

TRABALLO FIN DE GRAO
GRAO EN ENXEÑARÍA INFORMÁTICA
MENCIÓN EN TECNOLOXÍAS DA INFORMACIÓN



Práctica 1: DiffServ en INET

Estudiante 1: Óscar Olveira Miniño

Estudiante 2: Alejandro Javier Herrero Arango

A Coruña, octubre de 2024.

Índice general

1 Router sin QoS	1
1.1 Longitud de cola del router	1
1.1.1 Para el caso en el que se están transmitiendo tanto el flujo VoIP como los dos flujos UDP, calcula:	1
1.1.2 ¿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?	2
1.1.3 Para el caso en el que ya solo se están transmitiendo los dos flujos UDP y la cola solo contiene paquetes UDP, calcula la tasa de entrada [pkt/s] y tasa de salida [pkt/s]	2
1.1.4 Para el caso en que ya no se transmite el flujo VoIP, calcula 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? . . .	3
1.2 Tiempo en cola del router	4
1.2.1 Mientras dura la transmisión del flujo VoIP:	4
1.2.2 Para el caso en el que ya solo se están transmitiendo los dos flujos UDP:	5
1.3 Retardo de extremo a extremo	6
1.3.1 ¿Cuál es la relación con la gráfica de tiempo de encolado en el router?	6
1.4 Muestras VoIP y Paquetes VoIP perdidos	7
1.4.1 ¿Por qué se pierde un número constante de muestras al principio? Relaciona con la gráfica de paquetes perdidos.	7
2 Router con QoS - WRR[1,1]	9
2.1 Longitud de cola del router	9
2.1.1 Calcula analíticamente cuántos paquetes habrá como máximo en la cola EF.	9
2.1.2 Mientras dura la transmisión del flujo VoIP:	10

2.1.3	Para el caso en el que ya solo se están transmitiendo los dos flujos UDP, calcula la tasa de entrada [pkt/s] y tasa de salida [pkt/s].	11
2.2	Tiempo en cola del router	12
2.2.1	Mientras dura la transmisión del flujo VoIP, calcula analíticamente el tiempo en cola de un paquete cuando las colas AF1x y AF2x están llenas.	12
2.2.2	Para el caso en el que ya solo se están transmitiendo los dos flujos UDP, calcula el tiempo medio en cola de un paquete.	12
2.3	Retardo extremo a extremo	12
2.3.1	¿Cambia algo la explicación con respecto al caso de Router sin QoS?	12
2.4	Muestras VoIP perdidas y Paquetes VoIP perdidos	12
2.4.1	¿A qué se deben las muestras perdidas ahora? ¿Se pierde algún paquete VoIP?	12
3	Router con QoS - WRR[1,6]	14
3.1	Longitud de cola del router	14
3.1.1	Mientras dura la transmisión del flujo VoIP	14
3.1.2	Para el caso en el que ya solo se están transmitiendo los dos flujos UDP, calcula la tasa de entrada [pkt/s] y tasa de salida [pkt/s].	15
3.2	Tiempo en cola del router	16
3.2.1	Mientras dura la transmisión del flujo VoIP, calcula analíticamente el tiempo en cola de un paquete cuando la cola AF2x está llena.	16
3.2.2	¿En qué instante entró en la cola AF1x el paquete que salió en $t = 60s$? ¿Estaba la cola AF1x llena cuando entró?	16
3.2.3	¿En qué instante salió el primer paquete que se encontró la cola AF1x llena?	17
4	Router con QoS - Colas RED	18
4.1	Longitud de cola del router	18
4.1.1	Explica por qué se llenan tanto la cola AF1x como la AF2x pese a usar el algoritmo RED.	18
4.1.2	Explica a qué es debida la bajada del tamaño de la cola AF2x:	18
4.1.3	¿Cuál es la tasa de entrada efectiva que fija el algoritmo RED en cada cola?	19
4.2	Tiempo en cola del router	20
4.2.1	Explica a qué es debido el salto en el tiempo de encolado de la cola AF2x.	20
4.2.2	Explica las ventajas e inconvenientes del comportamiento de cada cola AF1x y AF2x.	21

5 Otras Gráficas

22

Índice de figuras

1.1	Longitud de la cola del router sin QoS	3
1.2	Tiempo paquetes en cola del router sin QoS	5
1.3	Retardo extremo a extremos del router sin QoS	6
1.4	Muestras perdidas sin QoS	7
1.5	Retardo extremo a extremos del router sin QoS	8
2.1	Longitud de la cola del router aplicando colas DropTail	10
2.2	Muestras perdidas en router con WRR[1,1]	13
3.1	Tamaño de la cola en router con WRR[1,6]	16
3.2	Tiempo en cola de paquetes en router con WRR[1,6]	17
4.1	Longitud cola del router con QoS usando colas RED	19
4.2	Tiempo encolado cola del router con QoS usando colas RED	21
5.1	Jitter a partir retardo extremo a extremo del router sin QoS	22
5.2	Paquetes recibidos en el servidor sin QoS	23
5.3	Paquetes recibidos en el servidor sin QoS intervalo 0-1	24
5.4	Paquetes recibidos en el servidor sin QoS intervalo 99-100	25
5.5	Tiempo encolado droptail	26
5.6	Delay extremo a extremo con droptail	27
5.7	Jitter a partir retardo extremo a extremo droptail	28
5.8	Paquetes recibidos en el servidor droptail	29
5.9	Paquetes recibidos en el sevidor droptail intervalo 0-1	30
5.10	Paquetes recibidos en el servidor droptail intervalo 99-100	31
5.11	Retardo extremo a extremo WRR16	32
5.12	Jitter a partir retardo extremo a extremo WRR16	33
5.13	Paquetes recibidos en el servidor con WRR16	34

5.14	Paquetes recibidos en el servidor con WRR16 intervalo 0-1	35
5.15	Paquetes recibidos en el servidor con WRR16 intervalo 99-100	36
5.16	Muestras perdidas WRR16	37
5.17	Retardo extremo a extremo RED	38
5.18	Jitter a partir retardo extremo a extremo RED	39
5.19	Paquetes recibidos en el servidor con RED	40
5.20	Paquetes recibidos en el servidor con RED intervalo 0-1	41
5.21	Paquetes recibidos en el servidor con RED intervalo 99-100	42
5.22	Muestras perdidas con RED	43

Router sin QoS

1.1 Longitud de cola del router

1.1.1 Para el caso en el que se están transmitiendo tanto el flujo VoIP como los dos flujos UDP, calcula:

- a. Tasa de entrada [pkt/s] a la cola.

$$R_{in} = R_{VoIP} + 2 \cdot R_{UDP} = \frac{1 \text{ pkts}}{20 \text{ ms}} + 2 \cdot \left(\frac{1 \text{ pkts}}{80 \text{ ms}} \right) = \frac{1 \text{ pkt}}{0,02 \text{ s}} + \frac{2 \text{ pkt}}{0,08 \text{ s}} = 50 \text{ pkt/s} + 25 \text{ pkt/s} = 75 \text{ pkt/s}$$

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

En VoIp:

$$\frac{R_{VoIP}}{R_{in}} = \frac{50 \text{ pkts/s}}{75 \text{ pkts/s}} = \frac{2 \text{ pkts/s}}{3 \text{ pkts/s}} \approx 66,66\%$$

En UDP:

$$\frac{R_{VoIP}}{R_{in}} = \frac{25 \text{ pkts/s}}{75 \text{ pkts/s}} = \frac{1 \text{ pkts/s}}{3 \text{ pkt/s}} \approx 33,33\%$$

(ambos transmisores UDP, cada uno tiene una proporción de 16,67%).

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

Como está la cabecera PPP de 7B, los paquetes VoIP tendría una cabecera total de 199B y los paquetes UDP una cabecera de 1000B.

$$128 \text{ kb/s} \cdot \frac{1000 \text{ b}}{1 \text{ kb}} \cdot \frac{1 \text{ B}}{8 \text{ b}} = 16000 \text{ B/s} \quad (1.1)$$

$$R_{out} = \frac{16000 \text{ B/s}}{\frac{2}{3} \cdot 199 \text{ B/pkts} + \frac{1}{3} \cdot 1000 \text{ B/pkts}} = 34,33 \text{ pkts/s} \quad (1.2)$$

d. ¿Cuánto tarda en llenarse la cola?

Como se ve en la gráfica tamaño de la cola sin QoS, tiene un tamaño de 100pkts:

$$T_{fill} = \frac{L}{R_{fill}} = \frac{L}{R_{in} - R_{out}} = \frac{100 \text{ pkts}}{75 \text{ pkt/s} - 34,33 \text{ pkts/s}} = 2,46 \text{ s}$$

1.1.2 ¿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?

La tasa de entrada al dejar de transmitir los paquetes de VoIP, solamente se transmiten los paquetes UDP, entonces en la ecuación a, solo tendríamos en cuenta la tasa de los paquetes UDP, quedando en:

$$R_{in} = R_{UDP1} + R_{UDP2} = \frac{1 \text{ pkts}}{80 \text{ ms}} + \frac{1 \text{ pkts}}{80 \text{ ms}} = 12,5 \text{ pkts/s} + 12,5 \text{ pkts/s} = 25 \text{ pkts/s}$$

La tasa de salida, aunque dejemos de transmitir paquetes VoIP, según la ecuación d, la cola se llena a los 2,46 segundos por lo que después de 60s (cuando se deja de transmitir VoIP), la cola seguirá llena entonces la tasa de salida sigue siendo igual hasta que se empiece a vaciar.

La consecuencia de tener estas nuevas tasas es que la cola se va a vaciar, ya que:

$$R_{in} < R_{out}$$

Una vez pasado un tiempo, la tasa de salida va a ser:

$$128 \text{ kb/s} \cdot \frac{1000 \text{ b}}{1 \text{ kb}} \cdot \frac{1 \text{ B}}{8 \text{ b}} = 16000 \text{ B/s} R_{out} = \frac{16000 \text{ B/s}}{1000 \text{ B/pkts}} = 16 \text{ pkts/s}$$

En ese momento, al ser la tasa de entrada más grande que la tasa de salida, se va a volver a llenar la cola. Este problema se puede observar en la gráfica 1.1.

1.1.3 Para el caso en el que ya solo se están transmitiendo los dos flujos UDP y la cola solo contiene paquetes UDP, calcula la tasa de entrada [pkt/s] y tasa de salida [pkt/s]

Estas dos tasas ya se han calculado en el siguiente apartado. Por lo tanto quedaría que:

$$R_{in} = 25 \text{ pkts/s}$$

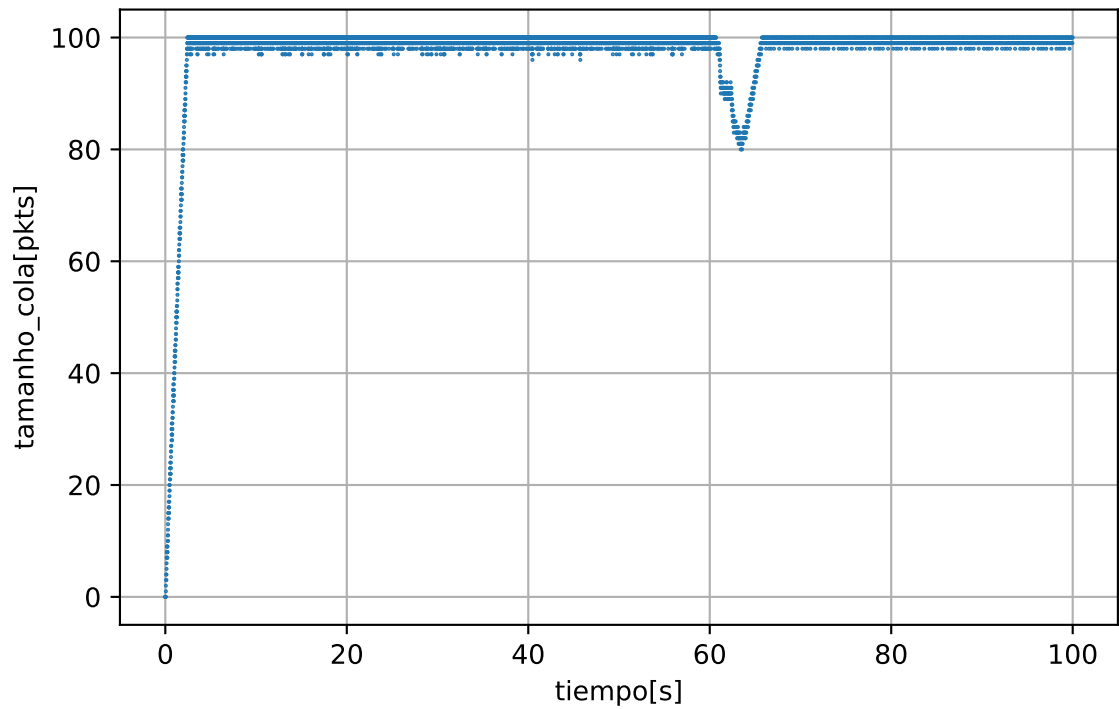


Figura 1.1: Longitud de la cola del router sin QoS

$$R_{out} = 16 \text{ pkts/s}$$

1.1.4 Para el caso en que ya no se transmite el flujo VoIP, calcula 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?

Aprovechando la ecuación para calcular la tasa de salida:

$$\begin{aligned}
R_{out} &= 25 \text{ pkts/s} = \frac{16000 \text{ B/s}}{x \cdot 199 \text{ B/pkts} + (1 - x) \cdot 1000 \text{ B/pkts}} \\
25 &= \frac{16000}{199 \cdot x + 1000 - 1000 \cdot x} \\
25 &= \frac{16000}{1000 - 801 \cdot x} \\
(1000 - 801 \cdot x) \cdot 25 &= 16000 \\
25000 - 20025 \cdot x &= 16000 \\
x &= \frac{16000 - 25000}{-20025} \\
x &\approx 0,45
\end{aligned} \tag{1.3}$$

De esta manera, la proporción de los paquetes VoIP es de 45 paquetes y en el caso de los paquetes UDP es de 55 paquetes, por lo que nos quedaría un hueco de para 45 paquetes al dejar de transmitir VoIP y no se llenaría la cola

1.2 Tiempo en cola del router

1.2.1 Mientras dura la transmisión del flujo VoIP:

- a. Calcula el tiempo medio en cola de un paquete cuando la cola está llena:

Cuando la cola está llena tiene 100 paquetes, por lo que el tiempo medio es de:

$$t_q = \frac{L}{R_{out}} = \frac{100 \text{ pkt}}{34,33 \text{ pkts/s}} = 2,91 \text{ s}$$

- b. ¿A qué se deben las oscilaciones de la gráfica en torno a este valor medio?

Como se puede ver en la gráfica 1.2, hay una oscilación hasta los 60 segundos ya que es cuando se dejan de transmitir los paquetes VoIP. Esa oscilación se debe a que los paquetes de voz son mas ligeros que los de UDP, por lo que, hay momentos en que la cola se atasca más ya que a lo mejor está liberando los paquetes UDP y otras veces hay una bajada ya que están saliendo los paquetes VoIP

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

Para eso vamos a utilizar la ecuación del apartado a:

$$t_q = \frac{L}{R_{out}} \Rightarrow 1 \text{ s} \cdot 34,33 \text{ pkts/s} = L \Rightarrow L \approx 35 \text{ pkt}$$

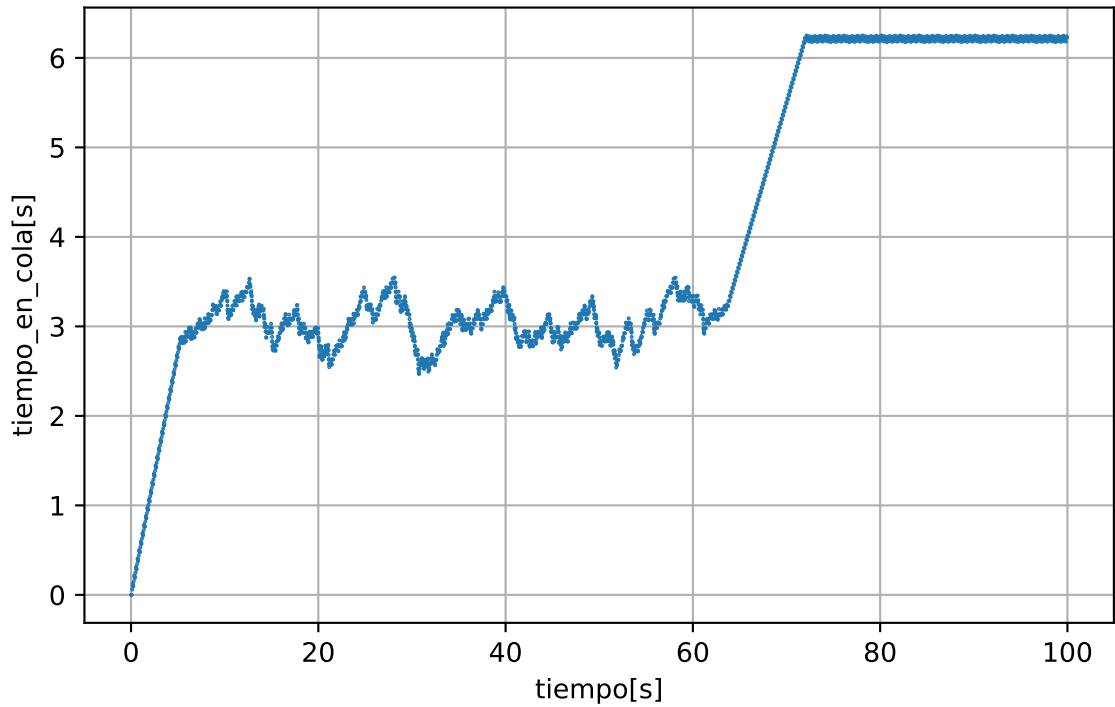


Figura 1.2: Tiempo paquetes en cola del router sin QoS

Por lo tanto con 35 paquetes como tamaño de la cola, tendremos un encolado de como máximo 1s

1.2.2 Para el caso en el que ya solo se están transmitiendo los dos flujos UDP:

- Calcula el tiempo medio en cola de un paquete cuando la cola está llena.

Cuando se deja transmitir VoIP, la tasa de salida de la cola es de:

$$R_{out} = \frac{16000 \text{ B/s}}{1000 \text{ B/pkts}} = 16 \text{ pkts/s}$$

Por lo que el tiempo medio cuando la cola está llena y solo se transmite UDP:

$$t_q = \frac{L}{R_{out}} = \frac{100 \text{ pkt}}{16 \text{ pkts/s}} = 6,25 \text{ s}$$

- ¿Por qué ahora la gráfica no presenta oscilaciones en torno al valor medio?

Como vimos en la gráfica 1.2, después de 60s (tiempo que solo hay paquetes UDP), no hay ninguna oscilación ya que los paquetes son todos de igual tamaño por lo que todos

tardan el mismo tiempo en enviarse.

1.3 Retardo de extremo a extremo

1.3.1 ¿Cuál es la relación con la gráfica de tiempo de encolado en el router?

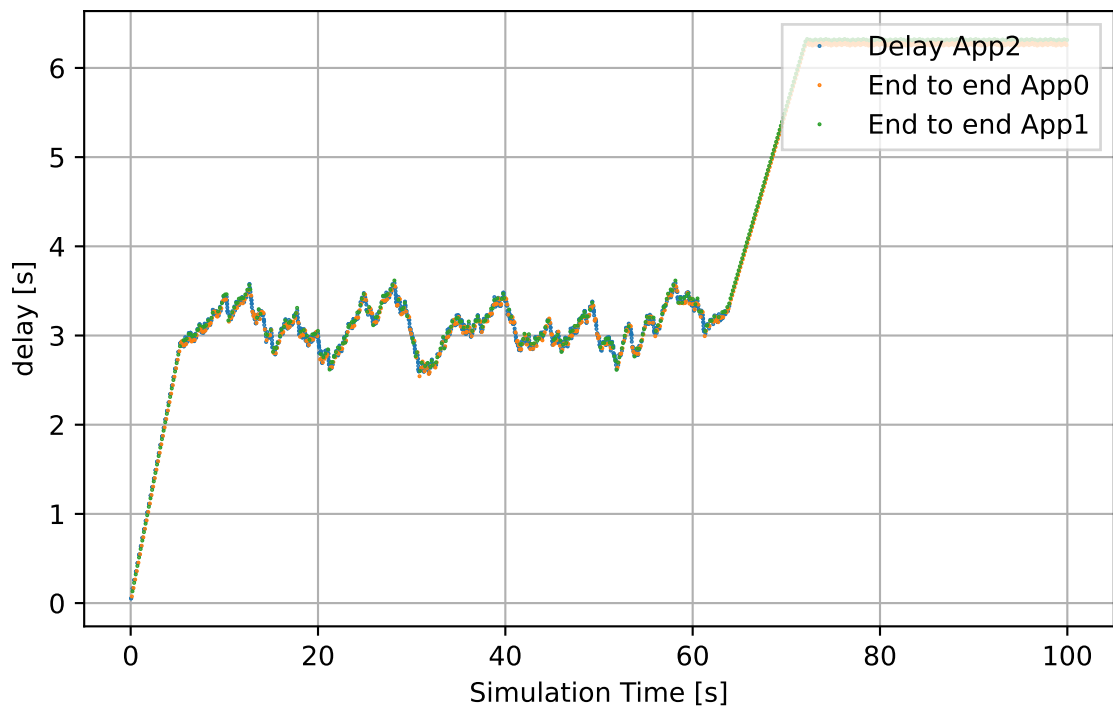


Figura 1.3: Retardo extremo a extremos del router sin QoS

Hay una relación clara entre el retardo extremo a extremo y el tiempo de encolado de paquetes. Esto se debe a que el enlace router-servidor es el único del sistema que sufre problemas de congestión. Por tanto, esto, sumado a que el sistema es relativamente pequeño (La distancia origen-destino es baja), hace que sea evidente pensar que casi todo el retraso de los paquetes proviene del tiempo que pasan dentro de esta cola, aumentando el tiempo de llegada de esos paquetes al destino. Por ello, coinciden de una forma similar los tiempos de la gráfica 1.2 con respecto a la gráfica 1.3.

1.4 Muestras VoIP y Paquetes VoIP perdidos

1.4.1 ¿Por qué se pierde un número constante de muestras al principio? Relaciona con la gráfica de paquetes perdidos.

El número constante de muestras que se pierden al principio (ver gráfica 1.4) es consecuencia de que la cola se llena muy rápidamente al enviar cada 20ms paquetes VoIP, por lo que todos los paquetes que entran se descartan (ver gráfica 1.5) y hace que las muestras de voz se pierdan de forma uniforme. Una vez que la cola ya está llena, se sigue perdiendo paquetes y con ello muestras, pero deja de ser tan constante ya que se va procesando poco a poco el tráfico entonces al irse liberando paquetes, hay momentos en los que se pierden más y otros momentos en los que se pierden menos.

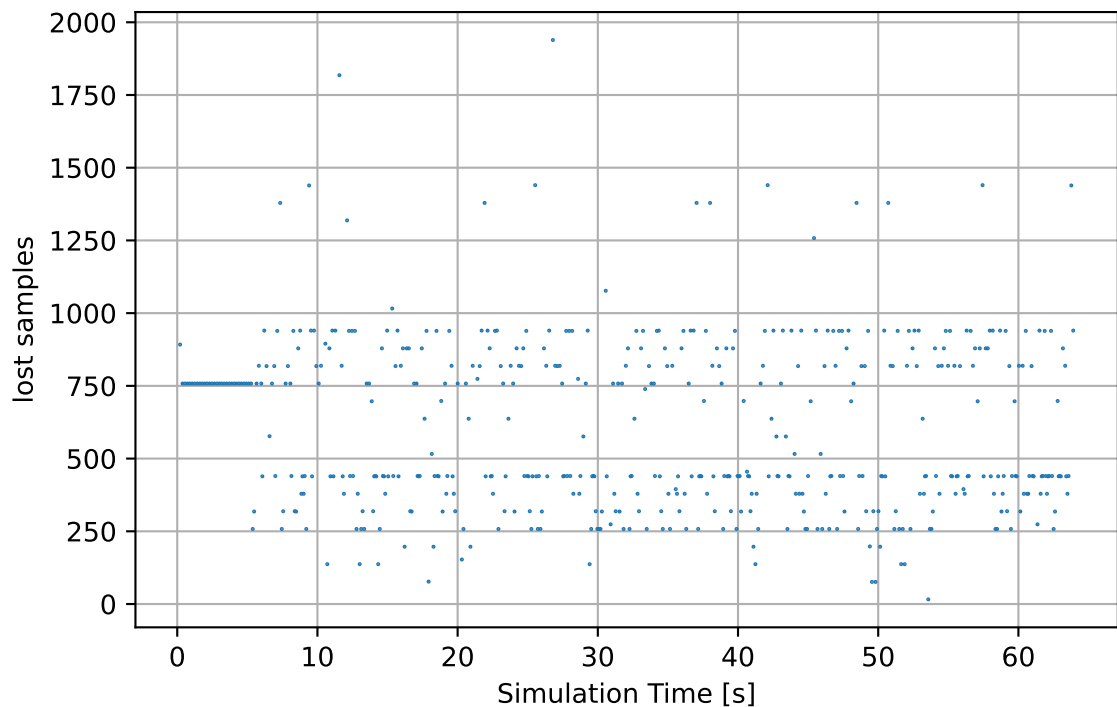


Figura 1.4: Muestras perdidas sin QoS

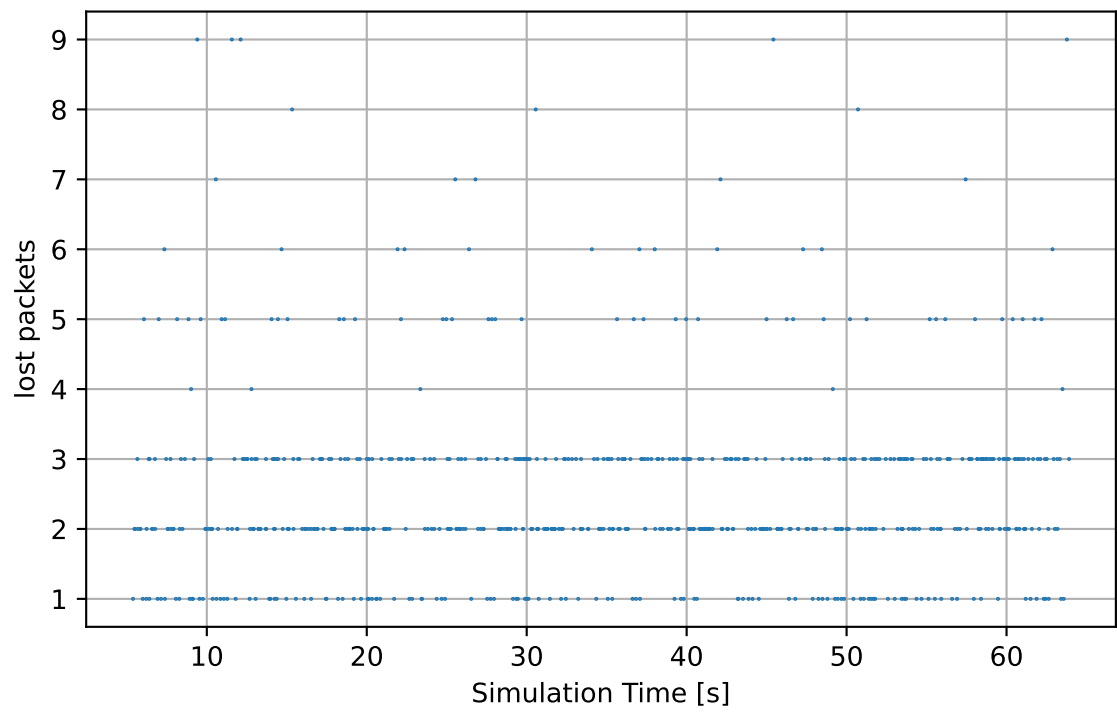


Figura 1.5: Retardo extremo a extremos del router sin QoS

Router con QoS - WRR[1,1]

Nota

En este capítulo, como la proporción con WRR[1,1] es igual para ambas colas UDP, en muchos apartados se da un único resultado para ambas colas, ya que el cálculo y resultado es el mismo para Afx1 que para Afx2. Cuando esto ocurre nos referimos a la cola genérica 'Afx'.

2.1 Longitud de cola del router

2.1.1 Calcula analíticamente cuántos paquetes habrá como máximo en la cola EF.

La cola EF, que representa el flujo UDP, es manejada en este caso mediante *Strict Priority Queueing*, por lo que podemos 'ignorar' las colas de paquetes UDP y simplemente calcular la tasa de salida con la única restricción que supone limitar el tráfico EF a la tasa efectiva resultante de transmitir VoIP que, en este caso es de 76,8kbps, como se indica en el enunciado.

$$R_{InVoIP} = \frac{1 \text{ pkt}}{0,02 \text{ s}} = 50 \text{ pkt/s}$$

$$R_{outVoIP} = \frac{76,8 \text{ kb/s} \cdot 1000 \text{ b/kb} \cdot \frac{1 \text{ B}}{8 \text{ b}}}{192 \text{ B/pkt}} = 50 \text{ pkt/s}$$

$$R_{InVoIP} = R_{outVoIP}$$

Como la tasa de salida es igual a la de entrada, habrá como mucho un paquete VoIP en cola en todo momento, ya que cada paquete se transmite al mismo tiempo que llega el siguiente. Esto puede ratificarse al observar la línea verde, que representa la cola EF, en la figura 2.1.

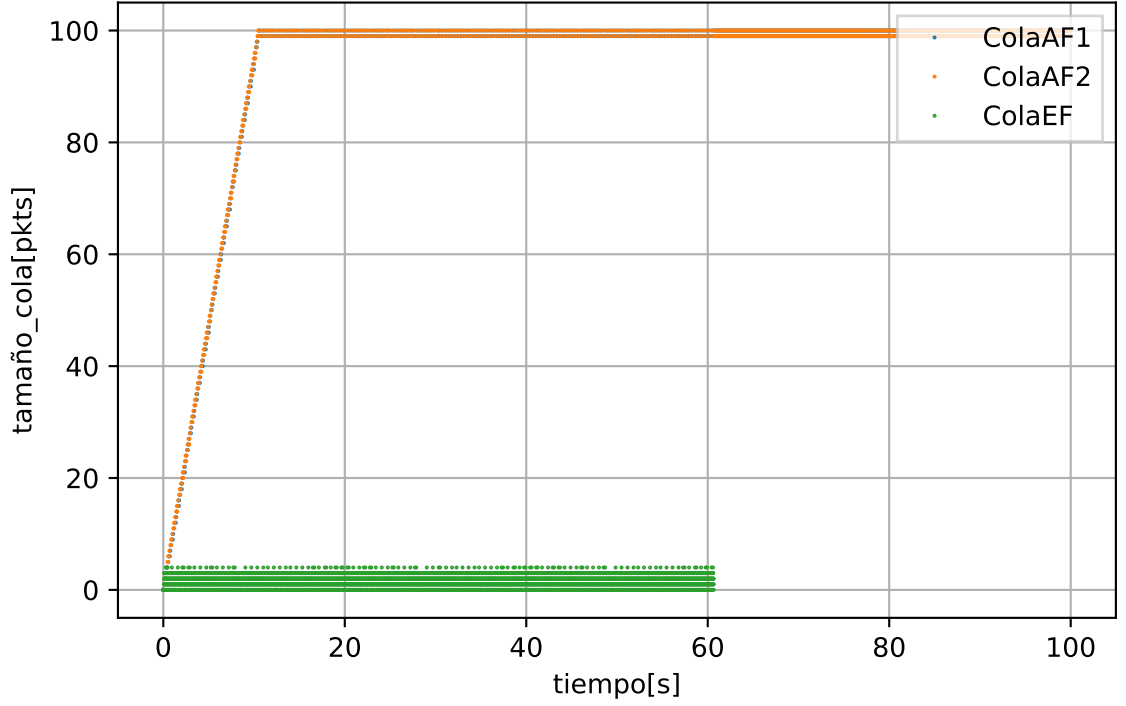


Figura 2.1: Longitud de la cola del router aplicando colas DropTail

2.1.2 Mientras dura la transmisión del flujo VoIP:

- a. Tasa de salida (en pkt/s y b/s) de cada cola AF1x y AF2x:

$$R_{\text{OutUDP}}[b/s] = R_{\text{Out}} - R_{\text{OutVoIP}} = 128 \text{ kb/s} \cdot 1000 \text{ b/kb} - 50 \text{ pkt/s} \cdot 199 \text{ B/pkt} \cdot 8 \text{ b/B} \\ = 48400 \text{ b/s}$$

$$R_{\text{OutUDP}}[pkt/s] = 48400 \text{ b/s} \cdot \frac{1 \text{ B}}{8 \text{ b}} \cdot \frac{1 \text{ pkt}}{1000 \text{ B}} = 6,05 \text{ pkt/s}$$

$$R_{\text{OutAf1}}[b/s] = p_{\text{Af1}} \cdot R_{\text{OutUDP}} = \frac{1}{2} \cdot 48400 \text{ b/s} = 24200 \text{ b/s}$$

$$R_{\text{OutAf1}}[pkt/s] = p_{\text{Af1}} \cdot R_{\text{OutUDP}} = \frac{1}{2} \cdot 6,05 \text{ pkt/s} = 3,025 \text{ pkt/s}$$

b. Paquetes por segundo descartados a la entrada de cada cola:

$$R_{InAfx} = \frac{1 \text{ pkt}}{0,08 \text{ s}} = 12,5 \text{ pkt/s}$$

$$Pkt_{DescAfx} = R_{InAfx} - R_{OutAfx} = 12,5 \text{ pkt/s} - 3,025 \text{ pkt/s} = 11,636 \text{ pkt/s}$$

c. Tiempo de llenado de las colas AF1x y AF2x:

$$t_{FillAfx} = \frac{L}{R_{InAfx} - R_{OutAfx}} = \frac{100 \text{ pkt}}{12,5 \text{ pkt/s} - 3,025 \text{ pkt/s}} = 9,475 \text{ s}$$

El resultado de este apartado se puede que es correcto al contrastarlo con la figura 2.1.

2.1.3 Para el caso en el que ya solo se están transmitiendo los dos flujos UDP, calcula la tasa de entrada [pkt/s] y tasa de salida [pkt/s].

La tasa de entrada no cambia. Como se indica en el enunciado, cada cola UDP recibe un paquete cada 80ms.

$$R_{InAfx} = \frac{1 \text{ pkt}}{0,08 \text{ s}} = 12,5 \text{ pkt/s}$$

Por otra parte, ahora que no hay flujo VoIP (Y suponiendo cola EF vacía), las colas UDP pueden usar todo el espacio del enlace router-servidor.

$$R_{OutUDP}[pkt/s] = 128 \text{ kb/s} \cdot 1000 \text{ b/kb} \cdot \frac{1 \text{ B}}{8 \text{ b}} \cdot \frac{1 \text{ pkt}}{1000 \text{ B}} = 16 \text{ pkt/s}$$

$$R_{OutAfx}[pkt/s] = p_{Afx} \cdot R_{OutUDP} = \frac{1}{2} \cdot 16 \text{ b/s} = 8 \text{ pkt/s}$$

Como se comprueba, el enlace sigue siendo insuficiente y las colas no se vaciarán mientras sigan llegando paquetes ya que:

$$R_{InAfx} > R_{OutAfx}$$

.

2.2 Tiempo en cola del router

2.2.1 Mientras dura la transmisión del flujo VoIP, calcula analíticamente el tiempo en cola de un paquete cuando las colas AF1x y AF2x están llenas.

$$t_{qAfx} = \frac{L}{R_{OutAfx}} = \frac{100 \text{ pkt}}{3,025 \text{ pkt/s}} = 33,058 \text{ s}$$

2.2.2 Para el caso en el que ya solo se están transmitiendo los dos flujos UDP, calcula el tiempo medio en cola de un paquete.

$$t_{qAfx} = \frac{L}{R_{OutAfx}} = \frac{100 \text{ pkt}}{8 \text{ pkt/s}} = 12,5 \text{ s}$$

2.3 Retardo extremo a extremo

2.3.1 ¿Cambia algo la explicación con respecto al caso de Router sin QoS?

La explicación es la misma que para el caso del router sin QoS aplicada. Las gráficas de *end-to-end delay* y tiempo de encolado son prácticamente idénticas debido a que, en el caso de esta práctica, el único segmento del sistema donde hay congestión y del que surgen todos los problemas es la conexión router-servidor. Además, el sistema con el que se trabaja es bastante pequeño, haciendo que apenas se note el tiempo de viaje de los paquetes del origen a destino. Por tanto, es evidente ver que la práctica totalidad del retraso de los paquetes proeada del tiempo de espera en la cola con la que tratamos en estos ejercicios.

2.4 Muestras VoIP perdidas y Paquetes VoIP perdidos

2.4.1 ¿A qué se deben las muestras perdidas ahora? ¿Se pierde algún paquete VoIP?

En este caso, las muestras perdidas son muy pocas gracias a aplicar técnicas de QoS. Las pocas muestras que se pierden pueden ser debidas a ráfagas ocasionales de tráfico u otras

situaciones inherentes a la naturaleza de la red. De hecho, en este caso ya no se pierde ningún paquete en la transmisión.

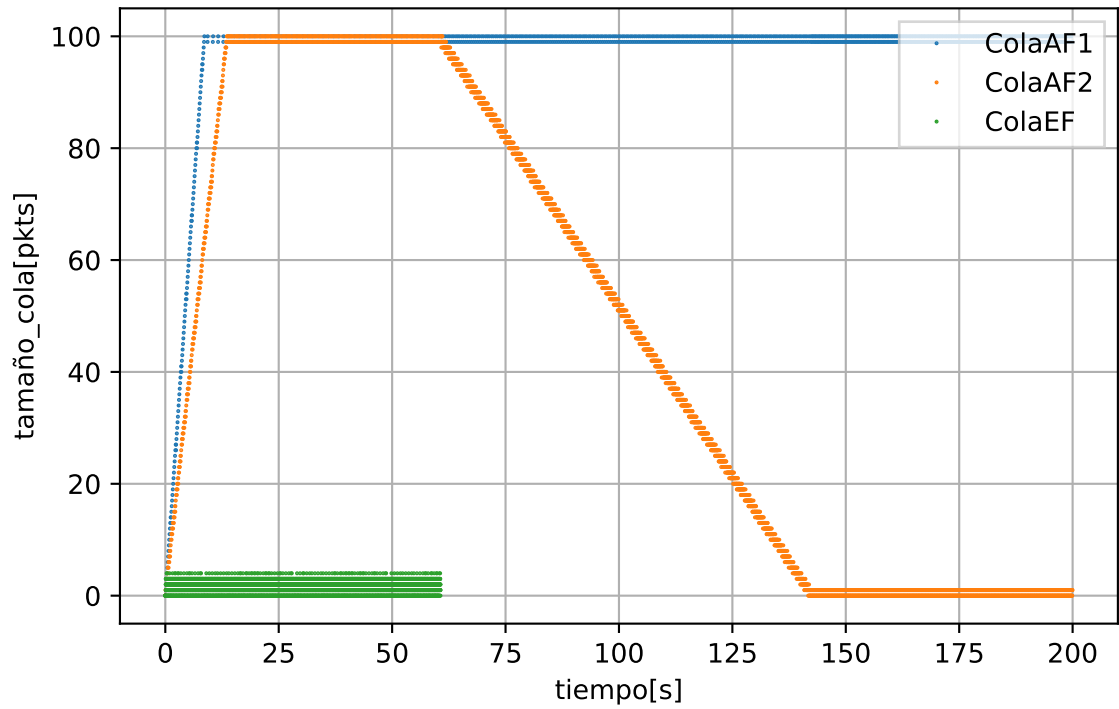


Figura 2.2: Muestras perdidas en router con WRR[1,1]

Router con QoS - WRR[1,6]

Nota

En este capítulo, aunque la proporción ya no es la misma como en el caso del WRR[1,1], algunos cálculos, como la tasa de entrada en cada cola, es equivalente para ambas, por los que nos referimos a una única cola genérica 'Afx', que representa ambas colas de tráfico UDP.

3.1 Longitud de cola del router

3.1.1 Mientras dura la transmisión del flujo VoIP

- a. Tasa de salida (en pkt/s y b/s) de cada cola AF1x y AF2x:

$$R_{\text{OutUDP}}[b/s] = R_{\text{Out}} - R_{\text{OutVoIP}} = 128 \text{ kb/s} \cdot 1000 \text{ b/kb} - 50 \text{ pkt/s} \cdot 199 \text{ B/pkt} \cdot 8 \text{ b/B} \\ = 48400 \text{ b/s}$$

$$R_{\text{OutUDP}}[pkt/s] = 48400 \text{ b/s} \cdot \frac{1 \text{ B}}{8 \text{ b}} \cdot \frac{1 \text{ pkt}}{1000 \text{ B}} = 6,05 \text{ pkt/s}$$

$$R_{\text{OutAf1}}[b/s] = p_{\text{Af1}} \cdot R_{\text{OutUDP}} = \frac{1}{7} \cdot 48400 \text{ b/s} = 6914 \text{ b/s}$$

$$R_{\text{OutAf1}}[pkt/s] = p_{\text{Af1}} \cdot R_{\text{OutUDP}} = \frac{1}{7} \cdot 6,05 \text{ pkt/s} = 0,864 \text{ pkt/s}$$

$$R_{\text{OutAf2}}[b/s] = p_{\text{Af2}} \cdot R_{\text{OutUDP}} = \frac{6}{7} \cdot 48400 \text{ b/s} = 41486 \text{ b/s}$$

$$R_{\text{OutAf2}}[pkt/s] = p_{\text{Af2}} \cdot R_{\text{OutUDP}} = \frac{6}{7} \cdot 6,05 \text{ pkt/s} = 5,186 \text{ pkt/s}$$

En este caso, a diferencia del capítulo anterior (WRR[1,1]), al tener pesos distintos para cada cola, la tasa de salida de la cola es mucho mayor en Afx2 que en Afx1.

- b. Paquetes por segundo descartados a la entrada de cada cola:

$$R_{InAfX} = \frac{1 \text{ pkt}}{0,08 \text{ s}} = 12,5 \text{ pkt/s}$$

$$Pkt_{DescAf1} = R_{InAf1} - R_{OutAf1} = 12,5 \text{ pkt/s} - 0,864 \text{ pkt/s} = 11,636 \text{ pkt/s}$$

$$Pkt_{DescAf2} = R_{InAf2} - R_{OutAf2} = 12,5 \text{ pkt/s} - 5,186 \text{ pkt/s} = 7,314 \text{ pkt/s}$$

- c. Tiempo de llenado de las colas AF1x y AF2x:

$$t_{FillAf1} = \frac{L}{R_{InAf1} - R_{OutAf1}} = \frac{100 \text{ pkt}}{12,5 \text{ pkt/s} - 0,864 \text{ pkt/s}} = 8,594 \text{ s}$$

$$t_{FillAf2} = \frac{L}{R_{InAf2} - R_{OutAf2}} = \frac{100 \text{ pkt}}{12,5 \text{ pkt/s} - 5,186 \text{ pkt/s}} = 13,672 \text{ s}$$

Como se observa en la figura 3.1, el tiempo de llenado para las colas UDP es muy bajo, coincidiendo con lo calculado en este apartado.

3.1.2 Para el caso en el que ya solo se están transmitiendo los dos flujos UDP, calcula la tasa de entrada [pkt/s] y tasa de salida [pkt/s].

$$R_{InAfX} = \frac{1 \text{ pkt}}{0,08 \text{ s}} = 12,5 \text{ pkt/s}$$

$$R_{OutUDP} [pkt/s] = 128 \text{ kb/s} \cdot 1000 \text{ b/kb} \cdot \frac{1 \text{ B}}{8 \text{ b}} \cdot \frac{1 \text{ pkt}}{1000 \text{ B}} = 16 \text{ pkt/s}$$

$$R_{OutAf1} [pkt/s] = p_{Af1} \cdot R_{OutUDP} = \frac{1}{7} \cdot 16 \text{ pkt/s} = 2,286 \text{ pkt/s}$$

$$R_{OutAf2} [pkt/s] = p_{Af2} \cdot R_{OutUDP} = \frac{6}{7} \cdot 16 \text{ pkt/s} = 13,714 \text{ pkt/s}$$

Es interesante fijarse que, para este contexto, al tener un peso de 6, la cola Afx2 se comienza a vaciar cuando cesa el flujo VoIP como puede verse con lo que se acaba de calcular (La tasa de salida de Afx2 es mayor que la tasa de entrada en la misma). También se refleja en la figura 3.1.

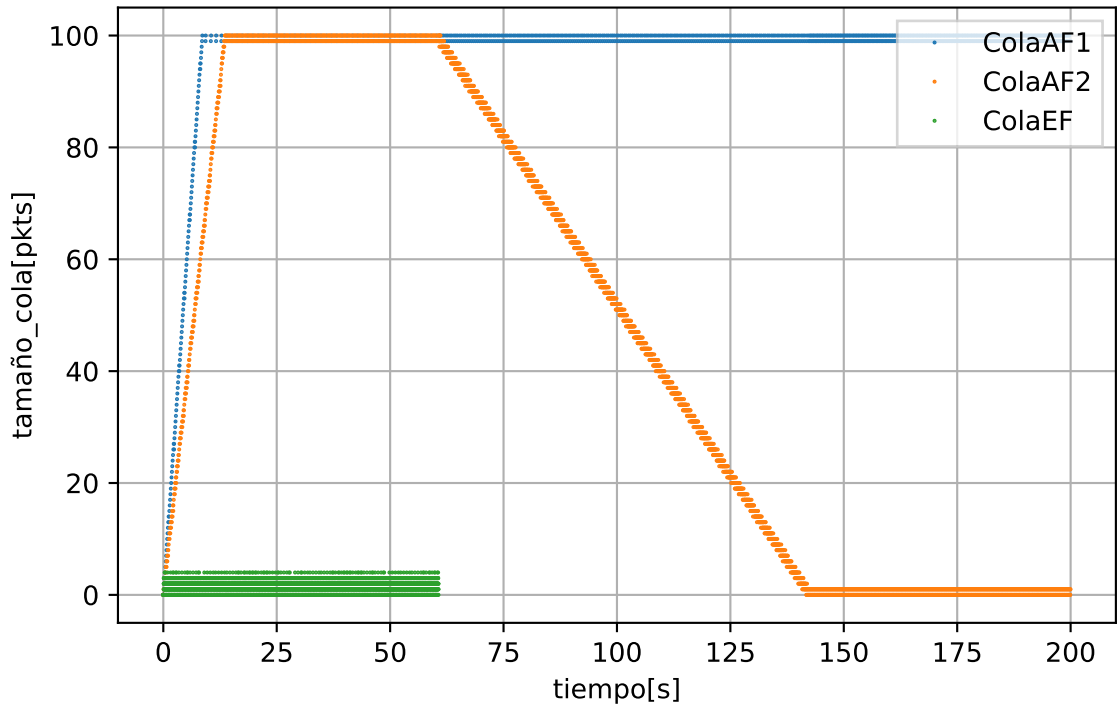


Figura 3.1: Tamaño de la cola en router con WRR[1,6]

3.2 Tiempo en cola del router

3.2.1 Mientras dura la transmisión del flujo VoIP, calcula analíticamente el tiempo en cola de un paquete cuando la cola AF2x está llena.

$$t_{qAf2} = \frac{L}{R_{OutAf2}} = \frac{100 \text{ pkt}}{5,186 \text{ pkt/s}} = 19,283 \text{ s}$$

Para comprobar este resultado podemos acudir a la figura 3.2 para ver cómo el tiempo en cola de los paquetes de Afx2 efectivamente se estanca justo antes de los 20s.

3.2.2 ¿En qué instante entró en la cola AF1x el paquete que salió en $t = 60s$? ¿Estaba la cola AF1x llena cuando entró?

Para realizar este ejercicio nos ayudaremos de la gráfica correspondiente, ya que no es posible realizarlo analíticamente, al menos con los conocimientos que tenemos actualmente. Observando la figura 3.2 desde Omnet, podemos ver que el paquete saliente de la cola Af1x

en el segundo 60, lleva en cola un tiempo aproximado de 55,1s.

$$t_{in} = t_{out} - t_{qAf1} = 60 \text{ s} - 55,1 \text{ s} = 4,9 \text{ s}$$

Por tanto, el momento en el que entró, fue el segundo 4,9. Si nos fijamos en la figura 3.1, la cola aún no estaba llena.

3.2.3 ¿En qué instante salió el primer paquete que se encontró la cola AF1x llena?

Aunque podría haber forma de obtener un resultado aproximado calculándolo analíticamente, la forma que se usará para resolver este ejercicio es, igual que en el anterior, la comparación con las gráficas en Omnet. Primero, acudiremos a la figura 3.1. En ella, vemos que el primer paquete que encontró la cola llena lo hizo en el instante $t=8,6\text{s}$. A continuación, debemos buscar el punto en la cola Afx1 de la figura 3.2 en el que, si restamos la componente X a la Y, resulte 8,6. Este punto coincidiría con el instante $t=84\text{s}$, momento en el que salió el primer paquete que encontró la cola llena.

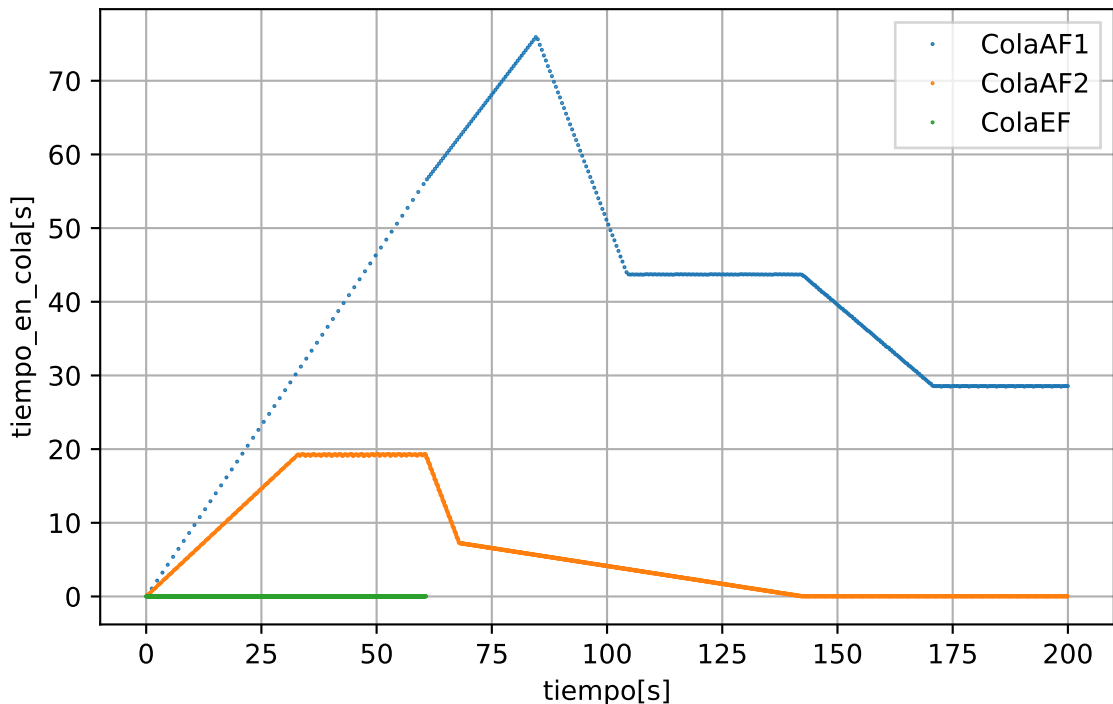


Figura 3.2: Tiempo en cola de paquetes en router con WRR[1,6]

Router con QoS - Colas RED

4.1 Longitud de cola del router

4.1.1 Explica por qué se llenan tanto la cola AF1x como la AF2x pese a usar el algoritmo RED.

Como se puede ver en la gráfica 4.1 y en el archivo .ini de la práctica, la cola **AFX1** tiene un umbral máximo de 100 paquetes y la cola **AFX2** tiene un umbral máximo de 50 paquetes. Además la probabilidad de descarte de paquetes es de 0,5 y 1 respectivamente en cada una.

Ambas colas tienen también un factor de suavizado que se usa para calcular el promedio de la longitud de la cola y ajustar dinámicamente la probabilidad de descarte de paquetes. Cuanto menor sea este factor, el cálculo de la longitud promedio de la cola se hará de forma mas lenta. Ese factor es de 0,03 en la cola **AFX1** y de 0,01 en la cola **AFX2**.

Como en este escenario hay una alta cantidad de paquetes entrantes, este factor de suavizado es muy bajo para este tráfico por lo que las colas tardan en detectar la congestión y se llenan. Además en la cola **AFX1**, como la probabilidad de descarte es del 100%, cuando la cola se llena se ve una bajada muy grande en el tamaño, ya que en ese momento cualquier paquete que entre se descarta hasta que la cola quede estabilizada.

4.1.2 Explica a qué es debida la bajada del tamaño de la cola AF2x:

- a. Mientras dura la transmisión VoIP.

Como se explicó en el apartado 4.1.1, al llenarse la cola la probabilidad de descarte es la máxima, por lo que se descartan todos los paquetes que llegan a la cola, bajando así la congestión del tráfico.

- b. Cuando ya no hay transmisión VoIP.

A partir de los 60s se deja de transmitir paquetes VoIP entonces queda libre todo el

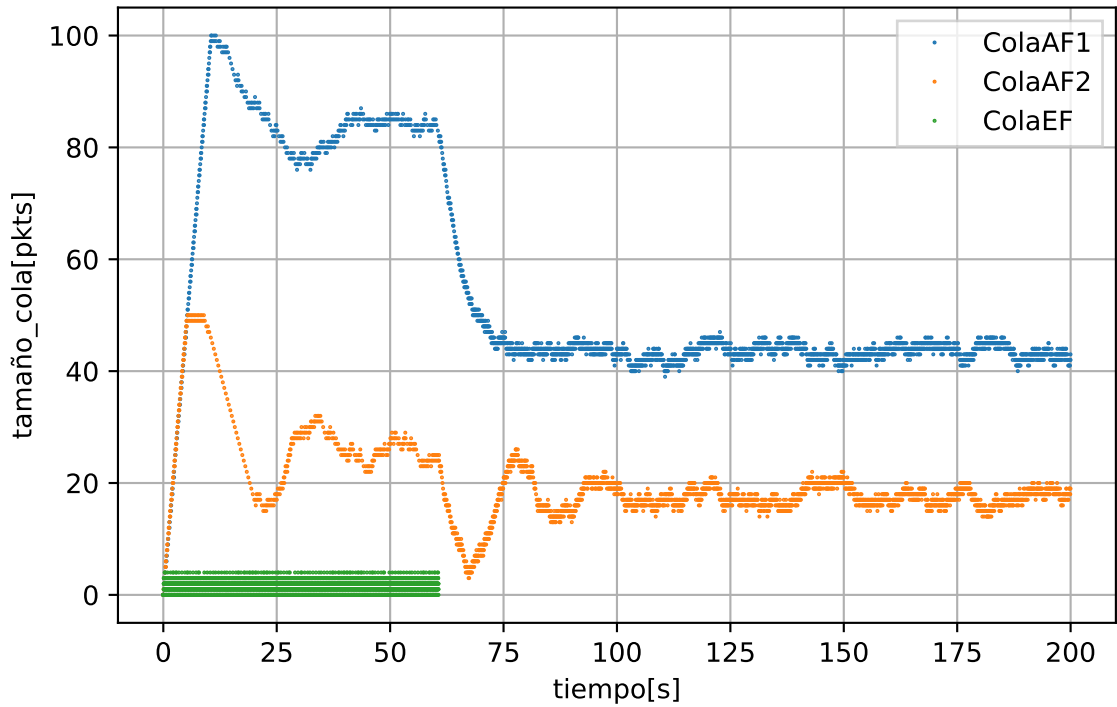


Figura 4.1: Longitud cola del router con QoS usando colas RED

ancho de banda para los paquetes UDP, lo que hace que las colas estén ya menos congestionadas. Aún así, se ven subidas y bajadas en el tamaño de la cola (gráfica 4.1) ya que RED sigue descartando paquetes según el factor de suavizado, por lo que se aplica el límite según la longitud promedio de la cola (calculado en el apartado 4.1.3).

4.1.3 ¿Cuál es la tasa de entrada efectiva que fija el algoritmo RED en cada cola?

Para calcular la tasa de entrada efectiva, vamos a calcular el longitud promedio de la cola y a partir de ella, la tasa efectiva:

Longitud promedio, según la documentación de inet:

$$\text{avg} = (1 - w_q) \cdot \left(\frac{\text{maxth} - \text{minth}}{2} \right) + w_q \cdot \text{qlen}$$

Cola (AFX1):

$$\text{avg}_{afx1} = (1 - 0,03) \cdot ((100 - 10)/2) + 0,03 \cdot 100 = 43,65 + 3 = 46,65[\text{pkts}]$$

Cola (**AFX2**):

$$avg_{afx2} = (1 - 0,01) \cdot ((50 - 10)/2) + 0,01 \cdot 50 = 19,8 + 0,5 = 20,3[pkts]$$

Una vez tenemos la longitud promedia, vamos a calcular la probabilidad de descarte de un paquete:

$$P(descarte) = \max P \cdot \left(\frac{avg - minth}{maxth - minth} \right)$$

Cola (**AFX1**):

$$P(descarte)_{afx1} = 0,5 \cdot \left(\frac{46,65 - 10}{100 - 10} \right) = 0,2\%$$

Cola (**AFX2**):

$$P(descarte)_{afx2} = 1 \cdot \left(\frac{20,3 - 10}{50 - 10} \right) = 0,2575\%$$

Una vez tenemos la probabilidad de que un paquete se descarte, podemos calcular la tasa efectiva:

$$Tasa(efectiva) = maxth \cdot (1 - P(descarte))$$

Cola (**AFX1**):

$$Tasa(efectiva)_{afx1} = 100 \cdot (1 - 0,2) = 80[pkts/s]$$

Cola (**AFX2**):

$$Tasa(efectiva)_{afx2} = 100 \cdot (1 - 0,2575) = 74,25[pkts/s]$$

4.2 Tiempo en cola del router

4.2.1 Explica a qué es debido el salto en el tiempo de encolado de la cola AF2x.

El salto se debe a los paquetes que se descartan en ese momento en la cola (ver gráfica 4.2). Como la probabilidad de descarte de **AFX2** es del 100%, todos los paquetes que entran se descartan por lo que al no entrar ningún paquete, los paquetes que están en la cola se liberan con más rapidez hasta que la cola se vuelva a llenar.

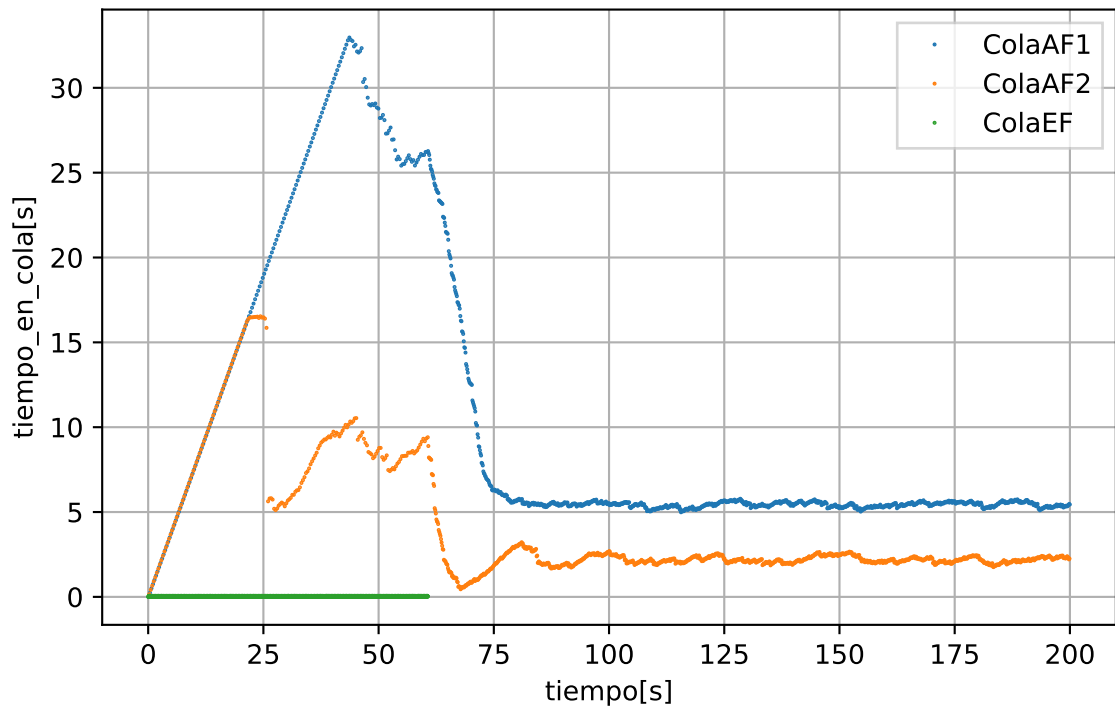


Figura 4.2: Tiempo en cola del router con QoS usando colas RED

4.2.2 Explica las ventajas e inconvenientes del comportamiento de cada cola AF1x y AF2x.

En la cola **AFX1**, la ventaja es que al tener el umbral máximo alto, el número de paquetes que se pierden es bajo y además tiene una probabilidad de descarte flexible. Como inconveniente, el tiempo de encolado de paquetes es mayor que **AFX2**, por lo se tardan más en transmitir.

Con respecto a la cola **AFX2**, la principal ventaja es el tiempo de encolado, ya que es bajo. Los inconvenientes son que, al principio, el número de paquetes descartados son muy seguidos ya que tiene una alta probabilidad de descarte y además el umbral máximo está por debajo del tamaño de la cola por lo que se están desperdiciando recursos y, como consecuencia, la cola se llena más rápido.

Otras Gráficas

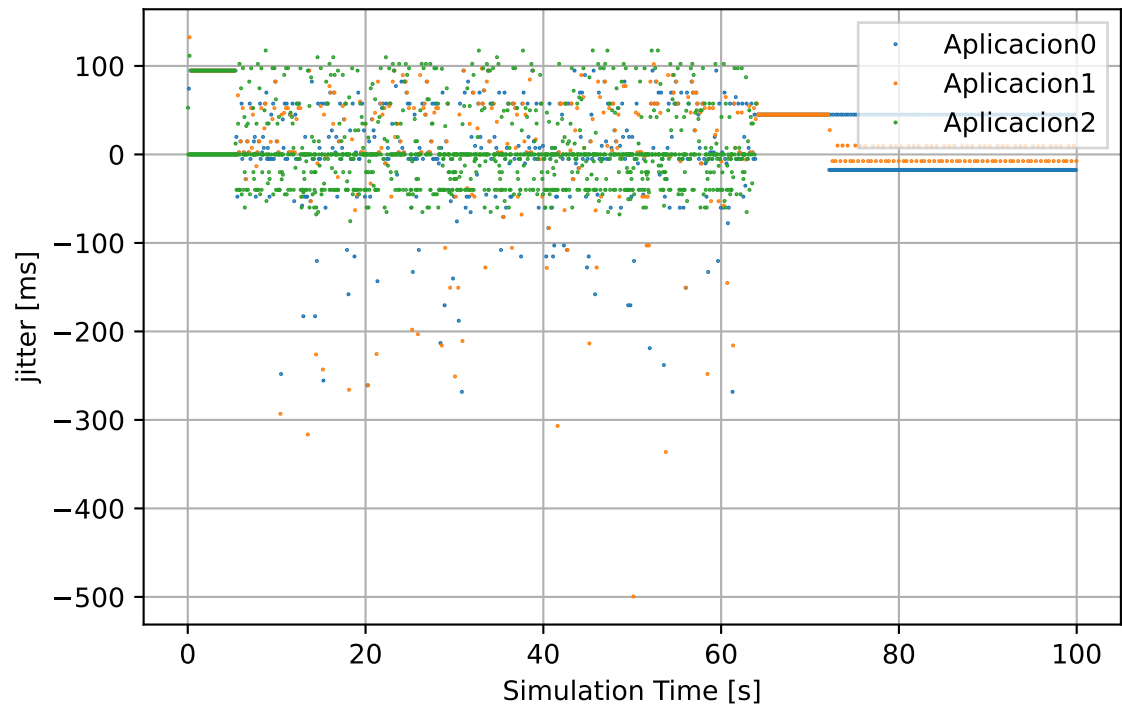


Figura 5.1: Jitter a partir retardo extremo a extremo del router sin QoS

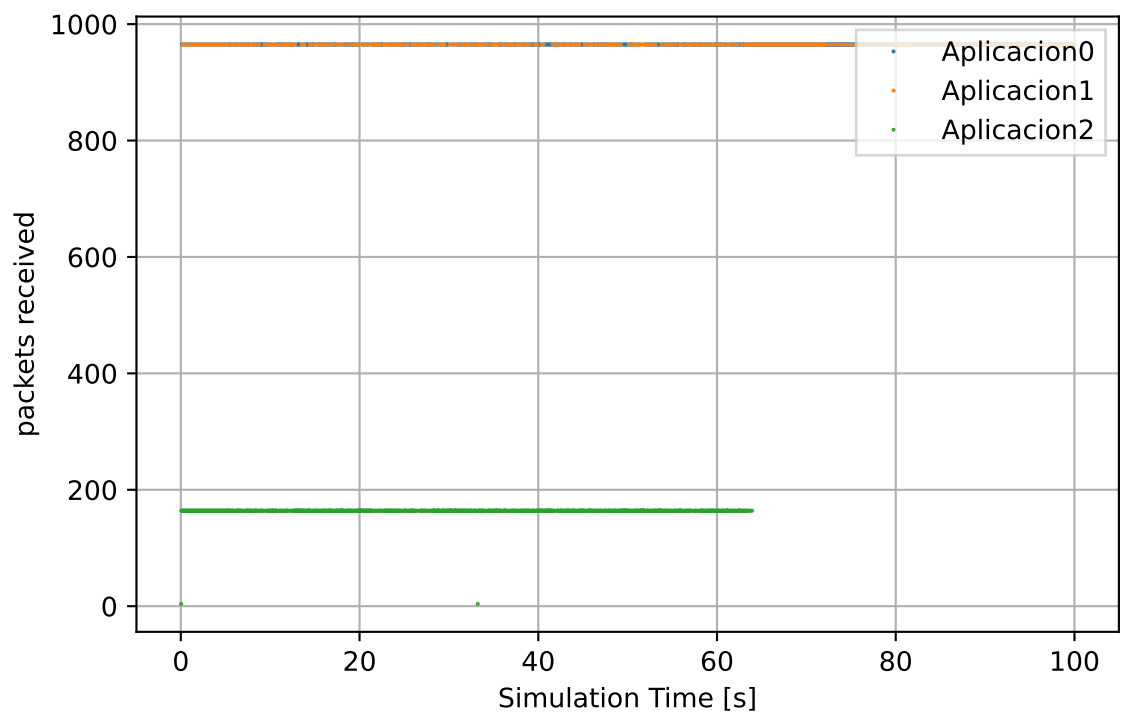


Figura 5.2: Paquetes recibidos en el servidor sin QoS

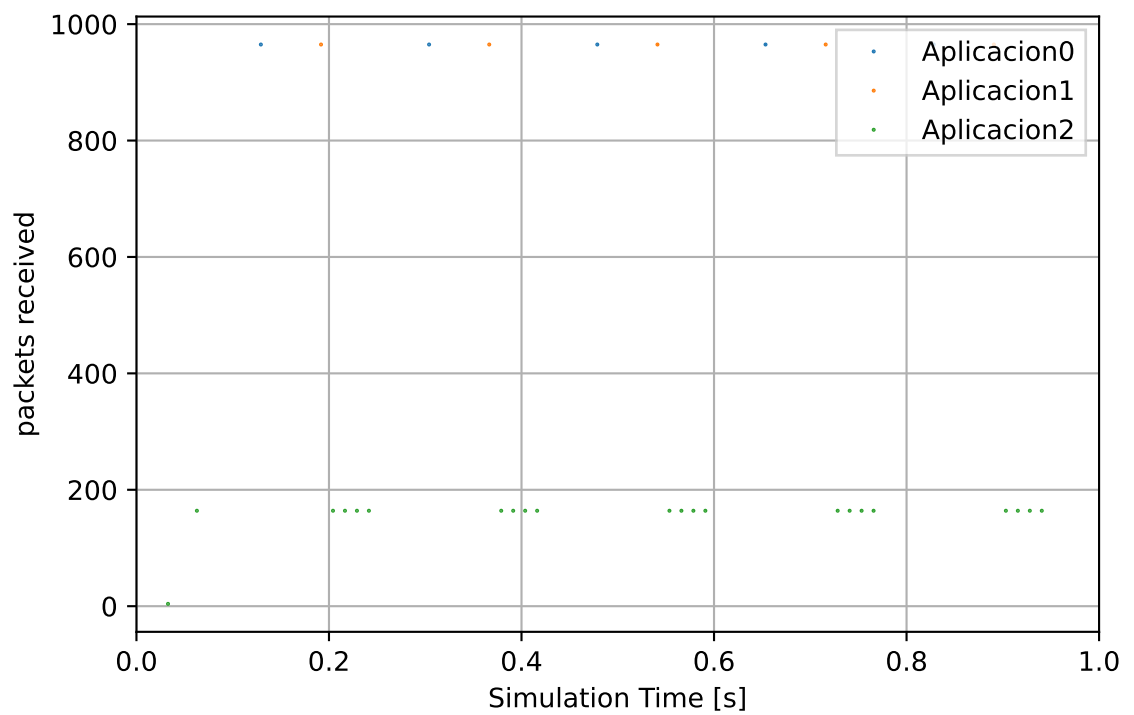


Figura 5.3: Paquetes recibidos en el servidor sin QoS intervalo 0-1

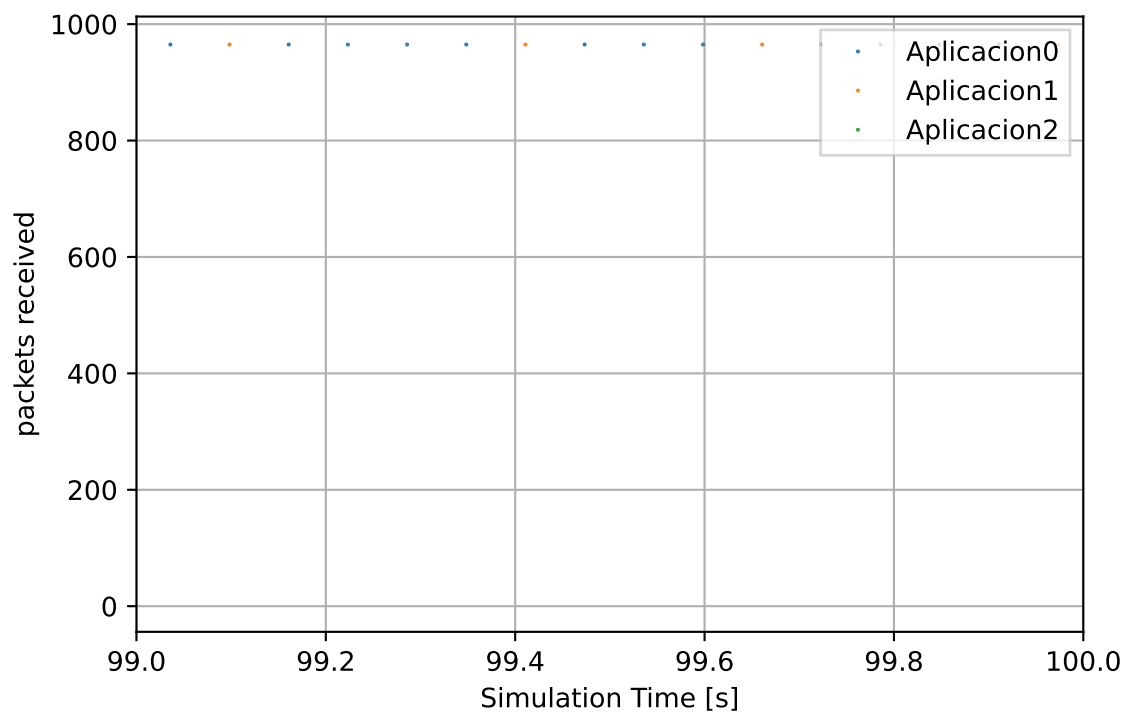


Figura 5.4: Paquetes recibidos en el servidor sin QoS intervalo 99-100

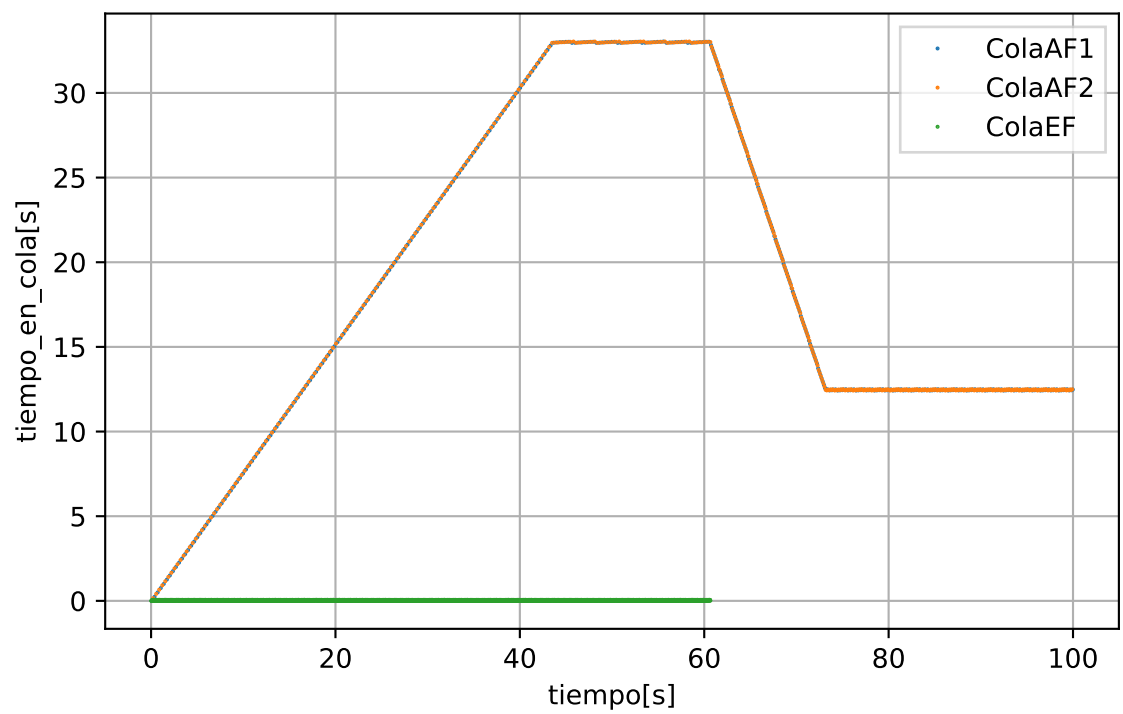


Figura 5.5: Tiempo encolado droptail

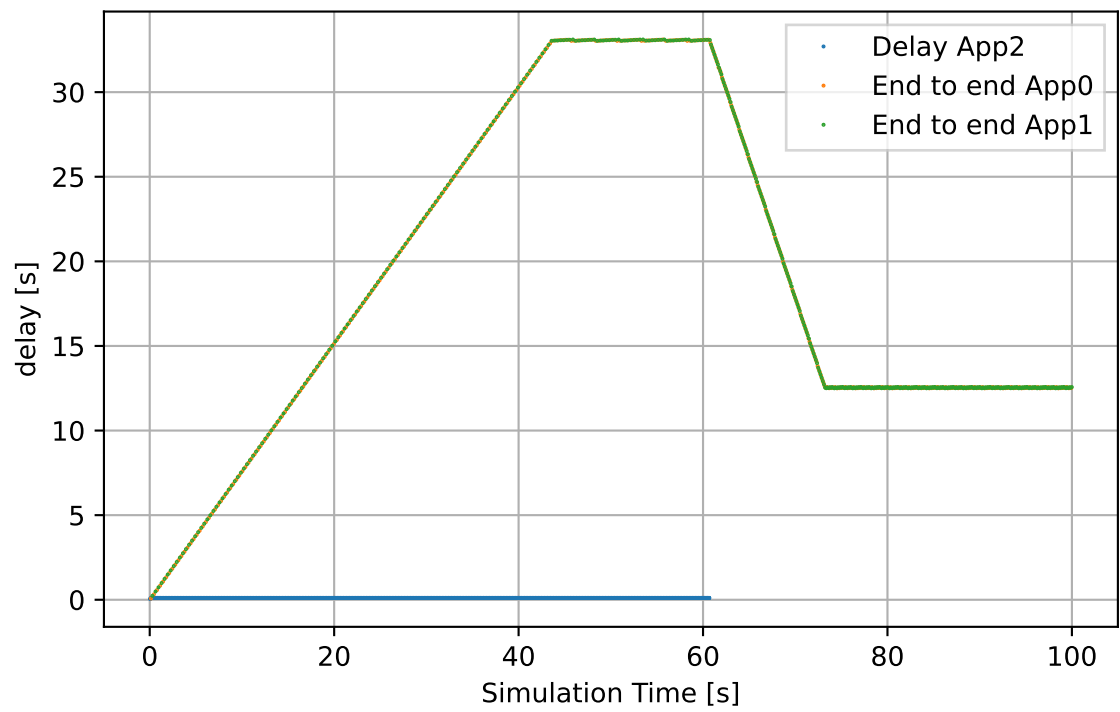


Figura 5.6: Delay extremo a extremo con droptail

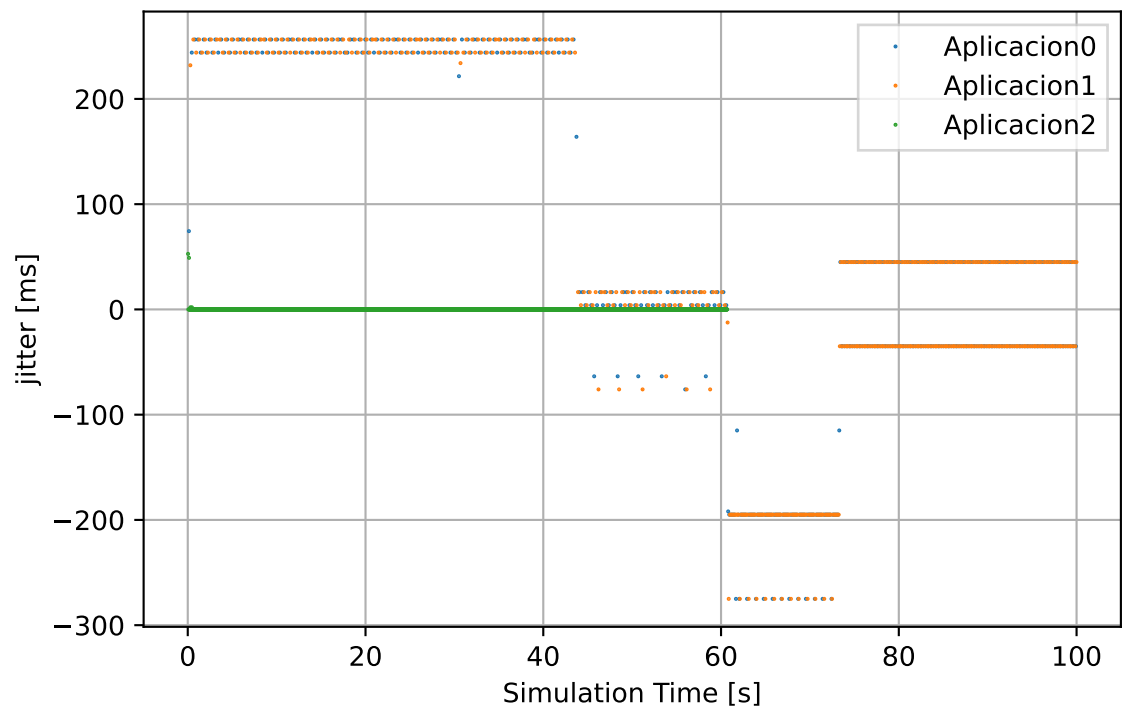


Figura 5.7: Jitter a partir retardo extremo a extremo droptail

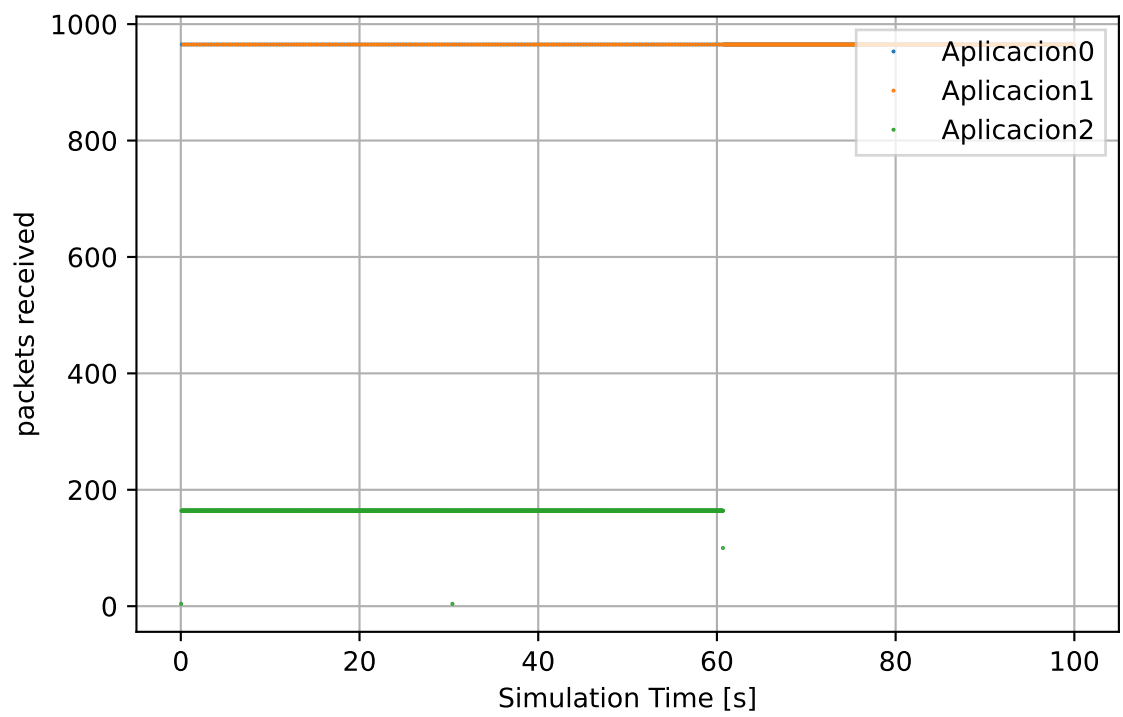


Figura 5.8: Paquetes recibidos en el servidor droptail

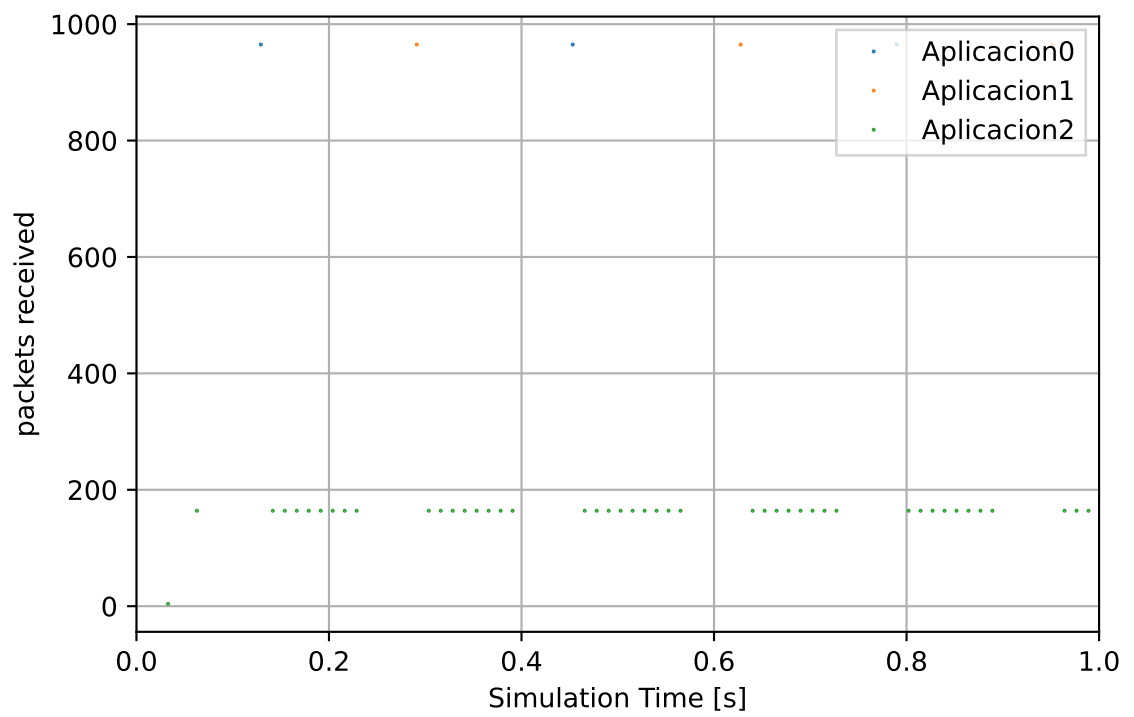


Figura 5.9: Paquetes recibidos en el servidor droptail intervalo 0-1

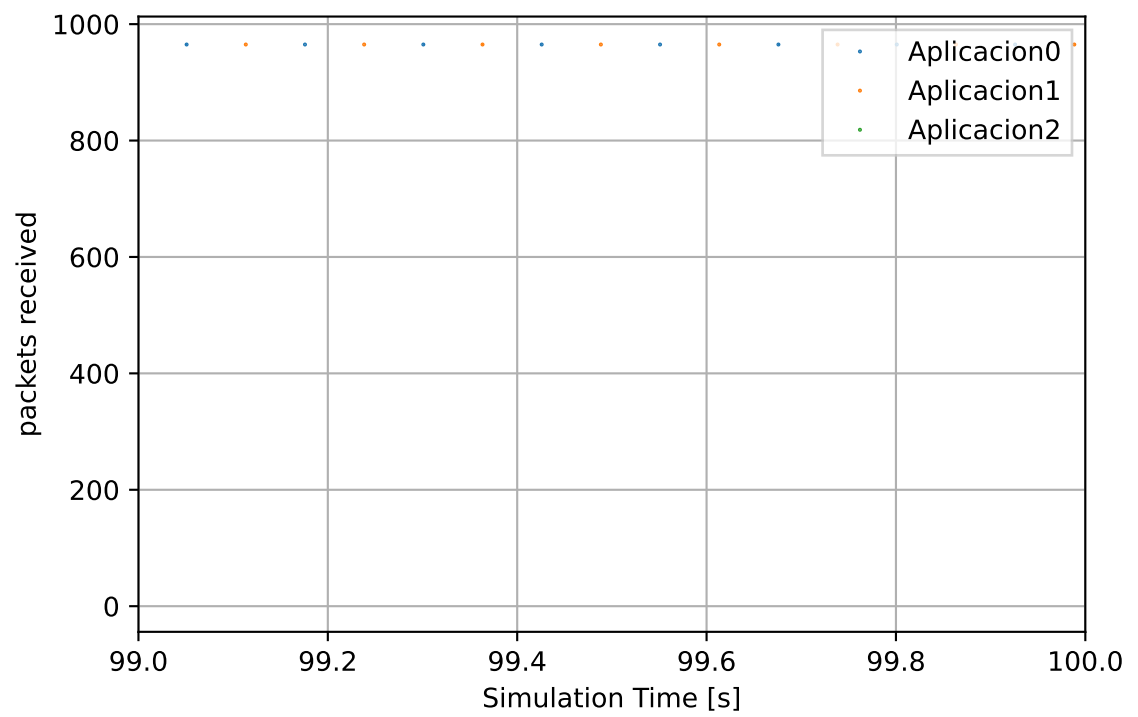


Figura 5.10: Paquetes recibidos en el servidor droptail intervalo 99-100

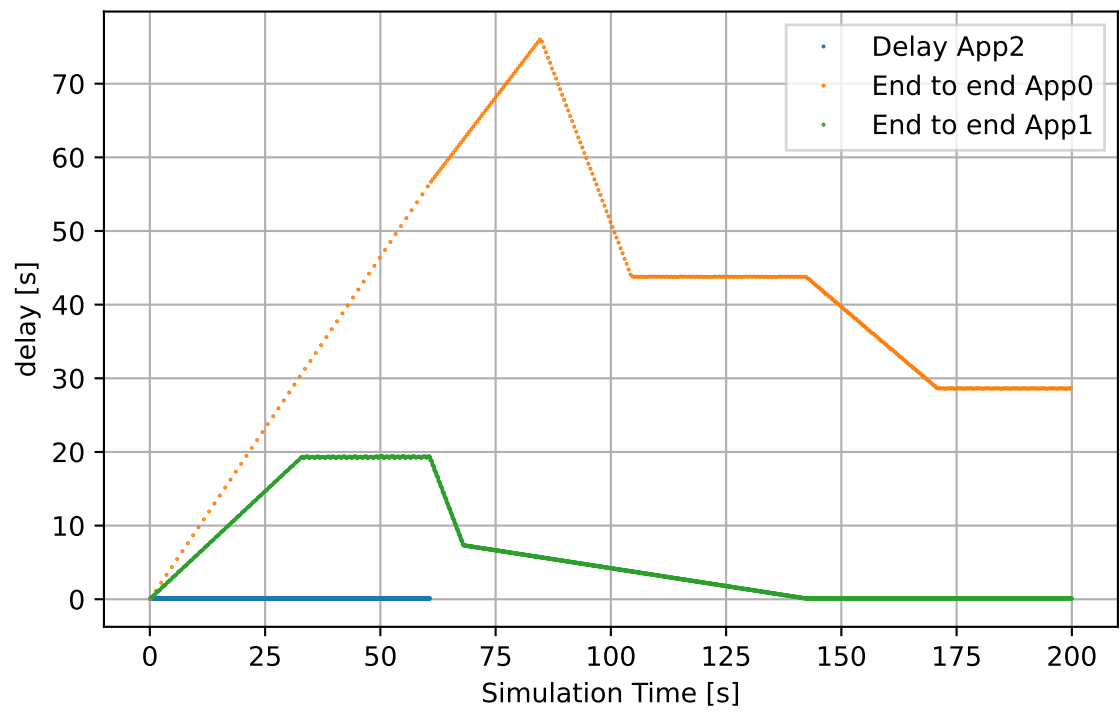


Figura 5.11: Retardo extremo a extremo WRR16

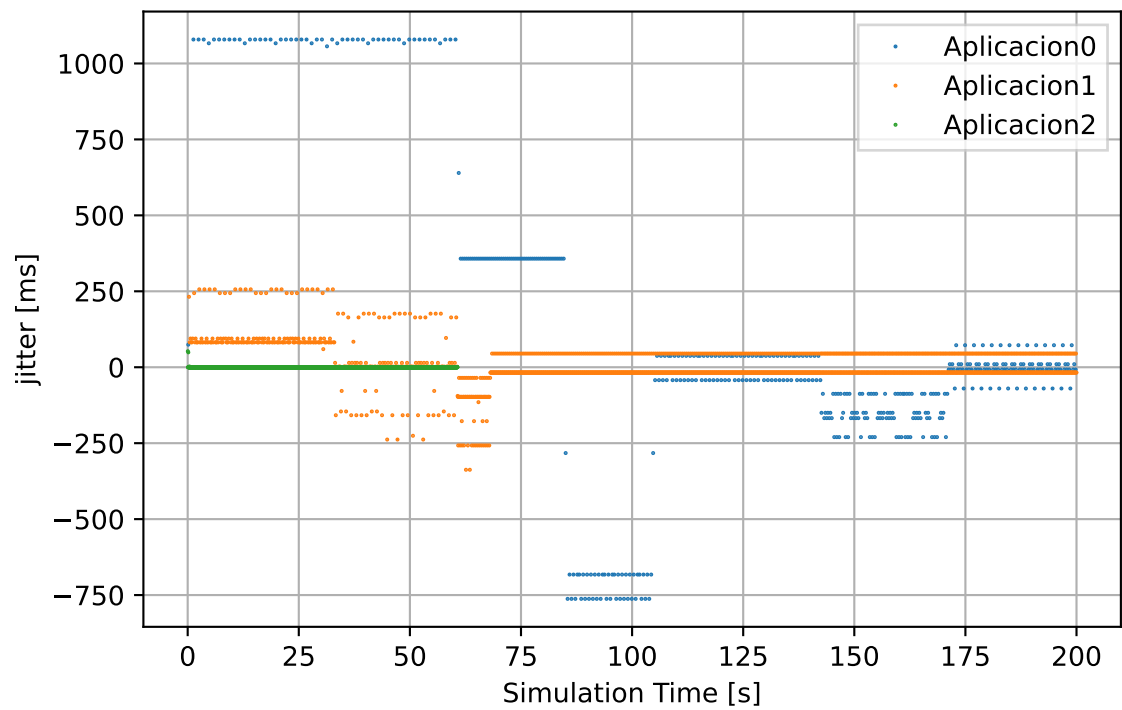


Figura 5.12: Jitter a partir retardo extremo a extremo WRR16

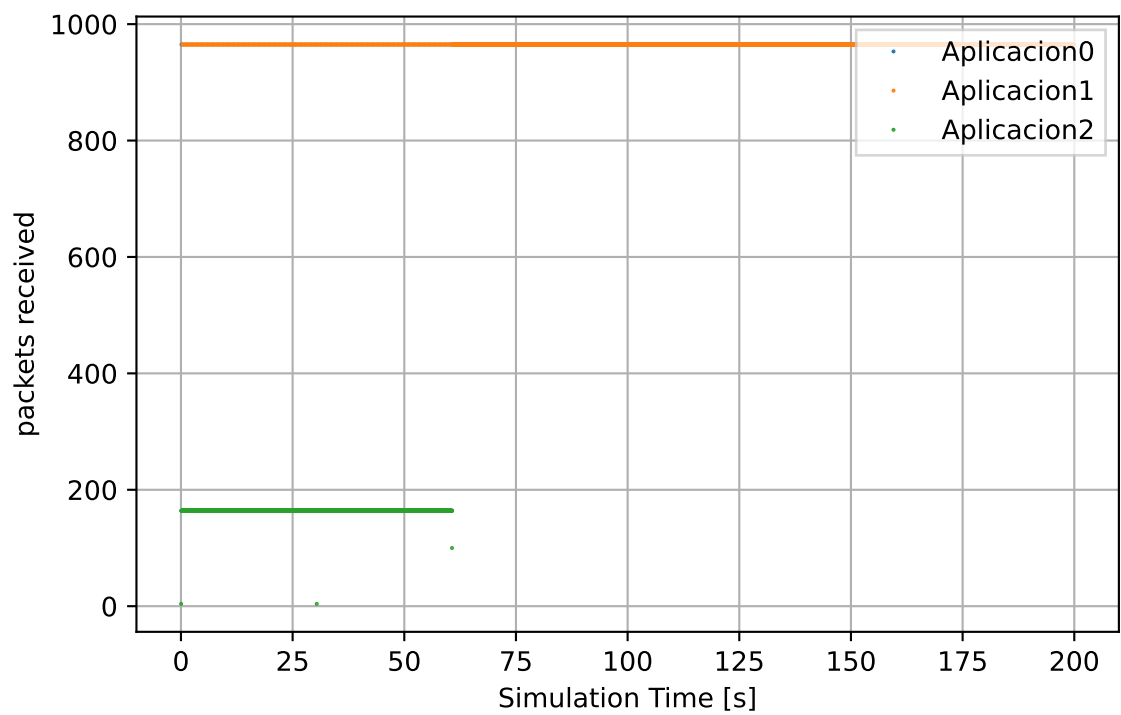


Figura 5.13: Paquetes recibidos en el servidor con WRR16

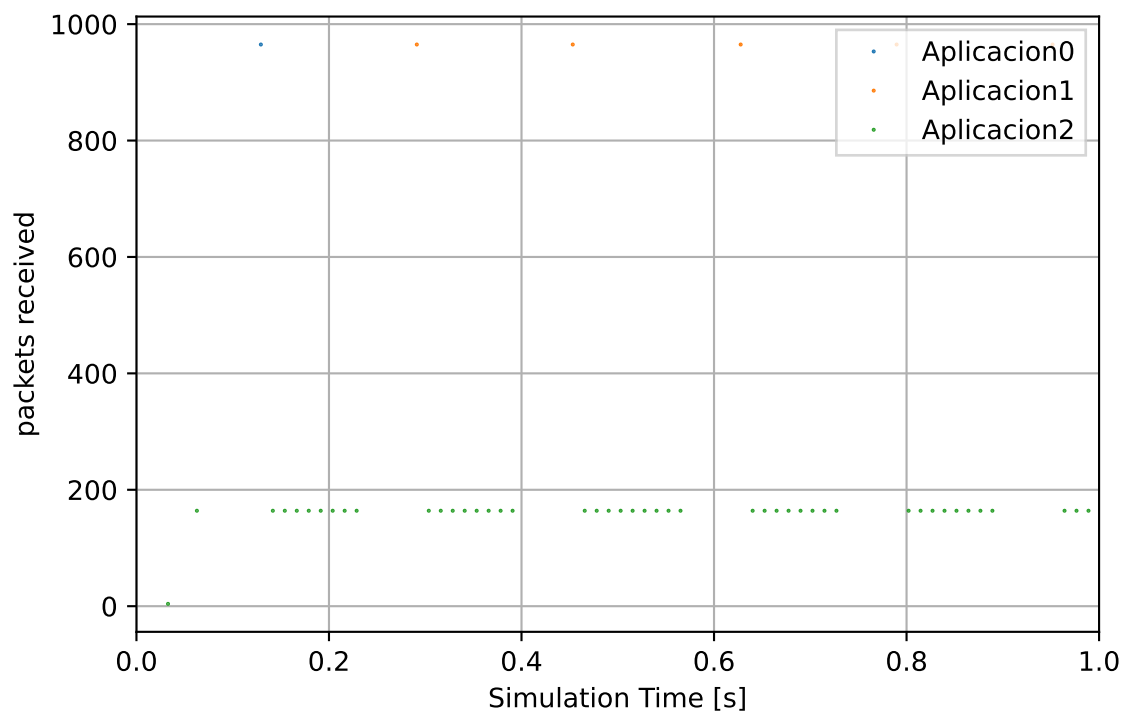


Figura 5.14: Paquetes recibidos en el servidor con WRR16 intervalo 0-1

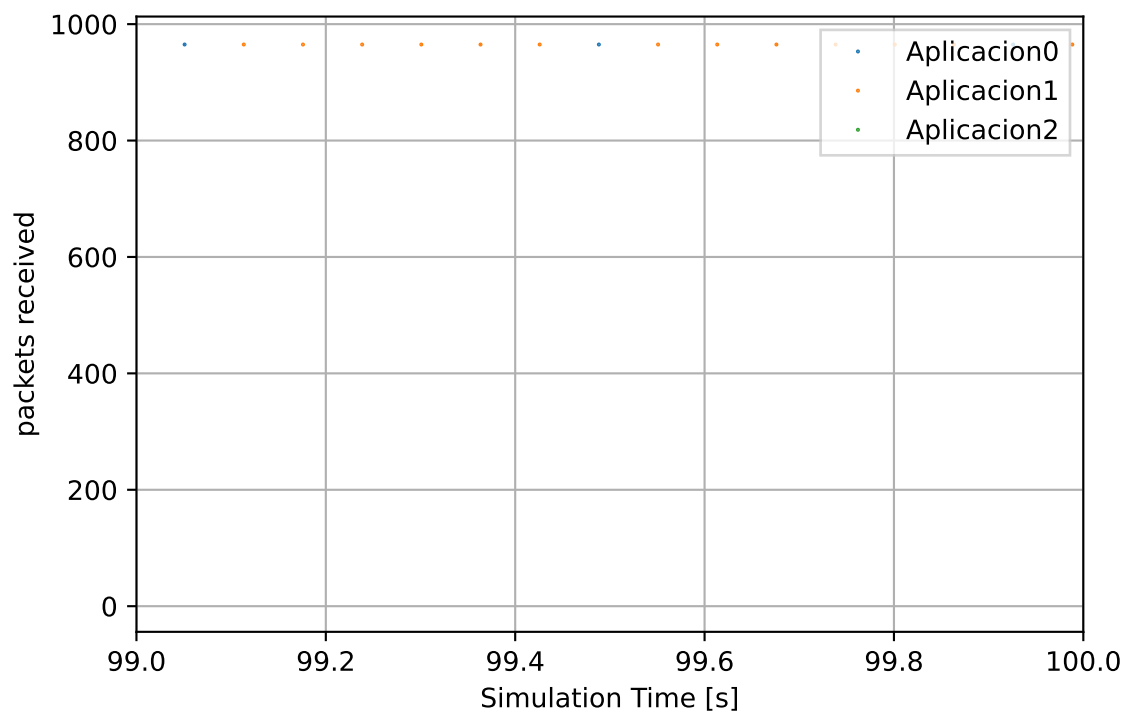


Figura 5.15: Paquetes recibidos en el servidor con WRR16 intervalo 99-100

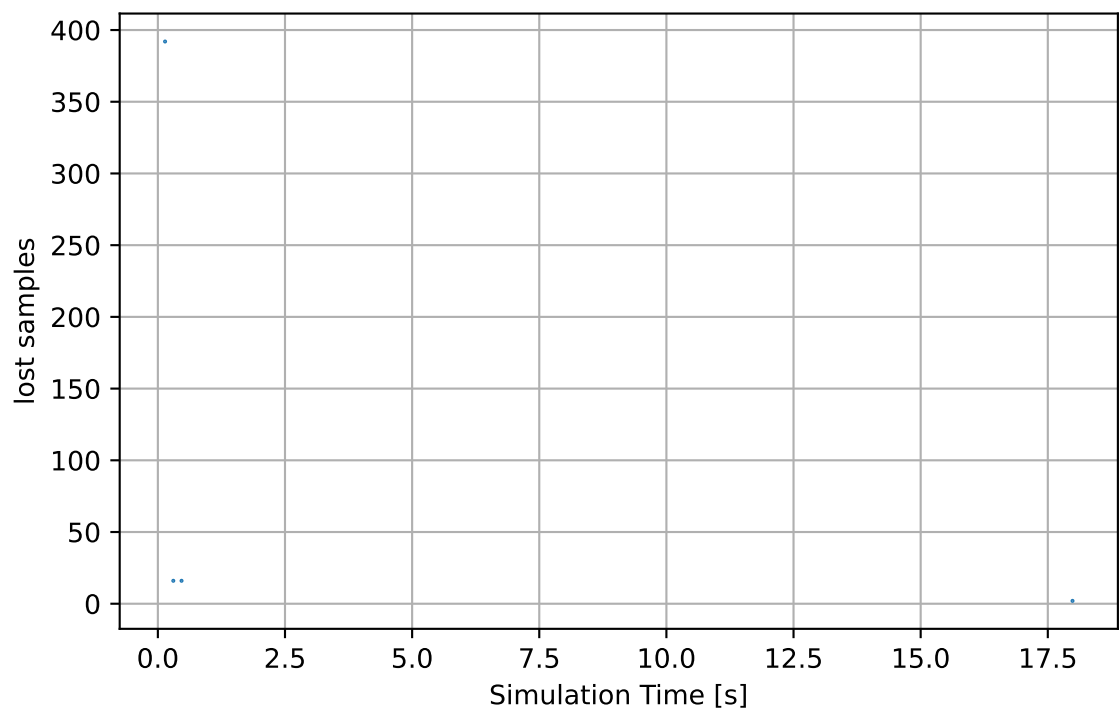


Figura 5.16: Muestras perdidas WRR16

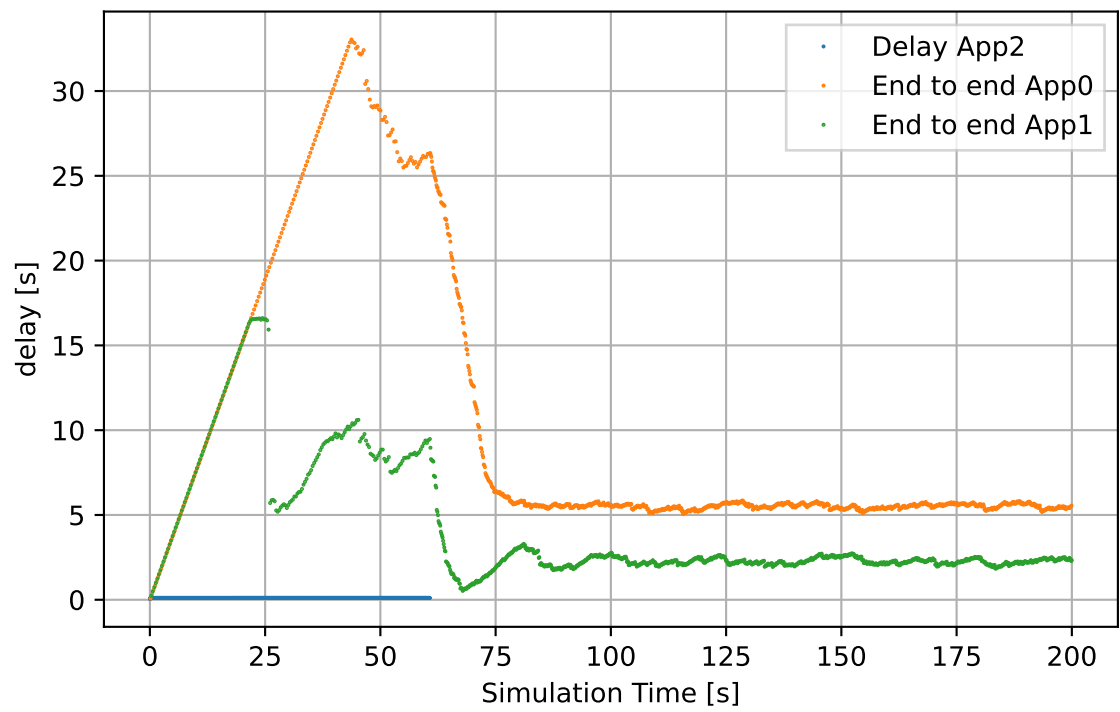


Figura 5.17: Retardo extremo a extremo RED

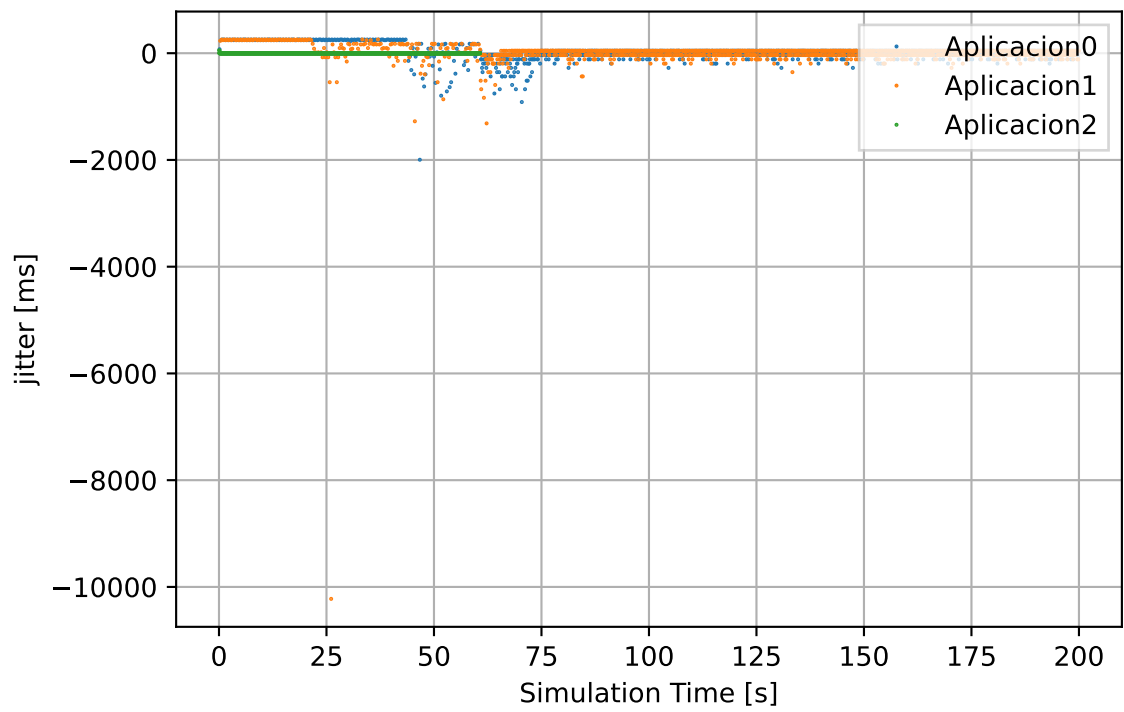


Figura 5.18: Jitter a partir retardo extremo a extremo RED

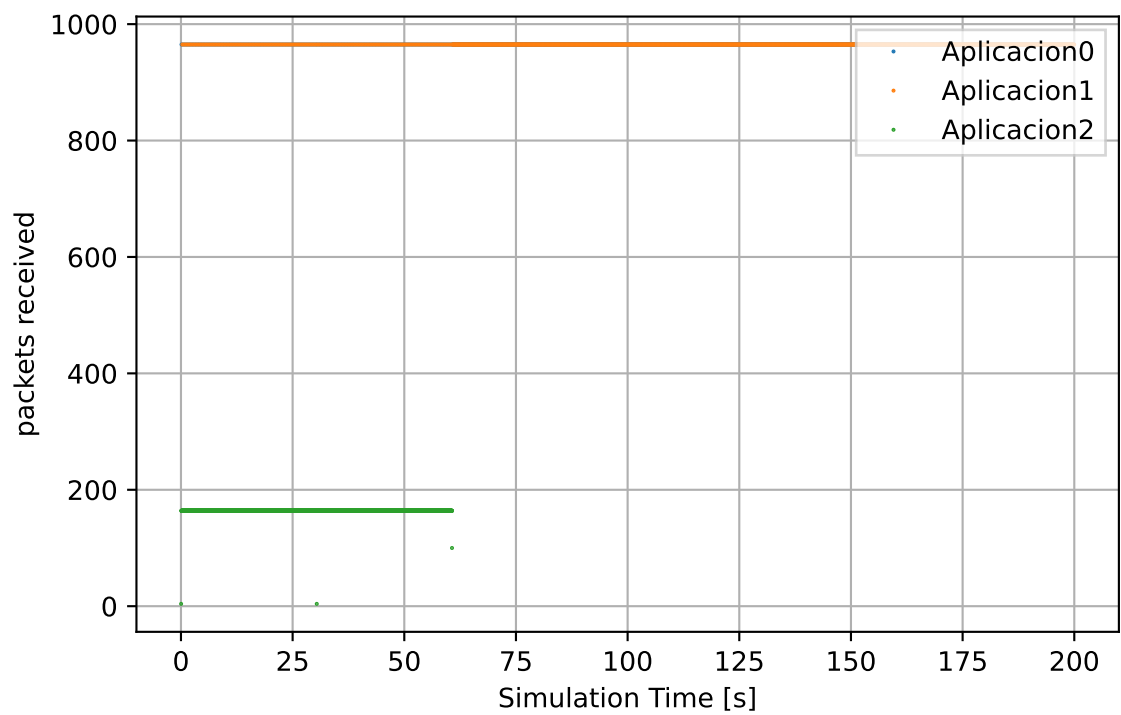


Figura 5.19: Paquetes recibidos en el servidor con RED

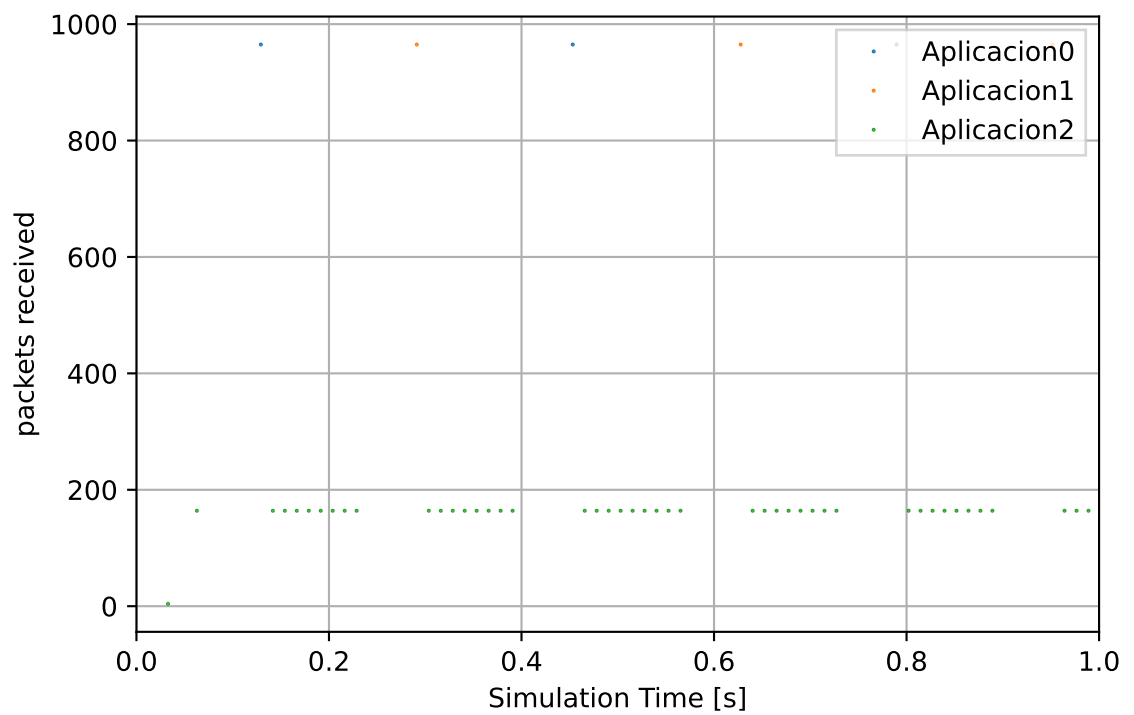


Figura 5.20: Paquetes recibidos en el servidor con RED intervalo 0-1

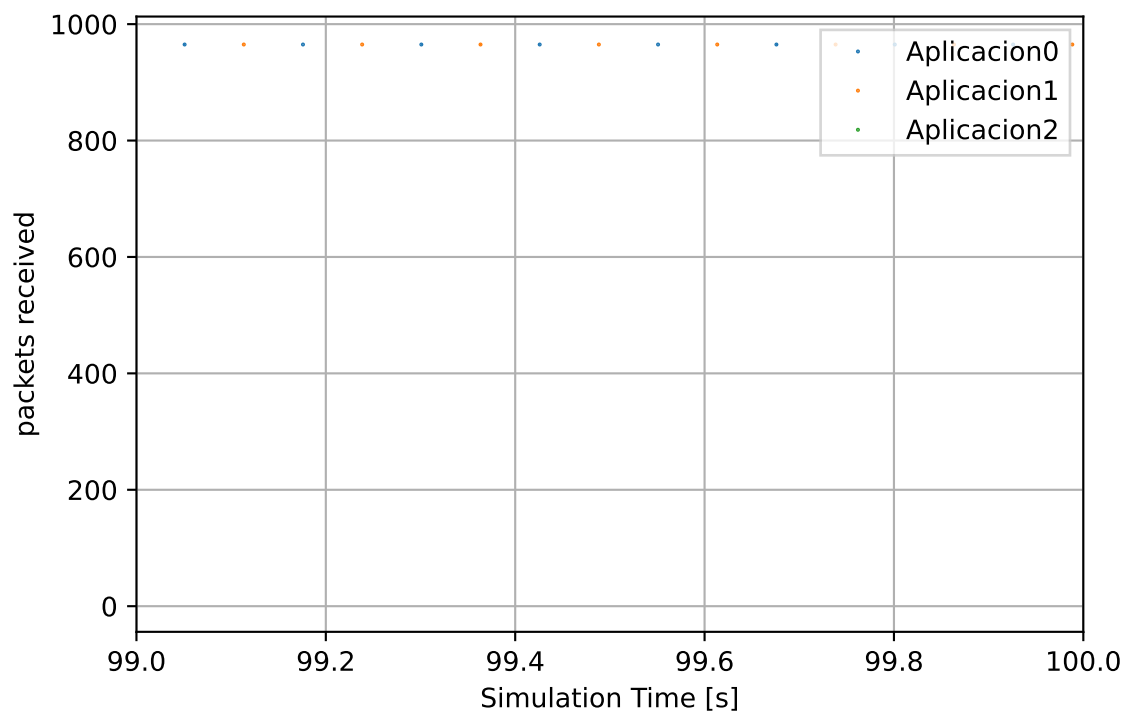


Figura 5.21: Paquetes recibidos en el servidor con RED intervalo 99-100

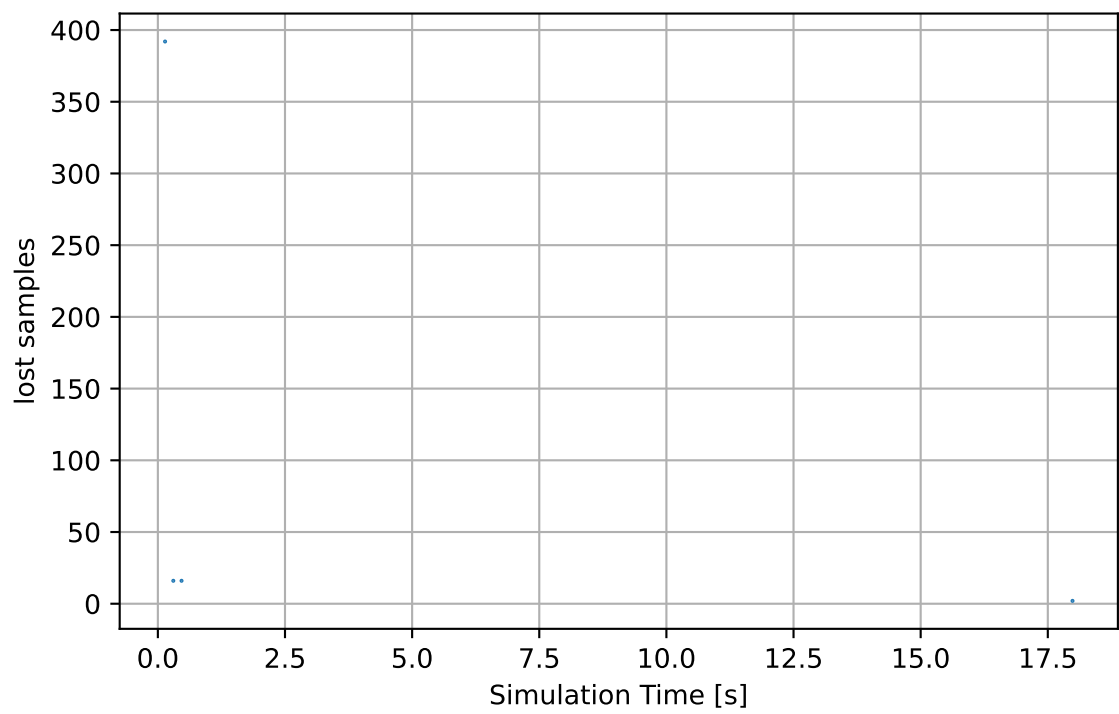


Figura 5.22: Muestras perdidas con RED