuencia central 5825 MHz). A la vez, estos mismos canales son plenamente soportados por la tarjeta inalámbrica R52H, por lo que son los que se toman para el diseño radio de la red Willay Cusco.

La asignación de frecuencias en la red Willay Cusco se hace de forma que se minimice la interferencia de las frecuencias reusadas, por lo que se tiene en cuenta el tipo de antena, y la potencia en transmisión de la tarjeta inalámbrica. Asimismo se utilizará el modo infraestructura en los enlaces, eso es, en cada enlace existirá un AP y uno o varios clientes, para ello se asigna a cada enlace radio su propio Identificador de Conjunto de Servicios (SSID), el cual es usado por el AP para anunciar su propia WLAN. Además se tiene que, aunque dos enlaces operen en frecuencias distintas consecutivas, existe cierta densidad espectral de potencia que se superpone de una banda a la otra. Esto es mayormente irrelevante, si el nivel de potencia de la señal recibida es mayor que el nivel de potencia recibida de la banda superpuesta. Cuando existen enlaces próximos y lejanos en un mismo punto, como puede ocurrir en el repetidor local de cada municipio, una buena práctica es disminuir la potencia de los clientes dentro del municipio, para que no interfiera la señal recibida del enlace hacia el repetidor troncal más próximo al municipio; y también ubicar la antena omnidireccional del repetidor local, por debajo y suficientemente separada de la antena directiva que apunta al repetidor de la troncal.

	Nodo	Nodo destino	Potencia de transmisión del nodo (dBm)	Tipo de enlace	Frecuencia (MHz)	Canal	SSID
TRONCALES							
	Repetidor UNSAAC	Repetidor Josojahuarina	25	TX	5745	149	WILLAY1
	Repetidor Josojahuarina	Repetidor UNSAAC	25				
	Repetidor UNSAAC	Repetidor Josojahuarina	25	RX	5785	157	WILLAY2
	Repetidor Josojahuarina	Repetidor UNSAAC	25				
	Repetidor Josojahuarina 1	Repetidor Don Juan	25	TX	5765	153	WILLAY3
	Repetidor Don Juan	Repetidor Josojahuarina 1	25				
	Repetidor Josojahuarina 1	Repetidor Don Juan	25	RX	5805	161	WILLAY4
	Repetidor Don Juan	Repetidor Josojahuarina 1	25				
	Repetidor Don Juan	Repetidor Pomacanchi	25	TX / RX	5825	165	WILLAY9
	Repetidor Pomacanchi	Repetidor Don Juan	25				
	Repetidor Don Juan	Repetidor Laykatuyoc	25	TX	5745	149	WILLAY5
	Repetidor Laykatuyoc	Repetidor Don Juan	25				
	Repetidor Don Juan	Repetidor Laykatuyoc	25	RX	5785	157	WILLAY6
	Repetidor Laykatuyoc	Repetidor Don Juan	25				
	Repetidor Laykatuyoc	Repetidor Huáscar	25	TX	5765	153	WILLAY7
	Repetidor Huáscar	Repetidor Laykatuyoc	25				
	Repetidor Laykatuyoc	Repetidor Huáscar	25	RX	5805	161	WILLAY8
	Repetidor Huáscar	Repetidor Laykatuyoc	25				
MUNICIPIO ACOMAYO							
	Repetidor Huáscar	Municipalidad	25	TX /RX	5785	157	WILLAY14
	Municipalidad	Repetidor Huáscar	25				
	Municipalidad	UGEL	25	TX /RX	5745	149	WILLAY15
	UGEL	Municipalidad	20				
	Municipalidad	Colegio Tomasa Tito Condemayta	25	TX /RX	5745	149	WILLAY15
	Colegio Tomasa Tito Condemayta	Municipalidad	20				
	Municipalidad	Comisaría PNP	25	TX /RX	5745	149	WILLAY15
	Comisaría PNP	Municipalidad	20				
MUNICIPIO POMACANCHI							
	Repetidor Pomacanchi	Municipalidad	25	TX / RX	5765	153	WILLAY10
	Municipalidad	Repetidor Pomacanchi	25				
	Municipalidad	Colegio San José Obrero	25	TX / RX	5745	149	WILLAY11
	Colegio San José Obrero	Municipalidad	20				
	Municipalidad	Colegio Simón Bolívar	25	TX / RX	5745	149	WILLAY11
	Colegio Simón Bolívar	Municipalidad	20				
	Municipalidad	Instituto Pedagógico	25	TX / RX	5745	149	WILLAY11
	Instituto Pedagógico	Municipalidad	20				
	Municipalidad	Comisaría PNP	25	TX / RX	5745	149	WILLAY11
	Comisaría PNP	Municipalidad	20				
MUNICIPIO SANGARARÁ							
	Repetidor Laykatuyoc	Comisaría PNP	25	TX / RX	5825	165	WILLAY12
	Comisaría PNP	Repetidor Laykatuyoc	25				
	Comisaría PNP	Municipalidad	25	TX / RX	5805	161	WILLAY13
	Municipalidad	Comisaría PNP	20				
	Comisaría PNP	Colegio Linertadores de América	25	TX / RX	5805	161	WILLAY13
	Colegio Libertadores de América	Comisaría PNP	20				
	Comisaría PNP	Instituto Tecnológico	25	TX / RX	5805	161	WILLAY13
	Instituto Tecnológico	Comisaría PNP	20				

Tabla 2.5: Configuración radio de los enlaces

Como se ha comentado anteriormente, MikroTik tiene un protocolo propietario para enlaces de larga distancia llamado Nstreme. Éste es la única forma en la que MikroTik implementa la técnica del Punto de Función de Coordinación (PCF), que básicamente se usa para evitar el problema del nodo oculto. En todos los enlaces punto a punto se va a hacer uso del protocolo Nstreme con la característica PCF desactivada. En los enlaces punto a multipunto, o lo que es lo mismo los que usan una antena omnidireccional o sectorial, se va a hacer uso del protocolo Nstreme con la característica PCF activada.

2.3. Enrutamiento dinámico y estático

En el análisis se estableció que el protocolo de enrutamiento dinámico usado en la red Willay Cusco tiene que pertenecer a la familia IGP. El RouterOS de MikroTik soporta 3 protocolos de enrutamiento dinámico, BGP, OSPF y RIP. BGP no es de la familia IGP sino de la EGP, y los dos restantes pertenecen a la familia IGP pero ambos utilizan

distintos algoritmos para calcular las rutas óptimas. Mientras que OSPF es un protocolo de enrutamiento dinámico estado de enlace (link-state) que usa el algoritmo de Dijkstra, RIP es un protocolo de enrutamiento dinámico vector distancia (distance vector) que usa el algoritmo de Bellman-Ford. Los protocolos de enrutamiento dinámico vector distancia se caracterizan porque los enrutadores mandan periódicamente actualizaciones de toda la tabla de rutas completa mediante un broadcast a todos sus vecinos. Por otra parte los protocolos de enrutamiento dinámico estado de enlace mandan mediante paquetes multicast las actualizaciones de la tabla de rutas pero sólo en caso que exista algún cambio, por lo que el uso del ancho de banda mejora respecto a la familia vector distancia y también reduce la carga de la CPU.

RIP tiene un límite máximo de 15 saltos, por lo que una red que tiene más saltos que dicha cantidad es considerada inalcanzable; OSPF no tiene ningún tipo de limitación en la cantidad de saltos. RIP no soporta Máscaras de Subred de Longitud Variable (VLSM); OSPF sí las soporta. RIP converge más lentamente que OSPF cuando ocurre un cambio en la topología de la red. RIP no usa ningún concepto tal como el costo de un enlace o su retardo, el enrutamiento se basa únicamente en la ruta que tiene menores saltos hasta el destino; OSPF usa el costo de un enlace según su ancho de banda para determinar la ruta óptima. RIP no usa ningún concepto tal como áreas o separaciones; OSPF permite definir las redes de forma lógica en las que los enrutadores se pueden dividir en áreas, lo que permite delimitar la propagación de las actualizaciones de la topología de la red. Además OSPF implementa un mejor balanceo de carga y permite autenticación para las actualizaciones. Aunque OSPF es más complejo que RIP las ventajas que presenta son numerosas, y a pesar de que se conoce que OSPF no está optimizado para redes inalámbricas, los protocolos actuales para 802.11 (Hazy Sighted Link State, Ad-hoc On-demand Distance Vector, Optimized Link State Routing) aún están en pruebas. Es por ello que se elige OSPF como el protocolo de enrutamiento dinámico a usar en la red Willay Cusco.

Como el número de nodos en la red troncal Willay Cusco es relativamente bajo (6 repetidores troncales), la implementación de OSPF se hará mediante una sola área llamada backbone o área 0. OSPF puede operar en redes tipo broadcast, punto a punto, y acceso múltiple sin broadcast. La primera se refiere a una red que puede conectar más de dos enrutadores mediante un mecanismo de broadcast hardware, en el que un sólo paquete enviado por un enrutador es recibido por todos los enrutadores que pertenecen a la misma red. Como la capa MAC del IEEE 802.11a soporta dicho mecanismo y es la que está implementada en la red Willay Cusco, el tipo de red según

OSPF para la red Willay Cusco será del tipo broadcast. A modo de información, la red tipo punto a punto es la que sólo puede conectar dos enrutadores, y la acceso múltiple sin broadcast es la que no se dispone de un mecanismo de broadcast hardware, como pueden ser las redes X.25, Frame Relay y ATM.

Como OSPF sólo se va a usar en la red troncal, dentro de los enlaces de cada municipio se usará enrutamiento estático, y las redes se propagarán mediante el repetidor Enrutador de Borde de Área (ABR) más cercano al municipio, hacia el resto de repetidores de la troncal. Los repetidores ABR, ver figura 2.7, pueden efectuar 2 tipos de propagación de la métrica dentro del área OSPF, la tipo 1 y la tipo 2. La tipo 1 consiste en anunciar el costo de la ruta estática, como suma de todos los costos internos más externos dentro del área desde el punto de interés. La tipo 2 por el contrario sólo anuncia un único costo, que es el externo al área OSPF desde cualquier punto de interés. El tipo de propagación elegida es la 1.

Teniendo en cuenta que el repetidor de la UNSAAC forma parte del área 0, pero a la vez es el gateway que hace frontera con el exterior de la red Willay Cusco, recibe el nombre de Enrutador de Límite de Sistema Autónomo (ASBR). En este caso, el equipo será el encargado de propagar el gateway por defecto dentro del área 0, y para esto existen 2 formas para ello, el tipo “siempre” y “si hay un gateway instalado” (para ambas se puede propagar con métrica del tipo 1 o 2). “siempre” se utiliza para propagar siempre que existe un gateway configurado, aunque no exista físicamente, y con “si hay un gateway instalado” sólo se propaga el gateway si éste está configurado. En la red Willay Cusco el gateway tendrá una propagación de métrica tipo 1 y el tipo “si hay un gateway instalado”.

Para el proceso de la elección del Enrutador Designado (DR), y el Enrutador Designado de Respaldo (BDR) en el proceso de crear las adyacencias en OSPF, el enrutador con la prioridad más alta en un segmento se convierte en DR en dicho segmento (si es que se asignan prioridades, sino será el enrutador cuyo identificador sea el mayor), por lo tanto se asignarán las prioridades correspondientes para que las adyacencias se puedan crear satisfactoriamente.

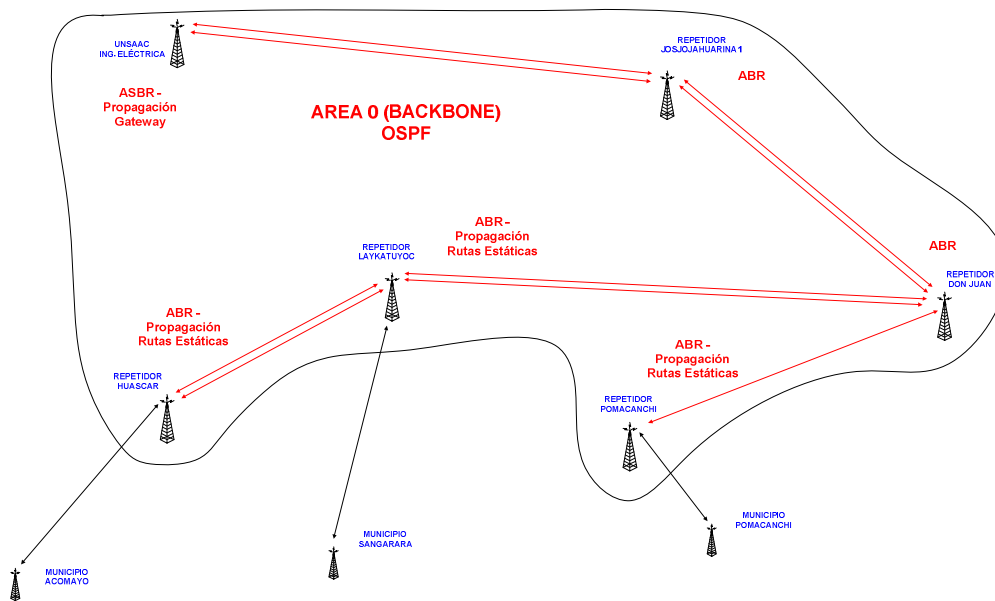


Figura 2.7: Puntos con OSPF en la red Willay Cusco

2.4. Redundancia

En los enlaces de la red troncal entre los puntos repetidor UNSAAC, repetidor Josjohuarina 1, repetidor Don Juan, repetidor Laykatuyoc y repetidor Huáscar se van a usar dos enlaces por salto para proveer redundancia. Dentro de la tecnología elegida, existen 3 técnicas posibles que se van a estudiar para el caso, bonding Nstreme, dual Nstreme y Nstreme con OSPF.

La técnica de bonding Nstreme consiste en agregar varias interfaces inalámbricas de red tipo ethernet en una sola interfaz lógica. Para conseguir que una interfaz inalámbrica pueda ser del tipo ethernet, se hace mediante un protocolo desarrollado por Mikrotik llamado Ethernet sobre Ip (EoIP), el cual crea un túnel ethernet por encima de una conexión IP. Existen dos modos de operación del bonding, el Respaldo (donde existe un enlace en modo esclavo que sólo se activa cuando el enlace principal se cae), y el Balanceo (donde la carga de tráfico se balancea a través de todas las interfaces siguiendo distintos métodos como round-robin o adaptativa). En cualquier caso las interfaces no se pueden usar de forma independiente, sino que forman un agregado de enlaces en un sólo enlace. En este agregado de enlaces, los datos se transmiten y se reciben, por lo que en enlaces inalámbricos, aunque el caudal aumente teóricamente al doble, el caudal efectivo puede que no aumente demasiado debido a las colisiones de paquetes.

La técnica del dual Nstreme funciona mediante un protocolo propietario de MikroTik, y consiste en usar dos tarjetas inalámbricas en cada nodo para crear un enlace

exclusivamente para la transmisión de datos, y otro exclusivamente para la recepción de datos. Aunque el ancho de banda en transmisión o recepción queda limitado, en ninguno de los enlaces se producen colisiones de paquetes, por lo que el caudal efectivo aun siendo potencialmente menor que en el caso de la técnica de bonding Nstreme, es mucho más estable. Además esta técnica no soporta redundancia, puesto que si una de las 4 tarjetas inalámbricas se estropea, ambos enlaces, el de transmisión y el de recepción, quedan inutilizados.

La técnica del Nstreme con OSPF consiste, de forma equivalente a la técnica del dual Nstreme, en usar dos tarjetas inalámbricas en cada nodo para crear un enlace exclusivamente para la transmisión de datos, y otro exclusivamente para la recepción de datos. A diferencia de la técnica del dual Nstreme, la selección del enlace transmisor o receptor no se hace mediante un protocolo propietario de MikroTik, sino por manipulación de los costos de cada interfaz inalámbrica a través del OSPF para que a nivel de enrutamiento y según un sentido en la red definido, un enlace presente menor costo al transmitir y por lo tanto sea el transmisor, y otro presente mayor costo al transmitir y por lo tanto sea el enlace receptor. Con esto se logrará que se usen dos enlaces dedicados, uno para transmisión y otro para recepción de datos sin que existan colisiones, pero además si una tarjeta inalámbrica se estropea el otro enlace que queda operativo adopta las funcionalidades de transmisión y recepción.

Por lo tanto esta última técnica es la que será implementada en la red.

2.5. Direccionamiento IP

El direccionamiento IP en la red Willay Cusco se implementa mediante el rango de IP's privadas de la clase A 10.0.0.0/8.

En el diseño se decide hacer uso del rango de direcciones 10.10.X.0/24 para los segmentos de red en la red troncal, y el rango de direcciones 10.11.X.0/24 para los segmentos de red en cada municipio. La diferenciación en el direccionamiento IP se establece mediante el uso de los primeros 4 bits del tercer octeto, básicamente para identificar todo el tráfico originado en cada zona mediante una superred y facilitar la configuración de la propagación de las redes de los municipios en la red troncal.

En el municipio de Acomayo el direccionamiento IP será 10.11.[0000 | 0000].0 ó el equivalente 10.11.0.0/20. En el municipio de Sangará será 10.11.[0001 | 0000].0 ó el equivalente 10.11.16.0/20. En el municipio de Pomacanchi será 10.11.[0010 | 0000].0 ó el equivalente 10.11.32.0/20. Con este esquema, en la red troncal se disponen de 256 segmentos de red posibles que provienen del rango 10.10.[0-255].0/24, los cuales

a parte de cumplir con los 24 necesarios, hacen viable cualquier ampliación fácil en un futuro. Para los municipios se puede disponer de hasta 16 segmentos de red, esto es una cantidad aceptable si se tiene en cuenta que el proyecto Willay Cusco va a dar servicio a unos 6 municipios en un futuro.

En el repetidor troncal de la UNSAAC es donde se va a llevar a cabo, entre otras cosas, el enrutamiento hacia el correspondiente enrutador comercial del tráfico hacia Internet de cada municipio. El hecho que cada municipio tenga su propia conexión de Internet contratada, hace que se tenga que identificar de forma correcta qué tráfico pertenece a quién. Ello se hace mediante la identificación de las IP's de origen con la superred a la cual cada municipio pertenece, Acomayo con IP's en el rango 10.11.0.0/20, Sangarará con IP's en el rango 10.11.16.0/20 y Pomacanchi con IP's en el rango 10.11.32.0/20.

Actualmente en el proyecto Willay Cusco existen 3 municipios, pero como en una segunda fase se van a sumar 3 municipios más habiendo 6 municipios en total, no es viable usar un puerto ethernet por municipio en la primera fase del proyecto para distribuir el tráfico de cada municipio hacia cada enrutador de Internet. Por lo que se hará uso de LAN's Virtuales (VLAN's) en un mismo tramo Ethernet de la MikroTik 333, y a través del identificador de cada VLAN, un switch con capacidad de manejar VLAN podrá mandar el tráfico de cada municipio hacia Internet por el enrutador comercial respectivo.

Para un mejor detalle sobre la distribución de las IP's en la red se pueden observar las figuras 2.13 y 2.14.

2.6. VoIP

En el análisis se comentó que, la implementación de la telefonía IP debe ser no comercial. El equipo más importante dentro de una red de telefonía IP es el servidor de telefonía (llamado a veces proxy de telefonía), y la decisión se basa en que este servidor debe estar implementado con un sistema no comercial. Dentro de este grupo existen varias opciones como Asterisk, SIP Express Router (SER) y FreeSWITCH entre muchos otros. SER es un proxy SIP sin estado (stateless), por lo tanto se enfoca únicamente sobre los paquetes que se intercambian en el inicio de establecimiento de una llamada, como los que negocian las direcciones IP a usar, los puertos, los códecs etc. pero no tiene ningún control sobre el flujo de paquetes de voz (no maneja el Protocolo de Transporte de tiempo Real (RTP)). Además SER sólo puede funcionar con SIP, por lo que su uso queda muy limitado, y más sabiendo que otros protocolos

como IAX están ganando terreno a SIP. Por el contrario, Asterisk es un proxy con estado (statefull), pudiendo saber perfectamente el estado de las llamadas, e implementar servicios que dependen de ella como IVR y por lo tanto actuando sobre el flujo RTP. Asterisk además soporta varios protocolos como SIP, H.323, IAX y MGCP y en definitiva provee las funcionalidades de un PBX de forma muy completa. Aunque existen otros sistemas como FreeSWITCH, que presentan modificaciones respecto a Asterisk en la concepción y programación del núcleo, Asterisk es la plataforma para VoIP de código libre que presenta un mayor uso extendido, y que a la vez concentra la mayoría de desarrolladores y soporte en este ámbito. Es por ello que se elige Asterisk como el sistema para implementar la telefonía en la red Willay Cusco. Aunque el RouterOS de Mikrotik soporta VoIP, no ofrece todo el potencial y flexibilidad que el Asterisk.

Asterisk no se puede instalar en el RouterOS, por lo que se decide hacer uso de una computadora embebida OEM en cada repetidor local de cada municipio, para instalar el servidor Asterisk dentro de un entorno Linux para administrar los equipos telefónicos de los clientes de la red. La computadora embebida OEM elegida es la Alix2C2 que posee un procesador AMD Geode LX800 de 500 MHz, una DRAM de 256 MB, 2 puertos LAN, 2 puertos miniPCI, y una ranura para memorias CompactFlash. En este equipo se instalará Linux Voyage (sistema Linux basado en Debian y optimizado para estos equipos). Con este hardware se podrá brindar hasta un total de 15 llamadas simultáneas usando el protocolo SIP [9], y en la red Willay Cusco cada servidor administrará una media de 5 equipos telefónicos por municipio. En la ubicación de la UNSAAC, donde se interconectará la red de telefonía IP con la red de telefonía pública, se implementará un servidor Asterisk en base a una computadora personal y equipos que hagan de pasarela entre la telefonía IP y la telefonía pública.

Para la comunicación entre los servidores Asterisk se hará uso del protocolo IAX, y los equipos telefónicos utilizarán el protocolo SIP. En las figuras 2.13 y 2.14 se muestra la distribución de los equipos telefónicos en la red.

La tabla 2.6 muestra la configuración telefónica de los nodos de la red Willay Cusco, indicando en cada punto el equipo ATA utilizado, así como IP's, extensiones, códecs de voz y servidores Asterisk asignados.

	Cliente final	ATA	IP ATA	Número teléfono	Servidor Asterisk	IP Servidor Asterisk	Códec de voz
TRONCALES							
	UNSAAC	Linksys SPA 3102	10.10.21.2/24	10	Asterisk1	10.10.21.1/24	G.726 32K
		Linksys SPA 3102	10.10.22.2/24	12	Asterisk1	10.10.22.1/24	G.726 32K
		Linksys SPA 3102	10.10.23.2/24	14	Asterisk1	10.10.23.1/24	G.726 32K
MUNICIPIO ACOMAYO							
	Municipalidad	Linksys SPA 2002	10.11.2.2/24	210, 211	Asterisk2	10.11.2.4/24	G.726 32K
	Colegio Tomasa Tito Condemayta	Linksys SPA 2002	10.11.5.2/24	220	Asterisk2	10.11.2.4/24	G.726 32K
	UGEL	Linksys SPA 2002	10.11.3.2/24	230	Asterisk2	10.11.2.4/24	G.726 32K
	Comisaría PNP	Linksys SPA 2002	10.11.4.2/24	240	Asterisk2	10.11.2.4/24	G.726 32K
MUNICIPIO POMACANCHI							
	Municipalidad	Linksys SPA 2002	10.11.34.2/24	410, 411	Asterisk4	10.11.34.4/24	G.726 32K
	Instituto Pedagógico	Linksys SPA 2002	10.11.38.2/24	420	Asterisk4	10.11.34.4/24	G.726 32K
	Colegio Simón Bolívar	Linksys SPA 2002	10.11.35.2/24	430	Asterisk4	10.11.34.4/24	G.726 32K
	Colegio San José Obrero	Linksys SPA 2002	10.11.36.2/24	440	Asterisk4	10.11.34.4/24	G.726 32K
	Comisaría PNP	Linksys SPA 2002	10.11.37.2/24	450	Asterisk4	10.11.34.4/24	G.726 32K
MUNICIPIO SANGARARA							
	Municipalidad	Linksys SPA 2002	10.11.21.2/24	310, 311	Asterisk3	10.11.18.4/24	G.726 32K
	Colegio Libertadores de América	Linksys SPA 2002	10.11.19.2/24	320	Asterisk3	10.11.18.4/24	G.726 32K
	Instituto Tecnológico	Linksys SPA 2002	10.11.20.2/24	330	Asterisk3	10.11.18.4/24	G.726 32K
	Comisaría PNP	Linksys SPA 2002	10.11.18.2/24	340	Asterisk3	10.11.18.4/24	G.726 32K

Tabla 2.6: Configuración telefónica de la red Willay Cusco

2.7. Monitoreo de datos

Existen muchas aplicaciones para implementar sistemas de gestión de redes (Nagios, Zabbix, Ganglia, OpenNMS). Esto no es requisito por el momento de la red Willay Cusco, por lo cual en esta tesis se desarrollarán aplicaciones para el monitoreo de la red que ayudarán a los encargados de la red, y serán la base para el desarrollo de un sistema de gestión.

El monitoreo de la red planteado en esta tesis pretende mostrar información básica y necesaria para conocer el estado de los equipos en la red y algunas aplicaciones, como por ejemplo conocer el caudal efectivo de un enlace o la cantidad de llamadas hechas por un cliente. Esta información no se puede obtener utilizando sólo el Protocolo de Administración de Red Simple (SNMP), para ello se deben desarrollar aplicaciones para obtener dicha información. Para la administración de la información se tienen dos métodos, uno es implementar un servidor en algún punto de la red para que se encargue de recopilar la información y almacenarla para su consulta posterior, y el otro es que cada equipo enrutador de la red registre la información necesaria del mismo equipo (RouterBoard 333 ó 433 - RouterOS) y después se envíe a un equipo remoto para su almacenamiento y posterior consulta. El primer método exige que los enlaces deban estar siempre activos para no perder información en la obtención de ésta lo cual sería muy grave. Por lo tanto el segundo método es el más adecuado, pero se tienen algunas observaciones.

En la RouterOS de MikroTik no se pueden obtener los datos necesarios mediante comandos propios, sino que se debe hacer mediante SNMP el cual es un protocolo que el RouterOS sí soporta.

Como el RouterOS de MikroTik sólo implementa el agente de SNMP y no el cliente, no se pueden obtener los valores de las variables por sí mismo como sería el caso similar de un protocolo como el Monitoreo de Red Remoto (RMON), sino que se necesita de un cliente SNMP externo que acceda a los valores de estas variables. El equipo más cercano con la capacidad de implementar un cliente SNMP (en este caso el Net-SNMP) es la computadora embebida Alix2C2 ubicada en el repetidor local de cada municipio (utilizado originalmente para Asterisk). Por lo tanto los equipos Alix2C2 serán los equipos que soliciten información de las RouterBoard 333 y/o 433 más cercanos a éste y almacenará la información temporalmente, para posteriormente enviarla cada cierto tiempo al Servidor UNSAAC (utilizado originalmente para Asterisk) para ser presentada mediante web y poder ser accedida desde Internet.

El hecho que el cliente SNMP se instale a un sólo enlace inalámbrico de cada computadora embebida RouterBOARD, disminuye drásticamente la probabilidad de que no exista conectividad entre ambos, y a la vez facilita el acceso local a la información del monitoreo.

Todo agente SNMP soporta una serie de Bases de Información de Administración (MIB's) las cuales describen la estructura de los datos manejados de un dispositivo en concreto, mediante un árbol jerárquico que contiene los Identificadores de Objeto (OID's). Las MIB's que soporta el RouterOS de MikroTik son las que se muestran en la siguiente tabla.

<ul style="list-style-type: none">• MikroTik RouterOS OID: enterprises.14988.1• RFC1493 - Definitions of Managed Objects for Bridges• RFC2863 - The Interfaces Group MIB• RFC1213 - Management Information Base for Network Management of TCP/IP-based internets: MIB-II• RFC2011 - SNMPv2 Management Information Base for the Internet Protocol using SMiv2• RFC2096 - IP Forwarding Table MIB• RFC2790 - Host Resources MIB• CISCO-AAA-SESSION-MIB• RFC2863 - The Interfaces Group MIB
--

Tabla 2.7: MIB's soportadas por el RouterOS

La primera MIB de todas es la propietaria de MikroTik, y la mayoría del resto son MIB's estándares RFC's. Mediante esas MIB's se obtienen los valores de las siguientes variables seleccionadas a través del cliente SNMP Net-SNMP que se instala en las computadoras embebidas Alix2C2.

- sysName.0 : El nombre asignado al sistema.
- hrSystemUptime.0 : El tiempo total desde que el sistema fue inicializado por última vez.
- hrProcessorLoad.1 : El tiempo medio del último minuto en que el procesador estuvo ocupado.
- mtxrHealth.8.0 : El voltaje de alimentación.
- hrSystemDate.0 : La fecha y hora del sistema.
- hrStorageSize.1 : El tamaño total del disco duro.
- hrStorageUsed.1 : El tamaño usado del disco duro.
- hrStorageSize.2 : El tamaño total de la memoria RAM.
- hrStorageUsed.2 : El tamaño usado de la memoria RAM.
- mtxrLicSoftwareId.0 : Identificador del RouterOS.
- mtxrLicLevel.0 : Nivel de licencia del RouterOS.
- mtxrLicVersion.0 : Versión del RouterOS.
- ifNumber.0 : El número de interfaces del sistema.
- ifIndex.\$x : El identificador único entero mayor que zero para cada interfaz.
- ifName.\$x : El nombre de la interfaz.
- ifType.\$x : El tipo de interfaz.
- ifAdminStatus.\$x : El estado físico de la interfaz.
- ifOperStatus.\$x : El estado operacional de la interfaz.
- ipAdEntIfIndex : La dirección IP asociada a la interfaz referenciada por ifIndex.
- ipAdEntNetMask.\$IP : La máscara de red referenciada por ipAdEntIfIndex.
- ifPhysAddress.\$x : La dirección MAC de la interfaz.
- ifInUcastPkts.\$x : Los paquetes entrantes por la interfaz del tipo unicast.
- ifOutUcastPkts.\$x : Los paquetes salientes por la interfaz del tipo unicast.
- ifInDiscards.\$x : Los paquetes descartados entrantes por la interfaz.
- ifOutDiscards.\$x : Los paquetes descartados salientes por la interfaz.
- ifInErrors.\$x : Los paquetes con errores entrantes por la interfaz.
- ifOutErrors.\$x : Los paquetes con errores salientes por la interfaz.

Tabla 2.8: Variables SNMP monitoreadas

Donde \$x es el correspondiente numero asociado a cada interfaz y \$IP la IP correspondiente.

Aunque todas las variables listadas proporcionan una buena parte de la información necesaria, no son suficientes. Se necesita principalmente de la estadísticas en la propagación de paquetes mediante el comando ping, el caudal efectivo de cada enlace, el resumen de las llamadas realizadas y recibidas por el servidor Asterisk local, y la información adicional sobre el monitoreo del RouterOS de MikroTik sobre las interfaces inalámbricas. Para lograr esto se decide realizar un script general en bash llamado willay.sh para ejecutarlo en cada Alix2C2, y obtener la valores de las variables SNMP seleccionadas, estadísticas del comando ping, caudal efectivo del enlace, información adicional de las interfaces inalámbricas y registro de llamadas realizadas en Asterisk, para después ser enviados al servidor de la UNSAAC.

Estadísticas de la propagación de paquetes: La información que interesa es el retardo mínimo, medio y máximo que presentan los paquetes al transmitirse por interfaces inalámbricas, y la cantidad de paquetes correctamente transmitidos. Todo ello se puede obtener mediante las estadísticas que arroja el comando ping. Para esto el script willay.sh hará conexión con la RouterBOARD 333 ó 433 mediante SSH de forma directa y ejecutará el comando obteniendo los resultados.

Caudal efectivo de cada enlace: El RouterOS de MikroTik presenta la herramienta Bandwidth Test que permite realizar un testeo del ancho de banda tanto en enlaces inalámbricos como cableados mediante paquetes TCP o UDP. Como las comunicaciones UDP no necesitan confirmaciones ACK, la aproximación al ancho de banda real es más precisa que usando paquetes TCP. En la RouterBoard 333 ó 433 existirá un script que permita realizar el testeo del caudal efectivo de los enlaces directamente conectados a éste, y almacenará los resultados en variables para que el script willay.sh a través de una conexión SSH obtenga los valores de estas variables cuando sea necesario.

Información adicional de los enlaces inalámbricos y otros: Existe cierta información involucrada en la configuración del equipo, estado y calidad de los enlaces inalámbricos como la relación señal a ruido, la velocidad de transmisión configurada, los parámetros Calidad de la Conexión del Cliente (CCQ) en transmisión y recepción, el SSID entre otros, que sólo se pueden obtener mediante una herramienta de monitoreo que tiene el RouterOS. Para poder obtener esta información el script willay accederá por ssh y ejecutará el comando “/interface wireless monitor ethX” (donde X indica la interfaz inalámbrica correspondiente) dentro del RouterOS y procesará los resultados.

Además, es necesario monitorear la carga media de la CPU y la carga media máxima de la CPU desde que el equipo se ha encendido o reiniciado. Como este parámetro es muy variable en el tiempo, y muestrearlo cada una cierta ventana de tiempo elevada no daría ningún tipo de información, se decide muestrearlo con un intervalo de tiempo de 1 segundo. Para ello se desarrolla un script en la RouterBoard 333 ó 433 y los valores obtenidos se guardan en variables que serán obtenidas por el script willay.sh.

Llamadas recibidas y realizadas: Las estadísticas de llamadas se realizan mediante el archivo de registro que genera el Asterisk llamado Master.csv. Como se ha visto en el apartado VoIP la arquitectura de la telefonía consiste en que cada municipio dispone de un servidor Asterisk, y a la vez existe un servidor Asterisk en la UNSAAC para realizar y/o recibir las llamadas externas. Cuando una llamada se hace de un municipio a otro, la comunicación se establece previamente mediante los servidores Asterisk, por lo que una llamada recibida del exterior o de otro municipio no se puede determinar qué usuario en concreto la realiza, sino que sólo se puede determinar qué municipio la realiza o si proviene del exterior. Esto limita un poco a la hora de hacer el recuento de llamadas, puesto que sólo se pueden obtener las siguientes estadísticas:

- Llamadas recibidas intramunicipales de usuario a usuario
- Llamadas realizadas intramunicipales de usuario a usuario
- Llamadas recibidas intermunicipales de municipio a usuario
- Llamadas realizadas intermunicipales de usuario a municipio
- Llamadas recibidas del exterior a usuario
- Llamadas realizadas de usuario al exterior

Aun así, tener esa información va a ser de gran ayuda en un futuro para poder estimar de forma óptima los tráficos generados por municipio en función de su destinatario, y por lo tanto poder asignar un ancho de banda bien dimensionado al servicio de voz. Aparte de realizar las estadísticas de llamadas, también se comprueba si el servidor asterisk instalado donde se ejecuta el script willay.sh está en funcionamiento o no.

Uno de los problemas que presenta el realizar un testeo de ancho de banda es que puede empeorar bastante el correcto funcionamiento de la red saturándola al usar tráfico UDP. Por este motivo, se necesita realizar el testeo de ancho de banda en determinados horarios donde el uso de la red sea bajo. Además como sistema de prevención, se comenta que después de 7 días continuos funcionando la

RouterBOARD será reiniciada. Los horarios de ejecución que se planifican son los siguientes:

- Script willay.sh se ejecutará a las 08:00:00 y a las 14:00:00 de cada día. Se eligen estas horas porque están dentro del horario de trabajo de la mayoría de clientes finales en cada municipio.
- El reinicio automático tras una semana seguida de encendido se programa para que sea a las 01:30:00.
- El testeo de ancho de banda se ejecutará a las 03:30:00 de cada día.

Por otro lado, para que exista sincronización en los eventos descritos entre todas las computadoras embebidas y enrutadores gestionados en la red, se necesita configurar el Protocolo de Tiempo de la Red (NTP) usando servidores de uso público. Como la sincronización de cada nodo en la red con un servidor público no es deseable por el tráfico innecesario que se genera, se realiza una implementación jerárquica y se configura el servidor UNSAAC como único cliente de los servidores NTP públicos, y a la vez éste será el servidor NTP interno principal para la red Willay Cusco. Todos los equipos de la red troncal y el repetidor local en cada municipio deben sincronizarse con el servidor UNSAAC. Además cada repetidor local en los municipios será un servidor NTP secundario para que los clientes finales de cada municipio se sincronicen.

El script willay.sh, una vez recopilada la información necesaria de cada bloque, genera dos tipos de información de salida, los datos locales y los datos remotos, cada uno de ellos corresponde a un archivo único con toda la información por cada equipo monitoreado. Es decir, existirá un archivo por cada equipo monitoreado y estará diferenciado por su respectiva IP. Los datos locales quedan almacenados en la memoria de la Alix 2C2 con un formato de texto simple, para disponer de la información de la red en el caso que los datos no puedan llegar correctamente a la UNSAAC. Por el contrario los datos remotos son una serie de variables con nombre fijo y ordenadas. Una vez obtenidos los datos remotos, estos son enviados como archivo adjunto hacia el servidor de la UNSAAC por medio de un correo electrónico. Se emplea el correo electrónico como mecanismo de envío porque éste se puede almacenar hasta que la entrega se haga de forma satisfactoria, en el caso que no se pueda mandar correctamente.

Cada archivo de monitoreo enviado al servidor de la UNSAAC tiene como nombre la IP del equipo monitoreado. Una vez que este archivo llega al servidor, como archivo adjunto, se usa la aplicación ProcMail para situar cada archivo en el directorio web en el servidor de la UNSAAC. El diseño web va a ser simple, sólo va a presentar la información del último de todos los archivos recibidos por equipo monitoreado.

El hecho que se mande un archivo con un patrón de variables fijas facilita el que más adelante se pueda completar mediante una implementación PHP + MySQL una versión más elaborada de la presentación y almacenaje de datos. Por ejemplo se podría implementar un historial, así como un enlace en la página web donde se pueda ejecutar el script willay.sh de forma remota con la IP de interés como parámetro, para actualizar la información cuando se desee.

Como tanto los datos locales se van a ir almacenando sin límite en las Alix2C2, así como los registros del Asterisk van a ir aumentando de tamaño, se decide eliminarlos cada semana, para que ambos no saturen la capacidad de almacenamiento.

2.8. Seguridad

En el análisis se decidió el uso de WPA y/o WPA2 en la capa de enlace, y el uso de IPSec en la capa de red. Ambas implementaciones son soportadas por el RouterOS de MikroTik.

Implementar seguridad en la capa de enlace es un requerimiento básico en toda red inalámbrica, por lo tanto el uso de WPA y/o WPA2 queda garantizado. WPA surgió como solución temporal de la Alianza WiFi una vez que quedó de manifiesto la debilidad de WEP, y mientras el IEEE trabajaba con el estándar 802.11i. Cuando el IEEE sacó a la luz el 802.11i, la Alianza WiFi proporcionó la certificación WPA2 a todos los dispositivos que cumplieran con las especificaciones que definía el estándar. Por lo tanto WPA y WPA2 difieren poco conceptualmente, y más bien se diferencian básicamente en el algoritmo de cifrado que emplea cada uno. Mientras que WPA usa el algoritmo TKIP basado en RC4 igual que WEP, WPA2 usa CCMP basado en AES. También ambos usan versiones menos y más elaboradas respectivamente, de los algoritmos para controlar la integridad de los mensajes, mediante la generación del Código de Integridad de un Mensaje (MIC). Como la fortaleza de cifrado de AES es superior a la de TKIP, siempre es recomendable el uso de WPA2 por delante de WPA,

sin embargo, si no se cuenta con el hardware apropiado que soporte WPA2, el uso de WPA es perfectamente válido.

En cuanto a la arquitectura a usar en la red Willay Cusco, se opta por el modo de funcionamiento Clave Pre Compartida (PSK), que por el contrario de la arquitectura 802.1x, no requiere de la complejidad de un servidor de autenticación. PSK se basa en el uso de una contraseña por parte de cada usuario para acceder a la red.

Por otro lado, se sabe que el uso de WPA o WPA2 es vulnerable a ataques de fuerza bruta cuando se usan claves débiles, puesto que en el proceso de autenticación 4-way-handshake se intercambian dos números aleatorios a partir de los cuales, más la SSID, la MAC del cliente y del AP se puede obtener la clave PSK [10]. Es por esta razón que se decide añadir una seguridad adicional que pasa por la implementación de IPSec.

IPSec, a grandes rasgos, es un conjunto de protocolos para brindar seguridad a las comunicaciones IP mediante la autenticación y/o encriptación de cada paquete IP. IPSec tiene dos modos de funcionamiento que son el modo transporte y el modo túnel. En el primero, sólo se encripta o autentica la carga útil (payload) del paquete IP, dejando las cabeceras intactas por lo que sólo es válido para comunicaciones de usuario origen a usuario final, donde ambos usuarios soportan IPSec. En el modo túnel, el paquete entero (carga útil más cabeceras) es encriptada y/o autenticada, por lo tanto debe ser encapsulado en un nuevo paquete IP, especificando nuevas IP's de origen y destino. Este último modo se usa cuando se quiere encriptar paquetes desde el usuario de origen a un punto intermedio de la comunicación.

En la red Willay Cusco se usa el modo túnel porque se va a encriptar y autenticar solamente el tráfico hacia Internet, o de modo equivalente el tráfico que no tiene como IP destino la 10.0.0.0/8, desde cada usuario final en cada municipio hasta el nodo situado en la UNSAAC. El tráfico de voz no se encripta debido al retardo adicional que originaría la encriptación y desencriptación de cada paquete, y debido a que los paquetes de voz no se podrían identificar mediante su campo marcado Punto de Código de Servicios Diferenciados (DSCP) porque quedaría encriptado.

Cuando se implementa IPSec normalmente se suele trabajar con dos redes independientes, la red base y por encima de ésta la red virtual, de forma que dos redes totalmente distintas coexisten simultáneamente, ello requiere el uso de dos tablas de ruta por separado lo cual complica el mantenimiento de la red. En la red

Willay Cusco se opta por unificar ambas redes, la red base y la red virtual. Como se está encriptando y autenticando sólo el tráfico hacia Internet, ello permite que el tráfico interno de la red (origen y destino dentro del rango 10.0.0.0/8) no tenga que pasar obligatoriamente por el extremo del túnel ubicado en la RouterBOARD 333 de la UNSAAC. Entonces ambas redes (datos encriptados y no encriptados con IPSec) no se diferencian, por lo que sólo se deberá mantener una sola tabla de rutas por nodo, lo que a la vez facilita mucho el marcado de paquetes para implementar la QoS como se verá en el próximo apartado.

En el nodo UNSAAC existen 2 enlaces inalámbricos hacia el repetidor Josjojahuarina 1, y ambos puntos pertenecen a la red troncal, por lo que se usa OSPF. Como cada uno de estos enlaces puede caer, no se puede usar como nodo destino IPSec ninguna de las IP's asociadas a las interfaces inalámbricas del gateway de la UNSAAC, sino que se usa la IP asociada a la interfaz Ethernet de la RouterBOARD 333. De esta forma se simplifica, a la vez, la implementación de IPSec en la red Willay Cusco, puesto que existe un problema cuando se usa enrutamiento dinámico con IPSec en modo túnel definido en [11].

Un apunte adicional es que se elige como algoritmo de encriptación para IPSec el AES-128, el cual es más rápido porque usa una sola pasada de encriptación, no como el 3-DES que usa tres pasadas. El RouterOS de MikroTik soporta el algoritmo de encriptación AES, pero muchos equipos propietarios están convergiendo todavía hacia dicho estándar, por lo que IPSec podría ser incompatible con ellos si se llegaran a usar en la larga otros equipos propietarios en reemplazo de las MikroTik.

2.9. QoS

La calidad de servicio en cualquier red de telecomunicaciones requiere que cada capa de la pila de protocolos pueda implementar QoS. En este sentido, en la red Willay Cusco se usa el estándar IEEE 802.11a, por lo que no es un estándar que proporcione calidad de servicio en la capa MAC. Por lo tanto, la priorización de tráfico debe hacerse en la capa superior de red mediante el uso del protocolo IP.

En el RouterOS de MikroTik la arquitectura soportada para ofrecer QoS es la de Servicios Diferenciados (DiffServ), la cual propone que diferentes tipos de tráfico puedan ser distinguidos en cada nodo, y a partir de unas clases y colas definidas en la interfaz de salida, dar un distinto trato prioritario a cada tipo. La identificación del tipo

de tráfico puede venir por una marca física en el campo DSCP en la capa IP, o por un valor virtual marcado, mediante la utilidad mangle, asociado al paquete cuando atraviesa la cadena de flujo del nodo. RouterOS en este aspecto, al estar basado en el núcleo de Linux tiene un marcaje de paquetes potente, pudiendo identificar muchos tipos de tráfico, y antes de que un paquete sea mandado por la interfaz de salida, es clasificado a través de unos filtros y encolado a un tipo de disciplina de cola. Es importante asegurarse que todos los paquetes que salen de un nodo puedan ser identificados por algún filtro, porque sino son tratados como si fueran de máxima prioridad, o lo que es lo mismo saliendo directamente por la interfaz de salida.

En RouterOS existen varios tipos de disciplinas de colas, entre las cuales se encuentran,

- Packets First-In First-Out (PFIFO) y Bytes First-In First-Out (BFIFO): Ambas disciplinas de cola están basadas en el algoritmo Primero-Entra Primero-Sale (FIFO) cuyo modo de funcionamiento se puede resumir en el primero que llega es el primero que sale. La primera mide la capacidad del búfer en paquetes, y la segunda lo mide en bytes. Ambas disciplinas son usadas mayoritariamente con enlaces que no se encuentran congestionados.

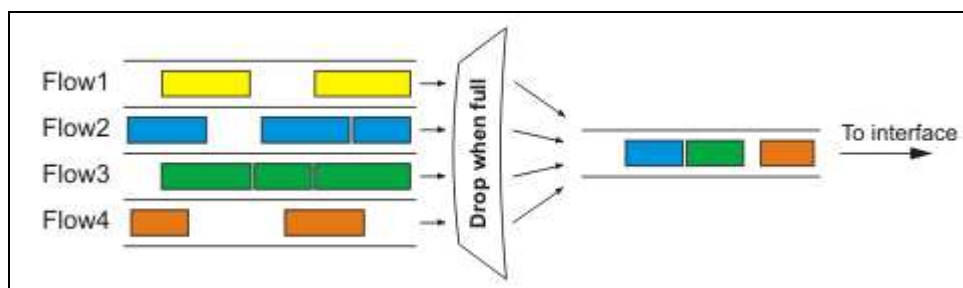


Figura 2.8: Disciplina de cola FIFO o BFIFO

- Stochastic Fairness Queuing (SFQ): SFQ ecualiza flujos de datos (tanto sesiones TCP como tramas UDP) cuando el enlace está congestionado. La equidad se garantiza mediante un algoritmo de hashing Round Robin. SFQ se usa mayoritariamente en enlaces congestionados y preferentemente en enlaces inalámbricos.

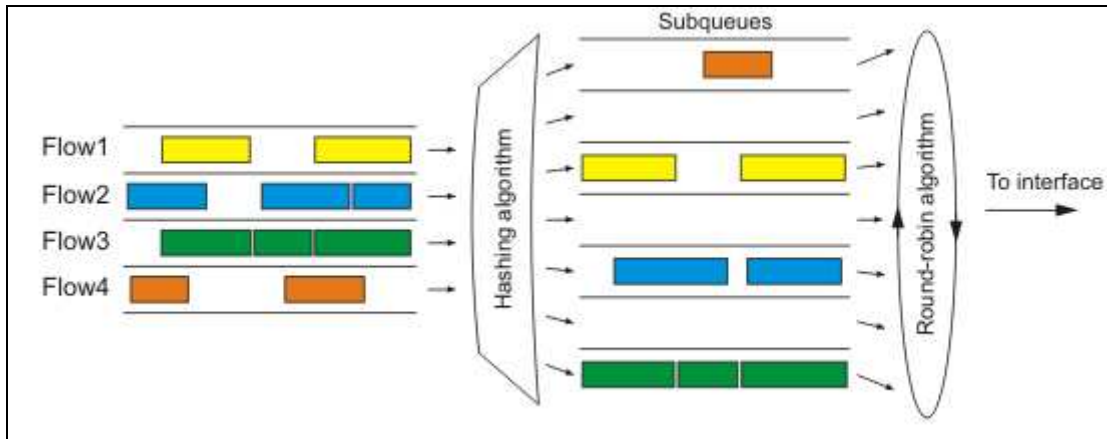


Figura 2.9: Disciplina de cola SFQ

- Random Early Detect (RED)

RED es un mecanismo de encolado que intenta evitar la congestión de la red controlando el tamaño medio de la cola. Cuando el tamaño medio de la cola llega a un cierto umbral, RED empieza a descartar paquetes de forma aleatoria con una probabilidad linealmente creciente. RED es usado en enlaces congestionados con tasas de transferencia altas, y se adapta muy bien con tráfico TCP, pero no demasiado bien con tráfico UDP.

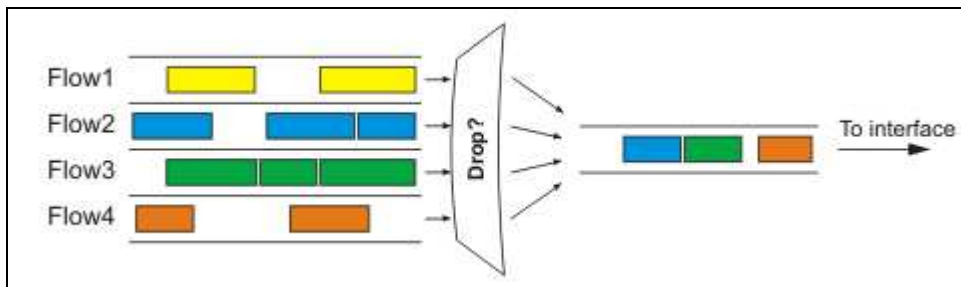


Figura 2.10: Disciplina de cola RED

- Per Connection Queue (PCQ): PCQ es una mejora a ciertas imperfecciones que presenta la disciplina de cola SFQ, pero sin mantener la naturaleza estocástica de ésta última. PCQ también crea subcolas, al igual que SFQ, basadas en un parámetro de clasificación llamado clasificador pcq (pcq-classifier) que puede ser la dirección IP de origen o destino, o el puerto de origen o destino. PCQ tiene la característica de poder ecualizar los diferentes grupos de tráfico según cada clasificador pcq, o bien limitando cada grupo a un cierto valor máximo, o bien sin ningún tipo de limitación.

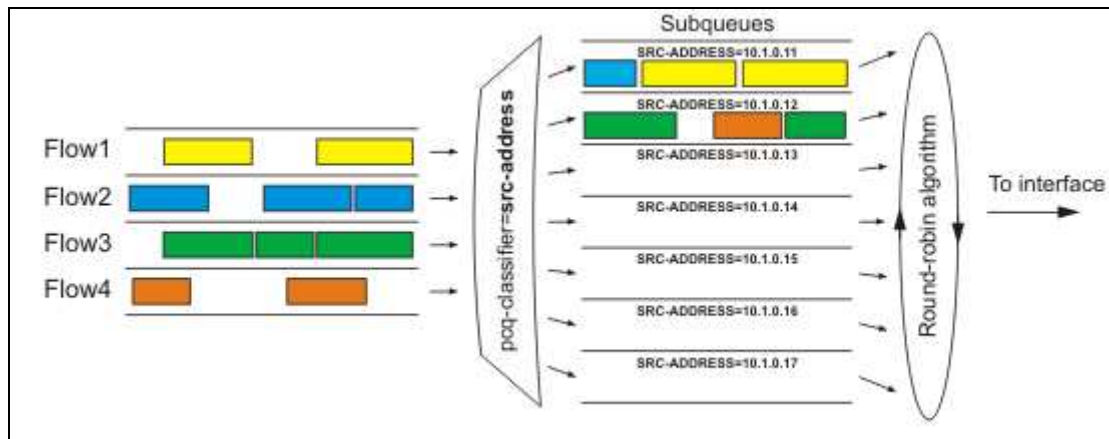


Figura 2.11: Disciplina de cola PCQ

- Hierarchical Token Bucket (HTB): HTB es una disciplina de colas tipo con clases (classfull), por lo tanto puede soportar varias clases en cada cola de forma jerárquica. De hecho es la única disciplina de colas con clases y a la vez moldeadora (shaper), lo que significa que es capaz de limitar tráfico y sólo es soportado por el RouterOS. Las otras disciplinas de colas son sin clases (classless), la mayoría de ellas, PFIFO, BFIFO, SFQ y RED son sólo programadoras (schedulers), por lo tanto que son capaces de reordenar paquetes y descartarlos si no caben en la cola. La disciplina de cola PCQ por el contrario, es sin clases pero moldeadora y programadora ambas a la vez.
- En el RouterOS cuando una disciplina de cola o clase es encolada a la interfaz de salida, en realidad lo está encolando a la clase HTB principal, por lo que se puede decir que de forma inherente la disciplina de cola base sobre la cual se añaden otras disciplinas de cola o clases es la HTB. Eso permite limitar la interfaz de salida a un cierto ancho de banda cuando la capa física del sistema de telecomunicaciones así lo pueda garantizar, pero a la vez puede no limitar nada a la interfaz de salida.

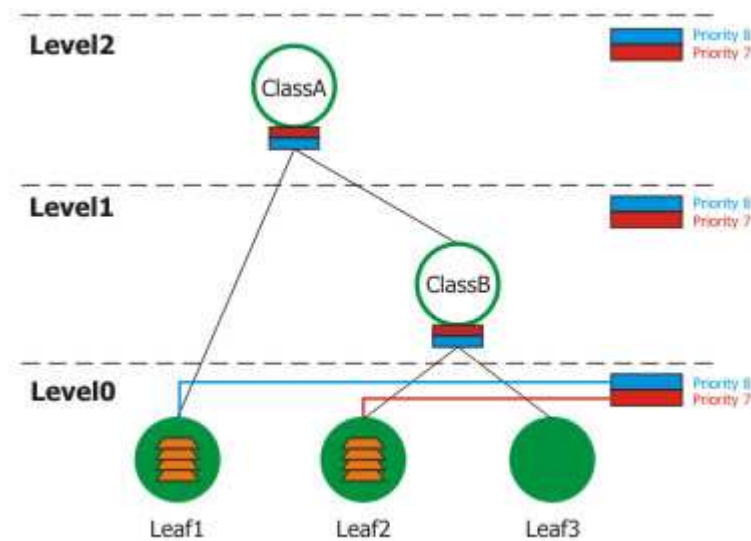


Figura 2.12: Disciplina de cola HTB

En el RouterOS la implementación de QoS puede darse mediante una cola simple (simple queue) o jerarquía de colas (queue tree). La diferencia principal es que aparte de la interfaz de salida, existen 3 clases HTB virtuales llamadas global-dentro (global-in), global-fuera (global-out) y global-total. La global-dentro representa todo el tráfico entrante proveniente de cualquier interfaz, por lo tanto su uso, no muy común, se da en el tráfico de entrada y no de salida. La global-fuera representa todo el tráfico saliente por cualquier interfaz, y las disciplinas de cola encoladas a esta clase pasan antes por ésta que por la interfaz real de salida. La global-total representa todo el tráfico que pasa a través del enrutador, por lo tanto tráfico tanto de bajada como de subida.

Cuando la QoS se implementa mediante cola simple, se crean las tres clases virtuales pero no se puede encolar ninguna disciplina de cola o clase a ninguna de ellas. Por el contrario cuando se hace uso de jerarquía de colas, cualquier disciplina de cola o clase se puede encolar a cualquiera de las tres clases virtuales. Dada la flexibilidad que presenta el uso de jerarquía de colas, se elige como forma de implementar QoS en la red Willay Cusco.

Para poder implementar calidad de servicio hay que definir sobre qué clases de tráfico se aplica, en la red Willay Cusco el total de tráfico se puede dividir en cuatro bloques principales que son, tráfico de voz, tráfico de Internet, tráfico interno y otro tipo de tráfico.

Tráfico de voz: Es el tráfico de voz marcado con un valor DSCP 46 (o su equivalente valor TOS 0xb8), por lo tanto se trata sólo del tráfico de voz originado en los sistemas telefónicos formados por un teléfono analógico más un Adaptador de Teléfono Analógico (ATA). Dicho valor se elige porque por defecto viene configurado en el protocolo RTP de la mayoría de dispositivos telefónicos IP. En cualquier caso se debe asegurar que todos estos equipos en la red marquen su DSCP (o equivalente TOS) al valor 46. También se debe asegurar que el software Asterisk remarque el DSCP (o equivalente TOS), mediante los archivos `iax.conf`, `sip.conf` y `rtp.conf`. En los clientes finales se debe asegurar que no existe ningún tipo de software que marque los paquetes con el mismo valor DSCP 46 (o su equivalente valor TOS 0xb8), y si lo hay cambiar el valor a DSCP 0 (o su equivalente valor TOS 0x00).

Como el tráfico de voz es el más sensible de todos al retardo se le asigna una prioridad 1 (máxima), para que la fluctuación (jitter) no se haga excesiva y repercuta en la calidad de la transmisión de voz.

Tráfico de Internet: Es el tráfico originado en los clientes finales cuya dirección IP de destino no pertenece a la red Willay Cusco, o lo que es lo mismo que no es 10.0.0.0/8. Este tipo de tráfico es el que se encripta mediante IPSec hasta el gateway de la UNSAAC. Después del tráfico de voz es el más importante de todos, puesto que es un tráfico asociado a un servicio contratado, es por ello que se le asigna una prioridad 2.

Tráfico interno: Está formado por el conjunto de tráficos de FTP, SSH y Correo Electrónico estrictamente con origen y destino dentro de red Willay Cusco. Los tres tráficos no ocupan mucho ancho de banda pero sí son importantes, por lo que se les asigna prioridad 2 como al tráfico de Internet.

Otro tráfico: Está formado por el resto de tráfico estrictamente con origen y destino dentro de red Willay Cusco. Dentro de este grupo se encuentra el tráfico UDP (con puertos desde el 2000 en adelante) utilizado para realizar las estimaciones de ancho de banda en los enlaces, entre otros. Este tráfico es menos prioritario que todos, y se le asigna una prioridad 3. Se tiene que asegurar que este tráfico sea el único que no está limitado en ancho de banda, si no fuera así obviamente la estimación de ancho de banda no tendría sentido. En el apartado de monitoreo de datos se estableció que la estimación del ancho de banda se realiza a las 03:30 de cada día, por lo que es altamente probable que no exista ningún otro tipo de tráfico en ese horario, y el resultado sea lo más ajustado al ancho de banda real.

Como se ha visto en la figura 2.12, HTB permite crear un árbol jerárquico con clases y disciplinas de cola. A cada uno de ellos se les puede limitar el tráfico a un cierto ancho de banda mediante un parámetro llamado `limit-at`, el cual es el máximo ancho de banda al que se puede llegar sin importar las limitaciones que impongan las clases padres (las que están por encima en el rango jerárquico como la `ClassA` en la figura 2.12). A la vez existe otro parámetro llamado `max-limit`, que es el ancho de banda por encima del parámetro `limit-at` el cual una disciplina de cola o clase puede tomarse prestado de la clase padre, y así reiteradamente. Cuando se está entre los parámetros de `limit-at` y `max-limit`, se sube de nivel en el rango jerárquico, esto es, tomando como ejemplo la figura 2.12, si `Leaf2` estuviera usando un ancho de banda entre `limit-at` y `max-limit`, éste subiría al nivel 1. Mientras que si el ancho de banda fuera menor o igual que `limit-at`, `Leaf2` se mantendría en el nivel 0. Entonces surge un dilema, porque la prioridad de un tráfico no sólo viene dado por el valor que se le asigna, sino que a la vez depende de en qué nivel se encuentre dicho tráfico. Primero se mandan los tráficos de mayor a menor prioridad en el nivel 0, luego los tráficos de mayor a menor prioridad en el nivel 1 y así sucesivamente. Por lo tanto interesa diseñar una estructura HTB donde todos los tráficos se encuentren en el mismo nivel y sus parámetros `limit-at` y `max-limit` tengan el mismo valor para que no haya transiciones de nivel, y se mantengan las prioridades asignadas a cada tráfico. La única excepción como se ha comentado antes sería el “otro tráfico”, que teniendo un cierto `limit-at`, tendría el valor `max-limit` a 4294967295 bps (el cual es el valor máximo configurable que a partir del valor `limit-at` en adelante puede tomar prestado de clases padres).

Teniendo en cuenta el tipo de diseño del árbol jerárquico, se plantea cuánto ancho de banda se asigna a cada tráfico y cómo se reparte cada tráfico entre los usuarios. En el tráfico de voz se usa un códec de voz g.726 de 32Kbps, y según el siguiente link [12] una llamada usando el protocolo SIP, con 120 tramas por paquete, y una sobrecarga del protocolo del 5% usa un ancho de banda de 117,06 Kbps. Por lo que se asigna un ancho de banda de 128 kbps por llamada. Según la distribución de clientes finales en cada municipio, en el peor de los casos donde se pueden agrupar un número mayor de llamadas es en el enlace entre el repetidor de Laykatuyoc y el repetidor de Don Juan, en concreto 8 llamadas simultáneas (5 entre municipios distintos y 3 hacia el exterior). En todo el tramo comprendido entre el repetidor de Don Juan y el repetidor de la UNSAAC, como máximo pueden darse 3 llamadas simultáneas al exterior, una por cada municipio puesto que cada uno de ellos tiene contratada una sola línea telefónica. En el resto de enlaces de la red Willay Cusco, tiene que haber el ancho de banda disponible igual al máximo número de llamadas que puedan originar todos los

clientes finales de un municipio a la vez. El hecho que en cada enlace se restrinja el ancho de banda para cada tráfico al mínimo necesario, es debido a que la naturaleza del ancho de banda en un enlace inalámbrico es variable, por lo que el ancho de banda que se pueda disponer en un enlace puede que en determinadas condiciones varíe bastante respecto a otro enlace. Ello implica dos cosas, primero que la QoS debe aplicarse en todos y cada uno de los enlaces inalámbricos de la red Willay Cusco, y segundo que en cada enlace para reducir al máximo la probabilidad que las buenas prestaciones que ofrece HTB en el conformado de tráfico desaparezcan (como pasaría cuando el ancho de banda real del enlace inalámbrico estuviera por debajo de la suma de anchos de banda asignados a cada tipo de tráfico), hay que restringir el ancho de banda para cada tráfico al mínimo necesario como se ha comentado anteriormente. El tráfico de voz, por último, va a usar un tipo de disciplina de cola SFQ, puesto que como cada flujo de datos está asociado a una llamada distinta, es la mejor forma de conformar varias llamadas a la vez, aparte que SFQ trabaja bien en enlaces inalámbricos.

El tráfico de Internet al tener un contrato de ancho de banda fijo de 512 Kbps de bajada y 128 Kbps de subida, va a tener la misma asignación de ancho de banda por municipio en cada enlace. El que se plantea en este caso es cómo se reparte el ancho de banda dentro de los clientes finales en cada municipio. Existen dos posibles escenarios, el primero de ellos es repartir de forma dinámica el total de ancho de banda, tanto en bajada como en subida, de forma igual por cada cliente final. Ello implica que si sólo un usuario en un municipio hace uso de la conexión de Internet, tendrá para sí mismo los 512 Kbps de bajada y los 128 Kbps de subida. Si son n los usuarios que hacen uso de Internet, cada uno de ellos tendrá $\frac{512Kbps}{n}$ de bajada y $\frac{128Kbps}{n}$ de subida. Lo bueno de este escenario es que es fácil de ser implementado mediante una disciplina de cola PCQ con el parámetro `pcq-rate` a 0 para que haya ecuilización dinámica del tráfico ofrecido. Otra buena característica de esta implementación es que se da a un sólo nivel, por lo que todo el tráfico de Internet siempre mantiene su prioridad 2. Lo malo es que no se puede asignar un ancho de banda diferenciado para un usuario o usuarios en particular. El segundo escenario es repartir de forma individual a cada usuario un ancho de banda predeterminado con el parámetro `limit-at` menor que el total de 512 Kbps en bajada y 128 Kbps en subida, pero estableciendo un máximo alcanzable con el parámetro `max-limit` con estos últimos valores. De esta forma se consigue positivamente, que ciertos usuarios más

importantes obtengan un mayor ancho de banda. Lo malo es que al establecer dos valores distintos de limit-at y max-limit, cuando un usuario alcance un ancho de banda por encima de limit-at pero por debajo de max-limit, suba de nivel y por lo tanto pierda su prioridad 2. En la red Willay Cusco, se opta por usar el primero escenario, puesto que se prioriza que cada tráfico mantenga su prioridad respecto a los demás.

Tanto en el tráfico interno como en el otro tráfico, se opta por asignarle a cada uno un ancho de banda de 128 Kbps, que se cree más que suficiente, y, al igual que el tráfico de voz, una disciplina de cola SFQ.

La QoS se va a implementar en todos los repetidores de la red troncal y a cada repetidor local en cada municipio. Como hay tráfico que puede ser generado por los mismos repetidores de la troncal, como salto de conexiones SSH, tráfico UDP para la estimación del ancho de banda etc. el marcaje de paquetes en cada nodo con QoS se va a dar en la cadena postrouting, donde confluyen los tráficos originados por el propio nodo y los que tiene que reenviar. En los segmentos de red cableados de la red Willay Cusco, aunque se podría implementar por igual la misma QoS, no se hace porque los cables ethernet presentan suficiente ancho de banda como para no necesitar conformar un tráfico que previamente o posteriormente será conformado por las interfaces inalámbricas. Donde sí se debe implementar QoS es en la red troncal, en las interfaces de salida inalámbricas de cada enlace de transmisión y recepción, si el enlace de transmisión cae el de recepción deberá reemplazarlo para realizar la misma gestión de ancho de banda que hacía el de transmisión, por lo que la misma configuración debe estar en las interfaces de salida de tanto el enlace de transmisión como el de recepción, aunque en este caso existe el riesgo de que el caudal efectivo del enlace total caiga por debajo del configurado para cada tráfico, perdiendo prestaciones.

Por último comentar que aunque la red Willay Cusco en una primera fase, presenta un claro sobredimensionamiento de ancho de banda en el tráfico de voz, puesto que se ofrece en cada enlace el máximo ancho de banda posible según el caso, se cree que mediante las herramientas desarrolladas para el monitoreo de datos de la red, pueden ayudar a la larga a estimar una tasa de llamadas por municipio y a partir de aquí, limitar de forma más óptima el tráfico de voz cuando se incorporen más municipios a la red.

2.10. Consumo energético

En el análisis se optó por una solución fotovoltaica para los puntos de la red Willay Cusco donde el uso de energía eléctrica de la red pública no era posible. Esos puntos son los situados en la red troncal, los cuales pueden usar o 1 RouterBOARD 333 ó 2 RouterBOARD 333, por lo que se debe calcular el dimensionado del sistema.

Según las mediciones que se realizaron en el laboratorio, el consumo de una computadora embebida RouterBOARD 333 con sus tres interfaces inalámbricas activadas configuradas como AP y haciéndolas trabajar en transmisión y recepción a la vez, consume unos 8.4 W. Si además se hace uso de un puerto ethernet adicional trabajando en transmisión y recepción hay que añadir 1.51 W. En el peor de los casos, cuando un nodo de la red troncal tenga 2 RouterBOARD 333, se supone que cada computadora embebida va a usar 3 interfaces inalámbricas + 1 interfaz ethernet funcionando en transmisión y recepción. Ello implica un consumo total de aproximadamente 20 W.

Número de RouterBOARD 333	Horas de uso	Potencia (W)	Consumo (W-h/día)	Factor de corrección 10%	Total de energía necesaria (W-h/día)
2	24	10	480	48	528
1	24	10	240	24	264

Tabla 2.9: Cálculo de la energía necesaria por día

$$E_{cons-total}(W - h / día) = NumRB333 \times NumH \times Pot \times (1 + \eta)$$

Para que el dimensionamiento del panel solar sea correcto, el factor entre la energía generada por éste y la energía consumida por las computadoras embebidas debe de ser mayor a 1. Como referencia se toman paneles solares con una potencia pico del módulo de 75 Wp.

Número de RouterBOARD 333	Número de paneles solares	Potencia pico del módulo (Wp)	Radiación a 1000 W/m ² del peor mes (h/día)	Total de energía generada (W-h/día)	Relación de carga/descarga
2	2	75	4,58	687	1,3
1	1	75	4,58	343,5	1,3

Tabla 2.10: Cálculo de la relación carga / descarga

$$E_{gen-total}(W - h / día) = NumP.S. \times Pot \times Rad$$

Vemos que la relación es correcta al ser mayor que 1. Aunque un panel solar de 75 Wp sería suficiente, por cuestiones comerciales de oferta en el mercado se decide comprar el panel solar modelo KC85T de la marca KYOCERA, que ofrece 87 Wp. Por lo tanto al tener mayor potencia también se consigue una mayor relación de carga / descarga.

El número de baterías a usar se limitan a 1 por nodo en la red troncal, con esto se garantiza de forma mínima una autonomía de 3 días. Además el sistema debe garantizar un 80% de profundidad de descarga, lo que significa que la batería en ningún caso puede llegar a descargarse por encima de ese valor. Como el uso de dos computadoras embebidas RouterBOARD 333 es el caso más restrictivo al tener más energía de consumo, se toma éste para los cálculos de la batería.

Número de baterías	Voltaje de la batería (V)	Profundidad de descarga	Días de autonomía	Capacidad mínima de la batería (W-H)
1	12	0,8	3	1980

Tabla 2.11: Cálculo de la capacidad necesaria de la batería

$$C_{\min}(W-h) = E_{\text{cons-total}} \times N_{da} / Pd_{\max}$$

La batería elegida es el modelo RA12-240 de la marca RITAR que presenta un voltaje de 12 V y una capacidad de 240 Ah, por lo que presenta una capacidad de 2880 W-H y por lo tanto cumple con la capacidad mínima impuesta.

En resumen, los elementos del subsistema de energía son:

- 1 o 2 paneles solares
- 6 metros de cable NLT 2x10 (panel solar a controlador)
- 1 controlador solar
- 1,5 metros de cable TW6 (batería a controlador)
- 1 batería
- 1 caja metálica con recubrimiento termoaislante para la batería
- 2 borneras para cargas
- 2 interruptores termomagnéticos
- 2 protectores de línea DC

2.11. Configuración y equipamiento inalámbrico de la red Willay Cusco

En este apartado se mostrarán la configuración inalámbrica de un repetidor troncal, repetidor local y cliente final. Todas las configuraciones inalámbricas de la red Willay Cusco se encuentran en los anexos.

Repetidor troncal

Repetidor UNSAAC – Cusco

Altura	15 m
Sistema Alimentación	Red de energía eléctrica + UPS

Enrutador Inalámbrico	MikroTik RouterBoard 333	
Tarjetas Inalámbricas	2	
1. Tarjeta Inalámbrica MikroTik R52H MiniPCI (Nstreme activado)	Dirección IP	10.10.1.1 / 24
	Essid	WILLAY1
	Modo	Access Point
	Cliente	Repetidor Josjojahuarina 1
	Estándar	802.11a
	Canal	149
	Velocidad (máxima)	18 Mbps
	Antena	Directiva doble polaridad 28,5 dBi
	Pigtail	U.fl N-Hembra
	Cable coaxial	12 m lmr600
2. Tarjeta Inalámbrica MikroTik R52H MiniPCI (Nstreme activado)	Dirección IP	10.10.2.1 / 24
	Essid	WILLAY2
	Modo	Access Point
	Cliente	Repetidor Josjojahuarina 1
	Estándar	802.11a
	Canal	157
	Velocidad (máxima)	18 Mbps
	Antena	Directiva doble polaridad 28,5 dBi
	Pigtail	U.fl N-Hembra
	Cable coaxial	12 m lmr600
IP vlan1 (eth1) MikroTik	IP public	
IP vlan2 (eth1) MikroTik	IP public	
IP vlan3 (eth1) MikroTik	IP public	
IP br1 (eth2, eth3) MikroTik	10.10.0.1 / 24	

En el repetidor UNSAAC - Cusco se configura seguridad WPA/2 en la capa de enlace, y seguridad IPSec con cada cliente final en la capa IP. Se configura OSPF como ASBR y propagando el gateway por defecto, y a la vez se asignan los costos correspondientes a cada enlace para dedicar un enlace a transmisión de datos y otro a

recepción de datos. Se configura QoS para los paquetes con salida por las interfaces inalámbricas. Se configura marcado de paquetes para enrutar los paquetes de cada municipio por su enrutador comercial en cuestión. Se crean VLAN's para dar salida de forma independiente a cada flujo de datos distinto a través de un switch. En un servidor dentro de la misma LAN ethernet se instala Asterisk para gestionar las llamadas hacia y desde el exterior mediante la PSTN.

Repetidor local

Municipalidad Acomayo

Altura	15 m
Sistema Alimentación	Red de energía eléctrica + UPS

Enrutador Inalámbrico	MikroTik RouterBoard 333	
Tarjetas Inalámbricas	2	
1. Tarjeta Inalámbrica MikroTik R52H MiniPCI (Nstreme activado)	Dirección IP	10.11.0.2 / 24
	Essid	WILLAY14
	Modo	Cliente
	Punto de Acceso	Repetidor Huáscar
	Estándar	802.11a
	Canal	157
	Velocidad (máxima)	18 Mbps
	Antena	Directiva 27 dBi
	Pigtail	U.fl N-Hembra
	Cable coaxial	12 m lmr600
2. Tarjeta Inalámbrica MikroTik R52H MiniPCI (Nstreme activado)	Dirección IP	10.11.1.1 / 24
	Essid	WILLAY15
	Modo	Access Point
	Cliente	Willay Acomayo
	Estándar	802.11a
	Canal	149
	Velocidad (máxima)	18 Mbps
	Antena	Omnidireccional 12 dBi
	Pigtail	U.fl N-Hembra
	Cable coaxial	12 m lmr600
IP br1 (eth1, eth2, eth3) MikroTik	10.11.2.1 / 24	

En la Municipalidad Acomayo se configura seguridad WPA/2 en la capa de enlace, y seguridad IPSec con el repetidor UNSAAC-Cusco para el tráfico exclusivo de Internet. Se configura marcado de paquetes para clasificarlos según el tipo de tráfico. Se configura QoS para los paquetes con salida por las interfaces inalámbricas. En una computadora embebida Alix 2C2 dentro de la misma LAN ethernet se instala Asterisk

para gestionar las llamadas locales, entre municipios y hacia el exterior mediante el servidor de VoIP situado en Cusco. Se configuran 2 teléfonos para VoIP con un ATA.

Ciente final

Comisaría PNP Acomayo

Altura	5 m
Sistema Alimentación	Red de energía eléctrica + UPS

Enrutador Inalámbrico	MikroTik RouterBoard 433	
Tarjetas Inalámbricas	1	
1. Tarjeta Inalámbrica MikroTik R52H MiniPCI (Nstreme activado)	Dirección IP	10.11.1.3 / 24
	Essid	WILLAY15
	Modo	Cliente
	Punto de Acceso	Municipalidad Acomayo
	Estándar	802.11a
	Canal	149
	Velocidad (máxima)	18 Mbps
	Antena	Directiva 19 dBi
	Pigtail	U.fl N-Hembra
Cable coaxial	12 m lmr600	
IP br1 (eth1, eth2, eth3) MikroTik	10.11.4.1 / 24	

En la Comisaría PNP Acomayo se configura seguridad WPA/2 en la capa de enlace, y seguridad IPsec con el repetidor UNSAAC-Cusco para el tráfico exclusivo de Internet. Se configura 1 teléfono para VoIP con un ATA.

2.12. Esquema de la red

Las siguientes figuras 2.13 y 2.14 muestran el esquema gráfico de la red Willay Cusco con su configuración inalámbrica y equipos utilizados. En la red troncal se establece el sentido de los enlaces de transmisión y recepción respectivamente, tomando como sentido de transmisión (TX) el que va hacia el repetidor de la UNSAAC, y el de recepción (RX) en sentido contrario.

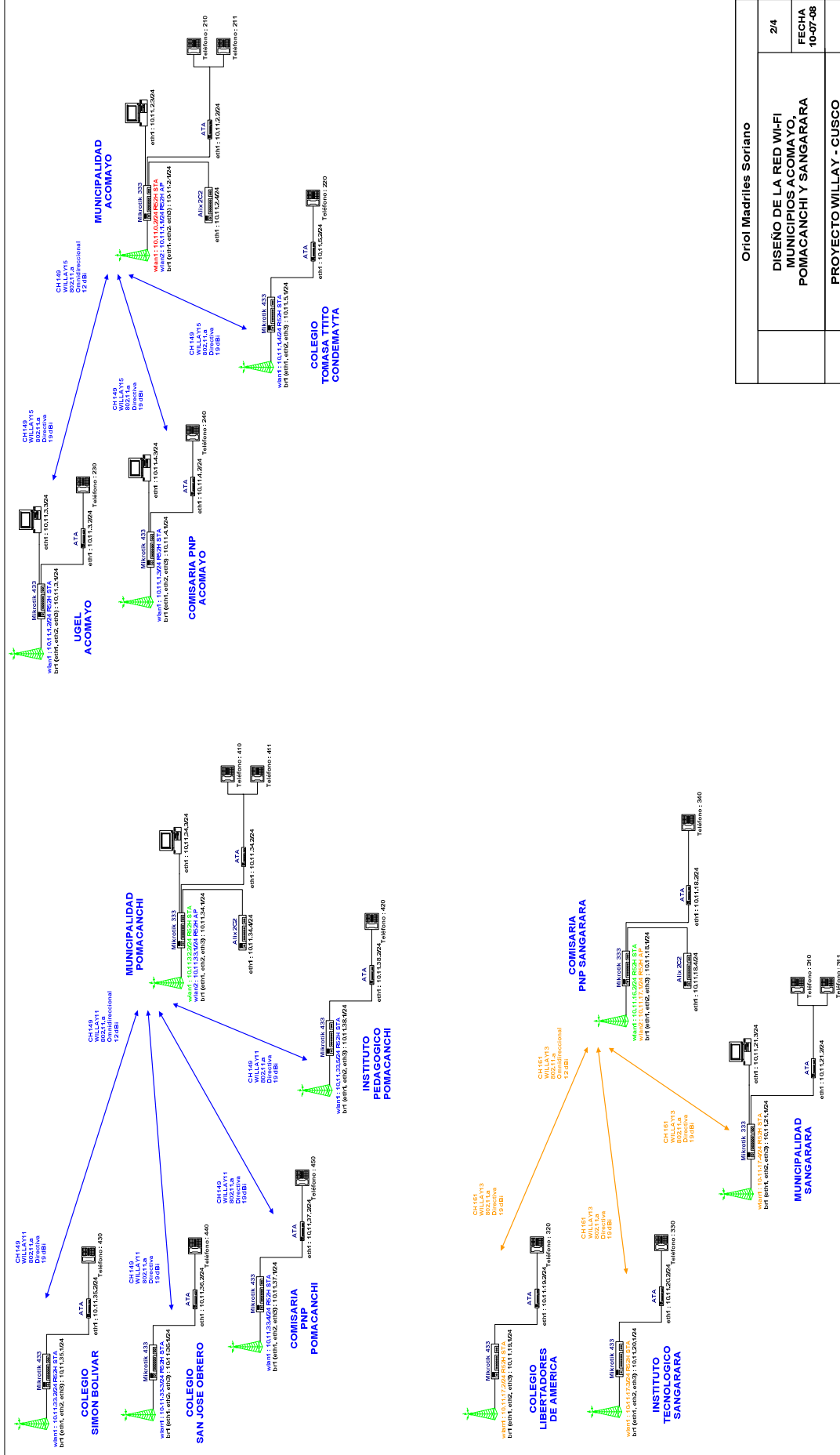


Figura 2.14: Configuración inalámbrica de las redes de distribución

Oriol Madriles Soriano	
DISEÑO DE LA RED WIFI MUNICIPIOS ACOMAYO, POMACANCHI Y SANGARARA	2/4
PROYECTO WILLAY - CUSCO	FECHA 10-07-08