

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



## **Práctica 1: DiffServ en INET**

**Estudiante 1:** Óscar Olveiras

**Estudiante 2:** Alejandro Javier Herrero Arango

A Coruña, octubre de 2024.

# Índice general

---

<b>1</b>	<b>Router sin QoS</b>	<b>1</b>
1.1	Longitud de cola del router . . . . .	1
1.1.1	Ejercicio 1.1.1 . . . . .	1
1.1.2	Ejercicio 1.1.2 . . . . .	2
1.1.3	Ejercicio 1.1.3 . . . . .	2
1.1.4	Ejercicio 1.1.4 . . . . .	2
1.2	Tiempo en cola del router . . . . .	4
1.2.1	Ejercicio 1.2.1 . . . . .	4
1.2.2	Ejercicio 1.2.2 . . . . .	5
1.3	Retardo de extremo a extremo . . . . .	5
1.3.1	Ejercicio 1.3.1 . . . . .	5
1.4	Muestras VoIP y Paquetes VoIP perdidos . . . . .	5
1.4.1	Ejercicio 1.4.1 . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Router con QoS - Colas RED</b>	<b>9</b>
2.1	Longitud de cola del router . . . . .	9
2.1.1	Ejercicio 4.1.1 . . . . .	9
2.1.2	Ejercicio 4.1.2 . . . . .	9
2.1.3	Ejercicio 4.1.3 . . . . .	10
2.2	Tiempo en cola del router . . . . .	11
2.2.1	Ejercicio 4.2.1 . . . . .	11
2.2.2	Ejercicio 4.2.2 . . . . .	11

# Índice de figuras

---

1.1	Longitud de la cola del router sin QoS . . . . .	3
1.2	Tiempo paquetes en cola del router sin QoS . . . . .	4
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 cola del router con QoS usando colas RED . . . . .	10
2.2	Tiempo encolado cola del router con QoS usando colas RED . . . . .	12

# Router sin QoS

---

## 1.1 Longitud de cola del router

### 1.1.1 Ejercicio 1.1.1

- 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 Ejercicio 1.1.2

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 Ejercicio 1.1.3

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

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

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

### 1.1.4 Ejercicio 1.1.4

Aprovechando la ecuación para calcular la tasa de salida:

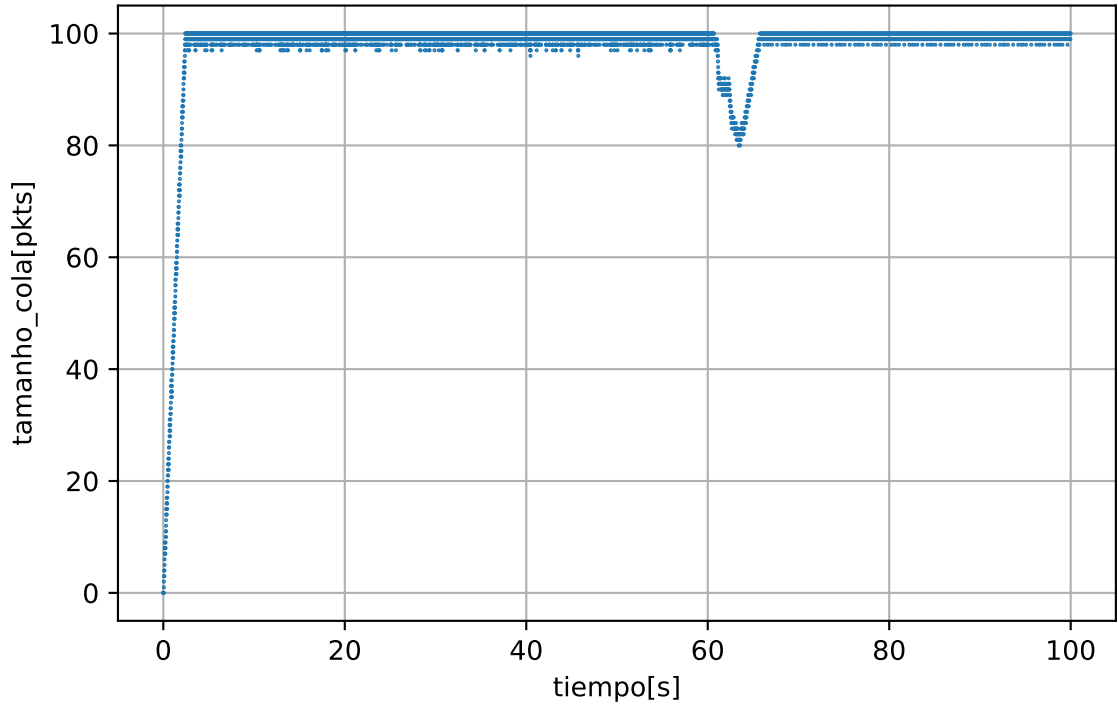


Figura 1.1: Longitud de la cola del router sin QoS

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

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 Ejercicio 1.2.1

- 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?

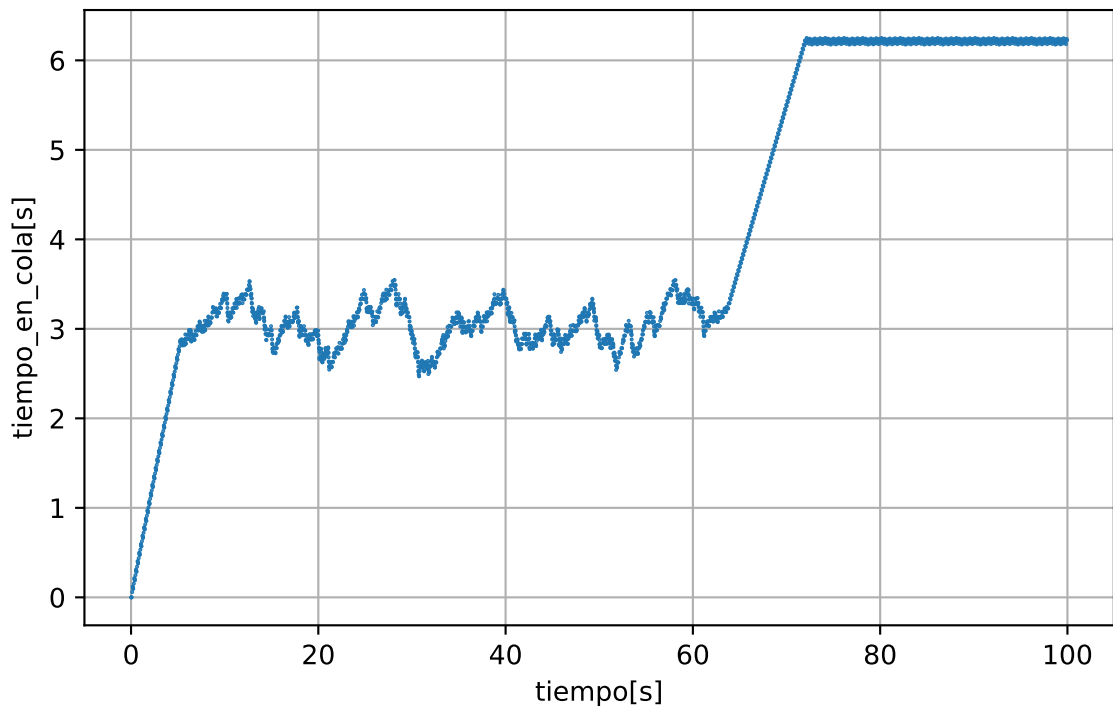


Figura 1.2: Tiempo paquetes en cola del router sin QoS

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:

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

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

### 1.2.2 Ejercicio 1.2.2

- a. 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:

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

- b. ¿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 Ejercicio 1.3.1

Hay una relación con el retardo extremo a extremo (tiempo que tarda en llegar los paquetes al destino), con respecto al tiempo de encolado de paquetes ya que, si los paquetes pasan mucho tiempo dentro de la cola, aumenta el tiempo de llegada de esos paquetes al destino, por lo que 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 Ejercicio 1.4.1

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



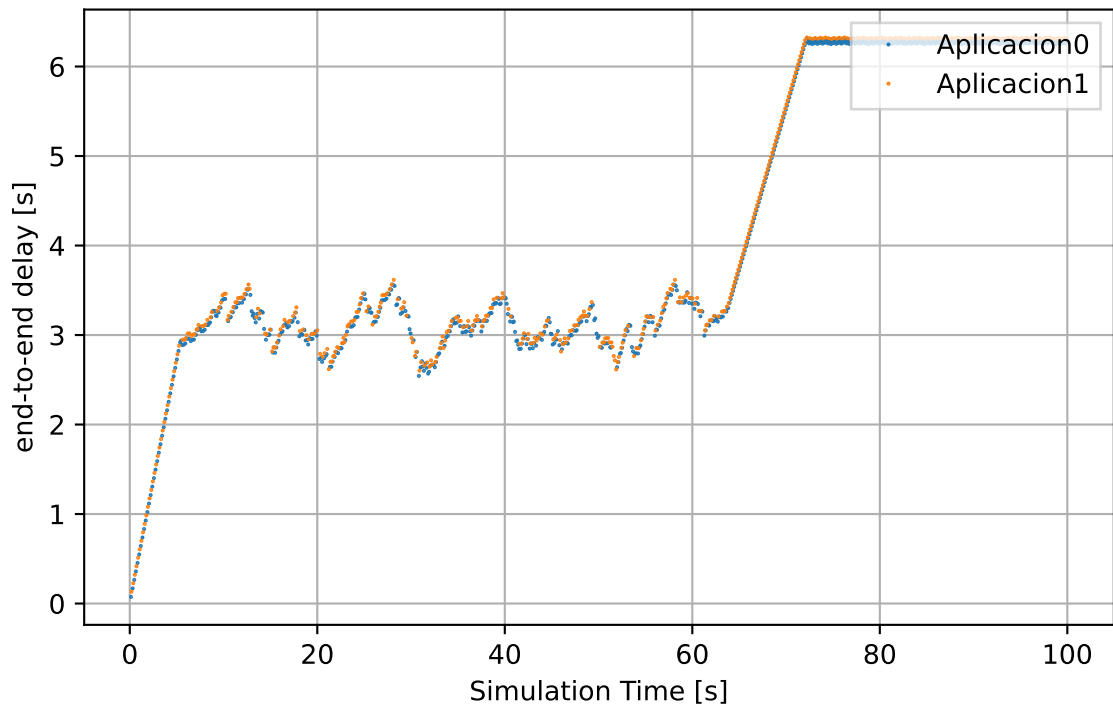


Figura 1.3: Retardo extremo a extremos del router sin QoS

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.

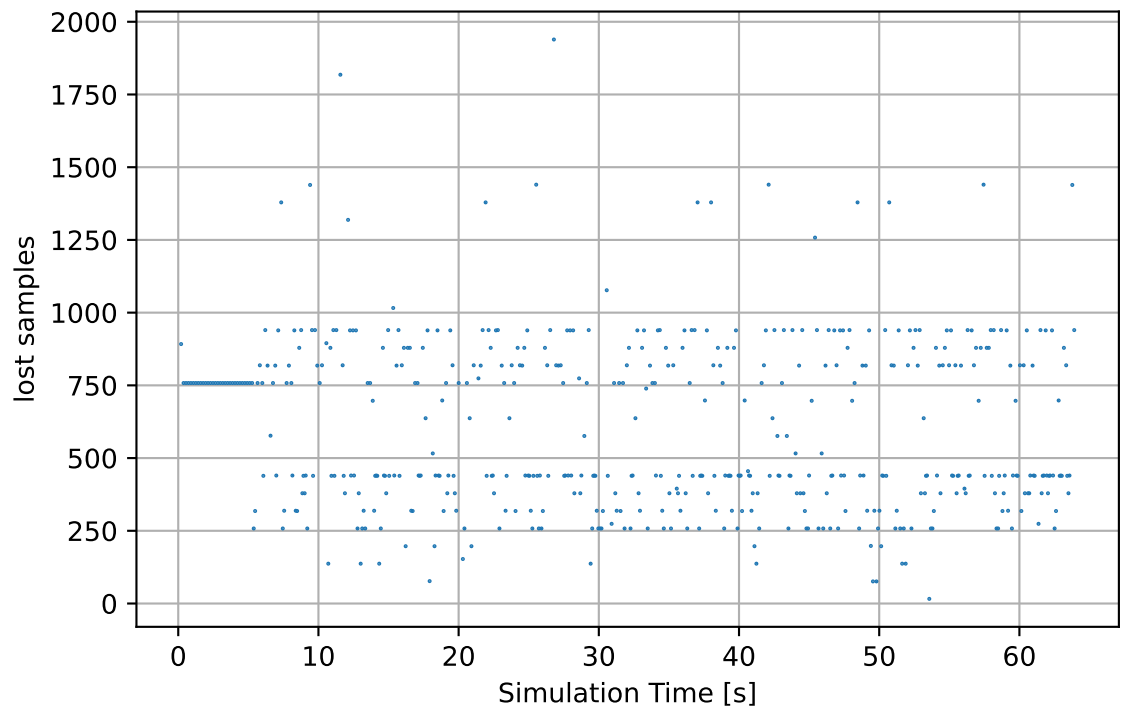


Figura 1.4: Muestras perdidas sin QoS

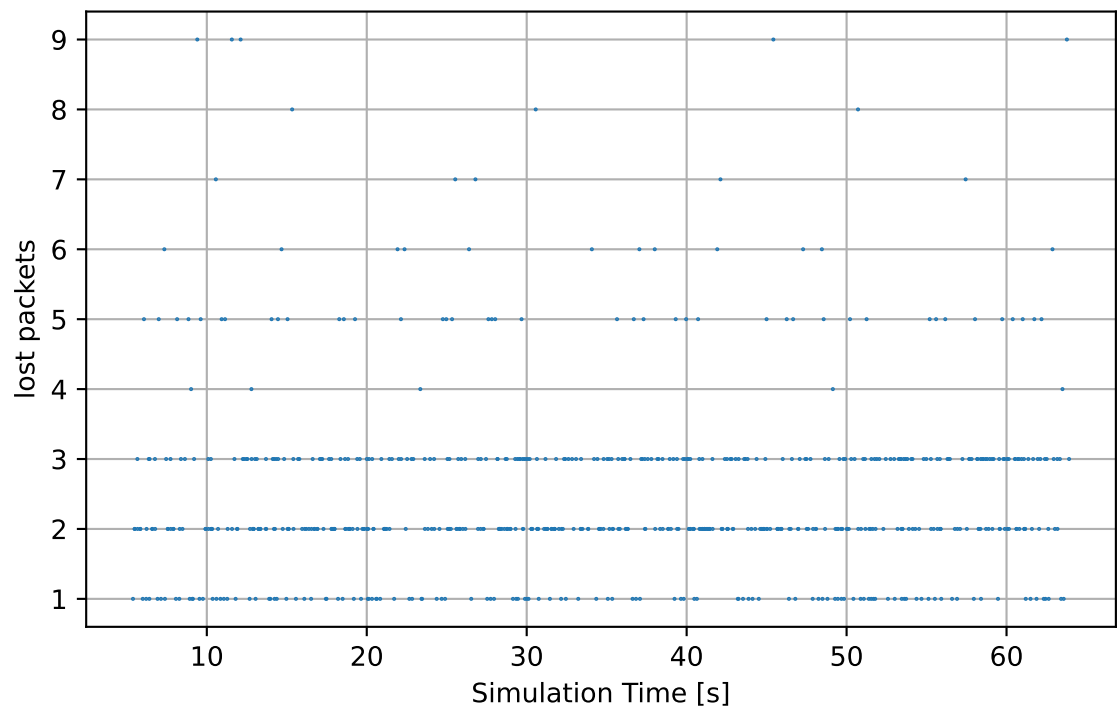


Figura 1.5: Retardo extremo a extremos del router sin QoS

## Router con QoS - Colas RED

---

### 2.1 Longitud de cola del router

#### 2.1.1 Ejercicio 4.1.1

Como se puede ver en la gráfica 2.1 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 tiene 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 calculo 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.

#### 2.1.2 Ejercicio 4.1.2

- a. Mientras dura la transmisión VoIP.

Como se explicó en el apartado 2.1.1, 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 ancho de banda para los paquetes UDP, lo que hace que las colas estean ya menos

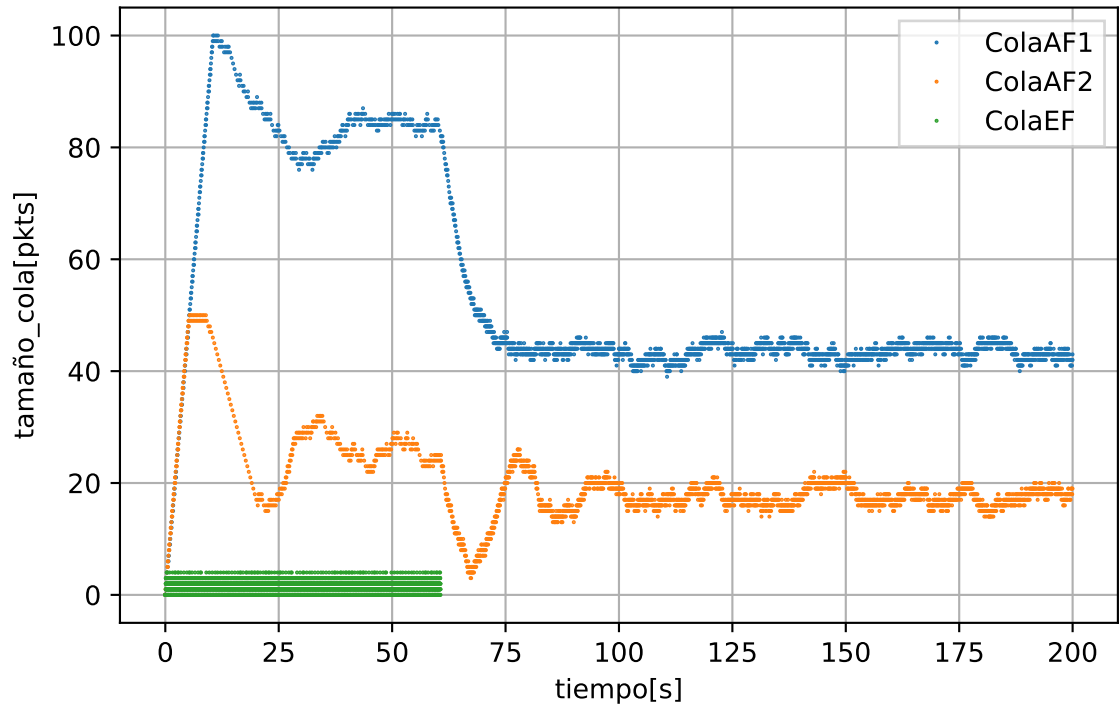


Figura 2.1: Longitud cola del router con QoS usando colas RED

congestionadas. Aún así se ven subidas y bajadas en el tamaño de la cola (gráfica 2.1) 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 2.1.3).

### 2.1.3 Ejercicio 4.1.3

Para calcular la tasa de entrada efectiva, vamos a calcular la 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):

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

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

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

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:

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

Cola (**AFX1**):

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

Cola (**AFX2**):

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

## 2.2 Tiempo en cola del router

### 2.2.1 Ejercicio 4.2.1

El salto se debe a los paquetes que se descartan en ese momento en la cola (ver gráfica 2.2). 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 mas rapidez hasta que la cola se vuelva a llenar.

### 2.2.2 Ejercicio 4.2.2

En la cola **AFX1**, la ventaja es que al tener el umbral máximo alto, el nº de paquetes que se pierden es poco y además tiene una probabilidad de descarte flexible. Como inconveniente es que el tiempo de encolado de paquetes es mayor que **AFX2**, por lo se tardan más en transmitir.

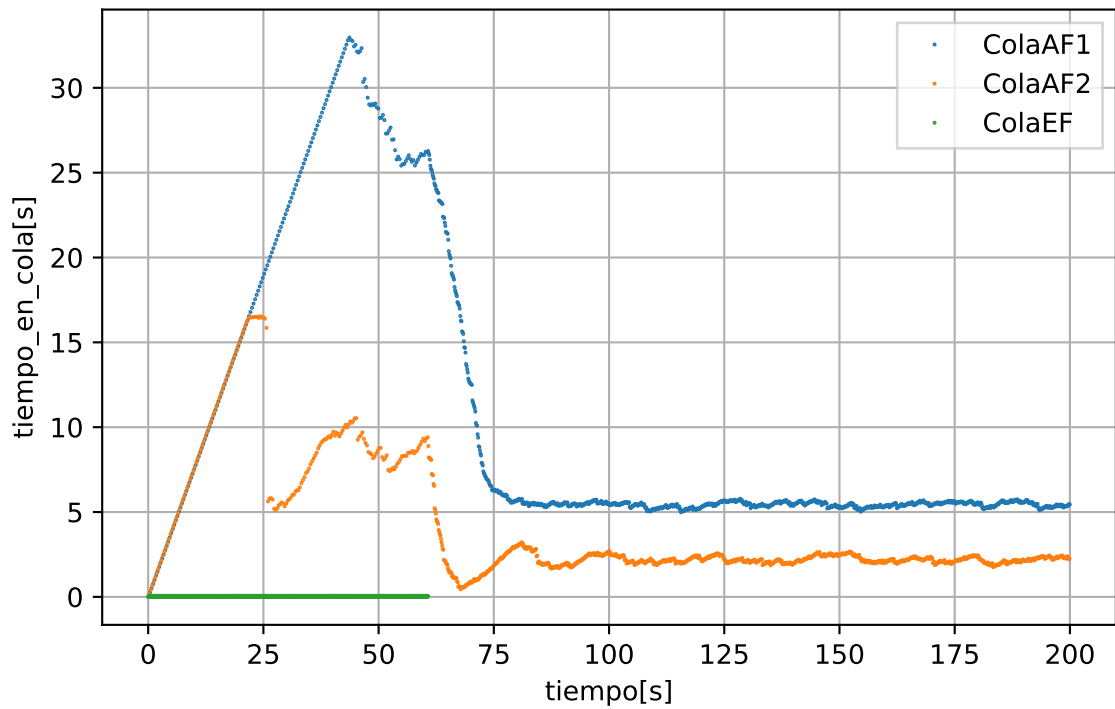


Figura 2.2: Tiempo encolado cola del router con QoS usando colas RED

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 n° de paquetes descartados son muy seguidos ya que tiene una alta probabilidad de descartar 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.