



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Análisis de Factibilidad para la Implementación de un Servidor de VoIP Inalámbrico basado en Asterisk para Intercomunicar los diferentes edificios de la FIEC utilizando una Red Inalámbrica tipo Malla

Harry Damián Leyton Acuña⁽¹⁾, Daniel Eduardo Tagle Vivanco⁽²⁾, Ing. Patricia Ximena Chávez Burbano⁽³⁾
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación⁽¹⁾
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
harryleyton89@gmail.com⁽¹⁾, dtagle7@gmail.com⁽²⁾, pchavez@fiec.espol.edu.ec⁽³⁾

Resumen

En este proyecto se analiza la factibilidad para una futura implementación de una red inalámbrica de VoIP para intercomunicar diferentes edificios de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación dentro de la ESPOL. Se elaboran dos redes tipo malla, cada una compuesta de 4 enrutadores inalámbricos las cuales otorgarán coberturas a diferentes sectores de la FIEC. Estas dos redes serán interconectadas utilizando un radio enlace que opera en la banda de 2.4 GHz. Se utiliza el software libre Asterisk para la implementación y configuración del servidor de VoIP. Se realizan pruebas de calidad de servicio, saturación y estrés dentro de las dos redes para así poder comprobar que el desempeño de la red de VoIP esté dentro de los estándares que dictamina la Unión Internacional de Telecomunicaciones y también la cantidad de clientes simultáneos que se puede llegar a soportar. De esta manera se determina la posibilidad de implementar una red con características similares dentro de la facultad en el futuro.

Palabras Claves: Red Inalámbrica, Asterisk, VoIP, Radio Enlace.

Abstract

In this paper a study was conducted to measure the feasibility for the implementation of a VoIP network for the intercommunication of two buildings from the FIEC. Two mesh networks are develop, each one contains 4 wireless routers which give coverage to different area of the FIEC. This two networks communicate using a radio link which operates inside the 2.4 GHz band. The VoIP server use the software Asterisk for its implementation and configuration. Several test are performed to measure the level of quality of service of the two networks in addition to other type of test (saturation and stress). This test will let us determine if the VoIP network deployed in the FIEC fulfill all the basic requirements that the ITU (International Telecommunication Union) demands for this types of networks and also the number of simultaneous clients that the networks supports while still providing an optimal service.

Keywords: Wireless Network, Asterisk, VoIP, Radio Link.

1. Introducción

Debido al avance de las telecomunicaciones, hoy en día se ha vuelto indispensable brindar movilidad a los usuarios de una red, por lo que se implementan sistemas que utilicen medios inalámbricos con el fin de cumplir este objetivo. El uso de servicios de VoIP cada día es más común en las empresas debido a que ofrece las mismas ventajas que la telefonía tradicional pero a un costo relativamente más bajo. Con la ayuda de Asterisk, un software de libre distribución, permite convertir un enrutador inalámbrico en un servidor de VoIP con el fin de darle una mayor utilidad y versatilidad al recurso inalámbrico.

El propósito de este proyecto es determinar si es posible implementar una red de VoIP inalámbrica dentro de la FIEC. Con la ayuda de esta red, los docentes y estudiantes de la misma, podrán comunicarse entre sí de manera gratuita y rápida utilizando cualquier tipo de dispositivo portátil (tabletas, computadoras portátiles, celulares inteligentes).

Actualmente la tecnológica se dirige hacia realizar los dispositivos lo más portátiles posibles para poder utilizarlos en cualquier momento. Por este motivo, se quiso realizar una red que contenga únicamente equipos inalámbricos portátiles. Con esto logramos que la red pueda ser fácilmente implementada en un sector y cuando se lo requiera se podría implementarla en otra área de manera muy sencilla y rápida.

2. Análisis del problema y propuesta de la solución

Como resultado de un análisis, se dio como solución la utilización de dos tipos de topología lógica ya que se trabajó con radios en dos bandas diferentes no licenciadas (2.4 GHz y 5 GHz). La banda de 2.4 GHz se utilizó para la comunicación entre los enrutadores y los dispositivos clientes y la banda de 5 GHz se para facilitar la administración de los equipos.

Para la banda de 2.4 GHz se usó la topología tipo infraestructura. De esta manera, todos los enrutadores se conectan hacia el servidor de VoIP y realizan la tarea de repetidor para así lograr expandir la señal inalámbrica del servidor. Como topología en la banda de 5 GHz se empleó Ad-Hoc, ya que permite transmitir la información punto a punto. Físicamente la topología empleada fue tipo malla, debido a la redundancia de red con lo que se asegura la disponibilidad de la misma.

Se empleó el protocolo de enrutamiento OLSR para la implementación de la banda de 5 GHz debido a la proactividad del protocolo, esto es la

actualización de sus tablas de enrutamiento de forma periódica.

3. Diseño de la Solución

Para el diseño de la red se requirió el uso de dispositivos para conformar la red y el correcto funcionamiento de la misma. El hardware contemplado para la solución se observa en las tablas 1, 2, con el empleo de dispositivos terminales como computadoras portátiles y dispositivos de gama alta para establecer la comunicación entre ellos, con la instalación de las aplicaciones de VoIP correspondientes.

Tabla 1. Hardware del enrutador inalámbrico D-Link 825

Característica	Descripción
Procesador	AR7161 rev 2
Velocidad CPU	680 MHz
Memoria Flash	8192 Kb
Memoria RAM	64 Mb
Inalámbrico	2 x Atheros AR922X 2.4GHz/5.0GHz 802.11abgn

Tabla 2. Hardware Ubiquiti NanoStation Loco M2

Característica	Descripción
Procesador	Atheros MIPS 24KC
Velocidad CPU	400 MHz
Memoria Flash	8 Mb
Memoria RAM	32 Mb
Interfaces de Red	(1) 10/100 Puerto Ethernet

Se colocaron 2 redes conformadas por nodos, en zonas diferentes de la facultad a fin de dar cobertura a las mismas como se muestra en las figuras 1 y 2.

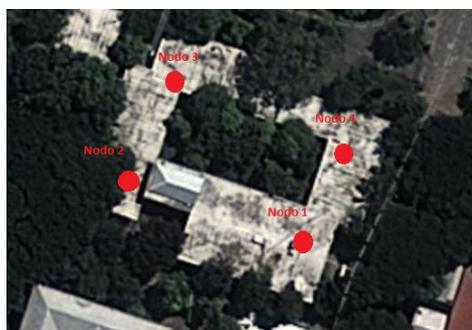


Figura 1. Vista satelital de la ubicación física de los nodos en la red 1

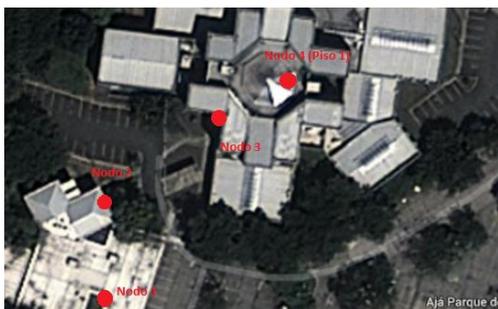


Figura 2. Vista satelital de la ubicación física de los nodos en la red 2

Para establecer la comunicación entre las 2 redes, fue necesario la utilización de un radio enlace, conformada por equipos Ubiquiti NanoStation Loco M2, con una distancia estimada de 250 metros aproximadamente, como se observa en la figura 3.



Figura 3. Línea de vista del radio enlace

4. Implementación de la solución

Para la implementación de las redes, previamente se debió configurar ciertos dispositivos, como los enrutadores inalámbricos, y los equipos que conformarían el radio enlace.

En los enrutadores inalámbricos D-Link Dir 825 se optó por la sustitución del sistema operativo original de fábrica por Openwrt que es una distribución Linux de código abierto, que está orientado principalmente hacia enrutadores inalámbricos y proporciona más libertad en cuanto a las configuraciones del equipo se refiere, lo que hizo viable la instalación del software Asterisk para establecer la central telefónica en uno de los equipos. Debido a que el espacio en memoria interna del enrutador es insuficiente para la instalación de Asterisk, se requirió extender la memoria del dispositivo con la adaptación de una memoria USB a fin de permitir la instalación de los paquetes necesarios y sus respectivas dependencias y gracias a la flexibilidad de personalización proporcionada por el sistema operativo Openwrt, se pudo lograr el reconocimiento de la memoria USB como si éste

hubiese formado parte del almacenamiento propio del enrutador como se muestra en la figura 4, para ello se montó el sistema de archivos en la memoria USB, de forma que al arrancar el sistema lo haga desde la memoria externa.

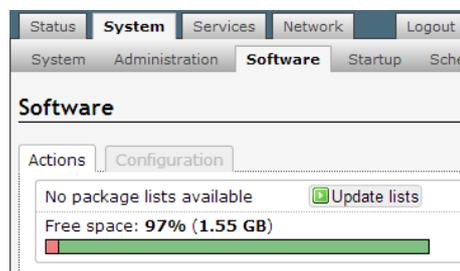


Figura 4. Espacio en memoria del enrutador inalámbrico

Con el espacio necesario para la instalación de Asterisk, la descarga de paquetes se hizo necesaria para el funcionamiento de la central telefónica. Asterisk requirió la configuración de ciertos ficheros básicos a fin de poder efectuar las llamadas como asterisk.conf, extensions.conf y sip.conf localizados en el directorio /etc/asterisk.

A los enrutadores inalámbricos de cada área y equipos de radio se les asignaron el direccionamiento IP correspondiente como se muestra en las tablas 3, 4 y 5.

Tabla 3. Direcciones IP enrutadores Área 1

ID	Enrutadores Inalámbricos Área 1			
	Red 2.4 GHz		Red 5 GHz	
	IP	GW	IP	GW
Nod 1-1	192.168.1.1	192.168.1.1	10.1.1.1	10.1.1.1
Nod 1-2	192.168.1.2	192.168.1.1	10.1.1.2	10.1.1.1
Nod 1-3	192.168.1.3	192.168.1.1	10.1.1.3	10.1.1.1
Nod 1-4	192.168.1.4	192.168.1.1	10.1.1.4	10.1.1.1

Tabla 4. Direcciones IP enrutadores Área 2

ID	Enrutadores Inalámbricos Área 1			
	Red 2.4 GHz		Red 5 GHz	
	IP	GW	IP	GW
Nod 2-1	192.168.2.1	192.168.1.1	10.1.2.1	10.1.2.1
Nod 2-2	192.168.2.2	192.168.1.1	10.1.2.2	10.1.2.1
Nod 2-3	192.168.2.3	192.168.1.1	10.1.2.3	10.1.2.1
Nod 2-4	192.168.2.4	192.168.1.1	10.1.2.4	10.1.2.1

Tabla 5. Direcciones IP radios Ubiquiti

Radios Ubiquiti Nano Station Loco M2	
Identificador	IP
Radio A1	192.168.10.100
Radio A2	192.168.10.99

4.1. Pruebas de alcance y calidad de servicio

Las pruebas de alcance y de calidad de servicio nos permitieron comprobar que el proyecto realizado cumplió con los parámetros especificados por la UIT y así medir la factibilidad de la implementación de este proyecto.

Para las pruebas de calidad y alcance se realizaron los siguientes recorridos como se ilustra en las figuras:

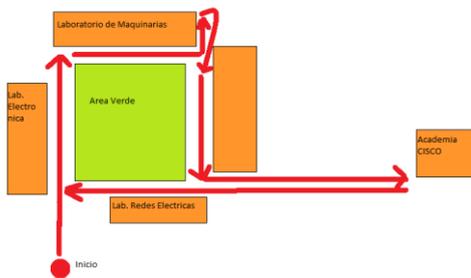


Figura 5. Recorrido 1 (438 seg.)

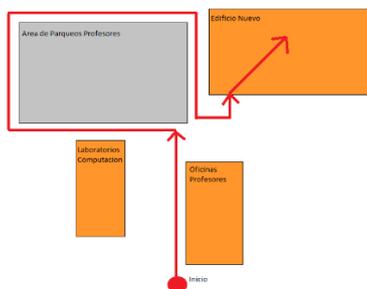


Figura 6. Recorrido 2 (254 seg.)

En ninguno de los recorridos se sufrió la interrupción de la llamada entre los dos cliente al momento de realizar la prueba. Esto comprobó que se puede tener una comunicación por voz por cualquier zona de cobertura de la red sin que la llamada se corte y tener que volver a establecer una nueva llamada para continuar con la conversación.

Durante el primer recorrido se pudo percibir una ligera pérdida de la voz de aproximadamente 2 segundos durante la ejecución de la llamada, esto se

debió al cambio de conexión de un enrutador a otro que efectuó el dispositivo móvil al realizar el recorrido, si bien la comunicación no se interrumpió este suceso generó cierta percepción de voz robótica, mientras que durante el segundo recorrido ésta percepción durante el cambio de conexión de un enrutador inalámbrico a otro fue menos evidente e incluso nula en algunas ocasiones.

El ancho de banda también juega un factor muy importante al momento de establecer una comunicación de voz, su comportamiento es evidenciado en las figuras 7 y 8 para los recorridos 1 y 2 respectivamente.



Figura 7. Ancho de banda Recorrido 1 (438 seg.)



Figura 8. Ancho de banda Recorrido 2 (254 seg.)

Durante el primer recorrido el ancho de banda máximo fue de 351.26 Kbps y el mínimo de 7.23 Kbps teniendo un promedio de 157.1 Kbps. En el segundo recorrido el ancho de banda máximo fue de 187.84 Kbps mientras el mínimo de 76.19 Kbps. El ancho de banda promedio durante este recorrido fue de 173.73 Kbps. La UIT específica que el ancho de banda mínimo permitido en un sistema de nuestras características es de 80 Kbps. El ancho de banda promedio durante los dos recorridos (157.1 Kbps y 173.73 Kbps respectivamente) superaron ampliamente el mínimo permitido por la UIT.

El retardo juega un papel importante en las comunicaciones de VoIP y el análisis del mismo en ambos recorridos como se muestran en las figuras 9 y 10 respectivamente.

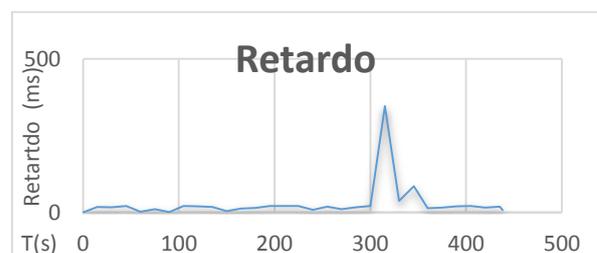


Figura 9. Retardo Recorrido 1 (438 seg.)



Figura 10. Retardo Recorrido 2 (254 seg.)

En el primer recorrido el retardo alcanzó un valor máximo de 346.18 ms., un mínimo de 0.67 ms. y un valor promedio de 28.83 ms., no obstante el segundo recorrido obtuvo un retardo máximo de 20.52 ms., el valor mínimo obtenido fue de 2.37 ms. y el promedio durante el recorrido fue de 13.46 ms.

El promedio de retardo obtenido de los dos recorridos es mucho menor a los 150 ms permitidos por la UIT.

5. Pruebas experimentales y análisis de resultados

Para determinar la factibilidad de implementación de la solución fue necesario someter al servidor a situaciones extremas de estrés y saturación de manera que pueda ser observado el rendimiento y la capacidad de soportar llamadas del servidor de VoIP.

La prueba de saturación tuvo como objetivo tratar de colapsar el servidor realizando la mayor cantidad de llamadas posibles en un determinado tiempo. Esta prueba nos permitió determinar el número máximo de llamadas que se pudieron realizar sin que el servidor deje de funcionar. Ésta prueba se la realizó utilizando una computadora portátil. Dentro del computador se crearon máquinas virtuales y se instaló el programa SIPp en cada una de ellas para así poder realizar las llamadas desde las dos máquinas.

El rango de tiempo seleccionado para esta prueba fue de 2000 ms. Cada vez se fue aumentando el número de llamadas que se realizaron durante los 2 segundos hasta que el servidor no pueda aguantar la carga y colapse. Se realizaron llamadas desde 2 clientes simultáneamente, para colapsar el servidor, fueron necesarias 14 pruebas de 6000 llamadas cada una. En cada una de las pruebas se realizaron 1500 llamadas concurrentes en un lapso de 2 segundos. Los resultados se evidencian en las figura 11 y 12 para las respectivas pruebas.

===== Prueba 1 =====			
Successful call		0	115
Failed call		0	5885
===== Prueba 2 =====			
Successful call		0	43
Failed call		0	5957
===== Prueba 3 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 4 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 5 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 6 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 7 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 8 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 9 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 10 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 11 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 12 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 13 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 14 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000

Figura 11. Resultados de prueba de estrés (cliente 1)

===== Prueba 1 =====			
Successful call		0	68
Failed call		0	5932
===== Prueba 2 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 3 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 4 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 5 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 6 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 7 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 8 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 9 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 10 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 11 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 12 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 13 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000
===== Prueba 14 =====			
Successful call		0	0
Failed call		0	6000

Figura 12. Resultados de prueba de estrés (cliente 2)

Con la prueba de estrés se pudo conocer la capacidad que tiene el servidor inalámbrico para soportar llamadas simultáneas y medir así su rendimiento en situaciones extremas (en este caso un gran número de llamadas simultáneas). Para realizar la prueba de estrés, se utilizó el programa SIPp en un cliente (computadora portátil) para que este pueda simular múltiples llamadas hacia el servidor, su configuración requirió principalmente la utilización de un escenario pre configurado. El número total de pruebas se lo consiguió aplicando la fórmula

estadística del tamaño de una muestra con un intervalo de confianza del 95%.

Se efectuaron un total de 264 pruebas en cada una de las subredes. La mitad de éstas fueron configuradas para que se soporte 25 llamadas concurrentes y la otra mitad se configuró para soportar 50 llamadas concurrentes. Las pruebas se configuraron con un total de 200 llamadas a un intervalo de 2 segundos entre llamadas, como se observa el detalle en la tabla 6.

Tabla 6. Detalle de Prueba de estrés

Número de pruebas	Máximo total de llamadas	Intervalo entre llamadas (segundos)	Llamadas concurrentes
132	200	2	25
132	200	2	50
132	200	2	25
132	200	2	50

Las siguientes tablas permiten evidenciar los resultados de las pruebas que se realizaron

Tabla 7. Reporte Prueba 1 a 25 llamadas concurrentes en red 1

Llamadas Concurrentes	25
Número Total de Llamadas Exitosas	13491
Número Total de Llamadas Fallidas	12909
Porcentaje de Llamadas Exitosas	51.10%
Porcentaje de Llamadas Fallidas	48.90%
Mayor número de llamadas exitosas en una prueba	143
Menor número de llamadas exitosas en una prueba	75
Mayor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	71.50%
Menor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	37.50%

Tabla 8. Reporte Prueba 2 a 50 llamadas concurrentes en red 1

Llamadas Concurrentes	50
Número Total de Llamadas Exitosas	12310
Número Total de Llamadas Fallidas	14197
Porcentaje de Llamadas Exitosas	46.63%
Porcentaje de Llamadas Fallidas	53.57%
Mayor número de llamadas exitosas en una prueba	167

Menor número de llamadas exitosas en una prueba	31
Mayor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	83.50%
Menor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	15.50%

Tabla 9. Reporte Prueba 1 a 25 llamadas concurrentes en red 2

Llamadas Concurrentes	25
Número Total de Llamadas Exitosas	14582
Número Total de Llamadas Fallidas	11818
Porcentaje de Llamadas Exitosas	55.24%
Porcentaje de Llamadas Fallidas	44.76%
Mayor número de llamadas exitosas en una prueba	159
Menor número de llamadas exitosas en una prueba	75
Mayor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	79.50%
Menor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	37.50%

Tabla 10. Reporte Prueba 2 a 50 llamadas concurrentes en red 2

Llamadas Concurrentes	50
Número Total de Llamadas Exitosas	13654
Número Total de Llamadas Fallidas	12764
Porcentaje de Llamadas Exitosas	51.72%
Porcentaje de Llamadas Fallidas	48.28%
Mayor número de llamadas exitosas en una prueba	164
Menor número de llamadas exitosas en una prueba	50
Mayor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	82.00%
Menor porcentaje de llamadas exitosas en una prueba	25.00%

Adicionalmente, se utilizó el programa SAR a fin de poder visualizar el rendimiento del servidor antes y durante las pruebas. El programa SAR (System Activity Report) o Reporte de Actividad del Sistema, está diseñado para mostrar en tiempo real el rendimiento del equipo donde se encuentra instalado como el porcentaje de utilización del CPU que esté siendo utilizado por el dispositivo, éste programa debió ser instalado en el enrutador que hace las veces de servidor de VoIP, a fin de poder usar el comando que procese los resultados del rendimiento del dispositivo como pudo ser observado antes y después de las pruebas como se muestra en las figuras 13, 14 y 15 respectivamente.

Time	CPU	%user	%nice	%system	%iowait	%steal	%idle
11:08:26	all	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00
11:08:27	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:28	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:29	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:30	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:31	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:32	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:33	all	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00
11:08:34	all	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	98.00
11:08:35	all	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	98.00
11:08:36	all	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	96.00
11:08:37	all	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	98.00
11:08:38	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:39	all	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	98.00
11:08:40	all	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.00
11:08:41	all	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	98.00
11:08:42	all	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	98.00
11:08:43	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:44	all	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	98.00
11:08:45	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
11:08:46	all	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	99.00
Average:	all	0.40	0.00	1.10	0.00	0.00	98.50

Figura 13. Resultados del comando SAR antes de iniciadas las pruebas

Como se puede evidenciar en el figura anterior, el CPU del servidor se encontró entre un 96% y 99% inutilizable antes de empezar a realizar las pruebas, así mismo, el porcentaje de CPU utilizado por el sistema se situó en un rango del 0% al 2%. El CPU utilizado por aplicaciones de usuarios se mantuvo dentro del rango de 0% al 2% antes de la realización de las pruebas respectivas.

Durante la primera prueba realizada (figura 14) el servidor de VoIP empezó a utilizar más recursos y su porcentaje de CPU inutilizado disminuyó, estableciéndose dentro de un rango de uso del 7% al 72%. El porcentaje de CPU utilizado por el sistema aumentó, ubicándose dentro un rango de 13% al 71%. El porcentaje de CPU utilizado por aplicaciones de usuarios se situó dentro del rango del 12% al 56%.

Time	CPU	%user	%nice	%system	%iowait	%steal	%idle
11:33:12	all	33.00	0.00	44.00	0.00	0.00	23.00
11:33:13	all	22.00	0.00	71.00	0.00	0.00	7.00
11:33:14	all	33.00	0.00	52.00	0.00	0.00	15.00
11:33:15	all	29.00	0.00	61.00	0.00	0.00	10.00
11:33:16	all	38.00	0.00	50.00	0.00	0.00	12.00
11:33:17	all	34.00	0.00	57.00	0.00	0.00	9.00
11:33:18	all	30.00	0.00	48.00	0.00	0.00	22.00
11:33:19	all	32.00	0.00	45.00	0.00	0.00	23.00
11:33:20	all	32.00	0.00	51.00	0.00	0.00	17.00
11:33:21	all	56.00	0.00	35.00	0.00	0.00	9.00
11:33:22	all	50.00	0.00	36.00	0.00	0.00	14.00
11:33:23	all	47.00	0.00	46.00	0.00	0.00	7.00
11:33:24	all	45.00	0.00	41.00	0.00	0.00	14.00
11:33:25	all	46.00	0.00	29.00	0.00	0.00	25.00
11:33:26	all	35.00	0.00	27.00	0.00	0.00	38.00
11:33:27	all	19.00	0.00	26.00	0.00	0.00	55.00
11:33:28	all	19.00	0.00	21.00	0.00	0.00	60.00
11:33:29	all	12.00	0.00	24.00	0.00	0.00	64.00
11:33:30	all	15.00	0.00	13.00	0.00	0.00	72.00
11:33:31	all	18.00	0.00	16.00	0.00	0.00	66.00
11:33:32	all	32.25	0.00	39.65	0.00	0.00	28.10
Average:	all	32.25	0.00	39.65	0.00	0.00	28.10

Figura 14. Resultados del comando SAR durante pruebas con 25 llamadas concurrentes

Al realizar la segunda prueba (figura 15), el servidor redujo nuevamente el porcentaje de CPU inutilizado, éste porcentaje se mantuvo dentro del rango de 0% al 89%. El CPU utilizado por el sistema se mantuvo dentro del rango de 4% al 40%. Finalmente, el porcentaje de CPU utilizado por aplicaciones de los usuarios estuvo dentro del rango de 9% al 68% durante el tiempo que se realizaron las pruebas.

Time	CPU	%user	%nice	%system	%iowait	%steal	%idle
11:36:34	all	32.00	0.00	21.00	0.00	0.00	47.00
11:36:35	all	44.00	0.00	35.00	0.00	0.00	21.00
11:36:36	all	68.00	0.00	32.00	0.00	0.00	0.00
11:36:37	all	45.00	0.00	36.00	0.00	0.00	19.00
11:36:38	all	48.00	0.00	33.00	0.00	0.00	19.00
11:36:39	all	36.63	0.00	33.66	0.00	0.00	29.70
11:36:40	all	34.00	0.00	29.00	0.00	0.00	37.00
11:36:41	all	28.00	0.00	22.00	0.00	0.00	50.00
11:36:42	all	51.00	0.00	36.00	0.00	0.00	13.00
11:36:43	all	60.00	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00
11:36:44	all	63.00	0.00	37.00	0.00	0.00	0.00
11:36:45	all	47.00	0.00	35.00	0.00	0.00	18.00
11:36:46	all	21.00	0.00	24.00	0.00	0.00	55.00
11:36:47	all	32.00	0.00	17.00	0.00	0.00	51.00
11:36:48	all	20.00	0.00	25.00	0.00	0.00	55.00
11:36:49	all	9.00	0.00	24.00	0.00	0.00	67.00
11:36:50	all	20.00	0.00	12.00	0.00	0.00	68.00
11:36:51	all	15.00	0.00	10.00	0.00	0.00	75.00
11:36:52	all	9.00	0.00	4.00	0.00	0.00	87.00
11:36:53	all	7.00	0.00	4.00	0.00	0.00	89.00
11:36:54	all	34.48	0.00	25.49	0.00	0.00	40.03
Average:	all	34.48	0.00	25.49	0.00	0.00	40.03

Figura 15. Resultados del comando SAR durante pruebas con 50 llamadas concurrentes

11. Resultados

Los resultados obtenidos durante las diferentes pruebas realizadas fueron satisfactorios. Al someter al servidor en situaciones extremas durante la prueba de estrés, el servidor pudo procesar cerca del 50% de las llamadas en promedio. En situaciones reales, el tráfico será mucho menor al enviado durante la prueba. El servidor no debería tener problemas procesando la cantidad de llamadas que se realizarían en el día a día dentro de la FIEC.

Se tuvo que realizar 1500 llamadas en un lapso de 2 segundos para lograr colapsar el servidor logrando así que éste dejara de funcionar. Dentro de la FIEC no se maneja ese número de llamadas por lo cual podemos sugerir que el servidor podría procesar el tráfico de llamadas dentro de la facultad sin llegar al colapso. En las pruebas de calidad de servicio, se comprobó que los valores de ancho de banda y retardo se situaron dentro de los rangos sugeridos por la UIT asegurando de ésta forma una comunicación clara, fluida y sin interrupciones.

12. Conclusiones

1. Se pudo realizar el diseño de 2 redes tipo malla para interconectar diferentes edificios de la facultad.
2. El servicio de VoIP fue sometido satisfactoriamente a pruebas de estrés y saturación dando como resultados valores de retardo, variaciones de retardo, anchos de banda dentro de los rangos establecidos y recomendados por la UIT para una comunicación de voz. Con esto, se comprobó que el servicio de VoIP implementado si está preparado para soportar la cantidad de tráfico que se generaría comúnmente en la FIEC tomando en cuenta el número de alumnos dentro de la facultad (alrededor de dos mil estudiantes).
3. Se realizó toda la configuración e implementación necesaria para poder crear el radio enlace que permite comunicar exitosamente las dos redes tipo malla ubicadas en diferentes edificios de la FIEC.

13. Recomendaciones

1. Para futuras investigaciones, utilizar una mayor cantidad de enrutadores inalámbricos para cubrir más o diferentes zonas de la facultad. Al momento de realizar las pruebas se encontraron lugares donde la comunicación no era la más óptima por lo que era necesario la reubicación de equipos. Esto sucedía principalmente en zonas donde la extensión de la cobertura de red se veía limitada por la carencia de más equipos a fin de mejorar la cobertura.
2. Podar los árboles que se encuentran dentro de la línea de vista de los radio enlaces. Para obtener línea de vista se tuvo que colocar el equipo de radio en un mástil para que se encuentre a una mayor altura ya que en su ubicación original era imposible obtener línea de vista por el tamaño de los árboles. En futuras implementaciones realizar la instalación de los equipos de radio será aún más complicado ya que los árboles seguirán creciendo.
3. Mejorar las instalaciones eléctricas dentro del área de laboratorios de electrónica de la FIEC. Al momento de realizar las pruebas de la red en ese sector nos encontramos con varios problemas de conexión de los equipos hacia los tomacorrientes. La mayoría de ellos se encontraba dañados y se tuvo que utilizar varias regletas y extensiones para abastecer de electricidad a los diferentes enrutadores inalámbricos. Al momento de realizar futuras implementaciones en este sector, sin duda este problema será una limitante muy importante por lo cual es indispensable realizar las mejoras respectivas.

14. Bibliografía

- [1] «Asterisk Forum,» [En línea]. Disponible: <http://forums.asterisk.org/>. [Último acceso: Octubre 2013].
- [2] «OpenWrt Wireless Freedom, » [En línea]. Disponible: <https://forum.openwrt.org/>. [Último acceso: Octubre 2013].
- [3] «The Wireshark packet analyzer, » Wireshark, [En línea]. Disponible: <http://wireshark.org>. [Último acceso: Noviembre 2013]. Images, "SIGGRAPH '96 Proceedings, July 1996, pp. 303-312.
- [4] ITU, « ITU Publications,» ITU, [En línea]. Disponible <http://www.itu.int/en/publications/Pages/default.aspx>. [Último acceso: Noviembre 2013]. Workman, J., "Racing to Market: An Ethnography of New Product Development in the Computer Industry," Ph.D. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Sloan School of Management, 1991.
- [5] «OLSR configuration,» [En línea]. Disponible: <http://wiki.openwrt.org/inbox/mesh.olsr>. [Último acceso: Octubre 2013].
- [6] «Routed Client with relayd (Pseudobridge),» [En línea]. Disponible:
- <http://wiki.openwrt.org/doc/recipes/relayclient>. [Último acceso: Noviembre 2013].
- [7] «NanoStation Loco | Ubiquiti Networks, Inc,» Ubiquiti Networks, [En línea]. Disponible: <http://www.ubnt.com/nanostationloco>. [Último acceso: Noviembre 2013].
- [8] «NanoStation M Quick Start Guide,» Ubiquiti, [En línea]. Disponible: http://dl.ubnt.com/guides/NanoStation_M/NanoStation_M_Loco_M_QSG.pdf. [Último acceso: Noviembre 2013].
- [9] «Micronautas WIP,» [En línea]. Disponible: <http://tombatosals.github.io/>. [Último acceso: Octubre 2013].
- [10] «Sipp Referene Configurations,» [En línea]. Disponible: <http://sipp.sourceforge.net/doc/reference.html>. [Último acceso: Noviembre 2013].
- [11] M. Moraes, «Using SIPp to run performance tests,» [En línea]. Disponible: <http://wiki.sipfoundry.org/display/sipXecs/Using+SIPp+to+run+performance+tests>. [Último acceso: Noviembre 2013].
- [12] Joskowicz, «Medida de la calidad de voz en redes IP,» [En línea]. Disponible: <http://iie.fing.edu.uy/~josej/docs/Medida%20de%20la%20calidad%20de%20voz%20en%20redes%20IP.pdf>. [Último acceso: Diciembre 2013].
- [13] «X-Lite 4 Soft Phone Setup,» [En línea]. Disponible: <http://www.easyofficephone.com/support/x-lite-4-setup>. [Último acceso: Noviembre 2013].
- [14] A. D. Limachi, «Redes Inalámbricas Topología,» [En línea]. Disponible: <http://www.slideshare.net/alandk/topologias-inalambricas-presentation>. [Último acceso: Febrero 2013].
- [15] «Mejores prácticas para redes de datos,» [En línea]. Disponible: http://es.wikibooks.org/wiki/Mejores_pr%C3%A1cticas_para_redes_de_datos/Topolog%C3%ADas_de_Red. [Último acceso: Febrero 2013].
- [16] A. Valderrama, «Topología de Redes: Topología de Árbol,» [En línea]. Disponible: <http://alexanetworking.blogspot.com/2010/05/topologia-de-arbol.html>. [Último acceso: Febrero 2013].
- [17] «RadioEnlaces,» [En línea]. Disponible: <http://bakonet.co/radioenlaces/>. [Último acceso: Febrero 2013].