

Estudio y diseño de una red inalámbrica para dotar servicios de Telecomunicaciones a 55 centros educativos del cantón Shushufindi aplicando criterios de calidad de servicio y seguridad de red

Víctor Alberto Ramón Armijos María Soledad Jiménez Jiménez

*Escuela Politécnica Nacional
vara_1986@hotmail.com
maria.jimenez@epn.edu.ec*

Abstract— Hoy en día el acceso a Internet se ha convertido en una herramienta necesaria para el aprendizaje en la educación, la información ahora se encuentra en forma digital y las enciclopedias fueron reemplazadas por las bibliotecas virtuales. Las tecnologías inalámbricas son una solución para satisfacer la demanda de Internet en zonas rurales, cumpliendo con parámetros de eficiencia y calidad requeridos por el Ministerio de Telecomunicaciones. Es un compromiso con la sociedad y en especial con los sectores más vulnerables del sector rural, contribuir con los conocimientos adquiridos para brindar una solución tecnológica acorde con las necesidades de la zona. Por ende en el presente artículo se diseñará una red Inalámbrica para brindar los servicios de Internet, voz y video a 55 centros educativos del cantón Shushufindi, provincia de Sucumbíos.

Index Terms— Red inalámbrica, rural, Wi-Fi, radio mobile, calidad de servicio.

I. INTRODUCCIÓN

PREVIO al diseño de la red inalámbrica se presenta las tecnologías inalámbricas aplicables al diseño de la red, luego se presenta los datos de ubicación, el número de estudiantes, el número de docentes, los equipos disponibles, las necesidades tecnológicas y la infraestructura civil de las instituciones educativas del cantón Shushufindi.

Para el diseño de la red se realizan los cálculos de la velocidad de transmisión requerida por las diferentes aplicaciones de datos, voz y video, además se proyecta la velocidad de transmisión para 5 años a futuro.

Una vez conocida la velocidad de transmisión total que debe soportar la red se procede a escoger la tecnología inalámbrica, y se establece los parámetros de la red.

Con ayuda de un software de simulación se realiza el cálculo del enlace, luego se demuestra que los resultados de la simulación son similares a los resultados teóricos. A continuación se procede a simular los enlaces punto a punto y punto multipunto. Se diseña la red de distribución, la granja de servidores y finalmente se diseña el NOC (*Network Operations Center*).

II. FUNDAMENTOS DE LAS TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

A. Wi-Fi

La norma IEEE 802.11 fue creada en junio de 1997 por el grupo de trabajo IEEE 802.11, cuyo objetivo fue desarrollar especificaciones para sustituir el equivalente a las capas físicas y MAC de la norma IEEE 802.3, de esta forma se aseguraría la compatibilidad en las redes de área local (LAN) de cable y las redes locales inalámbricas.

El estándar IEEE 802.11 propone velocidades de 1 y 2 Mbps y un sistema de cifrado WEP (*Wired Equivalent Privacy*), operando en la banda de 2.4 GHz.

En abril del 2000 WECA (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance*) publica el primer estándar de interoperabilidad de equipos con la norma IEEE 802.11b, esta norma ofrece velocidades desde 5 hasta 11 Mbps con frecuencia de operación de 2.4 GHz, luego llegó IEEE 802.11a que a diferencia de su antecesora trabaja a una frecuencia de 5GHz y velocidades hasta 54 Mbps.

Tras muchos debates se aprobó una nueva especificación, IEEE 802.11g, que al igual que la “b” utilizaba la banda de los 2,4GHz pero incrementaba la velocidad hasta los 54Mbps.

El estándar 802.11n fue ratificado por la organización IEEE el 11 de septiembre de 2009, a diferencia de las otras versiones de Wi-Fi, 802.11n puede trabajar en dos bandas de frecuencias: 2,4 GHz y 5 GHz. El estándar 802.11n mejora significativamente el rendimiento de la red, con una velocidad de transmisión máxima de 600 Mbps.

El estándar IEEE 802.11ac es la especificación actual, con tasas de transferencia superiores a 1 Gbps.

B. Estándar IEEE 802.16

Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX), acrónimo de Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas, es una norma de transmisión por ondas de radio de última generación orientada a la última milla que permite la recepción de datos por microondas, ofreciendo total cobertura en áreas de hasta 50 km con LOS (*Line Of Sight*) y un tamaño de celda de hasta 7 km en condiciones NLOS (*Non Line Of Sight*) y provee velocidades de hasta 70Mbps, es compatible con IEEE802.11.

WiMAX es una tecnología basada en estándares de red de área metropolitana, es utilizado como acceso de última milla y proporciona servicios como IP, ATM, Frame Relay. Es ideal para transmitir información a zonas de difícil acceso, donde es imposible llegar con las tecnologías tradicionales.

El estándar utilizado es el IEEE 802.16, para garantizar la compatibilidad e interoperabilidad entre diferentes fabricantes se creó el WiMAX Forum.

III. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CENTROS EDUCATIVOS EN EL CANTÓN SHUSHUFINDI

A. Ubicación Geográfica



Fig. 1 División política de la provincia de Sucumbios [26]

El cantón Shushufindi pertenece a la provincia de Sucumbios, en la Fig.1 [7] se ilustra la división política de la provincia de Sucumbios, esta provincia se encuentra ubicada en la región nororiental del Ecuador, limita al norte con los cantones Lago Agrio y Cuyabeno; al sur con la provincia de Francisco de Orellana; al este con el cantón Cuyabeno; y al oeste con el cantón Lago Agrio y parte de la provincia Francisco de Orellana. La extensión cantonal es de 2.482 km².

El cantón Shushufindi tiene 6 parroquias que son: Shushufindi, Limoncocha, San Roque, Siete de Julio, San Pedro de los Cofanes y Pañacocha. Shushufindi es la cabecera cantonal y tienen una relación directa con el resto de las parroquias, estas parroquias están unidas por diferentes vías terrestres y en algunos casos el acceso es fluvial.

B. Centros Educativos

El presente proyecto está orientado a brindar servicio de Internet prioritariamente a zonas rurales no atendidas, para ello se realizaron visitas técnicas a los centros educativos de todo el cantón y así determinar sus necesidades. Para la visita técnica se contó con ayuda técnica y logística de funcionarios del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi. En la Tabla I se resume la información obtenida luego de la visita técnica.

Tabla I
RESUMEN DE LOS CENTROS EDUCATIVOS DEL CANTÓN SHUSHUFINDI

Parroquia	N° Alumnos Aprox.	N° Profesores
Shushufindi	8052	403
7 de Julio	1160	89
San Pedro de los Cofanes	1032	55
Limoncocha	157	6
San Roque	836	49
Pañacocha	49	2
Total	11286	604

Como se observa en la tabla 1, este proyecto beneficiará aproximadamente a 11.286 estudiantes, 604 docentes en 55 planteles distribuidos en todo el cantón Shushufindi.

C. Requerimientos Técnicos De Usuarios

El alcance del presente proyecto de titulación será, el estudio y diseño de una red inalámbrica para dotar servicios de telecomunicaciones a 55 centros educativos del cantón Shushufindi, aplicando criterios de calidad de servicio y seguridad de red. Por lo tanto, el equipamiento de computadores corre por cuenta de las autoridades de las instituciones educativas.

Las necesidades de los centros educativos serán analizadas con criterios técnicos, para dimensionar la velocidad de transmisión de acceso a Internet y el número de líneas telefónicas.

IV. DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA

La red estará constituida por un Centro de Operaciones de la Red (NOC), la red troncal y la red de acceso. El NOC estará ubicado en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi, desde donde se proveerá todos los servicios hacia toda la red.

La red troncal estará constituida por enlaces inalámbricos punto – punto, también llamados enlaces troncales por soportar un mayor flujo de datos.

La red de acceso conecta las diferentes radio bases con las escuelas por medio de enlaces punto a multipunto; estos enlaces serán llamados enlaces de acceso, por su función dentro de la red.

Se distingue tres clases de aplicaciones que el usuario utilizará y son: datos, audio y video, a continuación se analiza la velocidad de transmisión requerida por cada una de ellas.

A. Velocidad De Transmisión Para Datos

Cuando una persona utiliza el Internet por motivos de educación y aprendizaje, genera tráfico del tipo de navegación web, para obtener información necesita descargar documentos, para comunicación en general utiliza correos electrónicos, y por razones de trabajo necesita transferir archivos.

En la Tabla II se presenta un resumen de las velocidades de transmisión que necesita un estudiante y docente para acceder a Internet, ver referencias [27] - [40].

Tabla II
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN REQUERIDA POR UN USUARIO

Servicio	Velocidad de Transmisión por Estudiante (Kbps)	Velocidad de Transmisión por Docente (Kbps)
Navegación web	209,84	209,84
Correo electrónico	29,67	59,33
Descarga de documentos	29,26	87,78
Transferencia de archivos	9,57	47,85
Streaming de video	0,00	800,00
Total	278,30	1204,80

Por lo tanto la velocidad de transmisión para acceder al Internet, de un estudiante y docente es:

$$V_{tx_{DATOS\ POR\ ESTUDIANTE}} \approx 280\ Kbps$$

$$V_{tx_{DATOS\ POR\ DOCENTE}} \approx 1,200\ Mbps$$

B. Velocidad De Transmisión Para Voz

Para la transmisión de voz sobre una red Ethernet se emplea la tecnología VoIP, la velocidad de transmisión necesaria para VoIP depende del códec que se utilice. El códec que se empleará en este proyecto es el G.729 por tener buena calidad de voz, poco retardo y consume poca velocidad de transmisión, en la Tabla III [8] se muestra sus características.

TABLA III
CARACTERÍSTICAS DEL CÓDEC G. 729

Códec	Tamaño de la muestra (bytes)	Tasa de bits (kbps)	Tamaño payload (bytes)	Paquetes por segundo (pps)
G. 729	10	8	20	50

Para calcular la velocidad de transmisión VoIP, se multiplica el tamaño total del paquete por la tasa por paquete. Entonces, para realizar una llamada utilizando el códec G.729, el tamaño total del paquete es 78 Bytes (624 bits) con una tasa por paquete de 50 pps y una velocidad de transmisión de 31,2 Kbps.

Se define una extensión telefónica por cada institución educativa, la justificación es que al menos cada escuela cuenta con un medio de comunicación independiente del servicio de Internet, por lo tanto el total de extensiones telefónicas será de 55.

La velocidad de transmisión de VoIP necesaria para las 55 escuelas es:

$$V_{tx_{VOIP\ TOTAL}} = 31,2\ Kbps * 55$$

$$V_{tx_{VOIP\ TOTAL}} = 1,72\ Mbps$$

Para conectar los usuarios a la red pública de telefonía conmutada (PSTN, *Public Switched Telephone Network*) se lo realizará mediante líneas telefónicas.

Para el diseño de la PSTN se tiene una probabilidad de bloqueo del 1% y 5,5 Erlang de tráfico, para un valor de 5.876 Erlang se requiere 12 enlaces.

Por lo tanto la central telefónica necesita 12 líneas telefónicas para conectar las 55 extensiones con la PSTN.

C. Velocidad De Transmisión Para Videollamada

Para determinar la velocidad necesaria para realizar una videollamada se debe establecer el códec de video que se utilizará, la resolución y los fotogramas por segundo (FPS). Para el diseño se empleará el códec H.264 por tener buen nivel de compresión y por su buena calidad, la resolución será de 1280 X 720 a 25 imágenes por segundo, con estos parámetros el usuario podrá tener un video en alta resolución [9].

El tamaño promedio de un fotograma (frame) con el códec H.264 con una resolución de 1280X720 es 18 Kbyte, la sobrecarga por cada fotograma es de 812 Bytes [10]. La velocidad de transmisión para realizar video conferencia se calcula con la ecuación (1) [11].

$$V_{tx\ videollamada} = \frac{\text{total de datos transmitidos}}{1\ fotograma} * FPS$$

$$V_{tx\ videollamada} = \frac{150496\ bits}{1\ fotograma} * \frac{25\ fotogramas}{segundo}$$

$$V_{tx\ videollamada} \approx 3,73\ Mbps$$

Se establece el servicio de videollamada estará disponible en cada una de las 6 parroquias del cantón Shushufindi, debido a que no todas las escuelas tienen la adecuada infraestructura para su implementación, por lo tanto el número de usuarios de videollamada será de 6. Por lo tanto, la velocidad de transmisión de videollamada total resultante es igual a:

$$V_{tx\ videollamada\ total} = 6 * 3,73\ Mbps$$

$$V_{tx\ videollamada\ total} = 22,38\ Mbps$$

D. Proyección De Usuarios

Una vez determinada la velocidad de transmisión de los diferentes tipos de tráfico, se realiza una estimación del crecimiento de usuarios, y así determinar la velocidad de transmisión requerida por cada institución.

Se establece que deberá existir 1 computador por cada 2 docentes, y en el futuro lo ideal sería que exista un computador por docente.

También se establece que deberá existir 1 computador para el personal administrativo, es decir un computador para cada director de la institución educativa, en la Tabla IV se resumen estos parámetros.

TABLA IV
NÚMERO DE COMPUTADORES POR DOCENTES Y POR DIRECTOR

	N° Docentes	N° PCs por Docentes	N° PCs por Director	Total de PCs
TOTAL	604	314	55	369

Según las Normas Internacionales de Contabilidad (NIC), la vida útil de los equipos de computación y de redes es usualmente de 5 años, por lo tanto durante este tiempo se debe garantizar el servicio de Internet, voz y video.

La tasa de matriculación escolar en la región Amazónica según el censo del 2010 realizado por Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC es del 0.92 % [12], esta tasa será la considerada para estimar la población estudiantil dentro de 5 años.

Para estimar el número de computadoras se utiliza el indicador de alumnos por computador; para disminuir la brecha de acceso a la tecnología se debe invertir en equipamiento durante los próximos 5 años y se establece que debe existir 1 computador por cada 10 estudiantes; y de esta forma en un futuro llegar a tener 1 computador por cada estudiante.

Para calcular el crecimiento poblacional estudiantil durante 5 años, se debe usar la fórmula de crecimiento poblacional compuesto que se describe en la ecuación (2) [13].

$$P_f = P_o(1 + r)^t \quad (2)$$

En la Tabla V se presenta la población estudiantil y el número de computadores dentro de 5 años.

TABLA V
CRECIMIENTO ESTUDIANTIL DENTRO DE 5 AÑOS

	Año 2013		Año 2018	
	N° Alumnos	N° PCs	N° Alumnos	N° PCs mínimo
TOTAL	11.278	209	11.806	1.180

E. Velocidad De Transmisión Total Requerida

En las instituciones educativas existen dos jornadas de trabajo: diurna y vespertina, esto permite tener un 50% de simultaneidad.

En la tabla 2 se determinó la velocidad de transmisión para un estudiante es de 280 Kbps, con un factor de compartición de 1 a 2 y con el 50% de simultaneidad, la velocidad de transmisión sería de 140 Kbps.

Por lo tanto la velocidad de transmisión de datos (Internet) para los estudiantes es igual a 280 Kbps, por los 1180 computadores estimados para el año 2018, dividido para el factor de compartición y multiplicado por la simultaneidad, se tendrá:

$$V_{tx \text{ DATOS ESTUDIANTES}} = \frac{280 \text{ Kbps} * 1180}{2} * 50\%$$

$$V_{tx \text{ DATOS ESTUDIANTES}} = 82,60 \text{ Mbps}$$

Mientras que la velocidad de transmisión necesaria para cada que un docente o un director acceda a Internet es de 1.2 Mbps. En la tabla 4 se observa que el número total de computadoras para los docentes y directores es igual a 369, por lo tanto la velocidad de transmisión total será igual a:

$$V_{tx \text{ DATOS DOCENTES Y ADMINISTRATIVOS}} = \frac{1,2 \text{ Mbps} * 369}{2} * 50\%$$

$$V_{tx \text{ DATOS DOCENTES Y ADMINISTRATIVOS}} = 110,70 \text{ Mbps}$$

La velocidad de transmisión total de datos será igual a la suma de velocidad de los estudiantes, docentes y personal administrativo, entonces se tiene:

$$V_{tx \text{ TOTAL DATOS}} = 82,60 \text{ Mbps} + 110,70 \text{ Mbps}$$

$$V_{tx \text{ TOTAL DATOS}} = 193,30 \text{ Mbps}$$

La velocidad de transmisión que debe soportar la red es:

$$V_{tx \text{ TOTAL}} = V_{tx \text{ TOTAL DATOS}} + V_{tx \text{ TOTAL VOIP}} + V_{tx \text{ TOTAL Video llamada}}$$

$$V_{tx \text{ TOTAL}} = 193,30 \text{ Mbps} + 1,72 \text{ Mbps} + 22,38 \text{ Mbps}$$

$$V_{tx \text{ TOTAL}} = 217,40 \text{ Mbps}$$

F. TECNOLOGÍA PARA EL DISEÑO

Para el diseño de la red se tiene dos soluciones inalámbricas que son Wi-Fi y WiMAX.

El proyecto técnicamente es viable realizar tanto con Wi-Fi como con WiMAX; en el aspecto regulatorio, Wi-Fi trabaja en las bandas de frecuencias no licenciadas; mientras que WiMAX no lo hace, por lo que requiere de permisos para operar en las bandas de 2.5 GHz y 3.5 GHz.

En el aspecto económico WiMAX es una tecnología que no existe en el mercado local y requiere de trámites de importación, esto eleva sus costos y dificulta procesos de garantías; mientras que Wi-Fi es una tecnología que existe en el mercado local y es más accesible al consumidor. Por estas razones la tecnología que se utilizará para el diseño del presente proyecto es Wi-Fi.

G. Consideraciones Para La Red Inalámbrica

Para enlaces punto a punto se trabajará en la frecuencia de 5.8 GHz y para enlaces punto a multipunto en la frecuencia de 2.4 GHz, porque se puede utilizar antenas de mayor ganancia en enlaces punto a punto.

La ARCOTEL sugiere para las frecuencias de 2.4 GHz y 5.8 GHz se tiene una potencia máxima de transmisión de 1000 mW y no se especifica la ganancia máxima de la antena.

Para el diseño de los enlaces punto a punto es necesario conocer las características de los equipos que existen en el mercado, en la Tabla VI [14] [15], se resumen los parámetros que deben tener los equipos.

TABLA VI
PARÁMETROS PARA LOS ENLACES PUNTO A PUNTO Y PUNTO MULTIPUNTO

Parámetro	Enlace	Enlace
	Punto a punto	Punto - multipunto
Rango de frecuencia	5725 – 5875 [mhz]	2400-2483.5[mhz]
Frecuencia central	5800 [mhz]	2400 [mhz]
Potencia de transmisión	22 [dbm]	21 [dbm]
Ganancia de tx	28 [dbi]	15 [dbi]
Ganancia de rx	28 [dbi]	23 [dbi]
Sensibilidad mínima de rx	-75 [dbm]	-85 [dbm]

H. Ubicación De Las Radio Bases

La ubicación de las radio bases depende de la distancia existente entre los centros educativos, el objetivo de una radio base es asociar el mayor número de escuelas dentro de un radio no mayor a 10 Km y que exista línea de vista entre la radio base y la escuela.

Luego de analizar la topografía del cantón Shushufindi con ayuda del software *Radio Mobile*, se tiene que la ubicación de las radio bases (BS) serán en 8 centros educativos y 1 radio base en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi. En la Tabla VII se muestra la ubicación específica de las radio bases

TABLA VII
UBICACIÓN DE LAS RADIO BASES

Torre	Latitud	Longitud	Localidad
BS1	0°11'7.71"S	76°38'38.88"O	G. A.D. M del cantón Shushufindi
BS2	0°06'35.00"S	76°41'13.14"O	Río Eno
BS3	0°08'20.71"S	76°34'05.30"O	Escuela fiscal mixta Provincias Unidas
BS4	0°11'6.26"S	76°46'49.60"O	C.E.B ciudad de Portoviejo
BS5	0°10'40.23"S	76°50'03.10"O	Escuela José María Urbina
BS6	0°14'17.59"S	76°41'03.32"O	C.E.B 7 de agosto
BS7	0°15'44.93"S	76°42'12.99"O	Colegio Nacional Juan Montalvo
BS8	0°22'56.20"S	76°27'38.96"O	C.E.B río Adalberto Ortiz
BS9	0°17'48.52"S	76°21'44.14"O	C.E.B Río Yasuni

I. Comparación De Resultados Del Modelo Teórico Y Del Software Radio Mobile

El software Radio Mobile permite obtener resultados de enlace de forma muy rápida, los datos que el usuario debe introducir son: ubicación del transmisor y receptor, rango de frecuencia de operación en MHz, polarización de la antena,

potencia de transmisión en Watt o dBm, sensibilidad de equipo receptor en dBm, pérdidas por líneas de transmisión, tipo de antena, ganancia de antena en dBi, altura de la antena en metros. En la Fig. 2 se muestra el enlace entre la radio base BS1 y BS2.

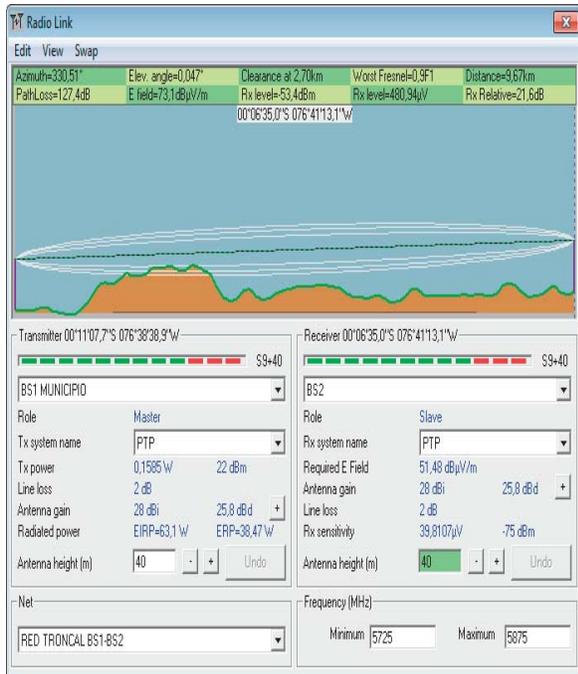


Fig. 2 Perfil y resultados del radioenlace BS1 – BS2

Para validar los resultados obtenidos con el software Radio Mobile se compara con el modelo teórico, estos datos se observan en la Tabla VIII.

TABLA VIII
COMPARACIÓN ENTRE EL CÁLCULO TEÓRICO Y EL MODELO DE CÁLCULO CON RADIO MOBILE

Parámetro	Cálculo Teórico	Software Radio Mobile	Error %
Distancia de enlace "D" [Km]	9,66	9,67	0,10
Ángulo de elevación BS1- BS2 [°]	0,047	0,047	0
Azimut BS1-BS2 [°]	330,51	330,51	0
Azimut BS2-BS1 [°]	150,51	150,51	0
Altura de despeje "hdes" [m]	8,48	8,54	0,71
Margen de despeje "Hdes/RF1"	0,85	0,9	5,88
Pérdidas en espacio libre "LF" [dB]	127,37	127,4	0,02
Pérdidas por obstrucción "LD(v)" [dB]	0,00	0,00	0,00
Potencia de recepción "PRX" [dBm]	-53,37	-49,4	0,06
Margen de desvanecimiento "MD" [dB]	21,63	21,64	0,04
Potencia isotrópica efectiva irradiada "EIRP" [w]	63,10	63,1	0,00
Nivel de voltaje recibido en el receptor "VRX" [µV]	479,72	480,94	0,26
Intensidad de campo eléctrico "E" [dB(µV/m)]	73,10	73,1	0

Como se observa en la Tabla VIII los errores entre el cálculo teórico y los resultados de Radio Mobile no superan el 1% excepto en el margen de despeje, esto se debe a que el software trabaja con una cifra decimal, si se redondea el valor teórico el error será del 0 %; por lo tanto se valida los resultados del software Radio Mobile.

J. Red De Acceso

La red de acceso constituye cada uno de los enlaces entre una escuela y la correspondiente radio base, para ello se instalará 3 antenas sectoriales de 120° en la radio base, logrando un radio de cobertura aproximado de 10 Km con los parámetros descritos en la tabla 6.

El propósito principal de la red de acceso es aportar un medio de conexión al usuario final hacia la red, los usuarios se conectarán a la red a través de un switch de acceso que se instalará en cada una de las instituciones educativas.

1) Red de acceso BS1

La radio base BS1 está ubicada en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi y asocia a 17 instituciones educativas.

2) Red de acceso BS2

La radio base BS2 está ubicada en la escuela Río Eno, asocia a 4 instituciones educativas.

3) Red de acceso BS3

La radio base BS3 estará ubicada en la escuela Fiscal Mixta Provincias Unidas, está asociada a 3 instituciones educativas.

4) Red de acceso BS4

La radio base BS4 está ubicada en el Centro de Educación Básica Ciudad de Portoviejo que pertenece a una de las instituciones de la parroquia 7 de Julio, a esta radio base se asocian 6 instituciones educativas.

5) Red de acceso BS5

La radio base BS5 está ubicada en el sector de Jivino Verde, y asocia a 6 instituciones educativas.

6) Red de acceso BS6

En el Centro de Educación Básica 7 de Agosto se instalará la radio base BS6, a ella se enlazan 8 instituciones educativas.

7) Red de acceso BS7

La radio base BS7 estará ubicada en el Colegio Juna Montalvo, que pertenece a la parroquia de San Roque, esta radio base asocia 7 instituciones educativas.

8) Red de acceso BS8

En el Centro de Educación Básica Adalberto Ortíz se instalará la radio base BS8, asocia a 3 instituciones educativas.

9) Red de acceso BS9

El Centro de Educación Básica Río Yasuní se encuentra a 20 Km de la radio base más próxima, por ésta razón se instalará la radio base BS9 exclusivamente para ésta institución.

K. Red Troncal

La red troncal está compuesta por los enlaces punto a punto, estos enlaces también se los conoce como enlaces troncales por transportar un mayor flujo de datos. El objetivo de la red troncal es transportar el tráfico generado por la red de acceso hacia el NOC.

Anteriormente en la Tabla VII se estableció la ubicación de las radio bases con el objetivo de asociar el mayor número de instituciones educativas a una radio base, en la Fig. 3 se muestra topología para la red troncal, además en la figura consta la

distancia de cada enlace troncal.

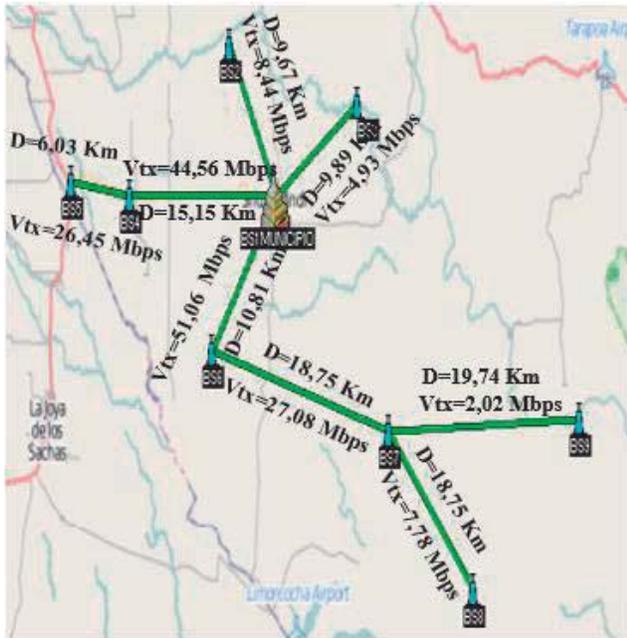


Fig. 3 Topología de la red troncal

L. Calidad De Servicio

La Calidad de Servicio (QoS, *Quality of Service*) se refiere a la capacidad de proporcionar el nivel de servicio adecuado a cada tipo de tráfico. Para poder implementar calidad de servicio en dispositivos de capa 2, la norma IEEE 802.1p define la prioridad del tráfico en la capa 2 del modelo OSI. La norma IEEE 802.1p brinda 8 niveles de prioridad que se especifican con un valor de prioridad de entre 0 y 7, ver Tabla IX [20].

TABLA IX
NIVELES DE PRIORIDAD DEL ESTÁNDAR IEEE 802.1P

Prioridad	Tipos de tráfico
0 (más baja)	Segundo plano
1	Mejor esfuerzo
2	Excelente esfuerzo
3	Aplicaciones críticas
4	Video
5	Voz
6	Control de red interna
7 (más alta)	Control de red

En el diseño de la red se identifican 3 tipos de tráfico: datos, video y VoIP, siguiendo la recomendación de la IEEE para el tráfico de datos la prioridad será de 1, la de mejor esfuerzo, por la razón que es los datos son tolerantes a retardos. El tráfico de video tendrá una prioridad de 4, la prioridad de video es menor que la prioridad de voz, porque en una videollamada se puede perder un fotograma pero se debe mantener una conversación fluida, por lo tanto la prioridad de voz será de 5.

En la Tabla X se resume la prioridad correspondiente a los distintos tipos de tráfico.

TABLA X
PRIORIDAD PARA TRÁFICO

PRIORIDAD	TIPO DE TRÁFICO
1	Datos
4	Video
5	VoIP

M. Seguridad

La seguridad hoy en día es primordial en una red, debido a que las computadoras están expuestas a varias amenazas, para mitigar estas amenazas se presentan los siguientes mecanismos:

- Cortafuegos.
- Autenticación y encriptación de datos.

1) Cortafuegos

El firewall puede estar conectado a una tercera red, llamada zona desmilitarizada (DMZ, *Demilitarized Zone*).

El objetivo de una DMZ es que las conexiones desde la red interna y la externa a la DMZ estén permitidas, mientras que las conexiones desde la DMZ sólo se permitan a la red externa.

Las políticas que se aplicarán en el firewall para la zona desmilitarizada serán las siguientes:

- El tráfico de la red externa a la DMZ está autorizado.
- El tráfico de la red externa a la red interna está prohibido.
- El tráfico de la red interna a la DMZ está autorizado.
- El tráfico de la red interna a la red externa está autorizado.
- El tráfico de la DMZ a la red interna está prohibido.
- El tráfico de la DMZ a la red externa está denegado.

El firewall deberá filtrar el contenido web por seguridad de la red y para no congestionar el acceso a Internet, las páginas que estarán prohibidas serán:

- Páginas web con contenido pornográfico.
- Páginas web con contenido de violencia.
- Páginas web con contenido de drogas.
- Páginas web de streaming de video.
- Páginas de redes sociales.

2) Autenticación y encriptación de datos

WPA fue diseñado para utilizar un servidor de autenticación, normalmente un servidor RADIUS (*Remote Authentication Dial-In User Server*), que distribuye claves diferentes a cada usuario a través del protocolo 802.1x.

WPA2 es el estándar más moderno para proteger redes inalámbricas y el que recomienda la *Wi-Fi Alliance*, por lo tanto será el que se implementará en el diseño de la red. Con el estándar WPA2 los datos de la red serán encriptados con el algoritmo AES y los usuarios se autenticarán mediante un servidor RADIUS.

N. Gestión De Red

La gestión de red se realizará en el NOC (*Network Operations Center*) mediante software a través del protocolo SNMP.

Los datos a ser monitoreados deben estar de acuerdo a las características propias del equipo gestionado, por ejemplo: memoria, puertos, interfaces, procesador, entre otros.

Para monitorear la red se lo hará mediante software, Zabbix es un sistema de monitoreo de redes, está escrito en código abierto y se distribuye bajo la licencia GPL, a continuación se muestra algunas de las funciones disponibles en Zabbix: administración completamente web, escalabilidad, hasta 10.000 dispositivos, sistema de alertas (email, SMS), autodescubrimiento de dispositivos, multiplataforma.

O. Red De Distribución

La red de distribución está compuesta por la red de acceso y la red troncal, en las radio bases habrá un switch de distribución que conmutará los enlaces troncales.

El switch de distribución trabajará con redes de área local virtuales (VLAN) para brindar calidad de servicio.

Para establecer la velocidad de conmutación de los switches de distribución, se comenzará el diseño desde las radio bases de los extremos hacia la radio base BS1, donde se encuentra el NOC.

1) Switch de distribución BS9

La radio base BS9 solo asocia a una institución educativa y requiere una velocidad de transmisión de 2.02 Mbps, por lo tanto el switch debe tener una velocidad de conmutación mínima de 2.02 Mbps.

2) Switch de distribución BS8

La radio base BS8 asocia a 3 instituciones educativas y requiere una velocidad de transmisión total de 7.78 Mbps, por lo tanto el switch debe tener una velocidad de conmutación mínima de 7.68 Mbps.

3) Switch de distribución BS7

La radio base BS7 se conecta con la radio base BS8 y BS9, además asocia a 7 instituciones educativas, en la Tabla XI se detalla las velocidades de transmisión de los diferentes enlaces para el switch BS7, por lo tanto la velocidad de conmutación del switch BS7 debe ser mínimo de 27,08 Mbps.

TABLA XI
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE LOS ENLACES TRONCALES PARA EL SWITCH BS7

Enlace	Vtx (Mbps)
PtMP BS7	17,28
PtP BS8	7,78
PtP BS9	2,02
Total	27,08

4) Switch de distribución BS6

La radio base BS6 tiene un enlace punto a punto para comunicarse con la radio base BS7, en la tabla 11 se observa que el enlace troncal BS6- BS7 tiene una velocidad de transmisión de 27,08 Mbps. Además la radio base BS6 tiene un enlace punto a multipunto para asociar a 8 instituciones educativas de su alrededor.

TABLA XII
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE LOS ENLACES TRONCALES PARA EL SWITCH BS6

Enlace	Vtx (Mbps)
PtMP BS6	23,98
PtP BS7	27,08
Total	51,06

En la Tabla XII se detalla las velocidades de transmisión de los diferentes enlaces para el switch BS6, por lo tanto la velocidad de conmutación del switch BS6 debe ser mínimo de 51,06 Mbps.

5) Switch de distribución BS5

La radio base BS5 asocia a 6 instituciones educativas y requiere una velocidad de transmisión de 26,45 Mbps para los enlaces PtMP (Point to MultiPoint), por lo tanto ésta deberá ser la mínima velocidad de conmutación que deber tener el switch de distribución BS5.

6) Switch de distribución BS4

La radio base BS5 se comunica con la radio base 4 a través de un enlace troncal con una velocidad de transmisión de 26,45 Mbps. Además la radio base 4 asocia a 6 instituciones educativas, en la Tabla XIII se detalla las velocidades de transmisión de los diferentes enlaces para el switch BS4, por lo tanto la velocidad de conmutación del switch BS4 debe ser mínimo de 44,56 Mbps.

TABLA XIII
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE LOS ENLACES TRONCALES PARA EL SWITCH BS4

Enlace	Vtx (Mbps)
PtMP BS4	18,11
PtP BS5	26,45
Total	44,56

7) Switch de distribución BS3

La radio base BS3 asocia a 3 instituciones educativas a través de un enlace punto a multipunto, la velocidad de transmisión para estos enlaces es de 4,93 Mbps, por lo tanto ésta será la mínima velocidad de conmutación que debe tener el switch de distribución BS3.

8) Switch de distribución BS2

La radio base BS2 asocia a 4 instituciones educativas a través de un enlace punto a multipunto, la velocidad total para este enlace es de 8,44 Mbps, por lo tanto ésta será la mínima velocidad de conmutación que debe tener el switch de distribución BS2.

9) Switch de distribución BS1

La radio base BS1 es el punto central de la red, establece 4 enlaces punto a punto para comunicarse con el resto de las radio bases. Además enlaza a 17 instituciones educativas a través de un enlace punto a multipunto.

En la Tabla XIV se detalla las velocidades de transmisión de los enlaces troncales para el switch BS1, por lo tanto la velocidad de conmutación del switch BS1 debe ser mínimo de 217.40 Mbps.

TABLA XIV
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE LOS ENLACES TRONCALES PARA EL SWITCH BS1

Enlace troncal	Vtx (Mbps)
PtMP BS1	108,39
PTP BS2	8,44
PTP BS3	4,93
PTP BS4	44,56
PTP BS6	51,06
Total	217,40

P. Centro De Control De La Red (NOC)

El NOC estará ubicado en el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Shushufindi, en este lugar se instalará la granja de servidores para brindar los servicios de VoIP, video llamadas y datos. Además es el punto de conexión de la red interna con el Internet.

La granja de servidores estará compuesta por los siguientes servidores: servidor VoIP, servidor de correo y transferencia de archivos, servidor de autenticación RADIUS, servidor de monitoreo.

Para el diseño de la red se utilizará una zona desmilitarizada DMZ, en esta zona estará ubicado el servidor de correo electrónico y de transferencia de archivos, para que sea accedido desde afuera de la red interna. Los servidores de VoIP, RADIUS y monitoreo serán parte de la red interna, debido a que éstos prestan servicios a la red interna. Por lo tanto la topología del NOC es la siguiente, ver Fig. 4.

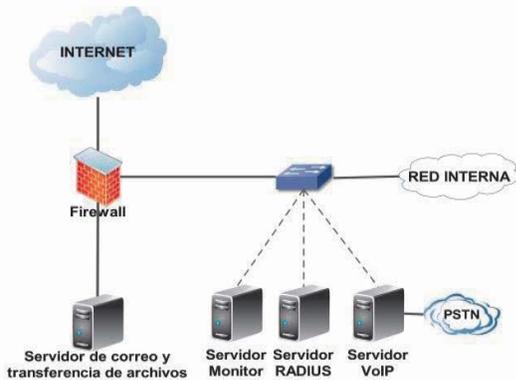


Fig. 4 Topología del NOC

Q. Backbone

El término Backbone se refiere a los servicios de comunicación de alta capacidad y proporcionar rutas para el intercambio de información entre las diferentes sub redes.

La ubicación del Backbone será en el NOC, porque es el punto central de la red, por lo tanto en el NOC estarán la granja de servidores.

En la Fig. 5 se resume la topología completa de la red inalámbrica para brindar los servicios de datos, voz y video conferencia a 55 instituciones educativas del cantón Shushufindi.

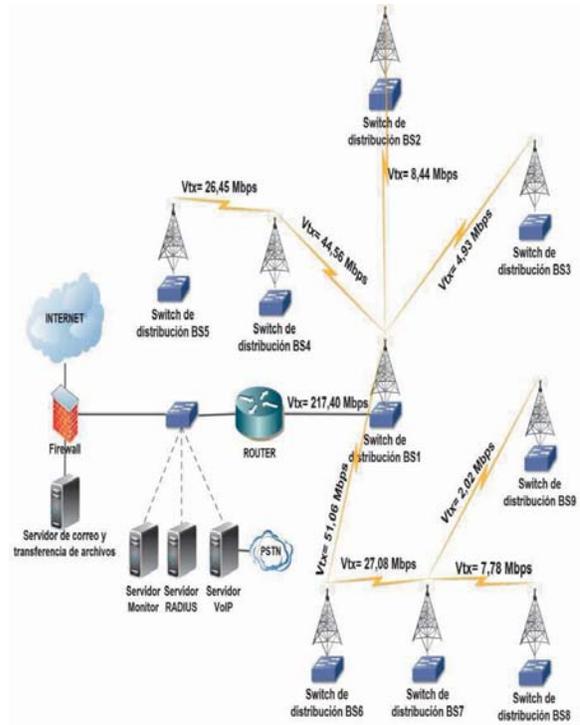


Fig. 5 Topología de la red inalámbrica

I. CONCLUSIONES

El dotar de acceso a Internet a los estudiantes de las diferentes instituciones educativas favorecidas en el presente artículo, pretende ayudar a reducir el analfabetismo digital e incursionar con mayor facilidad a un mundo globalizado de la información.

Un estudiante necesita una velocidad de transmisión de 256 kbps para navegar en el Internet, con esta velocidad de transmisión el estudiante podrá realizar consultas, revisar su correo electrónico y bajar información del Internet. La diferencia del perfil de un estudiante y de un usuario de casa, es que un usuario de casa accede a contenido de *streaming* de video y a redes sociales, por lo que requiere una velocidad de transmisión mayor a 1 Mbps.

Para conectar los centros educativos hacia la PSTN se lo realizará con una probabilidad de bloqueo del 1% y se requerirá 12 líneas telefónicas.

El tamaño de un fotograma depende de la resolución y del códec, además la velocidad de transmisión de video es proporcional al número de fotogramas por segundos (fps).

Las alturas calculadas para las antenas receptoras en las instituciones educativas, son las mínimas que deben tener para que exista línea de vista, se recomienda realizar pruebas de conectividad antes de establecer la altura definitiva de las antenas en las instituciones educativas.

La máxima velocidad de transmisión de un enlace punto a punto en la red troncal será de aproximadamente 50 Mbps, velocidad que es soportada por la tecnología Wi-Fi, y permitirá escalar la red sin necesidad de implementar nuevos enlaces punto a punto.

El enlace inalámbrico más extenso de la red diseñada, es de aproximadamente 20 kilómetros con un margen de desvanecimiento 15 dB, por lo tanto se concluye que ningún enlace tendrá un margen de desvanecimiento menor a 15 dB, por ende todos los enlaces del diseño de la red son estables.

El factor de compartición permite optimizar el ancho de banda, dado que existe varias jornadas de trabajo y no todos los usuarios acceden al Internet al mismo tiempo.

Para el diseño de un radio enlace se debe tomar como referencia las características de los equipos comerciales porque varían según su aplicación, además se debe conocer las normas técnicas que exigen los órganos de control para no provocar interferencias con otras redes inalámbricas.

Las redes inalámbricas son más vulnerables que las redes cableadas porque la información viaja por el aire, por tal razón se aplicaron criterios de encriptación y mecanismos para autenticación de usuarios.

La gestión de red posibilita al administrador seguir un protocolo frente a alguna eventualidad en la red, además facilita la transición de un administrador de red.

La velocidad de conmutación no es igual para los *switches* de distribución, la capacidad varía según van asociándose las radios bases, la mayor velocidad de conmutación se tiene en la radio base 1 y será aproximadamente de 217 Mbps.

Para la elección de los equipos se debe tomar en cuenta el criterio de costo beneficio, que no siempre quiere decir que el menor precio es el más recomendable, porque un bajo costo inicial puede implicar un gran costo en el futuro debido a que los equipos se dañan o no son estables.

REFERENCIAS

- [1] Zheng, P & Zhao, F. (2004). *Wireless Networking Complete*. Amsterdam: Morgan Kaufmann.
- [2] Tanenbaum, A. (2003). *Redes de computadoras*. Cuarta edición. Mexico: Pearson Education.
- [3] Gast, M. (2002). *Wireless Network: The Definitive guide*. O'Reilly.
- [4] Jeffrey, G. & Arunabha, G. & Muhamed, R. (2007). *Fundamentals of WiMAX Understanding Broadband Wireless Networking*. Upper Saddle River: Prentice.
- [5] Mohammad, S. (2008). *Wimax Standards and Security*. New York: CRC Press.
- [6] Tse, D. & Viswanah, P. (2005). *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [7] Sucumbios
<http://mapadesnutricion.org/img/sucumbios1.jpg>
- [8] Voice Over IP - Per Call Bandwidth Consumption
http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies_tech_note09186a0080094ae2.shtml
- [9] Fundamental of Digital Video
<http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/Video/pktvideoag.html#wp1052617>
- [10] Monitoring MPEG in and IP network
<http://broadcastengineering.com/video-t-amp-m/monitoring-mpeg-ip-network>
- [11] Ip Camera CCTV Calculator
<http://www.jvsg.com/bandwidth-storage-space-calculation/>
- [12] ECUADOR EN CIFRAS
<http://www.ecuadorencifras.com/cifras-inec/educacion.html#>
- [13] Estimación de Población
<http://www.cca.org.mx/cca/cursos/matematicas/cerrada/cpcomp/introcaso4.htm>
- [14] Enlace Ethernet de Microondas PTP250
<http://www.sicom.com.uy/productos/redesinalambricas/puntoapunto/ptp250>
- [15] Tsunami™ MP-8100
<http://www.proxim.com/products/point-to-multipoint/tsunami-mp-8100-series/mp-8100>
- [16] How QoS Works
http://technet.microsoft.com/en-us/library/cc728211%28v=ws.10%29.aspx#w2k3tr_qos_how_bdgn
- [17] Calidad de servicio en redes WLAN
<http://librosnetworking.blogspot.com/2009/04/calidad-de-servicio-en-redes-wlan.html>
- [18] IEEE P802.1p
http://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_P802.1p#cite_ref-2
- [19] Protección de las redes inalámbricas
http://www.cisco.com/web/LA/soluciones/comercial/proteccion_wireless.html
- [20] ¿Cuáles son los diferentes métodos de seguridad de redes inalámbricas?
<http://windows.microsoft.com/es-419/windows-vista/what-are-the-different-wireless-network-security-methods>
- [21] WEP o WPA para proteger tu red Wi-Fi
<http://windowsespanol.about.com/od/RedesYDispositivos/a/Wep-O-Wpa-Para-Proteger-Tu-Red-Wi-Fi.htm>
- [22] Advanced Encryption Standard
http://es.wikipedia.org/wiki/Advanced_Encryption_Standard
- [23] Gestión de red
http://es.wikipedia.org/wiki/Gesti%C3%B3n_de_red
- [24] What is Zabbix
<http://www.zabbix.com/es/product.php>
- [25] Protocolos de enrutamiento
<http://www.slideshare.net/giank1984/protocolos-de-enrutamiento-5050972>
- [26] Cantones de Sucumbios 2011
<http://www.zonu.com/America-del-Sur/Ecuador/Sucumbios/Politicos.html#6932>
- [27] Web metrics: Size and number of resources
<https://developers.google.com/speed/articles/web-metrics?hl=es-ES>
- [28] ¿Aprende a calcular cuántos MB puedes gastar al mes?
<http://www.carlosnuel.com/aprende-a-calcular-cuantos-mb-puedes-gastar-al-mes.html>
- [29] ¿Cuántos MB son suficientes para un smartphone? Ahorra más ajustando la tarifa de datos a tus necesidades
<http://www.xatakamovil.com/conectividad/cuantos-mb-son-suficientes-para-un-smartphone-ahorra-mas-ajustando-la-tarifa-de-datos-a-tus-necesidades>
- [30] How big is the average ePub book?
<http://blog.threepress.org/2009/11/16/how-big-is-the-average-epub-book/>
- [31] Configuración avanzada de la codificación
<https://support.google.com/youtube/answer/1722171?hl=es>
- [32] Recommended bit rates for live streaming
http://www.adobe.com/devnet/adobe-media-server/articles/dynstream_live/popup.html
- [33] Voice Over IP - Per Call Bandwidth Consumption
http://www.cisco.com/en/US/tech/tk652/tk698/technologies_tech_note09186a0080094ae2.shtml
- [34] Hugo R. Aulestia R. Telefonía. Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Septiembre 2010.
- [35] Erlang B Traffic Table
<http://www.sis.pitt.edu/~dtipper/erlang-table.pdf>
- [36] Fundamental of Digital Video
<http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Enterprise/Video/pktvideoag.html#wp1052617>
- [37] Monitoring MPEG in and IP network
<http://broadcastengineering.com/video-t-amp-m/monitoring-mpeg-ip-network>
- [38] Ip Camera CCTV Calculator
<http://www.jvsg.com/bandwidth-storage-space-calculation/>

[39] Bandwidth and Storage Calculator

<http://www.stardot.com/bandwidth-and-storage-calculator>

[40] Resolución – CONATEL- 2006

http://www.saraguros.com/archivos/Norma_Tecnica_Acceso_Internet_Audicencia.pdf



Víctor Alberto Ramón Armijos, nació el 27 de Agosto de 1986, realizó sus estudios secundarios en el Colegio Experimental e Instituto Superior Pedagógico “Juan Montalvo”, obteniendo el Título de Bachiller en Ciencias, especialización Físico - Matemáticas. Los estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional, en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, en la especialidad de Electrónica y Telecomunicaciones. Ha realizado pasantías en la empresa GMS en el departamento de Consultorio TI. Ha realizado una gira técnica a la Central Hidroeléctrica ITAIPU-Binacional Brasil-Paraguay, Agosto 2010.

María Soledad Jiménez Jiménez, Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional (Quito, Ecuador), 1988, Master of Science in Electrical Engineering, University Of Texas & Arlington (USA), 1994.

Es profesora a tiempo completo de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional desde 1988 hasta la fecha.