

4. Pruebas

Aunque la tesis sólo contempla el diseño de la red Willay Cusco, se ha estado siguiendo la implementación de la red que en el momento de escribir la presente tesis era de alrededor de un 80% para corregir detalles que pudieran surgir. Las principales dificultades se han centrado en el desplazamiento de materiales y equipos en los repetidores de la red troncal debido a la altura de los cerros donde están ubicados, y en la instalación de equipos en cada punto de la red.

En la mayoría de repetidores había que hacer reformas en las casetas existentes, construidas en su momento por el proyecto EHAS-ALIS. En otros casos como en el repetidor Pomacanchi se tuvo que construir una caseta totalmente nueva. En las casetas de todos los repetidores se han implementado medidas de seguridad físicas para proteger a los equipos instalados. Una de ellas ha consistido en empotrar los paneles solares al techo de la caseta para evitar robos, y la otra medida ha sido rodear la caseta con una cerca metálica para delimitar el área de seguridad del sistema de vigilancia que se implementará después.



Figura 4.1: Repetidor Josjojahuarina 1

En la figura 4.1 también se muestra que en el repetidor Josjojahuarina 1 se han instalado dos tramos más de torre para poder ubicar todas las antenas con una

distancia mínima entre ellas de 1.5 m, como se observa en la implementación de las dos antenas inferiores de doble polaridad pertenecientes a la red Willay Cusco.

La alineación de las antenas ha consistido en ir variando el apuntamiento de la antena en ambos extremos y ver si se obtienen mejores valores de relación señal a ruido o parámetros CCQ que la posición anterior. En cualquier caso, en todos los enlaces se ha tenido que garantizar línea de vista entre las antenas, lo que a la práctica ha implicado tener que instalar las antenas en techos o mástiles en la mayoría de clientes finales de la red Willay Cusco.



Figura 4.2: Instalación de antena en la municipalidad de Sangarará

La instalación de los equipos se ha realizado en todos los puntos de la red dentro de una caja metálica para protegerlos herméticamente. En la figura 4.3 se muestran 2 RouterBOARD 333, 4 tarjetas inalámbricas R52H, 4 pigtails, 1 controlador fotovoltaico, y 1 interruptor termo magnético dentro de una caja metálica en el repetidor Josjojahuarina 1. Los pigtails terminan en la barra master, y mediante conectores N-Hembra se pueden conectar los cables coaxiales hacia cada una de las antenas.



Figura 4.3: Equipos instalados en el repetidor Josjojahuarina 1

En los clientes finales de la red Willay Cusco, dentro de la caja metálica se encuentran 1 RouterBOARD 433 ó 333, 1 tarjeta inalámbrica R52H, y un ATA como muestra la figura 4.4. Además se instalan un UPS y teléfono analógico en el exterior de la caja metálica.



Figura 4.4: Equipos instalados en el Instituto Pedagógico de Pomacanchi

Durante este periodo de implementación, en la red Willay Cusco se han realizado algunas pruebas de campo para comprobar el correcto funcionamiento de la red, así

como para verificar que se obtiene el mínimo ancho de banda necesario en la red troncal.

Pruebas del caudal efectivo de la red

En el análisis se había comentado que en el peor de los casos, se tenía que garantizar un ancho de banda de 5 Mbps en el enlace desde el repetidor de Laykatuyoc hacia el repetidor de Don Juan de 17500 m. Dado que cuando se realizaron las pruebas el repetidor de Don Juan no disponía de la infraestructura necesaria para hacer la instalación de los equipos, se decidió realizar la prueba de ancho de banda en el enlace desde la UNSAAC hacia el repetidor de Josjojahuarina 1 cuya distancia es la más larga de toda la red Willay Cusco y es de 42390 m.

El protocolo propietario Nstreme de MikroTik para enlaces de larga distancia, puede operar con distintos tipos de políticas de trama (framer-policies) ninguno (none), encaja mejor (best-fit), tamaño exacto (exact-size) y tamaño dinámico (dynamic-size) los cuales son distintos métodos de combinar los paquetes. Aunque el método óptimo teóricamente es el exact-size el cual intenta poner en una misma trama el máximo número de paquetes haciendo uso de la fragmentación si es necesaria, el caudal efectivo de uno u otro tipo depende del caso y puede variar.

En las pruebas realizadas en el enlace desde la UNSAAC hacia el repetidor de Josjojahuarina 1, se usó una computadora portátil en cada punto y conectada mediante cable ethernet a la computadora embebida RouterBOARD 333. Entre las dos computadoras portátiles se midió el ancho de banda de tráfico TCP durante 60 segundos, haciendo uso de la herramienta iperf en un entorno Linux. Durante las pruebas, el valor del parámetro límite de trama (framer-limit) se mantuvo siempre en 3200, y los dos enlaces de transmisión y recepción de datos en polaridades ortogonales se mantuvieron en funcionamiento.

Los resultados obtenidos en media de varias pruebas se muestran en la siguiente tabla,

Uso del Nstreme	Framer-policy	Framer-limit	Ancho de banda (Mbps)
No	-	-	2.90
Sí	None	3200	5.74
Sí	Best-fit	3200	4.50
Sí	Exact-size	3200	6.72
Sí	Dynamic-size	3200	5.81

Tabla 4.1: Anchos de banda obtenidos con distintas configuraciones

Por lo tanto el framer-policy óptimo en este caso es el exact-size obteniendo un ancho de banda de 6.72 Mbps, superior a los 5 Mbps mínimos requeridos.

En el caso de los enlaces de corta distancia entre un cliente final y el repetidor local dentro de los municipios, el protocolo Nstreme está activado sólo con la finalidad de poder realizar polling (sondeo) y de esta forma superar el problema del nodo oculto. En estos enlaces el caudal efectivo que se obtiene es de alrededor de 14 Mbps en media de varias pruebas, indistintamente de las distintas políticas de trama usadas.

Estadísticas de ping

Se realiza un ping en el enlace desde la UNSAAC hacia el repetidor de Josjojahuarina 1 para estudiar las estadísticas de tiempo de los paquetes enviados y recibidos.

La prueba consiste en realizar ping desde la computadora portátil ubicada en el punto de la UNSAAC y conectada mediante cable ethernet a la computadora embebida RouterBOARD 333, hacia la interfaz inalámbrica del repetidor de Josjojahuarina 1.

Los resultados obtenidos son los siguientes,

```
root@guest:/home/guest# ping 10.10.2.2 -c 20
PING 10.10.2.2 (10.10.2.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=1 ttl=63 time=1.65 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=2 ttl=63 time=1.80 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=3 ttl=63 time=1.66 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=4 ttl=63 time=1.65 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=5 ttl=63 time=1.63 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=6 ttl=63 time=1.71 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=7 ttl=63 time=1.66 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=8 ttl=63 time=1.81 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=9 ttl=63 time=1.64 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=10 ttl=63 time=1.62 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=11 ttl=63 time=1.63 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=12 ttl=63 time=1.71 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=13 ttl=63 time=1.64 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=14 ttl=63 time=1.80 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=15 ttl=63 time=1.63 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=16 ttl=63 time=1.65 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=17 ttl=63 time=1.61 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=18 ttl=63 time=1.68 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=19 ttl=63 time=1.75 ms
64 bytes from 10.10.2.2: icmp_seq=20 ttl=63 time=1.62 ms

--- 10.10.2.2 ping statistics ---
20 packets transmitted, 20 received, 0% packet loss, time 19000ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.611/1.682/1.815/0.065 ms
```

Se puede observar que los tiempos de cada paquete al recorrer la distancia del enlace de 42390 m tanto de ida como de vuelta, se mantienen alrededor de los 1.68 ms el cual es un valor que entra dentro de la normalidad. La variabilidad de dichos tiempos también es buena lo que puede indicar que el enlace tiende a ser estable.

Funcionamiento de la redundancia

La redundancia en la red Willay Cusco se implementa mediante la modificación manual de los costos de las interfaces inalámbricas en OSPF. La prueba se realiza en el salto desde la UNSAAC hacia el repetidor de Josjojahuarina 1 donde existen dos enlaces simultáneos en polaridades ortogonales de transmisión y recepción de datos.

La prueba consiste en realizar ping desde la computadora portátil ubicada en el punto de la UNSAAC y conectada mediante cable ethernet a la computadora embebida RouterBOARD 333, hacia la interfaz inalámbrica del repetidor de Josjojahuarina 1. Después de cierto tiempo, se deshabilita la interfaz inalámbrica en la UNSAAC por donde se está realizando el ping, para comprobar posteriormente que OSPF detecta el enlace como caído y por lo tanto se modifican las tablas de rutas para poder seguir realizando el ping por la otra interfaz inalámbrica habilitada.

```
root@guest:/home/guest# ping 10.10.1.2
PING 10.10.1.2 (10.10.1.2) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.10.1.2: icmp_seq=1 ttl=63 time=1.95 ms
64 bytes from 10.10.1.2: icmp_seq=2 ttl=63 time=1.89 ms
64 bytes from 10.10.1.2: icmp_seq=3 ttl=63 time=1.64 ms
64 bytes from 10.10.1.2: icmp_seq=4 ttl=63 time=1.66 ms
64 bytes from 10.10.1.2: icmp_seq=5 ttl=63 time=1.67 ms
64 bytes from 10.10.1.2: icmp_seq=6 ttl=63 time=1.70 ms
From 10.10.0.1 icmp_seq=7 Destination Net Unreachable
64 bytes from 10.10.1.2: icmp_seq=12 ttl=63 time=1.76 ms
64 bytes from 10.10.1.2: icmp_seq=13 ttl=63 time=1.77 ms
64 bytes from 10.10.1.2: icmp_seq=14 ttl=63 time=1.67 ms
64 bytes from 10.10.1.2: icmp_seq=15 ttl=63 time=1.61 ms
64 bytes from 10.10.1.2: icmp_seq=16 ttl=63 time=1.60 ms
64 bytes from 10.10.1.2: icmp_seq=17 ttl=63 time=1.62 ms

--- 10.10.1.2 ping statistics ---
17 packets transmitted, 12 received, +1 errors, 29% packet loss, time
16002ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.606/1.716/1.955/0.113 ms
```

Como se puede observar, el ping se realiza normalmente hasta que la interfaz inalámbrica se deshabilita y aparece un mensaje advirtiendo que la dirección de red es inalcanzable. Pasado un cierto tiempo, la tabla de rutas se reconfigura automáticamente mediante OSPF pudiendo alcanzar el destino. Por lo que se puede concluir que la redundancia funciona correctamente.

Redes en Cusco en 5.8 GHz

Desde cada una de las dos interfaces inalámbricas presentes en la UNSAAC, se escanearon por varios días las redes que actualmente están operando en la banda de frecuencias de 5.8 GHz en Cusco. Una cantidad alta de redes escaneadas

representaría un problema por las interferencias que generarían tanto en los niveles de señal a ruido como en la capa MAC para acceder al medio.

```
[admin@Gateway UNSAAC - Acomayo - Cusco] /interface wireless> scan 0
Flags: A - active, B - bss, P - privacy, R - routers-network, N -
nstreme
ADDRESS                SSID      BAND  FREQ SIG  NF SNR RADIO-NAME
ABP  00:0B:6B:09:EA:27    UNSAAC     5ghz   5765  20 -10 30
ABPRN 00:0C:42:1F:72:33  WILLAY2    5ghz   5785  77 -10 87  000C421F7233

[admin@Gateway UNSAAC - Acomayo - Cusco] /interface wireless> scan 1
Flags: A - active, B - bss, P - privacy, R - routers-network, N -
nstreme
ADDRESS                SSID      BAND  FREQ SIG  NF SNR RADIO-NAME
ABPRN 00:0C:42:1F:72:30  WILLAY1    5ghz   5745  67 -10 77  000C421F7230
ABP  00:0B:6B:09:EA:27    UNSAAC     5ghz   5765   7 -10 17
```

Como se observa sólo existe una red operando en la banda 5.8 GHz con el SSID UNSAAC que en el peor de los casos introduce una interferencia 57 dB por debajo del nivel de señal en la red WILLAY2, por lo tanto y por ahora las interferencias en Cusco en dicha banda se pueden despreciar.

Telefonía

Se realizaron varias llamadas entre clientes finales dentro de un mismo municipio, y entre municipios distintos. En todos los casos, la calidad de la conversación telefónica se percibió de forma clara por ambos usuarios.

Niveles de señal

Se midieron los niveles de relación señal a ruido de los enlaces de la red Willay Cusco. En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos en media.

	Relación señal a ruido medio de los enlaces
Red troncal	15 dB
Red de distribución	25 dB
Clientes finales	35 dB

Tabla 4.2: Relación señal a ruido medio en la red Willay Cusco

Costos

A continuación se comenta de forma muy breve los costos asociados a la totalidad del proyecto, divididos en costos de equipos de telecomunicaciones, infraestructura, energía y protección eléctrica, costos de implementación y costos de mano de obra, tal y como muestra la siguiente tabla. Los primeros tipos de costos en detalle, según el precio de compra en lima, se pueden encontrar en los anexos. Los costos de implementación vienen determinados por el contrato de un practicante a tiempo completo (1500 soles/mes) durante 1 año. Los costos de mano de obra vienen determinados por el contrato de 10 trabajadores a tiempo completo (1500 soles/mes) durante 6 meses.

	Cantidad (USD)
Costos de equipos de telecomunicaciones, infraestructura, energía y protección eléctrica.	92,695
Costos de implementación	6,000
Costos de mano de obra	30,000
Costo Total	128,695

Tabla 4.3: Costos del proyecto Willay Cusco