

Cálculo de Ancho de Banda en VoIP

Introducción

Existen muchas aplicaciones (calculadores de ancho de banda) que nos permiten estimar el ancho de banda en comunicaciones de voz sobre redes IP. Estas aplicaciones requieren el ingreso de ciertos parámetros para realizar dicha estimación. La idea de este documento es explicar un método simple para realizar los cálculos de manera teórica y entender cómo se definen y que implicancias tiene la modificación de estos parámetros sobre el ancho de banda en una comunicación de VoIP.

Se profundiza también en los encabezados de los protocolos de nivel 2 con los que suele transportarse la voz sobre IP. Estos son *frame relay*, *Ethernet*, *ATM*, *PPP*, y *PPPoE* entre otros.

¿Ancho de banda o Tasa de datos?

Debido a que el ancho de banda suele expresarse en Hz y no en bits/seg, muchas veces surge la pregunta de si es o no correcto llamar a algo que posee unidades de bits/segundo ancho de banda. Está claro que no es directa la conversión de unidades de bits/segundo a Hz ya que se requiere información adicional que depende del medio físico de transmisión. Lo que a mí entender sería más preciso es llamarlo tasa de datos y no ancho de banda, pero no pretendo entrar en esa discusión ya que en la mayoría de los casos no suele haber ambigüedad y se lo llama ancho de banda. En lo que sigue del texto cuando hablemos de ancho de banda, estaremos refiriéndonos más precisamente a la tasa de datos en bits/segundo.

Análisis preliminar

Lo primero que deberíamos analizar son las características del tráfico de VoIP. Hoy en día los codificadores utilizados son de tasa de datos constante, esto da lugar a un tipo de tráfico particular que tiene dos características bien claras que simplifican el análisis:

- 1) *Tasa de paquetes (Pr) constante.*
- 2) *Tamaño de paquete (Pl) fijo.*

Si suponemos que de alguna forma pudiéramos calcular estos dos parámetros, se haría muy simple calcular el ancho de banda. Lo único que habría que hacer es multiplicarlos.

Por ejemplo, supongamos que cierta comunicación de VoIP se captura con un analizador de protocolos (sniffer) y se observa que la *tasa de paquetes* es de 50 Paquetes/Segundo mientras que los paquetes tienen un tamaño constante de 100

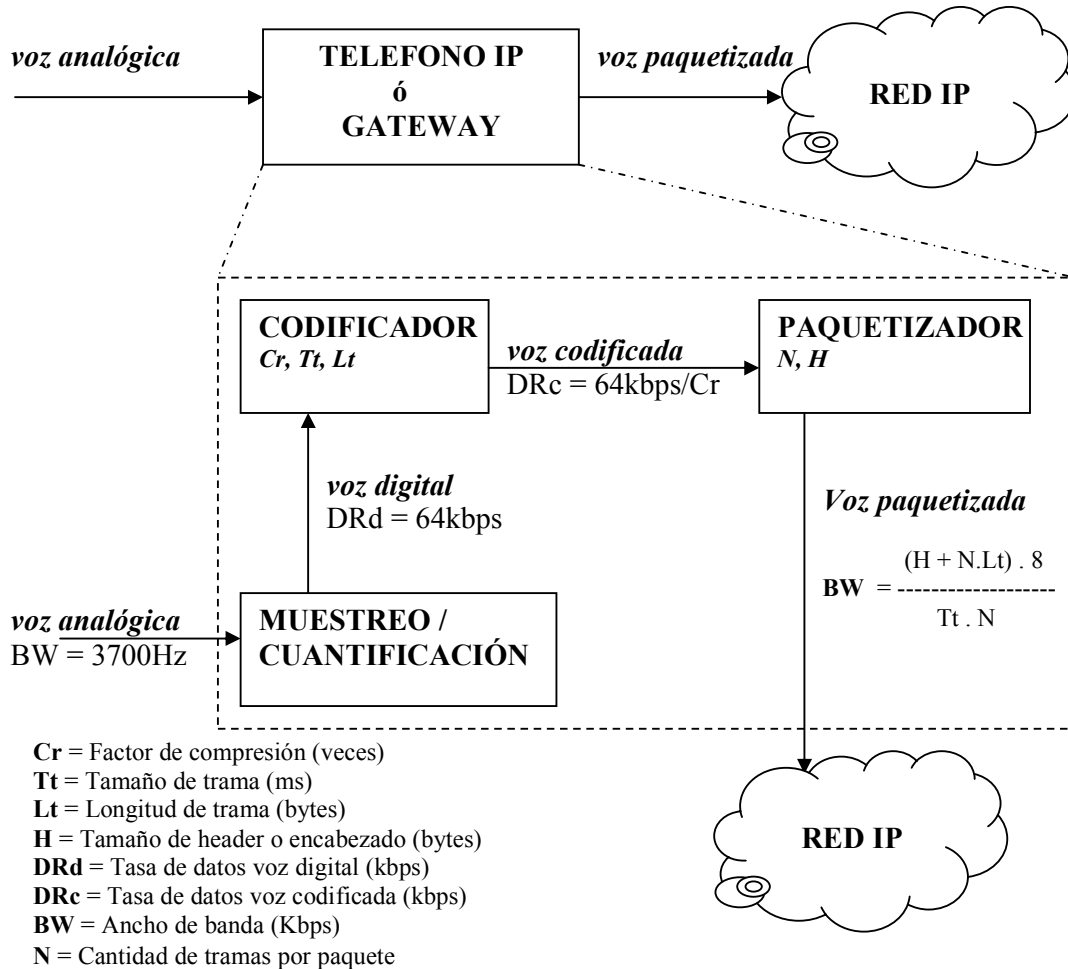
bytes/Paquete. La cuenta a resolver para el cálculo del ancho de banda sería muy simple ya que multiplicando por 8 los 100 bytes para pasar a bits, y luego multiplicando el resultado por la tasa de paquetes obtendríamos el resultado:

$$BW = 50 \frac{\text{Paquetes}}{\text{Segundo}} \times 800 \frac{\text{bits}}{\text{Paquete}} = 40000 \frac{\text{bits}}{\text{segundo}} = 40\text{kbps}$$

Entonces encontrar el ancho de banda en VoIP radica solamente en encontrar éstos dos parámetros. Tanto la *tasa de paquetes* como el *tamaño de paquete* dependen del codificador que se utilice, por eso trataremos brevemente las características generales de éstos y daremos ejemplos específicos con los más utilizados. El tamaño total del paquete (o trama para ser más precisos ya que incluimos acá el nivel de enlace) depende además, del tamaño del encabezado de cada uno de los protocolos intervinientes. Estos son RTP, UDP, IP y el protocolo de nivel de enlace utilizado (ATM, FR, Ethernet, etc).

Modelo de codificación y paquetización:

Para simplificar la explicación se hecho un diagrama en bloques del teléfono IP o gateway. Este consta de tres bloques, el bloque de conversión analógico-digital (muestreo y cuantificación), el bloque de codificación, y el bloque de paquetización. En la figura se muestra el diagrama en bloques.



El primer bloque realiza la conversión analógica/digital mostrando a una tasa de 8.000 muestras por segundo con 8 bits por muestra, dando como resultado una tasa de datos de entrada al codificador de 64kbps. La mayoría de los codificadores que se utilizan parten de este tipo de señal digital para codificar. Luego dependiendo del codificador que se utilice, los parámetros Cr , Tt y Lt cambiarán. El primero es simplemente el factor de compresión, esto es, la tasa de entrada dividida por la tasa de salida. Por ejemplo, como la tasa de entrada siempre se considera 64kbps, si la tasa de datos de la voz codificada (DRc) es 8kbps, entonces Cr será 8, si es 6.4kbps, será 10. Cuando se codifica la señal digital entrante, se la almacena durante un tiempo y cuando se recolecta la información suficiente, se la comprime. Esto da lugar a ráfagas de datos comprimidos a la salida del codificador (ver más detalles en la sección siguiente). A

este tiempo de duración entre ráfagas se lo llama *tamaño de trama* (Tt) y se mide en unidades de tiempo (normalmente milisegundos). La salida del codificador tendrá una longitud en bytes dependiente del tamaño de la trama que la llamamos *longitud de trama* (Lt).

Pongamos un ejemplo: supongamos que el *tamaño de trama* (Tt) es de **10ms** y que el *factor de compresión* (Cr) es **8**, eso correspondería a un tamaño de información a la entrada del CODEC de 80 bytes que sale de multiplicar **10ms** x 64000/8 bytes/segundo. Como el factor de compresión es de **8** veces, a la salida del codificador tendremos 10 bytes (80 bytes / **8**) por cada trama. Es decir, la *longitud de trama* (Lt) será de 10 bytes. Nótese entonces, que en realidad la *longitud de trama* podría salir del *tiempo de trama* y el *factor de compresión* (Cr) con lo que en la ecuación de ancho de banda (BW) que se muestra en la figura podría suprimirse una variable.

$$Lt \text{ (bytes)} = \frac{Tt \times 8.000 \frac{\text{bytes}}{\text{segundo}}}{Cr}$$

Finalmente del codificador salen tramas de longitud Lt y duración Tt que entran al paquetizador. Lo que hace este último bloque es simplemente acumular N tramas y colocarlas sobre un paquete IP. Podríamos atribuirle a este bloque la función de agregar el nivel 2 también. Entonces a toda esta información que agrega el paquetizador la llamamos encabezado (H). Para calcular entonces el tamaño total del paquete habrá que sumar el encabezado H , más la *longitud de trama* (Lt) multiplicada por la cantidad de tramas por paquete (N).

$$Pl(\text{longitud de paquete en bytes}) = H + Lt \times N$$

Ahora nos falta calcular la tasa de paquetes, pero esto es muy simple ya que el codificador saca 1 trama cada Tt segundos, pero el paquetizador acumula N tramas y luego agrega H y las saca. Por lo que sacará 1 paquete cada $N.Tt$ segundos, lo que da una tasa de $1/(N.Tt)$.

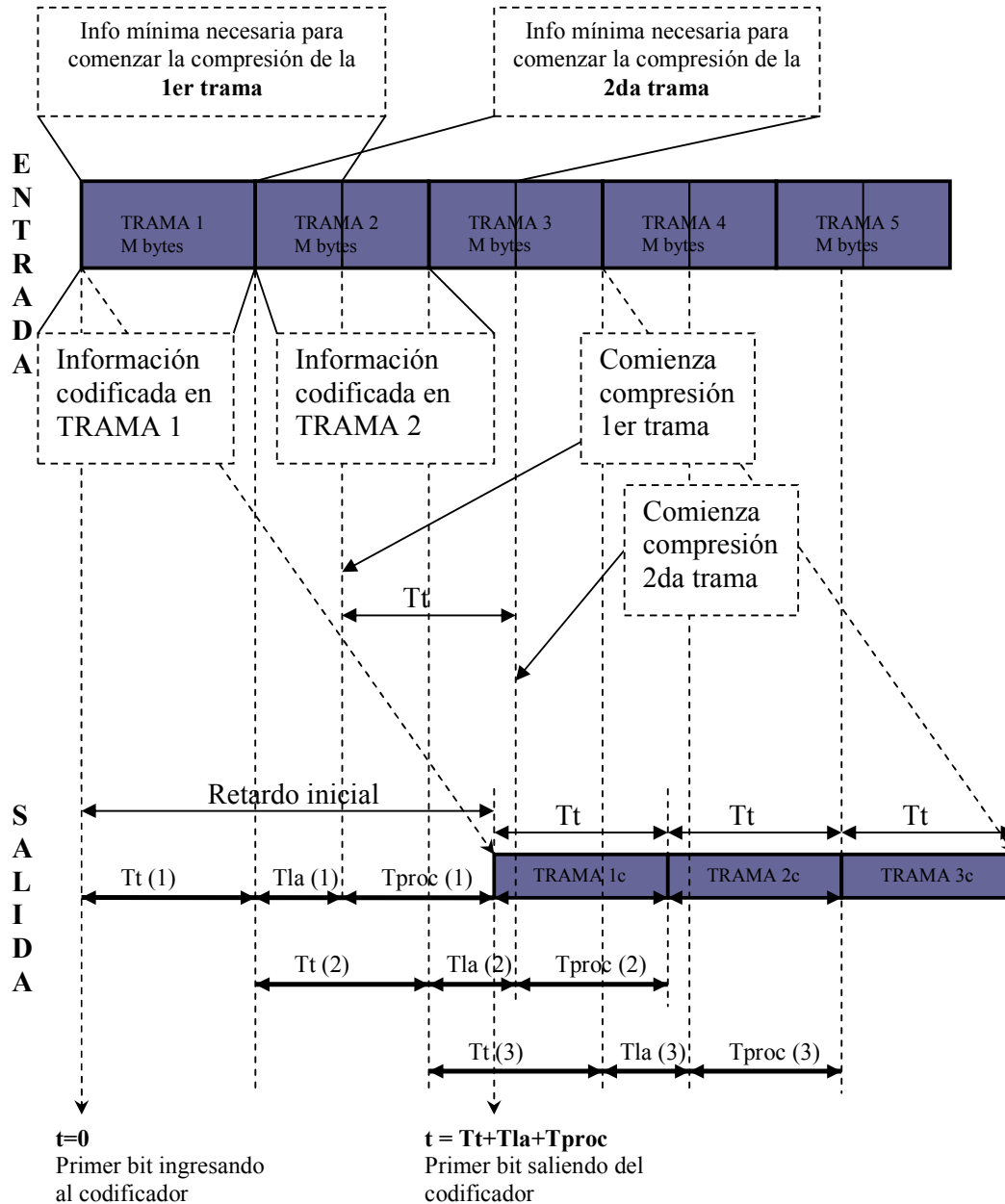
$$Pr\left(\frac{\text{paquetes}}{\text{segundo}}\right) = \frac{1}{N \times Tt}$$

Finalmente entonces, la ecuación del *ancho de banda* (BW) no es otra cosa que la multiplicación del *tamaño total del paquete* (Pl) pasado a bits y la tasa de paquetes (Pr).

$$DRp \text{ (bps)} = Pl \times Pr \times 8 \frac{\text{bits}}{\text{byte}}$$

Funcionamiento básico de los codificadores de audio para VoIP

Como se deduce de lo recién discutido, es necesario para realizar el cálculo del ancho de banda, disponer de información sobre las características de los codificadores a utilizar. Definimos en esta sección los parámetros más importantes de los codificadores. Se muestra abajo un esquema que trata de explicarlos.



Como se observa en la figura, muchos codificadores presentan estos tres parámetros básicos: El tiempo de trama (Tt) del cual ya hablamos, el retardo de "look-ahead" (Tla) y el tiempo de procesamiento (Tproc). A éste tipo de codificadores se los

llama “basados en tramas”, no todos los codificadores funcionan exactamente de esta forma pero sí muchos de los más importantes como el G.729 y el G.723. (Por ejemplo el G.711 es un codificador basado en muestras, aunque, la H.323 lo define como un codificador basado en tramas donde cada trama tiene 8 muestras).

Como ya vimos, realmente el único parámetro que nos interesa para calcular el ancho de banda sería el *tamaño de trama*, sin embargo es de utilidad entender el resto de los parámetros de un codificador. Nótese en el diagrama, que a la entrada del codificador tenemos una cantidad de información (TRAMA 1 por ejemplo) que requiere ser codificada y transmitida. La información en TRAMA 1, correspondería a T_t milisegundos de voz y a M bytes de longitud. La longitud M saldría simplemente de multiplicar 8000 muestras (bytes) por segundo por el tiempo de trama (T_t). Luego de comprimirse la información, la salida será TRAMA 1c que contendrá la información de audio correspondiente a T_t milisegundos pero una longitud en bytes L_t que será M/C_r , donde C_r es el factor de compresión. Se puede observar en la figura que a pesar de que la información de voz corresponde a T_t milisegundos, para realizar la compresión se necesitan $T_t + T_{la}$ milisegundos. Esto se debe al funcionamiento de los algoritmos que se utilizan para realizar el cálculo. Estos algoritmos precisan conocer muestras del futuro para estimar mejor la señal de audio y poder así lograr una compresión mayor. A esta información más allá del T_t se la conoce como retardo de "look-ahead" y su valor depende específicamente de cada codificador. Una vez tomados $T_t + T_{la}$ milisegundos de información de voz a la entrada del codificador, comienza la compresión. La compresión tiene un tiempo de procesamiento que dependerá del procesador utilizado y de la complejidad del algoritmo. A ese tiempo lo llamamos tiempo de procesamiento (T_{proc}). Los DSP (Digital Signal Processors) son procesadores especialmente diseñados para este tipo de operaciones. Un parámetro de medición de performance de estos procesadores es la cantidad de millones de instrucciones por segundo que puede ejecutar (MIPS). Si uno tuviera que seleccionar un DSP para realizar la compresión de la voz, el criterio sería: Tengo un cierto tiempo T_t para realizar la compresión, no puedo demorar más de ese tiempo porque es el tiempo de espaciado entre tramas (Si tardase más, me estaría llegando la TRAMA 2 cuando todavía no terminé de comprimir la TRAMA 1 y así sucesivamente). Además tengo que ejecutar una cierta cantidad de instrucciones en ese tiempo. La cantidad de MIPS necesarias dependerán del tipo de codificador que utilice. Por ejemplo, si voy a codificar con G.711, no necesito más que un procesador con no más de 1 MIPS, en cambio para G.729 se requiere un procesador del orden de 25 MIPS para poder ejecutar las instrucciones en T_t milisegundos.

En síntesis, el retardo inicial desde que entra el primer bit sin comprimir hasta que sale del codificador transcurren $T_t + T_{la} + T_{proc}$, el espaciado entre tramas y la duración de la información de audio contenida en cada trama es T_t , y se necesitan $T_t + T_{la}$ milisegundos a la entrada para poder comenzar a realizar la compresión en este tipo de codificadores.

En la siguiente tabla se muestra un listado de los codificadores más utilizados con los parámetros.

CODEC	DRc [kbps]	Tt [ms]	Tla	Algoritmo
G.711	64kbps	0.125	-	PCM
G.726	16,24,32,40	0.125	-	ADPCM
G.729	8	10	5ms	CS-ACELP
G.723.1	6.4 ó 5.3	30	7.5ms	ACELP/MP-MLQ

G.728	16kbps	0.625	-	LD-CELP
iLBC	15.2 ó 13.33	20 ó 30	-	BI-LPC
GSM	13	22.5	-	RPE-LTP

Excede el alcance de este artículo realizar un análisis que compare las calidades de audio de los codificadores y el detalle de su funcionamiento.

Cálculo de la longitud del paquete

Protocolo	Tamaño (bytes)
Voz	Lt. N
RTP	12 (variable)
UDP	8
IP	20 (variable hasta 60)
L2	variable

La voz corre sobre RTP, que corre sobre UDP que corre sobre IP. Estos protocolos están siempre en una comunicación de VoIP. En cambio el protocolo de nivel 2 puede ser cualquiera que pueda transportar IP.

Empecemos por los protocolos más simples en lo que refiere a tamaño. En UDP el tamaño del encabezado es de 8 bytes como se muestra en la figura. En cuanto a IP el encabezado en la mayoría de los casos es de 20 bytes, pero podría crecer hasta 60 bytes con el campo de opciones. Esto no es usual en VoIP por lo que tomaremos 20 bytes como tamaño IP en todos los ejemplos.

En cuanto al RTP tiene tamaño variable también aunque siempre que no haya mezcla de audio, esto es, una conferencia, el tamaño será de 12 bytes. Como se muestra en la figura, cada fila posee 32 bits (4 bytes), y los campos en negro son los que se transmitirán normalmente. El campo SSRC es el que identifica a la fuente de audio. En el caso de conferencias el tamaño será de éstos 12 bytes + 4 bytes por cada fuente contribuyente. Es decir, cuando un dispositivo mezcla ráfagas de audio, el dispositivo que mezcla está identificado por el SSRC mientras que las ráfagas de audio que recibe el mezclador con un determinado SSRC, son identificadas por el CSRC que posee 4 bytes. La cantidad de fuentes de audio mezcladas está indicada con el contador de contribuyentes (CC). Cuando no se mezcla audio el CC va en cero.

0	1	2	3	4-7	8	9-15	16-31
V=2	P	E		CC	M	PT	Número de secuencia
Etiqueta de tiempo							
Identificador de fuente de sincronización (SSRC)							
Identificador de fuente contribuyente (CSRC) -1-							
Identificador de fuente contribuyente (CSRC) -2-							
.....							
Identificador de fuente contribuyente (CSRC) -CC-							
VOZ CODIFICADA							

La voz codificada posee un tamaño que depende como ya vimos del codificador. Y se calcula como $Lt \cdot N$ donde Lt era:

$$Lt \text{ (bytes)} = \frac{Tt \times 8.000 \frac{\text{bytes}}{\text{segundo}}}{Cr}$$

Y N era la cantidad de tramas por paquete.

En la siguiente tabla se muestran los parámetros y resultados de cálculos de ancho de banda para distintos codificadores y distintos tamaños de tramas.

CODEC	Tasa	Lt [bytes]	Tt [ms]	N	Tt.N [ms]	1/(Tt.N) Paq/seg	Lt.N [bytes]	Total [bytes]	BW [kbps]
G.729	8kbps	10	10	3	30	33,33	30	108	28,80
				6	60	16,67	60	138	18,40
G.723.1	6.4kbps	24	30	1	30	33,33	24	102	27,20
				2	60	16,67	48	126	16,80
	5.3kbps	20	30	1	30	33,33	20	98	26,13
				2	60	16,67	40	118	15,73
G.711	64kbps	1	0,125	240	30	33,33	240	318	84,80
				480	60	16,67	480	558	74,40
G.726	32kbps	1	0,25	120	30	33,33	120	198	52,80
				240	60	16,67	240	318	42,40

Se utilizaron 30 y 60ms con cada codificador elegido, nótese que en los codificadores de menor tasa la diferencia de ancho de banda utilizando entre 30 y 60 ms se acentúa más. En el otro extremo, nótese que en G.711 no hay mucha ganancia de ancho de banda entre usar 30 ó 60ms. Si comparamos G.723.1 con G.729 pareciera como que no tendría sentido utilizar G.729 ya que consume levemente más ancho de banda, genera un retardo similar y además consume más recurso de procesamiento. La razón es que la calidad del audio (MOS) es mejor para el caso de G.729. Además, si se tiene requerimientos de bajo retardo, podría utilizarse una sola trama (10ms) reduciendo considerablemente el retardo. En el caso de el G.723.1, Tt es 30ms con lo cual no se podría reducir a menos que ello.

Ancho de banda, Retardo y tasa de error.

Como en este documento basamos nuestro análisis únicamente en el cálculo de ancho de banda, es natural que todos nuestros esfuerzos se centren su reducción, pero como es usual en ingeniería, todo tiene un costo. En este caso el costo pasa por el aumento de retardo y el aumento en la tasa de error. Esto es, supongamos que se definió el codificador G.729 que trabaja a 8kbps. Como sabemos, este codificador tiene un tamaño de trama de 10ms y una longitud de trama de 10bytes. En la siguiente tabla se muestra el aumento de retardo en función del aumento de N (cantidad de tramas por paquetes), y la disminución de ancho de banda.

BW [kbps]	N	Retardo [ms]	Lt.N [bytes]	Total [bytes]
70,40	1	10	10	88
39,20	2	20	20	98
28,80	3	30	30	108
23,60	4	40	40	118
20,48	5	50	50	128
18,40	6	60	60	138
16,91	7	70	70	148
15,80	8	80	80	158

Nótese que a menor ancho de banda, mayor retardo. El retardo en esta tabla es solo el T_t multiplicado por N , a este habría que sumar 5ms más de look-ahead, como máximo 10ms más de procesamiento, el retardo en la red, y el retardo de decodificación que está asociado a la configuración del *jitter buffer* que suele estar en el orden de los 20ms. Si suponemos que el retardo en la red no supera los 40ms, el retardo de procesamiento es del orden de 5ms, y el jitter buffer de 20ms, deberíamos sumar 70ms más a los valores indicados en la tabla. A partir de los 100-150ms la percepción de la calidad de la voz en comunicaciones interactivas empieza a disminuir notablemente con lo que no se recomendaría en este caso, elegir un valor de N superior a 5.

La última consideración al respecto es que por la naturaleza del transporte de tramas, un bit errado en el FCS de Ethernet por ejemplo implica el descarte de la trama, y el descarte de una trama Ethernet con una información de audio equivalente a 60 ms equivaldría al descarte de 3 tramas Ethernet de 20ms, lo cual podría disminuir la calidad de la voz en ciertos escenarios.

Cálculo longitud de encabezado de nivel 2

En esta sección se analizan los distintos tipos de transporte a nivel 2 para el tráfico de voz sobre IP. En la mayoría de los casos, simplemente se trata de calcular cual es el valor de encabezado que habría que sumar al paquete IP en función del nivel de enlace que se utilice.

Ethernet

7 bytes	1 byte	6 bytes	6 bytes	2 bytes	46 - 1500 bytes	4 bytes	12 bytes
Preambulo	SFD	MAC Dest	MAC Origen	Tipo/ Long	DATAGRAMA IP	FCS	IFG

Si sumamos en la figura la cantidad de bytes de encabezado más el tráiler, obtendremos **38 bytes**, y este es el valor que habría que utilizar en el cálculo. Muchas veces se olvida considerar las campos que están en gris debido a que no poseen información concreta sino que cumplen funciones de sincronismo a nivel de acceso al medio.

802.1q

7 bytes	1 byte	6 bytes	6 bytes	2 bytes	2 bytes	2 bytes	46 - 1500 bytes	4 bytes	12 bytes
Preambulo	SFD	MAC Dest	MAC Origen	TPID 0x8100	Priority, CFI, VID	Tipo/ Long	DATAGRAMA IP	FCS	IFG

En el caso de trabajar con tramas Ethernet con formato *802.1q*, normalmente en puertos del tipo trunk en los switches o routers, habrá que sumar *4 bytes* más, es decir, el total es de **42 bytes**. Si se utiliza QinQ o VLAN STACKING, habría que simplemente sumar *4 bytes* más a los 42.

PPPoE (RFC 2516)

En este caso hay que sumar **6 bytes** más al encabezado de Ethernet. Cuatro bytes de PPPoE y dos bytes de PPP.

PPP (Basado en RFC1661 y RFC1662)

Según la RFC 1661, el protocolo PPP esta desarrollado para transportarse con distintos protocolos de enlace, pero la forma más utilizada es con HDLC. Este transporte está definido en la RFC1662 y el formato de trama es el siguiente:

1 byte	1 bytes	1 byte	1/2 bytes	variable	2/4 bytes	1 byte
FLAG	Dirección	Control	Protocolo	DATAGRAMA IP	FCS	FLAG
	0xFF	0x03				

Según se ve en la figura, el tamaño del encabezado sería de entre 6 y 9 bytes dependiendo del tamaño del campo Protocolo. Si se utiliza la compresión de header definida en PPP, los campos de Dirección y control no se transmiten ya que son constantes y no hay ambigüedad ya que el campo de protocolo no puede ser 0xFF. En la práctica se suelen considerar **6 bytes** de encabezado.

MLPPP (RFC1990)

Tiene dos modos de trabajo, con número de secuencia largo ó con número de secuencia corto. En el primer caso, se agregan **4 bytes** al encabezado de PPP, mientras que en el segundo **2 bytes**.

Frame Relay (RFC1490)

El formato de la trama de *frame relay* definido para el transporte de datagramas IP definido en la RFC1490 y la RFC2427 (Hace obsoleta a la RFC1490) es el siguiente:

1 byte	2 bytes	1 byte	1 byte	variable	2 bytes	1 byte
FLAG	Dirección Q.922	Control	NLPID	DATAGRAMA IP	FCS	FLAG
0x7E	DLCI, FECN,BECCN, DE	0x03	0xCC			0x7E

Sumando la cantidad de octetos de encabezado y FCS nos da un total de 7 bytes (contando solo una FLAG ya que el de finalización puede usarse a la vez como comienzo de la nueva trama). La dirección de 2 bytes, puede extenderse a 3 o 4 bytes lo que incrementaría su tamaño en 1 o 2 bytes pero en la mayoría de los casos se utilizan 7 bytes para el cálculo de ancho de banda.

ATM (RFC1483)

El caso de ATM difiere del resto de los casos de nivel 2 ya que el tamaño de las celdas es fijo, de 53 bytes, donde 5 son de encabezado por lo que quedarían solo 48 bytes para acomodar la VOZ/RTP/UDP/IP. El resto de los protocolos admite un máximo de tamaño de datos que es mayor al tamaño del paquete de voz, por lo que sería una situación poco común que el paquete se fraccione debido a la configuración del MTU (No sería un buen diseño configurar un MTU menor que el tamaño de los paquetes de voz). Pero como dijimos, el caso de ATM es distinto y si consideramos que IP + UDP + RTP ya suman 40 bytes, quedan solo 8 bytes para acomodar la voz, sin contar los campos del AAL y los que se utilizan para adaptar IP o ethernet sobre ATM.

0 - 65535 bytes	0-47 bytes	1 byte	1 byte	2 bytes	4 bytes
DATOS	PAD	UU	CPI	Long	CRC

En la figura se muestra el formato del AAL5 que es el que se utiliza para transportar tráfico IP en la mayoría de los casos. Hay que tener en cuenta que esta trama se fracciona en celdas de 48 bytes a las que se le agregan los 5 bytes de encabezado para sumar los 53 bytes. Por ello, habría que calcular cuantas celdas son necesarias para transportar el paquete de voz. Es decir, deberíamos primero sumarle 8 bytes (UU + CPI + Long + CRC) a la longitud del paquete que quisiéramos transportar sobre ATM, y luego dividir el resultado por 48. Esto nos dará la cantidad de celdas que necesitamos para trasportar el paquete de voz. Usualmente este valor debería estar entre 2 y 8 celdas.

Una vez obtenida la cantidad de celdas N_c , el ancho de banda se calculará simplemente multiplicando N_c por 53x8 bits, y dividiendo el resultado por $N.Tt$.

Es importante tener en cuenta que a la longitud del paquete IP (campo de DATOS en la figura) habría que sumarle el encabezado definido en la RFC1483 antes de dividir por 48, teniendo en cuenta además, si esta en modo ruteado o bridgeado. Los encabezados serían:

Ruteado:

3 bytes	3 bytes	2 bytes	Variable
LLC	OUI	Ethertype	DATAGRAMA IP
0xAA-AA-03	0x00-00-00	0x08-00	

En este caso la cuenta sería:

$$N_c = \text{Floor} ((8 \text{ bytes (RFC1483)} + 8 \text{ bytes (AAL5)} + \text{Longitud paquete IP})/48) + 1$$

Bridgeado:

3 bytes	3 bytes	2 bytes	2 bytes			
LLC	OUI	PID	PAD	MAC Dest	Resto trama Ethernet	FCS si PID=0x00- 01
0xAA-AA-03	0x00-80-C2	0x00-01 ó 0x00-07	0x00-00			

En este caso entonces sería entonces:

$$N_c = \text{Floor} ((10 \text{ bytes (RFC1483)} + 8 \text{ bytes (AAL5)} + \text{Encabezado Ethernet con o sin FCS} + \text{Longitud paquete IP})/48) + 1$$

Nota: Floor es la función matemática que se queda con la parte entera del número obtenido de la división. Es decir, se redondea el resultado hacia arriba al sumarle 1. En el caso de dar exacta la división, no habría que sumarle 1.

MPLS

Cuando se usa este tipo de tecnología, lo que se suele hacer es agregar una etiqueta de 4 bytes entre el protocolo de enlace y el de red. En principio el protocolo de nivel 2 debería indicar que sobre éste está la etiqueta de MPLS. Por ejemplo en Ethernet, el valor de EtherType es 0x8847 y en frame relay, el NLPID es 0x80.

4 bytes			
Layer 2	Etiqueta MPLS	DATAGRAMA IP	Trailer Layer 2

Para el cálculo de ancho de banda habría entonces que sumar los **4 bytes** de MPLS al encabezado de nivel 2. En el caso de que se concatenen etiquetas, se deberían sumar **4 bytes más** por cada etiqueta.

Otros factores a tener en cuenta en el cálculo

Existen otros factores a tener en cuenta en el cálculo de ancho de banda. El primero es la supresión de silencio que se basa en la detección de actividad de la voz (VOZ). De esta forma el transmisor, al detectar que la actividad de la voz cesa (la amplitud está debajo de un umbral) deja de transmitir información ahorrando de esta forma ancho de banda. El factor de actividad de la voz suele considerársele en el orden de un 35%, aunque un valor de 50% parece ser un valor más acorde a mediciones reales. Como consecuencia, se suele multiplicar el resultado del cálculo del ancho de banda por este factor.

Otro factor que suele sumarse al cálculo es el aumento de ancho de banda debido al envío de mensajes de RTCP (Real-Time Transport Control Protocol). La RFC3550 donde se definen los protocolos RTP y RTCP, recomienda reservar un ancho de banda de un 5% más para el envío del RTCP.

Ejemplos y utilización de la calculadora de ancho de banda

Como ya dijimos existen varias aplicaciones que permiten estimar el ancho de banda en una comunicación de VoIP. En estos ejemplos utilizaremos una calculadora desarrollada por Packetizer® (www.bandcalc.com) a la que se le agregó ATM, MPLS, PPPoE, tamaño de paquete, y se la tradujo al español. Se puede encontrar en <http://www.lairent.com.ar/lairent/BWCalc/index.html>

Ejemplo 1: Calcular el ancho de banda sobre IP, si se utiliza G.729 con 3 tramas por paquete

Como es sobre IP, solo sumo encabezados de IP, UDP, RTP. Esto da un total de 40 bytes (20 de ip, 8 de UDP y 12 de RTP) a los que hay que sumarle 10 bytes por cada trama de G.729 que da un total de 70 bytes. Como cada trama se transmite cada 10ms en G.729, al tener 3 tramas por paquete, transmitiremos un paquete cada 30ms. Osea que, transmitiremos 560 bits (70x8) cada 30ms, lo que da una tasa de 18,7 kbps. Los parámetros en la calculadora de ancho de banda son los siguientes:

Parámetros			
<input type="radio"/> Codificador	G.729 8kbps	con	30 ms ó 3 tramas por paquete
<input type="radio"/> RTP	RTP (RFC 3550)		
<input type="radio"/> UDP			
<input checked="" type="radio"/> IP			
<input type="radio"/> Enlace	ethernet 802.3	0 bytes	MPLS: NO
<input type="checkbox"/> Supresión de Silencios	<input type="checkbox"/> RTCP	1	Canal(es)

Nótese que se selecciona IP por q se calcula el ancho de banda a partir de IP, La selección del codificador podría haber sido cualquiera de las opciones de G.729 de 8kbps y la cantidad de tramas es 3 y da un tiempo de 30 ms.

Los resultados obtenidos son:

Resultados		
<i>Ancho de Banda</i>	<i>Retardo</i>	<i>Performance</i>
Promedio: 18.7 kbps	Tamaño de trama: 10 ms	DSP MIPS: 20 - 25
Máximo: 18.7 kbps	Lookahead: 5 ms	MOS: 3.9 - 4.2
<i>Tasa de paquetes</i>	Total: 35 ms	
Promedio: 33.3 pps		
Máxima: 33.3 pps		
<i>Tamaño de Paquete</i>		
70 bytes 0 celdas ATM		

Los resultados obtenidos en cuando al *Ancho de Banda*, *Tamaño de Paquete* y *Tasa de Paquetes* (1/30ms) son los esperados. El promedio bajaría al 50% si se hubiera seleccionado supresión de silencios y subiría en un 5% si se seleccionara RTCP. Si se aumenta la cantidad de canales, simplemente se multiplica el resultado por este valor.

En cuanto al retardo, los valores son los ya comentados y el *Total* simplemente suma la cantidad de tramas más el retardo de *lookahead*. A este retardo habría que sumarle el de procesamiento que es dependiente del DSP que se utilice.

En lo que respecta a la performance, se muestran la cantidad mínima de millones de instrucciones por segundo que debería poder realizar el DSP para ejecutar el algoritmo de compresión en el tiempo requerido. Además se indica el MOS en función del codificador seleccionado.

Ejemplo 2: Realizar el ejemplo 1, pero sobre Ethernet.

La única diferencia en este caso es que hay que sumar 38 bytes de encabezado de nivel 2 en el cálculo. Es decir, el tamaño será de 70 bytes + 38 bytes = 108. La tasa de paquetes no cambia por lo que hay que dividir $108 \times 8 / 30\text{ms} = 28,8\text{kbps}$.

En cuanto a los parámetros en la calculadora solo hay que seleccionar como protocolo de nivel 2 Ethernet y seleccionar la casilla de *Enlace*.

Parámetros			
<input type="radio"/> Codificador	G.729e 8kbps	con	30 ms ó 3 tramas por paquete
<input type="radio"/> RTP	RTP (RFC 3550)		
<input type="radio"/> UDP			
<input type="radio"/> IP			
<input checked="" type="radio"/> Enlace	ethernet 802.3	38 bytes	MPLS: NO
<input type="checkbox"/> Supresión de Silencios	<input type="checkbox"/> RTCP	1 Canal(es)	

Los resultados son los esperados como se ve en la figura:

Resultados		
<i>Ancho de Banda</i>	<i>Retardo</i>	<i>Performance</i>
Promedio: 28.8 kbps	Tamaño de trama: 10 ms	DSP MIPS: 30
Máximo: 28.8 kbps	Lookahead: 5 ms	MOS: 4.0 - 4.2
<i>Tasa de paquetes</i>	Total: 35 ms	
Promedio: 33.3 pps		
Máxima: 33.3 pps		
<i>Tamaño de Paquete</i>		
108 bytes 0 celdas ATM		

Ejemplo 3: Realizar el cálculo del ejercicio 2 pero se transporta con una etiqueta de MPLS.

En este caso lo único que hay que agregar son los 4 bytes de la etiqueta de MPLS al total de encabezado por lo que el total de bytes son de 112 (108 + 4 bytes). La tasa de paquetes es la misma, por lo que el ancho de banda es $112 \times 8 \text{bits} / 30 \text{ms} = 29,87 \text{kbps}$.

En cuanto a los parámetros en la calculadora nos quedaría de esta forma:

Parámetros		
<input type="radio"/> Codificador	G.729e 8kbps	con 30 ms ó 3 tramas por paquete
<input type="radio"/> RTP	RTP (RFC 3550)	
<input type="radio"/> UDP		
<input type="radio"/> IP		
<input checked="" type="radio"/> Enlace	ethernet 802.3	42 bytes MPLS: 1 etiqueta
<input type="checkbox"/> Supresión de Silencios	<input type="checkbox"/> RTCP 1	Canal(es)

Resultados		
<i>Ancho de Banda</i>	<i>Retardo</i>	<i>Performance</i>
Promedio: 29.9 kbps	Tamaño de trama: 10 ms	DSP MIPS: 30
Máximo: 29.9 kbps	Lookahead: 5 ms	MOS: 4.0 - 4.2
<i>Tasa de paquetes</i>	Total: 35 ms	
Promedio: 33.3 pps		
Máxima: 33.3 pps		
<i>Tamaño de Paquete</i>		
112 bytes 0 celdas ATM		

Nota: Cuando se utiliza la opción de MPLS, tiene que estar seleccionado el enlace para que sume los 4 bytes por etiqueta.

Ejemplo 4: Calcular el ancho de banda del ejemplo 2 pero se realiza el transporte en ATM modo bridgeado con FCS.

Este caso es un poco más complejo. Estamos transportando Ethernet sobre ATM. El total de bytes del encabezado de Ethernet que va sobre ATM es de 18 bytes (con FCS). A estos hay que sumarle 8 bytes del AAL5 más 10 bytes de la RFC1483. Eso nos da un total de 36 bytes a los que hay que sumarle 70 (IP+UDP+RTP+CODEC) y nos da un total de 106 bytes. Si dividimos el resultado por 48, obtenemos que necesitaríamos 2 celdas completas y parte de una tercera (el resto se rellenará con padding). Por ello, el total de bytes transmitidos sería: $53 \times 3 = 159$ bytes. La tasa de paquetes por segundo sería igual que en los ejemplos anteriores por lo que bastaría multiplicar por 8 y dividir por 30ms para obtener 42,4kbps como ancho de banda.

La configuración de la calculadora de ancho de banda sería:

Parámetros	
<input type="radio"/> Codificador	G.729 8kbps con 30 ms ó 3 tramas por paquete
<input type="radio"/> RTP	RTP (RFC 3550)
<input type="radio"/> UDP	
<input type="radio"/> IP	
<input checked="" type="radio"/> Enlace	ATM AAL5 RFC1483 bridged w/FCS 36 bytes MPLS: NO
<input type="checkbox"/> Supresión de Silencios	<input type="checkbox"/> RTCP 1 Canal(es)

Y los resultados:

Resultados		
<i>Ancho de Banda</i>	<i>Retardo</i>	<i>Performance</i>
Promedio: 42.4 kbps	Tamaño de trama: 10 ms	DSP MIPS: 20 - 25
Máximo: 42.4 kbps	Lookahead: 5 ms	MOS: 3.9 - 4.2
<i>Tasa de paquetes</i>	Total: 35 ms	
Promedio: 33.3 pps		
Máxima: 33.3 pps		
<i>Tamaño de Paquete</i>		
106 bytes 3 celdas ATM		

Como se ve, el campo de Tamaño de Paquete en el caso de ATM es el total antes de fraccionar y dividirla en celdas. Es decir, se divide este valor por 48, y se toma la parte entera hacia arriba para calcular la cantidad de celdas.

Referencias:

- “Voice Over IP”, UYLESS BLACK
- “RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications”, RFC 3550
- “A Method for Transmitting PPP Over Ethernet (PPPoE)”, RFC 2516
- “The Point-to-Point Protocol (PPP)”, RFC 1661
- “PPP in HDLC-like Framing”, RFC 1662
- “The PPP Multilink Protocol (MP)”, RFC 1990
- “Multiprotocol Interconnect over Frame Relay”, RFC 2427
- “Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5”, RFC 1483

Acrónimos y abreviaturas:

RFC: Request For Comments

Pl (Packet length): Tamaño de paquete en bytes.

BW (Bandwidth): Ancho de banda en bits por segundo.

Cr (Compression Rate): Factor de compresión en veces.

Tt: Tamaño de tramo en milisegundos.

Lt: Longitud de trama en bytes.

H (Header): Encabezado en bytes.

DRd (Data Rate, digital): Tasa de datos digital en kbps.

DRc (Data Rate, Coded): Tasa de datos codificada en kbps.

N: Cantidad de tramas por paquetes.

Tla: Retardo de look-ahead en milisegundos.

Tproc: Retardo de procesamiento en milisegundos.