

# DiffServ en INET

## Práctica 1 – Diseño de Redes

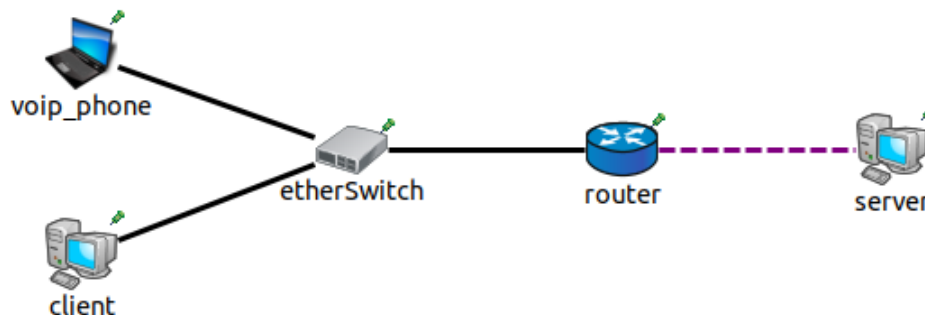
### Instrucciones

Elabora una **memoria**, incluyendo todas las figuras que se piden, así como cualquier figura adicional que consideres importante para explicar los resultados. Las explicaciones deben hacerse de acuerdo a la teoría de la asignatura.

- Cuida la **redacción** y la **ortografía**. Ambas serán tenidas en cuenta.
- El único formato aceptado es **PDF**.
- Utiliza la plantilla **LaTeX Overleaf** oficial del Trabajo Fin de Grado disponible en Taboleiro FIC.
- Dedica **un capítulo a cada una de las cuatro secciones** (*Router Sin QoS*, *Router con QoS WRR[1,1]*, *Router QoS WRR[1,6]* y *Router Qos RED*) y **añade un capítulo contestando a las cuestiones** incluidas al final.
- Respecto a las **figuras**:
  - **Referencia todas las figuras** en el texto.
  - El contenido de las figuras debe ser legible **sin necesidad de hacer zoom**.
  - Utiliza el **formato vectorial PDF** para almacenarlas.
  - Las gráficas deben consistir en **puntos de tamaño 1** sin que estén unidos por **líneas**.
  - Usa siempre el **mismo color y forma de símbolo** para cada serie de datos en todas las figuras.
  - Las **leyendas** deben tener un **texto adecuado breve**.
  - Los **ejes** deben tener **títulos** adecuados e incluir siempre sus **unidades**.
  - El **rango de los ejes** debe ajustarse para aprovechar al máximo el espacio de dibujo. P. ej., usar el rango [0,100] para el tiempo de simulación en las dos primeras secciones (explicadas más adelante) y [0,200] en las dos últimas, [0, 100] para el eje Y en la gráfica “Longitud de cola”, etc. Usar el mismo rango siempre que sea posible para poder comparar fácilmente de modo visual unas figuras con otras.
  - **No deben incluir el título** en la propia figura sino solo el pie de figura en la memoria LaTeX.

### Escenario

Crea un nuevo proyecto con los ficheros *DiffservNetwork.ned*, *omnetpp.ini*, *TrafficConditionerSimple.ned* y *filters.xml* disponibles en el campus virtual de la asignatura. La red consta de un cliente que transmite VoIP de



64kbps y de otros dos que transmiten tráfico de fondo UDP de 96.5kbps cada uno. Los clientes están conectados mediante un conmutador Ethernet a un enrutador que hace de enlace intermedio hacia el servidor. El enlace del enrutador con el servidor es de 128kbps, insuficiente para el tráfico total.

En concreto, la transmisión de VoIP se lleva a cabo en paquetes RTP sobre UDP e IP. Se emite un paquete RTP de 160B cada 20ms ( $160B * 8bit/B / 0.02s = 64kbps$ ). A cada paquete se le añaden las cabeceras RTP, UDP e IP de 4B, 8B y 20B respectivamente, resultando paquetes de 192B a nivel IP. La tasa efectiva es, por lo tanto,  $192B * 8bit/B / 0.02s = 76.8kbps$ . La transmisión de cada flujo UDP de fondo se lleva a cabo emitiendo un paquete UDP de 965B cada 80ms. A cada paquete se le añaden las cabeceras UDP e IP de 8B y 20B, respectivamente, resultando paquetes de 993B a nivel IP.

La simulación dura 100s en las dos primeras secciones que se incluyen a continuación y 200s en las dos últimas. La transmisión de VoIP solo se realiza durante los primeros 60s. En concreto, se reproduce y muestrea un fichero de audio de 30s y se repite dos veces.

### Router sin QoS

Ejecuta una simulación con la configuración *VoIP\_WithoutQoS*. En la interfaz de simulación de OMNeT++ inspecciona los módulos *router.ppp[0]* y *server*. Ejecuta 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.

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

### Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail

Ahora haremos que el enrutador 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 (Fig. 1), 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 (Fig. 2) consiste en una estructura LLQ (*Low-Latency Queueing*), 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 aplicar un medidor al 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.

Ejecuta una simulación con la configuración *VoIP\_QoS\_DropTail*, donde las colas AF1x y AF2x están configuradas con valores extremos para el algoritmo RED (*Minth* = 99, *Maxth* = 100, *Maxp* = 1.0) que hacen que se comporten como simples colas DropTail. En la interfaz de simulación de OMNeT++, inspecciona los módulos *router.ppp[0].egressTC*, *router.ppp[0].ppp.queue* y *server*. Ejecuta primero la simulación en los modos *Run* y *Fast* para observar el flujo de paquetes y finalmente en modo *Express* para obtener los resultados completos.

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

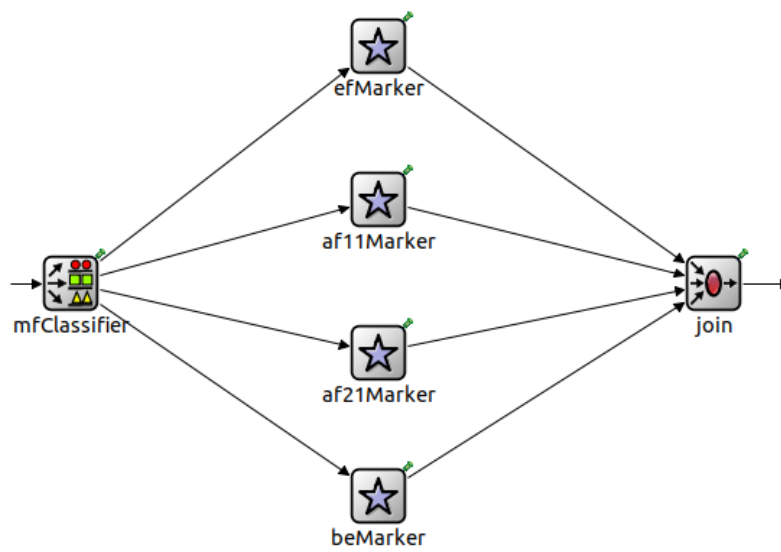


Fig. 1: Clasificador trivial de tráfico (*TrafficConditionerSimple.ned*).

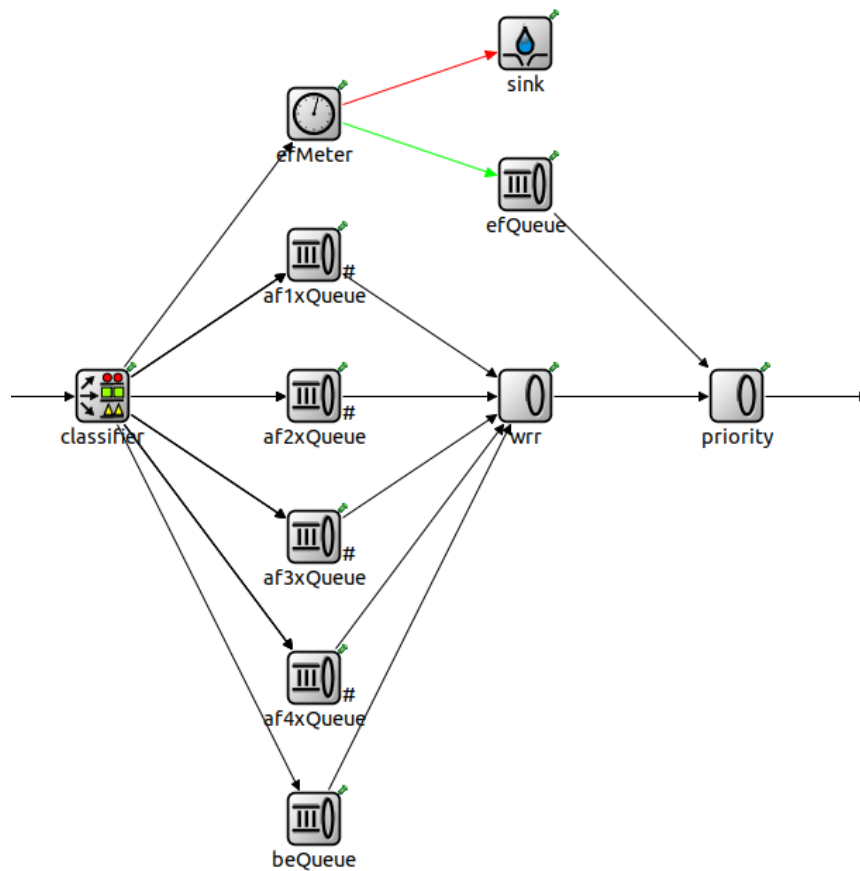


Fig. 2: *Low-Latency Queueing* para gestión de congestión en el router.

## Router con QoS DiffServ mediante LLQ con colas DropTail y WRR

Ejecuta una simulación con la configuración *VoIP\_QoS\_WRR* para que entre las colas AF1x y AF2x se realice un *Weighted Round Robin* (WRR) con pesos AF1x = 1 y AF2x = 6.

## Router con QoS DiffServ mediante LLQ cola LLQ y colas RED

Ejecuta una simulación con la configuración *VoIP\_QoS\_RED* para que las colas AF1x y AF2x realicen RED (*Random Early Detection*). Consulta la documentación de INET para obtener más información sobre estos parámetros.

## Gráficas

Para cada una de las secciones anteriores, crea las siguientes gráficas en el apartado **Charts** del fichero de análisis (*.anf*) correspondiente e inclúyelas en la memoria (usando un capítulo para cada sección):

- **Longitud de cola (del router):**
  - Router sin QoS: *queueLength* de *router.ppp[0].queue*.
  - Router con QoS: *queueLength* de *router.ppp[0].queue.efQueue / af1xQueue / af2xQueue* (una sola gráfica).
- **Tiempo en cola (del router):**
  - Router sin QoS: *queueingTime* de *router.ppp[0].ppp.queue*.
  - Router con QoS: *queueingTime* de *router.ppp[0].queue.efQueue / af1xQueue / af2xQueue* (una gráfica).
- **Retardo extremo a extremo:** *endToEndDelay* de *server.app[0]* y *server.app[1]* y *delay* de *server.app[2]* (una gráfica).
- **Jitter:** obtenida a partir de la retardo extremo a extremo aplicando las operaciones vectoriales *difference* y *multiply\_by(1000)* (para expresarlo en milisegundos).
- **Paquetes recibidos en el servidor:** *packetReceived* de *server.app[0]*, *server.app[1]* y *server.app[2]* (una gráfica). Incluye además una versión de la gráfica con zoom en el intervalo [0 – 1s] y otra en el intervalo [99 – 100s].
- **Muestras VoIP perdidas:** *lostSamples* de *server.app[2]*
- **Paquetes VoIP perdidos:** *lostPackets* de *server.app[2]* (solo aparece en caso de no estar vacío).

Para cada gráfica, trata de entender *cada una de sus zonas* y cómo está relacionada con otras gráficas (en caso de estarlo). Comienza por las gráficas “Longitud de cola” y “Tiempo en cola” en el *router*, puesto que, una vez entendidas bien estas dos gráficas, el resto se entienden mucho mejor.

## Cuestiones

### Router sin QoS

#### 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:

- Tasa de entrada [pkt/s] a la cola.
- Proporción de paquetes de cada tipo en la cola.
- Tasa de salida [pkt/s] de la cola, asumiendo que la cabecera del protocolo PPP tiene 7B.
- ¿Cuánto tarda en llenarse la cola?

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?

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].

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?

#### Tiempo en cola del router

1.2.1 Mientras dura la transmisión del flujo VoIP:

- Calcula el tiempo medio en cola de un paquete cuando la cola está llena.
- ¿A qué se deben las oscilaciones de la gráfica en torno a este valor medio?
- ¿Cuál sería la máxima longitud de cola si queremos que el tiempo de encolado de un paquete sea 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.
- ¿Por qué ahora la gráfica no presenta oscilaciones en torno al valor medio?

#### Retardo extremo a extremo

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

#### Muestras VoIP perdidas 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.

### Router con QoS – WRR [1,1]

#### Longitud de cola del router

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

2.1.2 Mientras dura la transmisión del flujo VoIP:

- ¿Cuál es la tasa de salida (en pkt/s y bit/s) de cada cola AF1x y AF2x?
- ¿Cuántos paquetes por segundo se descartan a la entrada de cada cola?
- Calcula analíticamente cuánto tardan en llenarse las colas AF1x y AF2x.

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].

#### 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.

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.

Retardo extremo a extremo

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

Muestras VoIP perdidas y Paquetes VoIP perdidos

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

*Router* con QoS – WRR [1,6]

Longitud de cola del *router*

3.1.1 Mientras dura la transmisión del flujo VoIP:

- ¿Cuál es la tasa de salida (en pkt/s y bit/s) de cada cola AF1x y AF2x?
- ¿Cuántos paquetes por segundo se descartan a la entrada de cada cola?
- Calcula analíticamente cuánto tarda en llenarse cada cola AF1x y AF2x.

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].

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.

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?

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

*Router* con QoS – Colas RED

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.

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

- Mientras dura la transmisión VoIP.
- Cuando ya no hay transmisión VoIP.

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

Tiempo en cola del *router*

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

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

## Evaluación

- Cada apartado de las preguntas anteriores tiene la misma puntuación.
- Las respuestas se calificarán como 0 / 0.5 / 1 punto.
- El total de puntos obtenidos se normalizará sobre 10 puntos.
- La incorrecta legibilidad de las gráficas se penalizará con hasta -1.5 puntos sobre los 10 puntos del total de la práctica.
- Las faltas de ortografía, gramática y sintaxis se penalizarán con hasta -1.5 puntos sobre los 10 puntos del total de la práctica.