

# **Análisis comparativo en términos de capacidad y calidad de servicio de una PBX en código abierto instalada en un enrutador inalámbrico y en un servidor tradicional usando Redes Inalámbricas Mesh.**

Arias Alexandra, Peña Roxanna, Chávez Patricia Ing.  
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación.  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
{alesaria, roxcpena, paxichav}@espol.edu.ec

## **Resumen**

*El presente trabajo compara dos Implementaciones de Centrales Telefónicas VoIP de Código Abierto implementados sobre una Red Inalámbrica Amallada. El primero comprende la instalación de una PBX en un servidor tradicional y el segundo la instalación de una PBX en un enrutador inalámbrico. Nuestro objetivo es determinar cuál de estos dos sistemas es superior en cuanto a capacidad y calidad de servicio se refiere y hasta qué punto es posible desarrollar el método que mostró un desempeño inferior. Para determinar la mejor solución, realizamos una prueba de capacidad de llamadas y un estudio técnico de los paquetes capturados durante las llamadas, considerando parámetros como el ancho de banda, retardo y jitter. Nuestros métodos de análisis pueden ser utilizados para futuros trabajos con una mayor complejidad y número de enrutadores inalámbricos.*

**Palabras Claves:** *Redes Inalámbricas, VoIP, Asterisk.*

## **Abstract**

*This paper compares two implementations of VoIP PBXs Open Source implemented on a Wireless Mesh Network. The first involves the installation of a traditional PBX to a server and the second installation of a PBX in a wireless router. Our goal is to determine which of these two systems is superior in capacity and quality of service refers, and moreover, what extent is possible to develop the method that showed a lower performance. To determine the best solution, we conducted a test call capacity and technical study of the packets captured during the call, considering parameters such as bandwidth, delay and jitter. Our methods of analysis can be used for further work with greater complexity and number of wireless routers.*

**Keywords:** *Wireless Mesh Networks, VoIP, Asterisk.*

## **1. Introducción**

El uso de internet hoy en día es cada vez más importante, ya que nos permite informarnos, aprender y sobre todo comunicarnos. La mayoría de hogares y empresas cuentan con una conexión a Internet el cual es proporcionado por los ISP, así mismo las empresas cuentan con centrales telefónicas proporcionadas por empresas proveedoras de la telefonía tradicional.

En la actualidad muchas empresas están usando servicios de Internet para transmitir voz y datos sobre la red que ya se encuentra instalada y así reducir costos, ya que no necesitaran contratar servicios adicionales a las proveedoras de telefonía tradicional.

Una red inalámbrica Mesh [1], es un tipo de red IEEE 802.11 en cuya arquitectura se utilizan enrutadores que forman una red de infraestructura en forma de malla (Mesh), utilizando el medio inalámbrico como medio de enlace.

Asterisk [2] es actualmente la PBX de código abierto más utilizada alrededor del mundo, es un proyecto desarrollado inicialmente por la empresa Digium, y que actualmente cuenta con una comunidad que contribuye a su desarrollo. Una de las ventajas que tiene es convertir un Computador común en una Central Telefónica de VoIP.

En este trabajo presentamos la comparación del rendimiento de dos dispositivos al albergar una Central de VoIP en términos de parámetros de Calidad de Servicio. Nuestro objetivo principal es determinar cuan factible es tener una PBX en un enrutador inalámbrico comparada con una PBX en un servidor tradicional, los cuales se analizan en una red mesh para brindar movilidad a los clientes de la red.

Se analiza la calidad de servicios y la capacidad de una red mesh con un servidor Asterisk tradicional y con un enrutador Asterisk inalámbrico construida en las instalaciones de la FIEC, cuyos resultados nos permitan definir cuál de estos dos sistemas es mejor.

## 2. Objetivos

### 2.1. Objetivo Principal

Establecer ventajas y desventajas al comparar un servidor tradicional Asterisk con un enrutador inalámbrico Asterisk dentro de una red mesh, en términos de capacidad y calidad de servicio.

### 2.2. Objetivos Específicos

- Instalar Asterisk en un servidor.
- Instalar OpenWrt en un enrutador WRT160NL.
- Adaptar una memoria USB al enrutador WRT160NL para expandir su capacidad de almacenamiento.
- Instalar de Asterisk en un enrutador WRT160NL.
- Construir una red mesh usando enrutadores WRT160NL.
- Medir el ancho de banda de la red mesh.
- Determinar la capacidad de una red mesh que usa Asterisk.
- Determinar el uso potencial de este sistema, dentro de las instalaciones de la facultad.

## 3. Metodología

Para realizar este análisis se realizaron diferentes pruebas que nos permitieron el estudio de estos sistemas. Las pruebas se realizaron en las instalaciones de la FIEC en el área comprendida entre los laboratorios de redes eléctricas, electrónica A y laboratorio de maquinarias eléctricas.

Una de las pruebas consiste en analizar el tráfico de la red, para lo cual utilizamos un software de código abierto (Wireshark) que captura paquetes RTP que son enviados y recibidos desde las interfaces de un computador portátil hacia otro, en las cuales se ha instalado un softphone que se encuentra registrado a la PBX en código abierto. Las capturas que se realizan con este software permiten el análisis de varios parámetros como ancho de banda, retardo y jitter.

Otra prueba realizada es la de estrés, la cual nos permite conocer el máximo de llamadas simultáneas que pueden soportar los servidores, para esto se utilizó una herramienta llamada Sipp, que es un generador de tráfico, el cual nos permite simular llamadas hacia el servidor y así probar su capacidad.

## 4. Análisis

### 4.1. Requerimientos

Para realizar este análisis se tomó en cuenta requerimientos físicos, operativos y funcionales.

Los físicos que comprenden la parte del hardware de este proyecto, conformado por los enrutadores inalámbricos, el servidor, y los computadores portátiles (clientes) que nos permitirán realizar las pruebas correspondientes.

Los operativos corresponden al protocolo de enrutamiento que utilizaremos, la topología de red tanto física como lógica, la central PBX tanto para el enrutador inalámbrico como para el servidor tradicional.

Los funcionales son las características mínimas necesarias para el correcto funcionamiento de este proyecto, entre los cuales tenemos que nuestra red debe brindar completa movilidad a los usuarios, además el valor mínimo del indicador de la potencia de la señal recibida (RSSI) debe ser de 65 dBm en los clientes de la red; todos los enrutadores deben ser capaces de comunicarse entre sí, así también debe existir una redundancia en la red, para que en caso de la pérdida de un nodo la red no se vea afectada

### 4.2. Análisis de la Solución

Los enrutadores inalámbricos utilizados para la red fueron los enrutadores de la marca Cisco modelo WRT160NL que pertenece a la familia de Linksys, el cual fue escogido por llevar incorporado un puerto USB, para expandir su memoria y así poder instalar Asterisk.

Para un óptimo transporte de los paquetes, se usó una red mesh la cual tiene redundancia en caso de la falla de un nodo.

En este análisis utilizaremos el protocolo de enrutamiento proactivo por optimización del estado de enlace OLSR [15] el cual está basado en el algoritmo de estado de enlace. Emplea intercambio periódico de mensajes para mantener información de la topología de la red en cada nodo. OLSR compacta el tamaño de la información enviada en los mensajes, y reduce el número de retransmisiones.

Dentro de los 11 canales utilizables en la banda de 2,4–2,5 GHz, se eligió trabajar en el canal 1, por tener menos redes dentro de las cercanías del lugar de la prueba.

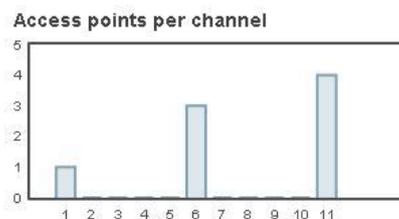


Figura 1. Número de redes por canal

## 5. Diseño de la Solución

### 5.1. Esquema de la Red Mesh en la FIEC

La Figura 2 muestra la ubicación de los enrutadores inalámbricos en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación.

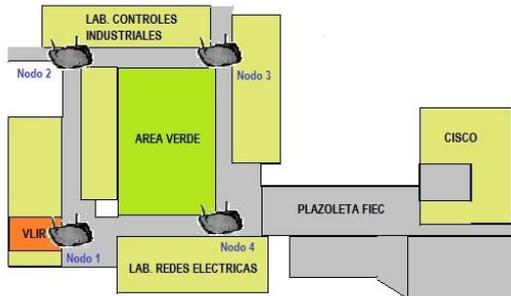


Figura 2. Esquema de la Red Mesh en la FIEC

A continuación presentamos los esquemas de los sistemas a ser analizados. Como referencia para las siguientes explicaciones, nombraremos a las Figuras 3 como Sistema A y a la Figura 4 como Sistema B. El Sistema A es una Red Mesh que cuenta con dos clientes conectados a una Central VoIP externo, mientras que el Sistema B es una Red Mesh con dos clientes conectados a una Central VoIP interno embebido en uno de sus enrutadores.

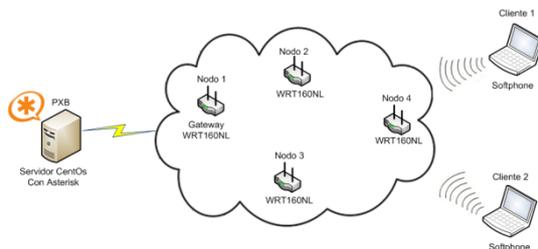


Figura 3. Sistema A: Arquitectura de Red Mesh con un servidor VoIP externo

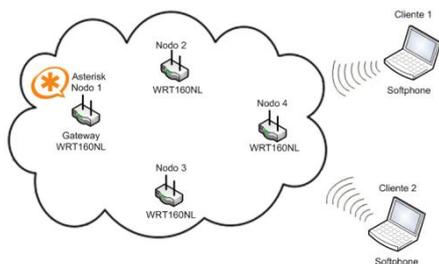


Figura 4. Sistema B: Arquitectura de Red Mesh con un servidor VoIP interno

### 5.2. Parámetros para la comparación.

**5.2.1. Retardo.** Es la demora de tiempo entre la emisión y recepción de un paquete. Existen varios parámetros que influyen en el aumento o disminución del mismo, tales como la distancia por la que los datos deben viajar, el tamaño de los paquetes, y el número de redes que existen entre los terminales.

**5.2.2. Ancho de Banda.** Es la cantidad de información o paquetes de datos que pueden ser enviados a través de la red en un período de tiempo dado, y se mide en bits por segundo (Kbps, Mbps, Gbps). La cantidad de ancho de banda requerido para VoIP depende de muchos factores, incluyendo el número simultáneo de llamadas, códec empleado, tamaño de la trama, entre otros.

**5.2.3. Jitter.** Es la variación en el retardo de los paquetes, es una de las consecuencias luego de que se produce el retardo.

## 6. Pruebas

### 6.1. Prueba de Estrés

Esta prueba se la realizó para comparar la capacidad de los dos servidores Asterisk, para esto se usó un software llamado Sipp en el cual se envía un escenario UAC, que permite enviar paquetes RTP para simular llamadas, así como también permite señalar la cantidad total de llamadas que se envían al servidor y la cantidad de llamadas que se envían cada cierto tiempo. Para esta prueba se usó un software que mide el rendimiento del sistema en cada servidor Asterisk, así como también el porcentaje de inactividad del sistema.

### 6.2. Prueba de Movilidad.

Esta prueba se la realizó para analizar la calidad de servicio de un cliente en movimiento. Consistió en realizar llamadas entre dos clientes dentro de la Red Mesh. Uno de ellos realizó un recorrido determinado con anterioridad a lo largo de la Red Mesh (*cliente móvil*) y el otro permaneció en la cobertura de uno de los enrutadores (*cliente estacionario*). Se capturaron los paquetes recibidos por ambos clientes utilizando el analizador de paquetes Wireshark.

## 7. Resultados

### 7.1. Reporte de la Prueba de Estrés

En la Tabla 1, se muestran el total de llamadas exitosas que tuvo cada servidor Asterisk tomando en cuenta que se realizó un total de 150 llamadas, con 50 llamadas cada 20 segundos.

El servidor Asterisk Inalámbrico obtuvo 90 llamadas exitosas, 60 llamadas fallidas y un porcentaje de bloqueo del 40 %. El servidor Asterisk Tradicional obtuvo 131 llamadas exitosas, 19 llamadas fallidas y un 13% de porcentaje de bloqueo.

**Tabla 1.** Reporte de Prueba de Estrés

Servidor Asterisk	Llamadas Exitosas	Llamadas Fallidas	% de Bloqueo
Inalámbrico	90	60	40
Tradicional	131	19	13

En la Tabla 2 se muestra el resumen del informe que nos proporcionó el software SAR, en el cual se detalla el porcentaje del sistema usado y el porcentaje libre, antes de la prueba y durante la prueba.

Antes de la prueba de estrés el porcentaje del sistema usado por el servidor Inalámbrico es de 0.25 % y el porcentaje del sistema libre es 98.75 %; Así como el porcentaje del sistema usado por el servidor Asterisk Tradicional es de 0.79 % y el porcentaje del sistema libre es de 89.02 %.

Durante la prueba de estrés el porcentaje del sistema usado por el servidor Inalámbrico es de 56.22 % y el porcentaje del sistema libre es 13.15 %; Así como el porcentaje del sistema usado por el servidor Asterisk Tradicional es de 33.46 % y el porcentaje del sistema libre es de 17.45 %.

**Tabla 2.** Reporte de Prueba de Estrés

Servidor Asterisk	Antes de la Prueba		Durante la Prueba	
	Sistema (%)	Inactividad (%)	Sistema (%)	Inactividad (%)
Inalámbrico	0.25	98.75	56.22	13.15
Tradicional	0.79	89.02	33.46	17.45

## 7.2. Reporte de la Prueba de Movilidad

Las capturas realizadas en la prueba de movilidad ayudaron a comparar a los dos sistemas en cuanto a la calidad de servicios, es decir en términos de ancho de banda, retardo, jitter cuyos valores promedios obtenidos fueron analizados con los permitidos por la ITU para llamadas VoIP.

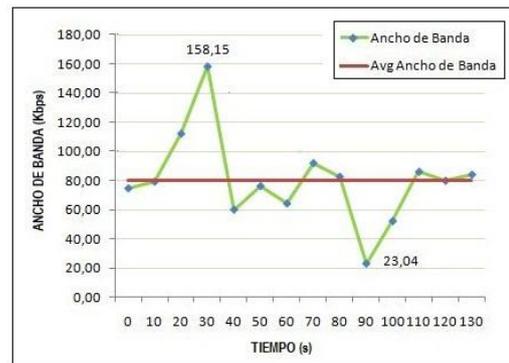
La ITU [19] especifica valores máximos y mínimos para ancho de banda, retardo y jitter en llamadas VoIP, en donde el mínimo valor de ancho de banda es de 80 Kbps, si el ancho de banda es menor la voz podría escucharse robotizada. El máximo retardo

es de 150 ms, si el retardo es más de 200 ms la comunicación sería imposible. El máximo de jitter en una llamada VoIP es de 20 ms, si este incrementa a 100 ms sería imposible la comunicación.

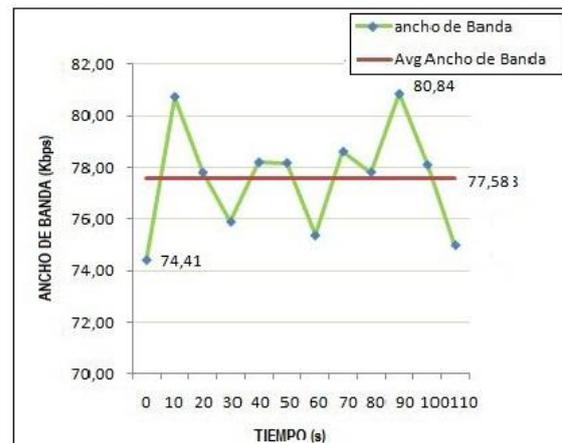
En la prueba de movilidad realizada en el sistema A se hizo en un recorrido de 130 segundos y se capturó 5.181 paquetes RTP, mientras que para el sistema B se la hizo en un recorrido de 110 segundos y se capturó 5.752 paquetes RTP. Los resultados de las capturas obtenidas en la prueba de movilidad se muestran a continuación:

**7.2.1. Ancho de Banda.** La Figura 6 muestra el ancho de banda del sistema A, cuyo promedio es de 80 Kbps; mientras que la Figura 7 muestra el ancho de banda del sistema B, cuyo promedio es de 77,58 Kbps

Según la ITU el valor mínimo permitido del ancho de banda para llamadas VoIP es de 80 Kbps, como podemos observar en las Figuras 5 y 6, el sistema A se encuentra en el mínimo permitido mientras que el otro sistema se encuentra bajo el mínimo permitido.



**Figura 6.** Ancho de Banda del Sistema A



**Figura 7.** Ancho de Banda del Sistema B

**7.2.2. Retardo.** La Figura 8 muestra el retardo del sistema A, cuyo promedio es de 33 ms; mientras que la Figura 9 muestra el retardo del sistema B, cuyo promedio es de 20,90 ms. Los dos sistemas se

encuentran por debajo del valor máximo de retardo permitido por la ITU para llamadas VoIP, el cual es de 150 ms.

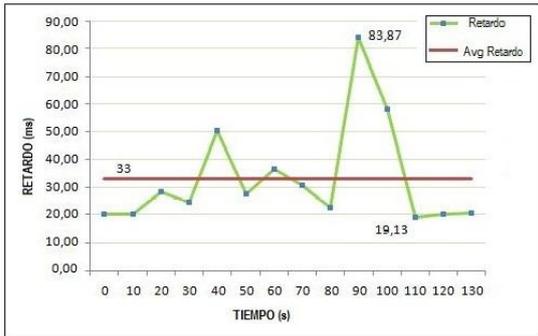


Figura 8. Retardo del Sistema A

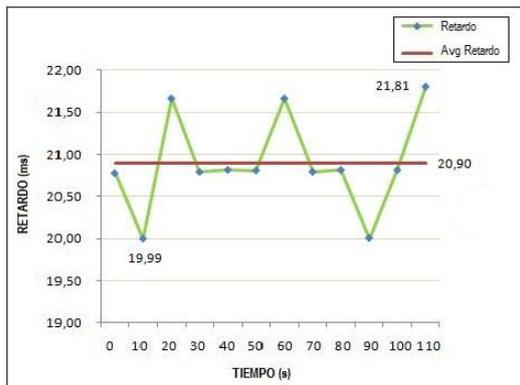


Figura 9. Retardo del Sistema B

**7.2.3. Jitter.** La Figura 10 muestra el jitter del sistema A, cuyo promedio es de 35 ms, el cual es mayor al valor máximo permitido por la ITU. Mientras que la Figura 11 muestra el jitter del sistema B, cuyo promedio es de 4,42 ms, el cual está por debajo del valor máximo permitido por la ITU.

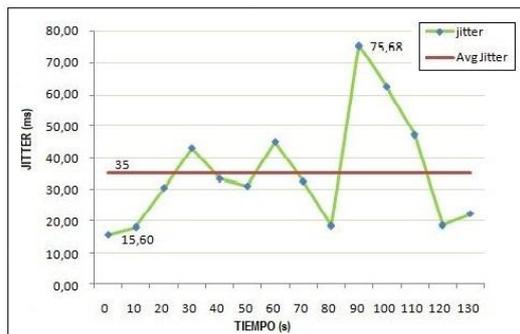


Figura 10. Jitter del Sistema A

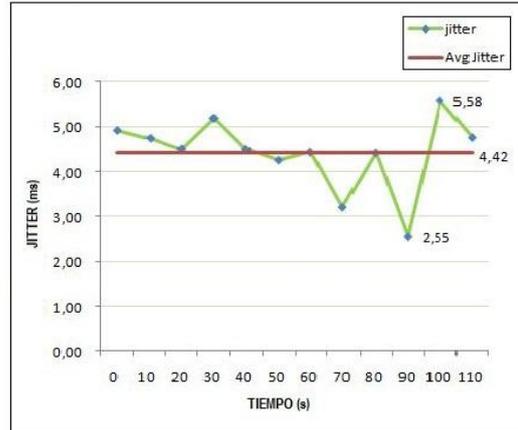


Figura 11. Jitter del Sistema B

## 8. Conclusiones

1. Luego de las pruebas realizadas concluimos que en cuanto a Calidad de Servicio se refiere, el sistema A es mejor que el sistema B. Además cabe resaltar que, los resultados obtenidos reflejan valores adecuados de Calidad de Servicio, ya que se encuentran dentro de los rangos recomendados por la ITU para llamadas en tiempo real.
2. El valor promedio de ancho de banda en el sistema A es mayor que en el sistema B, lo que implica que en el sistema A se puede enviar mayor cantidad de información a la red y, por tanto, la Capacidad de dicho sistema es superior.
3. Los resultados muestran que la diferencia que existe entre estos dos sistemas no es muy significativa a baja escala. Por este motivo, un sistema VoIP instalado en un enrutador inalámbrico resulta una solución muy conveniente para pequeñas y medianas empresas.
4. El sistema A soporta un mayor número de llamadas simultáneas que el sistema B. Pero no se recomienda saturar al servidor ya que la calidad de servicios de la llamada VoIP puede bajar significativamente, según la ITU se recomienda realizar 8 llamadas simultáneas para garantizar una mejor calidad de servicios.
5. Usar un servidor Asterisk inalámbrico en una red mesh, reduce costo, ya que el servidor Asterisk estaría configurado dentro de uno de los enrutadores de la red mesh, y ya no se requiere la adquisición de un servidor tradicional.

## 9. Agradecimiento

Agradecemos el apoyo que el Laboratorio de Comunicaciones Móviles del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Sistemas y sus miembros han prestado para la realización de este proyecto.

## 10. Referencias

- [1] I.F. Akyildiz, X. Wang, W. Wang. "Wireless Mesh Networks: a survey". Communications Magazine, IEEE.
- [2] Asterisk: the open source telephony project. <http://asterisk.org>
- [3] OpenWrt: Open source router firmware. <http://openwrt.org>
- [4] I.F. Akyildiz, X. Wang, W. Wang. "Wireless Mesh Networks: a survey". Communications Magazine, IEEE.
- [5] Jim Van Meggelen, Leif Madsen, Jared Smith, Asterisk: The Future of Telephony. O'Reilly Media, Inc., 2007
- [6] Digium Inc, Asterisk: the open source telephony project, <https://wiki.asterisk.org/wiki/display/AST/Home>, fecha de consulta enero 2011.
- [7] Boyett Andy, Thill Nicolas, OpenWrt: Open source router firmware. <http://openwrt.org>, fecha de consulta enero 2011.
- [8] Hewlett-Packard, HP-SipP Traffic Generator, <http://sipp.sourceforge.net/>, fecha de consulta junio 2011.
- [9] June Jamrichoja Parsons, Conceptos de computación: nuevas perspectivas. Cengage Learning Editores, 2008.
- [10] Tarek Sobh, Khaled Elleithy, Ausif Mahmood. Novel algorithms and techniques in telecommunications, automation and industrial electronics, Springer, 2008.
- [11] Flavio. E. Goncalves. Configuration Guide for Asterisk PBX: How to Build and Configure a PBX with Open Source Software Featuring Relas 1.4. Booksurge, 2007
- [12] Sulkin Allan, PBX systems for IP telephony, McGraw-Hill, 2002.
- [13] M.E.M Campista, P.M Esposito, I.M. Moraes, L.H.M. Costa, O.C.M. Duarte, D.G. Passos, C.V.N. de Albuquerque, D.C.M. Saade, M.G. Rubinstein. "Routing Metrics and Protocols for Wireless Mesh Networks". IEEE Network.
- [14] Vergara Kervin, Topología de red: malla, estrella, árbol, bus y anillo, <http://www.bloginformatico.com/topologia-de-red.php>, fecha de consulta mayo de 2011.
- [15] M.E.M Campista, P.M Esposito, I.M. Moraes, L.H.M. Costa, O.C.M. Duarte, D.G. Passos, C.V.N. de Albuquerque, D.C.M. Saade, M.G. Rubinstein. —Routing Metrics and Protocols for Wireless Mesh Networks. IEEE Network.
- [16] Buettrich Sebastiany Escudero Alberto, Topología e Infraestructura Básica de Redes Inalámbricas, [http://www.eslared.org.ve/tricalcar/04\\_es\\_topologia-e-infraestructura\\_guia\\_v02%5B1%5D.pdf](http://www.eslared.org.ve/tricalcar/04_es_topologia-e-infraestructura_guia_v02%5B1%5D.pdf), fecha de consulta mayo 2011.
- [17] Palosanto Solutions, Elastix: Open Source Unified Communications Server: <http://elastix.org>, fecha de consulta enero 2011.
- [18] Wireshark Foundation, The Wireshark packet analyzer, <http://wireshark.org>, fecha de consulta mayo 2011
- [19] ITU: International Communications Union, <http://www.itu.int/ITU-T>, fecha de consulta junio 2011.
- [20] Iglesias Juan Ignacio, Red inalámbrica Mesh, [http://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_inal%C3%A1mbrica\\_Mesh](http://es.wikipedia.org/wiki/Red_inal%C3%A1mbrica_Mesh), fecha de consulta mayo 2011.
- [21] Winston Keith, Midiendo el rendimiento del sistema con SAR, <http://mundogeek.net/traducciones/midiendo-el-rendimiento-del-sistema-con-SAR.htm>, fecha de consulta junio 2011.
- [22] Cisco Systems Inc, Small Business PBX: Basics, [http://www.cisco.com/cisco/web/solutions/small\\_business/resource\\_center/articles/be\\_more\\_productive/small\\_business\\_pbx/index.html](http://www.cisco.com/cisco/web/solutions/small_business/resource_center/articles/be_more_productive/small_business_pbx/index.html), fecha de consulta junio 2011.