

# Soporte de VoIP en las redes locales de la UC

Ing. Eduardo González, *Administrador de TIC*, RedUC

**Resumen**—Las redes locales desarrolladas por la Unidad de Redes Telemáticas de la Universidad de Carabobo (RedUC) desde el año 2000, soportan plenamente los tres parámetros básicos como requisitos técnicos para el soporte de VoIP: Latencia, Jitter y relación de paquetes perdidos (DPR).

**Términos Claves**—VoIP, Ethernet, QoS, CoS, Compresión, Delay, Jitter, DPR.

## I. CONSIDERACIONES GENERALES

### A. Factores críticos para VoIP

Los tres principales factores técnicos que afectan la efectividad de VoIP son Latencia, *Jitter* y Razón de Pérdida de Paquetes (DPR) [1], asociados a factores sensitivos como la claridad de la voz, el retraso y el eco.

1) *Latencia*: Latencia se refiere al tiempo necesario para que un paquete VoIP sea transferido desde el origen al destino. Esto implica los tiempos de procesamiento tales como codificación de la señal de voz y empaquetado. En resumen,  $\gamma = 2\gamma_{codec} + 2\gamma_{paq} + \gamma_{red}$ , donde  $2\gamma_{codec}$  es la latencia debida a la codificación y decodificación de la señal de voz,  $2\gamma_{paq}$  es la latencia por el empaquetado hasta la capa de enlace y  $\gamma_{red}$  es la latencia de propagación de la señal a través de la red.

Según el estándar G.114 del The International Telecommunication Union (ITU) se considera que la latencia máxima total debe ser  $\gamma < 150 \text{ ms}$  (véase tabla I) para comunicación de voz de alta calidad. El cálculo de la latencia por propagación en la red se estima en  $6.3 \frac{\mu\text{s}}{\text{km}}$  [2], y para el caso del Codec estandarizado G.729A, se manejan valores alrededor de  $\gamma_{codec} = 25 \text{ ms}$  y  $\gamma_{paq} = 5 \text{ ms}$ . Estos valores se deben considerar como latencias fijas, independientes de la carga presente tanto en el CPU de los teléfonos/PCs, y de la carga de la red. Los valores

TABLA I  
RECOMENDACIONES DE ITU-T G.114

	Fixed Delay	Variable Delay
Coder Delay G.729 (5 ms Look Ahead)	5 ms	
Coder Delay G.729 (10 ms Per Frame)	20 ms	
Packetization Delay Included in Coder Delay		
Queuing Delay 64 kbps Trunk		6 ms
Serialization Delay 64 kbps Trunk	3 ms	
Propagation Delay (Private Lines)	32 ms	
Network Delay (For example, Public Frame Relay Sync)		
Dejitter Buffer		2-2000 ms
<b>Total - Assuming 50 ms Jitter Buffer</b>	<b>110 ms</b>	

de latencia variables deben ser estimados mediante pruebas, sin embargo, se puede garantizar la reducción considerable de

Documento creado el 28 de Junio de 2005, como parte de la información de soporte para las redes locales de la Universidad de Carabobo

esas latencias, siguiendo algunas recomendaciones en el diseño de la red, que permitan dar prioridad a paquetes de VoIP. [4], [5]

2) *Jitter*: Las variaciones de la latencia producen el fenómeno *Jitter*, que se manifiesta en una pérdida de datos debido a que el buffer de entrada del dispositivo receptor de paquetes VoIP no logró mantener la cantidad de paquetes para ser procesados. Se produce un “vacío” de datos que se manifiesta en “cortes” de la señal de voz.

El *Jitter* está más relacionado con las latencias variables, y de acuerdo la sección I-A.1, se puede garantizar la disminución dependiendo del diseño. El RFC 1889 define el *Jitter* como la desviación promedio de la variación de la latencia entre dos paquetes transmitidos. Para la estimación del *Jitter* y posterior ajuste del buffer, se utiliza el tiempo marcado en el paquete RTP ( $S_i$ ) que ingresa al destino y se compara con el reloj RTP en el receptor ( $R_i$ ). Así, para dos paquetes  $i$  y  $j$ , se define *Jitter* como:

$$D(i, j) = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) \quad (1)$$

La variable *Jitter*, supeditada a un fenómeno estocástico, debe ser estudiada una vez que suceda, mediante análisis de tráfico, en las condiciones críticas. Para predecir el fenómeno fuera del campo, es necesario realizar simulaciones.

3) *Relación de pérdida de paquetes*: DPR por sus siglas en inglés, corresponde a la relación de paquetes perdidos que pueden afectar seriamente la transferencia de información de voz en una comunicación. En general, una instalación de red local bien lograda, cumpliendo con las normas correspondientes, garantiza la no pérdida de paquetes [3]. Sin embargo, cuando los *buffers* de los *switches* se colapsan, se producen pérdida de paquetes. Esto se puede solventar mediante el soporte de mecanismos agresivos para evitar el bloqueo en los *switches* [4].

### B. Control de latencias variables

Para evitar al máximo el incremento de la latencia, la presencia de *Jitter* y pérdida de paquetes, se emplean herramientas de Calidad de Servicio (QoS), tales como Clasificación, Colas y Reserva de Recursos. [1], [3]–[5], [9]

1) *Clasificación de paquetes VoIP*: Es posible marcar los paquetes VoIP desde el origen, utilizando las marcas de la capa 2, conocidas como Class of Services. Esto corresponde al campo User Priority de la porción 802.1p dentro del encabezado 802.1Q. También es posible marcar los paquetes a nivel de IP, mediante el campo Type of Service del encabezado IPv4, conocido como los bits de Servicios Diferenciados (DiffServ). Recientemente, se ha demostrado [6], [7] que el uso de DiffServ mejora considerablemente el desempeño de una red de paquetes en favor del tráfico VoIP.

2) *Colas*: El uso de colas distintas para cada tipo de tráfico clasificado dentro de los *switches*, permite disminuir la probabilidad de pérdida de paquetes y *Jitter* [1]. La clasificación se hace de acuerdo a prioridades.

3) *Reservación de Recursos*: La reservación de recursos se divide en dos partes: Fijos y Dinámicos. La reservación Fija corresponde al establecimiento de los recursos de red de acuerdo al diseño, tales como la selección de enlaces de un determinado ancho de banda, etc. La reservación Dinámica corresponde a la asignación de recursos, tales como ancho de banda, trunking, etc, que pueden ser realizados de forma dinámica, dependiendo de la contingencia. Una de las técnicas de reservación de recursos dinámica se conoce como RSVP; una vez que los terminales VoIP inician una conexión, los equipos de red establecen valores que aseguran la propagación de los paquetes en la menor latencia posible.

## II. ANCHO DE BANDA DISPONIBLE PARA VOIP EN LAS REDES LAN DE LA UC

### A. Características de las redes LAN de la UC

La totalidad de las redes locales están basadas en IEEE 802.3u, ofreciendo enlaces de 10 y 100 Mbps Full Duplex. Para conexiones a *hosts*, depende de la configuración del PC, pero para enlaces entre *switches*, se selecciona de forma obligatoria 100 Mbps. Para enlazar *switches* en topología colapsada, se emplean enlaces basados en IEEE 802.3z, soportando hasta 1 Gbps Full Duplex, generalmente en FO MM, a distancias menores a 200 mts. En la figura 1 se muestra la topología describiendo la categoría de los enlaces y las marcas de los *switches*. En los niveles superiores, preferiblemente se emplean equipos con soporte a capas superiores del modelo OSI (sobre la capa de enlace). Por ejemplo, los equipos AT-9812T de Allied Telesyn para el nivel superior y AT-8724XL de Allied Telesyn para niveles intermedios soportan Firewall, Routing, VLANs, DiffServ, 802.1p, QoS/CoS. Cada *switch* de la capa inferior está asociado a una única VLAN, lo que confina el broadcast Ethernet/IP en esa región. En el caso de que un *host* requiera garantía de servicios para VoIP, éste envía los paquetes marcados en los segmentos de CoS de IP y/o en la sección de prioridad en el segmento 802.1Q, para que el *switch* del nivel medio lo trate con preferencia. Ésta preferencia es entonces propagada al *switch* del nivel superior para iniciar la reservación de recursos mediante RSVP, que luego podrá ser anunciado al router que provea la conexión, y así iniciar una negociación MPLS con los proveedores.

Para cada *host* está disponible el ancho de banda que ofrece el puerto de conexión, de 100 Mbps; esto permite varias llamadas simultáneamente, en cualquiera de los *codecs* de voz conocidos. Para los enlaces entre los *switches* inferiores y medios, se tiene un *throughput* máximo de 140 Mbps [8] que ofrecen en total  $\left\lfloor \frac{140 \text{ Mbps}}{158.93 \text{ Kbps}} \right\rfloor = 880$  llamadas simultáneamente bajo el *codec* G.711 (véase la tabla II), suponiendo el uso del 100% del ancho de banda sólo para VoIP. Si se considera un 30% de los recursos para VoIP, se obtienen 264 llamadas simultáneas, con *stream* de voz sin compresión. Si se emplea G.723.1a al 30% de los recursos se pueden realizar  $\left\lfloor \frac{140 \text{ Mbps}}{41.6 \text{ Kbps}} \times 0.3 \right\rfloor = 1009$  llamadas simultáneas. Estas

TABLA II  
CODECS COMÚNMENTE UTILIZADOS, Y SU ANCHO DE BANDA ASOCIADO POR SESIÓN\*

Codec	Nominal Data Rate (kbps)	Data Bytes per 30ms packet (bytes)	Total Datagram Size (bytes)	Combined bandwidth for 2 flows (kbps)
G.711	64	240	298	158.93
G.729	8	30	88	46.93
G.723.1m	6.3	24	82	43.73
G.723.1a	5.3	20	78	41.6

\* considerando una comunicación de dos vías, 40 bytes de encabezado IP/UDP/RTP y 18 bytes de encabezado Ethernet [3]

cantidades ofrecen gran holgura de recursos, puesto que en general, cada *switch* del nivel inferior no está manejando más de 255 *hosts*.

En los enlaces de 1 Gbps, los valores calculados previamente deben multiplicarse por 10, y se obtienen 10090 llamadas simultáneas al 30% de los recursos con el *codec* G.723.1a ó 2640 llamadas con G.711, disponiendo aún de 70% del ancho de banda para otro tipo de tráfico, equivalente a 700 Mbps.

### B. Características de los puertos de acceso a la WAN de la UC

Los puertos de acceso a la red WAN de todas las dependencias son ofrecidos con IEEE 802.3 de 10 Mbps en half duplex. El *throughput* real disponible al 100% es de 2.5 Mbps [8]. El número de llamadas G.711 en este tipo de enlaces, al 30% de utilización para VoIP es  $\left\lfloor \frac{2.5 \text{ Mbps}}{158.93 \text{ Kbps}} \times 0.3 \right\rfloor = 4$  llamadas.

## III. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES NO CERTIFICADAS Y/O ENMASCARADAS

### A. Justificación del uso de redes no certificadas

El uso de direcciones no certificadas tiene dos justificaciones muy importantes: Seguridad y Disponibilidad.

1) *Seguridad*: La ocultación de la lógica de la red no certificada bloquea el “escaneo” de direcciones IP y puertos TCP/UDP por parte de software malicioso.

2) *Disponibilidad*: La universidad cuenta con un rango de  $2^{13} = 8192$  direcciones IPs, que una vez segmentado en subredes para mejorar el dominio de broadcast/IP, ofrece poco rendimiento en cuanto al número de direcciones disponibles y el número real de *hosts*. Utilizando direcciones no-certificadas, se dispone de 16777216 direcciones para el bloque 10.x.x.x

### B. Clasificación de las redes según el tipo de IPs

Se distinguen tres tipos de redes según el tipo del rango de direcciones IP: Privadas, Públicas y Enmascaradas/Privadas.

a) *Privadas*: Redes de gran envergadura cuyo rango de direcciones IP son no-certificadas, pero que no son traducidas o enmascaradas con respecto a la propia red de la UC. Para las conexiones a Internet, se realiza una traducción dinámica dentro de un rango especial de direcciones IP certificadas.

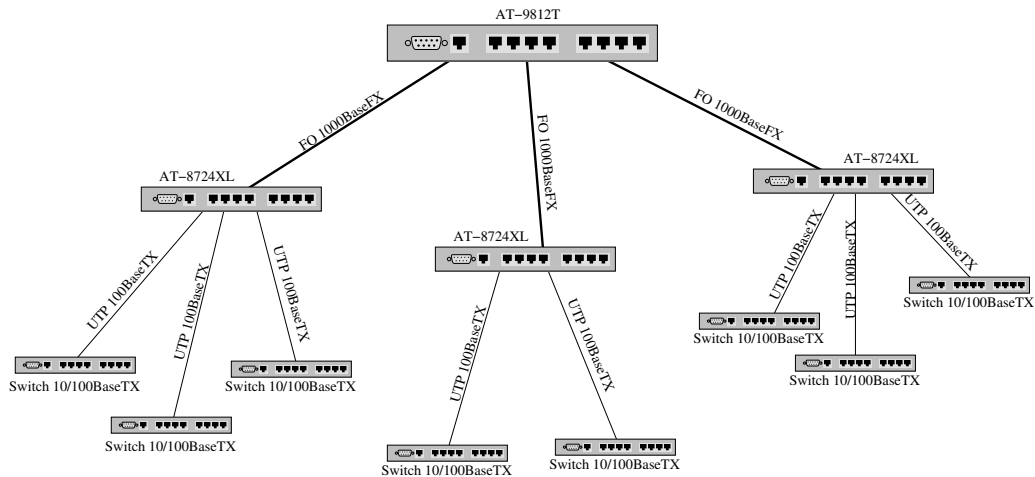


Fig. 1. Topología colapsada de una LAN típica de la UC

b) *Públicas*: Redes de gran envergadura cuyo rango de direcciones IP son certificadas, que no requieren traducciones. Para el acceso a Internet, las direcciones IP se mantienen y la comunicación VoIP hacia las otras redes Públicas y hacia Internet son transparentes.

c) *Enmascaradas/Privadas*: Redes de poca envergadura, ubicadas generalmente en bibliotecas, que enmascaran las direcciones IP no certificadas de un grupo reducido de *hosts* con una sola dirección IP. Ésta dirección IP podría estar ubicada en una red Privada o Pública.

### C. Soluciones para el tráfico Privadas $\leftrightarrow$ Públicas

Hay una serie de métodos para solventar la complicación añadida al VoIP debido al uso de redes Privadas [10]:

- La colocación de un Proxy Server en el borde entre la red Privada y la red Pública, con la finalidad de hacer la negociación de llamadas y la retransmisión del tráfico RTP.
- El uso de un Application Level Gateway (ALG) en un Router NAT o Firewall, que permite la modificación de la carga IP, con la finalidad de coordinar el tráfico.
- El uso de un Firewall Control Proxy (FCP), que dinámicamente abre brechas en la seguridad sólo para el tráfico RTP relativo a la sesión VoIP solicitada.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las redes locales de la Universidad de Carabobo han sido diseñadas en los últimos años con la previsión suficiente para soportar plenamente el tráfico de VoIP. Sin embargo, aún existen algunas redes de muy poca envergadura y de poco impacto en general (redes terminales), que deben ser actualizadas, sustituyendo concentradores por *switches*, además de mejorar su infraestructura para soportar plenamente velocidades de hasta 100 Mbps. Dada la alta disponibilidad de ancho de banda para VoIP en las redes locales, es muy importante diseñar cuidadosamente el tipo de enlace a utilizar para acceder al Backbone de la UC. La mayor cantidad de llamadas se realizan entre el Rectorado y las distintas dependencias de la UC, sin embargo, la limitación de 10 Mbps half duplex en los puertos

de acceso al Backbone, permitirán solo 4 llamadas simultáneas entre dependencias, usando G.711. Para hacer realmente viable el tráfico VoIP interdependencia, es necesario aumentar el ancho de banda de los puertos de acceso a 1 Gbps, para lograrse 2640 llamadas simultáneas.

## REFERENCIAS

- [1] Bhumi Khasnabish, *Implementing Voice over IP*. John Wiley & Sons, Inc. 2003
- [2] *Cisco Technical Solution Series: IP Telephony Solution Guide*. Version 2.1 October 2001
- [3] John Q. Walker, *A Handbook for Successful VoIP Deployment: Network Testing, QoS, and More*, NetQ Corporation 2001.
- [4] Victoria Fineberg, *Building a QoS-enabled IP Network: A Practical Architecture for Implementing End-to-End QoS in an IP Network*, IEEE Communications Magazine. January 2002
- [5] *Voice over IP Fundamentals*, Cisco Systems, 2000
- [6] Jogesh. K. Muppala, Terdsak Bancherdvanich and Anurag Tyagi, *VoIP Performance on Differentiated Services Enabled Network*, Proceedings. IEEE International Conference on Networks, 2000
- [7] Borut Klepec and Anton Kos, *Performance of VoIP Applications in a Simple Differentiated Services Network Architecture*, EUROCON'2001, International Conference on Trends in Communications, IEEE 2001
- [8] Robert Breyer and Sean Riley, *Switched and Fast Ethernet: How it Works and How to Use It*, ZD Press 1995
- [9] Anton Kos, Borut Klepec and Saso Tomazic, *Techniques for Performance Improvement of VoIP Applications*, IEEE Melecon 2002
- [10] Bur Goode, *Voice Over Internet Protocol (VoIP)*, Proceedings of The IEEE, Vol. 90, N° 9, 2002