

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UNA RED DE DATOS Y DE TELEFONÍA PARA LA
INTERCOMUNICACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS DE SALUD
UBICADOS EN LA CUENCA DEL BAJO NAPO**

Tesis para optar el Título de **INGENIERO ELECTRÓNICO**, que presenta el bachiller:

Edwin Leopoldo Liñán Benítez

ASESOR: Pastor David Chávez Muñoz

Lima, marzo del 2013

Resumen

Desde el 2008 entró en funcionamiento la red inalámbrica del Río Napo (Loreto). Esta red intercomunicó 10 establecimientos de salud ubicados en las márgenes del río Napo y brindó los servicios de comunicación por datos y telefonía. Además permitió el acceso a Internet y la telefonía pública por medio de una estación VSAT ubicada en la localidad de Santa Clotilde. En el 2010 se implementó una nueva red inalámbrica con el objetivo de lograr la interconexión de la red existente del Río Napo con el Hospital Regional de Loreto "Felipe Santiago Arriola Iglesias" (HRL) y la Dirección Regional de Salud de Loreto (DIRESA Loreto); además de anexas a la red, a 4 establecimientos de salud ubicados en la cuenca baja del Río Napo. El diseño de esta nueva red inalámbrica es el objetivo de esta tesis.

En la actualidad la red intercomunica todos los establecimientos de salud ubicados en las márgenes del Río Napo con el Hospital Regional de Loreto y la DIRESA Loreto. Además se brinda acceso a Internet y acceso a la telefonía pública desde la DIRESA Loreto. La actual red del Río Napo cubre una distancia aproximada de 450Km de radioenlaces. A la fecha la red sigue en funcionamiento y continúa brindando apoyo al personal médico y administrativo de los establecimientos de salud. Por ejemplo, gracias a la telefonía un personal médico puede realizar una llamada telefónica desde los establecimientos de salud de la periferia hacia el HRL de Iquitos con la finalidad de realizar una interconsulta de segunda opinión a un médico especialista.

La red diseñada en la presente tesis utiliza la misma tecnología inalámbrica que la anterior red (802.11g de larga distancia). Los enlaces de toda la red son de larga distancia, alrededor de 30, 40 y 50Km. Con la finalidad de obtener la línea de vista entre antenas se utiliza torres ventadas de telecomunicaciones que están alrededor de los 75m de altura. En la red inicial las torres tienen una altura de hasta los 90m. El equipamiento principal de la red es el enrutador inalámbrico, y está conformado por una computadora, radios 802.11g OEM (fabricante de equipamiento original) y un software no comercial basado en Linux. Además de contar con antenas directivas. En el diseño también se contempla el uso de seguridad WPA2, el enrutamiento dinámico OSPF y la implementación de la telefonía interna utilizando Asterisk.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO ELECTRONICO

Título : Diseño de una red de datos y de telefonía para la intercomunicación de establecimientos de salud ubicados en la cuenca del bajo Napo

Área : Comunicaciones # 1099

Asesor : Pastor David Chávez Muñoz

Alumno : Edwin Leopoldo Liñán Benítez

Código : 19941225

Fecha : 14 de Marzo del 2013



Descripción y Objetivos:

Este trabajo forma parte de los proyectos que el Grupo de Telecomunicaciones Rurales (GTR-PUCP) desarrolla con el objetivo de mejorar la atención que brindan los centros de salud e instituciones gubernamentales, ubicadas en las zonas rurales del país. El GTR-PUCP ha implementado varias redes de datos en la selva y sierra del país. Una de ellas está ubicada a lo largo del Río Napo (Loreto). Esta red inalámbrica de datos de larga distancia, intercomunica 10 establecimientos de salud y brinda comunicación telefónica y acceso a Internet por medio de una estación VSAT. Esta red intercomunica a los establecimientos de salud desde el puesto de salud (PS) Cabo Pantoja (frontera con Ecuador) hasta el PS Tacsha Curaray.


La presente tesis tiene como objetivo implementar una red de datos para intercomunicar la red existente en el Río Napo con el Hospital Regional de Loreto (HRL) y la Dirección Regional de Salud de Loreto (DIRESA Loreto); además de integrar a la red los 4 establecimientos de salud ubicados en la parte baja del Río Napo. Por medio de la nueva red se podrá brindar el acceso a Internet y a la telefonía pública a todos los establecimientos de salud rurales desde la DIRESA Loreto, reemplazando el uso del servicio de VSAT. La tecnología inalámbrica utilizada será Wi-Fi de larga distancia por presentar un costo/beneficio favorable a los objetivos del proyecto; y para tener línea de vista se utilizará torres altas (75m) de telecomunicaciones. El diseño involucrará los enlaces inalámbricos, la red de datos, el servicio de telefonía interna y el acceso a los servicios de Internet de telefonía pública.



MÁXIMO 50 PÁGINAS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

Dr. Ing. BENJAMÍN CASTAÑEDA APHAN
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica



TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO ELECTRONICO

Título : Diseño de una red de datos y de telefonía para la intercomunicación de establecimientos de salud ubicados en la cuenca del bajo Napo

Índice

Introducción

1. Descripción de la zona.
2. Análisis sobre las tecnologías inalámbricas de largas distancias.
3. Diseño de la red inalámbrica.
4. Implementación de la red inalámbrica.
5. Pruebas y resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos



MÁXIMO 50 PÁGINAS

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

Dr. Ing. BENJAMÍN CASTAÑEDA APHAN
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica



Dedicatoria

A mis abuelos Don Fidencio Leopoldo Benítez Jumpa y Doña Reyna Feliciano Díaz Carbajal. Quienes me educaron y formaron en mi niñez y adolescencia. Dios los tenga en su Gloria. Gracias papá y mamá por todo el amor y cariño recibido.

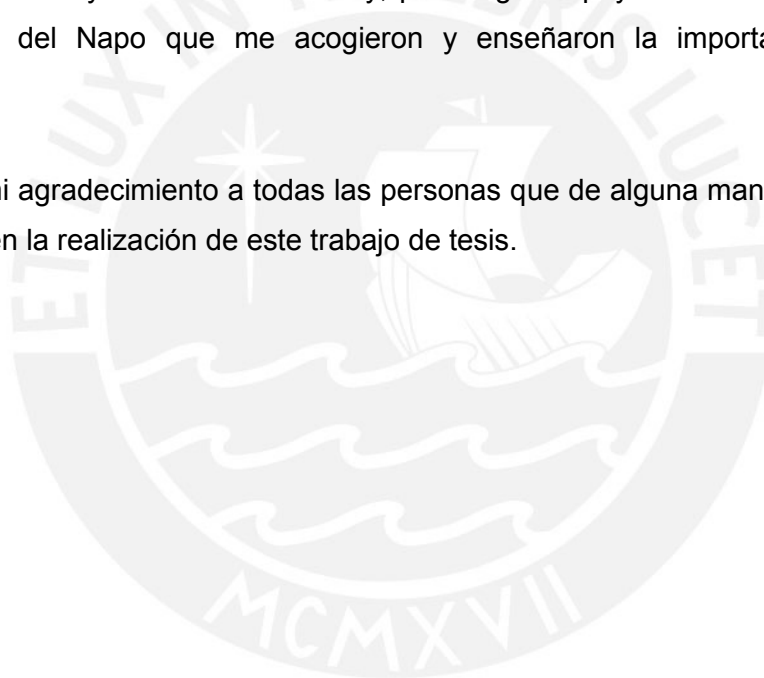


Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia, en especial a Rina, Vilma, Juani, Albina, José, Carito, Juancito, Roger, Alejandro y a mi amada Rosita, quienes nunca dejaron que me rindiera y siempre insistieron que siguiera adelante; sin ellos, este trabajo de investigación no se hubiese realizado.

A todos mis amigos y compañeros del Grupo de Telecomunicaciones Rurales de la PUCP y de la Fundación EHAS, somos un gran equipo de trabajo. A todo el personal médico y administrativo de la Micro Red de Salud del Napo, en especial a los Padres Dr. Maurice Schroeder y Dr. John MacCarthy, por su gran apoyo en el trabajo. A todas las comunidades del Napo que me acogieron y enseñaron la importancia del trabajo comunal.

Finalmente mi agradecimiento a todas las personas que de alguna manera colaboraron o participaron en la realización de este trabajo de tesis.



Índice

Introducción.....	3
1. Descripción de la zona.....	5
2. Análisis sobre las tecnologías inalámbricas de largas distancias.....	8
2.1 Requerimientos para la implementación de la red inalámbrica.....	8
2.2 Análisis sobre las alternativas tecnológicas de telecomunicaciones.....	8
2.2.1 Análisis sobre la topología de la red inalámbrica.....	9
2.2.2 Análisis sobre el servicio de Internet.....	9
2.2.3 Análisis sobre el servicio de telefonía.....	9
2.2.4 Análisis sobre la mínima velocidad requerida.....	10
2.2.5 Análisis sobre la tecnología inalámbrica a usar para el despliegue de la red.....	11
2.2.6 Equipamiento en cada nodo final de la red para cubrir los servicios ofrecidos.....	13
2.2.7 Equipamiento 802.11 adaptado para enlaces de larga distancia.....	13
2.2.8 Equipamiento 802.11 comercial.....	14
2.2.9 Equipamiento 802.11 OEM (Original Equipment Manufacturer).....	17
2.2.10 Equipamiento 802.11 para estación cliente.....	29
2.2.11 Características adicionales sobre la red.....	31
3. Diseño de la red inalámbrica.....	33
3.1 Estudios de campo para la obtención de información de cada ubicación.....	33
3.2 El dimensionamiento de la red.....	35
3.3 Diseño de los radioenlaces y elección de equipos.....	36
3.3.1 Uso del Radio Mobile.....	36
3.3.2 Simulación de los radioenlaces.....	38
3.3.3 Elección de la solución y características de los equipos instalados para los enlaces de distribución y de acceso.....	46
3.3.4 Enrutamiento dinámico y estático.....	49
3.3.5 Direccionamiento IP.....	50
3.3.6 Telefonía IP.....	51
3.3.7 Seguridad.....	53
3.4 Sistema de Protección Eléctrica.....	54
3.4.1 Sistema de pararrayos.....	54
3.4.2 Sistema de puesta a tierra.....	54
3.4.3 Conexión a los sistemas de protección.....	55
3.5 Sistema de Energía.....	55
3.6 Sistema de torres de telecomunicaciones.....	58
4. Implementación de la red inalámbrica.....	59
4.1 Esquema de la red.....	59
4.2 Instalación de los equipos de telecomunicaciones.....	61

4.2.1	Equipos empleados en los enlaces de distribución de 2.4GHz – 802.11g.	61
4.2.2	Equipos empleados en los enlaces distribución de 5.8GHz – 802.11a.	61
4.2.3	Equipos empleados en los enlaces de acceso de 2.4GHz – 802.11g.	62
4.2.4	Equipos empleados en las estaciones clientes de 2.4GHz – 802.11g.	62
4.2.5	Distribución de los equipos en los nodos de Tacsha Curaray, Negro Urco, Tuta Pishco y Huamán Urco (enlaces en 2.4GHz).	63
4.2.6	Distribución en el nodo de Mazán (enlaces en 2.4GHz y 5.8GHz).	64
4.2.7	Distribución en el nodo de PetroPerú (enlaces en 2.4GHz y 5.8GHz).	65
4.2.8	Distribución en el nodo del Hospital Regional de Loreto (enlaces en 2.4GHz y 5.8GHz).	66
4.2.9	Distribución en las estaciones clientes.	67
4.3	Configuración de los equipos de telecomunicaciones.	67
4.3.1	Configuración de los equipos Alix 2C0:	67
4.3.2	Configuración de los equipos Mikrotik:	73
4.3.3	Sistema de Energía y Protección Eléctrica.	74
5.	Pruebas y resultados.	77
5.1	Pruebas de capacidad y nivel de recepción.	77
5.2	Registro de los clientes en los servidores Asterisk.	86
5.3	Fotografías de la instalación.	87
	Conclusiones.	90
	Recomendaciones.	92
	Bibliografía.	93
	Anexos:	95

Introducción.

En el año 2008 se inició la operación de la red inalámbrica de voz y datos del Río Napo, brindando servicios de telecomunicaciones a 10 establecimientos de salud ubicados en las comunidades nativas de Cabo Pantoja, Torres Causana, Tempestad, Angoteros, Campo Serio, Rumi Tuní, San Rafael, Copal Urco, Santa Clotilde y Tacsha Curaray. Esta red fue implementada por el proyecto “Control de la Malaria en las Zonas Fronterizas de la Región Andina: Un Enfoque Comunitario” (PAMAFRO) del Organismo Andino de Salud – Convenio Hipólito Unanue (ORAS-CONHU).

En el año 2010, cuando se desarrolló la presente tesis, se implementó una extensión de esta red que permitió la integración de los establecimientos de salud de las comunidades nativas de Mazán, Huamán Urco, Tuta Pishco y Negro Urco. Todos ellos ubicados en la cuenca baja del Río Napo. En la ciudad de Iquitos se integraron el Hospital Regional de Loreto "Felipe Santiago Arriola Iglesias" (HRL), el Vicariato Apostólico San José del Amazonas (VASJA) y la Dirección Regional de Salud de Loreto (DIRESA Loreto). Esta extensión de la red fue una iniciativa de la Fundación Enlace Hispano Americano de Salud (Fundación EHAS) y de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Siendo su financiamiento posible gracias al aporte del Ayuntamiento de Madrid de España y de la misma Fundación EHAS, comprometiéndose además la participación de los beneficiarios locales. En este caso las micro-redes de Salud del Napo y Mazán, el Vicariato Apostólico San José del Amazonas, la DIRESA Loreto y el Gobierno Regional de Loreto.

Actualmente esta red se denomina Red de Telemedicina Rural del Napo y cubre los 14 establecimientos de salud ubicados a lo largo del Río Napo, el VASJA, el HRL y la DIRESA Loreto, estos tres últimos ubicados en la ciudad de Iquitos. La red brinda el acceso a Internet y a la telefonía pública e interna, permitiendo además el servicio de transferencia de archivos. Actualmente uno de los servicios más usado es la telefonía, la cual permite al personal técnico de enfermería de los puestos de salud (PS) comunicarse con el personal médico de su centro de salud (CS) de referencia. Así mismo permite a estos últimos poder realizar sus interconsultas con los médicos especialistas ubicados en el HRL. Estos servicios han permitido mejorar la calidad de atención en salud de los pobladores rurales de la cuenca del Napo.

Para la implementación de la red inalámbrica se utiliza la tecnología 802.11 (Wi-Fi) de larga distancia; esta tecnología representa un costo/beneficio favorable a los objetivos del

proyecto; no se opta por utilizar otras tecnologías como el 802.16 (WiMAX) por ser una solución actualmente costosa respecto a los objetivos de los proyectos que los financia.

Este trabajo forma parte de los proyectos que el Grupo de Telecomunicaciones Rurales (GTR-PUCP) desarrolla con el objetivo de mejorar la atención que brindan los establecimientos de salud e instituciones gubernamentales, ubicadas en las zonas rurales del país (sierra y selva principalmente). Su estrategia se basa en el fortalecimiento institucional, el apoyo a la gestión transparente, a la participación ciudadana, al proceso de descentralización y a la mejora de los procesos de gestión, mediante el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) apropiadas como instrumento integrador.

Objetivos:

- Diseñar una red inalámbrica de larga distancia para integrar la red del Río Napo existente con el Hospital Regional de Loreto, el Vicariato Apostólico San José del Amazonas y la DIRESA Loreto.
- Integrar a la red a los establecimientos de salud de las comunidades nativas de Mazán, Huamán Urco, Tuta Pishco y Negro Urco.
- Implementar los servicios de telefonía interna para estos 4 establecimientos de salud y dar acceso a Internet y telefonía pública a toda la red a través del Hospital Regional de Loreto.

1. Descripción de la zona.

El proyecto fue ejecutado en los distritos de Punchana, Mazán, Napo y Torres Causana, de la provincia de Maynas, en la Región Loreto. Contempló la interconexión de 4 establecimientos de salud (Mazan, Huamán Urco, Tuta Pishco y Negro Urco), y la oficina de Radiofonía de la Dirección Regional de Salud y los ambientes de Emergencia del Hospital Regional de Loreto; además del Vicariato de San José del Amazonas (lugar donde existe un albergue de reposo para los pacientes y sus familiares que son referidos al Hospital Regional de Loreto para atenciones especializadas en la ciudad de Iquitos).

Los distritos de Napo y Torres Causana están ubicados al noroeste de la provincia de Maynas. Las capitales de los distritos de Napo y Torres Causana son las localidades de Santa Clotilde y Torres Causana respectivamente. El distrito de Mazán está ubicado en el centro de la provincia de Maynas. La capital del distrito es la localidad de Mazán y está ubicado en la margen izquierda del río Napo.



Gráfico 1: Departamento de Loreto (izquierda) y Provincia de Maynas (derecha).

El acceso a estos pueblos es por vía fluvial. Actualmente ya existe un servicio comercial diario que sólo cubre la ruta de Mazán hasta Santa Clotilde. Este desplazamiento tiene un promedio de duración de 5 horas y su costo es de S/. 80.00 Nuevos Soles, siendo un costo relativamente alto para el poblador promedio de la zona. Aunque existe este servicio el acceso a todos los pueblos de las márgenes del Río Napo es todavía difícil

más aún si se contrata un servicio particular. La municipalidad de Torres Causana tiene planes a futuro para brindar un servicio de transporte que cubra la cuenca alta del Río Napo.

En la siguiente tabla se muestra los centros poblados donde se instalarán los equipos de telecomunicaciones.

Tabla 1: Establecimientos de salud.

Ítem	Establecimiento de Salud	Distrito	Provincia	Región
01	Emergencia HRL	Iquitos	Maynas	Loreto
02	Radiofonía DIRESA Loreto	Iquitos	Maynas	Loreto
03	Vicariato Apostólico San José del Amazonas	Punchana	Maynas	Loreto
04	CS Mazán	Mazán	Maynas	Loreto
05	PS Huamán Urco	Napo	Maynas	Loreto
06	PS Tuta Pishco	Napo	Maynas	Loreto
07	PS Negro Urco	Napo	Maynas	Loreto

En la siguiente figura se muestra la ubicación geográfica de los establecimientos mencionados en la Tabla 1.



Gráfico 2: Ubicación geográfica de los establecimientos de salud



Gráfico 3: Selva peruana.

Perú presenta una seria inequidad en hacer uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), lo que lleva a la existencia de la brecha digital entre zonas rurales y zonas urbanas. Ello es debido en parte a la falta de inversión pública o privada, y a la falta de formación educativa de la población rural. Recién desde el 2012 existe acceso a la telefonía celular en los pueblos de Mazán, Tacsha Curaray, Santa Clotilde, San Rafael, Angoteros y Cabo Pantoja; y existe planes de ampliación en otros pueblos.

2. Análisis sobre las tecnologías inalámbricas de largas distancias.

2.1 Requerimientos para la implementación de la red inalámbrica.

El proyecto tiene como objetivo intercomunicar la red del Napo existente con el Hospital Regional de Loreto y además de anexar 4 establecimientos de salud y brindar el servicio de telefonía interna y pública, y acceso a Internet. La presente tesis contempla el diseño de esta red de telecomunicaciones, pero teniendo como base los siguientes requisitos para la implementación de la red planteados por el proyecto.

- a. Bajo consumo, al no disponer de energía eléctrica estable o casi nula en ciertos puntos de la red de telecomunicaciones.
- b. Costo de la infraestructura, hardware y de la operación de los sistemas en relación a los objetivos de los financiadores.
- c. Uso mínimo de licencias y/o permisos de redes de telecomunicaciones.
- d. Adaptación del hardware a las condiciones adversas del clima de la selva.
- e. Sencillez de manejo, robustez y mantenimiento remoto (siempre y cuando no exista una avería física).
- f. La reposición de la mayoría de los equipos deberá poder ser realizado dentro de Perú.
- g. Acceso a Internet y a la telefonía pública.
- h. Comunicación telefónica interna.
- i. La red de telecomunicaciones debe ser una red de datos TCP/IP, para implementar múltiples servicios a futuro.
- j. Los servicios de acceso a Internet y a la red de telefonía pública serán contratados por el Hospital Regional de Loreto.

2.2 Análisis sobre las alternativas tecnológicas de telecomunicaciones.

El uso de un sistema cableado, queda descartado debido al despliegue que se necesitaría y la escasez e inestabilidad de la energía eléctrica en estos lugares. Por lo

tanto la tecnología apropiada para la red, queda enmarcada dentro de la familia de la tecnología inalámbrica. Una red inalámbrica está sujeta a aspectos legales por lo cual los parámetros que se adopten deben estar dentro de los límites de frecuencia, potencia y canalización que establece la norma del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones [1].

2.2.1 Análisis sobre la topología de la red inalámbrica.

La topología está relacionada con la ubicación de cada punto a intercomunicar de la red. En cada pueblo sólo se dará acceso a una institución de salud y todos los centros poblados están ubicados en el margen del Río Napo, por tanto su distribución es longitudinal. La distribución de los centros poblados obliga a que se tenga una topología longitudinal pero se utilizará la topología estrella para permitir el futuro crecimiento de la red.

2.2.2 Análisis sobre el servicio de Internet.

Para brindar el servicio de acceso a Internet se podría contar con acceso satelital en cada centro poblado del Río Napo, pero es una solución muy cara para el proyecto (2000 USD de instalación + 850 USD de servicio mensual por 512 Kbps (bajada) / 128 Kbps (subida). Otra alternativa es brindar el servicio por medio de un Proveedor de Servicios de Internet (ISP), pero estos tampoco existen en estos poblados; entonces el acceso a Internet será en Iquitos. El Hospital Regional de Loreto y la DIRESA Loreto (ubicado en el mismo lugar) aceptador compartir su acceso a Internet a la Red del Napo; esta última resulta ser la alternativa más viable.

2.2.3 Análisis sobre el servicio de telefonía.

El servicio de telefonía incluye brindar comunicación telefónica entre todos los centros de salud ubicados en el Río Napo y además de poder brindar conexión a la red de telefonía pública. Para poder intercomunicar telefónicamente se tienen dos opciones, la primera es implementar una red telefónica paralela a la de datos en base a pequeñas Centrales Telefónicas Privadas (PBX); y la otra es aprovechar la red de datos TCP/IP que se va a desplegar para implementar telefonía por medio de la tecnología Voz sobre IP (VoIP). La última opción es la más adecuada puesto que implica que se disminuyan drásticamente los costos respecto a la primera opción al no tener que implementar una red telefónica paralela.

Para implementar una red de telefonía IP se puede usar sistemas propietarios de VoIP, o sistemas bajo la licencia GPL [2]. La primera alternativa pasa por el uso de sistemas Cisco, Linksys o GrandStream entre otros, pero esto elevaría los costos de la red y su mantenimiento (puesto que los equipos de toda la red se donan a las partes beneficiadas del proyecto una vez éste ha finalizado). Dentro de segunda opción se tiene al Asterisk y sus derivados, así como también el SIP Express Router. Esta última opción se elige por representar bajo costo y porque existe mucha información para realizar la configuración.

Para brindar conexión a la telefonía pública existe la posibilidad de contratar servicio de telefonía satelital, pero al igual que en el caso del servicio de acceso a Internet, es una opción demasiado costosa. Es por esta razón que se decide optar por acceder a la telefonía pública desde Iquitos. Al igual que el servicio de Internet; la Dirección Regional de Salud de Loreto permitirá utilizar una de sus líneas de telefonía para que la red del Napo pueda comunicarse telefónicamente con el exterior (hacer y recibir llamadas).

2.2.4 Análisis sobre la mínima velocidad requerida

La tecnología inalámbrica elegida tiene que poder ofrecer la suficiente velocidad de transmisión de datos para soportar los distintos servicios (telefonía IP, acceso a Internet y transferencia de archivos). Se estima que una comunicación telefónica IP utilizando el códec g726-32, con tecnología inalámbrica WiFi y con 100 tramas por paquete, requiere de unos 64 Kbps. También se estima que la velocidad requerida por establecimiento de salud para la intercomunicación de datos internos sea de unos 256 Kbps (subida) como mínimo. Si se toman estos valores, se estima que dentro de cada establecimiento de salud se requerirá como mínimo de unos 320Kbps para la comunicación dentro de la red. El último enlace inalámbrico que estaría en Iquitos debería ser capaz de soportar todo el tráfico originado por todos los centros de salud; si se calcula que todos usan la red al mismo tiempo este enlace debería soportar como mínimo (320Kbps x 14 Centros de Salud) 4500Kbps. En el diseño se calculará que todos los enlaces inalámbricos deban soportar 6Mbps (puede que en el futuro se cree otros servicios de red de datos); y en base a esto elegir los equipos respectivos.

Para el acceso a Internet cada centro de salud tendrá que aceptar las limitaciones impartidas por la Diresa Loreto; la velocidad contratada por el Diresa es de 1Mbps (bajada) / 1Mbps (subida); y es usada por los trabajadores de las oficinas de la Diresa Loreto y será compartida a demanda por la Red del Napo.

2.2.5 Análisis sobre la tecnología inalámbrica a usar para el despliegue de la red.

La red debe ser una red TCP/IP y según análisis anteriores además debe ser inalámbrica. Como alternativas inalámbricas se pueden utilizar las tecnologías High Frequency (HF), Very High Frequency (VHF), Ultra High Frequency (UHF), WLAN 802.11, WLAN 802.16 y Satelital. Al requerir un caudal total de 4 Mbps en el enlace crítico (el último enlace hacia Iquitos) el uso de tecnologías como HF, VHF y UHF (equipos adaptados para la transmisión de datos) no es viable, y por lo tanto quedan descartadas debido a su baja velocidad de transmisión (que es alrededor de 100 Kbps) en comparación a lo requerido. La solución satelital también queda descartada por su alto costo inicial y de mantenimiento para lograr las bajas velocidades ofrecidas y explicadas anteriormente.

El WLAN 802.11 [3] (desarrollado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE) ofrecen un capacidad para los requerimientos de la red y a la vez funcionan en la banda ISM (en 2.4 GHz y 5.8 GHz). El GTR implementa redes de datos en base a la tecnología Wi-Fi porque es una solución muy económica a largo plazo comparada con soluciones satelitales o cableadas. El equipo principal de un enlace Wi-Fi de larga distancia es el enrutador Wi-Fi. El GTR ha utilizado distintas soluciones de enrutadores Wi-Fi, centrados en soluciones libres y económicas pero robustas, con el objetivo de colaborando con la investigación tecnológica.

Las dos principales tecnologías a ser usadas son 802.11agn (Wi-Fi) en larga distancia [3] y el 802.16d (WiMAX) [4]. Para elegir cuál de estas dos usar, a parte de las características técnicas de cada uno, también debemos tener en cuenta las necesidades de cada proyecto y los costos. WiMAX está diseñado como una alternativa wireless al acceso de banda ancha DSL y cable, y una forma de conectar nodos Wi-Fi en una red de área metropolitana (MAN). Puede tener una cobertura de área bastante extensa y esto lo hace adecuado para dar comunicación por ejemplo a ciudades enteras (70 kilómetros).

WiMAX, en distancias cortas (10 km), puede tener una velocidad de transmisión de hasta 70 Mbps y también puede ser simétrico, lo cual significa que puede proporcionar un flujo de datos similar tanto de subida como de bajada (35 + 35 Mbps). El estándar trabaja a las frecuencias de 2.5 y 3.5 Ghz y también se utiliza una frecuencia libre de licencia a 5.4 y 5.8 Ghz); puede usar anchos de banda menores a 20 MHz. El llamado WiMAX forum es un grupo de empresas que se encargan de diseñar las normas y estándares de la tecnología WiMAX y de probar todos los nuevos componentes que van surgiendo.

Wi-Fi (wireless 802.11agn) como estándar está limitado a unos 100 metros [5]. Por esta razón no se habla estrictamente de Wi-Fi sino de Wi-Fi en larga distancia porque, para establecer un enlace de kilómetros, el estándar ha tenido que ser modificado [6]. La principal ventaja del Wi-Fi para larga distancia es que puede establecer conexiones de unos 40 kilómetros y a un costo relativamente bajo, comparado con otras opciones como WiMAX. Para complementar el estándar Wi-Fi de larga distancia los fabricantes aumentan la potencia de transmisión y se mejora la sensibilidad del receptor. Además se hace uso de antenas de alta ganancia. En algunos casos el protocolo 802.11 también puede ser modificado, con el riesgo de romper la interoperabilidad con otros dispositivos Wi-Fi.

Un punto a tener en cuenta para Wi-Fi en larga distancia es el acuso de recibo de los paquetes (acknowledge). Por defecto la distancia máxima entre el emisor y el receptor es de alrededor de un kilómetro y medio, para mayores distancias el retardo forzaría la retransmisiones, así que para una comunicación óptima se debe ajustar bien este parámetro en los equipos. Los obstáculos son los mayores problemas al configurar un largo alcance en Wi-Fi. En campo los árboles, bosques y/o colinas degradan la señal de microondas y hacen que sea difícil establecer una línea de vista para la propagación. En ciudad los edificios bajan la conectividad y la velocidad de transmisión.

WiMAX se ha diseñado para la cobertura de larga distancia y Wi-Fi para transferencia de datos a corto alcance pero, con algunas modificaciones, esta última tecnología también se puede usar para comunicar puntos separados por larga distancia y con la ventaja que es más económica que una comunicación WiMAX. WLAN 802.16 fue diseñado originalmente como una tecnología enfocada a los enlaces de larga distancia (hasta 50 Km). WLAN 802.16d no es del todo buena opción porque esta tecnología presenta unos costos iniciales muy elevados (unos 4000 USD en Lima), y no está muy difundido en el mercado peruano, es por ello que WLAN 802.16 queda descartado; pero no por falta de las buenas prestaciones que presenta. En general un equipo WiMAX de una sólo radio consumen alrededor de 18W; un equipo WiFi de tres radios consume lo mismo; y ambos para cubrir la misma distancia; esto influye en el diseño de la energía; en WiMAX se necesitaría tres veces más del equipamiento de energía para WiFi.

Dentro de Wi-Fi existen varias familias o estándares que incluyen distintas funcionalidades o modos de operación, las principales son las que se listan a continuación:

IEEE 802.11a: Banda 5.8 GHz con una velocidad de transmisión máxima de 54 Mbit/s.

IEEE 802.11b: Banda 2.4 GHz con una velocidad de transmisión máxima de 11 Mbit/s.

IEEE 802.11g: Banda 2.4 GHz siendo compatible con el IEEE 802.11b, con una velocidad de transmisión máxima de 54 Mbit/s.

IEEE 802.11e: Incluye funcionalidades de QoS a nivel de la capa MAC.

IEEE 802.11i: Especifica mecanismos de seguridad para redes inalámbricas.

IEEE 802.11n: Introduce mejoras en el caudal efectivo mediante el uso de antenas MIMO (múltiples entrada múltiple salida).

Entonces la tesis se utilizará la tecnología 802.11g.

2.2.6 Equipamiento en cada nodo final de la red para cubrir los servicios ofrecidos

Después del análisis anterior, cada punto final o estación cliente de la red tendrá los servicios de Internet, telefonía IP e interconexión de datos, y para poder usar estos servicios cada uno de estos debe tener el siguiente equipamiento:

Los establecimientos de salud y el Vicariato Apostólico San José del Amazonas:

- 1 Sistema de cómputo: formado por una computadora y sus periféricos.
- 1 Teléfono IP: formado por un ATA (adaptador telefónico) y un teléfono analógico.
- 1 Estación inalámbrica cliente.

Hospital Regional de Loreto:

- 1 Servidor de telefonía: formado por una computadora y sus periféricos.
- 3 Teléfonos IP: formado por un ATA (adaptador telefónico) y un teléfono analógico.
- 1 Gateway telefónico: formado por un ATA (adaptador telefónico).
- 2 Estación inalámbrica cliente (para el mismo Hospital Regional de Loreto y el otro para la DIRESA Loreto).

2.2.7 Equipamiento 802.11 adaptado para enlaces de larga distancia.

En el mercado hay muchas opciones de equipos 802.11. Existen alternativas comerciales, alternativas mixtas, y alternativas totalmente abiertas (equipos OEM (Original Equipment Manufacturer)).

Trabajar con sistemas propietarios garantiza la ventaja que si surge algún fallo se pueda reparar de forma rápida, porque es mantenido por una empresa. Como desventaja, no se pueden realizar configuraciones particulares porque el sistema es propietario e impone

restricciones. Los requisitos respecto a este tema son que deben ser sistemas de bajo costo y con un rendimiento aceptable en larga distancia.

De estos dos alternativas, los comerciales poseen en su contra el costo; un sistema totalmente comercial, dependiendo del sistema, puede salir dos o tres veces más caro que un sistema OEM implementado particularmente.

A continuación se muestra la comparación entre equipamiento.

2.2.8 Equipamiento 802.11 comercial.

Se han encontrado tres opciones comerciales destacables que están dentro de los requerimientos planteados: Smart Bridges, MikroTik y Lobometrics. Por lo general los enrutadores Wi-Fi comprenden una computadora embebida, una tarjeta inalámbrica, el sistema operativo y su controlador correspondiente para las radios.

Los sistemas Smart Bridges [42] y Lobometrics [44] son sistemas totalmente compactos, donde hardware y software e incluso, en algunos modelos, la antena se encuentran totalmente integrados y sólo se permite configurar. La solución MikroTik es un sistema semicompacto que si permite la modificación de su estructura. Cuando se adquiere una computadora embebida MikroTik está ya viene con su software propietario, pero se pueden utilizar diferentes tipos de tarjetas inalámbricas 802.11 compatibles.

Smart Bridges:

El modelo de Access Point sB3216 de Smart Bridges está diseñado para trabajar en exterior y soporta estándares IEEE 802.11a/d/h/i, y además el modo de funcionamiento de estos estándares esta mejorado por el fabricante pero no especifica que modificaciones ha realizado. La siguiente imagen muestra el sistema embebido:



Gráfico 4: Access Point sB3216

.Principales características:

- Procesador no indicado
- Sensibilidad máxima -108dBm
- Potencia transmisión máxima 27dBm
- Un interfaz radio en banda 5.8GHz (4.800MHz – 5.900MHz)
- Dos puertos Ethernet 10/100
- Antena integrada de ganancia 12dBi
- Seguridad WEP, WPA y WPA2
- Consumo energético medio 9,6W
- Rendimiento de 25 Mbps de tráfico TCP (enlace punto a punto)
- Precio aproximado de 1200 USD.

Las mejoras proporcionadas por esta opción permiten alcanzar enlaces punto a punto de hasta 40 kilómetros usando antenas de 31dBi de ganancia en ambas radios. Se puede ver que el paquete embebido está muy bien equipado y se adaptaría muy bien a las prestaciones que se necesitan pero su principal inconveniente es el precio.

MikroTik:

A esta solución se le puede considerar una alternativa mixta entre equipos comerciales y equipos OEM. Esta opción pasa por el uso de la computadora embebida RouterBOARD 333/433 [29], el sistema operativo propietario de MikroTik, RouterOS y una tarjeta inalámbrica que en este caso podría usarse la R52H (también de Mikrotik) o la Super Range 2 (de Ubiquiti Networks); en general cualquier otra tarjeta que sea de chipset atheros [26]. De entre las múltiples opciones de computadoras embebidas que ofrece MikroTik, se elige la RouterBOARD 333 básicamente por las siguientes características:

- Procesador PowerPC de 333MHz
- Sensibilidad máxima -90dBm
- Potencia transmisión máxima 25dBm
- Puede trabajar en 2.4GHz y 5.8GHz
- Tres puertos Ethernet 10/100
- Tres ranuras miniPCI (permite tres enlaces independientes)
- Software propietario RouterOS
- Rendimiento de unos 25Mbps de tráfico TCP (enlace punto a punto)
- Precio aproximado de un enlace (incluidas 2 tarjetas, pigtailes y cajas) 600 USD

La siguiente imagen nos muestra la tarjeta embebida propuesta por MikroTik, la RouterBOARD 333:

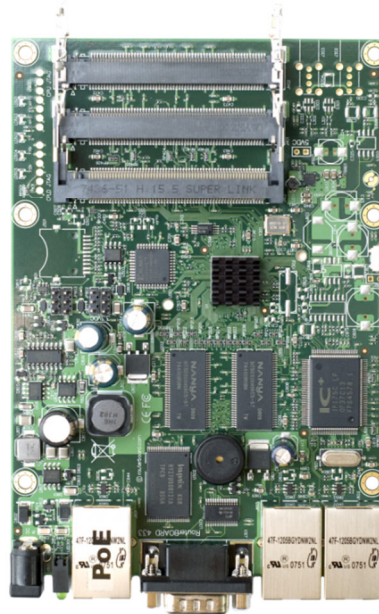


Gráfico 5: Placa Mikrotik RB333

Lo interesante de la opción analizada es que se puede ajustar el modelo de tarjeta inalámbrica que más convenga a la necesidad y sobretodo también su costo, bastante más reducido que la solución propuesta por Smart Bridges y obteniendo rendimientos similares.

Lobometrics

La solución de Lobometrics tiene como base el modelo 954HR [44]. La firma tiene mucha variedad para poder elegir pero se ha elegido esta por ser una de las que soporta tres interfaces que permitirá poder tener tres enlaces independientes. Las principales características son:

- Procesador IBM RISC de 335MHz
- Sensibilidad máxima -105dBm
- Potencia transmisión máxima 26dBm (por enlace)
- Permite tres enlaces independientes (integrado)
- Cuatro puertos Ethernet 10/100
- Seguridad WEP, WPA y WPA2
- Consumo energía ético medio 10,92W
- Rendimiento de 130Mbps (enlace con línea de vista de 20Km)
- Precio aproximado de (no incluye antenas) 1500 USD

La imagen siguiente es del sistema embebido propuesto por Lobometrics:

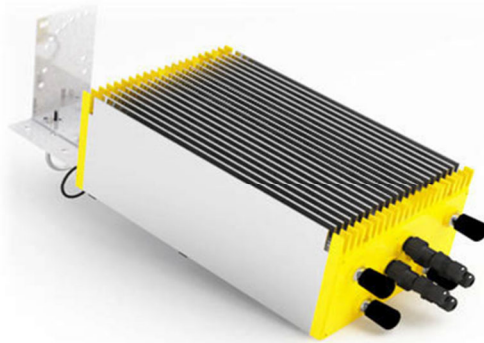


Gráfico 6: Lobometrics 954HR.

Esta solución, a pesar de ser cara, es una de las opciones más económicas que ofrece la marca y una de las que la relación calidad y prestaciones frente del precio, está mejor. Al igual que la opción de Smart Bridges, esta empresa tampoco especifica que modificaciones plantea, respecto al estándar, para lograr la mejora.

2.2.9 Equipamiento 802.11 OEM (Original Equipment Manufacturer)

Las soluciones comerciales poseen buenas prestaciones pero el problema es el costo elevado para el proyecto. Existe la alternativa de poder implementar particularmente una solución de enrutador inalámbrico por medio del uso de equipos OEM. El mercado de los sistemas OEM es muy amplio y hay muchas opciones. El precio de estas soluciones esta alrededor de los 450 USD en Lima, incluyendo todas las partes, antenas y el gabinete. El GTR-PUCP implementa esta solución por estar acorde al presupuestado de los proyectos y porque ofrece los rendimientos según el diseño y requisitos del proyecto. En enlaces de larga distancia (alrededor de 50Km) se logra obtener unos 6Mbps con estos equipos.

Los sistemas implementados con sistemas OEM son los que, a nivel de costo, son más accesibles. El siguiente objetivo es encontrar una combinación de sistema OEM que se adecue a la necesidad planteada. Un enrutador Wi-Fi de larga distancia OEM se conforma por una computadora embebida, un sistema operativo, una tarjeta inalámbrica Wi-Fi de larga distancia, su controlador y una antena de alta ganancia.

La principal característica que se necesita de la computadora embebida es que disponga de puertos MiniPCI y que ofrezca suficiente corriente a las tarjetas Wi-Fi de larga distancia (alrededor de 1A por puerto).

En el mercado existen muchos sistemas operativos para computadoras embebidas, desde comerciales hasta de libre disponibilidad; la mayoría está basada en Linux o BSD (Berkeley Software Distribution). No todos estos sistemas operativos son soportados por las computadoras embebidas. Los sistemas operativos comerciales no son muy caros, la mayoría está alrededor de los 50 USD por equipo instalado, pero las prestaciones son similares a los no comerciales. Quizá el comercial Mikrotik RouterOS sea una de las mejores opciones porque es completo, aparte de tener los controladores para las tarjetas WiFi posee herramientas para implementar soluciones de enrutamiento, calidad y seguridad. Pero es mejor que se use si es que se usa sus mismas computadoras (RB333 por ejemplo).

El controlador para las tarjetas Wi-Fi de larga distancia generalmente está ligado al sistema operativo. Es muy probable que cualquier sistema basado en Linux (comercial o no comercial) permita instalar el controlador Madwifi que se distribuye libremente. En los sistemas BSD este controlador esta poco mantenido y no se garantiza su uso.

Como sistema operativo, se buscarán los basados en Linux y que soporten el controlador Madwifi por ser el de mejor rendimiento para larga distancia dentro de lo que es software de libre distribución.

Computadoras embebidas

Se buscaron distintas computadoras embebidas que estén adaptadas para enlaces Wi-Fi de larga distancia. La principal característica es que sus puertos MiniPCI ofrecen alrededor de 0.5A a 1.8A por puerto, que es la corriente que generalmente requiere una tarjeta Wi-Fi de larga distancia cuando usa la máxima potencia. Otra característica es que tenga como mínimo 2 puertos MiniPCI para poder tener dos enlaces, y que en estas se pueda instalar alguna versión de Linux para poder usar el Madwifi. De entre muchas se eligió:

- Alix 2C0 PC Engines
- Avila GW2348-4 Network Platform
- Pronghorn SBC 250

Alix 2C0: Características técnicas

Fabricante: PC Engines

AMD Geode LX700, 433 MHz Procesador (basada en x86-64)

128MB DDR DRAM

Compact Flash Socket

Almacenamiento en Compact Flash

DC jack o POE pasivo, min. 7V - max. 20V

2 Mini-PCI slots Tipo IIIA/IIIB, LPC bus

2 Puertos Ethernet (Via VT6105M 10/100)

Puerto serie RS-232 (DB-9 conector macho)

Temperatura de operación de -20°C a +50°C

Medidas: 6"x 6" (15.24mm x 15.24mm)

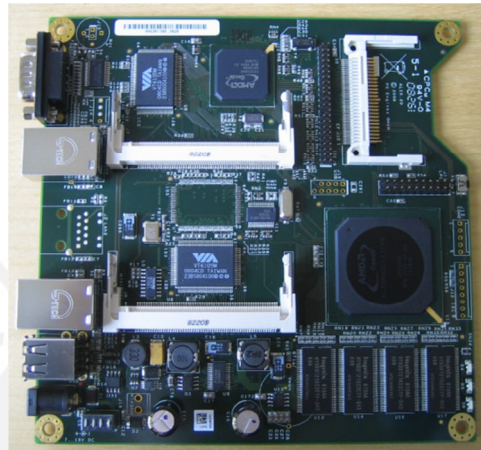


Gráfico 7: Alix 2C0.

Avila GW2348-4 Network Platform:

Características técnicas

Fabricante: Gateworks Corporation

Intel R XScale R IXP425TM, 533MHz Procesador

64Mbytes SDRAM

Compact Flash Socket

Almacenamiento en 16Mbytes de Flash (interna)

DC jack o POE pasivo, min. 9V - max. 48V

18W de potencia para 4 Type III Mini-PCI slots

2 Puertos Ethernet 10/100 Base

Puerto serie RS-232

Temperatura de operación de -40°C a +85°C

Medidas: 4"x 6" (10.16mm x 15.24mm)



Gráfico 8: Avila GW2348-4.

Pronghorn SBC 250 - Dual Radio Wi-Fi Router Board Based on the Intel^R IXP425

Network Processor:

Características técnicas:

Fabricante: ADI Engineering

Intel R XScale R IXP425TM, 533MHz Procesador

64Mbytes SDRAM

Compact Flash Socket

Almacenamiento en 16MB Intel RStrataFlashTM(P30) (interna)

DC jack 5V o POE pasivo en 802.3af Mode A and B, o inyectores pasivos, o nominal 48V (rango 36-60V) 6.5W para cada uno de los 2 Mini-PCI slots

2 Puertos Ethernet 10/100 Base

Una vía RJ-12.

Temperatura de operación de 0°C a +70°C

Medidas: 4.72"x 6.40"(11.98mm x 16.25mm)

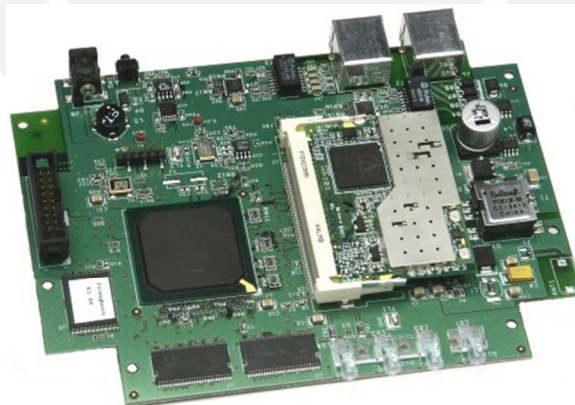


Gráfico 9: Pronghorn SBC 250.

Sistema operativo para computadoras embebidas y controlador para tarjeta Wi-Fi de larga distancia.

En el mercado existen muchos sistemas operativos para computadoras embebidas, desde comerciales hasta de libre disponibilidad; la mayoría está basada en Linux y BSD.

BSD: FreeBSD, Monowall, STYX, NetBSD, OpenBSD

Linux: IPCop firewall, IPFire firewall, LEAF, Meshlium, OpenWRT, Voyage Linuxy, Zeroshell

Comerciales: Ikarus OS, DD-WRT, Embed-it, Mikrotik RouterOS.

Para la computadora embebida Alix 2C0 inicialmente se decide considerar la opción de poder utilizar Monowall o FreeBSD, pero al usar el controlador Madwifi [22] en BSD tiene muchos problemas y no hay demasiado soporte, así que se descartan estas opciones.

De los sistemas comerciales y sistemas libres basados en Linux se escogen los siguientes:

Sistemas libres: OpenWRT y Voyage LINUX.

Sistemas comerciales: DDWrt, Ikarus OS y Mikrotik RouterOS.

Con las recomendaciones del propio fabricante, finalmente se decide que para la computadora embebida Alix 2C0 los sistemas operativos más adecuados son OpenWRT [22] y RouterOS [43]. Según el fabricante, para la computadora embebida Avila GW2348-4, el mejor sistema operativo (y el que la computadora embebida lleva ya por defecto instalado) es OpenWRT; también recomienda como alternativa utilizar DD-WRT o Ikarus OS. Para la computadora embebida Pronghorn Metro SBC el fabricante sugiere utilizar el OpenWRT.

Todas las opciones de sistema operativo y computadora embebida funcionan para el diseño. Pero uno de los requerimientos es el uso del Asterisk para la implementación de la telefonía. Esta aplicación estará instalada en estos mismos equipos, por tanto se instala en equipos compatibles con la arquitectura x86. De todas las opciones la única que permite eso es la Alix 2C0 y como sistema operativo sería la Voyage Linux porque en esta existe mayor facilidad en la instalación del Asterisk. La OpenWRT es una buena opción pero se tendrá dificultades al instalar y trabajar con el Asterisk.

En los equipos basados en Linux se puede usar múltiples controladores para distintas tarjetas Wi-Fi de larga distancia; actualmente existe el proyecto Linux Wireless [17] donde

se desarrollan controladores, se mejoran las existentes y se crean otros nuevos para gran cantidad de modelos de tarjetas Wi-Fi y están totalmente a libre disposición. El controlador Madwifi [22] es el más conocido y el que posee mejor rendimiento para larga distancia. Este controlador sólo trabaja en tarjetas Wi-Fi que tienen chipset Atheros [26].

La principal desventaja es que el software libre no presenta ningún tipo de garantía, por lo que a veces tiende a ser inestable o a presentar fallos de programación que pueden impedir el correcto funcionamiento de un hardware o programa, además por lo general, el software libre no es fácil de mantener ni de configurar para un usuario medio. Pero en el grupo de trabajo tenemos personal capacitado en Linux para poder realizar las pruebas y resolver los problemas que pudieran aparecer. Una muestra de esto es que grupo viene instalando redes Wi-Fi de larga distancia usando Linux desde el 2006.

Tarjetas WiFi

Entre las principales ventajas que ofrece el uso de software libre están la libertad de uso y su distribución, soporte y compatibilidad a largo plazo, uso de formatos estándar, corrección más rápida y eficiente de fallos, independencia tecnológica y el fomento de la libre competencia, y además es de libre disponibilidad.

En el mercado de las tarjetas de larga distancia la mayoría utiliza el chipset Atheros y por tanto son soportados por el controlador Madwifi. Abajo se muestra una lista de las tarjetas WiFi que se encuentra comercialmente más que otras; se ha hecho una primera busca en referencia al chipset y a la potencia máxima de transmisión.

- Ubiquiti Networks Super Range 2 (SR2) [27]
- Engenius EMP-8602 + S [28]
- Mikrotik R52H [29]

Super Range 2 SR2 (Ubiquiti Networks)

- Chipset: Atheros AR5213, 4th Generation
- Radio Operation: IEEE 802.11b/g, 2.4GHz
- Interface: 32-bit mini-PCI Type IIIA
- Operation Voltage: 3.3VDC
- Antenna Ports: ufl (main), MMCX (secondary)
- Temperature Range: -40°C to +80°C
- Security: 802.11i, AES-CCM & TKIP Encryption, 802.1x, 64/128/152bit WEP

- Data Rates: 6Mbps, 9Mbps, 12Mbps, 24Mbps, 36Mbps, 48Mbps, 54Mbps
- TX Channel Width Support: 5MHz / 10MHz / 20MHz / 40MHz
- RoHS Compliance: YES
- Avg. TX Power: 26dBm, +/-1dB
- Max Current Consumption: 1.10A, +/-100mA
- Indoor Range (Antenna Dependent): over 200m
- Outdoor Range (Antenna Dependent): over 50km
- Operating System Support: Linux (Madwifi), Windows.

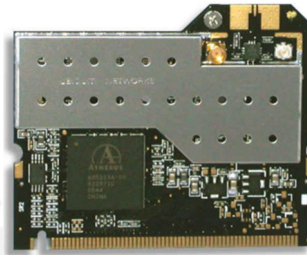


Gráfico 10: SR2.

R52H (Mikrotik)

- Chipset: Atheros AR5414
- Standards: IEEE802.11a, IEEE802.11b, IEEE802.11g
- Media Access: CSMA/CA with ACK architecture 32-bit MAC
- Security: Hardware-based 64/128 bit WEP, TKIP and AES-CCM encryption, WPA,WPA2, 802.1x
- Modulation:
 - 802.11b+g: DSSS, OFDM for data rate 30Mbps
 - 802.11a: OFDM
- Host Interface: Mini-PCI form factor; Mini-PCI Version 1.0 type 3B suggested only for motherboards that are produced after 2004
- Connectors: Two ufl connectors
- Wi-Fi: WECA Compliant
- Certifications: FCC, EC
- Powering: 3.3V +/- 10% DC; 800mA max (600mA typ.)
- Frequencies:
 - 802.11b/g: 2.192 – 2.507 (5 MHz step); 2.224 – 2.539 (5MHz step)
 - 802.11a: 4.920 – 6.100 (5 MHz step)
- Transfer Data Rate:
 - 802.11b: 11, 5.5, 2,1Mbps, auto-fallback
 - 802.11g (Normal mode): 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6Mbps, auto-fallback

802.11g (Turbo mode): 108, 96, 72, 48, 36, 24, 18, 12Mbps, auto-fallback
 802.11a (Normal mode): 54, 48, 36, 24, 18, 12, 9, 6Mbps, auto-fallback
 802.11a (Turbo mode): 108, 96, 72, 48, 36, 24, 18, 12Mbps, auto-fallback



Gráfico 11: R52H.

Engenius EMP-8602 + S

- Chipset: Atheros AR5413
- Radio Operation:
 - 802.11a: 4.92~5.08GHz, 5.15~5.35GHz, 5.47~5.725GHz, 5.725~5.825GHz
 - 802.11b/g: 2.400~2.484GHz
- Transmission Rate 802.11a/b/g: 1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps
- Operating Channels:
 - 802.11a: 21 for North America
 - 802.11b/g: 11 for North America
- Modulation Technology:
 - OFDM (64-QAM, 16-QAM, QPSK, BPSK)
 - DSSS (DBPSK, DQPSK, CCK)
- Standard: WECA (Wi-Fi & Wi-Fi5 Compliance) / 802.11a/b/g
- Regulation Certification: FCC Part 15 / UL
- Form Factor: Mini-PCI Type IIIB
- Antenna Connector: U.FL x2
- Operating Voltage: 3.3V+0.15V
- Temperature Range: Operation -40°C to 85°C / Storage -45°C to 90°C
- Humidity (Non-condensing): 5%~95% Typical
- Dimensions: 59.60mm x 44.45mm
- Weight: 15g (0.53oz)
- RADIO FREQUENCY BAND:
- Receive Sensitivity (Typical):
 - 802.11a: 88dBm @ 6Mbps 70dBm @ 54Mbps
 - 802.11g: 90dBm @ 6Mbps 74dBm @ 54Mbps

- 802.11b: 95dBm @ 1Mbps 90dBm @ 11Mbps
- Available Transmit Power (Typical):
 - 802.11a (4.920~5.080GHz & 5.150~5.350GHz)
 - 23dBm @ 6~24Mbps 21dBm @ 36Mbps 19dBm @ 48Mbps 18dBm @ 54Mbps
 - 802.11a (5.470~5.725GHz)
 - 22dBm @ 6~24Mbps 20dBm @ 36Mbps 18dBm @ 48Mbps 17dBm @ 54Mbps
 - 802.11a (5.725~5.825GHz)
 - 21dBm @ 6~24Mbps 19dBm @ 36Mbps 17dBm @ 48Mbps 16dBm @ 54Mbps
 - 802.11g (2.412~2.462GHz)
 - 26.0dBm @ 6~24Mbps 23.5dBm @ 36Mbps 22.5dBm @ 48Mbps 21.5dBm @ 54Mbps
 - 802.11b (2.412~2.462GHz)
 - 27dBm @ 1~11Mbps
- Tx Current: $\leq 1.5A$
- Rx Current: $\leq 400mA$
- Card on Current: $\leq 400mA$
- Sleep Current: $\leq 100mA$
- DRIVER: Windows XP y Linux MadWiFi



Gráfico 12: Engenius EMP-8602 + S.

En general se puede usar cualquiera de estas tarjetas WiFi con las Alix2C0 y la Voyage Linux (Madwifi). En este trabajo se utilizará la SR2; esta tarjeta es para la 2.4GHz y la razón de esta banda está explicada en el diseño.

Antenas

Las antenas que se van a usar son antenas de alta ganancia especiales para distancias largas. Existen muchos fabricantes de antenas pero las que mayormente se comercializan en Lima es las de la marca HyperLink. En estas tenemos varios modelos de antenas del tipo directiva.

Antena direcciva parabólica grilla para 2.4GHz [32]:

- Frecuencia: 2400 - 2500 MHz (Banda de 2.4Ghz)
- Ganancia de 24dBi
- Sistemas punto a punto y sistemas punto multipunto, generalmente usados en los enlace de distribución, tanto en la estación cliente como el punto de acceso.
- Apertura del haz horizontal: 9°
- Apertura del haz vertical: 11°
- Impedancia: 50 Ohm
- Polarización: horizontal y vertical
- Potencia máxima de entrada: 100 Watts
- Temperatura de operación entre -40°C y 85°C
- Conector: N-hembra



Gráfico 13: Antena grilla de 24dBi de 245GHz

Antena direcciva parabólica grilla para 5.8GHz [33]:

- Frecuencia: 5725 - 5850MHz (Banda de 5.8Ghz)
- Ganancia de 27dBi
- Sistemas punto a punto y sistemas punto multipunto, generalmente usados en los enlace de distribución, tanto en la estación cliente como el punto de acceso.
- Apertura del haz horizontal: 6°
- Apertura del haz vertical: 9°
- Impedancia: 50 Ohm
- Polarización: horizontal y vertical
- Potencia máxima de entrada: 100Watts
- Temperatura de operación entre -40°C y 85°C
- Conector: N-Hembra



Gráfico 14: Antena grilla de 27dBi de 5.8GHz

Cable coaxial:

Para las conexiones de radiofrecuencia se utilizarán los pigtaills y cables coaxiales flexibles. En el mercado existen muchos fabricantes y de muchos terminales.



Pigtail UFL N Hembra y Pigtail MMCX N
Hembra

Coaxiales flexibles

Gráfico 15: Pigtail y cable coaxial

Abajo se muestra una tabla con los principales modelos de cables coaxiales usados en sistemas microondas, para los trabajos se utilizará el cable coaxial LMR-400 de la marca Times Microwave. Por ejemplo para el coaxial LMR-400 podemos apreciar para la banda de 2.4Ghz que la atenuación es de 22.3dB en 100 metros de cable.

Tabla 2: Atenuación de diferentes modelos de coaxiales en diferentes bandas: dB/100 ft (dB/100 m)

Cable Type	144 MHz	220 MHz	450 MHz	915 MHz	1.2 GHz	2.4 GHz	5.8 GHz
RG-58	6.2	7.4	10.6	16.5	21.1	32.2	51.6
	-20.3	-24.3	-34.8	-54.1	-69.2	-105.6	-169.2
RG-8X	4.7	6	8.6	12.8	15.9	23.1	40.9
	-15.4	-19.7	-28.2	-42	-52.8	-75.8	-134.2
LMR-240	3	3.7	5.3	7.6	9.2	12.9	20.4
	-9.8	-12.1	-17.4	-24.9	-30.2	-42.3	-66.9
RG-213/214	2.8	3.5	5.2	8	10.1	15.2	28.6
	-9.2	-11.5	-17.1	-26.2	-33.1	-49.9	-93.8
9913	1.6	1.9	2.8	4.2	5.2	7.7	13.8
	-5.2	-6.2	-9.2	-13.8	-17.1	-25.3	-45.3
LMR-400	1.5	1.8	2.7	3.9	4.8	6.8	10.8
	-4.9	-5.9	-8.9	-12.8	-15.7	-22.3	-35.4
3/8" LDF	1.3	1.6	2.3	3.4	4.2	5.9	8.1
	-4.3	-5.2	-7.5	-11.2	-13.8	-19.4	-26.6
LMR-600	0.96	1.2	1.7	2.5	3.1	4.4	7.3
	-3.1	-3.9	-5.6	-8.2	-10.2	-14.4	-23.9
1/2" LDF	0.85	1.1	1.5	2.2	2.7	3.9	6.6
	-2.8	-3.6	-4.9	-7.2	-8.9	-12.8	-21.6
7/8" LDF	0.46	0.56	0.83	1.2	1.5	2.3	3.8
	-1.5	-2.1	-2.7	-3.9	-4.9	-7.5	-12.5
1 1/4" LDF	0.34	0.42	0.62	0.91	1.1	1.7	2.8
	-1.1	-1.4	-2	-3	-3.6	-5.6	-9.2
1 5/8" LDF	0.28	0.35	0.52	0.77	0.96	1.4	2.5
	-0.92	-1.1	-1.7	-2.5	-3.1	-4.6	-8.2

Las series LMR son productos de la Empresa Times Microwave, la serie 9913 es un producto de Belden Corp; las series RG también son productos de Belden y otras compañías; las series LDF conocidos como HELIAX son de Andrew Corp.

Protectores de línea:

La propuesta contempla el uso de protectores contra descargas eléctricas, utilizados para impedir que los rayos causen daños en los enrutadores. Las especificaciones del protector contra rayos para 2.4GHz y 5.8GHz ambos de cuarto de onda.

Rango de frecuencia: 2.4 GHz / 5.8GHz

Pérdida de línea: 0.3dB Max en 2.4GHz

Pérdida de línea: 0.5dB Max 5.8GHz

Conector N (hembra) a N (macho)

Impedancia: 50 Ohm

Voltage standing wave ratio (VSWR): 1.2:1 Max

Pérdida de Retorno: 2.1dB Max

Máxima corriente de descarga: 1.25x50µs 6kv/3kv

Potencia de entrada: 100W

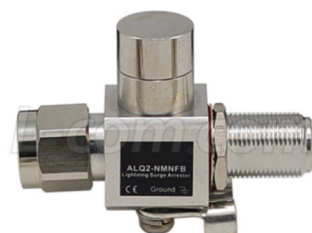


Gráfico 16: Protector de línea

Gabinetes:

Los gabinetes se utilizarán para albergar a los equipos de telecomunicaciones y de energía. Se utilizará gabinetes de la marca certificado con IP66 [35]. Es decir gabinetes que soporten las condiciones de la selva peruana y que no pueda ingresar agua en el interior.



Gráfico 17: Gabinete metálico que cumple IP66.

2.2.10 Equipamiento 802.11 para estación cliente.

La distancia desde la torre de telecomunicaciones hacia los centros de salud, donde estará el equipo inalámbrico cliente, será corta, serán menores a 500m. La distancia hace sugerir que no se requiere mucha potencia. Entonces se puede optar por equipos para pequeñas oficinas pero que tenga la posibilidad de insertar Linux para poder crear funcionalidades como seguridad, calidad e enrutamiento.

Enrutador inalámbrico Linksys WRT54GL [30] es comúnmente encontrado en el mercado y se le puede instalar el OpenWRT (Linux), por tanto se utilizará este equipo.

Especificaciones:

- Estándar: IEEE 802.11b/g y IEEE 802.3, 802.3u.
- Banda de frecuencia: 2.4GHz.
- Switch de 4 interfaces Ethernet 10/100, RJ45 (Puertos LAN).
- 1 interfaz WAN Ethernet 10/100 RJ45 (Puerto Internet).
- 1 interfaz inalámbrica IEEE 802.11b/g.
- Características IEEE 802.11b/g.
- Canales: 11 canales (USA/Canadá).
- Hasta 11 Mbps con IEEE802.11b.
- Hasta 54 Mbps con IEEE802.11g.
- Potencia de salida: 18dBm.

- Seguridad: Encriptación WEP 64-bit, 128-bit, WPA, WPA2, Filtro por dirección MAC.
- Firmware: 4.30.7, SPI Firewall y NAT, DHCP.
- 2 antenas omnidireccional, 2 conectores RP-TNC.
- Alimentación 12VDC.



Gráfico 18: Linksys WRT54GL

La antena que trae este equipo es omnidireccional y de baja ganancia (5dBi), entonces se adaptará una antena direccional de tipo panel (14dBi).

Antena direccional panel para 2.4GHz [36]:

- Antena panel
- Frecuencia: 2400-2500MHz
- Ganancia: 14dBi
- Ancho de haz horizontal: 30°
- Ancho de haz vertical: 30°
- Impedancia: 50 Ohm
- Polarización: horizontal y vertical
- Temperatura de operación entre -40° y 85°
- Conector: N-Hembra



Gráfico 19: Antena direccional panel para 2.4GHz

2.2.11 Características adicionales sobre la red

Direccionamiento de la red

Los protocolos de red y transporte usados para esta red van a ser IP y TCP. Las redes de distribución y de acceso así como las redes de las estaciones clientes o finales pertenecerán a una subred distinta, pero todos dentro de una misma superred.

Como la red estará formada por subredes entonces se utilizará protocolos de enrutamiento dinámico para la interconexión. Si se decide por un enrutamiento estático para la red se hará inviable y no deseable su mantenimiento, por lo cual se hace necesario un enrutamiento dinámico. Dentro del mundo de los protocolos de enrutamiento dinámico, existen dos grandes familias dependiendo; la primera llamada Protocolos de Gateway Interior (IGP), y en la segunda los Protocolos de Gateway Exterior (EGP). Como el enrutamiento dinámico se va a dar dentro de la red, los protocolos candidatos a usar deben pertenecer a los IGP, entre los cuales se pueden citar los siguientes RIP, IGRP, OSPF y IS-IS entre otros. Los protocolos IGP se pueden clasificar en dos grupos según el algoritmo que usan para calcular las rutas óptimas, los protocolos de enrutamiento vector distancia que usan el algoritmo de Bellman-Ford, y los protocolos de enrutamiento estado de enlace que usan el algoritmo de Dijkstra. Dentro de estas familias se debe determinar en el diseño de la red cuál es el adecuado para la red.

Seguridad

En la red también se tiene que ofrecer cierto nivel de seguridad en las comunicaciones internas al menos en nivel de encriptación. La seguridad se puede aplicar a distintas capas, que según el modelo TCP/IP. Como se va a usar tecnología inalámbrica según el estándar WLAN 802.11, la capa de enlace podría soportar distintos tipos de seguridad según los que se encuentran: Privacidad Equivalente Cableada (WEP) y Área Protegida Wi-Fi (WPA y WPA2). WEP queda descartado pudiéndose romper la clave de 104 bits en menos de un minuto [7] al menos en los enlaces de acceso. En definitiva quedan como posibles opciones, el uso de seguridad en la capa de enlace mediante WPA y WPA2; pero como no se va usar un servidor de autenticación se utilizará WPA-PSK [8].

Monitoreo de la red

La red será entregada a sus beneficiarios, y estos serán los encargados de su mantenimiento futuro. Para colaborar con esta tarea es necesario contar con un sistema de gestión de red, pero esto no está contemplado en los requerimientos de este proyecto. En esta tesis se sugiere el uso del Nagios [37] para implementar un sistema de monitoreo

básico que pueda mostrar gráficamente posibles equipos caídos. En un trabajo futuro esta aplicación debe contemplar un historial, gráficos, análisis de datos, etc. y puede estar desarrollado en base a un software de gestión como Centreon [37]. El uso de esta aplicación ayudará a implementar una calidad de servicio mediante un dimensionado de tráfico que se ajuste a la realidad de la red.

Fuente de alimentación energética

Los nodos de la red ubicados en las torres de telecomunicaciones no tendrán acceso a la red eléctrica, es por ello que en estos puntos se hará uso de sistemas fotovoltaicos. Se elige la energía solar por ser la más simple en su implementación y económica para su mantenimiento. Generalmente estos sistemas proporcionan una fuente de 12Vdc o 24Vdc, por lo que la solución WiFi escogida deberá estar dentro de este rango. Una solución fotovoltaica implementada está básicamente compuesta de paneles solares para la generación de corriente eléctrica, baterías para el almacenamiento, y un controlador para el control adecuado de la carga y descarga de las baterías. En las estaciones clientes también se utilizará un sistema fotovoltaico para energizar los equipos de radio, así como para alimentar a los equipos del usuario (teléfono y computadora) donde sea necesario.

Sistema de protección eléctrica

Es característico que en el clima de la selva peruana existan temporadas distintas muy marcadas, por ejemplo la temporada de lluvias. La época de Noviembre a Abril se caracteriza por tener fuertes lluvias y la existencia de tormentas y relámpagos. En este clima es necesario proteger los equipos de las descargas eléctricas, por lo tanto se implementará un sistema de protección eléctrica (pararrayos) en cada nodo donde se instalen antenas en el exterior. Para esto se utilizará un tetrapuntal tipo Franklin en lo alto de la torre, el cual estará conectado a una toma de tierra por medio de un cable de cobre aislado de la torre o poste. El sistema de puesta a tierra estará compuesto de una mezcla de bentonita (arcilla de gran poder de absorción), sal, tierra de cultivo y agua, lo que permitirá disminuir la resistividad del terreno para conducir las descargas eléctricas lo más profundo posible.

3. Diseño de la red inalámbrica.

3.1 Estudios de campo para la obtención de información de cada ubicación.

Desde una visión general, para la implementación de cualquier proyecto TIC (Tecnologías de Información y Comunicación) es indispensable realizar previamente un estudio de necesidades de comunicación e información que permita definir de forma precisa los objetivos, resultados y actividades por alcanzar o realizar. En el caso particular de los proyectos que implican el despliegue de infraestructura de telecomunicaciones en zonas rurales, además del estudio de necesidades, es conveniente realizar un estudio de campo que sirva para la elaboración del diseño de la red. Posteriormente, durante la ejecución de la iniciativa, es conveniente realizar un estudio exhaustivo que permita validar o complementar el diseño inicial y sirva además de base para las actividades de ingeniería de detalle.

El levantamiento de datos en el terreno sirve para tener una idea más completa de la zona de intervención, desde el punto de vista de ubicación geográfica, logística, transporte, telecomunicaciones, energía, etc. Antes de realizar el levantamiento de datos en el terreno se debería efectuar lo siguiente:

- Hacer una exploración previa, y la ubicación de los puntos en la zona de intervención. Actualmente existen diversas formas: mediante el uso de mapas cartográficos, sistemas de información geográfica como Google Earth, Google Maps y otros.
- Solicitar y/o buscar la mayor cantidad de información de la zona de intervención en las instituciones públicas como: formas de transporte en la zona, mapas de ubicación geográfica, servicios de telecomunicación existentes, instituciones públicas existentes, etc.
- Hacer un plan de viaje, en el cual se definen los lugares a visitar, las rutas, tiempos, tipos de transporte, presupuesto, recurso humano capacitado, asegurado y vacunados; equipamiento técnico para la toma de información (GPS, brújula, cámara fotográfica, cámara de vídeo, computadora portátil, cinta métrica, telurómetro, navajas, catalejo, analizador de espectro portátil, material de seguridad para trabajo en altura o en selva, etc).

- Definir un formulario que permita el levantamiento de información en el terreno para cada lugar a visitar.
- Tomar información acerca del lugar visitado, nombre de localidad, región, coordenadas geográficas, ciudades importantes cercanas, toma de coordenadas geográficas (latitud, longitud y altura) de dos o máximo tres posibles ubicaciones para la instalación de torres (en caso de ser necesarias) y la ubicación de los establecimientos a los cuales se dará servicio. En el caso del uso de GPS para la toma de las coordenadas, estos deben estar debidamente calibrados y con un error máximo de 10 metros, en caso de que sea posible.
- Tomar información acerca de los servicios de telecomunicaciones existentes (recoger información cualitativa y cuantitativa). Con esto se sabrá si existen opciones de conexión a Internet en algún punto de la zona. Además, permitirá hacerse una idea de las interferencias que puede sufrir el despliegue de una u otra tecnología. Para ello se hará uso del analizador de espectro portátil.
- Información relativa a los servicios de energía presentes en la zona, lo que servirá para el diseño del sistema de alimentación de los equipos.
- Información de transportes presentes en la zona: tipos (para pasajeros y carga), costos asociados, tiempos de recorrido, frecuencia de transporte, consumo de combustible, etc. Esta información sirve para proyectar los costos y tiempos de implementación de la red de telecomunicaciones.
- Información relativa al terreno donde se instalaría la infraestructura de telecomunicaciones: tipo de suelo, conductividad del terreno (con ayuda de un telurómetro), costo, propietario, si está cerca de algún aeropuerto, etc.
- Información relativa a los fenómenos climáticos presentes en la zona. Este dato es importante para identificar los posibles contratiempos y/o definir la mejor época de intervención para la implementación de la red de telecomunicaciones.
- Información de materia prima que se pueda conseguir cerca de la zona de intervención (cemento, hierros, arena, piedra, agua, madera, sal, etc.). Estos son útiles para saber las opciones existentes en el mercado local; además se pueden disminuir los tiempos de transporte.
- Información relativa a mano de obra presente en la zona de intervención. Con esta información se pueden evaluar las posibilidades de llevar personal cualificado a la zona de intervención. Esto permitirá conocer a su vez si existe en ella alguna persona con conocimiento de comunicaciones.

- Información relativa a la seguridad frente a actos vandálicos o de violencia. Esto es importante para definir el grado de seguridad con el cual se tendría que implementar la infraestructura.
- Información de personas de contacto en las zonas de intervención, en especial de las autoridades: nombres, institución, cargo dentro de la institución, teléfonos, etc. Esto es importante para realizar coordinaciones con los representantes de cada comunidad.
- Información de instituciones presentes en la zona de intervención. Esto es importante para identificar instituciones que pudieran beneficiarse de la red de telecomunicaciones.
- Información relativa a la actividad económica de la zona de intervención.
- Tomar fotografía de todo lo necesario para el diseño; terreno, ambientes, zonas de referencia, rutas, etc.
- En los posibles es necesario el acompañamiento de personal de seguridad que acompañe y haga el plan de seguridad para el personal de trabajo.

Durante la visita de campo, cada vez que se llegue a un lugar de interés es importante contactar con las autoridades de la comunidad, dado que con ellos se pueden definir las posibles ubicaciones de la infraestructura de telecomunicaciones y pueden brindar información para completar el formulario de levantamiento de información; de igual forma, con dichas personas se puede identificar algún guía para desplazarse a otro lugar a pie, por río o carretera, si fuera necesario. Además, dependiendo de cómo se define el grupo de beneficiarios directos e indirectos del proyecto, este acercamiento y coordinación debe ser visto como parte del proceso de inclusión de los receptores en la formulación y ejecución del proyecto. El cual debe tener un carácter participativo. Luego de la visita de campo se debe procesar la información obtenida para realizar el diseño de la red de telecomunicaciones.

3.2 El dimensionamiento de la red.

Con los datos obtenidos en los estudios de campo se puede realizar un dimensionamiento de la capacidad requerida en la red. El dimensionamiento sirve para determinar el número de recursos que debe asignarse a una red para que puedan efectuarse en ella las comunicaciones necesarias con unas características de calidad de servicio determinadas.

En la parte de análisis ya se ha realizado el cálculo del dimensionamiento. Para el diseño se calculará que todos los enlaces inalámbricos soporten 6Mbps; por lo que se elegirán los equipos respectivos para soportar esta velocidad.

Para el acceso a Internet cada centro de salud tendrá que aceptar las limitaciones impartidas por la DIRESA Loreto. La velocidad contratada por La DIRESA Loreto es de 1Mbps (bajada) / 1Mbps (subida); y es usada por los trabajadores de la DIRESA Loreto y será compartida a demanda por la Red del Napo.

3.3 Diseño de los radioenlaces y elección de equipos.

Antes de la implementación de primera parte de la red del Napo se realizaron pruebas de banda de frecuencia; la que dio mayor resultados de rendimiento fueron cuando se usaba 2.4GHz pero en la ciudad de Iquitos es mejor usar enlaces inalámbricos en la banda 5.8GHz porque la banda 2.4GHz está saturada [9].

3.3.1 Uso del Radio Mobile

El software que se utilizó para simular los radioenlaces de la red es el Radio Mobile [38]. Aunque existen otros como SPLAT [39] que ofrecen prestaciones adicionales en el análisis de interferencias, pero 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 radio propagación en el rango de frecuencias de 20MHz a 20GHz.

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 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:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_{ccTx} - L_{ccRx} - L_p$$

Dónde:

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% [13] 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.

3.3.2 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 obtenidos de la visita de campo.

Tabla 3: Coordenadas geográficas de los establecimientos de salud.

Ítem	Establecimiento	Latitud	Longitud	Altura (msnm)
01	Emergencia HRL	3°43'33.85"	73°15'09.44"	105
02	Radiofonía DISA Loreto	3°43'32.78"	73°15'15.49"	105
03	Vicariato	3°43'34.13"	73°14'29.50"	105
04	CS Mazán	3°29'51.70"	73°05'29.70"	115
05	PS Huamán Urco	3°19'07.10"	73°13'04.30"	116
06	PS Tuta Pishco	3°06'35.00"	73°08'19.00"	106
07	PS Negro Urco	3°01'14.20"	73°23'26.80"	139

Enlaces de distribución:

Haciendo uso del software Radio Mobile y los datos georeferenciales adquiridos durante la visita de estudio de campo se diseñó cada uno de los enlaces de distribución de larga distancia de la red inalámbrica con el objetivo de obtener el mejor rendimiento utilizando equipos inalámbricos 802.11g para los enlaces rurales (desde Tacsha Curaray hasta Mazán) y utilizando equipos inalámbricos 802.11a para los enlaces urbanos (desde Mazán hasta el Hospital Regional de Loreto).

El proyecto ha realizado los acuerdos necesarios para que en Iquitos no se construya una torre de telecomunicaciones sino aprovechar la torre que tiene instalado la sucursal de PetroPerú en Iquitos.

Tabla 4: Estándar de los enlaces de la red troncal

Enlace	Establecimientos		Estándar
01	HRL	PetroPerú	802.11 ^a
02	PetroPerú	Mazán	802.11 ^a
03	Mazán	Huamán Urco	802.11g
04	Huamán Urco	Tuta Pishco	802.11g
05	Tuta Pishco	Negro Urco	802.11g
06	Negro Urco	Tacsha Curaray	802.11g

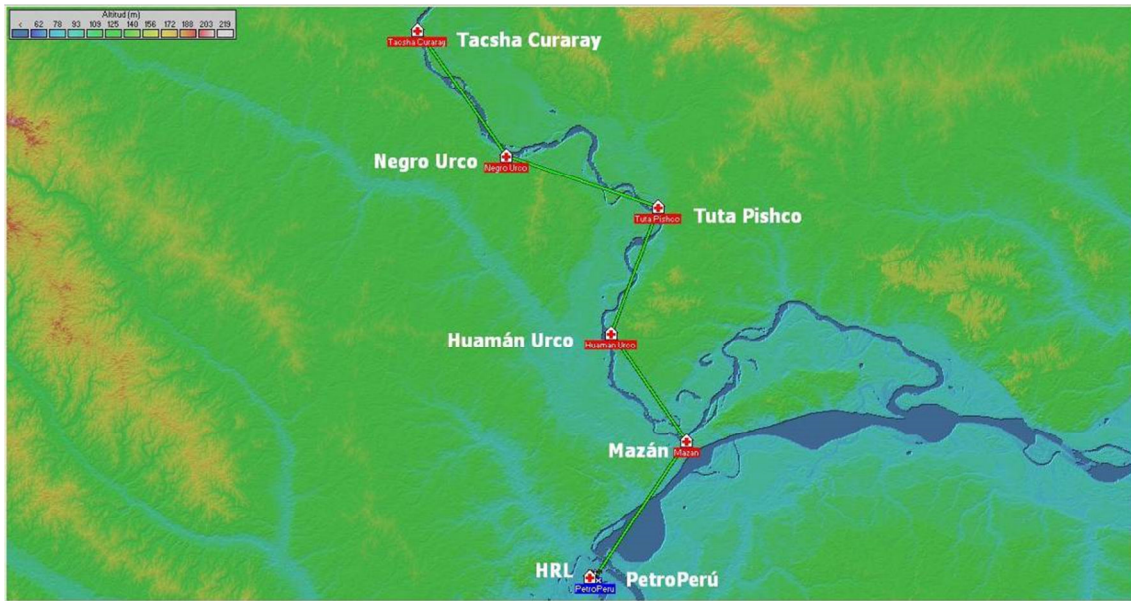


Gráfico 20: Esquema de la red troncal simulada con el software de Radio Mobile.

Luego de realizado los trabajos de instalación se han adquirido los datos georeferenciales finales de cada estación y los resultados de las simulaciones se detalla a continuación.

Parámetros del enlace urbano Hospital Regional Loreto – PetroPerú.

Frecuencia mínima (MHz): 5180

Frecuencia máxima (MHz): 5805

Modo estadístico: Difusión: 90% tiempo / 80% ubicaciones / 80% situaciones

Clima: Continental Sub-Tropical

Sistema empleado: R52H (tx: 80mW rx: -90dBm) en modo 802.11a

Tipo de antena: Directiva tipo grilla de 27dBi de ganancia

Pérdida de línea: 0.5dB

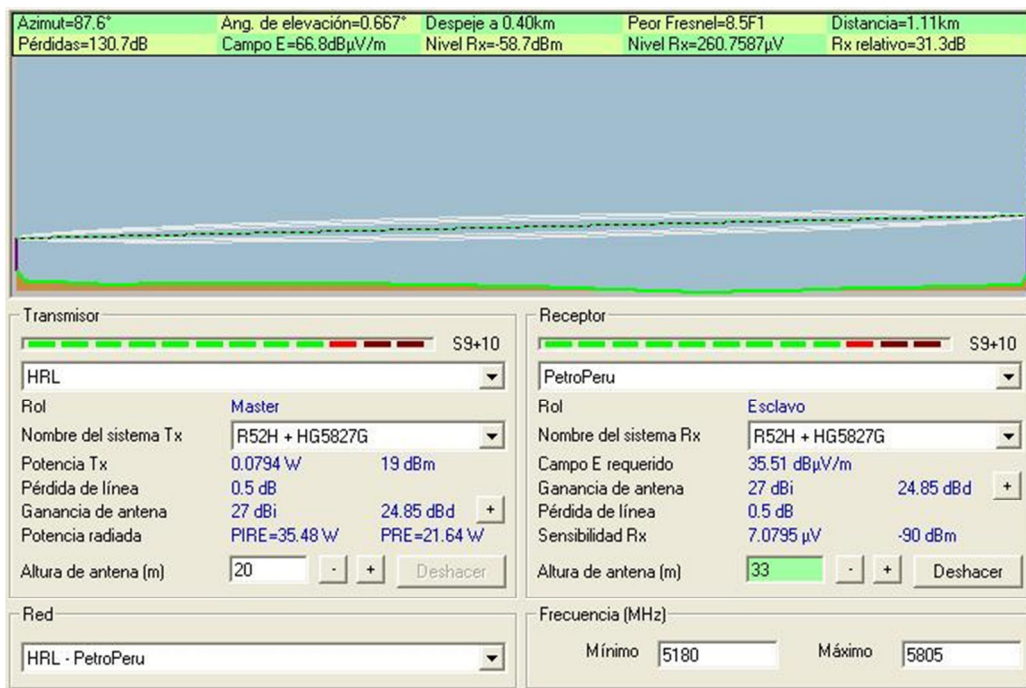


Gráfico 21: Perfil del enlace Hospital Regional de Loreto – PetroPerú

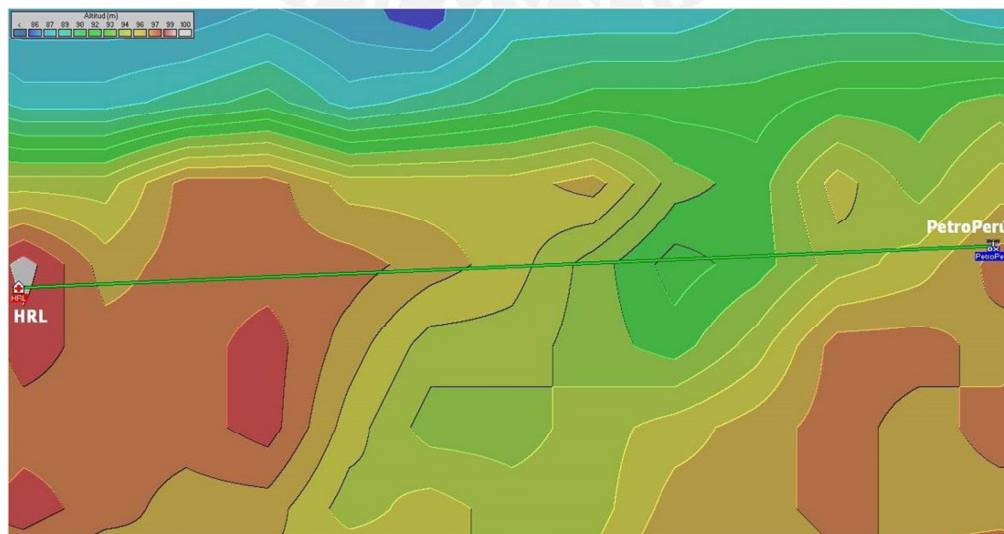


Gráfico 22: Enlace Hospital Regional de Loreto – PetroPerú

Parámetros del enlace urbano PetroPerú – Mazán.

Frecuencia mínima (MHz): 5180

Frecuencia máxima (MHz): 5805

Modo estadístico: Difusión: 90% tiempo / 80% ubicaciones / 80% situaciones

Clima: Continental Sub-Tropical

Sistema empleado: R52H (tx: 250mW rx: -90dBm) en modo 802.11a

Tipo de antena: Directiva tipo grilla de 27dBi de ganancia

Pérdida de línea: 0.5dB

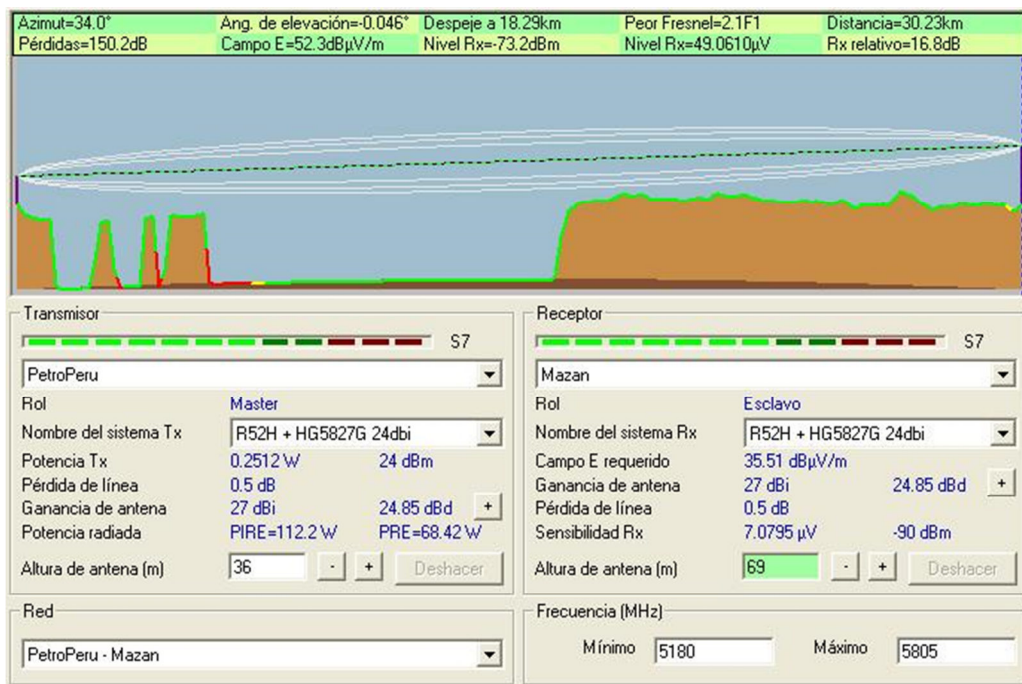


Gráfico 23: Perfil del enlace PetroPerú – Mazán



Gráfico 24: Enlace PetroPerú – Mazán

Parámetros del enlace rural Mazán – Huamán Urco.

Frecuencia mínima (MHz): 2400

Frecuencia máxima (MHz): 2483

Modo estadístico: Difusión: 90% tiempo / 80% ubicaciones / 80% situaciones

Clima: Continental Sub-Tropical

Sistema empleado: R52H (tx: 400mW rx: -95dBm) en modo 802.11g

Tipo de antena: Directiva tipo grilla de 24dBi de ganancia

Pérdida de línea: 0.5dB

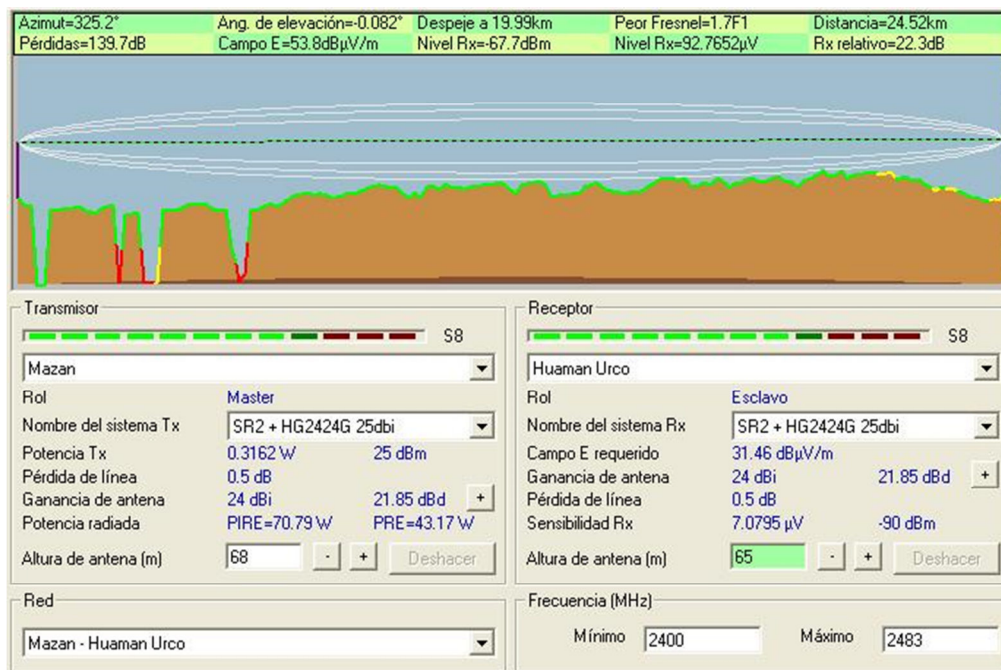


Gráfico 25: Perfil del enlace Mazán – Huamán Urco

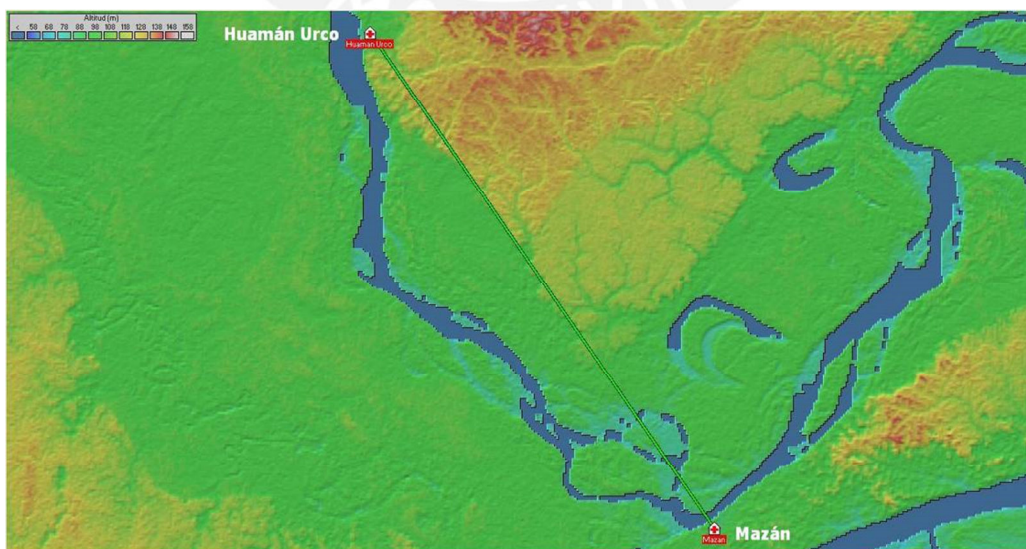


Gráfico 26: Enlace Mazán – Huamán Urco

Parámetros del enlace rural Huamán Urco – Tuta Pishco.

Frecuencia mínima (MHz): 2400

Frecuencia máxima (MHz): 2483

Modo estadístico: Difusión: 90% tiempo / 80% ubicaciones / 80% situaciones

Clima: Continental Sub-Tropical

Sistema empleado: R52H (tx: 400mW rx: -95dBm) en modo 802.11g

Tipo de antena: Directiva tipo grilla de 27dBi de ganancia

Pérdida de línea: 0.5dB

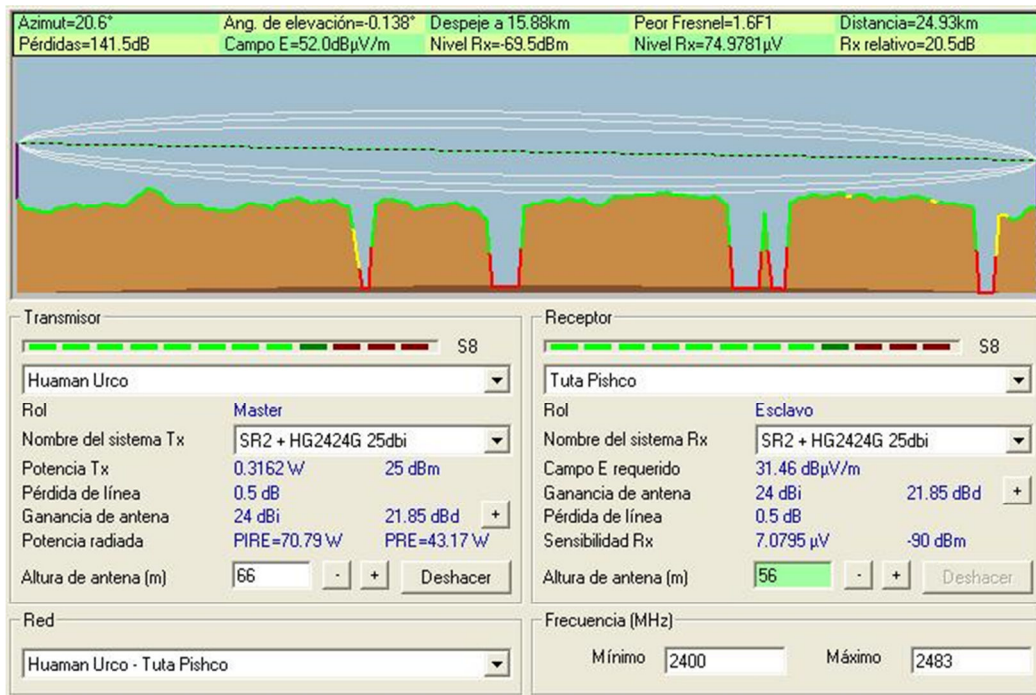


Gráfico 27: Perfil del enlace Huamán Urco – Tuta Pishco

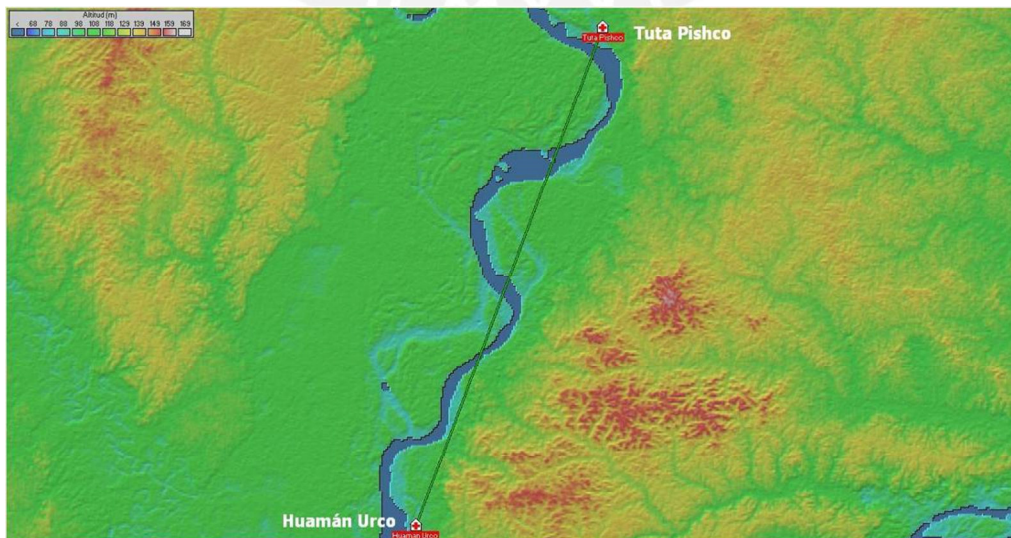


Gráfico 28: Enlace Huamán Urco – Tuta Pishco

Parámetros del enlace rural Tuta Pishco – Negro Urco.

Frecuencia mínima (MHz): 2400

Frecuencia máxima (MHz): 2483

Modo estadístico: Difusión: 90% tiempo / 80% ubicaciones / 80% situaciones

Clima: Continental Sub-Tropical

Sistema empleado: R52H (tx: 400mW rx: -95dBm) en modo 802.11g

Tipo de antena: Directiva tipo grilla de 24dBi de ganancia

Pérdida de línea: 0.5dB

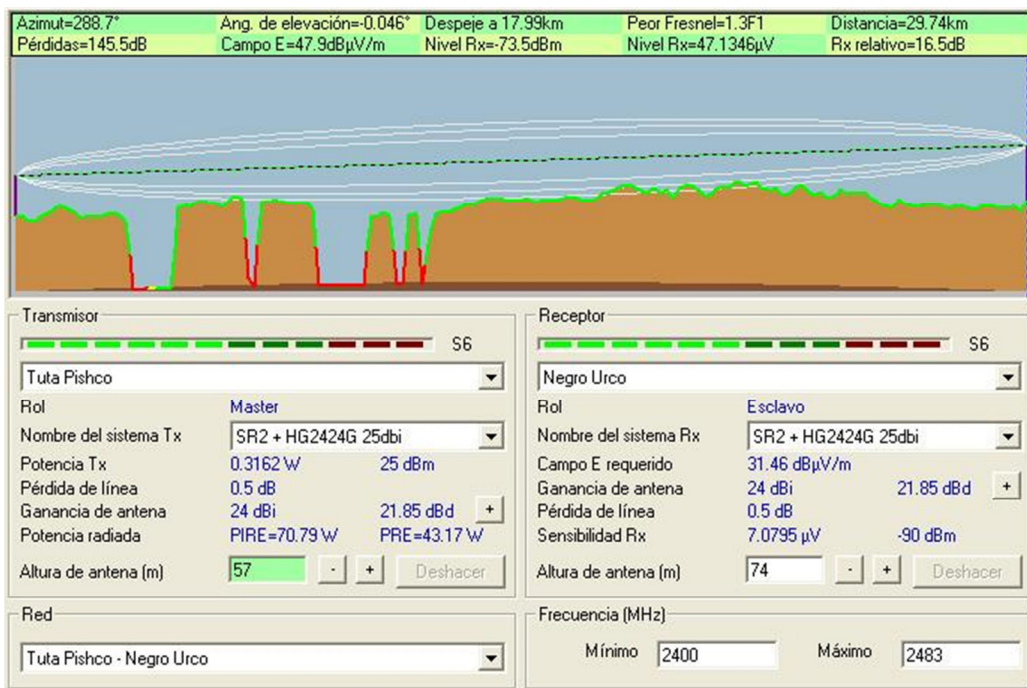


Gráfico 29: Perfil del enlace Tuta Pishco – Negro Urco

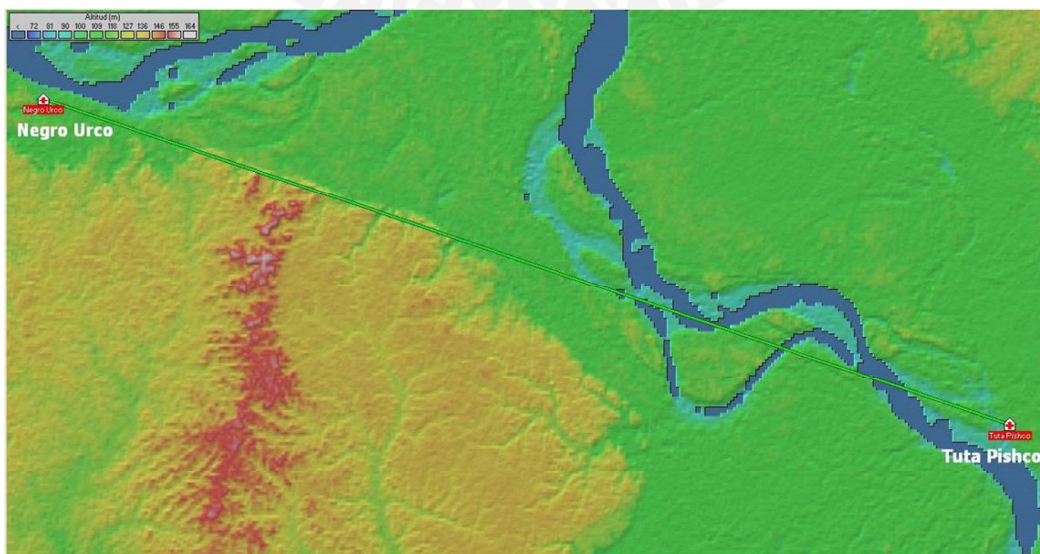


Gráfico 30: Enlace Tuta Pishco – Negro Urco

Parámetros del enlace rural Negro Urco – Tacsha Curaray.

Frecuencia mínima (MHz): 2400

Frecuencia máxima (MHz): 2483

Modo estadístico: Difusión: 90% tiempo / 80% ubicaciones / 80% situaciones

Clima: Continental Sub-Tropical

Sistema empleado: R52H (tx: 320mW rx: -95dBm) en modo 802.11g

Tipo de antena: Directiva tipo grilla de 24dBi de ganancia

Pérdida de línea: 0.5dB

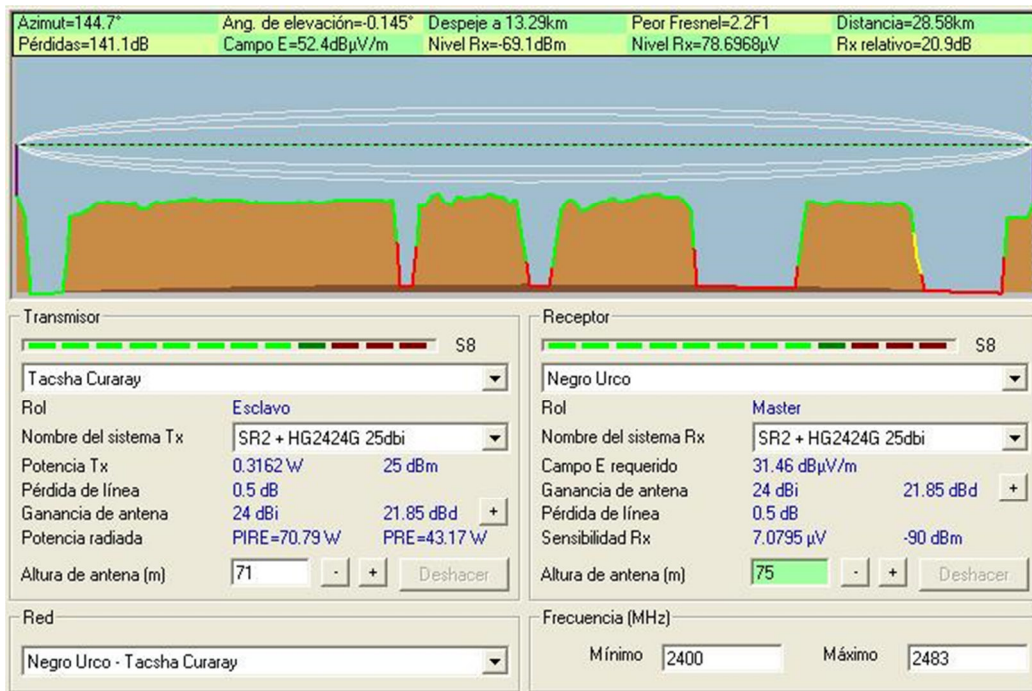


Gráfico 31: Perfil del enlace Negro Urco – Tacsha Curaray

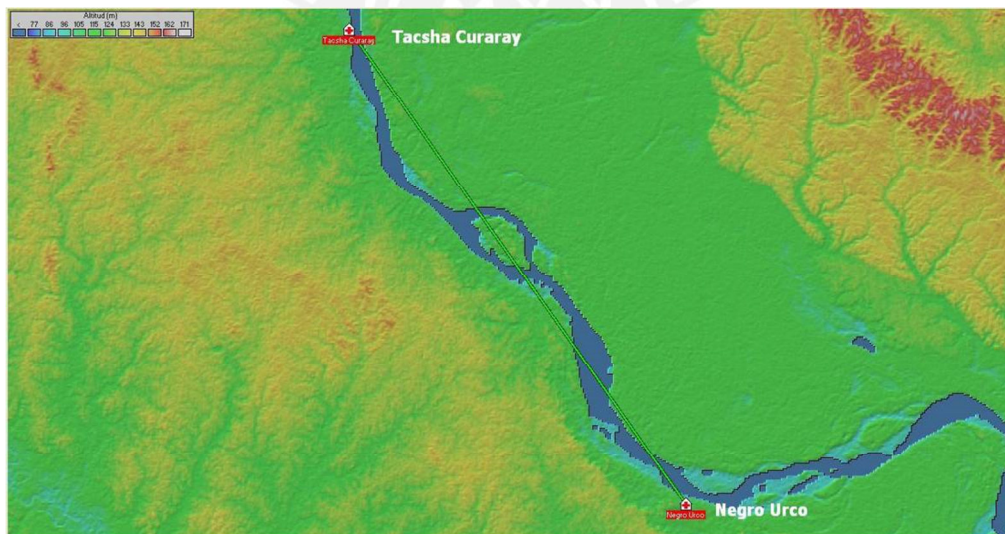


Gráfico 32: Enlace Negro Urco – Tacsha Curaray

3.3.3 Elección de la solución y características de los equipos instalados para los enlaces de distribución y de acceso.

Como equipo 802.11 se encontró a las marcas MikroTik, Lobometrics, Smart Bridges, soluciones OEM (ALix+SR2+Linux). Según el diseño la potencia de la radio WiFi de larga distancia debe estar dentro de los 25dBm y 26dBm y una sensibilidad alrededor de los -90dBm para lograr enlaces que tengan una capacidad del 6Mbps.



Gráfico 33: RouterBORD 333 + Tarjeta Inalámbrica R52H + pigtail

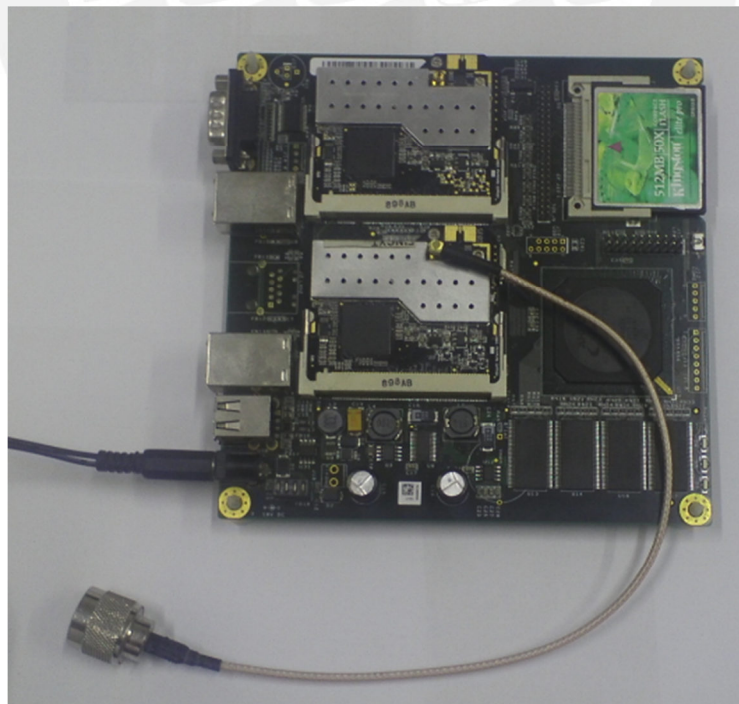


Gráfico 34: Alix 2C0 + Tarjeta Inalámbrica SR2 + pigtail

Tabla 5: Características técnicas de las soluciones

Solución	Máxima potencia de transmisión /Sensibilidad/Velocidad de transmisión de la tarjeta inalámbrica 802.11	Para larga distancia	Costo en Lima
RouterBOARD 333 + R52H + pigtail + caja + accesorios caja	25dBm@-90dBm@6Mbps en 5.8GHz + antenas directivas de 27dBi	Si	450 USD + 120 USD por radios adicionales
Alix 2C0 + SR2 pigtail + caja + accesorios caja	26dBm-90dBm@6Mbps en 2.4GHz + antenas directivas de 24dBi	Si	450 USD + 120 USD por radios adicionales
Lobometrics 954HR	26dBm@-105dBm@6Mbps en 5.8GHz y 2.4GHz + antenas directivas de 27dBi	Si	1500 USD
Smart Bridges sB3216	27dBm@-108dBm@6Mbps en 5.8GHz y 2.4GHz + antenas directivas de 27dBi	Si	1200 USD

La solución Smart Bridges presenta una limitación, sólo garantiza enlaces de hasta 40Km. 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 y de 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, pasa por la implementación de la solución MikroTik y la solución OEM con Alix+Linux+Voyage, las cuales cumplen 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 en 5.8GHz elegida son buenas para los enlaces en la ciudad de Iquitos. Y los enlaces en la zona rural serian usando los equipos Alix+SR2+VoyageLinux+Madwifi en 2.4GHz.

Las velocidades de transmisión en los enlaces serán configuradas para soportar 6Mbps. En lo que a la PIRE máxima de la red se refiere, en el peor caso de la simulación con Radio Mobile se ha visto que es de 50.5dBm para los enlaces de 5.8GHz y de 48.5dBm para 2.4GHz. 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 [1]. En el artículo 3 apartado a.1) del Anexo, se establece que la PIRE máxima en el rango de frecuencias ISM no debe excederse de 36dBm (4W). 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 no debe excederse de 30dBm (1W). 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 36dBm, siempre y cuando mediante la previa obtención de la autorización correspondiente por parte del Ministerio de Telecomunicaciones. En cualquier caso, el diseño de la red se entregará a las autoridades pertinentes del proyecto para solucionar los permisos legales.

La asignación de frecuencias en la red 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.

En las tablas siguientes se mencionan los equipos inalámbricos que participan en cada uno de los enlaces de la red de distribución y de las redes acceso.

Tabla 6: Enlaces de distribución

Nombre del Enlace	Nodo	Enrutador	Interfase / Modo	Tarjeta Inalámbrica	Modo
EHAS 18	Tacsha Curaray	ALIX 2C0 n2	ath0 ST	SR2	11g
	Negro Urco	ALIX 2C0 n1	ath0 AP	SR2	
EHAS 19	Negro Urco	ALIX 2C0 n2	ath0 ST	SR2	11g
	Tuta Pishco	ALIX 2C0 n1	ath0 AP	SR2	
EHAS 20	Tuta Pishco	ALIX 2C0 n2	ath0 ST	SR2	11g
	Huamán Urco	ALIX 2C0 n1	ath0 AP	SR2	
EHAS 21	Huamán Urco	ALIX 2C0 n2	ath0 ST	SR2	11g
	Mazán	ALIX 2C0 n1	ath0 AP	SR2	
EHAS 22	Mazán	MIKROTIK 333 n2	wlan1 ST	R52H	11a
	PetroPerú	MIKROTIK 333 n1	wlan1 AP	R52H	
EHAS 23	PetroPerú	MIKROTIK 333 n1	wlan3 ST	R52H	11a
	Hospital Regional	MIKROTIK 333 n1	wlan1 AP	R52H	

Los enlaces de acceso, son los enlaces que permiten que los centros de salud accedan a los servicios de telecomunicaciones que brinda la red. En el análisis y la visita de campo se observó que estos enlaces son de corta distancia menores a 500m; los equipos también ya fueron definidos; en la tabla de abajo se muestra el resumen del equipamiento utilizado.

Tabla 7: Enlaces de acceso.

Nombre del Enlace	Estación	Enrutador	Interface / Modo	Tarjeta Inalámbrica	Modo
NAPO 18	Negro Urco	ALIX 2C0 n1	ath1 AP	R52H	11g
	PS Negro Urco	LINKSYS WRT54GL	eth1 ST	80mW + 14dBi	
NAPO 19	Tuta Pishco	ALIX 2C0 n1	ath1 AP	R52H	11g
	PS Tuta Pishco	LINKSYS WRT54GL	eth1 ST	80mW + 14dBi	
NAPO 20	Huamán Urco	ALIX 2C0 n1	ath1 AP	R52H	11g
	PS Huamán Urco	LINKSYS WRT54GL	eth1 ST	80mW + 14dBi	
NAPO 21	Mazán	MIKROTIK 333 n2	wlan2 AP	R52H	11g
	CS Mazán	LINKSYS WRT54GL	eth1 ST	80mW + 14dBi	
NAPO 22	PetroPerú	MIKROTIK 333 n1	wlan2 AP	R52H	11g
	Vicariato	LINKSYS WRT54GL	eth1 ST	80mW + 14dBi	
NAPO 23	Hosp. Regional	MIKROTIK 333 n1	wlan2 AP	R52H	11g
	Emergencia HRL	LINKSYS WRT54GL	eth1 ST	80mW + 14dBi	
NAPO 30	Hosp. Regional	MIKROTIK 333 n1	wlan3 AP	R52H	11g
	Radiofonía DISA	LINKSYS WRT54GL	eth1 ST	80mW + 14dBi	

3.3.4 Enrutamiento dinámico y estático.

En el análisis se estableció que el protocolo de enrutamiento dinámico usado en la red tiene que pertenecer a la familia IGP. El OSPF y RIP pertenece a este grupo; 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.

Aunque OSPF es más complejo que RIP las ventajas que presenta son numerosas, es por ello que se elige OSPF como el protocolo de enrutamiento dinámico a usar en la red. La Red del Napo completa (la red existente y la red que se desarrolla en este tesis) cubre una distancia de alrededor de 400Km y es longitudinal; por este motivo se divide en dos áreas OSPF; el límite de cada área estará en el nodo de Santa Clotilde. Como OSPF sólo se va a usar en la red distribución, para el acceso a las redes de los centros de salud se usará enrutamiento estático y estas serán propagadas por el OSPF.

3.3.5 Direccionamiento IP.

El direccionamiento IP en la red 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 10.11.X.0/28 para los segmentos de red en la red de distribución, y el rango de direcciones 10.12.X.0/28 para las Ethernet en los nodos de distribución; 10.13.X.0/28 para los enlaces de acceso y 10.14.X.0/28 para las redes LAN de los centros de salud. Abajo se muestra la tabla que muestra el plan de direccionamiento IP

Tabla 8: Direcciones IP de las interfaces de la placa ALIX n1.

Nodo	ALIX n1			
	ath0	ath1	eth0	eth1
Tacsha Curaray	10.11.17.1 AP	10.13.17.1 AP	10.12.17.1	---
Negro Urco	10.11.18.1 AP	10.13.18.1 AP	10.12.18.1	---
Tuta Pishco	10.11.19.1 AP	10.13.19.1 AP	10.12.19..1	---
Huamán Urco	10.11.20.1 AP	10.13.20.1 AP	10.12.20.1	---
Mazán	10.11.21.1 AP	---	10.12.21.1	---

Tabla 9: Direcciones IP de las interfaces de la placa ALIX n2

Nodo	ALIX n2			
	ath0	ath1	eth0	eth1
Tacsha Curaray	10.11.18.2	---	10.12.17.2	---
Negro Urco	10.11.19.2	---	10.12.18.2	---
Tuta Pishco	10.11.20.2	---	10.12.19.2	---
Huamán Urco	10.11.21.2	---	10.12.20.2	---

Tabla 10: Direcciones IP de las interfaces de la placa MIKROTIK

Nodo	MIKROTIK				
	wlan1	wlan2	wlan3	ether1	ether2
Mazán (n2)	10.11.22.2	10.13.21.1 ap	---	10.12.21.2	---
PetroPerú (n1)	10.11.22.1 ap	10.13.22.1 ap	10.11.23.2	10.12.22.1	---
HRL (n1)	10.11.23.1 ap	10.13.23.1 ap	10.13.30.1 ap	10.12.23.1	---

Tabla 11: Direcciones IP de las interfaces del enrutador Linksys en los clientes

Cliente	Linksys				
	br0	eth1	vlan1	ATA	PC
Negro Urco	10.14.18.1	10.13.18.2	---	10.14.18.3	DHCP
Tuta Pishco	10.14.19.1	10.13.19.2	---	10.14.19.3	DHCP
Huamán Urco	10.14.20.1	10.13.20.2	---	10.14.20.3	DHCP
Mazán	10.14.21.1	10.13.21.2	---	10.14.21.3	DHCP
Vicariato	10.14.22.1	10.13.22.2	---	10.14.22.3	DHCP
Emergencia HRL	10.14.23.1	10.13.23.2	---	10.14.23.3	DHCP
Radiofonía DIRESA Loreto	10.14.30.1	10.13.30.2	200.37.75.22 (acceso a Internet)	10.14.30.3	DHCP

3.3.6 Telefonía IP.

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. 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 conferencia y por lo tanto actuando sobre el flujo RTP. Asterisk además soporta varios protocolos como SIP, H.323, IAX y MGCP [40] 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.

Los Asterisk no pueden ser instalados en los equipos Mikrotik por tanto se instalarán en las computadoras Alix 2C0. Con este hardware se podrá brindar hasta un total de 15 llamadas simultáneas [41] usando el protocolo SIP. En los ambientes del Hospital Regional 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 Gateway 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.

Tabla 12: Servidores Asterisk

Servidor Asterisk	Enrutador	Clientes	Nombre de los Clientes
Negro Urco	ALIX 2C0 n2	1	PS Negro Urco
Tuta Pishco	ALIX 2C0 n2	1	PS Tuta Pishco
Huamán Urco	ALIX 2C0 n2	1	PS Huamán Urco
Mazán	ALIX 2C0 n1	1	CS Mazán
PetroPerú	ALIX 2C0 n2	3	Vicariato, Emergencia HRL, Radiofonía DISA

En la siguiente tabla se enlistan los números de anexos de todos los establecimientos de salud de la red Napo. Los siete primeros anexos corresponden al presente proyecto de ampliación de la red del Napo.

Tabla 13: Anexos telefónicos de los establecimientos de salud de la Red Napo

Ítem	Establecimiento de Salud	Número de Anexo
01	Radiofonía DISA Loreto	530
02	Emergencia Hospital Regional de Iquitos	520
03	Vicariato San José del Amazonas	510
04	C.S. Mazán	410
05	P.S. Huamán Urco	420
06	P.S. Tuta Pishco	430
07	P.S. Negro Urco	440
08	P.S. Tacsha Curaray	210
09	C.S. Santa Clotilde – Casita Azul	220
10	C.S. Santa Clotilde – Tópico	221
11	C.S. Santa Clotilde – Cómputo	222
12	C.S. Santa Clotilde – Casita Crema	225
13	Botiquín Copal Urco	230
14	P.S. San Rafael	240
15	P.S. Rumi Tuni	250
16	P.S. Campo Serio	260
17	C.S. Angoteros	350
18	Colegio Túpac Amaru	340
19	P.S. Tempestad	330
20	P.S. Torres Causana	320
21	C.S. Cabo Pantoja	310

3.3.7 Seguridad.

En el análisis se decidió el uso de WPA y/o WPA2 para los enlaces inalámbricos, esta implementación son soportadas por el RouterOS de MikroTik y por Voyage Linux. 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 cumplían 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, 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 [8].

3.4 Sistema de Protección Eléctrica.

Se implementará sistemas de protección para derivar las descargas eléctricas tanto ambientales (rayos) como accidentales (cortocircuitos en los equipos) a los sistemas de puesta a tierra y así evitar que los equipos de telecomunicaciones sean dañados.

3.4.1 Sistema de pararrayos:

Este sistema es el que recibe directamente las posibles descargas eléctricas atmosféricas. Será instalado en el punto más elevado de las torres. Se instalará un tetrapuntal Franklin ubicado en lo más alto de la torre; el tetrapuntal se conectará al sistema de puesta de a tierra por medio un cable de cobre desnudo de 50mm² de diámetro.

3.4.2 Sistema de puesta a tierra:

Se implementará un sistema PAT (puesta a tierra) para derivar a tierra las descargas eléctricas ambientales o las corrientes de fuga generadas en los sistemas eléctricos. Los pozos serán construidos de forma horizontal para las torres y en las estaciones clientes. En cada torre y en cada estación cliente se construirá un sistema de puesta a tierra.

Para la implementar una puesta a tierra se utilizará una mezcla de tierra de cultivo, sal y bentonita, en donde se colocará un fleje de cobre. Este fleje estará soldado con soldadura exotérmica con los cables que estarán conectados a los sistemas de protección de las estaciones clientes y de las torres. Para cada pozo de puesta a tierra se han instalado cajas de registro que nos indicarán el lugar donde inicia el pozo y donde

se encuentra la unión del pozo con el cable de tierra de los equipos (soldadura). Con este sistema se ha logrado tener resistencia menores a 10Ω .

3.4.3 Conexión a los sistemas de protección:

Los sistemas de Telecomunicaciones y los sistemas de energía en las torres y las estaciones clientes estarán aterrados.

En las torres se utilizará un sistema de protección de pararrayos con el sistema de puesta a tierra para las descargas eléctricas atmosféricas; la torre estará aterrada al mismo sistema de puesta a tierra del sistema de pararrayos. Además en las torres se utilizarán protectores de rayos ubicados entre las antenas y los enrutadores para proteger los equipos. La tierra de los equipos de energía también será aterrada a la torre.

En las estaciones clientes se tendrá un sistema de puesta a tierra para la protección de las corrientes de fuga generadas en los sistemas eléctricos; además si lo amerita en las estaciones clientes se implementará sistemas de pararrayos. En las estaciones clientes se utilizarán también protectores de rayos (o de líneas) ubicados entre las antenas y los enrutadores para proteger los equipos; la descarga será derivada al mismo sistema de puesta a tierra. La tierra de los equipos de energía también será aterrada al mismo sistema de puesta a tierra.

3.5 Sistema de Energía.

Para implementar el sistema de energía se utilizará sistemas fotovoltaicos para proveer la energía para los equipos instalados en las torres y en las estaciones clientes; debido a que no existe suministro de energía eléctrica.

Un sistema fotovoltaico transforma la energía solar en energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Por medio de baterías se puede almacenar esta energía y alimentar a los equipos (carga); entregando un voltaje fijo y la potencia dependerá de la cantidad de paneles fotovoltaicos. Se utilizará un regulador para controlar el flujo de energía en el sistema fotovoltaico, para evitar sobrecargas o descargas excesivas en las baterías.

En los nodos se va a instalar un sistema de energía que contendrá 2 paneles fotovoltaicos y 2 baterías; en las estaciones clientes se implementará dos sistemas de energía; una para los equipos de comunicación (enrutador WiFi y ATA) y otra para el equipamiento LAN de la estación (como PC, impresora o luminarias).

Sistema de Energía para los equipos WiFi en las torres:

2 paneles solares

2 baterías

Potencia de suministro de brindar 2400W/h.

Autonomía de 4 días

Disponibilidad de 24h del día.

Sistema de Energía para los equipos WiFi en una estación cliente.

2 paneles solares

2 baterías

Potencia de suministro de brindar 2400W/h

Autonomía de 4 días

Disponibilidad de 24h del día.

Sistema de Energía para los equipos de la LAN en una estación cliente.

3 paneles solares

3 baterías

Potencia de suministro de brindar 3600W/h

Autonomía de 4 días

Disponibilidad de 24h del día.

Tabla 14: Cálculo para el Sistema de Energía para los equipos WiFi de las torres.

cargas	descripción	Cant	n° de horas	potencia	inversor	w-h/día	voltaje	Corriente
PLACA	uso	1	24	15,0	1	360		
						Total de energía necesaria en un día	360 w-h/día	
						Perdidas	1,1 %	
						Total energía necesaria	396,0 w-h/día	

Numero de paneles	<input type="text" value="2"/>	Numero de Baterías(numero par)	<input type="text" value="2"/>
Potencia pico del módulo	85 wp	Capacidad de una batería	100 Ah
Radiación a 1000w/m2(peor mes) en horas	4,50 h/día	Voltaje de batería	12 V
Total energía generada	765 w-h/día	Capacidad banco de batería	2.400 w-h
Relación carga/descarga	<input type="text" value="1,93"/>	Profundidad de descarga	0,8
		días de autonomía	<input type="text" value="4,8"/>

Tabla 15: Cálculo para el Sistema de Energía para los equipos WiFi de una estación cliente.

cargas	descripción	Cant	n° de horas	potencia	inversor	w-h/día	voltaje	Corriente
PLACA	uso	1	24	12,0	1	288		
ATA	uso	1	24	5,0	1	120		
						Total de energía necesaria en un día	408 w-h/día	
						Perdidas	1,1 %	
						Total energía necesaria	448,8 w-h/día	

Numero de paneles	<input type="text" value="2"/>	Numero de Baterías(numero par)	<input type="text" value="2"/>
Potencia pico del módulo	85 wp	Capacidad de una batería	100 Ah
Radiación a 1000w/m2(peor mes) en horas	4,50 h/día	Voltaje de batería	12 V
Total energía generada	765 w-h/día	Capacidad banco de batería	2.400 w-h
Relación carga/descarga	<input type="text" value="1,70"/>	Profundidad de descarga	0,8
		días de autonomía	<input type="text" value="4,3"/>

Tabla 16: Cálculo para el Sistema de Energía para los equipos de la LAN de una estación cliente.

cargas	descripción	Cant	n° de horas	potencia	inversor	w-h/día	voltaje	Corriente
COMPUTADORA DE BAJO CONSUMO	uso	1	5	90,0	0,91	495		
INVERSOR	uso	1	5	6,0	1	30	12,7	7,90
IMPRESORA	uso	1	0,5	35,0	0,91	19		
Luminarias 13W	encendida	2	3	13,0	1	78	12,85	1,30
						Total de energía necesaria en un día	622 w-h/día	
						Perdidas	1,1 %	
						Total energía necesaria	683,9 w-h/día	

Numero de paneles	<input type="text" value="3"/>	Numero de Baterías(numero par)	<input type="text" value="3"/>
Potencia pico del módulo	85 wp	Capacidad de una batería	100 Ah
Radiación a 1000w/m2(peor mes) en horas	4,50 h/día	Voltaje de batería	12 V
Total energía generada	1.148 w-h/día	Capacidad banco de batería	3.600 w-h
Relación carga/descarga	<input type="text" value="1,68"/>	Profundidad de descarga	0,8
		días de autonomía	<input type="text" value="4,2"/>

3.6 Sistema de torres de telecomunicaciones.

Las torres que se instalarán son tipo ventada. Su diseño y su construcción serán contratados por terceros; sus características deberán ser:

- Preparadas para soportar el equipamiento de telecomunicaciones.
- Tener los soportes necesarios para el trabajo del personal en la torre.
- Una línea de vida para el acceso con seguridad del personal hacia la parte más alta.
- Los tramos de torre y sus accesorios como los vientos deben estar galvanizados.
- Las torres deben ser pintadas adecuadamente con pintura epóxica.
- Las partes de la base de torre debe ser engrasadas.

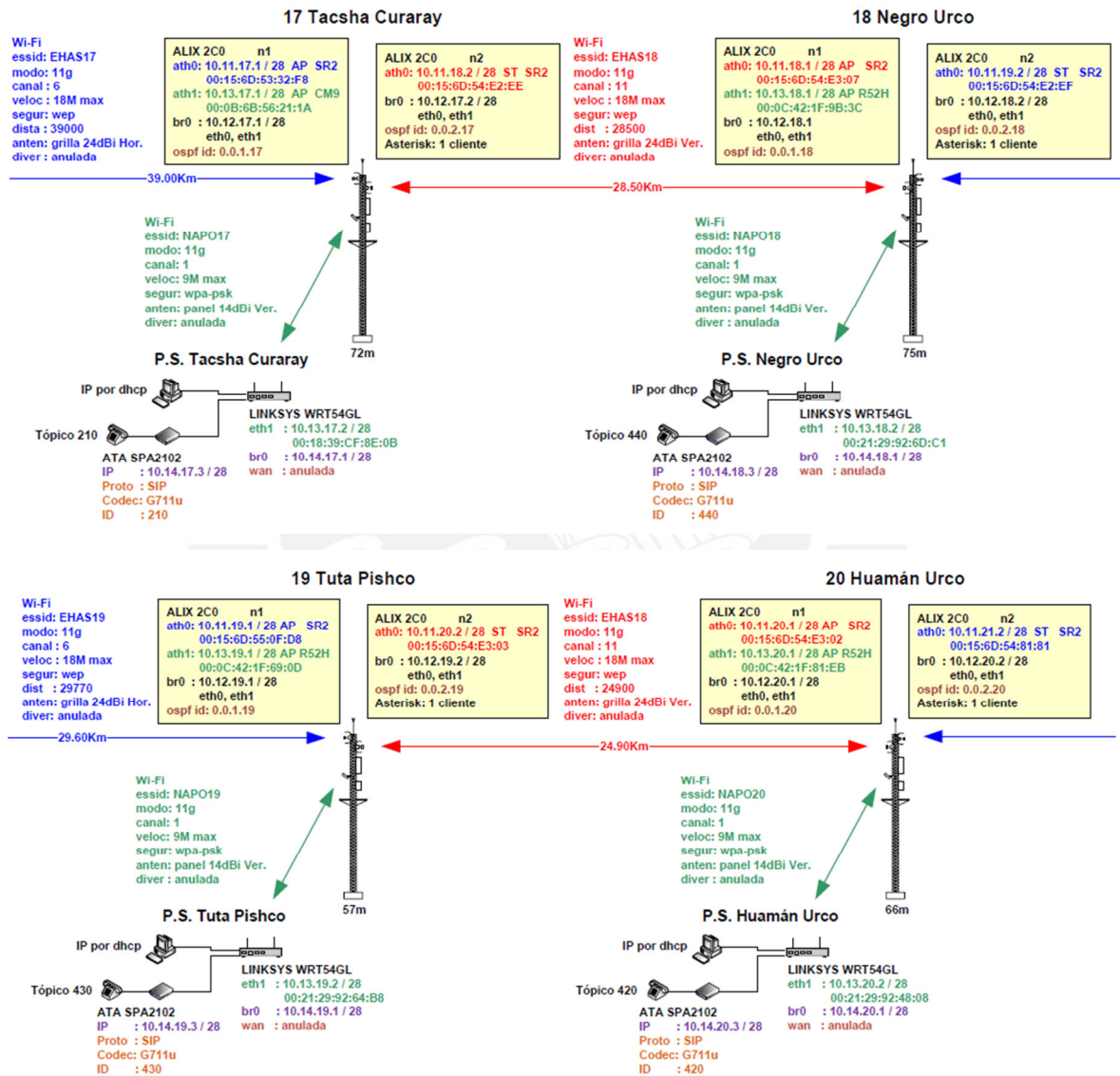
Tabla 17: Altura de las torres.

Nodos	Torres ventadas
HRL	Parte alta del edificio (30m)
PetroPerú	36m
Mazán	69m
Huamán Urco	66m
Tuta Pishco	57m
Negro Urco	75m

4. Implementación de la red inalámbrica.

4.1 Esquema de la red.

Abajo se muestra el esquema de la red; en base a este esquema se podrá realizar la configuración de los equipos.



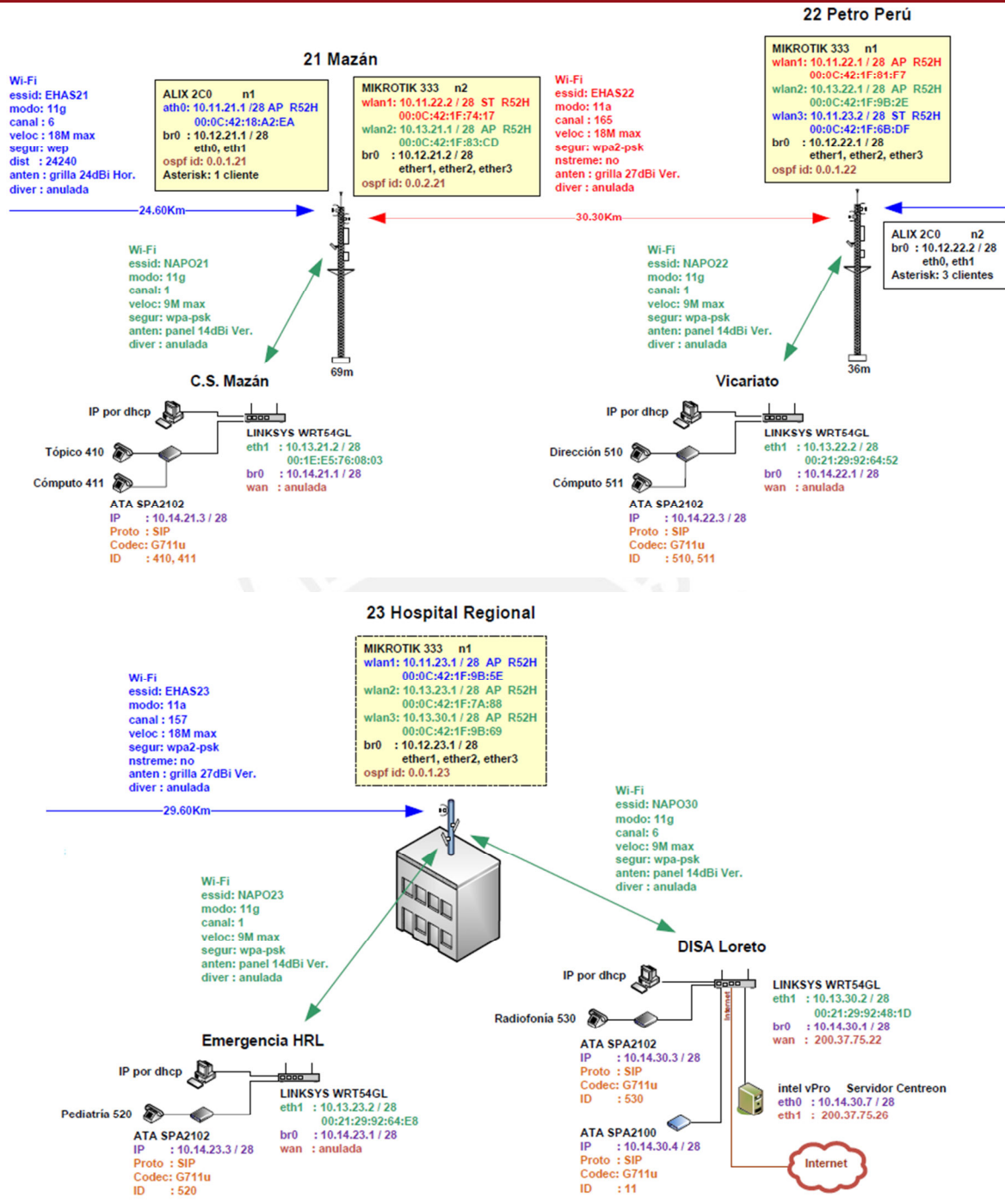


Gráfico 35: Esquemas de configuración para la Red del Napo.

4.2 Instalación de los equipos de telecomunicaciones.

4.2.1 Equipos empleados en los enlaces de distribución de 2.4GHz – 802.11g.

Tabla 18: Características de los equipos 802.11g de los enlaces de distribución.

Equipo	Fabricante	Modelo	Características
Interfase 802.11b/g	Ubiquiti Networks	SR2 Super Range 2	Interfase 2.4GHz 802.11b/g mini-PCI Chipset Atheros AR5213 MAC/BB Potencia de transmisión real de 24dBm, +/-1dB para una tasa de 1-24 Mbps Sensibilidad para una tasa de 6Mbps de -90dBm, (en estándar 802.11g) Consumo de corriente @3.3V Transmisión: 1-24 Mbps 1300mA, +/-100mA Recepción: 350mA, +/-50mA
Antena	Hyperlink Technologies	HG2424G	Antena direccional 2.4GHz Banda ISM 24dBi Peso: 3.62Kgs
Enrutador – Computadora	PC Engines	ALIX 2C0	233 MHz AMD Geode SC1100 CPU 128 MB SDRAM Almacenamiento a través de una Compact Flash. Consumo alrededor de 3 a 5W con 12V DC 2 Puertos Ethernet 2 Puertos miniPCI Sistema operativo: Pebble Linux, Voyage Linux, AstLinux, AspisOS, iMedia Wrap Linux, etc. El sistema operativo instalado es la Voyage Linux
Cables Coaxiales		Helix SuperFlex	Impedancia característica : 50 Ω Pérdida por metro : 0.1 dB Conectores usados : N macho
Cables pigtail	Hyperlink		Un extremo conector: UFL (Compatible con Hirose/iPax/Mini-PCI). Otro extremo conector: N hembra Longitud: 20cm Frecuencia de trabajo: 2.4GHz – 6GHz. Atenuación: 5.38dB/metro en 6GHz

4.2.2 Equipos empleados en los enlaces distribución de 5.8GHz – 802.11a

Tabla 19: Características de los equipos 802.11a de la red distribución.

Equipo	Fabricante	Modelo	Características
Interfase 802.11 ^a	Mikrotik	R52H	Interfase 5.8GHz 802.11a/b/g mini-PCI Chipset Potencia de transmisión real 24dBm Sensibilidad -90dBm @ 6Mbps
Antena	Hyperlink Technologies	HG5827G	Antena direccional tipo grilla 5.8GHz Banda ISM 27dBi Peso: 2.4Kgs

Enrutador – Computadora	Mikrotik	RouterBoard 333	333MHz CPU 64MB SDRAM Consume 19W con 12V DC 3 Puertos Ethernet 3 Puertos miniPCI Sistema operativo: RouterOS 3.20 Licencia nivel 4
Cables Coaxiales		Heliax SuperFlex	Impedancia característica : 50 Ω Perdida por metro : 0.1dB Conectores usados : N macho
Cables pigtail	Hyperlink		Un extremo conector: UFL (Compatible con Hirose/iPax/Mini-PCI). Otro extremo conector: N hembra Longitud: 20cm Frecuencia de trabajo: 2.4GHz – 6GHz. Atenuación: 5.38dB/metro en 6GHz

4.2.3 Equipos empleados en los enlaces de acceso de 2.4GHz – 802.11g

Tabla 20: Características de los equipos 802.11g elegidos para el enlace de acceso.

Equipos	Fabricante	Modelo	Características
Interfase inalámbrica	Mikrotik	R52H	Interfase 2.4GHz 802.11a/b/g mini-PCI Potencia de salida máxima en estándar g: 25dBm
Antenas	Hyperlink Technologies	HG2414P-NF	2.4 GHz Banda ISM IEEE 802.11b, 802.11g Wireless LAN Antena Panel Yagi 14dBi
Enrutadores	Linksys	WRT54GL	Enrutador, posee 5 puertos Ethernet, 1 puerto Internet y punto de acceso Wireless-G (802.11g) a 54 Mbps

4.2.4 Equipos empleados en las estaciones clientes de 2.4GHz – 802.11g

Tabla 21: Características de los equipos 802.11g en las estaciones clientes.

Equipos	Fabricante	Modelo	Características
Antenas	Hyperlink Technologies	HG2414P-NF	2.4 GHz Banda ISM IEEE 802.11b, 802.11g Wireless LAN Antena Panel Yagi 14dBi
Enrutadores	Linksys	WRT54GL	Enrutador, posee 5 puertos Ethernet, 1 puerto Internet y punto de acceso Wireless-G (802.11g) a 54 Mbps

4.2.5 Distribución de los equipos en los nodos de Tacsha Curaray, Negro Urco, Tuta Pishco y Huamán Urco (enlaces en 2.4GHz).

En la siguiente figura se muestran los equipos que se han instalado en los nodos (enlaces de distribución y de acceso) implementados en Tacsha Curaray, Negro Urco, Tuta Pishco y Huamán Urco. En cada nodo se han instalado dos placas enrutadoras ALIX, las cuales han sido etiquetadas como ALIX n1 y ALIX n2. La placa n1 cuenta con dos tarjetas inalámbricas: una tarjeta SR2 para enlazar con su vecino del norte y una tarjeta inalámbrica R52H encargada de establecer el enlace con su cliente local. En el caso de la placa n2 cuenta con sólo una tarjeta inalámbrica SR2, la cual permite el enlace con su vecino del sur. Adicionalmente en ésta placa se encuentra instalado el servidor Asterisk local. La energía de alimentación es proporcionada por el sistema fotovoltaico.

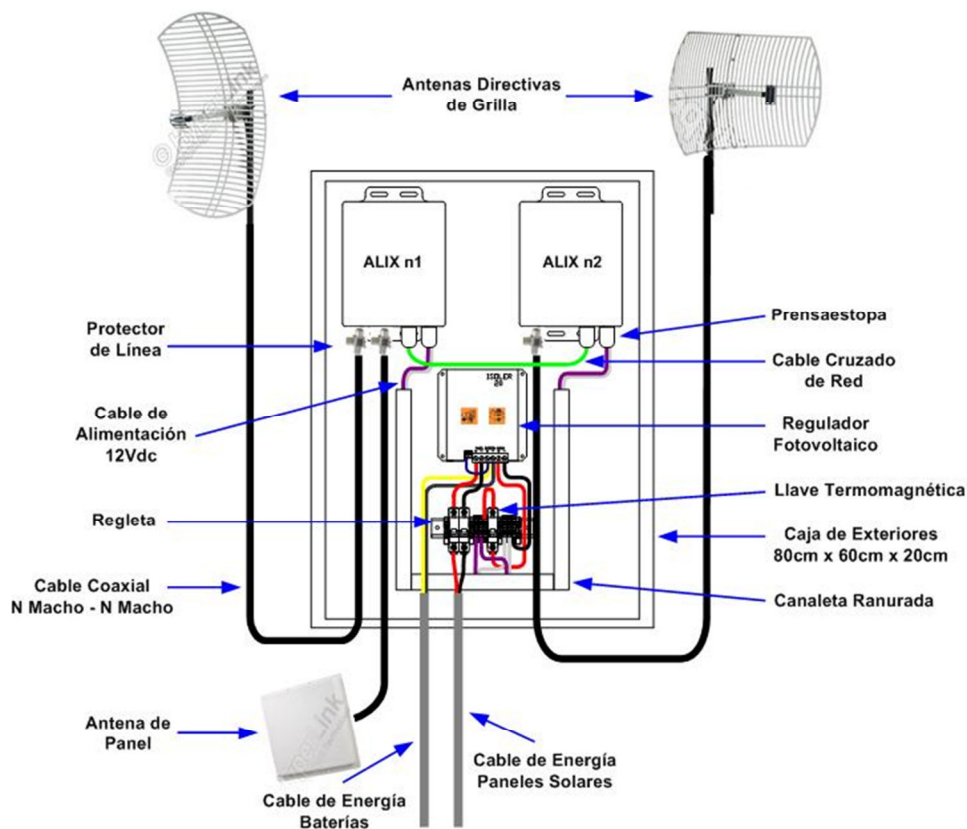


Gráfico 36: Esquema de conexiones del nodo de Tacsha Curaray – Negro Urco – Tuta Pishco – Huamán Urco.

4.2.6 Distribución en el nodo de Mazán (enlaces en 2.4GHz y 5.8GHz).

En el nodo de Mazán se han instalado una placa ALIX y una placa MIKROTIK. La placa ALIX cuenta con una tarjeta inalámbrica SR2 para enlazar con el nodo de Huamán Urco (2.4GHz) y tiene instalado el servidor Asterisk. La placa MIKROTIK cuenta con dos tarjetas inalámbricas R52H: la primera para enlazar con el nodo ubicado en Planta de Ventas de PetroPerú (enlace troncal en la frecuencia de 5.8GHz) y la segunda tarjeta para el enlace con el Centro de Salud de Mazán (enlace de distribución en la frecuencia de 2.4GHz). La energía es proporcionada por el sistema fotovoltaico.

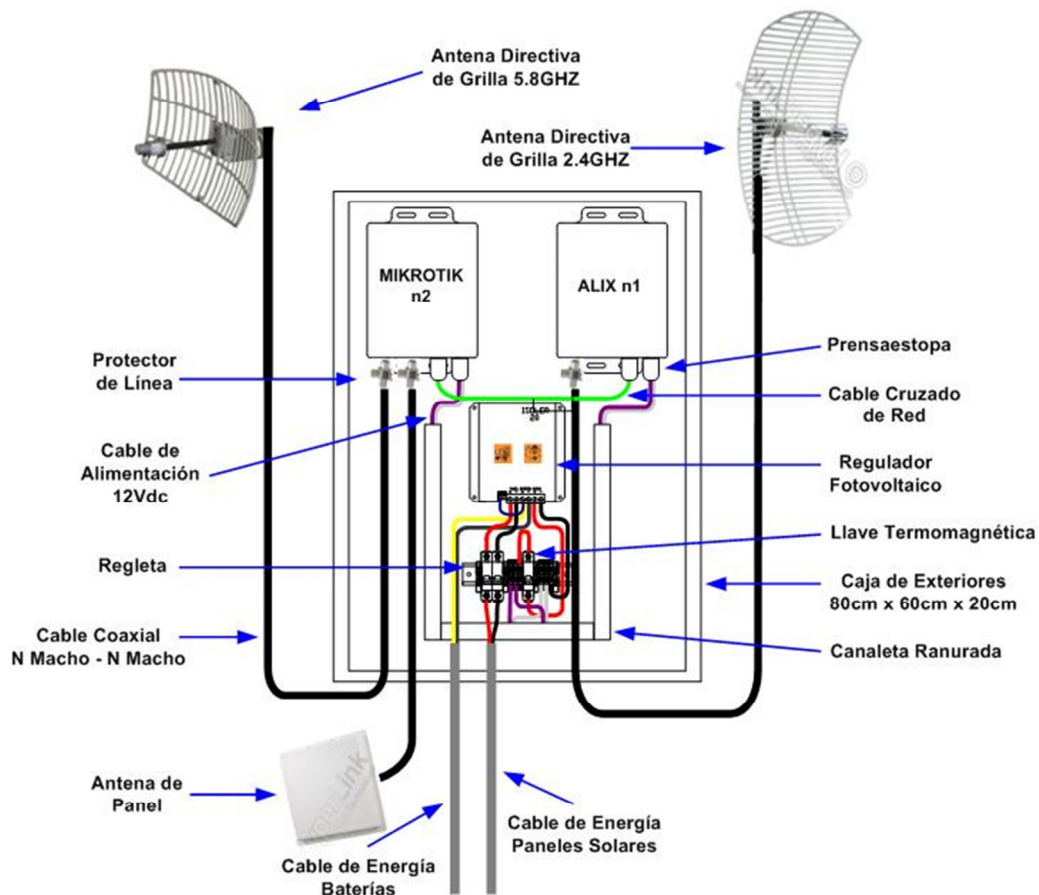


Gráfico 37: Esquema de conexiones en el nodo de Mazán.

4.2.7 Distribución en el nodo de PetroPerú (enlaces en 2.4GHz y 5.8GHz)

En el nodo de PetroPerú se han instalado una placa ALIX y una placa MIKROTIK. La única función que cumple la placa ALIX n2 es ser el servidor ASTERISK local. Los enlaces inalámbricos los administra la placa MIKROTIK n1 mediante tres tarjetas inalámbricas R52H. Los enlaces hacia el nodo de Mazán y el nodo ubicado en el Hospital Regional de Iquitos son enlaces en la frecuencia de 5.8GHz. En el caso del enlace de distribución hacia el Vicariato de San José del Amazonas se realiza en la frecuencia de 2.4GHz. La energía es proporcionada desde la caseta de energía ubicada en la base de la torre.

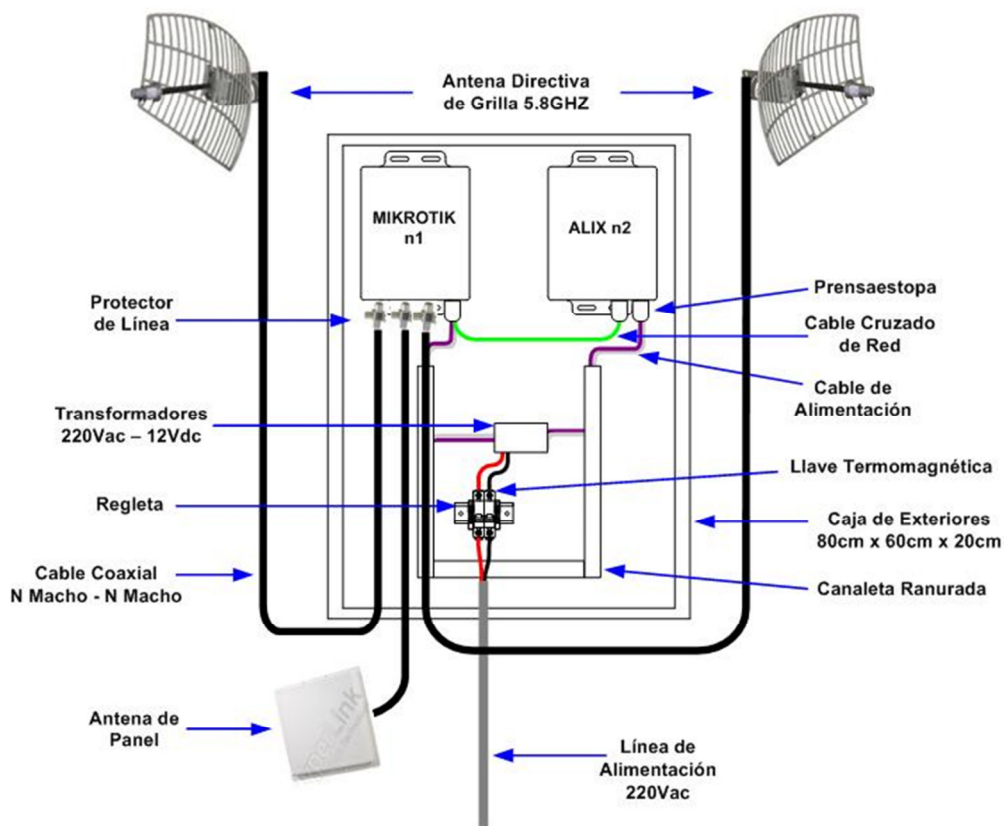


Gráfico 38: Esquema de conexiones en el nodo de PetroPerú

4.2.8 Distribución en el nodo del Hospital Regional de Loreto (enlaces en 2.4GHz y 5.8GHz).

En el nodo del Hospital Regional de Loreto se ha instalado una placa MIKROTIK con tres tarjetas inalámbricas R52H. El enlace con el nodo ubicado en Planta de Ventas se realiza en la frecuencia de 5.8GHz. Y los dos enlaces de distribución uno hacia la oficina de Radiofonía de la Dirección Regional de Salud y el segundo hacia los ambientes de Emergencia del Hospital Regional de Loreto se realizan en la frecuencia de 2.4GHz.

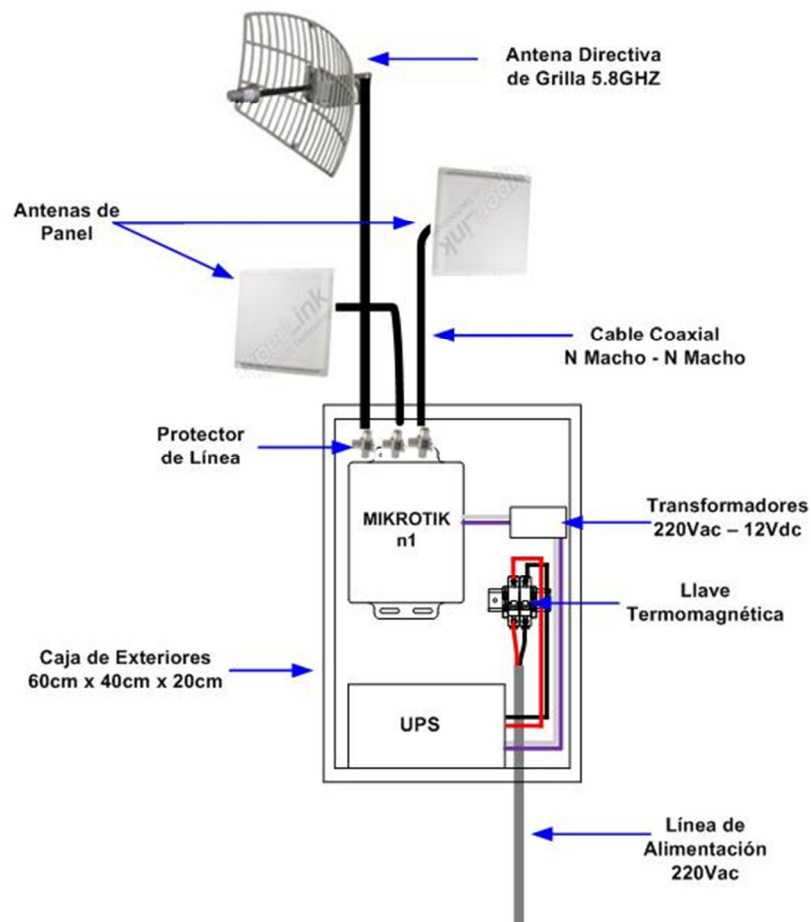


Gráfico 39: Esquema de conexiones en el nodo del Hospital Regional.

4.2.9 Distribución en las estaciones clientes.

En la siguiente figura se muestran los equipos inalámbricos y la red LAN instalados en cada estación cliente (enlace de distribución); el Linksys es un equipo para interiores por lo que sus antenas fueron reemplazados por una antena panel de 14dBi para exteriores. Todos los enlaces de distribución son en la frecuencia de 2.4GHz.

El equipo de cómputo en las estaciones cliente trabajan con una alimentación de 12VDC y para esto se usa de inversores (12VDC/110VAC). En el caso de los equipos de cómputo instalados en el Vicariato son alimentados con energía 220VAC.

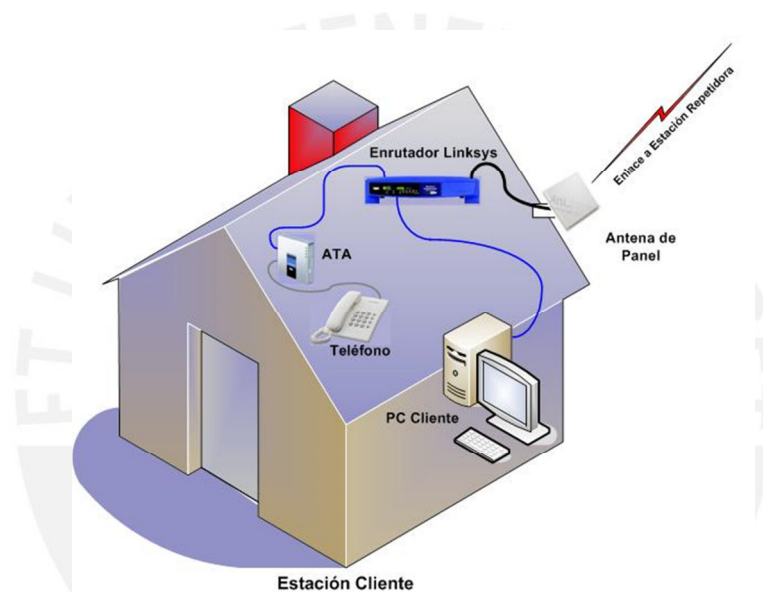


Gráfico 40: Esquema de conexiones en una estación cliente

4.3 Configuración de los equipos de telecomunicaciones.

4.3.1 Configuración de los equipos Alix 2C0:

Estos equipos forman los enlaces de distribución y acceso; abajo se muestra la configuración de estos equipos:

Configuración del equipo 18n1 de Negro Urco:

Configuración de los enlaces inalámbricos y de los parámetros de red.

```
nurco-18n1:~# cat /etc/network/interfaces
# Used by ifup(8) and ifdown(8). See the interfaces(5) manpage or
# /usr/share/doc/ifupdown/examples for more information.
auto lo
```

```
iface lo inet loopback

auto eth0
iface eth0 inet static
    address 10.12.18.1
    netmask 255.255.255.240

#auto eth1
#iface eth1 inet static
#    address 11.11.11.1
#    netmask 255.255.255.0

auto ath0
iface ath0 inet static
    #---ap o cliente
    #---otros parametros wifi
    #---seguridad
    #---ip y netmask

    #---ap
    ath_parent wifi0
    ath_vaptype ap

    #---cliente
    #ath_parent wifi0
    #ath_vaptype sta
    #ath_vapopts nosbeacon

    #---otros parametros wifi
    ath_distance 28500
    ath_diversity 0
    ath_txantenna 1
    ath_rxantenna 1
    ath_txpower 16
    ath_wirelessmode 11g
    ath_ssid EHAS18
    ath_channel 11
    ath_rate 18M

    #---seguridad wep
    ath_security wep
    ath_wep_key1 12345ABCDE

    #---seguridad wpa-psk ap
    #ath_security wpa2
    #ath_wpa_cfgfile /etc/hostapd/hostapd-ath0.conf

    #---seguridad wpa-psk sta
    #wpa_driver madwifi
    #wpa_conf /etc/wpa_supplicant/wpasupplicant-ath0.conf

    #---ip y netmask
    address 10.11.18.1
    netmask 255.255.255.240

auto ath1
iface ath1 inet static
    #---ap o cliente
    #---otros parametros wifi
    #---seguridad
    #---ip y netmask

    #---ap
    ath_parent wif1
    ath_vaptype ap

    #---cliente
    #ath_parent wif1
    #ath_vaptype sta
    #ath_vapopts nosbeacon

    #---otros parametros wifi
    #ath_distance 30000
    ath_diversity 0
    ath_txantenna 1
    ath_rxantenna 1
    ath_txpower 17
```

```

ath_wirelessmode 11g
ath_ssid NAP018
ath_channel 1
ath_rate 9M

#---seguridad wep
#ath_security wep
#ath_wep_key1 12345ABCDE

#---seguridad wpa-psk ap
ath_security wpa2
ath_wpa_cfgfile /etc/hostapd/hostapd-ath1.conf

#---seguridad wpa-psk sta
#wpa_driver madwifi
#wpa_conf /etc/wpa_supplicant/wpasupplicant-ath1.conf

#---ip y netmask
address 10.13.18.1
netmask 255.255.255.240

```

```
nurco-18n1:~#
```

Configuración del enrutamiento OSPF.

```

nurco-18n1:~# cat /etc/quagga/zebra.conf
!
hostname ospf.18.1
password voyage
enable password voyage
log file /var/log/quagga/quagga.log
!
interface ath0
bandwidth 10000000
ipv6 nd suppress-ra
!
!interface ath1
! bandwidth 10000000
! ipv6 nd suppress-ra
!
interface eth0
bandwidth 10000000
ipv6 nd suppress-ra
!
ip route 10.14.18.0/28 10.13.18.2 10
!
access-list access permit 127.0.0.1/32
access-list access deny any
!
ip forwarding
!
line vty
access-class access
!
nurco-18n1:~# cat /etc/quagga/ospfd.conf
!
hostname ospf.18.1
password voyage
enable password voyage
log file /var/log/quagga/quagga.log
!
!
!
interface ath0
ip ospf cost 10
!
!interface ath1
! ip ospf cost 10
!
interface eth0
ip ospf cost 10
!
router ospf
ospf router-id 0.0.18.1
network 10.11.18.0/28 area 0.0.0.1
network 10.12.18.0/28 area 0.0.0.1
!network 10.13.18.0/28 area 0.0.0.1
redistribute static metric 10 metric-type 1
redistribute connected metric 10 metric-type 1
!

```

```
access-list access permit 127.0.0.1/32
access-list access deny any
!
line vty
access-class access
!
nurco-18n1:~#
```

Configuración del equipo 18n2 de Negro Urco:

Configuración del Asterisk:

```
nurco-18n2:~# cat /etc/asterisk/sip.conf
;#####
;                                sip.conf
;                                configuracion de los clientes sip
;                                servidor asterisk
;
;#####
;
[general]
;
bindport=5060
disallow=all
allow=ulaw
;allow=g726
;
[440]
type=friend
;host=10.14.18.3
host=dynamic
language=es
context=anexos
secret=passwd
username=440
callerid=440
dtmfmode=rfc2833
qualify=yes
;fromuser=<440>
;
[441]
type=friend
host=dynamic
language=es
context=anexos
secret=passwd
username=441
callerid=441
dtmfmode=rfc2833
qualify=yes
;
nurco-18n2:~# cat /etc/asterisk/iax.conf
;#####
;                                iax.conf
;                                comunicacion entre servidores asterisk
;                                configuracion de clientes iax
;                                servidor asterisk
;
;#####
;
[general]
;
bindport=4569
language=es
disallow=all
allow=ulaw
;allow=g726
;
jitterbuffer=yes
dropcount=3
maxjitterbuffer=400
maxexcessbuffer=100
minexcessbuffer=10
forcejitterbuffer=yes
;
[iaxusuario]
type=user
username=iaxusuario
callerid=iaxusuario
secret=passwd
context=anexos
;
```

```

nurco-18n2:~# cat /etc/asterisk/extensions.conf
;#####
;                               extensions.conf
;                               dialplan
;                               servidor asterisk
;#####
; parametros general
;
[general]
;
static=yes
writeprotect=no
autofallthrough=no
clearglobalvars=no
;priorityjumping=yes
;
;=====
; variables globales
;
[globals]
;
NUMERO-PSTN=
;
IP-SERVIDOR21=10.11.18.2
IP-SERVIDOR22=10.11.17.2
IP-SERVIDOR23=10.11.1.2
IP-SERVIDOR24=10.11.2.2
IP-SERVIDOR25=10.11.3.2
IP-SERVIDOR26=10.11.4.2
;
IP-SERVIDOR31=10.11.9.2
IP-SERVIDOR32=10.11.8.2
IP-SERVIDOR33=10.11.7.2
IP-SERVIDOR34=10.11.6.2
IP-SERVIDOR35=10.11.5.2
;
IP-SERVIDOR41=10.11.21.1
IP-SERVIDOR42=10.12.20.2
IP-SERVIDOR43=10.12.19.2
IP-SERVIDOR44=
;
IP-SERVIDOR51=10.14.30.2
IP-SERVIDOR52=10.14.30.2
IP-SERVIDOR53=10.14.30.2
;
SERVIDORiQUITOS=10.14.30.2
;
IP-SERVIDOR01-SANTACLOTILDE=10.14.1.2
;
; Servidor red institucional Santa Clotilde
IP-SERVIDOR61=10.12.1.3
;
;=====
; macros
;
[macro-dial-svlocal]
exten => s,1,Dial(${ARG1}/${ARG2},26)
exten => s,2,Hangup
exten => s,102,Hangup
;
[macro-grabacion-sonidos]
exten => s,1,Set(CHANNEL(language)=es)
exten => s,2,Wait(2)
exten => s,3,Record(/root/mensaje-pbx%d:${ARG1})
exten => s,4,Wait(2)
exten => s,5,Playback(${RECORDED_FILE})
exten => s,6,Hangup
;
[macro-dial-svred]
exten => s,1,Dial(IAX2/iaxusuario:passwd@${ARG1}/${ARG2},28)
exten => s,2,Hangup
exten => s,102,Hangup
;
;=====
; contexto principal
;
[anexos]
;
; grabacion de archivos de sonido gsm
exten => 20,1,Macro(grabacion-sonidos,gsm)
;
; llamar a prueba
exten => 449,1,Set(LANGUAGE()=es)
exten => 449,2,Playback(xservidor)
exten => 449,3,Saynumber(4,f)
exten => 449,4,Saynumber(4,f)
    
```

```
exten => 449,5,Wait(1)
exten => 449,6,Hangup
;
; llamar area local
exten => _44[0-8],1,Macro(dial-svlocal,SIP,${EXTEN})
;
; llamar a clientes de otros servidores
exten => _21X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR21},${EXTEN})
exten => _22X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR22},${EXTEN})
exten => _23X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR23},${EXTEN})
exten => _24X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR24},${EXTEN})
exten => _25X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR25},${EXTEN})
exten => _26X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR26},${EXTEN})
;
exten => _31X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR31},${EXTEN})
exten => _32X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR32},${EXTEN})
exten => _33X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR33},${EXTEN})
exten => _34X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR34},${EXTEN})
exten => _35X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR35},${EXTEN})
;
exten => _41X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR41},${EXTEN})
exten => _42X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR42},${EXTEN})
exten => _43X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR43},${EXTEN})
;
exten => _51X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR51},${EXTEN})
exten => _52X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR52},${EXTEN})
exten => _53X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR53},${EXTEN})
;
; Llamada red Putumayo
exten => _3XXX,Macro(dial-svred,${SERVIDORiquitos},${EXTEN})
;
; Clientes red institucional Santa Clotilde
exten => _61X,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR61},${EXTEN})
;
; Llamada a la PSTN con tarjetas 147 linea DIRESA 065-251459
exten => _0147,1,Macro(dial-svred,${SERVIDORiquitos},${EXTEN})
;
; Llamada a la PSTN con tarjetas 147 linea Vicariato 065-251209
exten => _0148,1,Macro(dial-svred,${SERVIDORiquitos},${EXTEN})
;
; Salida pstn por servidor red institucional Santa Clotilde
exten => _099,1,Macro(dial-svred,${IP-SERVIDOR61},${EXTEN})
;
;=====
nurco-18n2:~#
```

4.3.2 Configuración de los equipos Mikrotik:

Estos equipos forman los enlaces de distribución y acceso; abajo se muestra la configuración de estos equipos:

Configuración del equipo 22n1 de PetroPerú:

Configuración de los enlaces inalámbricos y de los parámetros de red.

```
[admin@petroperu-22n1] > interface wireless print detail
Flags: X - disabled, R - running
 0 R name="wlan1" mtu=1500 mac-address=00:0C:42:1F:81:F7 arp=enabled
   interface-type=Atheros AR5413 mode=ap-bridge ssid="EHAS22"
   frequency=5805 band=5ghz scan-list=default antenna-mode=ant-a
   wds-mode=disabled wds-default-bridge=none wds-ignore-ssid=no
   default-authentication=yes default-forwarding=yes default-ap-tx-limit=0
   default-client-tx-limit=0 hide-ssid=no security-profile=psk2-napo
   compression=no

 1 R name="wlan2" mtu=1500 mac-address=00:0C:42:1F:9B:2E arp=enabled
   interface-type=Atheros AR5413 mode=ap-bridge ssid="NAPO22"
   frequency=2412 band=2.4ghz-onlyg scan-list=default antenna-mode=ant-a
   wds-mode=disabled wds-default-bridge=none wds-ignore-ssid=no
   default-authentication=yes default-forwarding=yes default-ap-tx-limit=0
   default-client-tx-limit=0 hide-ssid=no security-profile=psk2-napo
   compression=no

 2 R name="wlan3" mtu=1500 mac-address=00:0C:42:1F:6B:DF arp=enabled
   interface-type=Atheros AR5413 mode=station ssid="EHAS23" frequency=5785
   band=5ghz scan-list=default antenna-mode=ant-a wds-mode=disabled
   wds-default-bridge=none wds-ignore-ssid=no default-authentication=yes
   default-forwarding=yes default-ap-tx-limit=0 default-client-tx-limit=0
   hide-ssid=no security-profile=psk2-napo compression=no
[admin@petroperu-22n1] >
```

Configuración del enrutamiento OSPF.

```
[admin@petroperu-22n1] > routing ospf print
router-id: 0.0.1.11
distribute-default: never
redistribute-connected: as-type-1
redistribute-static: as-type-1
redistribute-rip: no
redistribute-bgp: no
metric-default: 10
metric-connected: 10
metric-static: 10
metric-rip: 0
metric-bgp: 0
mpls-te-area: unspecified
mpls-te-router-id: unspecified
[admin@petroperu-22n1] > routing ospf interface print
Flags: X - disabled, I - inactive, D - dynamic, P - passive
# INTERFACE COST PRI NETWORK-TYPE AUT... AUTHENTICATIO...
0 wlan1 10 1 broadcast none
1 wlan3 10 1 broadcast none
[admin@petroperu-22n1] > routing ospf network print
Flags: X - disabled, I - invalid
# NETWORK AREA
0 10.11.22.0/28 area1
1 10.11.23.0/28 area1
[admin@petroperu-22n1] >
```

4.3.3 Sistema de Energía y Protección Eléctrica

En cada estación rural se han instalado sistemas de energía fotovoltaica con su respectivo sistema de protección eléctrica tanto en los nodos como los enlaces de distribución. En los siguientes gráficos se muestran los esquemas de ambos sistemas con los equipos y elementos empleados.

En el caso de las estaciones ubicadas en la ciudad de Iquitos son alimentadas con energía eléctrica de la red pública de Electro Oriente y el sistema de protección eléctrica empleado es el ya instalado previamente en cada establecimiento por estas instituciones.

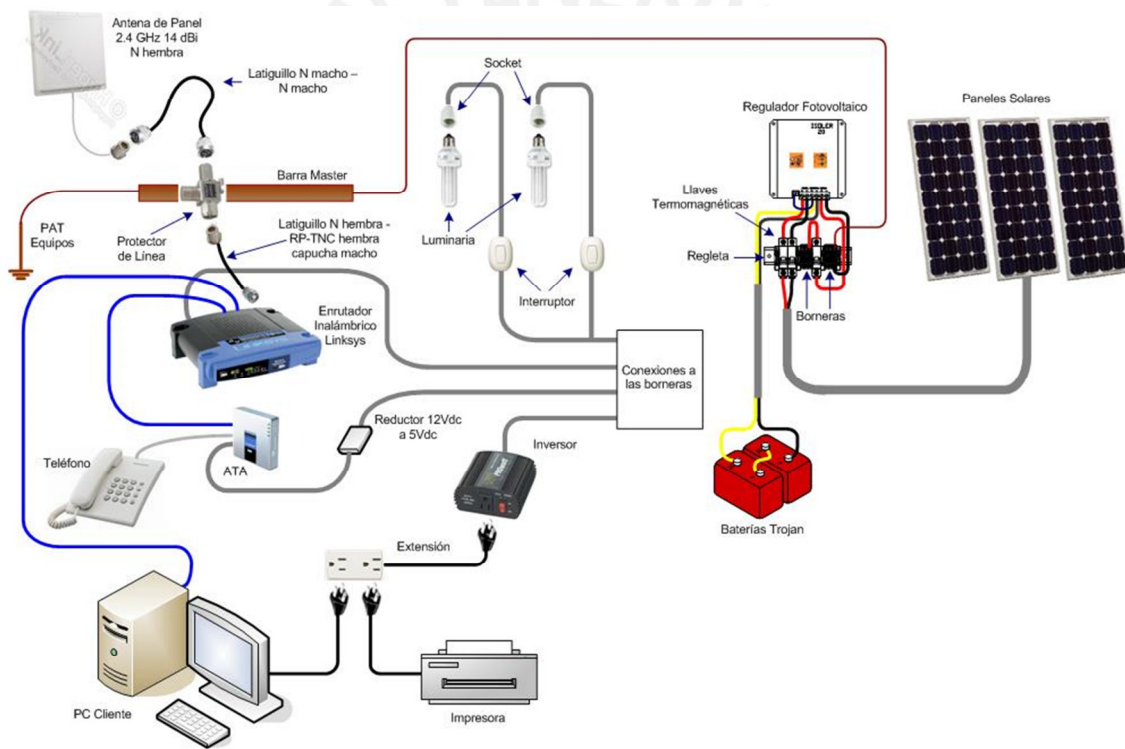


Gráfico 41: Esquema del sistema de energía en una estación cliente rural y de su sistema de protección eléctrica.

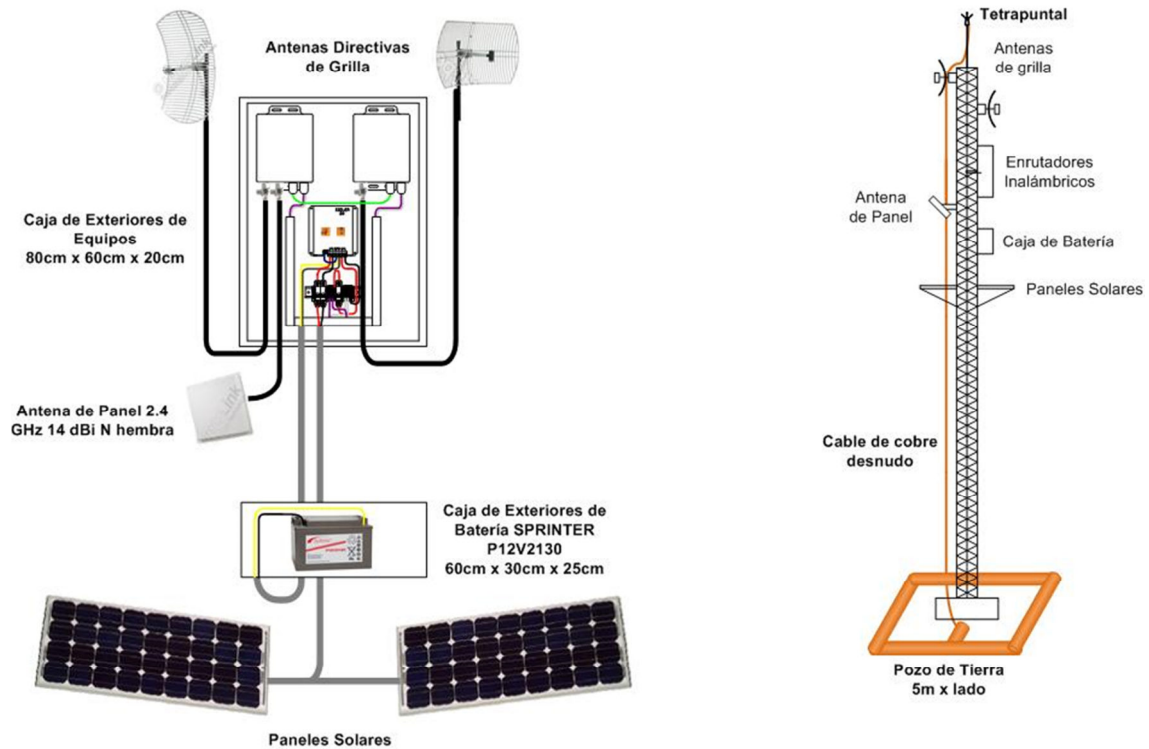


Gráfico 42: Esquema del sistema de energía en una estación nodo rural y de su sistema de protección eléctrica.

Los pozos de tierra construidos en las estaciones rurales son pozos horizontales de 10m de longitud lineales en el caso de las estaciones clientes y de 20m de longitud en forma cuadrada alrededor de la base de la torre ventada. La sección de ambos pozos es de 50cm de ancho por 60cm de profundidad.

En el caso del nodo ubicado en la Planta de Ventas de PetroPerú la torre ventada cuenta con su sistema de protección eléctrica instalada y supervisada por la misma empresa. Similar caso se presenta en con el nodo ubicado en el Hospital Regional de Loreto donde los equipos han sido aterrados al sistema de protección eléctrica del mismo hospital.

En la siguiente tabla se detalla las lecturas de resistencia de los pozos de tierra construidos en las comunidades de Negro Urco, Tuta Pishco, Huamán Urco y Mazán.

Tabla 22: Medida de resistencia de los sistemas de puesta a tierra en los nodos.

Resistencia de los Pozos Tierra		
Establecimiento	Estación Cliente	Nodo
Mazán	8.65Ω	7.11Ω
Huamán Urco	1.65Ω	5.32Ω
Tuta Pishco	3.81Ω	6.75Ω
Negro Urco	6.42Ω	8.95Ω

Tabla 23: Equipos de la protección eléctrica.

Descripción	Nodos	Estaciones clientes
Pararrayos tetrapuntal con aislador	1	0
Cable de cobre desnudo 50mm ² - m x torre	De acuerdo a torre	0
Aisladores cerámicos x torre - 1 x tramo	De acuerdo a torre	0
Cables GPT 8AWG 15m	1	1
Fleje de cobre 0.8x70mm (puesta a tierra) 20m	1	0
Fleje de cobre 0.8x70mm (puesta a tierra) 10m	0	1
Bentonita (sacos)	14	7
Sal (sacos)	2	2
Caja de registro	1	1
Barra de cobre Master	0	1
Protectores de rayos	De acuerdo a los enlaces	1
Poste metálico 9m	0	0

5. Pruebas y resultados

Las pruebas están más orientadas a las mediciones de la calidad de los enlaces inalámbricos.

5.1 Pruebas de capacidad y nivel de recepción.

Como se observa abajo la capacidad de los enlaces superan lo planteado en el diseño y por tanto la red está apto para brindar los servicios a los centros de salud.

Enlace Tacsha Curaray n2 – Negro Urco n1

```
tcuraray-17n2:~# iwconfig ath0
ath0 IEEE 802.11g ESSID:"EHAS18" Nickname:"tcuraray-17n2-ath0"
Mode:Managed Frequency:2.462 GHz Access Point: 00:15:6D:54:E3:07
Bit Rate=18 Mb/s Tx-Power=16 dBm Sensitivity=1/1
Retry:off RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:1234-5ABC-DE Security mode:open
Power Management:off
Link Quality=38/70 Signal level=-58 dBm Noise level=-96 dBm
Rx invalid nwid:2043 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0
```

```
nurco-18n1:~# iwconfig ath0
ath0 IEEE 802.11g ESSID:"EHAS18" Nickname:""
Mode:Master Frequency:2.462 GHz Access Point: 00:15:6D:54:E3:07
Bit Rate=18 Mb/s Tx-Power=16 dBm Sensitivity=1/1
Retry:off RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:1234-5ABC-DE Security mode:open
Power Management:off
Link Quality=37/70 Signal level=-59 dBm Noise level=-96 dBm
Rx invalid nwid:499 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0
```

```
tcuraray-17n2:~# iperf -s
```

```
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
-----
```

```
[ 4] local 10.12.17.2 port 5001 connected with 10.11.18.1 port 33696
[ 4] 0.0-60.1 sec 73.0 MBytes 10.2 Mb/s
```

```
nurco-18n1:~# iperf -c 10.12.17.2 -t 60 -i 5
```

```
-----
Client connecting to 10.12.17.2, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
-----
```

```
[ 3] local 10.11.18.1 port 33696 connected with 10.12.17.2 port 5001
[ 3] 0.0- 5.0 sec 6.14 MBytes 10.3 Mb/s
[ 3] 5.0-10.0 sec 6.05 MBytes 10.2 Mb/s
[ 3] 10.0-15.0 sec 6.09 MBytes 10.2 Mb/s
[ 3] 15.0-20.0 sec 6.10 MBytes 10.2 Mb/s
[ 3] 20.0-25.0 sec 6.05 MBytes 10.1 Mb/s
[ 3] 25.0-30.0 sec 6.09 MBytes 10.2 Mb/s
[ 3] 30.0-35.0 sec 6.06 MBytes 10.2 Mb/s
[ 3] 35.0-40.0 sec 6.06 MBytes 10.2 Mb/s
[ 3] 40.0-45.0 sec 6.07 MBytes 10.2 Mb/s
[ 3] 45.0-50.0 sec 6.12 MBytes 10.3 Mb/s
[ 3] 50.0-55.0 sec 6.04 MBytes 10.1 Mb/s
[ 3] 55.0-60.0 sec 6.12 MBytes 10.3 Mb/s
[ 3] 0.0-60.0 sec 73.0 MBytes 10.2 Mb/s
```

```
nurco-18n1:~# iperf -s
```

```
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
-----
```

```
[ 4] local 10.12.18.1 port 5001 connected with 10.11.18.2 port 49730
[ 4] 0.0-60.2 sec 73.4 MBytes 10.2 Mb/s
```

```
tcuraray-17n2:~# iperf -c 10.12.18.1 -t 60 -i 5
```

```
-----
Client connecting to 10.12.18.1, TCP port 5001
```

```
TCP window size: 16.0 KByte (default)
```

```
-----
[ 3] local 10.11.18.2 port 49730 connected with 10.12.18.1 port 5001
[ 3] 0.0- 5.0 sec 6.17 MBytes 10.4 Mbits/sec
[ 3] 5.0-10.0 sec 6.19 MBytes 10.4 Mbits/sec
[ 3] 10.0-15.0 sec 6.19 MBytes 10.4 Mbits/sec
[ 3] 15.0-20.0 sec 6.06 MBytes 10.2 Mbits/sec
[ 3] 20.0-25.0 sec 5.98 MBytes 10.0 Mbits/sec
[ 3] 25.0-30.0 sec 6.11 MBytes 10.2 Mbits/sec
[ 3] 30.0-35.0 sec 6.09 MBytes 10.2 Mbits/sec
[ 3] 35.0-40.0 sec 6.05 MBytes 10.2 Mbits/sec
[ 3] 40.0-45.0 sec 6.07 MBytes 10.2 Mbits/sec
[ 3] 45.0-50.0 sec 6.16 MBytes 10.3 Mbits/sec
[ 3] 50.0-55.0 sec 6.12 MBytes 10.3 Mbits/sec
[ 3] 55.0-60.0 sec 6.16 MBytes 10.3 Mbits/sec
[ 3] 0.0-60.1 sec 73.4 MBytes 10.2 Mbits/sec
```

Enlace Negro Urco n2 – Tuta Pishco n1

```

nurco-18n2:~# iwconfig ath0
ath0 IEEE 802.11g ESSID:"EHAS19" Nickname:"nurco-18n2-ath0"
Mode:Managed Frequency:2.437 GHz Access Point: 00:15:6D:55:0F:D8
Bit Rate=18 Mb/s Tx-Power=14 dBm Sensitivity=1/1
Retry:off RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:1234-5ABC-DE Security mode:open
Power Management:off
Link Quality=28/70 Signal level=-67 dBm Noise level=-95 dBm
Rx invalid nwid:5472 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0

```

```

tpishco-19n1:~# iwconfig ath0
ath0 IEEE 802.11g ESSID:"EHAS19" Nickname:""
Mode:Master Frequency:2.437 GHz Access Point: 00:15:6D:55:0F:D8
Bit Rate=18 Mb/s Tx-Power=14 dBm Sensitivity=1/1
Retry:off RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:1234-5ABC-DE Security mode:open
Power Management:off
Link Quality=29/70 Signal level=-67 dBm Noise level=-96 dBm
Rx invalid nwid:191 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0

```

```

nurco-18n2:~# iperf -s

```

```
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
```

```
-----
[ 4] local 10.12.18.2 port 5001 connected with 10.11.19.1 port 48706
[ 4] 0.0-60.1 sec 58.8 MBytes 8.21 Mbits/sec
```

```

tpishco-19n1:~# iperf -c 10.12.18.2 -t 60 -i 5

```

```
-----
Client connecting to 10.12.18.2, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
```

```
-----
[ 3] local 10.11.19.1 port 48706 connected with 10.12.18.2 port 5001
[ 3] 0.0- 5.0 sec 5.01 MBytes 8.40 Mbits/sec
[ 3] 5.0-10.0 sec 4.91 MBytes 8.24 Mbits/sec
[ 3] 10.0-15.0 sec 4.91 MBytes 8.24 Mbits/sec
[ 3] 15.0-20.0 sec 4.91 MBytes 8.23 Mbits/sec
[ 3] 20.0-25.0 sec 4.99 MBytes 8.38 Mbits/sec
[ 3] 25.0-30.0 sec 4.91 MBytes 8.23 Mbits/sec
[ 3] 30.0-35.0 sec 4.91 MBytes 8.24 Mbits/sec
[ 3] 35.0-40.0 sec 4.92 MBytes 8.26 Mbits/sec
[ 3] 40.0-45.0 sec 4.80 MBytes 8.05 Mbits/sec
[ 3] 45.0-50.0 sec 4.83 MBytes 8.10 Mbits/sec
[ 3] 50.0-55.0 sec 4.82 MBytes 8.09 Mbits/sec
[ 3] 55.0-60.0 sec 4.82 MBytes 8.09 Mbits/sec
[ 3] 0.0-60.0 sec 58.8 MBytes 8.21 Mbits/sec
```

```

pishco-19n1:~# iperf -s

```

```
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
```

```
-----
[ 4] local 10.12.19.1 port 5001 connected with 10.11.19.2 port 47011
[ 4] 0.0-60.2 sec 48.9 MBytes 6.81 Mbits/sec
```

```

nurco-18n2:~# iperf -c 10.12.19.1 -t 60 -i 5

```

```
-----
Client connecting to 10.12.19.1, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
```

```
-----
[ 3] local 10.11.19.2 port 47011 connected with 10.12.19.1 port 5001
[ 3] 0.0- 5.0 sec 4.27 MBytes 7.17 Mbits/sec
[ 3] 5.0-10.0 sec 4.06 MBytes 6.82 Mbits/sec
```

```
[ 3] 10.0-15.0 sec 3.98 MBytes 6.67 Mbits/sec
[ 3] 15.0-20.0 sec 4.13 MBytes 6.93 Mbits/sec
[ 3] 20.0-25.0 sec 4.05 MBytes 6.79 Mbits/sec
[ 3] 25.0-30.0 sec 4.07 MBytes 6.83 Mbits/sec
[ 3] 30.0-35.0 sec 4.05 MBytes 6.80 Mbits/sec
[ 3] 35.0-40.0 sec 4.05 MBytes 6.80 Mbits/sec
[ 3] 40.0-45.0 sec 4.05 MBytes 6.80 Mbits/sec
[ 3] 45.0-50.0 sec 4.06 MBytes 6.82 Mbits/sec
[ 3] 50.0-55.0 sec 4.02 MBytes 6.74 Mbits/sec
[ 3] 55.0-60.0 sec 4.05 MBytes 6.80 Mbits/sec
[ 3] 0.0-60.0 sec 48.9 MBytes 6.83 Mbits/sec
```

Enlace Tuta Pishco n2 – Huamán Urco n1

```
tpishco-19n2:~# iwconfig ath0
ath0 IEEE 802.11g ESSID:"EHAS20" Nickname:""
Mode:Master Frequency:2.462 GHz Access Point: 00:15:6D:54:E3:03
Bit Rate=18 Mb/s Tx-Power=14 dBm Sensitivity=1/1
Retry:off RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:1234-5ABC-DE Security mode:open
Power Management:off
Link Quality=33/70 Signal level=-63 dBm Noise level=-96 dBm
Rx invalid nwid:292 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0

hurco-20n1:~# iwconfig ath0
ath0 IEEE 802.11g ESSID:"EHAS20" Nickname:"hurco-20n1-ath0"
Mode:Managed Frequency:2.462 GHz Access Point: 00:15:6D:54:E3:03
Bit Rate=18 Mb/s Tx-Power=14 dBm Sensitivity=1/1
Retry:off RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:1234-5ABC-DE Security mode:open
Power Management:off
Link Quality=33/70 Signal level=-63 dBm Noise level=-96 dBm
Rx invalid nwid:362808 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0
```

```
tpishco-19n2:~# iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
-----
[ 4] local 10.12.19.2 port 5001 connected with 10.11.20.1 port 38164
[ 4] 0.0-60.1 sec 70.4 MBytes 9.83 Mbits/sec
```

```
hurco-20n1:~# iperf -c 10.12.19.2 -t 60 -i 5
-----
Client connecting to 10.12.19.2, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
-----
[ 3] local 10.11.20.1 port 38164 connected with 10.12.19.2 port 5001
[ 3] 0.0- 5.0 sec 6.04 MBytes 10.1 Mbits/sec
[ 3] 5.0-10.0 sec 5.90 MBytes 9.90 Mbits/sec
[ 3] 10.0-15.0 sec 5.79 MBytes 9.71 Mbits/sec
[ 3] 15.0-20.0 sec 5.86 MBytes 9.83 Mbits/sec
[ 3] 20.0-25.0 sec 5.74 MBytes 9.63 Mbits/sec
[ 3] 25.0-30.0 sec 5.77 MBytes 9.67 Mbits/sec
[ 3] 30.0-35.0 sec 5.87 MBytes 9.84 Mbits/sec
[ 3] 35.0-40.0 sec 5.85 MBytes 9.82 Mbits/sec
[ 3] 40.0-45.0 sec 5.92 MBytes 9.94 Mbits/sec
[ 3] 45.0-50.0 sec 5.84 MBytes 9.80 Mbits/sec
[ 3] 50.0-55.0 sec 5.97 MBytes 10.0 Mbits/sec
[ 3] 55.0-60.0 sec 5.88 MBytes 9.87 Mbits/sec
[ 3] 0.0-60.0 sec 70.4 MBytes 9.85 Mbits/sec
```

```
hurco-20n1:~# iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
-----
[ 4] local 10.12.20.1 port 5001 connected with 10.11.20.2 port 49925
[ 4] 0.0-60.1 sec 70.0 MBytes 9.76 Mbits/sec
```

```
tpishco-19n2:~# iperf -c 10.12.20.1 -t 60 -i 5
-----
Client connecting to 10.12.20.1, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
-----
[ 3] local 10.11.20.2 port 49925 connected with 10.12.20.1 port 5001
[ 3] 0.0- 5.0 sec 5.95 MBytes 9.97 Mbits/sec
[ 3] 5.0-10.0 sec 5.80 MBytes 9.73 Mbits/sec
[ 3] 10.0-15.0 sec 5.79 MBytes 9.71 Mbits/sec
[ 3] 15.0-20.0 sec 5.84 MBytes 9.80 Mbits/sec
[ 3] 20.0-25.0 sec 5.83 MBytes 9.78 Mbits/sec
[ 3] 25.0-30.0 sec 5.81 MBytes 9.75 Mbits/sec
[ 3] 30.0-35.0 sec 5.81 MBytes 9.75 Mbits/sec
```

```
[ 3] 35.0-40.0 sec 5.83 MBytes 9.78 Mb/s/sec
[ 3] 40.0-45.0 sec 5.84 MBytes 9.79 Mb/s/sec
[ 3] 45.0-50.0 sec 5.90 MBytes 9.90 Mb/s/sec
[ 3] 50.0-55.0 sec 5.76 MBytes 9.66 Mb/s/sec
[ 3] 55.0-60.0 sec 5.83 MBytes 9.78 Mb/s/sec
[ 3] 0.0-60.0 sec 70.0 MBytes 9.78 Mb/s/sec
```

Enlace Huamán Urco n2 – Mazán n1

```
hurco-20n2:~# iwconfig ath0
ath0 IEEE 802.11g ESSID:"EHAS21" Nickname:"hurco-20n2-ath0"
Mode:Managed Frequency:2.437 GHz Access Point: 00:0C:42:18:A2:EA
Bit Rate=18 Mb/s Tx-Power=14 dBm Sensitivity=1/1
Retry:off RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:1234-5ABC-DE Security mode:open
Power Management:off
Link Quality=27/70 Signal level=-68 dBm Noise level=-95 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0
```

```
mazan-21n1:~# iwconfig ath0
ath0 IEEE 802.11g ESSID:"EHAS21" Nickname:""
Mode:Master Frequency:2.437 GHz Access Point: 00:0C:42:18:A2:EA
Bit Rate=18 Mb/s Tx-Power=23 dBm Sensitivity=1/1
Retry:off RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:1234-5ABC-DE Security mode:open
Power Management:off
Link Quality=26/70 Signal level=-70 dBm Noise level=-96 dBm
Rx invalid nwid:280 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0
```

```
hurco-20n2:~# iperf -s
```

```
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
-----
```

```
[ 4] local 10.12.20.2 port 5001 connected with 10.11.21.1 port 58812
[ 4] 0.0-60.1 sec 64.9 MBytes 9.06 Mb/s/sec
```

```
mazan-21n1:~# iperf -c 10.12.20.2 -t 60 -i 5
```

```
-----
Client connecting to 10.12.20.2, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
-----
```

```
[ 3] local 10.11.21.1 port 58812 connected with 10.12.20.2 port 5001
[ 3] 0.0- 5.0 sec 5.26 MBytes 8.82 Mb/s/sec
[ 3] 5.0-10.0 sec 5.29 MBytes 8.87 Mb/s/sec
[ 3] 10.0-15.0 sec 5.45 MBytes 9.14 Mb/s/sec
[ 3] 15.0-20.0 sec 5.46 MBytes 9.16 Mb/s/sec
[ 3] 20.0-25.0 sec 5.46 MBytes 9.16 Mb/s/sec
[ 3] 25.0-30.0 sec 5.45 MBytes 9.14 Mb/s/sec
[ 3] 30.0-35.0 sec 5.47 MBytes 9.18 Mb/s/sec
[ 3] 35.0-40.0 sec 5.39 MBytes 9.04 Mb/s/sec
[ 3] 40.0-45.0 sec 5.41 MBytes 9.08 Mb/s/sec
[ 3] 45.0-50.0 sec 5.40 MBytes 9.06 Mb/s/sec
[ 3] 50.0-55.0 sec 5.40 MBytes 9.06 Mb/s/sec
[ 3] 55.0-60.0 sec 5.46 MBytes 9.16 Mb/s/sec
[ 3] 0.0-60.1 sec 64.9 MBytes 9.07 Mb/s/sec
```

```
mazan-21n1:~# iperf -s
```

```
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
-----
```

```
[ 4] local 10.12.21.1 port 5001 connected with 10.11.21.2 port 48606
[ 4] 0.0-60.2 sec 54.3 MBytes 7.57 Mb/s/sec
```

```
hurco-20n2:~# iperf -c 10.12.21.1 -t 60 -i 5
```

```
-----
Client connecting to 10.12.21.1, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
-----
```

```
[ 3] local 10.11.21.2 port 48606 connected with 10.12.21.1 port 5001
[ 3] 0.0- 5.0 sec 4.73 MBytes 7.94 Mb/s/sec
[ 3] 5.0-10.0 sec 4.51 MBytes 7.56 Mb/s/sec
[ 3] 10.0-15.0 sec 4.52 MBytes 7.58 Mb/s/sec
[ 3] 15.0-20.0 sec 4.38 MBytes 7.35 Mb/s/sec
[ 3] 20.0-25.0 sec 4.46 MBytes 7.48 Mb/s/sec
[ 3] 25.0-30.0 sec 4.52 MBytes 7.59 Mb/s/sec
[ 3] 30.0-35.0 sec 4.51 MBytes 7.56 Mb/s/sec
[ 3] 35.0-40.0 sec 4.52 MBytes 7.58 Mb/s/sec
[ 3] 40.0-45.0 sec 4.51 MBytes 7.56 Mb/s/sec
[ 3] 45.0-50.0 sec 4.51 MBytes 7.56 Mb/s/sec
[ 3] 50.0-55.0 sec 4.59 MBytes 7.69 Mb/s/sec
[ 3] 55.0-60.0 sec 4.58 MBytes 7.68 Mb/s/sec
```

```
[ 3] 0.0-60.1 sec 54.3 MBytes 7.59 Mbits/sec
```

Enlace Mazán n2 – PetroPerú n1

```
[admin@mazan-21n2] > interface wireless registration-table print
# INTERFACE RADIO-NAME MAC-ADDRESS AP SIGNAL-STRENGTH TX-RATE UPTIME
0 wlan1 000C421F81F7 00:0C:42:1F:81:F7 yes -68dBm@18Mbps 18Mbps 3h11m58s
1 wlan2 000C421F7417 00:0C:42:1F:74:17 no -58dBm@1Mbps 5.5Mbps
1m36s
```

```
[admin@petroperu-22n1] > interface wireless registration-table print
# INTERFACE RADIO-NAME MAC-ADDRESS AP SIGNAL-STRENGTH TX-RATE UPTIME
0 wlan3 000C421F9B5E 00:0C:42:1F:9B:5E yes -50dBm@18Mbps 18Mbps 3h8m35s
1 wlan1 000C421F7417 00:0C:42:1F:74:17 no -67dBm@18Mbps 18Mbps 3h8m34s
2 wlan2 00:21:29:92:64:52 no -67dBm@1Mbps 18Mbps
9m23s
```

```
[admin@petroperu-22n1] > tool bandwidth-test 10.11.22.2 duration=60s direction=transmit
protocol=udp user=admin password=*****
```

```
status: running
duration: 59s
tx-current: 10.0Mbps
tx-10-second-average: 9.7Mbps
tx-total-average: 8.8Mbps
random-data: no
direction: transmit
tx-size: 1500
```

```
status: done testing
duration: 1m
tx-current: 10.0Mbps
tx-10-second-average: 9.7Mbps
tx-total-average: 8.9Mbps
random-data: no
direction: transmit
tx-size: 1500
```

```
[admin@petroperu-22n1] > tool bandwidth-test 10.11.22.2 duration=60s direction=receive
protocol=udp user=admin password=*****
```

```
status: running
duration: 59s
rx-current: 8.4Mbps
rx-10-second-average: 8.3Mbps
rx-total-average: 7.9Mbps
lost-packets: 63
random-data: no
direction: receive
rx-size: 1500
```

```
status: done testing
duration: 1m
rx-current: 8.0Mbps
rx-10-second-average: 8.3Mbps
rx-total-average: 7.9Mbps
lost-packets: 67
random-data: no
direction: receive
rx-size: 1500
```

Enlace PetroPerú n1 – Hospital Regional de Loreto n1

```
[admin@petroperu-22n1] > interface wireless registration-table print
# INTERFACE RADIO-NAME MAC-ADDRESS AP SIGNAL-STRENGTH TX-RATE UPTIME
0 wlan3 000C421F9B5E 00:0C:42:1F:9B:5E yes -50dBm@18Mbps 18Mbps 3h8m35s
1 wlan1 000C421F7417 00:0C:42:1F:74:17 no -67dBm@18Mbps 18Mbps 3h8m34s
2 wlan2 00:21:29:92:64:52 no -67dBm@1Mbps 18Mbps
9m23s
```

```
[admin@hregional-23n1] > interface wireless registration-table print
# INTERFACE RADIO-NAME MAC-ADDRESS AP SIGNAL-STRENGTH TX-RATE UPTIME
0 wlan1 000C421F6BDF 00:0C:42:1F:6B:DF no -48dBm@18Mbps 18Mbps 3h29m38s
1 wlan3 00:21:29:92:48:1D no -50dBm@18Mbps 18Mbps
9m47s
2 wlan2 00:21:29:92:64:E8 no -52dBm@1Mbps 18Mbps
7m27s
```

```
[admin@hregional-23n1] > tool bandwidth-test 10.11.23.2 duration=60s direction=transmit
protocol=udp user=admin password=*****
```

```
status: running
duration: 1m
tx-current: 12.8Mbps
tx-10-second-average: 12.9Mbps
tx-total-average: 12.0Mbps
```

```

random-data: no
direction: transmit
tx-size: 1500

status: done testing
duration: 1m1s
tx-current: 12.8Mbps
tx-10-second-average: 12.9Mbps
tx-total-average: 12.1Mbps
random-data: no
direction: transmit
tx-size: 1500

[admin@hregional-23n1] > tool bandwidth-test 10.11.23.2 duration=60s direction=receive
protocol=udp user=admin password=*****
status: running
duration: 59s
rx-current: 6.8Mbps
rx-10-second-average: 6.6Mbps
rx-total-average: 6.0Mbps
lost-packets: 59
random-data: no
direction: receive
rx-size: 1500

status: done testing
duration: 1m
rx-current: 6.8Mbps
rx-10-second-average: 6.6Mbps
rx-total-average: 6.0Mbps
lost-packets: 36
random-data: no
direction: receive
rx-size: 1500
    
```

Enlace Tacsha Curaray n2 – PetroPerú n2 (prueba entre extremos de la red)

```

tcuraray-17n2:~# iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
-----
[ 4] local 10.12.17.2 port 5001 connected with 10.12.22.2 port 46744
[ 4] 0.0-60.2 sec 28.4 MBytes 3.96 Mbits/sec

petroperu-22n2:~# iperf -c 10.12.17.2 -t 60 -i 5
-----
Client connecting to 10.12.17.2, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
-----
[ 3] local 10.12.22.2 port 46744 connected with 10.12.17.2 port 5001
[ 3] 0.0- 5.0 sec 2.12 MBytes 3.55 Mbits/sec
[ 3] 5.0-10.0 sec 2.62 MBytes 4.40 Mbits/sec
[ 3] 10.0-15.0 sec 2.26 MBytes 3.79 Mbits/sec
[ 3] 15.0-20.0 sec 2.40 MBytes 4.02 Mbits/sec
[ 3] 20.0-25.0 sec 1.83 MBytes 3.07 Mbits/sec
[ 3] 25.0-30.0 sec 2.14 MBytes 3.59 Mbits/sec
[ 3] 30.0-35.0 sec 2.29 MBytes 3.84 Mbits/sec
[ 3] 35.0-40.0 sec 2.03 MBytes 3.41 Mbits/sec
[ 3] 40.0-45.0 sec 2.86 MBytes 4.80 Mbits/sec
[ 3] 45.0-50.0 sec 2.74 MBytes 4.60 Mbits/sec
[ 3] 50.0-55.0 sec 2.78 MBytes 4.67 Mbits/sec
[ 3] 55.0-60.0 sec 2.32 MBytes 3.89 Mbits/sec
[ 3] 0.0-60.1 sec 28.4 MBytes 3.97 Mbits/sec

petroperu-22n2:~# iperf -s
-----
Server listening on TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
-----
[ 4] local 10.12.22.2 port 5001 connected with 10.11.18.2 port 38169
[ 4] 0.0-60.9 sec 26.0 MBytes 3.58 Mbits/sec

tcuraray-17n2:~# iperf -c 10.12.22.2 -t 60 -i 5
-----
Client connecting to 10.12.22.2, TCP port 5001
TCP window size: 16.0 KByte (default)
-----
[ 3] local 10.11.18.2 port 38169 connected with 10.12.22.2 port 5001
[ 3] 0.0- 5.0 sec 2.42 MBytes 4.06 Mbits/sec
[ 3] 5.0-10.0 sec 2.23 MBytes 3.75 Mbits/sec
[ 3] 10.0-15.0 sec 2.31 MBytes 3.88 Mbits/sec
[ 3] 15.0-20.0 sec 2.38 MBytes 3.98 Mbits/sec
[ 3] 20.0-25.0 sec 2.31 MBytes 3.88 Mbits/sec
[ 3] 25.0-30.0 sec 2.23 MBytes 3.75 Mbits/sec
[ 3] 30.0-35.0 sec 1.91 MBytes 3.21 Mbits/sec
[ 3] 35.0-40.0 sec 1.48 MBytes 2.48 Mbits/sec
    
```

```
[ 3] 40.0-45.0 sec 2.30 MBytes 3.85 Mbits/sec
[ 3] 45.0-50.0 sec 2.13 MBytes 3.58 Mbits/sec
[ 3] 50.0-55.0 sec 2.18 MBytes 3.66 Mbits/sec
[ 3] 55.0-60.0 sec 2.10 MBytes 3.53 Mbits/sec
[ 3] 0.0-60.4 sec 26.0 MBytes 3.61 Mbits/sec
```

Enlace de distribución Tacsha Curaray

```
curaray-17n1:~# iwconfig ath1
ath1 IEEE 802.11g ESSID:"NAP017" Nickname:""
Mode:Master Frequency:2.412 GHz Access Point: 00:0B:6B:56:21:1A
Bit Rate=9 Mb/s Tx-Power=17 dBm Sensitivity=1/1
Retry:off RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:9D23-0788-194B-60DD-D6F1-5FCA-CA95-3D38 [2] Security mode:open
Power Management:off
Link Quality=38/70 Signal level=-58 dBm Noise level=-96 dBm
Rx invalid nwid:178 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0
```

```
root@tcuraray-17c1:~# iwconfig eth1
eth1 IEEE 802.11-DS ESSID:"NAP017"
Mode:Managed Frequency:2.412 GHz Access Point: 00:0B:6B:56:21:1A
Tx-Power:19 dBm
RTS thr=2347 B Fragment thr=2346 B
Encryption key:off
Link Signal level:-51 dBm Noise level:-99 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:4 Invalid misc:0 Missed beacon:0
```

Enlace de distribución Negro Urco

```
nurco-18n1:~# iwconfig ath1
ath1 IEEE 802.11g ESSID:"NAP018" Nickname:""
Mode:Master Frequency:2.412 GHz Access Point: 00:0C:42:1F:9B:3C
Bit Rate=9 Mb/s Tx-Power=17 dBm Sensitivity=1/1
Retry:off RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:453B-5688-7BDE-44BC-0EC6-E24D-BC22-F580 [3] Security mode:open
Power Management:off
Link Quality=40/70 Signal level=-56 dBm Noise level=-96 dBm
Rx invalid nwid:187 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0
```

```
root@nurco-18c1:~# iwconfig eth1
eth1 IEEE 802.11-DS ESSID:"NAP018"
Mode:Managed Frequency:2.412 GHz Access Point: 00:0C:42:1F:9B:3C
Tx-Power:19 dBm
RTS thr=2347 B Fragment thr=2346 B
Encryption key:1B28-D50C-12A3-1150-71D0-2E33-442D-A555 [2]
Link Signal level:-52 dBm Noise level:-95 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:17 Invalid misc:0 Missed beacon:0
```

Enlace de distribución Tuta Pishco

```
tpishco-19n1:~# iwconfig ath1
ath1 IEEE 802.11g ESSID:"NAP019" Nickname:""
Mode:Master Frequency:2.462 GHz Access Point: 00:0C:42:1F:69:0D
Bit Rate=9 Mb/s Tx-Power=17 dBm Sensitivity=1/1
Retry:off RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:73D2-302B-F51F-588D-0BA1-F9FB-9413-17DC [2] Security mode:open
Power Management:off
Link Quality=44/70 Signal level=-52 dBm Noise level=-96 dBm
Rx invalid nwid:53 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0
```

```
root@tpishco-19c1:~# iwconfig eth1
eth1 IEEE 802.11-DS ESSID:"NAP019"
Mode:Managed Frequency:2.462 GHz Access Point: 00:0C:42:1F:69:0D
Tx-Power:19 dBm
RTS thr=2347 B Fragment thr=2346 B
Encryption key:C372-389A-9060-E6DC-9714-419A-DA83-4A6A [3]
Link Signal level:-48 dBm Noise level:-96 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:201 Invalid misc:0 Missed beacon:0
```

Enlace de distribución Huamán Urco

```

hurco-20n1:~# iwconfig ath1
ath1 IEEE 802.11g ESSID:"NAPO20" Nickname:""
Mode:Master Frequency:2.412 GHz Access Point: 00:0C:42:1F:81:EB
Bit Rate=9 Mb/s Tx-Power=17 dBm Sensitivity=1/1
Retry:off RTS thr:off Fragment thr:off
Encryption key:67A5-BDE5-5032-B37B-F621-1326-3E6E-0668 [3] Security mode:open
Power Management:off
Link Quality=46/70 Signal level=-50 dBm Noise level=-96 dBm
Rx invalid nwid:358 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:0 Invalid misc:0 Missed beacon:0

root@hurco-20c1:~# iwconfig eth1
eth1 IEEE 802.11-DS ESSID:"NAPO20"
Mode:Managed Frequency:2.412 GHz Access Point: 00:0C:42:1F:81:EB
Tx-Power:19 dBm
RTS thr=2347 B Fragment thr=2346 B
Encryption key:126A-74FC-AB2B-5DEC-7DC4-561D-39FE-8E3A [2]
Link Signal level:-46 dBm Noise level:-98 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:163 Invalid misc:0 Missed beacon:0

```

Enlace de distribución Mazán

```

[admin@mazan-21n2] > interface wireless registration-table print
# INTERFACE RADIO-NAME MAC-ADDRESS AP SIGNAL-STRENGTH TX-RATE UPTIME
0 wlan1 000C421F81F7 00:0C:42:1F:81:F7 yes -70dBm@18Mbps 18Mbps 1h29m55s
1 wlan2 000C421F81F7 00:1E:E5:76:08:03 no -57dBm@18Mbps 18Mbps
10m57s

root@mazan-21c1:~# iwconfig eth1
eth1 IEEE 802.11-DS ESSID:"NAPO21"
Mode:Managed Frequency:2.412 GHz Access Point: 00:0C:42:1F:83:CD
Tx-Power:19 dBm
RTS thr=2347 B Fragment thr=2346 B
Encryption key:off
Link Signal level:-52 dBm Noise level:-95 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:93390 Invalid misc:0 Missed beacon:0

```

Enlace de distribución PetroPerú

```

[admin@petroperu-22n1] > interface wireless registration-table print
# INTERFACE RADIO-NAME MAC-ADDRESS AP SIGNAL-STRENGTH TX-RATE UPTIME
0 wlan3 000C421F9B5E 00:0C:42:1F:9B:5E yes -47dBm@18Mbps 18Mbps 17h59m6s
1 wlan1 000C421F7417 00:0C:42:1F:74:17 no -70dBm@18Mbps 18Mbps 1h37m43s
2 wlan2 000C421F7417 00:21:29:92:64:52 no -65dBm@18Mbps 18Mbps
14m54s

root@ppvicariato-22c1:~# iwconfig eth1
eth1 IEEE 802.11-DS ESSID:"NAPO22"
Mode:Managed Frequency:2.412 GHz Access Point: 00:0C:42:1F:9B:2E
Tx-Power:19 dBm
RTS thr=2347 B Fragment thr=2346 B
Encryption key:off
Link Signal level:-51 dBm Noise level:-93 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:5176 Invalid misc:0 Missed beacon:0

```

Enlace de distribución Hospital Regional

```

[admin@hregional-23n1] > interface wireless registration-table print
# INTERFACE RADIO-NAME MAC-ADDRESS AP SIGNAL-STRENGTH TX-RATE UPTIME
0 wlan1 000C421F6BDF 00:0C:42:1F:6B:DF no -48dBm@18Mbps 18Mbps 18h13m11s
1 wlan3 000C421F6BDF 00:21:29:92:48:1D no -51dBm@18Mbps 12Mbps
8m20s
2 wlan2 000C421F6BDF 00:21:29:92:64:E8 no -49dBm@1Mbps 11Mbps
6m2s

root@hremergencias-23c1:~# iwconfig eth1
eth1 IEEE 802.11-DS ESSID:"NAPO23"
Mode:Managed Frequency:2.412 GHz Access Point: 00:0C:42:1F:7A:88
Tx-Power:19 dBm
RTS thr=2347 B Fragment thr=2346 B
Encryption key:off
Link Signal level:-36 dBm Noise level:-93 dBm
Rx invalid nwid:0 Rx invalid crypt:0 Rx invalid frag:0
Tx excessive retries:10 Invalid misc:0 Missed beacon:0

```

```
root@hrradiofonia-30cl:~# iwconfig eth1
eth1      IEEE 802.11-DS  ESSID:"NAP030"
          Mode:Managed  Frequency:2.437 GHz  Access Point: 00:0C:42:1F:9B:69
          Tx-Power:19 dBm
          RTS thr=2347 B   Fragment thr=2346 B
          Encryption key:C915-5EF9-D3D9-1F23-F758-572C-E54F-8229 [3]
          Link Signal level:-43 dBm  Noise level:-95 dBm
          Rx invalid nwid:0  Rx invalid crypt:0  Rx invalid frag:0
          Tx excessive retries:23  Invalid misc:0  Missed beacon:0
```



5.2 Registro de los clientes en los servidores Asterisk.

Servidor Asterisk Tacsha Curaray

```
tcuraray-17n2*CLI> sip show peers
Name/username      Host                Dyn Nat ACL Port    Status
210/210            10.14.17.3         D          5060   OK (10 ms)
1 sip peers [1 online , 0 offline]
```

Servidor Asterisk Negro Urco

```
nurco-18n2*CLI> sip show peers
Name/username      Host                Dyn Nat ACL Port    Status
440/440            10.14.18.3         D          5060   OK (20 ms)
1 sip peers [1 online , 0 offline]
```

Servidor Asterisk Tuta Pishco

```
tpishco-19n2*CLI> sip show peers
Name/username      Host                Dyn Nat ACL Port    Status
430/430            10.14.19.3         D          5060   OK (11 ms)
1 sip peers [1 online , 0 offline]
```

Servidor Asterisk Huamán Urco

```
hurco-20n2*CLI> sip show peers
Name/username      Host                Dyn Nat ACL Port    Status
420/420            10.14.20.3         D          5060   OK (12 ms)
1 sip peers [1 online , 0 offline]
```

Servidor Asterisk Mazán

```
mazan-21n1*CLI> sip show peers
Name/username      Host                Dyn Nat ACL Port    Status
410/410            10.14.21.3         D          5060   OK (19 ms)
1 sip peers [1 online , 0 offline]
```

Servidor Asterisk PetroPerú

```
petroperu-22n2*CLI> sip show peers
Name/username      Host                Dyn Nat ACL Port    Status
530/530            10.14.30.3         D          5060   OK (19 ms)
520/520            10.14.23.3         D          5060   OK (20 ms)
510/510            10.14.22.3         D          5060   OK (12 ms)
3 sip peers [3 online , 0 offline]
```

5.3 Fotografías de la instalación.



Gráfico 43: Vista de los equipos instalados en lo alto de la torre de 72m



Gráfico 44: Médico Jorge Montoya de la Micro Red del Napo en comunicación con C.S. de Mazán.



Gráfico 45: Equipos de energía, telecomunicaciones y sistema de protección eléctrica



Gráfico 46: Estructura de soporte de los paneles solares Tuta Pishco.



Gráfico 47: Vista de la torre ventada de 69m

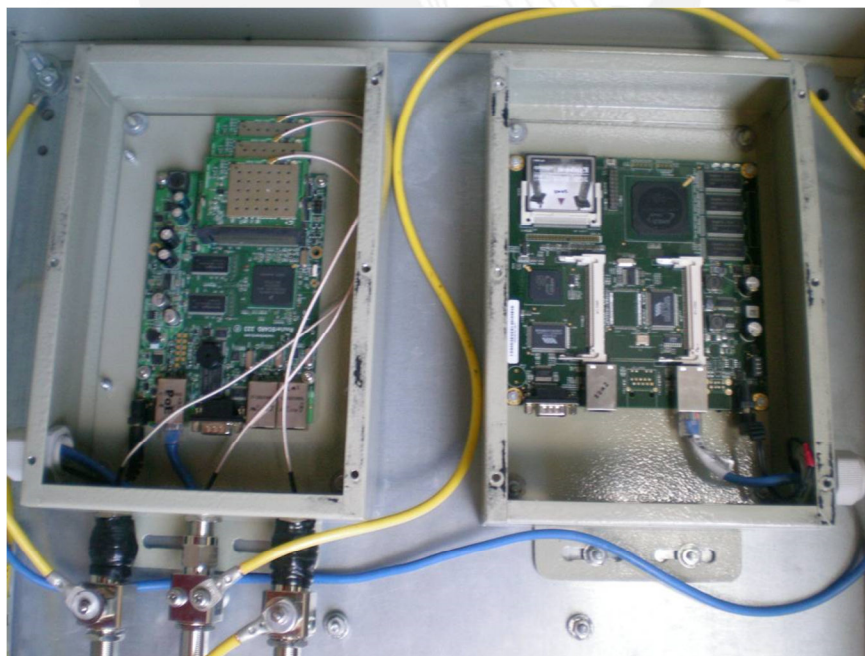


Gráfico 48: Placa Mikrotik 333 (derecha) y placa Alix2C0 (izquierda) en la caja de exteriores

Conclusiones

- Es posible la interconexión de datos, acceso a Internet y telefonía en una zona rural amazónica mediante tecnología inalámbrica WiFi en la banda de frecuencia de 2.4GHz y 5.8GHz, y haciendo uso del protocolo TCP/IP.
- La red posee una capacidad de más de 6Mbps (ver resultados para cada área) por enlaces superando lo recomendado de 6Mbps para los servicios que prestará.
- Las soluciones OEM son buenas opciones si tiene personal capacitado para prever los posibles problemas, logrando así bajar los costos de equipamiento además de colaborar con la investigación en la Universidad.
- Se necesita de la autorización correspondiente por parte del Ministerio de Telecomunicaciones para poder superar la PIRE máxima establecida de 36 dBm en áreas rurales o lugares considerados de preferente interés social.
- Para la simulación de los radioenlaces mediante Radio Mobile se toma un margen de seguridad mínimo de relación señal a ruido de 15dB.
- Se hace uso del sistema operativo RouterOS de MikroTik sobre computadoras embebidas RouterBOARD 333 con tarjetas inalámbricas R52H de 5.8GHz en los nodos de la ciudad de Iquitos por evitar las interferencias con las redes de 2.4GHZ existentes en la ciudad.
- La ganancia de las antenas queda determinada por la distancia de los enlaces que cubren, y a la vez por un intento de uniformizar al máximo los distintos tipos de antenas utilizadas.
- La telefonía se implementa mediante el software libre Asterisk sobre computadoras embebidas Alix 2C0 en los nodos. Estos equipos presentan un costo relativamente bajo y permiten la instalación de sistemas operativos de código libre.
- Se usa seguridad WPA/2 en la capa de enlace permite un nivel aceptable de seguridad.
- El enrutamiento dinámico se implementa mediante el protocolo OSPF, que a la vez permite implementar la redundancia con la asignación manual de distintos costos en cada enlace inalámbrico. El uso de un protocolo de enrutamiento dinámico facilita tanto la configuración como el mantenimiento de las tablas de rutas para la conectividad de la red.
- En los nodos no existe red de suministro eléctrico y por lo tanto se usa un sistema fotovoltaico de bajo consumo, 12Vdc de voltaje de salida, y con 4 días de autonomía.

- En los clientes finales dentro de cada centro de salud donde sí existe red de suministro eléctrico, se usan sistemas de inversores para obtener 110VDC y alimentar los equipos de cómputo.
- En las pruebas de implementación se obtuvieron niveles de relación señal a ruido de alrededor de 15 dB en la red de distribución, en la red de acceso de 25 dB.



Recomendaciones

- Al implementar un proyecto de esta envergadura se recomienda tener un plan de instalación detallado para poder evitar gastos innecesarios en el desplazamiento, dado el alto costo y escasos servicios de transporte fluvial público y privado existentes en la zona.
- Aunque se está usando seguridad WPA es necesario completar la necesidad de aplicar encriptación a la información confidencial de la salud de las personas. Por ejemplo IPSec en la capa IP.
- Es recomendable la implementación de QoS para distinguir los tráfico de voz, internet, y video; no se ha hecho porque se tiene la capacidad de transporte de datos necesaria; pero cuando se implemente servicios como videoconferencia será necesario.
- Se recomienda realizar un alineamiento de antenas más detallada, esto permitirá validar las alturas obtenidas en el diseño usando el RadioMobile.
- Se recomienda implementar un sistema de monitoreo de redes de datos, para poder analizar el comportamiento de los equipos.

Bibliografía

- [1]. MTC. Texto Único Ordenado del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones, 2007, Perú.
- [2]. GNU. GNU General Public License, 3a versión, 2007.
- [3]. Matthew S. Gast. 802.11 wireless networks: the definitive guide. Sebastopol, CA: O'Reilly, 2005.
- [4]. Nuaymi, Loufi, WiMAX Technology for Broadband Wireless Access, Chichester: Wiley, 2007
- [5]. Matthew S. Gast. Redes wireless 802.11. Madrid: Anaya Multimedia, 2006.
- [6]. Francisco Javier Simó Reigadas. Modelado y optimización de IEEE 802.11 para su aplicación en el despliegue de redes extensas en zonas rurales, 2007, España.
- [7]. Erik Tews, Ralf-Philipp Weinmann, Andrei Pyshkin. Breaking 104 bit WEP in less than 60 seconds.
- [8]. Guillaume Lehenbre. Seguridad Wi-Fi – WEP, WPA y WPA2, 2006
- [9]. Martínez Fernández, Andres; Simó Reigadas, Francisco Javier; Seoane Pascual, Joaquín; Sánchez Sala, Arnau; Salmerón Ntutumu, Sandra; Lafuente Sanz, Silvia; Villarroel Ortega, Valentín; Osuna García, Pablo; Low-Cost Telecommunication Systems And Information Services For Rural Primary Healthcare In Developing Countries; WITFOR 2007.
- [10]. Mark G. Sobell. A practical guide to Linux commands, editors, and shell programming. Pearson Education, 2005.
- [11]. Arnold Robbins. Linux programming by example. Prentice Hall PTR, 2004.
- [12]. Angela Doufexi, Simon Armour, Peter Karlsson, Andrew Nix, David Bull. A Comparison of HIPERLAN/2 and IEEE 802.11a.
- [13]. Timothy Ireland, Adam Nyzio, Michael Zink, Jim Kurose. The Impact of Directional Antenna Orientation, Spacing, and Channel Separation on Long-distance Multi-hop 802.11g Networks: A measurement Study.
- [14]. Changhua He, John C Mitchell. Analysis of the 802.11i 4-Way Handshake.
- [15]. J. Touch, L. Eggert, Y. Wang. RFC 3884: Use of IPsec Transport Mode for Dynamic Routing, 2004.
- [16]. Flavio E. Goncalves. Bandwidth Calculador for VoIP.
<http://site.asteriskguide.com/bandcalc/bandcalc.php>

Fuentes adicionales de información

- [17]. <http://wireless.kernel.org/en/developers/Documentation/ieee80211/802.11n>
- [18]. <http://www.pceingines.ch/alix2d2.htm>

- [19]. <http://www.gateworks.com/product>
- [20]. <http://www.adiengineering.com/products>
- [21]. <http://kamikaze.openwrt.org/docs/openwrt.html>
- [22]. <http://madwifi-project.org/>
- [23]. <http://www.mikrotik.com/software.html>
- [24]. <http://www.snapgear.org/>
- [25]. <http://wireless.kernel.org/>
- [26]. <http://www.atheros.com/technology/technology.php?nav1=47>
- [27]. <http://www.ubnt.com/products/sr2.php>
- [28]. <http://www.engeniustech.com/business-networking/101-mini-pci-modules/293-80211ag-high-power-600mw-atheros-mini-pci-150mw-on-80211a>
- [29]. <http://routerboard.com/R52H>
- [30]. <http://homesupport.cisco.com/en-us/support/routers/WRT54GL>
- [31]. <http://www.l-com.com/productcenter.aspx?id=2005>
- [32]. <http://www.l-com.com/item.aspx?id=27246#.UKQ0wOSUK8A> 2.4
- [33]. <http://www.l-com.com/item.aspx?id=33970#.UKQ0reSUK8A> 5.8
- [34]. http://www.lightingillusions.com.au/service/definition.php?definition_id=17 IP66
- [35]. http://www.axis.com/products/cam_housing/ip66.htm
- [36]. <http://www.l-com.com/item.aspx?id=22114#.UKQzh-SUK8A> 14dbi
- [37]. <http://www.centreon.com/Content-Products-IT-network-monitoring/nagios>
- [38]. <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>
- [39]. <http://www.qsl.net/kd2bd/splat.html>
- [40]. <http://www.asterisk.org/get-started>
- [41]. <http://www.voip-info.org/wiki/view/Asterisk+dimensioning>
- [42]. <http://www.smartbridges.com/products-and-services/airpoint-ism-band-ap-and-cpe>
- [43]. MikroTik. Manual del RouterOS. www.mikrotik.com
- [44]. http://www.34t.com/Unique/LoboMetrics_Espa%C3%B1ol.asp
- [45]. MikroTik. Computadoras embebidas RouterBOARD. www.routerboard.com
- [46]. PC Engines. Computadoras embebidas ALIX. www.pceengines.ch
- [47]. Hyperlink Technologies. Antenas. www.hyperlinktech.com
- [48]. Times Microwave Systems. Cables coaxiales. www.timesmicrowave.com
- [49]. Andrew. Cables coaxiales. www.andrew.com

Anexos:

- I. Resolución Ministerial No 585-2005-MTC/03
- II. Resolución Ministerial No 777-2005-MTC/03
- III. Inés Bebea-González, J. Antonio Paco, Leopoldo Liñán-Benítez, Javier Simó-Reigadas, Andrés Martínez-Fernández. Management Framework for Sustainable Rural e-Healthcare Provision, mejor artículo (paper) en la Conferencia Internacional e-Society 2011 de la Asociación Internacional para el Desarrollo de la Sociedad de la Información (IADIS), Ávila, España, 2011.
- IV. Carlos Rey-Moreno, Ines Bebea-González, Ignacio Foche-Perez, River Quispe-Tacas, Leopoldo Liñán-Benítez, Javier Simo-Reigadas. A Telemedicine WiFi Network Optimized for Long Distances in the Amazonian Jungle of Peru (paper), Manaus, Brasil, 2011.
- V. La República. “Comunidades del río Napo reciben atención a través de red de telemedicina”. *La República*, Perú. Jueves 21 de Febrero del 2013. <http://www.larepublica.pe/node/959028/print>
- VI. Rodrigo Rodrich Portugal. “La telemedicina revoluciona la salud en la frontera norte”. *El Comercio*, Perú. Domingo 11 de Noviembre del 2012. P. a18 País.
- VII. Cecilia Fernández Sívori. “Desarrollan enrutador wifi de larga distancia”. *El Peruano*, Perú. Martes 22 de Junio del 2010. P. 22 Ciencia & Tecnología.
- VIII. Kurth Mendoza. “Largo Alcance”. *NEO*, Suplemento de Innovación, Tecnología e Investigación del semanario PuntoEDU, PUCP, Perú, 2009.
- IX. Dr. Julio Andrés Rojas Julca, Viceministro de Poblaciones Vulnerables. Oficio N°236-2012-MIMP-DVMPV, del 21 de Noviembre del 2012. Agradecimiento por la participación y compromiso en la Comisión Especial de seguimiento de la Estrategia de Acción Social con Sostenibilidad en la cuenca del Río Napo en el marco del PNAIA 2021, Lima, Perú.
- X. Fotos de la visita del Presidente de la República Ollanta Humala Tasso a la Red de Telemedicina Rural del Napo. Loreto, Perú, Julio 2012.
- XI. Fotos de la visita de la Ministra de Salud Midori De Habich a la Red de Telemedicina Rural del Napo. Loreto, Perú, Febrero 2013.