



Facultade de Informática

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

DISEÑO DE REDES

Práctica 1 - DiffServ en INET

Estudiante: Tomé Maseda Dorado

Estudiante: Jorge Álvarez Cabado

A Coruña, outubro de 2021.

Índice general

1	Router sin QoS	5
1.1	Longitud de cola del router	5
1.2	Tiempo de encolado del router	6
1.3	Retardo extremo a extremo	7
1.4	Paquetes recibidos en el servidor	8
1.4.1	Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 0-1s	9
1.4.2	Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 99-100s	10
1.5	Muestras VoIP perdidas	11
1.6	Paquetes VoIP perdidos	11
2	Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail	13
2.1	Longitud de cola del router	13
2.2	Tiempo de encolado del router	14
2.3	Retardo extremo a extremo	15
2.4	Paquetes recibidos en el servidor	16
2.4.1	Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 0-1s	17
2.4.2	Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 99-100s	18
2.5	Muestras VoIP perdidas	19
2.6	Paquetes VoIP perdidos	20
3	Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail y WRR	21
3.1	Longitud de cola del router	21
3.2	Tiempo de encolado del router	22
3.3	Retardo extremo a extremo	23
3.4	Paquetes recibidos en el servidor	24
3.4.1	Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 0-1s	25
3.4.2	Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 99-100s	26
3.5	Muestras VoIP perdidas	27

3.6	Paquetes VoIP perdidos	28
4	Router con QoS DiffServ mediante LLQ cola LLQ y colas RED	29
4.1	Longitud de cola del router	29
4.2	Tiempo de encolado del router	32
4.3	Retardo extremo a extremo	32
4.4	Paquetes recibidos en el servidor	33
4.4.1	Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 0-1s	34
4.4.2	Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 99-100s	34
4.5	Muestras VoIP perdidas	34
4.6	Paquetes VoIP perdidos	35
5	Ejercicios	37
5.1	Router sin QoS	37
5.2	Router con QoS	39

Índice de figuras

1.1	Longitud de la cola del router. Número de paquetes (pkt) Vs Tiempo (s).	6
1.2	Tiempo de encolado del router. Tiempo de espera un paquete de un paquete en la cola (s) Vs Tiempo (s).	7
1.3	Retardo extremo a extremo. Tiempo desde que el emisor manda un mensaje hasta que el receptor lo recibe (s) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	8
1.4	Paquetes recibidos en el servidor. Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	9
1.5	Paquetes recibidos en el servidor (0-1s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	10
1.6	Paquetes recibidos en el servidor (99-100s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	10
1.7	Muestras VoIP perdidas. Número de muestras perdidas desde el último valor tomado (B) Vs Tiempo (s).	11
1.8	Paquetes VoIP perdidos. Número de paquetes perdidos desde el último valor tomado Vs Tiempo (s).	12
2.1	Longitud de la cola del router. Número de paquetes (pkt) Vs Tiempo (s).	14
2.2	Tiempo de encolado del router. Tiempo de espera un paquete de un paquete en la cola (s) Vs Tiempo (s).	15
2.3	Retardo extremo a extremo. Tiempo que tarda un paquete en salir de la cola (s) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	16
2.4	Paquetes recibidos en el servidor. Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	17
2.5	Paquetes recibidos en el servidor (0-1s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	18

2.6	Paquetes recibidos en el servidor (99-100s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	19
2.7	Muestras VoIP perdidas. Tamaño de la muestra perdida (B) Vs Tiempo (s). . . .	19
3.1	Longitud de la cola del router. Número de paquetes (pkt) Vs Tiempo (s).	22
3.2	Tiempo de encolado del router. Tiempo de espera un paquete de un paquete en la cola (s) Vs Tiempo (s).	23
3.3	Retardo extremo a extremo. Tiempo desde que el emisor manda un mensaje hasta que el receptor lo recibe (s) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	24
3.4	Paquetes recibidos en el servidor. Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	25
3.5	Paquetes recibidos en el servidor (0-1s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	26
3.6	Paquetes recibidos en el servidor (99-100s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	27
3.7	Muestras VoIP perdidas. Número de muestras perdidas desde el último valor tomado (B) Vs Tiempo (s).	28
4.1	Probabilidad de descarte de paquetes para RED. Longitud de la cola (qlen) Vs Probabilidad de descarte (p).	30
4.2	Longitud de la cola del router. Número de paquetes (pkt) Vs Tiempo (s).	31
4.3	Tiempo de encolado del router. Tiempo de espera un paquete de un paquete en la cola (s) Vs Tiempo (s).	32
4.4	Retardo extremo a extremo. Tiempo desde que el emisor manda un mensaje hasta que el receptor lo recibe (s) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	33
4.5	Paquetes recibidos en el servidor. Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	33
4.6	Paquetes recibidos en el servidor (0-1s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	34
4.7	Paquetes recibidos en el servidor (99-100s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).	34
4.8	Muestras VoIP perdidas. Número de muestras perdidas desde el último valor tomado (B) Vs Tiempo (s).	35

Introducción

EN esta práctica se estudiará en profundidad el comportamiento de la cola de un router al congestionarlo con distintas configuraciones. La red consta de un cliente que transmite VoIP de 64kbps (76.8kbps a nivel IP) y de otros dos que transmiten tráfico de fondo UDP de 80kbps (a nivel IP) cada uno. Los clientes están conectados mediante un switch Ethernet al router que hace de enlace intermedio hacia el servidor. El enlace del router con el servidor es de 128kbps, insuficiente para el tráfico total ($76.8 + 80 + 80 = 236.8$ kbps). Se estudiarán las siguientes configuraciones:

- Capítulo 1 - Router sin QoS
- Capítulo 2 - Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail
- Capítulo 3 - Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail y WRR
- Capítulo 4 - Router con QoS DiffServ mediante LLQ cola LLQ y colas RED

Router sin QoS

EJECUTE una simulación con la configuración VoIPWithoutQoS. En la interfaz de simulación de OMNeT++ inspeccione los módulos router.ppp[0] y server. Ejecute primeramente la simulación en los modos Run y Fast para observar el flujo de paquetes y finalmente en modo Express para obtener los resultados completos.

Reproduzca el fichero de audio grabado en recepción para apreciar la calidad VoIP recibida.

1.1 Longitud de cola del router

Inicialmente, vemos que el número de paquetes en la cola aumenta debido a que la velocidad de transmisión del emisor (237.8 kbps) es superior a la velocidad de transmisión del enlace del router con el servidor (128kbps). La tasa de entrada de paquetes en la cola será:

$$R_i = R_{iVoIP} + 2 * R_{iUDP} = 1pkt/20ms + 2 * 1pkt/100ms = 50 pkt/s + 20 pkt/s = 70 pkt/s$$

Para calcular la tasa de salida de paquetes de la cola primero debemos calcular en que proporción aparece cada tipo de paquete:

$$P_{VoIP} = R_{iVoIP}/R_i = 50/70 = 5/7$$

$$P_{UDP} = R_{iUDP}/R_i = 20/70 = 2/7$$

Y ahora dividir el ancho de banda entre el tamaño medio de un paquete en la cola teniendo en cuenta la proporción en la que aparece cada tipo de paquete:

$$Tasa\ de\ salida\ (B/s) = 128000bps / 8\ b/B = 16000\ B/s$$

$$Tasa\ de\ salida\ (pkt/s) = 16000\ B/s / (192\ B/pkt * 5/7 + 1000\ B/pkt * 2/7) = 37.84\ pkt/s$$

Sabiendo las tasas de salida y entrada del router podemos calcular la velocidad a la que se llenará (en pkt/s):

$$tasaRellenado = R_i - R_o = 70 - 37.84 = 32.16\ pkt/s$$

Sabiendo que la longitud de la cola es de 100 pkt:

$$tRellenado = TamañoQueue/tasaRellenado = 100/32.16 = 3.11s$$

La cola se llenará en 3.11s.

Una vez se llena la cola esta llena, se mantiene oscilando entre 99 y 100 hasta el segundo 60, en el que se dejan de transmitir paquetes VoIP, esta oscilación se debe a que cada vez que sale un paquete de la cola hay un pequeño instante de tiempo en el que hay 99 paquetes en la cola (antes de que entre el siguiente paquete). En el segundo 60, la cola comienza a vaciarse, esto se debe a que en ese momento la tasa de salida de paquetes del router es $R_o = 37.84 \text{ pkt/s}$, al dejar de transmitir paquetes VoIP, la tasa de entrada baja de $R_i = 70 \text{ pkt/s}$ a $R_i = 20 \text{ pkt/s}$, sin embargo, al haber paquetes VoIP dentro de la cola aún, la tasa de salida del router no disminuye al instante, sino que irá disminuyendo progresivamente de $R_o = 37.84 \text{ pkt/s}$ a $R_o = 16 \text{ pkt/s}$. Una vez R_o disminuye por debajo de los 20 pkt/s hasta llegar a los 16 pkt/s (momento en el que ya no hay paquetes VoIP en la cola), la cola comenzará a llenarse de nuevo ya que $R_i = 20 \text{ pkt/s} > R_o$ y se mantendrá llena hasta el final de la simulación.

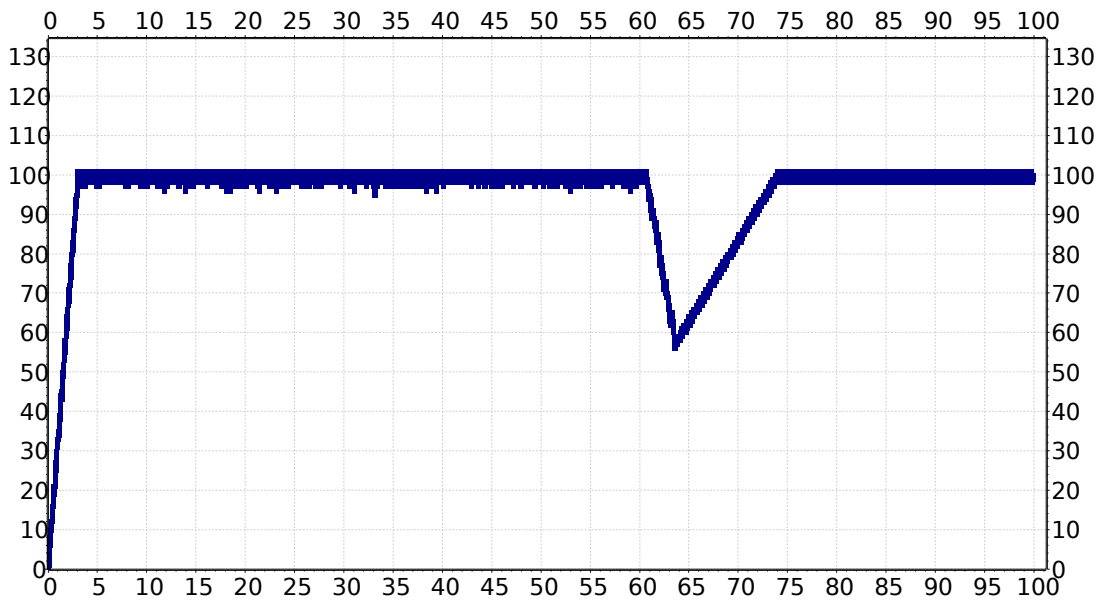


Figura 1.1: Longitud de la cola del router. Número de paquetes (pkt) Vs Tiempo (s).

1.2 Tiempo de encolado del router

Inicialmente, la cola se va llenando de forma lineal, por tanto, el tiempo de encolado crece linealmente también hasta el momento en el que la cola está llena.

Una vez se llena la cola, el tiempo de encolado varía entre unos 2.5s y 3.0s (aproximadamente), esto se debe a que la proporción de paquetes VoIP y UDP no se mantiene exactamente en 5/7 para VoIP y 2/7 para UDP, como unos paquetes se transmiten más rápido que otros (los paquetes de VoIP son de un tamaño menor, por tanto, se transmiten más rápido), el tiempo de encolado varía.

A partir del segundo 60, se dejan de transmitir paquetes VoIP, al solo haber flujo UDP en la cola, el cuál tarda más en transmitirse (paquetes de mayor tamaño), el tiempo de encolado crecerá.

El tiempo de encolado crece hasta estabilizarse en unos 6.25s, ahora ya no variará porque en la cola solamente hay paquetes UDP.

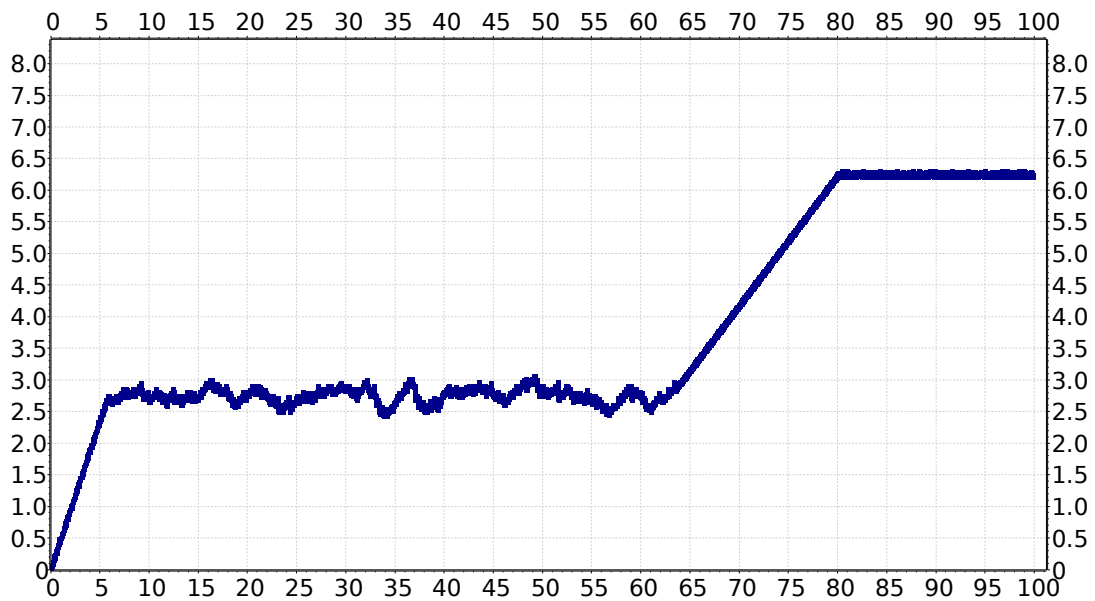


Figura 1.2: Tiempo de encolado del router. Tiempo de espera un paquete de un paquete en la cola (s) Vs Tiempo (s).

1.3 Retardo extremo a extremo

El retardo extremo a extremo es el tiempo que tarda un paquete desde que sale del emisor hasta que llega a su receptor, en este caso ese tiempo sería el retardo de los enlaces intermedios (el cuál podemos considerar una constante) sumado al tiempo de encolado del router, por eso la gráfica del retardo extremo a extremo es similar a la del tiempo de encolado (con una pequeña constante sumada, el retardo de los enlaces, que casi no se aprecia visualmente).

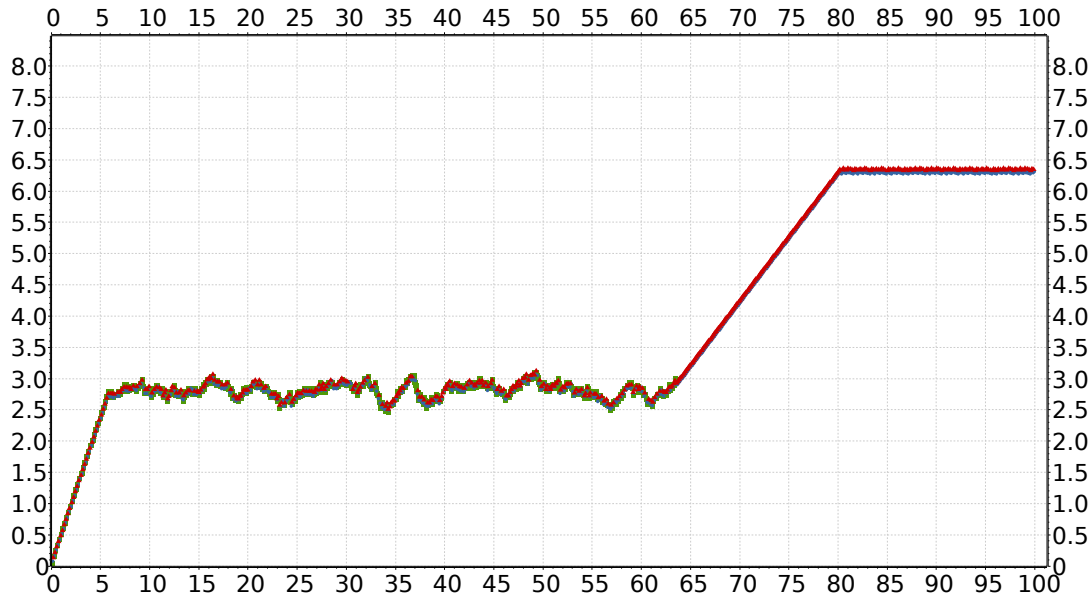


Figura 1.3: Retardo extremo a extremo. Tiempo desde que el emisor manda un mensaje hasta que el receptor lo recibe (s) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

1.4 Paquetes recibidos en el servidor

Hasta el segundo 60 se reciben paquetes VoIP en la cola (línea verde de 160B) y paquetes UDP (líneas azul y roja de 972B), a partir del segundo 60 se dejan de recibir paquetes VoIP, la línea verde llega hasta el segundo 63 (aproximadamente) porque en el servidor se siguen recibiendo paquetes VoIP, estos segundos extra es el tiempo que tarda en dejar de haber paquetes VoIP en la cola (lo que tardan en recibirse los que ya había en la cola en el segundo 60).

De hecho, ese mismo instante de tiempo, el segundo 63 aproximadamente, coincide con el instante de tiempo en el que la cola comienza a llenarse de nuevo en la gráfica "Longitud de la cola", precisamente debido a este motivo, que ya no hay paquetes VoIP en la cola y la tasa de salida disminuye por debajo de la tasa de entrada de la cola.

Si nos fijamos en los segundos 0, 30 y 60 (aproximadamente debido al retardo), vemos que se reciben unos paquetes VoIP más pequeños de lo normal, el paquete de menor tamaño se utiliza para indicar que se inicia la reproducción y el que es un poco más grande para indicar que esta termina, por eso en el instante $t=0s$ llega un paquete de inicio de reproducción, en el instante $t=30s$ (duración del audio) llega un paquete de fin de reproducción y otro de inicio (el audio se reproduce dos veces a lo largo de la simulación) y en el instante $t=60s$ debería llegar un paquete de fin de reproducción, este paquete no aparece porque se perdió, en configuraciones posteriores (usando QoS) veremos que sí aparece este paquete.

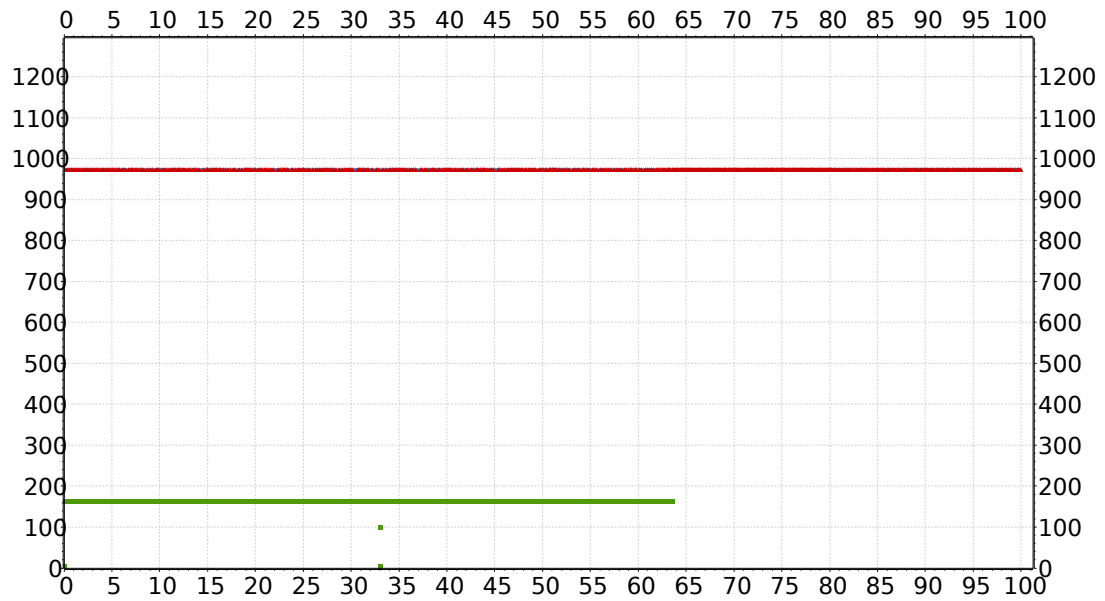


Figura 1.4: Paquetes recibidos en el servidor. Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

1.4.1 Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 0-1s

En cuanto a las gráficas por intervalos, podemos apreciar que en el intervalo 0-1s, en el cuál la cola se está llenando, se cumple la proporción de paquetes calculada previamente (cada 2 paquetes UDP recibidos, recibimos 5 paquetes VoIP, $2/7$ y $5/7$ respectivamente del tráfico total).

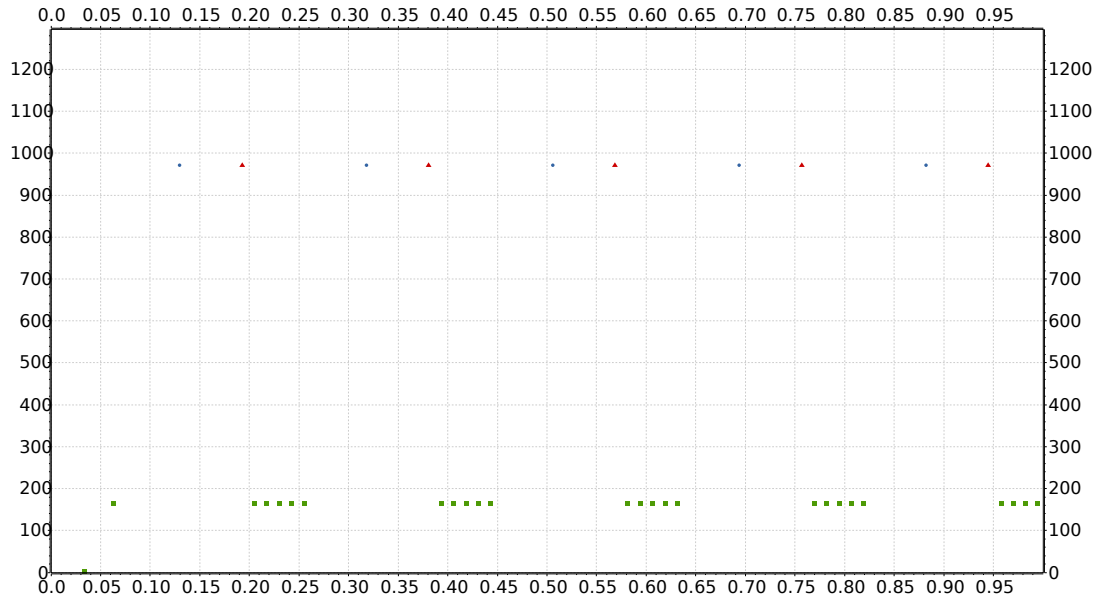


Figura 1.5: Paquetes recibidos en el servidor (0-1s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

1.4.2 Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 99-100s

En el intervalo 99-100s ya solo se reciben paquetes UDP, alternando entre los dos flujos UDP aleatoriamente, ya que no hay ninguna prioridad establecida (no hay QoS).

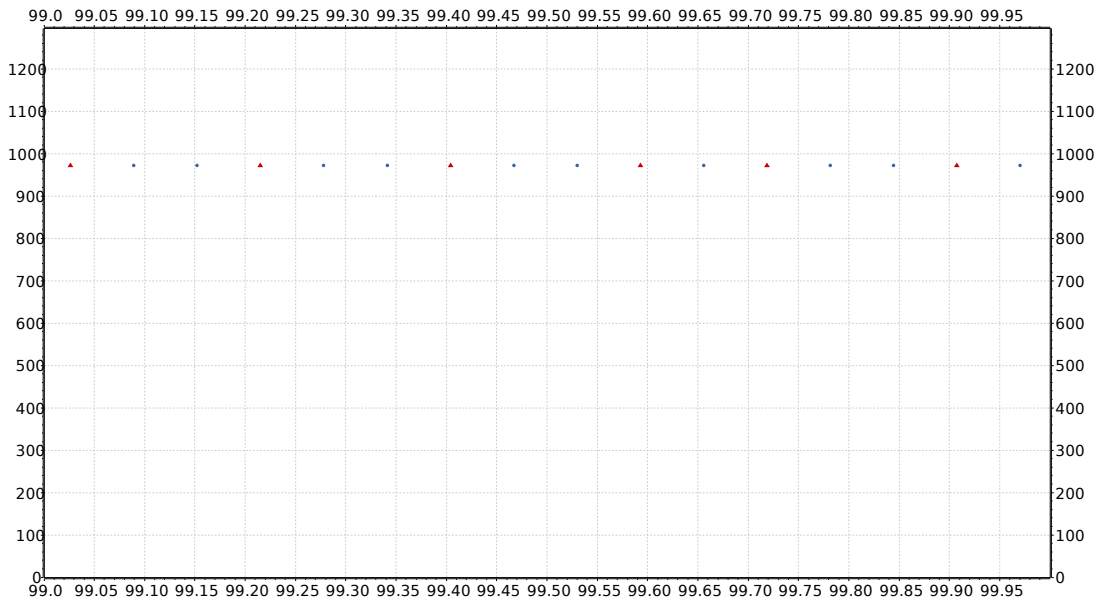


Figura 1.6: Paquetes recibidos en el servidor (99-100s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

1.5 Muestras VoIP perdidas

Explicación en la gráfica [Paquetes VoIP perdidos](#)

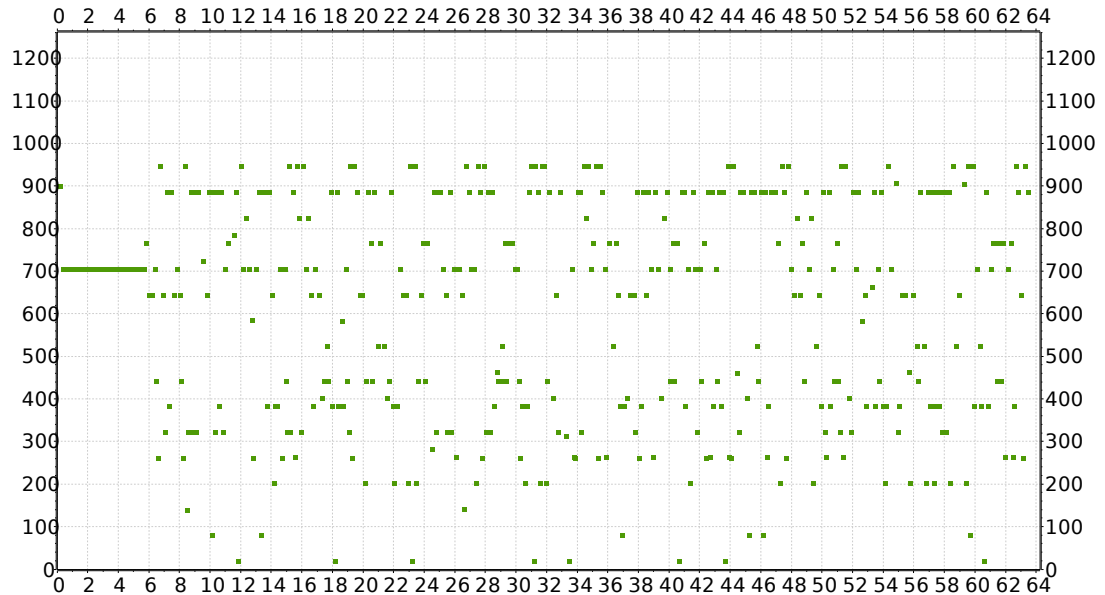


Figura 1.7: Muestras VoIP perdidas. Número de muestras perdidas desde el último valor tomado (B) Vs Tiempo (s).

1.6 Paquetes VoIP perdidos

Al principio no se pierden paquetes, hasta el instante en el que la cola se llena y se empiezan a descartar paquetes porque la cola ya está llena.

¿Por qué se pierden muestras antes de ese instante si no se pierden paquetes?

Para ello hay que entender qué es una muestra, una muestra es un punto que tomamos (muestreamos de la señal de voz), este punto se representa con $8b=1B$ y se toman 8000 muestras/s (`sampleRate=8000Hz` en el `omnetpp.ini`), por tanto, si una muestra ocupa 1B en un paquete VoIP de 160B (sin contar cabeceras) habrá 160 muestras, además, de la frecuencia de muestreo (`sampleRate`) podemos deducir el periodo de muestreo T_s :

$$T_s = 1/\text{sampleRate} = 1/8000 = 0.125\text{ms}$$

Sabiendo que cada 0.125ms tomamos una muestra y en un paquete hay 160 muestras:

$$0.125\text{ms/muestra} * 160 \text{ muestras} = 20\text{ms}$$

Cada paquete contiene 20ms de audio, por tanto cuando el primer paquete (que no se perdió) llegue al servidor, este comenzará a reproducirlo, a los 20ms cuando el servidor acabe de reproducir el contenido del paquete deberá llegar el segundo paquete, sin embargo, el segun-

do paquete no llegará exactamente a los 20 ms porque, aunque la cola no esté llena, hay un pequeño retardo en cada enlace intermedio (mencionado previamente).

Si por ejemplo el segundo paquete llegase en el instante $t_2=22\text{ms}$, cuando tendría que haber llegado en el instante $t_2=20\text{ms}$ (suponiendo que el primer paquete llegó en el instante $t_1=0\text{s}$), se descartarán todas las muestras correspondientes a esos 2ms perdidos que ya se deberían de haber escuchado, que en este ejemplo serían $2\text{ms} / 0.125(\text{ms/muestra}) = 16$ muestras descartadas.

Las muestras que se pierden son constantes (antes de que se llene la cola), porque el retraso de los enlaces intermedios es constante, una vez se llena la cola las muestras que se pierden comienzan a variar en función del tiempo de encolado.

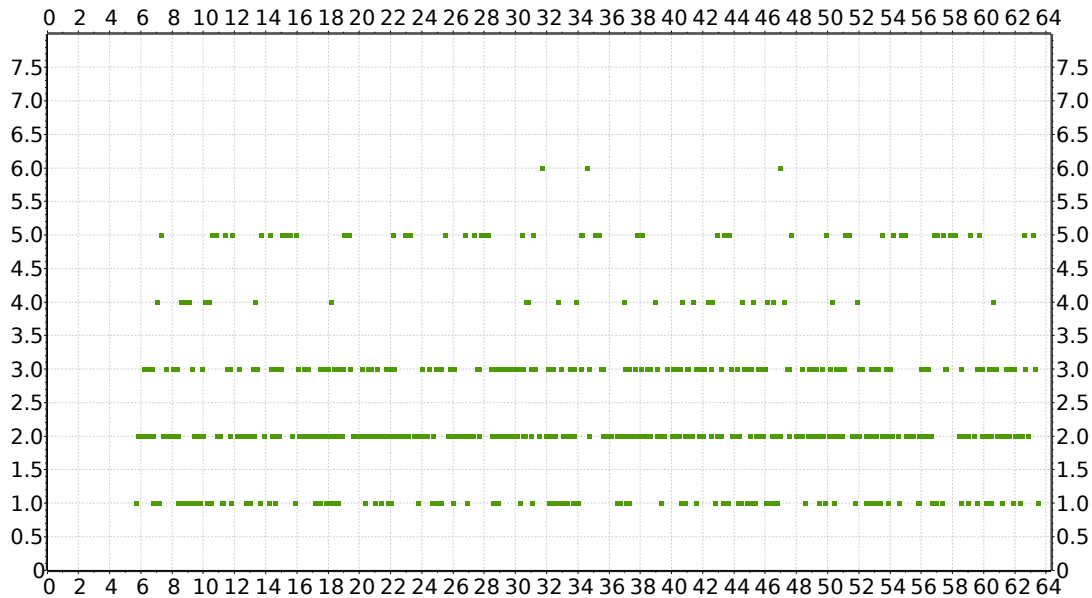


Figura 1.8: Paquetes VoIP perdidos. Número de paquetes perdidos desde el último valor tomado Vs Tiempo (s).

Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail

AHORA haremos que el router aplique QoS mediante DiffServ. Para ello, añadiremos una etapa trivial de clasificación que simplemente marcará el DSCP de los paquetes según su origen seguida de una etapa de encolado para gestionar la congestión.

En el clasificador, los paquetes del cliente VoIP se marcarán con DSCP igual a EF (Expedited Forwarding), y los de los dos clientes UDP con DSCP igual a AF11 y AF21, respectivamente. La etapa de encolado consiste en una estructura Low-Latency Queueing (LLQ), resultado de aplicar SPQ (Strict Priority Queueing) para el tráfico EF y WFQ (Weighted Fair Queueing) para el tráfico AFxy y BE (Best Effort). Dado que con SPQ el tráfico EF puede dejar sin posibilidad de fluir al resto del tráfico, es necesario hacer metering del tráfico EF y descartar los paquetes que no cumplan el perfil de tráfico esperado. En este caso, limitaremos el tráfico EF a la tasa efectiva resultante de transmitir VoIP de 64kbps en paquetes RTP sobre UDP e IP. A nivel IP, como se explicó anteriormente, es 76.8kbps.

Ejecute una simulación con la configuración VoIPQoSLLQDropTail, donde las colas AF1x y AF2x están configuradas con valores extremos (Minth = 99, Maxth = 100, Maxp = 1.0) que hacen que se comporten como simples colas DropTail. En la interfaz de simulación de OM-NeT++ inspeccione los módulos `router.ppp[0].egressTC`, `router.ppp[0].ppp.queue` y `server`. Ejecute primeramente la simulación en los modos Run y Fast para observar el flujo de paquetes y finalmente en modo Express para obtener los resultados completos.

Reproduzca el fichero de audio grabado en recepción para apreciar la calidad VoIP recibida.

2.1 Longitud de cola del router

Al aplicar QoS, las colas AF1x y AF2x (líneas azul y roja) comienzan a llenarse mientras que la cola EF no (línea verde), el tamaño de la cola EF varía entre 0 y 5 paquetes (aproxima-

damente) porque el tráfico EF está limitado a 76.8kbps (a nivel IP), entonces cada x paquetes de VoIP se enviará un paquete UDP, lo que hará que el tamaño de la cola EF vaya variando constantemente. La cola EF se mantendrá todo el rato en estos valores porque, al tener prioridad estricta (SPQ), su tasa de salida (76.8kbps = 50 pkt/s) es igual que la tasa de entrada de paquetes VoIP (50 pkt/s).

Una vez se llenan las colas AF1x y AF2x estarán constantemente variando entre 99 y 100 paquetes, por la variación mencionada previamente cada vez que sale un paquete de la cola y entra uno nuevo.

¿Por qué no se vacían las colas AF1x y AF2x cuando se dejan de transmitir paquetes VoIP?

Porque las colas AF1x y AF2x solo contienen paquetes UDP, los cuales se transmiten a una tasa de 160kbps, que sigue siendo superior a la tasa de transmisión del enlace del router con el servidor (128kbps). En el momento que se dejan de transmitir paquetes VoIP simplemente se vaciará la cola EF y el tráfico UDP continuará con normalidad.

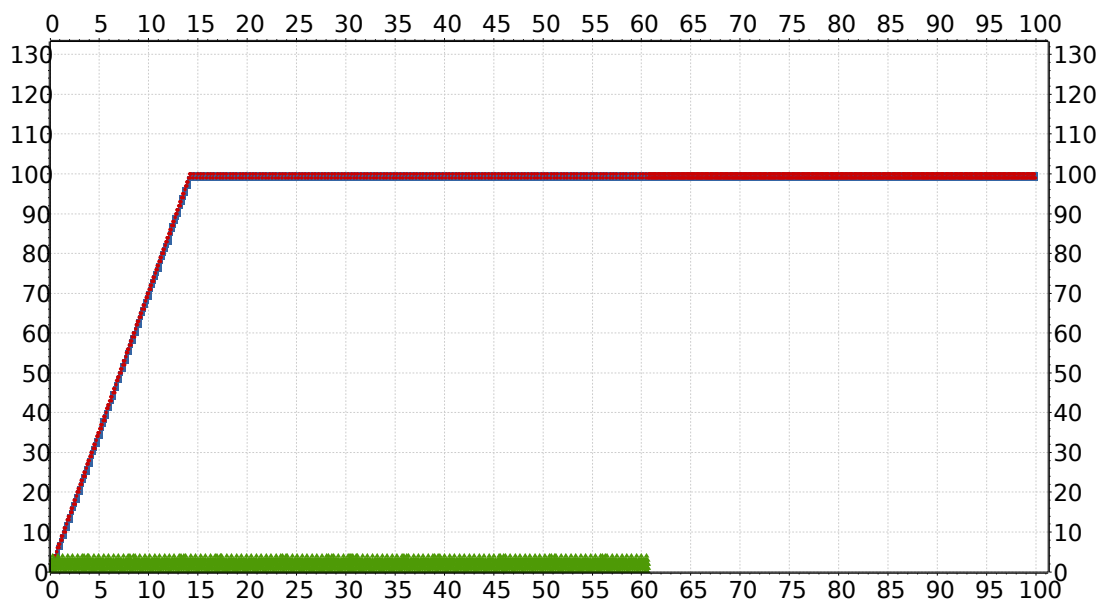


Figura 2.1: Longitud de la cola del router. Número de paquetes (pkt) Vs Tiempo (s).

2.2 Tiempo de encolado del router

Inicialmente, el tiempo de encolado de las colas AF1x y AF2x crece a medida que se va llenando la cola, mientras que el tiempo de encolado de la cola EF se mantiene constante (al igual que su longitud y por la misma razón).

En la gráfica anterior, se puede ver que las colas AF1x y AF2x se llenan en el segundo 9-10 (aproximadamente), sin embargo, su tiempo de encolado sigue creciendo hasta el segundo 47-

48 (aproximadamente), para entender este comportamiento hay que entender qué representa cada punto de esta gráfica. Un punto (x,y) de la gráfica representa un paquete que salió en un instante de tiempo x de la cola y pasó una cantidad de tiempo y dentro de la cola, entonces, si la cola se llena en el segundo 9-10, un paquete que entre en el segundo 12 (por ejemplo) y tenga un tiempo de encolado igual a 30s, se representará en la gráfica como el punto $(42=12+30, 30)$, por eso vemos que el tiempo de encolado sigue creciendo hasta los 47-48 segundos, que sería el momento en el que empiezan a salir paquetes que entraron cuando la cola ya estaba llena.

Cuando dejan de transmitirse paquetes VoIP, el tiempo de encolado de las colas AF1x y AF2x disminuye, esto pasa porque una vez dejan de transmitirse paquetes VoIP, todo el ancho de banda que estaba ocupando el tráfico EF lo ocupara el tráfico de AF1x y AF2x haciendo que su tasa de salida aumente notablemente, aunque siga siendo menor que la tasa de entrada (por ese disminuye el tiempo de encolado pero la cola sigue llena).

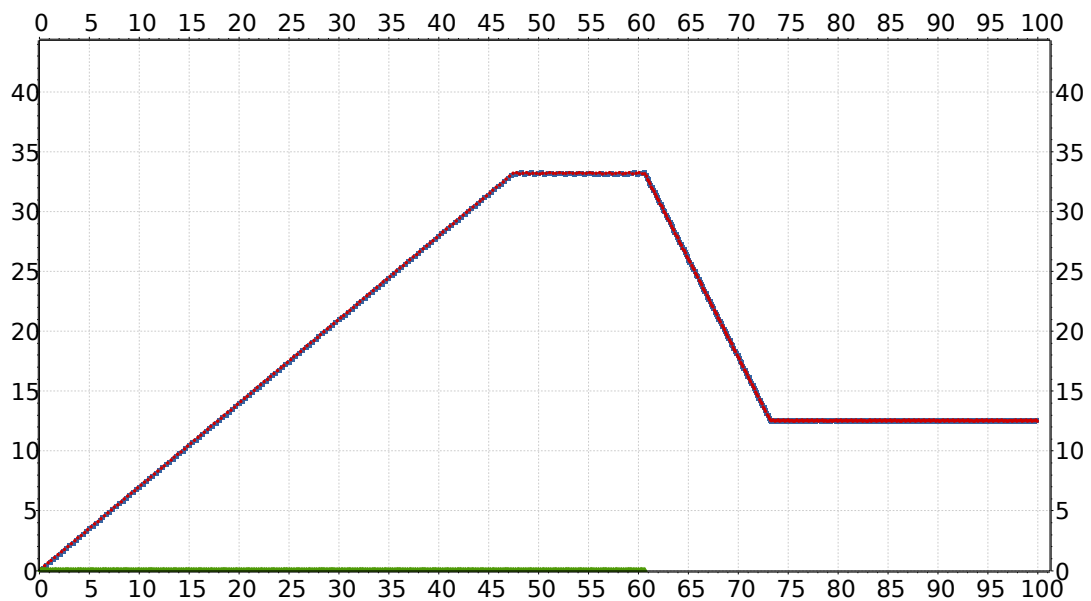


Figura 2.2: Tiempo de encolado del router. Tiempo de espera un paquete de un paquete en la cola (s) Vs Tiempo (s).

2.3 Retardo extremo a extremo

Explicado previamente (Sección 1.3 página 7).

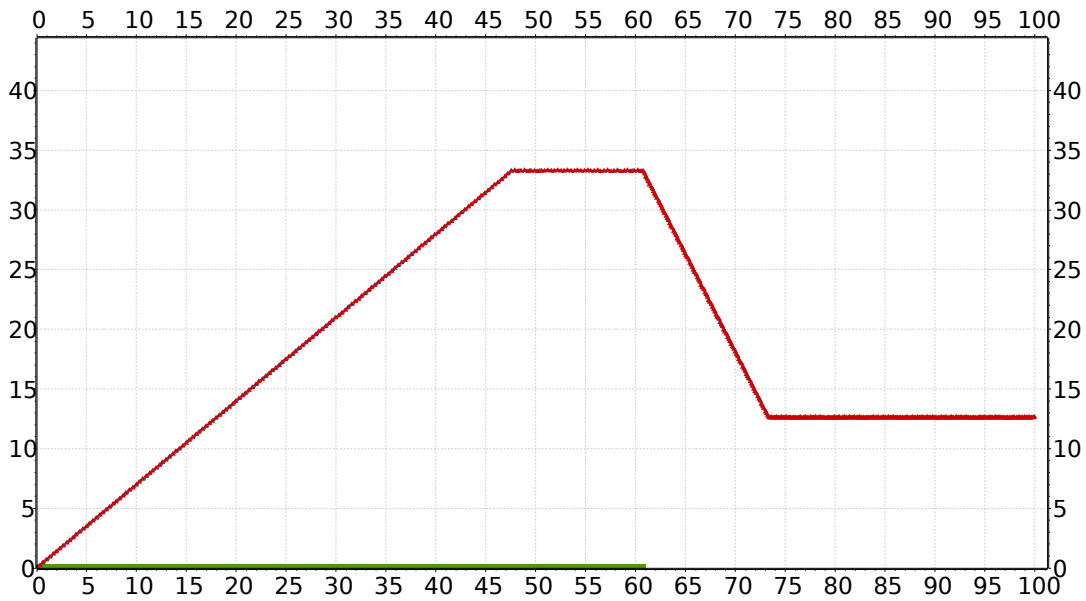


Figura 2.3: Retardo extremo a extremo. Tiempo que tarda un paquete en salir de la cola (s) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

2.4 Paquetes recibidos en el servidor

Como en el caso anterior se reciben paquetes UDP durante toda la simulación y paquetes VoIP hasta $t=60s$.

Se reciben 2 paquetes VoIP de inicio de reproducción y otros 2 paquetes de fin de reproducción como se explicó para la configuración anterior (Sección 1.4 página 8), además, en este caso al utilizar QoS no se pierde ese paquete de fin de reproducción en $t=60s$ (aproximadamente).

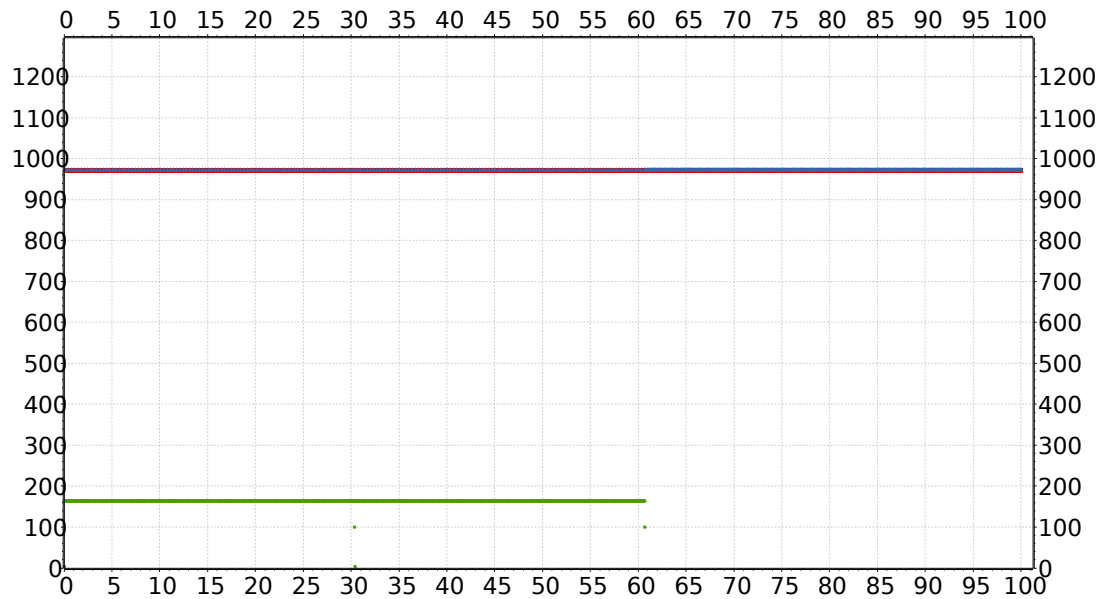


Figura 2.4: Paquetes recibidos en el servidor. Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

2.4.1 Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 0-1s

Observando el intervalo 0-1s se puede apreciar que al utilizar QoS, la proporción de paquetes VoIP y UDP cambia, al tener prioridad los paquetes VoIP aparecen en mayor proporción que sin QoS, aproximadamente cada 8-9 paquetes VoIP se recibe un paquete UDP, por tanto el tráfico VoIP ocupa un 80

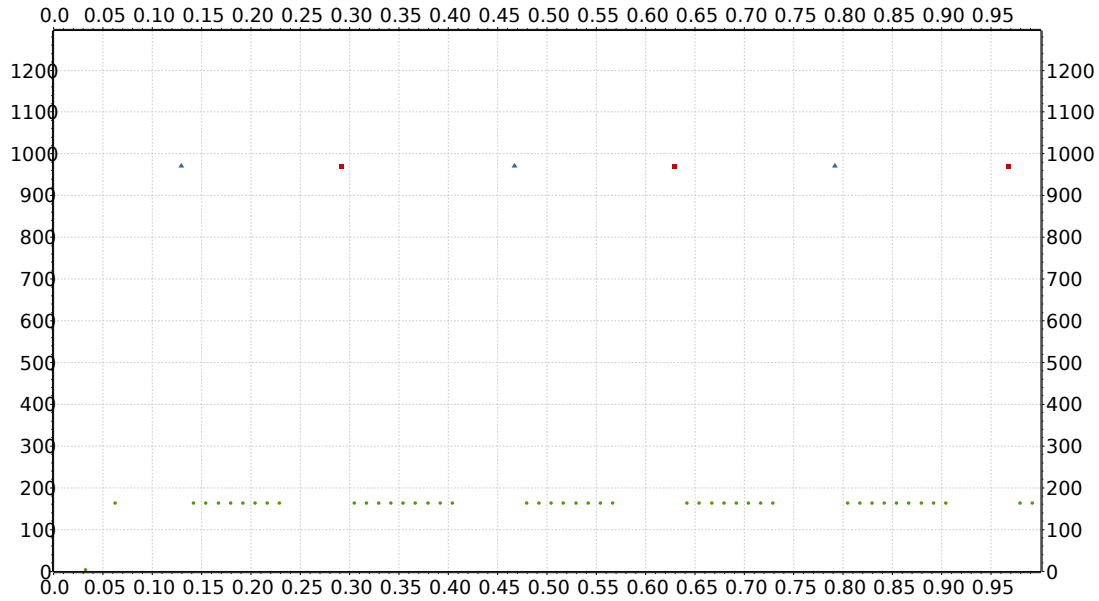


Figura 2.5: Paquetes recibidos en el servidor (0-1s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

2.4.2 Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 99-100s

En el intervalo 99-100s simplemente se reciben paquetes UDP con normalidad, las colas AF1x y AF2x se van alternando en la transmisión de paquetes, por cada paquete que se transmite de AF1x se transmite un paquete de AF2x, ya que las dos colas tienen el mismo peso $w=1$.

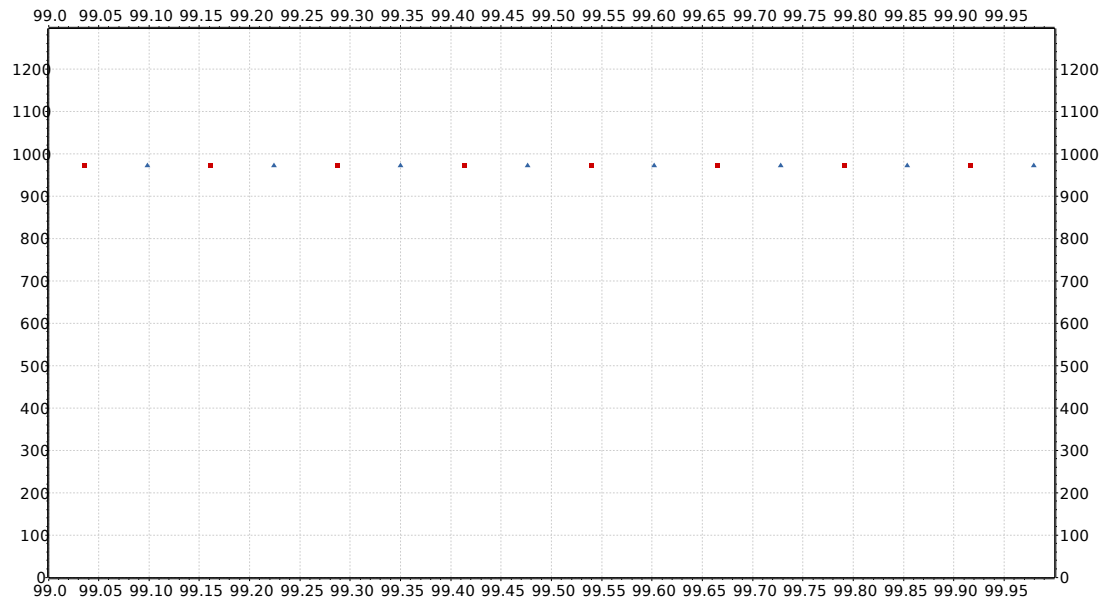


Figura 2.6: Paquetes recibidos en el servidor (99-100s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

2.5 Muestras VoIP perdidas

Cómo no se pierde ningún paquete VoIP, las muestras perdidas se deben al retardo constante de los enlaces intermedios (mencionado previamente).

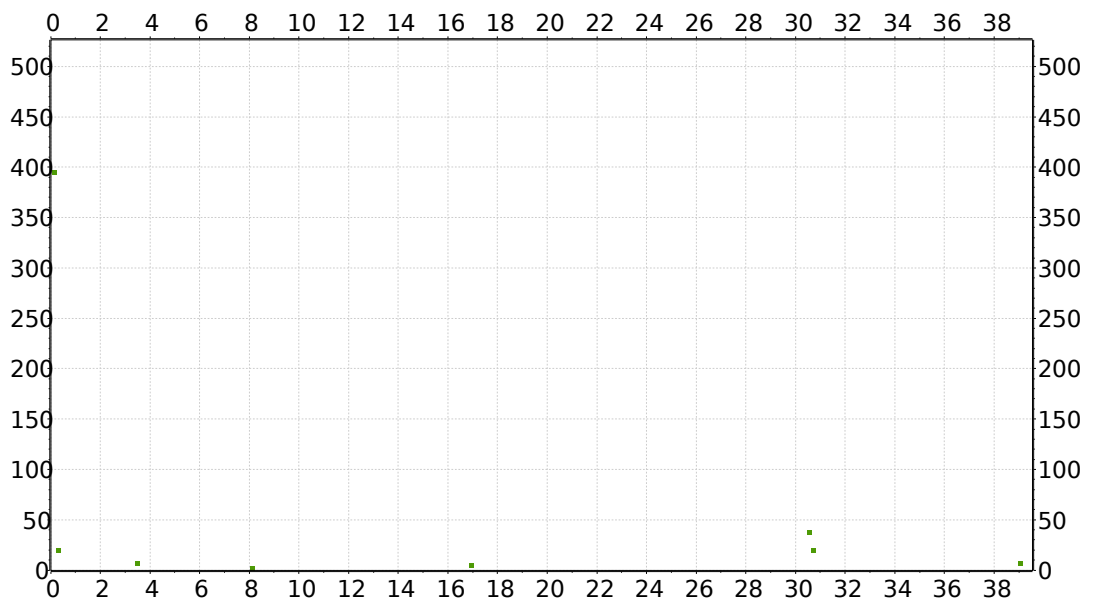


Figura 2.7: Muestras VoIP perdidas. Tamaño de la muestra perdida (B) Vs Tiempo (s).

2.6 Paquetes VoIP perdidos

Como los paquetes VoIP tienen prioridad estricta (SPQ), siempre que haya un paquete VoIP en la cola y no se supere una tasa de salida de 76.8kbps el paquete se enviará antes que cualquier otro, por tanto, no se pierde ningún paquete VoIP.

Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail y WRR

EJECUTE una simulación con la configuración VoIPQoSLLQDropTailWRR para que entre las colas AF1x y AF2x se realice un Weighted Round Robin (WRR) con pesos AF1x = 1 y AF2x = 8.

3.1 Longitud de cola del router

Inicialmente, AF2x (rojo) tarda más en llenarse que AF1x (azul), esto se debe a que AF2x tiene más peso ($w_2=8$) que AF1x ($w_1=1$), lo que significa que cada 8 paquetes transmitidos de AF2x se transmitirá uno de AF1x, por tanto, esta última se llenará mucho más rápido.

Cuando se llena AF1x, vemos que su tamaño varía de forma intercalada, esto se debe a que la variación entre 99 y 100 paquetes de AF1x se realiza cada 8 paquetes enviados de AF2x, es decir, cuando se llena AF1x tiene una longitud $qLength = 100$, después se mantiene en 100 paquetes durante un periodo de tiempo x , siendo x el tiempo que tarda AF2x en transmitir 8 paquetes, una vez AF2x transmite esos 8 paquetes, AF1x transmite un paquete, su longitud baja a $qLength=99$ y cuando llegue un nuevo paquete su longitud vuelve a ser $qLength=100$ de nuevo, repitiéndose este ciclo constantemente.

Cuando se dejan de transmitir paquetes VoIP, AF2x comienza a vaciarse, sin embargo, AF1x no, esto se debe a las tasas de entrada y de salida de cada cola así como sus pesos, al no transmitirse paquetes VoIP, cada flujo UDP sigue teniendo la misma tasa de entrada:

$$RiUDP1 = RiUDP2 = 1pkt/100ms = 10 \text{ pkt/s}$$

Y la tasa de salida de cada cola viene dada por sus pesos, AF2x ($w_2=8$) ocupará 8/9 del tráfico total, mientras que AF1x ($w_1=1$) ocupará 1/9:

$$RoUDP = Vqueue/TamañoUDP = 128000bps/(1000B*8b/B) = 16 \text{ pkt/s}$$

$$RoUDP1 = PUDP1 * RoUDP = 1/9 * 16 = 1.77 \text{ pkt/s}$$

$$RoUDP2 = PUDP2 * RoUDP = 8/9 * 16 = 14.22 \text{ pkt/}$$

Por eso la cola AF1x no se vacía ($RoUDP1 = 1.77 \text{ pkt/s} < 10 \text{ pkt/s} = RiUDP1$) mientras que AF2x si ($RoUDP2 = 14.22 \text{ pkt/s} > 10 \text{ pkt/s} = RiUDP2$).

Una vez se vacía la cola AF2x, vemos que las variaciones de tamaño de AF1x dejan de estar intercaladas, esto se debe a que ese tiempo x que tarda AF2x en transmitir 8 paquetes se reduce, porque AF2x está casi vacío, entonces no hay 8 paquetes que transmitir, en el momento en el que AF2x está vacío se transmite un paquete de AF1x, entonces AF1x variará entre 99 y 100 paquetes con normalidad, sin tener que esperar tanto tiempo entre un paquete y otro.

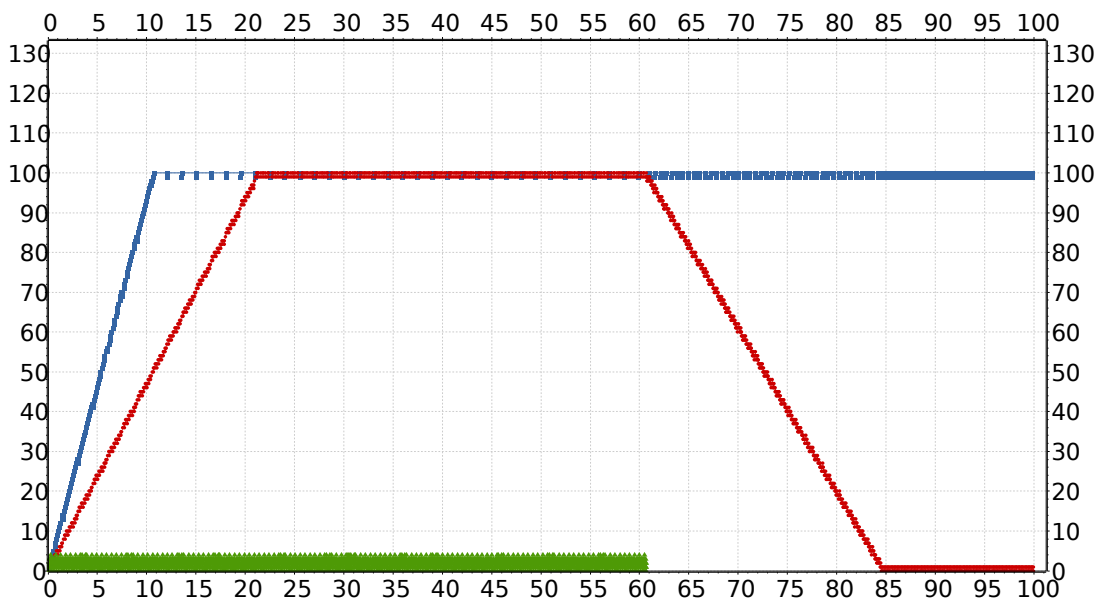


Figura 3.1: Longitud de la cola del router. Número de paquetes (pkt) Vs Tiempo (s).

3.2 Tiempo de encolado del router

En el tiempo de encolado, la cola AF2x y la cola EF tienen un comportamiento normal, similar al de la longitud de la cola. La cola EF mantiene un tiempo de encolado bajo durante toda la simulación y la cola AF2x se llena (el tiempo de encolado sube), se mantiene llena durante un periodo de tiempo (el tiempo de encolado se mantiene constante) y cuando se dejan de transmitir paquetes VoIP la cola se vacía (el tiempo de encolado baja).

Por otro lado, vemos que el tiempo de la cola AF1x sube de forma intercalada, esto se debe al WRR como se explicó previamente (Sección 4.1 página 29), el espacio de tiempo entre cada punto de la gráfica es el tiempo que tarda AF2x en transmitir 8 paquetes, espacio de tiempo en el que la cola AF1x no transmite ningún paquete.

El tiempo de encolado de las colas AF1x y AF2x sigue subiendo aunque la cola ya esté

llena, este comportamiento está explicado para la configuración anterior (Sección 2.2 página 14), en la que ocurre exactamente lo mismo.

Una vez se vacía la cola AF2x, el tiempo de encolado de AF1x baja, aunque la cola no se llegue a vaciar, porque AF1x ya no tiene que esperar tanto a que AF2x transmita sus paquetes para poder transmitir. (La cola no se vacía porque aunque el tiempo de encolado baje, la tasa de salida de AF1x sigue siendo menor que su tasa de entrada)

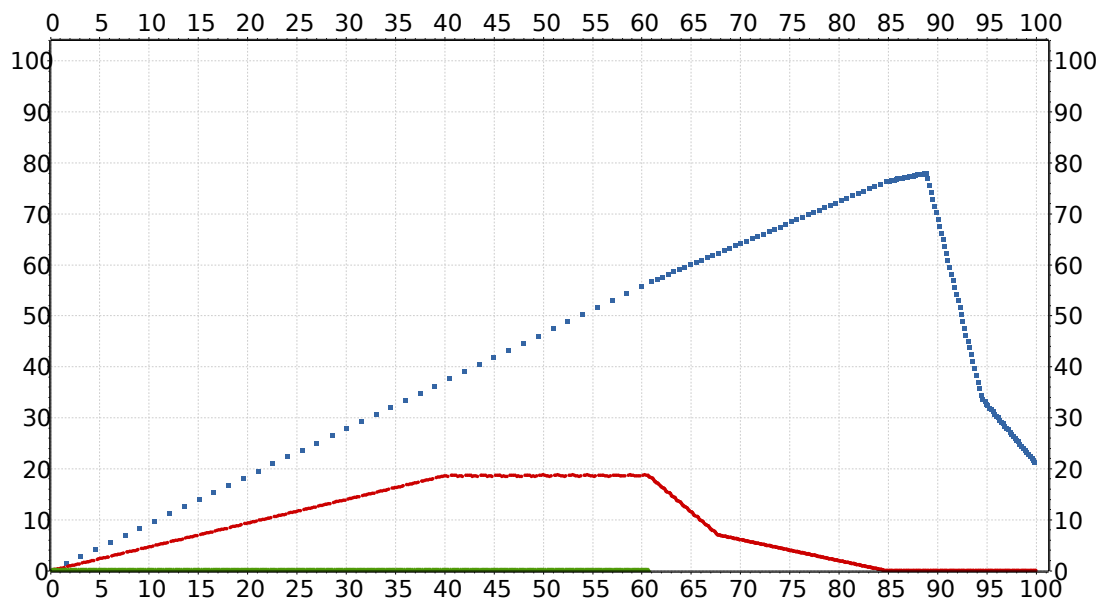


Figura 3.2: Tiempo de encolado del router. Tiempo de espera un paquete de un paquete en la cola (s) Vs Tiempo (s).

3.3 Retardo extremo a extremo

Explicado previamente (Sección 1.3 página 7).

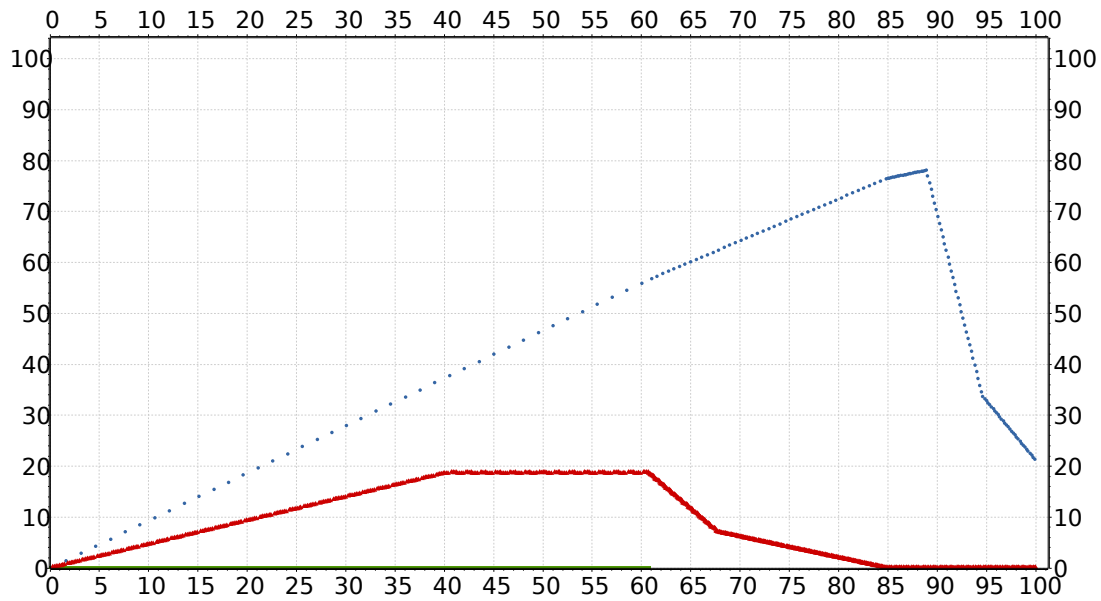


Figura 3.3: Retardo extremo a extremo. Tiempo desde que el emisor manda un mensaje hasta que el receptor lo recibe (s) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

3.4 Paquetes recibidos en el servidor

En cuanto a los paquetes recibidos, las colas AF2x y EF tienen un comportamiento similar al de la configuración anterior.

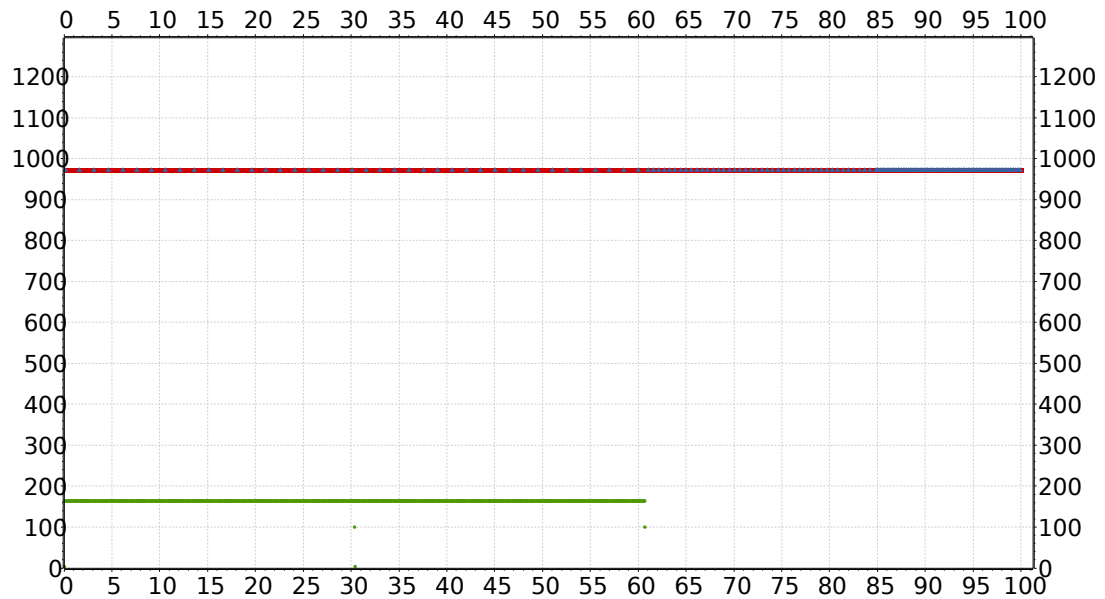


Figura 3.4: Paquetes recibidos en el servidor. Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

3.4.1 Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 0-1s

Si observamos la gráfica en el intervalo 0-1s, vemos que también se reciben 8-9 paquetes VoIP por cada paquete UDP debido a la prioridad estricta (SPQ) de la cola EF. Por otra parte, sobre los paquetes UDP, por cada paquete de la cola AF1x recibido se reciben 8 paquetes de la cola AF2x, en el intervalo 0-1s se ve que se envía un paquete UDP de la cola AF1x y el resto de AF2x, si ampliásemos un poco más el intervalo veríamos que cuando se envíasen 8 paquetes de AF2x se vuelve a enviar un paquete de AF1x.

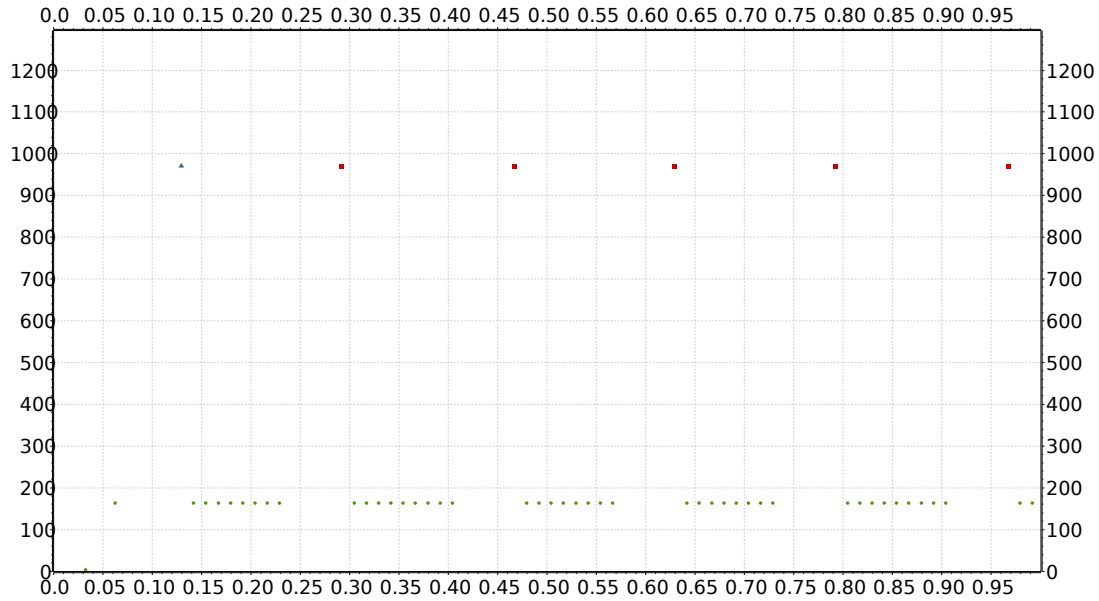


Figura 3.5: Paquetes recibidos en el servidor (0-1s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

3.4.2 Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 99-100s

Sin embargo, en el intervalo 99-100s vemos que no se reproduce este comportamiento (8 paquetes de AF2x por cada paquete de AF1x), esto se debe a que AF2x se vació, entonces en los instantes de tiempo que AF2x no tiene ningún paquete en la cola, AF1x puede transmitir.

Este comportamiento del WRR es también el que justifica que los paquetes de AF1x se reciban de forma intercalada (puntos separados en la gráfica) como se explicó previamente (Sección 4.1 página 29), por eso, estos puntos empiezan a estar más juntos a medida que la cola AF2x se vacía y su tiempo de encolado baja.

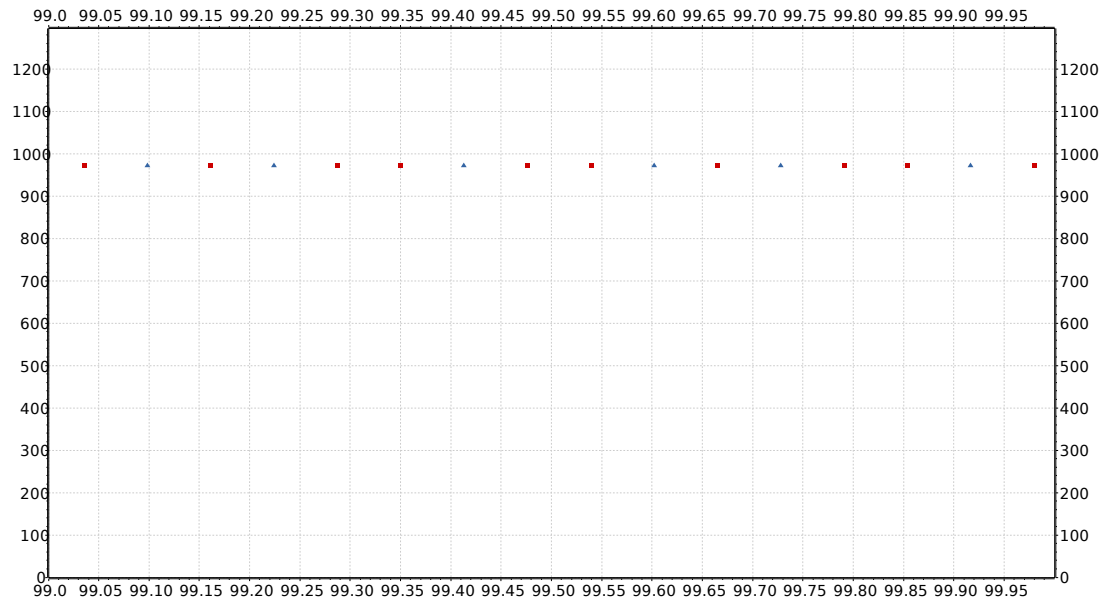


Figura 3.6: Paquetes recibidos en el servidor (99-100s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

3.5 Muestras VoIP perdidas

Cómo no se pierde ningún paquete VoIP, las muestras perdidas se deben al retardo constante de los enlaces intermedios (mencionado previamente).

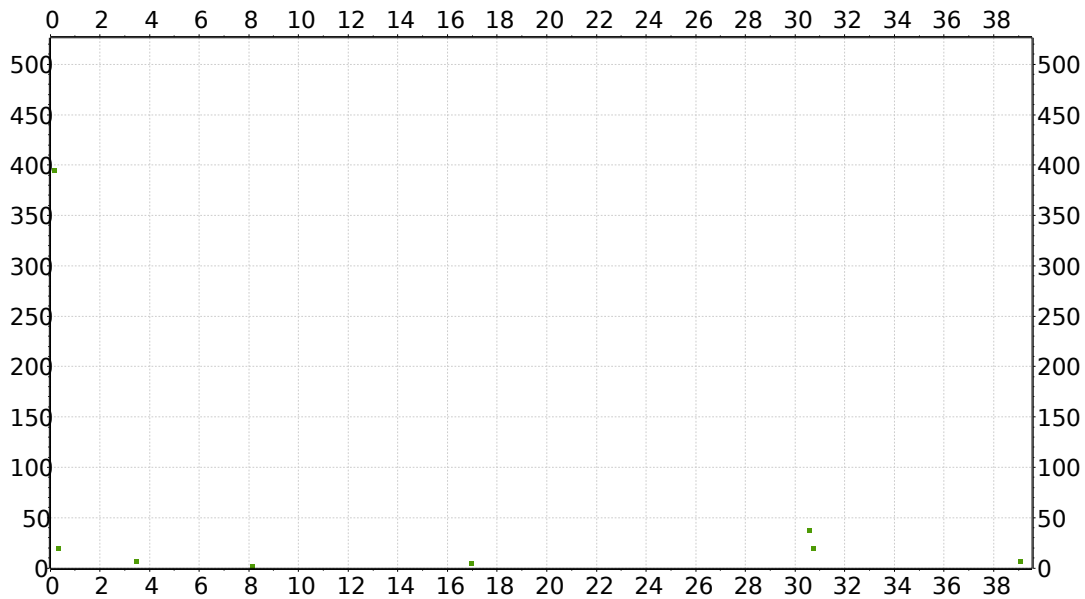


Figura 3.7: Muestras VoIP perdidas. Número de muestras perdidas desde el último valor tomado (B) Vs Tiempo (s).

3.6 Paquetes VoIP perdidos

Como los paquetes VoIP tienen prioridad estricta (SPQ), siempre que haya un paquete VoIP en la cola y no se supere una tasa de salida de 76.8kbps el paquete se enviará antes que cualquier otro, por tanto, no se pierde ningún paquete VoIP.

Router con QoS DiffServ mediante LLQ cola LLQ y colas RED

EJECUTE una simulación con la configuración VoIPQoSLLQRED para que las colas AF1x y AF2x realicen RED (Random Early Detection) con valores Minth = 20, Maxth = 100, y Maxp = 0.2 y 1.0, respectivamente. El factor de suavizado del algoritmo RED está fijado a wq = 0.01. Consulte la documentación de INET para obtener más información sobre estos parámetros. La duración de simulación es de 500s en este caso. En las gráficas (citadas más adelante) Longitud de cola del router (queueLength) y Tiempo de encolado del router (queueingTime) puede apreciar la “inercia” característica del algoritmo RED y cómo acaba convergiendo a un régimen permanente. Pruebe a variar los valores Minth, Maxth e Maxp y observe los resultados.

Aclaración: Para esta configuración no se explica nada acerca de la cola EF porque tendrá un comportamiento similar al de las configuraciones anteriores (con QoS).

4.1 Longitud de cola del router

Inicialmente las colas AF1x (azul) y AF2x (rojo) comienzan a llenarse hasta estar llenas del todo, instante en el que RED debería empezar a descartar todos los paquetes, sin embargo, la cola se mantiene llena durante un periodo de tiempo, esto se debe al factor de suavizado wq.

Para entender esto antes hay que entender como funciona RED, RED para cada cola establece un tamaño mínimo (minth) y máximo (maxth) de cola, además, establece una probabilidad máxima (maxp) de descarte de paquetes.

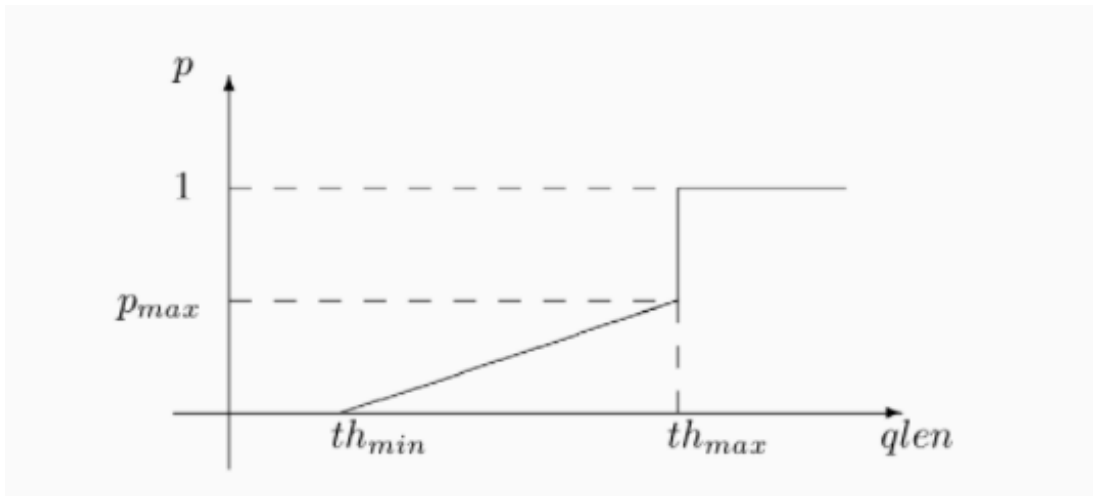


Figura 4.1: Probabilidad de descarte de paquetes para RED. Longitud de la cola ($qlen$) Vs Probabilidad de descarte (p).

Lo que hará RED es, una vez la cola supera el tamaño mínimo de cola ($minth$), comenzará a descartar paquetes con una probabilidad p , p comenzará en 0 e irá creciendo de forma lineal y directamente proporcional a la longitud de cola hasta que esta sea igual al tamaño máximo de cola ($maxth$), en ese instante p será igual a $maxp$ y cambiará su valor justo en ese instante a 1.0 (descartar todos los paquetes).

En nuestro caso:

*AF1x comenzará a descartar paquetes con una probabilidad p_1 cuando supere una longitud de cola de 20 paquetes, p_1 irá creciendo linealmente de 0 a 0.2 ($maxp_1$).

*AF2x comenzará a descartar paquetes con una probabilidad p_2 cuando supere una longitud de cola de 20 paquetes, p_2 irá creciendo linealmente de 0 a 1.0 ($maxp_2$).

*En el momento en el que las colas alcancen una longitud de 100 paquetes se descartarán paquetes con una probabilidad $p_1=p_2=1.0$.

¿Qué papel juega el factor de suavizado entonces?

El factor de suavizado provoca que RED no tome directamente el valor de la longitud de la cola para calcular con qué probabilidad descartará paquetes, si no que obtiene el valor de la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{avg} &\rightarrow \text{Longitud media de la cola en ese instante} \quad qlen \rightarrow \text{Longitud de la cola en ese instante} \\ \text{avg} &= (1-wq) * \text{avg} + wq * qlen \end{aligned}$$

En nuestro caso, el factor de suavizado es $wq=0.01$, lo que provoca que se tenga en cuenta la longitud actual de la cola solo en un 1

Por ejemplo, si AF1x en el instante en el que se llena ($qlen_1=100$) tiene una longitud media de cola $avg_1=50$, el valor que tendrá en cuenta RED para calcular la probabilidad de descarte de paquetes será:

$$\text{avg1} = (1-0.01)*50 + 0.01*100 = 50.5$$

Por tanto, aunque la cola esté llena, RED descartará paquetes con la probabilidad correspondiente a una longitud de cola de 50.5 paquetes, que en este caso, teniendo en cuenta que crece de forma lineal sería una probabilidad $p1 = ((\text{avg1}-\text{minth1})/(\text{maxth1}-\text{minth1}))*\text{maxp1} = ((50.5-20)/(100-20))*0.2 = 0.07625$, por eso cuando la cola AF1x se llena no se comienza a vaciar al instante, lo mismo ocurre con AF2x. (Esto es solo un supuesto pero los números reales podrían ser similares)

Una vez avg alcanza el tamaño mínimo de cola (minth) RED comienza a descartar paquetes con una probabilidad p, aquí podemos observar la diferencia entre AF1x y AF2x, AF1x empieza a descartar paquetes con una probabilidad p1 entre 0 y 0.2, mientras que AF2x descartará paquetes con una probabilidad p2 comprendida entre 0 y 1.0, esto provoca que la cola AF2x cambie de longitud de una forma mucho más brusca que AF1x.

AF2x estará realizando subidas y bajadas por lo explicado previamente sobre el factor de suavizado, cuando AF2x lleve un tiempo llena comenzará a descartar paquetes con probabilidades muy altas y se seguirá vaciando porque, debido al wq, aunque la cola ya tengo una longitud razonable, avg2 aún tomará valores muy altos y RED seguirá descartando paquetes, cuando la cola ya esté vacía y avg2 tenga valores más bajos, ocurrirá el efecto contrario, avg2 valdrá muy poco, por tanto RED no descartará ningún paquete y la cola volverá a llenarse muy bruscamente, de ahí los picos constantes que vemos en la gráfica (línea roja).

Por otro lado p1 tendrá el mismo comportamiento pero con unas probabilidades mucho más bajas (entre 0 y 0.2) lo que hará que consiga estabilizarse en unos valores intermedios (línea azul).

Por último, la cola EF (verde) tiene el mismo comportamiento que siempre, no se llegará a llenar en ningún momento gracias a su prioridad estricta (SPQ).

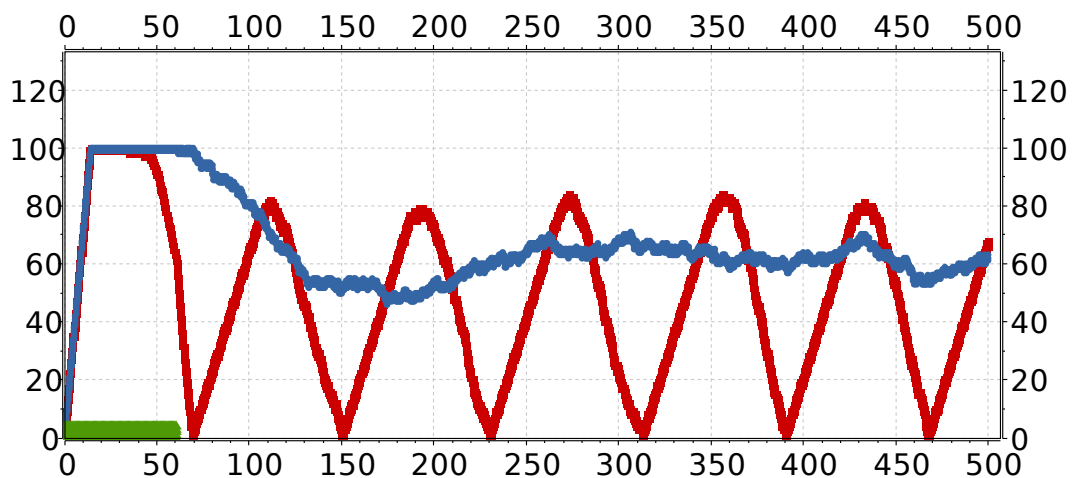


Figura 4.2: Longitud de la cola del router. Número de paquetes (pkt) Vs Tiempo (s).

4.2 Tiempo de encolado del router

Respecto al tiempo de encolado, tiene el comportamiento esperado, análogo a la longitud de cola, cuando la longitud de cola crece el tiempo de encolado crece y cuando esta disminuye el tiempo de encolado también, además, como RED va descartando los paquetes cuando hay congestión, vemos que no ocurre el efecto que ocurría en configuraciones anteriores en las que el tiempo de encolado seguía creciendo una vez la cola ya se llenó.

Entre los segundos 60 y 70 (aproximadamente), se puede apreciar una discontinuidad en AF2x (línea roja), esta discontinuidad se debe a que en ese momento la longitud de cola calculada por RED $avg2=100$, entonces RED comienza a descartar paquetes con una probabilidad $p2=1.0$ (descarta todos los paquetes), por eso hay un periodo de tiempo en el que no salen paquetes de la cola AF2x (se descartan todos) y aparece esa discontinuidad en la gráfica.

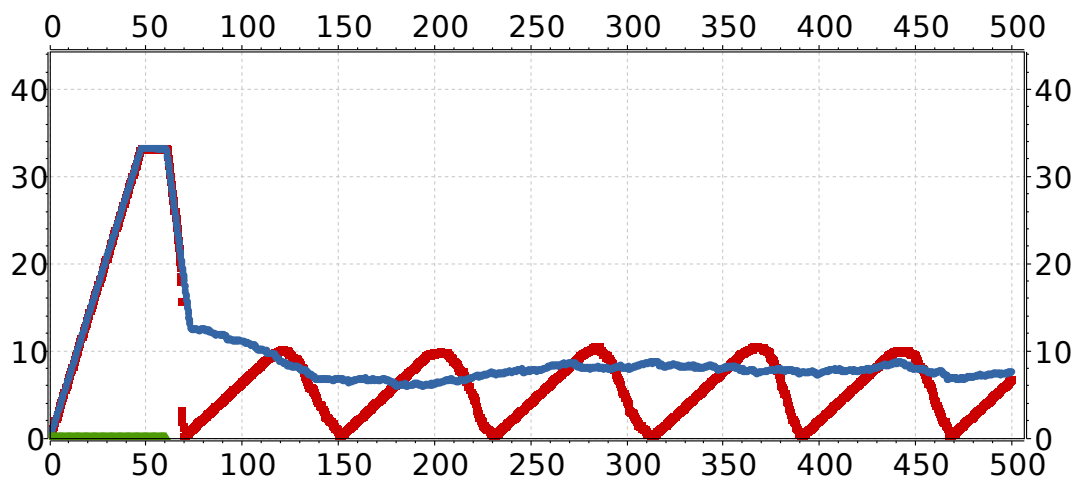


Figura 4.3: Tiempo de encolado del router. Tiempo de espera un paquete de un paquete en la cola (s) Vs Tiempo (s).

4.3 Retardo extremo a extremo

Explicado previamente (Sección 1.3 página 7).

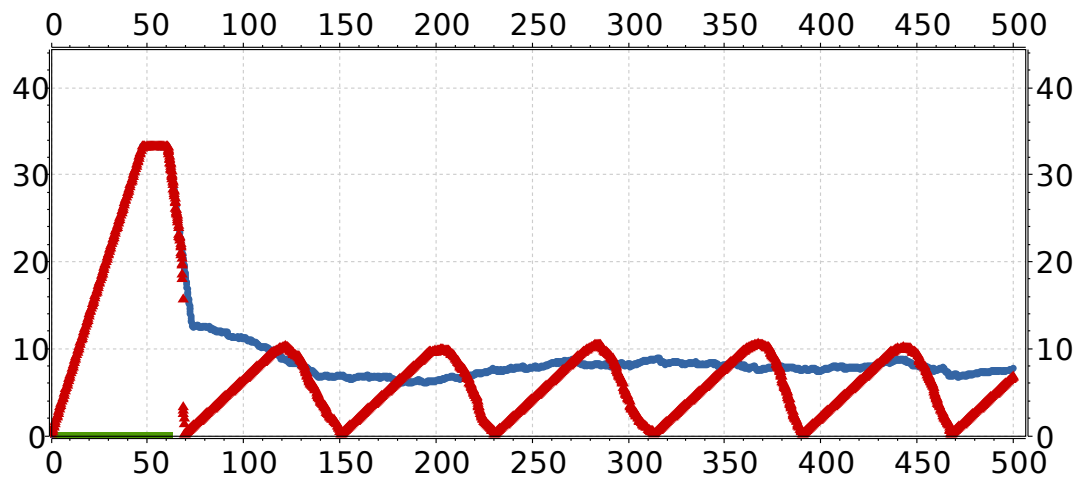


Figura 4.4: Retardo extremo a extremo. Tiempo desde que el emisor manda un mensaje hasta que el receptor lo recibe (s) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

4.4 Paquetes recibidos en el servidor

El comportamiento de esta gráfica es similar al de la configuración "Router con QoS" (Sección 2.4 página 16).

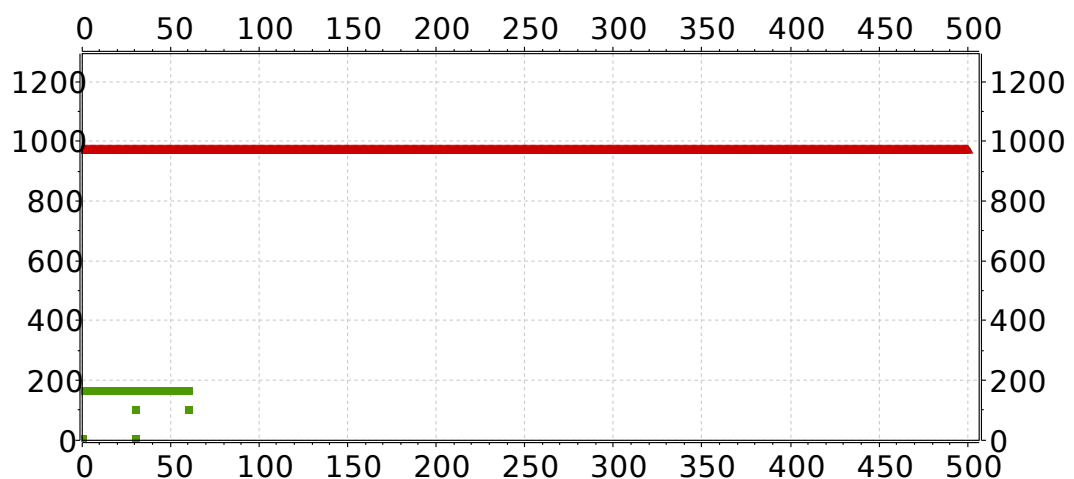


Figura 4.5: Paquetes recibidos en el servidor. Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

4.4.1 Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 0-1s

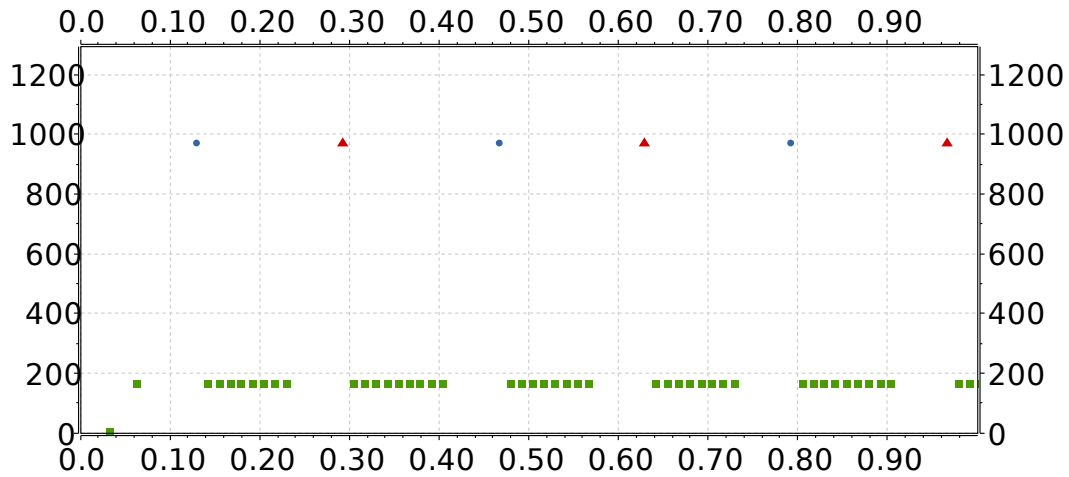


Figura 4.6: Paquetes recibidos en el servidor (0-1s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

4.4.2 Paquetes recibidos en el servidor en el intervalo 99-100s

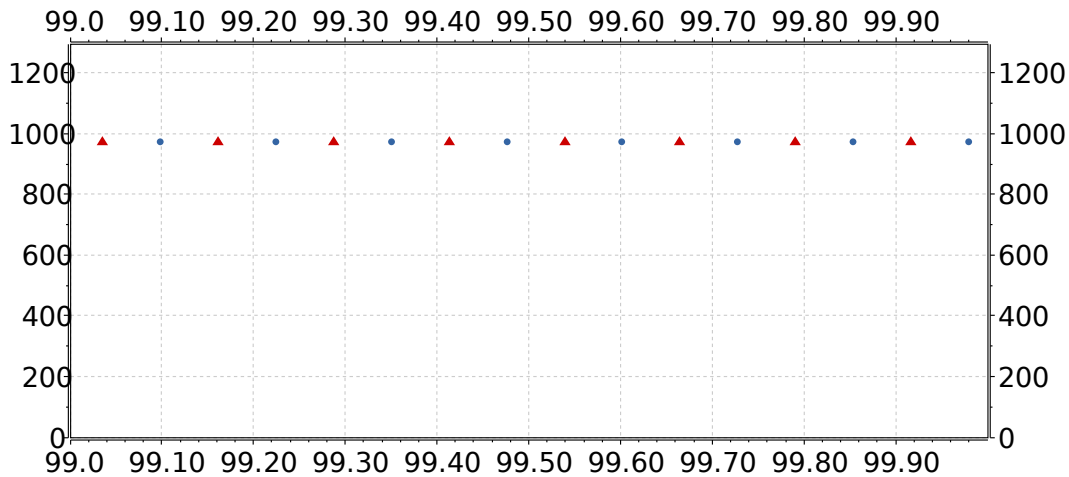


Figura 4.7: Paquetes recibidos en el servidor (99-100s). Tamaño del paquete recibido (B) Vs Tiempo (s). Paquetes VoIP (verde) y UDP (azul y rojo).

4.5 Muestras VoIP perdidas

Cómo no se pierde ningún paquete VoIP, las muestras perdidas se deben al retardo constante de los enlaces intermedios (mencionado previamente).

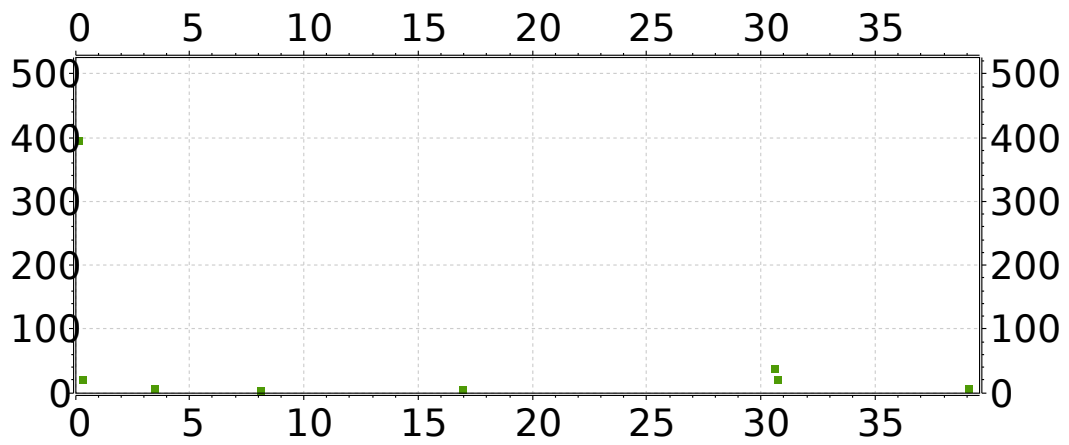


Figura 4.8: Muestras VoIP perdidas. Número de muestras perdidas desde el último valor tomado (B) Vs Tiempo (s).

4.6 Paquetes VoIP perdidos

Como los paquetes VoIP tienen prioridad estricta (SPQ), siempre que haya un paquete VoIP en la cola y no se supere una tasa de salida de 76.8kbps el paquete se enviará antes que cualquier otro, por tanto, no se pierde ningún paquete VoIP.

Capítulo 5

Ejercicios

5.1 Router sin QoS

1. Para el caso en el que se están transmitiendo tanto el flujo VoIP como los dos flujos UDP, calcular:

a. Tasa de entrada (pkt/s) a la cola.

$$\text{Tasa de entrada} = R_i = R_{\text{VoIP}} + 2 \cdot R_{\text{UDP}} = 1 \text{ pkt}/20 \text{ ms} + 2 \cdot 1 \text{ pkt}/100 \text{ ms} = 70 \text{ pkt/s}$$

b. Proporción de paquetes de cada tipo en la cola.

$$P_{\text{VoIP}} = 50 \text{ pkt/s} / 70 \text{ pkt/s} = 5/7$$

$$P_{\text{UDP}} = 20 \text{ pkt/s} / 70 \text{ pkt/s} = 2/7$$

c. Tasa de salida (pkt/s) de la cola, asumiendo que la cabecera del protocolo PPP tiene 7B.

$$\text{Tasa de salida (B/s)} = 128000 \text{ bps} / 8 \text{ b/B} = 16000 \text{ B/s}$$

$$\text{Tasa de salida (pkt/s)} = 16000 \text{ B/s} / (199 \text{ B/pkt} \cdot 5/7 + 1007 \text{ B/pkt} \cdot 2/7) = 37.22 \text{ pkt/s}$$

d. Tiempo en cola de un paquete cuando la cola está llena.

$$t = 100 \text{ pkt} / 37.22 \text{ pkt/s} = 2.69 \text{ s}$$

2. ¿Cuál es la tasa de entrada (pkt/s) y la tasa de salida (pkt/s) justo en el momento en que deja de transmitirse el flujo VoIP? ¿Qué consecuencia tienen estas tasas sobre la cola?

Justo cuando se deja de transmitir VoIP la tasa de salida se mantiene exactamente

igual porque aún hay paquetes VoIP en la cola en la proporción calculada previamente (5/7), por tanto:

$$\text{Tasa de entrada} = 2 * RUDP = 20 \text{ pkt/s}$$

$$\text{Tasa de salida} = 37.22 \text{ pkt/s}$$

Como la tasa de salida es mayor que la tasa de entrada la cola comienza a vaciarse.

3. Para el caso en el que ya solo se están transmitiendo los dos flujos UDP y la cola está llena, calcular:

a. Tasa de entrada (pkt/s) y tasa de salida (pkt/s).

$$\text{Tasa de entrada} = 2 * RUDP = 20 \text{ pkt/s}$$

$$\text{Tasa de salida} = 16000 \text{ B/s} / 1007 \text{ B/pkt} = 15.89 \text{ pkt/s}$$

b. Tiempo en cola de un paquete.

Cómo la cola está llena, equivalente al apartado 1. d), tiempo que tardan en salir 100 paquetes de la cola:

$$t = 100 \text{ pkt} / 15.89 \text{ pkt/s} = 6.29 \text{ s}$$

c. ¿Cuál sería la máxima longitud de cola si queremos que el tiempo de encolado de un paquete sea como máximo 1s?

$$t = qLength/Ro \Rightarrow qLength = t * Ro \Rightarrow qLength = 1 \text{ s} * 15.89 \text{ pkt/s} = 15.89 \text{ pkt}$$

4. Calcule la proporción de paquetes de cada tipo en la cola para que las tasas de entrada y de salida (pkt/s) se igualen. ¿Está la cola llena en ese momento?

$$\text{Tasa de entrada} = 70 \text{ pkt/s} = \text{Tasa de salida}$$

$$\begin{aligned} \text{Tasa de salida (pkt/s)} &= 16000 \text{ B/s} / (192 \text{ B/pkt} * PVoIP + 1000 \text{ B/pkt} * (1-PVoIP)) \Rightarrow 16000 = \\ &70 * (192 \text{ B/pkt} * PVoIP + 1000 \text{ B/pkt} * (1-PVoIP)) \Rightarrow 16000/70 = 192 * PVoIP + 1000 - 1000 * PVoIP \\ &\Rightarrow -808 * PVoIP = 16000/70 - 1000 \end{aligned}$$

$$PVoIP = (16000/70 - 1000) / -808 = 0.95$$

$$PUDO = 1 - PVoIP = 0.05$$

5.2 Router con QoS

1. ¿Cuántos paquetes habrá como máximo en la cola EF?

La cola EF usa como dispositivo de metering un TokenBucketMeter con un Committed Burst Size (cbs) = 1920B, lo que significa que como máximo podrán entrar 1920B de golpe en la cola, lo que equivale a 10 paquetes ($1920B / 192 B/pkt = 10 pkt$), por tanto, en la cola EF habrá 10 paquetes como máximo.

2. Mientras dura la transmisión del flujo VoIP:

a. ¿Cuál es la tasa de salida (en pkt/s y bit/s) de cada cola AF1x y AF2x?

Para este apartado habrá que realizar los cálculos para cada configuración en concreto, porque las propiedades de las colas AF1x y AF2x varían en cada configuración.

Para todos los casos, la cola EF ocupa un ancho de banda de 76.8kbps, de un total de 128kbps, por tanto las colas AF1x y AF2x ocuparán un ancho de banda de 51.2kbps en conjunto.

Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail

En esta configuración el WRR asigna el mismo peso a las dos colas, por tanto, cada una tendrá la mitad del ancho de banda total.

$$RoAF1x (b/s) = RoAF2x (b/s) = 51200 b/s * 1/2 = 25600 b/s$$

$$RoAF1x (pkt/s) = RoAF2x (pkt/s) = 25600 b/s / (1000 B/pkt * 8 b/B) = 3.2 pkt/s$$

Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail y WRR

Ahora AF1x ocupará 1/9 del ancho de banda conjunto y AF2x 8/9 de este.

$$RoAF1x (b/s) = 51200 b/s * 1/9 = 5688.89 b/s$$

$$RoAF1x (pkt/s) = 5688.89 b/s / (1000 B/pkt * 8 b/B) = 0.71 pkt/s$$

$$RoAF2x (b/s) = 51200 b/s * 8/9 = 45511.11 b/s$$

$$RoAF2x (pkt/s) = 45511.11 b/s / (1000 B/pkt * 8 b/B) = 5.69 pkt/s$$

Router con QoS DiffServ mediante LLQ cola LLQ y colas RED

Mismo caso que "Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail"

b. ¿Cuántos paquetes por segundo se descartan a la entrada de cada cola?

Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail

Hasta que la cola se llene no se descartarán paquetes, una vez la cola está llena:

$$\text{Paquetes descartados (pkt/s)} = \text{Tasa de entrada} - \text{Tasa de salida} = 10 \text{ pkt/s} - 3.2 \text{ pkt/s} = 6.8 \text{ pkt/s}$$

Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail y WRR

Hasta que la cola se llene no se descartarán paquetes, una vez la cola está llena:

$$\text{Paquetes descartados AF1x (pkt/s)} = \text{Tasa de entrada AF1x} - \text{Tasa de salida AF1x} = 10 \text{ pkt/s} - 0.71 \text{ pkt/s} = 9.29 \text{ pkt/s}$$

$$\text{Paquetes descartados AF2x (pkt/s)} = \text{Tasa de entrada AF2x} - \text{Tasa de salida AF2x} = 10 \text{ pkt/s} - 5.69 \text{ pkt/s} = 4.31 \text{ pkt/s}$$

Router con QoS DiffServ mediante LLQ cola LLQ y colas RED

Se comenzarán a descartar paquetes una vez la cola supere el tamaño mínimo de cola ($\text{minth}=20$) para que RED actúe (en realidad no será exactamente así por el factor de suavizado $wq=0.01$, RED actuará más tarde en este caso).

Si llegan 10 pkt/s, RED descartará esos paquetes con una probabilidad p a partir de una longitud de cola $qLength$, esta probabilidad aumentará linealmente con la longitud de cola hasta $maxp$.

Para AF1x $maxp=0.2$, por tanto AF1x descartará como máximo:

$$\text{Paquetes descartados AF1x (pkt/s)} = \text{Tasa de entrada AF1x} * maxp = 10 \text{ pkt/s} * 0.2 = 2 \text{ pkt/s}$$

AF1x descartará entre 0 y 2 pkt/s hasta que RED considere que la cola está llena (por el factor de suavizado), momento en el que AF1x descartará 10 pkt/s.

Para AF2x $maxp=1.0$, por tanto AF2x descartará como máximo:

$$\text{Paquetes descartados AF2x (pkt/s)} = \text{Tasa de entrada AF2x} * maxp = 10 \text{ pkt/s} * 0.2 = 10 \text{ pkt/s}$$

AF2x descartará entre 0 y 10 pkt/s dependiendo de la longitud de cola.

3. ¿Por qué cuando deja de transmitirse el flujo VoIP las colas AF1x y AF2x no se vacían y vuelven a llenar como ocurría con la cola del router sin QoS?

Porque a diferencia del router sin QoS, ahora el tráfico está separado en colas distintas, las colas AF1x y AF2x solo contienen paquetes UDP, los cuales se transmiten a una tasa de 160kbps, que sigue siendo superior a la tasa de transmisión del enlace del router con el servidor (128kbps). En el momento que se dejan de transmitir paquetes VoIP simplemente se vaciará la cola EF y el tráfico UDP continuará con normalidad, si que aumentará la tasa de

salida de estas colas, pero no lo suficiente.

En el momento en el que se dejan de transmitir paquetes VoIP:

$$Tasa\ de\ entrada = RiAF1x = RiAF2x = 10\ pkt/s$$

Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail

$$Tasa\ de\ salida = RoAF1x = RoAF2x = (128\ kbps * 1/2) / (1000\ B/pkt * 8\ b/B) = 8\ pkt/s < RiAF1x \\ = RiAF2x$$

Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail y WRR

$$Tasa\ de\ salida\ AF1x = RoAF1x = (128\ kbps * 1/9) / (1000\ B/pkt * 8\ b/B) = 1.78\ pkt/s < RiAF1x$$

$$Tasa\ de\ salida\ AF2x = RoAF2x = (128\ kbps * 8/9) / (1000\ B/pkt * 8\ b/B) = 14.22\ pkt/s > RiAF2x$$

Router con QoS DiffServ mediante LLQ cola LLQ y colas RED

$$Tasa\ de\ salida = RoAF1x = RoAF2x = (128\ kbps * 1/2) / (1000\ B/pkt * 8\ b/B) = 8\ pkt/s < RiAF1x \\ = RiAF2x$$

Todas las tasas de salida son menores que las tasas de entrada excepto en el caso de AF2x con w=8 en el WRR, por eso ninguna cola se vacía al dejar de transmitir paquetes VoIP excepto en ese caso.

