

Diseño de una red inalámbrica mediante la tecnología Wi-Fi Long Distance para los establecimientos educativos del área andina del cantón Cotacachi.

Irving M. Reascos, Sofía E. Rosero.

Resumen— El presente trabajo contiene una breve descripción de los aspectos fundamentales requeridos para llevar a cabo el despliegue de una red de Comunicaciones que beneficie a los establecimientos educativos del área andina del cantón Cotacachi mediante el empleo de una tecnología de bajo costo y altas prestaciones WILD o Wi-Fi para largas distancias. El diseño establece los requerimientos iniciales para el despliegue del proyecto, capacidad máxima requerida por la red, especificaciones técnicas de hardware, Arquitectura y Topología de la red inalámbrica además un estudio de cobertura y factibilidad de los enlaces descritos en la topología preliminar.

Términos Indexados— WILD, IEEE, MINTEL, WLAN

I. INTRODUCCIÓN

Las parroquias de Imantag, San Francisco, El Sagrario y Quiroga que conforman la zona Andina del cantón Cotacachi de acuerdo al ministerio de educación en el período académico 2012-2013 posee la mayor concentración de estudiantes tiene 40 Instituciones educativas a las que asisten 9082 estudiantes que son capacitados por 482 docentes.

En el cantón Cotacachi el porcentaje de acceso al servicio de internet es del 3,98%, lo que significa que existe un escaso servicio de internet y transmisión de datos siendo un derecho aún muy limitado y prácticamente inexistente en los diferentes centros educativos de escasos recursos económicos y de las áreas rurales [1].

Por tal motivo el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Santa Ana de Cotacachi cumpliendo con el plan de desarrollo cantonal y ordenamiento municipal especialmente en lo que se refiere al mejoramiento de la infraestructura y sistemas de vialidad energía y telecomunicaciones pretende emprender el proyecto de conectividad mediante el desarrollo de una red que incluya el uso de la tecnología inalámbrica de largo alcance más apropiada para las zonas rurales aisladas, esta tecnología hace referencia a un conjunto de soluciones para la transmisión inalámbrica de voz y datos basados en el protocolo 802.11.

Documento recibido el 27 de febrero del 2015. Esta investigación se realizó como proyecto previo para obtener el título profesional en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA) de la Universidad Técnica del Norte.

I.M. Reascos, Docente de la Universidad Técnica del Norte, en la Carrera de Ingeniería en Sistemas, Av. 17 de Julio sector El Olivo, Ibarra-Ecuador (e-mail: ireascos@gmail.com).

S.R. Arévalo, egresada de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación (e-mail: sera_939@hotmail.com).

II. CONCEPTOS BÁSICOS

A. IEEE 802.11

El estándar IEEE 802.11 puede ser descrito como el padre de todos los estándares WLAN. Se refiere realmente a una familia de protocolos, incluyendo la especificación original; es un estándar inalámbrico que define la conectividad para estaciones fijas, portátiles y móviles dentro de un área local y un área metropolitana. Las tecnologías de LAN inalámbricas ofrecen la conectividad inalámbrica dentro de edificios, campus y extensas áreas de las ciudades, la norma 802.11 ha estado evolucionando por más de una década, produciendo varias normas del legado especificadas en 802.11, 802.11b, 802.11a, 802.11g, 802.11n y 802.11ac entre otros estándares. El estándar 802.11 se denomina originalmente como Estándar IEEE para especificaciones MAC y PHY de WLAN. [2]

Características:

- Operación en bandas de frecuencia libres no licenciadas.
- Establece un protocolo de acceso al medio CSMA/CA
- Multiplexación: OFDM – DSSS – MIMO
- La velocidad de transmisión, ancho de banda, cantidad de flujos MIMO y compatibilidad dependen de la versión del estándar IEEE 802.11 a la cual se trabaje. (ver Tabla 1).

Tabla 1: Comparación de las versiones del Estándar 802.11

Versión del Estándar	Frecuencia (GHz)	Velocidad de Transmisión (Mbps)	Ancho de Banda (MHz)	Flujos MIMO	Compatibilidad
Original	2.4 GHz	2 Mbps	20 MHz	1	NO
802.11a	5 GHz	54 Mbps	20 MHz	1	NO
802.11b	2.4 GHz	11 Mbps	20 MHz	1	SI (g)
802.11g	2.4 GHz	54 Mbps	20 MHz	1	SI (b)
802.11n	2.4 GHz o 5 GHz	600 Mbps	40 MHz	4	SI (a, b, g)
802.11ac	5 GHz	1.3 Gbps	160 MHz	8	SI (a, n)

Arquitectura

Algunos protocolos como Ethernet y Wi-Fi tienen una estructura similar a su estándar 802 y en 802.11 la capa física y la capa enlace de datos corresponde al modelo de referencia OSI con algunas variantes, la capa de enlace de datos se

divide en dos subcapas: control de enlace lógico y de control de acceso al medio.

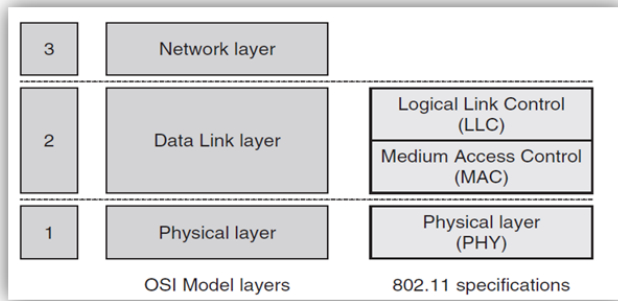


Figura 1: Arquitectura Lógica 802.11 en correspondencia con el modelo OSI.
Fuente: Obtenido de Rackley S. (2011). *Wireless Networking Technology From Principles to Successful Implementation*. Gran Bretaña: Elsevier.

Capa Física

La capa Física en el estándar IEEE 802.11 especifica las técnicas de señalización inalámbricas utilizadas para transmitir y recibir información por medio de las ondas radioeléctricas, además proporciona servicio a la subcapa MAC de IEEE 802.11.

Hay tres niveles de funcionalidad estos son:

- Transmisión de las tramas al medio no guiado empleando los diferentes tipos de modulación.
- Enviar información a la capa enlace de datos sobre la ocupación del canal de transmisión si en este período se transmite una señal en la banda de frecuencia que se desea transmitir.
- Intercambiar tramas con la capa de enlace.

Capa Enlace de Datos

La capa de enlace de datos está dividida en dos subcapas que están definidas como:

- Control de acceso al medio (MAC)
- Control del enlace lógico (LLC)

La subcapa LLC es normal para todos los estándares 802.X; proporciona un interfaz común, única entre las capas superiores y la subcapa MAC. La combinación del estándar LLC de 802.2 junto con el protocolo de control de acceso al medio MAC está definido como el equivalente a la capa de enlace de datos del modelo de referencia OSI.

Subcapa Capa de control de acceso al medio (MAC)

MAC es una subcapa responsable de proporcionar el direccionamiento y los mecanismos para poder tener control y gestión en el acceso al medio para hacer posible que varios nodos puedan comunicarse en una red.

La capa MAC proporciona las siguientes funciones principales:

- La entrega de datos entre estaciones es la función primaria de la Capa MAC. Esto incluye acceso al medio, intercambio de tramas de datos, recuperación de errores, fragmentación y cifrado.

- Conectividad, antes de que una estación de 802.11 pueda enviar y recibir datos, debe conectarse a la red. Esto incluye la exploración de la red, la autenticación disponible y el asociarse a la red.
- Sincronización, debido a que el medio inalámbrico es compartido las estaciones 802.11 deben cumplir con estrictas normas de sincronismo.
- Define un método de acceso al medio CSMA/CA, es un protocolo de acceso múltiple por contención el cual permite que varias estaciones puedan compartir el medio de transmisión y en forma ordenada accedan a él, evitando al máximo las colisiones.

B. WIFI para largas distancias

WIL Wi-Fi based Long Distance, citando un término probablemente acuñado por TIER, Technology and Infrastructure for Emerging Regions, un grupo de investigación de la Universidad de California en Berkeley. El término hace referencia al conjunto de soluciones para la transmisión inalámbrica de voz y datos basados en el protocolo 802.11, y cuya virtud más notable, es alcanzar enlaces de muy larga distancia (entre 50 y 100 km), mucho mayores que las distancias para las que originalmente fue diseñado el protocolo 802.11. [3]

Modificaciones en el estándar 802.11

Debido a que la tecnología Wi-Fi fue concebido en un inicio para redes de área local existe mayor dificultad para aplicarla en servicios de larga distancia por tal razón se analiza las técnicas que permiten su uso en un rango mayor al usual.

Capa Física en largas distancias

Al establecer un enlace de larga distancia, la cuestión más importante en capa física es asegurarse de que la señal inalámbrica es lo suficientemente fuerte como para permitir la comunicación. La determinación de si el enlace es viable se denomina cálculo del presupuesto del enlace. La viabilidad de enlace depende de la potencia del radio de transmisión y la ganancia dada por las antenas, además de las pérdidas presentes en cables, conectores de las antenas y las pérdidas a lo largo de la ruta de acceso inalámbrico.

Un enlace inalámbrico utilizando la tecnología Wi-Fi puede alcanzar mayor distancia en su transmisión al conseguir un balance específico en algunos parámetros como son:

- La máxima potencia y ganancia de transmisión permitida.
- Las pérdidas de propagación.
- La sensibilidad de recepción.
- La mínima relación señal a ruido aceptable.

Capa MAC en largas distancias

Las técnicas para extender el alcance presentadas para la capa física de la tecnología Wi-Fi de larga distancia son recomendables de preferencia para enlaces punto a punto que abarcan decenas de kilómetros y ofrece buena señal inalámbrica.

Debido a que la capa MAC 802.11 fue diseñada para operar en cortas distancias al presentar intervalos de tiempo constantes definidos en el proceso de transmisión; además el protocolo de acceso múltiple por contienda CSMA/CA empleado es un protocolo que depende de la escucha del medio de contención, un proceso en el que se generan periodos de espera en la transmisión entre estaciones y resulta ser un protocolo inapropiado para operar sobre largas distancias de este modo se definen los principales limitantes que impone la distancia a las prestaciones de la capa MAC 802.11 son:

- Confirmación de envío de tramas y uso del ACK timeout o tiempo en que la estación transmisora espera la llegada del ACK o confirmación del envío de un paquete.
- Intervalos de tiempo que indican el estado (libre/ocupado) del canal de transmisión SlotTime o InterFrame.
- NAV es el cálculo de duración de transmisiones que una determinada estación realiza para permitir la liberación del canal de transmisión y el envío desde otra estación este sistema no tienen en cuenta el tiempo de propagación, por lo que falla estrepitosamente por la distancia.

Con estas limitaciones el balance del enlace podría funcionar con bajas capacidades pero estas capacidades dependerán de los equipos que se esté utilizando y la versión del estándar.

En las primeras versiones del estándar 802.11 los problemas en los equipos eran más notables a distancia de entre 6 a 20 km.

Con la adaptación de estos tres parámetros de la subcapa MAC 802.11: el ACKTimeout, el CTSTimeout y el SlotTime en determinados equipos de una gran familia de sistemas Wi-Fi basados en los juegos de circuitos de Atheros Semiconductors se permite mantener un comportamiento prácticamente correcto en el enlace.

Antenas empleadas en largas distancias

Las antenas son dispositivos físicos que constituyen la parte fundamental de los dispositivos inalámbricos, puesto que sirven de interfaz para el envío o recepción de las ondas electromagnéticas emitidas a través del espacio radioeléctrico.

Tipos de Antenas

Cuando se alimenta una señal en una antena, la antena emitirá radiación distribuida en el espacio de una manera determinada. Una representación gráfica de la distribución relativa de la potencia radiada en el espacio se denomina un patrón de radiación.

Según la forma de señal que cubren, pueden clasificarse en tres tipos:

- Omnidireccionales
- Direccionales o bidireccionales
- Sectoriales

Cálculo del presupuesto del enlace

Para cada uno de los enlaces se debe realizar un cálculo del nivel de señal esperado y el margen de desvanecimiento que se obtiene. El cálculo consiste en realizar un balance de potencia la siguiente ecuación muestra los elementos básicos que deben considerarse al calcular un presupuesto de enlace de acuerdo al esquema de la figura.

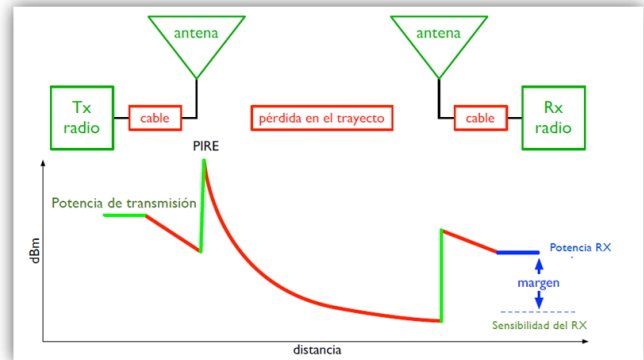


Figura 5: Factores que intervienen en el Presupuesto de Potencias de un enlace.

Fuente: WNDW. (2013). Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo (4 ed.). Copenhagen: WNDW.

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

Ecuación 1: Cálculo del balance de Potencias del enlace

Donde:

PTx_{dBm}	Potencia del transmisor.
LTx_{dB}	Pérdidas en los cables y conectores del Transmisor
LRx_{dB}	Pérdidas en los cables y conectores en el Receptor.
GTx_{dBi}	Ganancia de la antena en Transmisión.
GRx_{dBi}	Ganancia de la antena en Recepción.
FSL_{dB}	Pérdidas en el Espacio Libre.
PRx_{dBm}	Potencia Recibida en el Receptor.

Margen de desvanecimiento

La determinación del margen de desvanecimiento suficiente es el paso más importante en el diseño de radioenlaces. Si el margen es demasiado pequeño, el enlace será inestable. Además se establece un margen de desvanecimiento, es decir, un margen de seguridad en el que la Potencia recibida en el Receptor (PRx) debe superar a la Sensibilidad del Receptor (SRx). Se establece que este valor debe ser mayor o igual que 10 dB. El margen de la potencia de recepción está dada por la siguiente formula:

$$M_{dB} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

Ecuación 2: Cálculo del balance de Potencias del enlace

Donde:

PRx_{dBm}	Potencia Recibida en el Receptor.
SRx_{dBm}	Sensibilidad del Receptor

III. ANÁLISIS DE ASPECTOS LEGALES Y REGULATORIOS

De acuerdo a la Constitución establece al estado como administrador y propietario del espectro radio eléctrico por tal motivo el estado asigna a las entidades con competencias y funciones diferenciadas para regular el espectro como se muestra en la siguiente figura la estructura de los organismos responsables y algunas organizaciones adscritas:

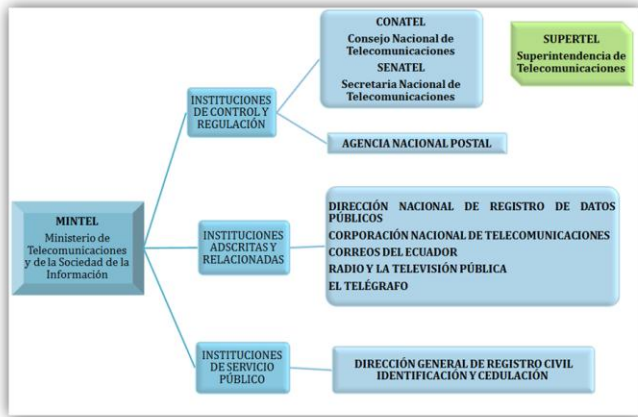


Figura 6: Estructura de los Organismos Reguladores de las Telecomunicaciones en el Ecuador.

Fuente: Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/211/1/T-ESPE-027397.pdf>. Modificado por el Autor.

A. Norma para la implementación y operación de sistemas de modulación digital de banda ancha.

En el presente proyecto conforme a lo establecido en el marco regulatorio que rigen las telecomunicaciones en el Ecuador se contempla esta normativa para brindar el servicio de acceso inalámbrico de banda ancha.

La SENATEL es encargada de proceder con la emisión del Certificado de Registro de los Sistemas de Modulación Digital de banda Ancha el que debe incluir la descripción del sistema registrado con la aprobación de algunos requerimientos que se presentan a continuación:

Homologación: Todos los equipos que utilicen modulación digital de banda ancha deberán ser homologados por la Superintendencia de Telecomunicaciones.

Bandas de Frecuencia: Operar en bandas de frecuencias inscritas en el cuadro de atribución de bandas de frecuencias. Se aprobará la operación de sistemas de radiocomunicaciones, que utilicen técnicas de modulación digital de banda ancha en las siguientes bandas de frecuencias:

Tabla 1: Bandas de Frecuencia permitidas para SMDBA

BANDA (MHz)	ASIGNACIÓN
902 – 928	ICM
2400 - 2483.5	ICM
5150 – 5250	INI
5250 – 5350	INI
5470 – 5725	INI
5725 – 5850	ICM, INI

Se definen las Bandas INI y las bandas ICM para el desarrollo de la Infraestructura Nacional de Información y las Aplicaciones Industriales Científicas y Médicas.

Configuraciones del Sistema: La operación de los sistemas con técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha se aprobará en las siguientes configuraciones:

- Sistemas punto – punto
- Sistemas punto – multipunto
- Sistemas móviles

Potencia Pico Máxima del Transmisor de acuerdo a la Frecuencia de Operación: en la siguiente tabla se representan las máximas potencias permitidas según la norma técnica para la operación en las distintas bandas de frecuencias y en los distintos tipos de configuración del sistema.

Tabla 2: Potencias Pico Máxima del Transmisor respecto a la Frecuencia de Operación

Tipo de Configuración del Sistema	Bandas de Operación (MHz)	Potencia Pico Máxima del Transmisor (mW)
Punto-punto Punto-multipunto Móviles	902 - 928 250	250
Punto-punto Punto-multipunto Móviles	2400-2483.5	1000
Punto-punto Punto-multipunto Móviles	5150-5250	50
Punto-punto Punto-multipunto Móviles	5250 - 5350	250
Punto-punto Punto-multipunto Móviles	5470 - 5725	250
Punto-punto Punto-multipunto Móviles	5725 - 5850	1000

Formularios necesarios para sistemas de modulación digital de banda ancha

Los formularios necesarios para la implementación de sistemas de modulación de banda ancha son los siguientes:

- Formulario para información legal (sistemas de modulación digital de banda ancha): RC – 1B.
- Formulario para información de la infraestructura del sistema de radiocomunicaciones: RC – 2A.
- Formulario para información de antenas: RC – 3A.
- Formulario para información de equipamiento: RC – 4A.
- Formulario para sistemas de modulación digital de banda ancha (sistemas punto-punto): RC – 9A.
- Formulario para sistemas de modulación digital de banda ancha (sistemas punto-multipunto): RC – 9B.
- Formulario para esquema del sistema de radiocomunicaciones: RC – 14A. [4]

IV. DISEÑO

En el comienzo del diseño de una red es fundamental el conocimiento de los puntos a los que se va a prestar el servicio sus coordenadas geo referenciales, los datos sobre la infraestructura existente y los beneficiarios así como la capacidad necesaria en cada uno de ellos. Con ello y en función de las características como la distancia hacia el nodo

principal del enlace troncal y la disponibilidad del servicio a proporcionar se tendrá la topología que mejor se adapta a las necesidades.

A. Puntos involucrados en la red

El proyecto de Interconectividad y acceso a internet a las unidades educativas nace de una iniciativa del Municipio de Santa Ana de Cotacachi con el único fin de proporcionar este servicio a las escuelas públicas del cantón.

A continuación se listan los sitios involucrado para la conectividad del acceso a internet para la zona andina:

- Municipalidad de Santa Ana de Cotacachi
- Nodos seleccionados para la red de Transporte o Troncal.
- Unidades educativas de la parroquia de Imantag
- Unidades educativas de la parroquia de Quiroga
- Unidades educativas de la zona urbana-rural y cabeceras cantonales de la parroquia de Cotacachi.

B. Centro de Proceso de Datos Municipio de Cotacachi



Figura 7: Ubicación del Municipio de Cotacachi.

El punto de gestión y procesamiento de Datos ubicado en las calles González Suárez y García Moreno el Edificio de la Municipalidad de Cotacachi es el lugar donde se interconecta la red troncal y por lo tanto la red de usuarios con la conexión de Internet de banda ancha proporcionado por el proveedor de servicios de internet autorizado. Además corresponde al punto en donde se encuentran los servidores que permitirán controlar y gestionar los servicios ofrecidos por la nueva red entre ellos un servidor firewall proxy y servidores opcionales como: servidor web, correo electrónico, tele vigilancia (video streaming), Voz sobre IP.

C. Enlace Troncal Principal

Red Troncal inalámbrica dispuesta de dos partes principales para la interconexión el Municipio de Cotacachi que se establece como centro de proceso de Datos y los nodos de transporte principales ubicados en el núcleo de la Zona andina del cantón Cotacachi a partir de los cuales se despliega la cobertura hacia la red de acceso.

Los puntos que forman la red Troncal principal son los que se describen a continuación:

- Nodo Troncal ubicado en el Cerro Yanahurco o Loma Negra.
- Nodo Troncal ubicado en el Municipio de Cotacachi.
- Nodo Troncal ubicado en la Escuela Marcelino Alzamora



Figura 8: Ubicación Geográfica de los Nodos seleccionados para el Enlace Troncal

D. Instituciones Beneficiarias

Las entidades beneficiarias del presente proyecto son instituciones públicas existentes en la zona andina y parte de la zona urbana que no cuentan con el servicio de internet y estén calificadas por la Municipalidad y el Fondo de Desarrollo de las Telecomunicaciones, instituciones responsables de brindar conectividad a los 34 establecimientos educativos del área Andina.

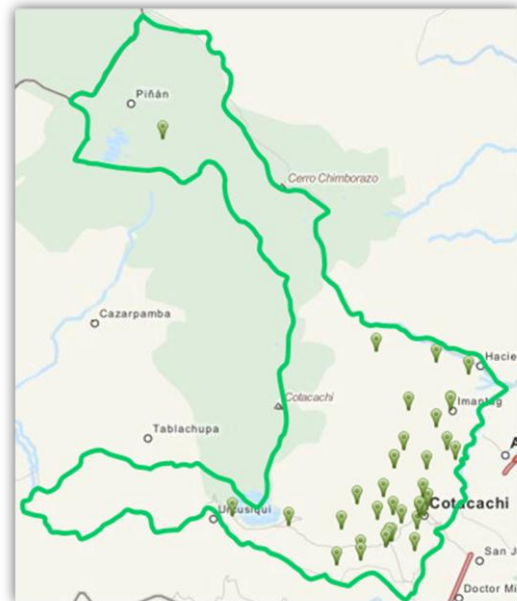


Figura 9: Ubicación Geográfica de las Instituciones Beneficiarias de la totalidad de la Zona Andina

E. Información de Infraestructura y Beneficiarios

La siguiente tabla contiene la información de la infraestructura el número de computadores con las que cuentan cada institución y el número de estudiantes y profesores que serán beneficiados con el proyecto por cada parroquia que conforma la zona Andina del cantón Cotacachi.

Tabla 3: Beneficiarios por cada establecimiento educativo.

Establecimientos De La Parroquia De Imantag	Num Alumnos	Num Profesores	Total Pcs
Marco Herrera Escalante	50	4	7
Red Educativa Imantag	704	31	29
Provincia De El Oro	111	10	9
Monseñor Bernardino Echeverría	45	3	6
Cecib Alejo Saes	16	1	6
Luis Alberto Moreno	94	6	8
Hernando De Magallanes	166	13	11
Abelardo Moran Muñoz	63	3	7
Dr. Ignacio Salazar	32	2	5
Establecimientos De La Parroquia De Quiroga	Num Alumnos	Num Profesores	Total Pcs
Andrés Avelino De La Torre	332	22	15
Segundo Luis Moreno	92	4	9
Eloy Proaño	418	21	20
Leticia Proaño Reyes	235	13	14
28 De Junio	130	6	9
Virgilio Torres Valencia	28	2	7
Cuicocha	10	1	6
Marcelino Alzamora Y Peñaherrera	97	7	6
Luis Plutarco Cevallos	384	21	18
Establecimientos De La Parroquia De Cotacachi	Num Alumnos	Num Profesores	Total Pcs
Marco Tulio Hidrobo	42	3	5
Juan Francisco Cevallos	201	10	5
San Jacinto	287	13	13
Jorge Gómez Andrade	47	4	7
Martín Alonso González Lalanne	26	4	6
Piava San Pedro O Luis Felipe Borja	15	1	6
Trajano Naranjo	25	1	6
Nazacota Puento	131	9	5
Receib Cotacachi José Domingo Albuja	60	5	8
Pichincha	107	9	10
Enrique Vacas Galindo	32	3	5
Miguel De Cervantes	52	7	8
José Vasconcelos	85	5	9
Luis Ulpiano De La Torre	1252	79	13
6 De Julio	629	24	32
Modesto Aurelio Peñaherrera	505	21	26
Hortensia Yépez Tobar	67	3	7
Manuela Cañizares	512	20	22
SUMA TOTAL	7082	391	385

Para el diseño de la red es importante considerar el equipamiento tecnológico que las entidades beneficiarias deben tener en base a los estándares definidos por el *Proyecto de Interconectividad Cantonal para servicios Municipales y acceso a Internet en Unidades Educativas y Entidades Estatales del cantón Cotacachi en la Provincia de Imbabura*. En este proyecto se considera que en cada establecimiento se debe tener un valor mínimo de cinco computadores por establecimiento educativo que serán otorgados por la Municipalidad para el acceso a internet como un complemento al equipamiento tecnológico ya existente; además para la proyección de crecimiento de la red se toma como relación los indicadores de uso de las TIC en el proceso de la educación emitidas por el Ministerio de Educación en los que especifica que al menos debe existir un computador por cada 20 estudiantes matriculados en cada institución con esta determinación la tabla anterior muestra el número total de computadores a interconectar en la red.

Cálculo del sistema

Para realizar el cálculo de la capacidad máxima requerida se determina un ancho de banda de 256 Kbps para cada computador fijo que forme parte de los establecimientos educativos debido a que el uso es tipo educativo y los servicios más frecuentes serán la navegación web, correo electrónico y descarga de archivos educativos.

Para dimensionar la red inalámbrica y calcular la capacidad para los puntos de interconexión inalámbrica se considera una transferencia máxima de 128 Kbps por acceso inalámbrico. Para el cálculo total de la demanda de velocidad de transferencia requerida se realizó la suma del consumo de velocidad de transferencia de cada dispositivo destinado en los centros educativos de la siguiente manera.

Tabla 4: Demanda de velocidad de transferencia.

Descripción	Upstream	Downstream
385 PC = Internet	256 Kbps x 385 =98560 Kbps	256 Kbps x 385 =98560 Kbps
855 Accesos Inalámbricos	128 Kbps x 855 =109440 Kbps	128 Kbps x 855 =109440 Kbps
TOTAL	208000 Kbps	208000 Kbps

Si sumamos todas las tasas previstas de carga de la red, obtenemos una carga total teórica de unos 208 Mbps, suponiendo que todos los usuarios realizan un aprovechamiento total de la red de manera continua y simultánea.

Dado que los usuarios de la red fija e inalámbrica accederán al servicio en mayor medida en la tarde y su acceso será para fines educativos de consultas y aplicaciones a menor escala que involucra un consumo controlado de ancho de banda y con una utilización menor de los recursos se mantiene un factor de simultaneidad de 0,2 es decir el 20% del total de los usuarios utilizarán los servicios al mismo tiempo este factor de simultaneidad es el que se aplica en los entornos rurales y se determina mediante el siguiente cálculo:

$$C \text{ salida} = \text{Carga Total} \times \text{Factor de simultaneidad}$$

$$C \text{ salida} = 208 \text{ Mbps} \times 20 \% = 41600 \text{ Kbps}$$

Ecuación 3: Cálculo de la Capacidad Máxima de salida garantizada para la red

Esto garantiza 42 Mbps de capacidad del canal mediante un enlace con compartición 1:1 para la salida de Internet que requiere la red para operar de manera óptima en la red según el ancho de banda de operación.

F. Descripción del proyecto técnico

Arquitectura de red inalámbrica

La Arquitectura general adoptada para la red inalámbrica para la prestación de servicios de acceso a internet constará de dos secciones elementales, una red de transporte o backhaul y una red de acceso.

Bajo esta Arquitectura el proyecto consiste en la interconexión mediante la red de acceso los establecimientos educativos ubicados en las parroquias de Imantag, Quiroga, San Francisco y el Sagrario en el cantón Cotacachi.

A partir del Municipio de Cotacachi, lugar en donde se encuentra el Centro de Proceso de Datos (CPD), los servidores necesarios para la gestión de la red y el acceso a la conexión de Internet hacia el enlace de la Red de Transporte o Troncal el nexo entre el los puntos de repetición ubicados en el Cerro Yanahurco o Loma Negra y en la Escuela Marcelino Alzamora y Peñaherrera puntos estratégicos para el despliegue de la cobertura inalámbrica hasta los puntos de la red acceso ubicados en las instituciones beneficiarias como se muestra en el siguiente esquema.

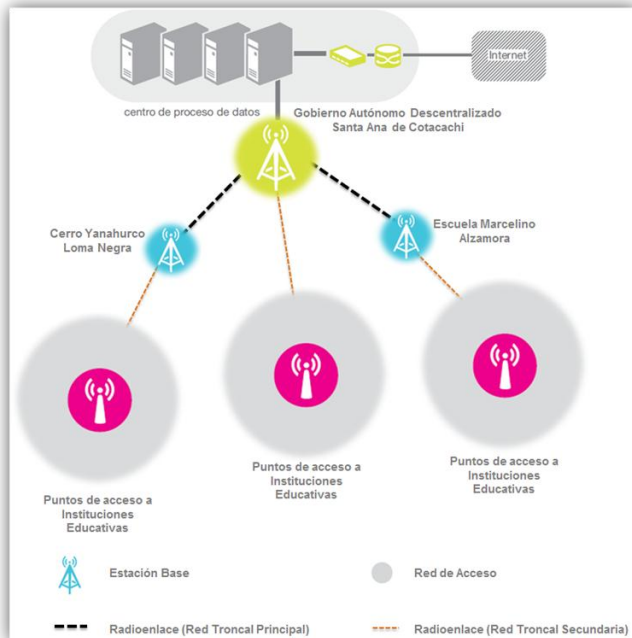


Figura 10: Ubicación Geográfica de las Instituciones Beneficiarias de la totalidad de la Zona Andina

Modo De Operación Y Topología De La Red

De acuerdo a la arquitectura básica tomada como referencia anteriormente el modo de operación de la red inalámbrica es el modo de infraestructura corresponde al criterio de formación de celdas por medio de varios puntos de emisión además tienden a formar una topología de redes punto a multipunto para la interconexión de las puntos de acceso final, mientras que los enlaces troncales de backhaul mantienen la topología punto a punto.

Características de la tecnología wild seleccionadas

La solución tecnológica adoptada consiste en una Red de Área Metropolitana inalámbrica WILD o Wi-Fi Para Largas Distancias bajo el estándar 802.11.

Estándar 802.11n-2009: Es la versión del Estándar 802.11 creado específicamente para extender el alcance para redes de área metropolitana que adopta las siguientes características:
Bandas de Frecuencias: Se utilizará la banda de frecuencias de 5,8 GHz ya que ofrece un espectro menos congestionado y una mejor inmunidad frente a interferencias provenientes de otras fuentes.

Ancho de Banda: El ancho de Banda de los canales de esta versión es de 40 MHz proporciona el doble de capacidad en

relación con las anteriores versiones del estándar aumentando en si la velocidad de transmisión de datos.

Tasa de Transferencia de Datos o Throughput: Este estándar permite tasas transferencia de datos de 300 a 600 Mbps teóricos para garantizar un crecimiento de la red y transmisión fiable de aplicaciones como voz, datos y video.

Flujos: Permitir mejorar el rendimiento del sistema permitiendo el uso de Múltiples Antenas con el sistema MIMO utilizando un mismo canal y frecuencia aprovecha la propagación de múltiples trayectorias para mejorar la velocidad de transmisión reducir la tasa de bits errados.

Requerimientos técnicos de equipos propuestos

Antes de comenzar con la planificación radioeléctrica al realizar las simulaciones teóricas de la propagación de las señales de radio frecuencia para cada enlace es primordial hacer un análisis de las necesidades en cuanto a datos técnicos de los equipos, antenas y la tecnología que serán empleados para el diseño.

Para trabajar con equipos en base a la tecnología WILD se debe realizar un arreglo determinado que consta de las siguientes partes descritas a continuación.

- *Router inalámbrico de larga distancia*

Un Router que permite la interconexión de redes en forma inalámbrica tiene las características de un computador completo, una tarjeta que incluye memoria RAM, microprocesador y puertos usados para entrada y salida (puertos para interfaz de radio inalámbrico) además incorpora un sistema operativo para configuración de enlaces para largo alcance.

Router a utilizar para la red troncal primaria y red troncal secundaria

Placa madre de la solución Mikrotik el Router Board RB433AH un dispositivo muy utilizado para redes de backhaul de alto rendimiento.

Placa a utilizar para puntos de acceso del cliente

Placa madre de la solución Mikrotik el Router Board RB411 un dispositivo muy utilizado para redes de acceso.

- *Tarjetas de red inalámbricas*

La interfaz miniPCI R52HN es seleccionada al permitir operar en el estándar 802.11a/b/g/n. Las especificaciones técnicas que se ajustan a los requerimientos del diseño.

- *Antenas*

Existe una variedad de requerimientos que intervienen en la selección de las antenas entre ellos esta las necesidades presentes en instalaciones entre enlaces punto a punto y enlaces punto a multipunto para lo cual se tiene:

Antenas directivas utilizadas para enlace troncal

Generalmente utilizada para enlaces backhaul de sistemas Punto a Punto una antena tipo reflector parabólico. Antena Ubiquiti Airmax DISH Parabólica de 30 dBi a 5 GHz.

Antenas sectoriales utilizadas para enlaces de distribución

Generalmente utilizada para los enlaces de distribución en la estación base para sistemas Punto a Multipunto, una antena tipo sectorial para cubrir 120° o 90° de área. Antenas Sectoriales Ubiquiti AirMAX de 5GHz de 120° y 90°

Antenas directivas utilizadas para enlace troncal y estaciones cliente

Generalmente utilizada para sistemas Punto a Punto y Punto a Multipunto una antena tipo grilla Lanbowan ANT4958D28PG-DP 5GHz 28 dBi.

- *Pigtails*

Los pigtails son cables coaxiales adecuados para realizar la conexión de un dispositivo inalámbrico (mini-pci, punto de acceso) tarjeta inalámbrica con una antena inalámbrica. Para elegir el pigtail apropiado para el diseño se debe tener presente los conectores a utilizar para conectar los dispositivos comúnmente para las tarjetas inalámbricas del tipo mini-PCI se tiene conectores UFL y MMCX por otra parte para conexión hacia la antena se tienen conectores tipo RPSMA, N o SMA macho o hembra; además se considera que el cable debe ser lo más corto posible para evitar atenuaciones.

Planificación radioeléctrica

Una vez decidido los puntos de apoyo intermedios deberemos hacer un estudio teórico de despejamiento del haz radioeléctrico respecto del perfil topográfico del terreno. Este es un estudio que mediante un software de procesamiento adecuado se puede solucionar, la herramienta de simulación definida Radio Mobile es un software de libre distribución utilizado para el cálculo de radio enlaces que combina las características de los equipos junto con los perfiles geográficos del terreno para proporcionar los resultados esperados.

- *Estudio de cobertura de emplazamientos determinados para el enlace troncal hacia la red de acceso.*

Es importante tener en cuenta los niveles de señal con los que se prevé dotar a las áreas donde operará la red inalámbrica para verificar que la solución técnica propuesta cumpla con los requisitos de cobertura especificados.

El cálculo de la cobertura de las estaciones centrales de repetición se representa en base a los mapas cartográficos de Radio Mobile el nivel de señal de la potencia recibida en los clientes asignada respecto a la siguiente escala de colores donde -67 dBm se considera el nivel más óptimo de señal expresado por el color blanco de la escala y -107 dBm es el peor nivel representado por el color azul:



Figura18: Escala de colores representación de nivel de señal de Potencia de Recepción en dBm

Las siguientes figuras representan el área de cobertura desde cada punto de repetición hacia los establecimientos educativos.

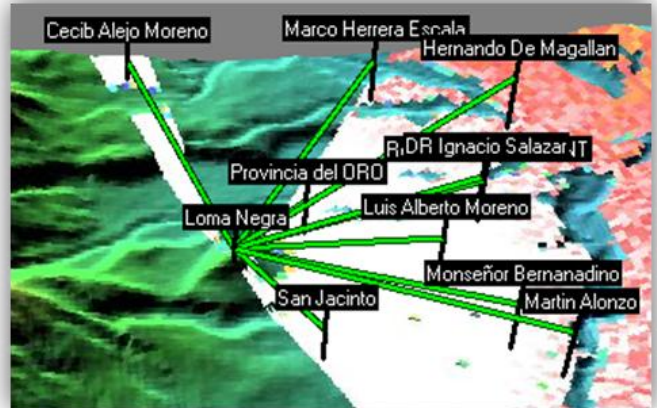


Figura 19: Área de Cobertura de la Antena sectoriales a 120° y la Antena Directiva en el Repetidor de Loma Negra; simulación realizada en el software Radio Mobile.

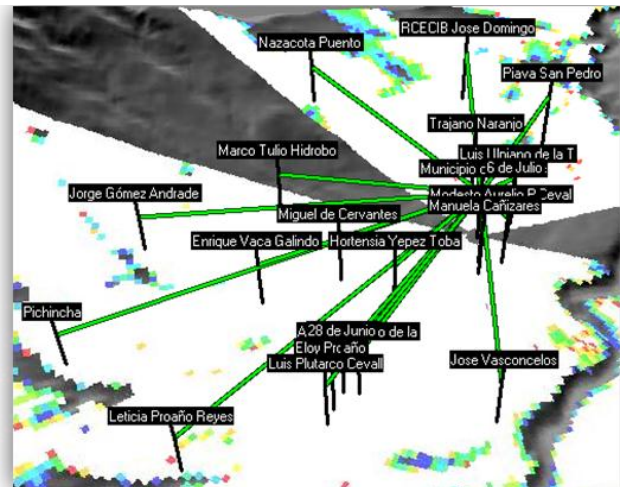


Figura 20: Área de Cobertura de las Antenas sectoriales que cubren un área de 120° y de 180° en el Repetidor del Municipio de Cotacachi; simulación realizada en el software Radio Mobile.

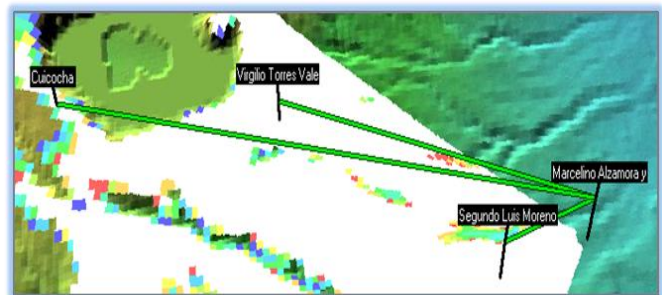


Figura 21: Área de Cobertura de la Antena sectorial que cubren un área de 90° en el Repetidor de la Institución Educativa Marcelino Alzamora; simulación realizada en el software Radio Mobile.

La siguiente figura muestra la Topología detallada de la Red de Distribución y de Acceso a los Clientes presentada al obtener una cobertura óptima para cada enlace.

Topología

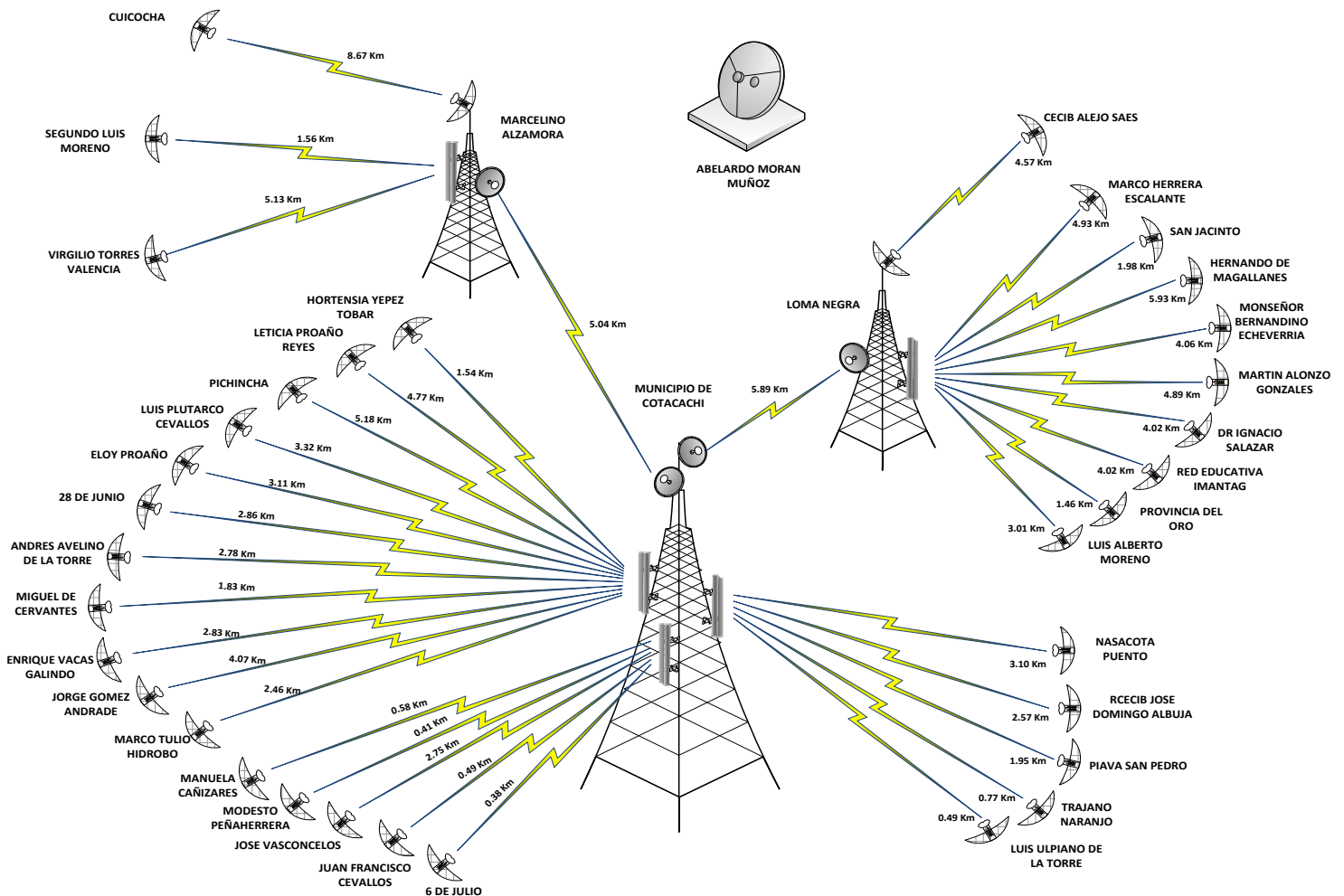


Figura 22: Topología detallada de la Red de Distribución y de Acceso a los Clientes

Simulación de los radioenlaces

Para poder determinar la factibilidad de un enlace se utiliza la herramienta de simulación Radio Mobile en el que se representan los perfiles topográficos permitiendo analizar la existencia de línea de vista, el grado de obstrucción o despeje que tiene el perfil (60 % de la primera zona de fersnel), el nivel de señal en recepción con respecto al margen de sensibilidad del receptor ($>-97\text{dBm}$), la altura mínima recomendable de la antena, la longitud del enlace y las características técnicas mínimas de los equipos.

• Cálculo del Enlace Municipio de Cotacachi- Loma Negra

Al determinar los parámetros del enlace tales como la frecuencia de operación (5475 MHz), la altura y la ganancia de la antena en cada emplazamiento, las potencias de transmisión y recepción (25 dBm), y la sensibilidad en recepción (-97 dBm) los resultados obtenidos de la simulación en el software Radio Mobile muestran una línea visual limpia entre las

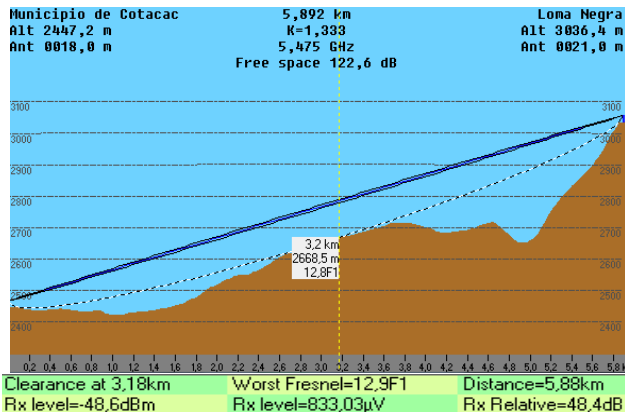
estaciones de Loma Negra y el Municipio de Cotacachi separadas por una distancia de 5.89 Km, con un despeje de 12.9 veces la primera zona de fresnel mayor al límite establecido (0.6 F1 es decir el 60 % requerido).

Las pérdidas en el espacio libre que presenta el enlace toman el valor de 122.6 dB se calculan en base a la distancia recorrida por la señal y la frecuencia a la que opera el enlace.

El nivel de señal recibida es de -48.6 dBm siendo este un valor mayor al mínimo nivel de señal en recepción -97 dBm. Y se obtiene un valor del margen de desvanecimiento mayor a 10 dB, más concretamente 48.4 dB.

De acuerdo al análisis de los resultados obtenidos el enlace Loma Negra – Municipio de Cotacachi es viable.

UBICACIÓN Y PERFIL



MUNICIPIO DE COTACACHI	LOMA NEGRA
Latitud: 00°18'3.05" N	Latitud: 00°21'1.33" N
Longitud: 78°15'59.5" W	Longitud: 78°17'7.64" W
Elevación: 2447.2 m	Elevación: 3036.4 m
Altura de la Antena: 18 m	Altura de la Antena: 21 m
SISTEMA DE RADIO	
Tipo de radio: Mikrotik RB433AH	Tipo de radio: Mikrotik RB433AH
Potencia Tx(dBm): 25 dBm	Potencia Tx(dBm): 25 dBm
Tipo de Antena: Directiva RD-5G-30	Tipo de Antena: Directiva RD-5G-30
Ganancia de antena Tx (dBi): 30 dBi	Ganancia de antena Tx (dBi): 30 dBi
Entradas MIMO: 2x2	Entradas MIMO: 2x2
Perdidas en el cable (dB): 0.5dB	Perdidas en el cable (dB): 0.5dB
Sensibilidad de Rx (dBm): -97dBm	Sensibilidad de Rx (dBm): -97dBm
RENDIMIENTO	
Distancia (km)	5.89 Km
Frecuencia (GHz)	5.475 GHz
Perdidas en el espacio libre (dB)	122.6 dB
1ª zona de fresnel (F1)	12.9 F1
Potencia Radiada Isotrópica Equivalente PIRE (dBm)	54.5 dBm
Nivel de señal recibido (dBm)	-48,6 dBm
Margen de Desvanecimiento (dB)	48.4 dB

Direccionamiento Lógico

El proyecto contempla 35 clientes para brindar el servicio de internet, Además la subred asignada por la DTI del Municipio de Cotacachi es 192.168.10.0/24.

Se debe añadir una subred para la administración de los equipos, con estos antecedentes se requiere las siguientes subredes según la tabla:

Datos:

- Protocolo de Direccionamiento: IPv4
- SubRed Privada asignada por el Municipio de Cotacachi: 192.16.0.0 empieza en la subred 192.168.10.0
- Clase C: 255.255.255.0
- Tipo de direccionamiento lógico: Direccionamiento sin VLSM, debido al crecimiento de cada subred.

Tabla 5: Subred Asignada y Numero de Host requeridos por el proyecto

#	Redes	Numero de Host	Subred Asignada
1	Administración	49	192.168.10.0/24
2	Marco Herrera Escalante	7	192.168.11.0/24
3	Red Educativa Imantag	29	192.168.12.0/24
4	Provincia De El Oro	9	192.168.13.0/24
5	Monseñor Bernardino Echeverría	6	192.168.14.0/24
6	Cecib Alejo Saes	6	192.168.15.0/24

7	Luis Alberto Moreno	8	192.168.16.0/24
8	Hernando De Magallanes	11	192.168.17.0/24
9	Dr. Ignacio Salazar	5	192.168.18.0/24
10	Andrés Avelino De La Torre	15	192.168.19.0/24
11	Segundo Luis Moreno	9	192.168.20.0/24
12	Eloy Proaño	20	192.168.21.0/24
13	Leticia Proaño Reyes	14	192.168.22.0/24
14	28 De Junio	9	192.168.23.0/24
15	Virgilio Torres Valencia	7	192.168.24.0/24
16	Cuicocha	6	192.168.25.0/24
17	Marcelino Alzamora Y Peñaherrera	6	192.168.26.0/24
18	Luis Plutarco Cevallos	18	192.168.27.0/24
19	Marco Tulio Hidrobo	5	192.168.28.0/24
20	Juan Francisco Cevallos	5	192.168.29.0/24
21	San Jacinto	13	192.168.30.0/24
22	Jorge Gómez Andrade	7	192.168.31.0/24
23	Martin Alonso González Lalanne	6	192.168.32.0/24
24	Piava San Pedro O Luis Felipe Borja	6	192.168.33.0/24
25	Trajano Naranjo	6	192.168.34.0/24
26	Nazacota Puento	5	192.168.35.0/24
27	Rcecib Cotacachi José Domingo Albuja	8	192.168.36.0/24
28	Pichincha	10	192.168.37.0/24
29	Enrique Vacas Galindo	5	192.168.38.0/24
30	Miguel De Cervantes	8	192.168.39.0/24
31	José Vasconcelos	9	192.168.40.0/24
32	Luis Ulpiano De La Torre	13	192.168.41.0/24
33	6 De Julio	32	192.168.42.0/24
34	Modesto Aurelio Peñaherrera	26	192.168.43.0/24
35	Hortensia Yépez Tobar	7	192.168.44.0/24
36	Manuela Cañizares	22	192.168.45.0/24

Políticas de control de acceso

En la actualidad, las organizaciones educativas hacen uso de tecnologías de la información para su operación diaria. Sin embargo, para el uso adecuado de la infraestructura de red por parte de los usuarios es indispensable ofrecer una normativa en base a políticas de control de acceso a páginas web que surgen como una herramienta para ayudar en el proceso de concientización de los miembros de cada institución educativa sobre la importancia y sensibilidad del manejo de los contenidos de la información en internet.

Política de filtrado WEB.

El servicio de internet en el diseño está orientado al sector académico por lo tanto se debe filtrar contenido no adecuado para esta actividad como para la sociedad.

Para la aplicación de esta política es necesaria la identificación de los contenidos a ser bloqueados según la siguiente tabla:

Tabla 61: Reglas de Acceso a contenido del Servidor Proxy

CATEGORÍA	ACCIÓN	DETALLE
Pornografía y Lenguaje obsceno	Denegar	No apropiado
Crueldad y violencia	Denegar	No apropiado
Entretimiento y Juego online	Denegar	No apropiado
Actividad ilegal	Denegar	No apropiado
Drogas y armas	Denegar	No apropiado
Publicidad en línea.	Denegar	No apropiado
Cualquier contenido	Permitir	Apropiado

Para la aplicación de las reglas ya descritas se debe aplicar el modelo de políticas permisivas en las cuales se permite todo a

excepción de las negaciones impuestas por el servicio del servidor web proxy.

Arquitectura

Para la implementación de esta seguridad el dispositivo debe trabajar entre la red interna (LAN) y el servicio de internet según la siguiente figura para que todas las solicitudes a internet sean analizadas y filtradas.

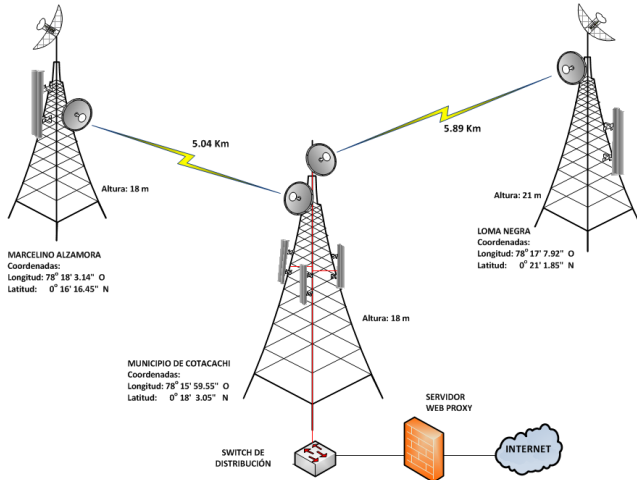


Figura 231: Arquitectura del Servidor Proxy

Funciones principales que debe cumplir el servidor proxy para su buen funcionamiento.

1. El filtrado web que brinde el dispositivo debe contar con repositorios predefinidos y que se actualicen constantemente en línea.

Ejemplos:

- <https://www.stopbadware.org/>
- <http://www.sophos.com/>
- <http://dansguardian.org/>

2. Debe contener herramientas que permita generar listas blancas y negras con la URL para personalizar el filtrado.
3. Debe filtrar sitios web que trabajen con protocolos tanto en HTTP como en HTTPS.
4. Debe permitir la gestión de la memoria cache para mantenimiento y solución de inconvenientes con el servidor.
5. Debe trabajar con la función de proxy transparente para evitar la configuración en cada uno de los usuarios su direccionamiento IP.

V. COSTO BENEFICIO

Se presenta el presupuesto referencial en base al diseño final propuesto que define el costo aproximado de inversión y operación para cinco años de duración que proporcione los elementos necesarios para sustentar la decisión mediante la comparación de los costos previstos y los beneficios esperados.

Costo total del proyecto

El Costo total de proyecto es la suma de los costos de telecomunicaciones, costos por infraestructura, costos de energía y protección eléctrica, los costos de equipamiento del sistema informático y los costos considerados para operación de la red como se muestra en la tabla:

Tabla 72: Costo Total del Proyecto

TIPO	COSTO TOTAL
Costo de Infraestructura	14109.40 USD
Costo de Telecomunicaciones	31211.04 USD
Costos de Energía y Protección Eléctrica	17829.28 USD
Costos del Sistema Informático	117600.00 USD
Costos de Operación	232814.40 USD
Costos varios no contemplados	3000.00 USD
TOTAL	416645.12 USD

El presupuesto total de la propuesta es de 416645.12 USD (CUATROCIENTOS DIECISÉIS MIL SEISCIENTOS CUARENTA Y CINCO DÓLARES CON DOCE CENTAVOS).

Análisis de beneficios de la implementación

La propuesta de red inalámbrica representa para el cantón Cotacachi mejoras en cientos de aspectos al permitir la garantía del acceso universal a las tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), el cumplir con un servicio para permitir el desarrollo económico, social, cultural, solidario e inclusivo de la comunidad.

Entre los beneficiarios directos constan un total de 9082 estudiantes y 482 docentes y alrededor de 18970 habitantes los beneficiarios indirectos de los servicios que prestará el proyecto en el área andina del cantón Cotacachi.

Permitir a los usuarios disponer de la movilidad dentro del radio de cobertura pre-establecido en el diseño, la conectividad al servicio de internet de banda ancha con el filtrado de páginas web de contenido inapropiado y el mantener múltiples aplicaciones y funcionalidades que representa el acceso a una red de internet para la colectividad en general.

Lograr la alfabetización tecnológica de manera paulatina especialmente enfocada para los sectores rurales del cantón. Además de utilizar el servicio de internet como una herramienta para complementar y modernizar las metodologías y formas de enseñanza en la educación, al integrar las tecnologías de la Información y Comunicación.

Obtener un desarrollo y progreso socioeconómico al crear centros de capacitación y de uso de las TIC's para la ciudadanía en general que permita obtener un incremento de la capacidad productiva de la misma.

Mejorar la gestión pública y acercar a la población a través de los trámites administrativos, informativos y consultas en línea.

CONCLUSIONES

- En el periodo académico 2012-2013 el área andina del cantón de Cotacachi concentra un total 40 instituciones educativas; tres de ellas particulares y la unidad educativa del milenio que cuenta con un enlace de internet propio los 36 establecimientos educativos restantes son públicos.
- El estudio de la Tecnología WILD Wi-Fi de larga distancia basada en el protocolo 802.11 es un conjunto de soluciones para transmisiones de voz y datos que alcanza distancias de entre 50 a 100 km con el uso de bandas no licenciadas ISM y UNII además utiliza técnicas en la capa física y capa de enlace de datos para establecer un balance específico en algunos parámetros que definen un enlace a larga distancia.
- El estado ecuatoriano y el desenvolvimiento de las actividades en el sector de la telecomunicaciones se encuentran regido por Organismos responsables de controlar, supervisar el cumplimiento de normas y reglamentos, en el despliegue de redes inalámbricas se analiza la Norma de Modulación Digital de Banda Ancha que principalmente define los parámetros permitidos en potencia de transmisión, ganancia de antenas, bandas de frecuencia permitidas y formularios necesarios para implementar el proyecto en sistemas de modulación de banda ancha.
- En el diseño se definen tres puntos de repetición ubicados en el municipio de Cotacachi, la loma negra y en la escuela Marcelino Alzamora para distribuir a 34 unidades educativas con una capacidad máxima requerida total de 42 Mbps del cálculo de ancho de banda para el caso de estudio, los equipos que cumplen los requerimientos técnicos del proyecto fueron de la marca Mikrotik RB433 para las estaciones base y RB411 para las estaciones cliente cada una con un radio R52Hn que opera en el estándar 802.11n.
- Para verificar la viabilidad del enlace se observan los resultados presentados por el software de simulación de cada perfil topográfico y el cumplimiento de ciertos requisitos específicos como la existencia de línea de vista al obtener un despeje del 60 % del radio de la primera zona de fresnel un valor mayor o igual a $0.6 F1$, el nivel de señal recibida obtenido en los resultados mayor al mínimo nivel de señal en recepción (-97 dBm); y el valor del margen de desvanecimiento mayor a 10 dB, la altura mínima recomendada para ubicación de los equipos y las especificaciones técnicas de los equipos.
- Para el análisis de costo beneficio se determinan los costos de inversión y costos de operación para la red inalámbrica en un periodo de duración de cinco años.
- La inversión que representa el proyecto es relativamente baja comparada con los beneficios que representa el proyecto actualmente planteado para los 9082 estudiantes y 482 docentes beneficiarios directos y alrededor de 18970 habitantes beneficiarios indirectos de los servicios que prestará en el área andina del cantón Cotacachi.

RECONOCIMIENTO

Se expresa un especial reconocimiento al Gobierno Autónomo Descentralizado Santa Ana de Cotacachi al Lic. Manuel Narváez y al Ing. Heriberto Sanipatín director del Departamento de Tecnologías en el Municipio de Cotacachi, por facilitarme la realización del presente proyecto por todo el apoyo y colaboración brindada.

REFERENCIAS

- [1] GAD Cotacachi. (Marzo de 2011). *Plan de Desarrollo Cantonal y Ordenamiento Territorial del Cantón Cotacachi (PDOT)*. Cotacachi.
- [2] Cisco System, I. (2006). *Fundamentos de redes inalámbricas*. Madrid.: Pearson Educacion.
- [3] Rendón, Á., Ludeña, P., & Martínez, A. (2011). *Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para zonas rurales Aplicación a la atención de salud en países en Desarrollo* (1 ed.). Madrid: CYTED.
- [4] WNDW. (2013). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo* (4 ed.). Copenhagen: WNDW. Obtenido de <http://wndw.net/pdf/wndw3-es/wndw3-es-ebook.pdf>
- [5] Consejo Nacional de Telecomunicaciones. (2014). *CONATEL*. Obtenido de <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/conatel/>
- [6] Departamento de Tecnologías Informáticas GAD Cotacachi. (2013). *Proyecto de Interconectividad Cantonal para Servicios Municipales y Acceso a Internet en Unidades Educativas y Entidades Estatales del Cantón Cotacachi en la Provincia de Imbabura*. Cotacachi: GAD Santa Ana de Cotacachi.
- [7] Mikrotik. (Junio de 2014). *RouterBOARD 433AH*. Obtenido de <http://routerboard.com/RB433AH>
- [8] Mikrotik. (Junio de 2014). *RouterBOARD R52Hn*. Obtenido de <http://routerboard.com/R52Hn>
- [9] Mikrotik. (Junio de 2014). *RouterBOARD411*. Obtenido de <http://routerboard.com/RB411>
- [10] Mini Service Online. (Enero de 2010). *Pigtails*. Obtenido de <http://www.miniserviceonline.com/productos/Cables.htm#>
- [11] Ubiquiti Networks. (Junio de 2014). *Antenas Sectoriales AirMAX*. Obtenido de http://dl.ubnt.com/datasheets/airmaxsector/airMAX_Sector_Antennas_DS.pdf
- [12] Ubiquiti Networks. (Junio de 2014). *Rocket Dish*. Obtenido de http://dl.ubnt.com/datasheets/rocketdish/rd_ds_web.pdf
- [13] Lanbowan. (Junio de 2014). *Lanbowan Antena*. Obtenido de <http://www.lanbowan.com/ANT4958D28PG-DP.htm>
- [14] Luis Camacho, R. Q. (2009). *WiFi Based Long Distance*. GTR-PUCP.

Sofía E. Rosero A.



Nació en Ibarra-Ecuador el 30 de Marzo de 1989. Realizó sus estudios primarios en la Unidad Educativa “La Inmaculada Concepción”. En el año 2006 obtuvo su título de Bachiller en Físico Matemático en la misma institución. Actualmente, es egresada de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra.