

**Cuestión 7.** Calcula teóricamente el valor máximo que se obtendría para la cuestión 6. Teniendo en cuenta que la medida la realizamos sobre tecnología Ethernet 10Mbps y en modo half-dúplex (conexión a través de HUB donde datos y ACKs en TCP comparten el mismo medio).

Nota: Para los cálculos teóricos hay que tener en cuenta que Ethernet incluye un tiempo de espera vacío entre tramas transmitidas por el mismo equipo denominado Interframe Gap – IFG (equivalente al tiempo que cuesta transmitir 96 bits (12 bytes) en el medio, dependiente de la velocidad de la interfaz - 9.6  $\mu s$  en 10 Mbit/s Ethernet, 960 ns en 100 Mbit/s (fast) Ethernet, etc.)

Al igual que en la cuestión 6 se va a calcular el throughput, el ancho de banda total, ancho de total útil a nivel IP y a nivel de aplicación.

Se considera una tasa de bits de 10 Mbps por lo que el tiempo de transmisión es:

$$T_t(L) = \frac{L}{10Mbps} \times \frac{8b}{1B}$$

Hay que tener en cuenta el Interframe Gap – IFG por lo que se calcula como:

$$T_{gap} = T_t(12) = 9,6 \mu s$$

Se busca el tiempo de mensaje,  $T_m$ , que al dividirlo por una longitud determinada se obtienen los valores a calcular.

### Tráfico TCP

En el caso TCP, los paquetes tendrán el tamaño máximo, es decir, el mismo que el MTU, unos 1500 B.

Para el caso del TCP, la longitud de la trama se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Cabecera TCP} = 20B + 12B \text{ de opciones} = 32B$$

$$\text{Cabecera IP} = 20B$$

$$\text{Cabecera Ethernet} = 14B$$

$$CRC = 4B$$

$$\text{Preámbulo SFD} = 8B$$

$$L_{Trama} = 1500B + CRC(4) + \text{Cabecera Ethernet}(14) + \text{Preámbulo SFD}(8) = 1526B$$

$$L_{Datos\ IP} = 1500 - 20 = 1480B$$

$$L_{Datos\ TCP} = 1480 - 32 = 1448B$$

Como es TCP, hay que tener en cuenta los ACKs. Esto significa que por cada trama de datos que se envía, debe volver una trama de confirmación (el ACK) por el mismo medio, lo cual consume tiempo adicional. Para el cálculo máximo teórico, el ciclo completo de comunicación es el tiempo que se tarda en transmitir la trama de datos más el tiempo que se tarda en transmitir el ACK, ya que en modo half-dúplex solo puede haber una transmisión a la vez. La longitud de la trama ACK se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Cabecera TCP} = 20B + 12B \text{ de opciones} = 32B$$

$$\text{Cabecera IP} = 20B$$

$$\text{Cabecera Ethernet} = 14B$$

$$CRC = 4B$$

$$\text{Preámbulo SFD} = 8B$$

$$L_{ACK} = 32 + 20 + 14 + 4 + 8 = 78B$$

Para obtener el tiempo de mensaje se calcula de la siguiente forma:

$$T_m = T_t(L_{Trama}) + T_{gap} + T_t(L_{ACK}) + T_{gap} = \frac{1526+12+78+12}{10Mbps} x \frac{8b}{1B} = 0,0013024 s$$

Teniendo el tiempo de mensaje, se puede calcular los demás:

$$\text{Throughput} = \frac{2 \text{ paquetes}}{T_m} = \frac{2}{0,0013024} = 1535,63 pps$$

$$BW_{Total} = \frac{8xL_{Trama}}{T_m} = \frac{8x1526}{0,0013024} = 9372464 bps = 9,37 Mbps$$

$$BW_{Útil\ IP} = \frac{8xL_{Útil\ IP}}{T_m} = \frac{8x1480}{0,0013024} = 9090909 bps = 9,09 Mbps$$

$$BW_{Útil\ TCP} = \frac{8xL_{Útil\ TCP}}{T_m} = \frac{8x1448}{0,0013024} = 8894348 bps = 8,89 Mbps$$

## Tráfico UDP

En el caso de UDP los cálculos se hacen igual que en el apartado anterior, pero teniendo en cuenta que no hay ACKS, por lo que el tiempo medio es:

$$T_m = T_t(L_{TRAMA}) + T_{gap}$$

Para el cálculo de la longitud de la trama completa se ha tenido en cuenta:

$$\text{Cabecera UDP} = 8B$$

$$\text{Cabecera IP} = 20B$$

*Cabecera Ethernet = 14 B*

*CRC = 4 B*

*Preámbulo SFD = 8 B*

Se ha empleado una tabla Excel para poder calcular los diferentes valores, cuyos resultados son los siguientes:

L <sub>Trama</sub> (B)	L <sub>IP</sub> (B)	L <sub>UDP</sub> (B)	T <sub>m</sub> (s)	Throughput (pps)	BW <sub>Total</sub> (Mbps)	BW <sub>Útil IP</sub> (Mbps)	BW <sub>Útil UDP</sub> (Mbps)
154	108	100	0,00013	7530,12	9,277	6,506	6,024
254	208	200	0,00021	4699,25	9,549	7,820	7,519
354	308	300	0,00029	3415,30	9,672	8,415	8,197
654	608	600	0,00053	1876,88	9,820	9,129	9,009
654	608	600	0,00053	1876,88	9,820	9,129	9,009
1254	1208	1200	0,00101	987,36	9,905	9,542	9,479
1526	1480	1472	0,00123	812,74	9,922	9,623	9,571

**Cuestión 8.** En base a la captura en los interfaces LANA y LANC, del tráfico generado por iperf, calcula el ancho de banda total, el útil a nivel IP y el útil a nivel de aplicación. Analiza si hay pérdidas de tramas y retardo en la transmisión. Para el tamaño de 100 vamos a disminuir el valor de burst hasta que no quepa ni una trama y la captura nos dé cero tramas retransmitidas por el TC de esta forma comprobamos los byte con los que trabaja TC. Si se considera necesario para una mejor comprensión, se pueden modificar los parámetros de tc e iperf y repetir las capturas y el cálculo de anchos de Banda.

En este apartado se pide calcular el ancho de banda total, el útil a nivel IP y el útil a nivel de aplicación de los payloads de 100, 200 y 300 B en base a las capturas de la LAN A y la LAN C. Las capturas fueron pedidas al grupo DAR3g3, dado que las que se disponían estaban incompletas.

En el caso de 100 B la longitud de la trama es de 154 B debido a que se le suma lo siguiente:

*Cabecera UDP = 8 B*

*Cabecera IP = 20 B*

*Cabecera Ethernet = 14 B*

*CRC = 4 B*

*Preámbulo SFD = 8 B*

Para limitar el ancho de banda en la interfaz de LAN C configuramos un token bucket filter mediante tc.

Para el primer escenario (100 bytes de payload) se aplicó:

```
tc qdisc add dev eth1 root tbf rate 100kbit limit 100kb burst 0.15kb
```

De forma que el bucket solo tenga capacidad para una trama completa. En PCC1 iniciamos el servidor con:

```
iperf -s -u
```

Desde PCA1 generamos el tráfico mediante:

```
iperf -c 192.168.7.1 -t 10 -u -b 200000 -l 100
```

Tras la captura eliminamos la configuración:

```
tc qdisc del dev eth1 root tbf rate 100kbit limit 100kb burst 0.15kb
```

Para continuar con el tamaño de 200 bytes aplicamos una nueva configuración:

```
tc qdisc add dev eth1 root tbf rate 100kbit limit 100kb burst 0.25kb
```

Ejecutamos de nuevo iperf desde PCA1 con:

```
iperf -c 192.168.7.1 -t 10 -u -b 200000 -l 200
```

Una vez finalizada la prueba, retiramos la configuración mediante:

```
tc qdisc del dev eth1 root tbf rate 100kbit limit 100kb burst 0.25kb
```

Finalmente, para el tamaño de 300 bytes configuramos:

```
tc qdisc add dev eth1 root tbf rate 100mbit limit 100kb burst 0.35kb
```

En PCA1 generamos el tráfico con:

```
iperf -c 192.168.7.1 -t 10 -u -b 200000 -l 300
```

Tras capturar el comportamiento del enlace, eliminamos la configuración con:

```
tc qdisc del dev eth1 root tbf rate 1.0mbit limit 100kb burst 0.35kb.
```

A las capturas de wireshark se aplican los siguientes filtros, en la LAN A:

```
ip.src == 192.168.10.1 && ip.dst == 192.168.7.1 && udp.length == 108
```

```
ip.src == 192.168.10.1 && ip.dst == 192.168.7.1 && udp.length == 208
```

```
ip.src == 192.168.10.1 && ip.dst == 192.168.7.1 && udp.length == 308
```

Y los siguientes filtros, en la LAN C:

```
ip.src == 192.168.7.10 && ip.dst == 192.168.7.1 && udp.length == 108
```

```
ip.src == 192.168.7.10 && ip.dst == 192.168.7.1 && udp.length == 208
```

```
ip.src == 192.168.7.10 && ip.dst == 192.168.7.1 && udp.length == 308
```

De las capturas de Wireshark se obtuvieron las siguientes estadísticas en la LAN A y C:

**iperf -c 192.168.7.1 -t 10 -u -b 200000 -l 100**

<u>Medida</u>	<u>Capturado</u>	<u>Mostrado</u>
Paquetes	4659	2517 (54.0%)
Espacio de tiempo, s	175.408	14.013
Promedio pps	26.6	179.6
Promedio de tamaño de paquete, B	210	142
Bytes	977988	357582 (36.6%)
Promedio de bytes/s	5.575	25 k
Promedio de bits/s	44 k	204 k

### LAN A

<u>Medida</u>	<u>Capturado</u>	<u>Mostrado</u>
Paquetes	2957	1414 (47.8%)
Espacio de tiempo, s	175.412	16.341
Promedio pps	16.9	86.5
Promedio de tamaño de paquete, B	221	142
Bytes	652544	200788 (30.8%)
Promedio de bytes/s	3.720	12 k
Promedio de bits/s	29 k	98 k

### LAN C

En las capturas de la LAN A y C, se observa que hay una disminución de paquetes en la LAN C con respecto a la LAN A, además de que con el iperf se había configurado un plazo de envío de 10 s y en Wireshark aparece 16,314 s en la LAN C.

**iperf -c 192.168.7.1 -t 10 -u -b 200000 -l 200**

<b>Estadísticas</b>		
<u>Medida</u>	<u>Capturado</u>	<u>Mostrado</u>
Paquetes	4659	1263 (27.1%)
Espacio de tiempo, s	175.408	12.279
Promedio pps	26.6	102.9
Promedio de tamaño de paquete, B	210	242
Bytes	977988	305730 (31.3%)
Promedio de bytes/s	5.575	24 k
Promedio de bits/s	44 k	199 k

### LAN A

### **Estadísticas**

<u>Medida</u>	<u>Capturado</u>	<u>Mostrado</u>
Paquetes	2957	827 (28.0%)
Espacio de tiempo, s	175.412	16.488
Promedio pps	16.9	50.2
Promedio de tamaño de paquete, B	221	242
Bytes	652544	200134 (30.7%)
Promedio de bytes/s	3.720	12 k
Promedio de bits/s	29 k	97 k

### **LAN C**

**iperf -c 192.168.7.1 -t 10 -u -b 200000 -l 300**

### **Estadísticas**

<u>Medida</u>	<u>Capturado</u>	<u>Mostrado</u>
Paquetes	4659	845 (18.1%)
Espacio de tiempo, s	175.408	12.285
Promedio pps	26.6	68.8
Promedio de tamaño de paquete, B	210	342
Bytes	977988	288990 (29.5%)
Promedio de bytes/s	5.575	23 k
Promedio de bits/s	44 k	188 k

### **LAN A**

### **Estadísticas**

<u>Medida</u>	<u>Capturado</u>	<u>Mostrado</u>
Paquetes	2957	673 (22.8%)
Espacio de tiempo, s	175.412	18.510
Promedio pps	16.9	36.4
Promedio de tamaño de paquete, B	221	342
Bytes	652544	230166 (35.3%)
Promedio de bytes/s	3.720	12 k
Promedio de bits/s	29 k	99 k

### **LAN C**

Tanto con 200 B como con 300 B, se observa que disminuyen el número de paquetes al pasar de la LAN A a la C, y que sus plazos de envío son cada vez mayores que los 10 s

configurados con iperf. Esto se debe a que con tc se generó latencia al imponer una límite de 100 kbit/s. Esta limitación fuerza a los paquetes a esperar en una cola virtual, provocando un retardo de cola y el descarte de tramas si la cola se llena, lo que explica tanto el aumento de duración como la disminución del número de paquetes en la LAN C.

Para calcular el ancho de banda, se ha extraído de las capturas el espacio de tiempo y el número de paquetes, a través de los cuales se calcula el throughput que permite calcular el ancho de banda:

$$Throughput = \frac{\text{paquetes}}{\text{tiempo}}$$

$$BW_{\text{Total}} = L_{\text{Trama}} \times \frac{\text{paquetes}}{\text{tiempo}} \times 8 \times \frac{1}{1000000} = L_{\text{Trama}} \times Throughput \times 8 \times \frac{1}{1000000}$$

$$BW_{\text{Útil IP}} = L_{\text{Útil IP}} \times \frac{\text{paquetes}}{\text{tiempo}} \times 8 \times \frac{1}{1000000} = L_{\text{Útil IP}} \times Throughput \times 8 \times \frac{1}{1000000}$$

$$BW_{\text{Útil TCP}} = L_{\text{Útil TCP}} \times \frac{\text{paquetes}}{\text{tiempo}} \times 8 \times \frac{1}{1000000} = L_{\text{Útil TCP}} \times Throughput \times 8 \times \frac{1}{1000000}$$

Se divide entre 1000000 para pasar el ancho de banda a Mbps.

Se ha empleado una tabla Excel para poder calcular los diferentes valores, cuyos resultados son los siguientes:

$L_{\text{Trama}}$ (B)	$L_{\text{IP}}$ (B)	$L_{\text{UDP}}$ (B)	Paquetes	Throughput (pps)	$BW_{\text{Total}}$ (Mbps)	$BW_{\text{Útil IP}}$ (Mbps)	$BW_{\text{Útil UDP}}$ (Mbps)	Tiempo (s)
142	128	100	2517	179,62	0,204	0,184	0,144	14,013
242	228	200	1263	102,86	0,199	0,188	0,165	12,279
342	328	300	845	68,78	0,188	0,180	0,165	12,285

### Valores LAN A

$L_{\text{Trama}}$ (B)	$L_{\text{IP}}$ (B)	$L_{\text{UDP}}$ (B)	Paquetes	Throughput (pps)	$BW_{\text{Total}}$ (Mbps)	$BW_{\text{Útil IP}}$ (Mbps)	$BW_{\text{Útil UDP}}$ (Mbps)	Tiempo (s)
142	128	100	1414	86,54	0,098	0,089	0,069	16,34
242	228	200	827	50,15	0,097	0,091	0,080	16,49
342	328	300	673	36,36	0,099	0,095	0,087	18,51

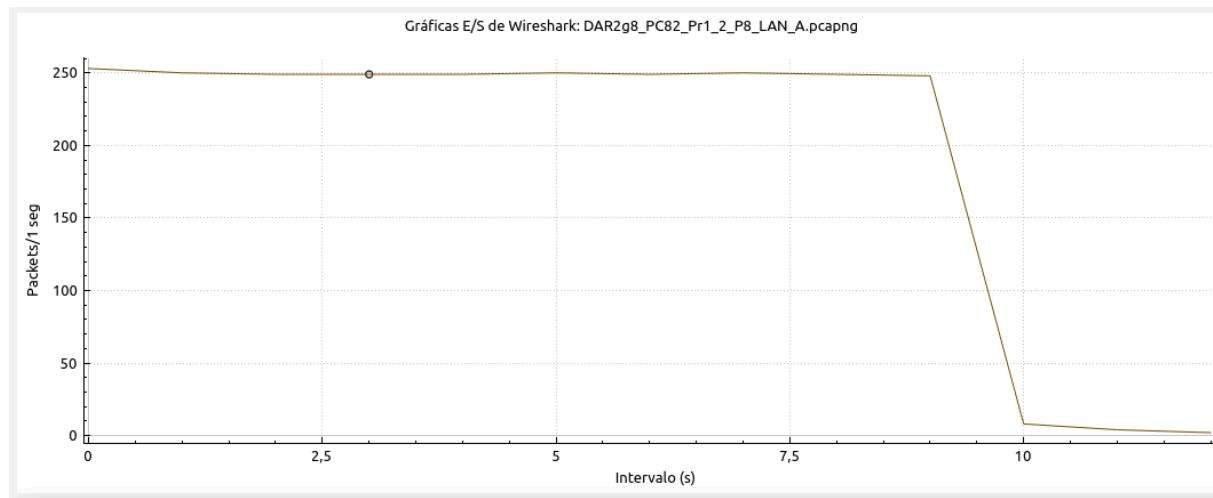
### Valores LAN C

Los resultados demuestran una clara diferencia en el rendimiento de la red al aplicar control de tráfico (tc). El ancho de banda medio en la LAN A se sitúa en 0,2 Mbps. En cambio, la LAN C muestra una reducción notable, con un promedio de 0,1 Mbps, evidenciando el efecto de la limitación configurada.

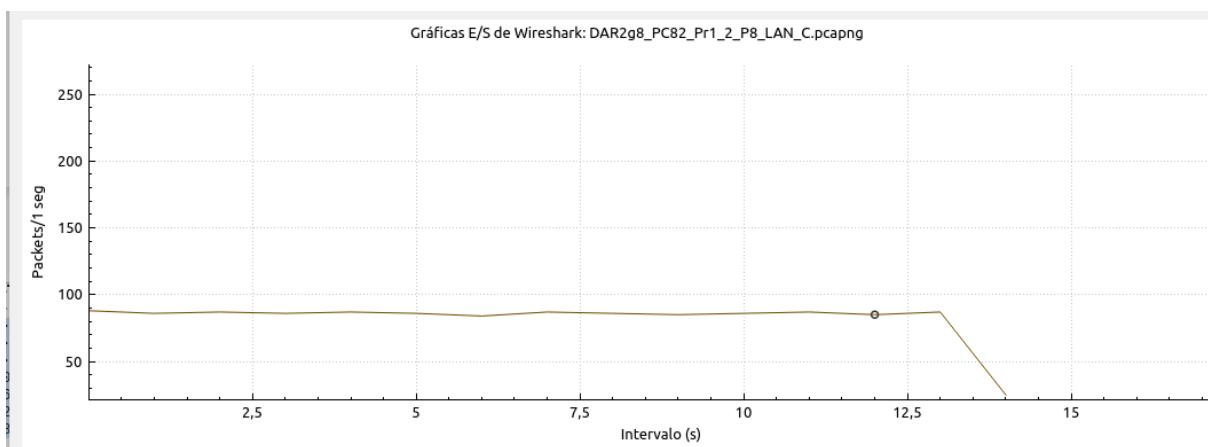
El parámetro **rate 100kbit** actúa como límite de velocidad de 100 kbps (0,1 Mbps), regulando la salida de datos de la interfaz eth0 para que no supere este límite. Además, el parámetro **limit 50kb** determina el tamaño máximo del búfer, permitiendo almacenar como

máximo 50 KB de datos pendientes de envío. Si la cantidad de datos que llegan al buffer excede estos 50 KB, los paquetes adicionales son descartados.

Para visualizar mejor la diferencia de rendimiento, se analiza la tasa de paquetes por segundo (pps). Esta tasa ha disminuido considerablemente en la LAN C. La LAN A transporta alrededor de 250 pps, mientras que la LAN C, bajo la limitación de velocidad, solo maneja unos 100 pps. Esto confirma que la restricción no solo reduce la velocidad total (Mbps), sino también el volumen de tráfico individual.

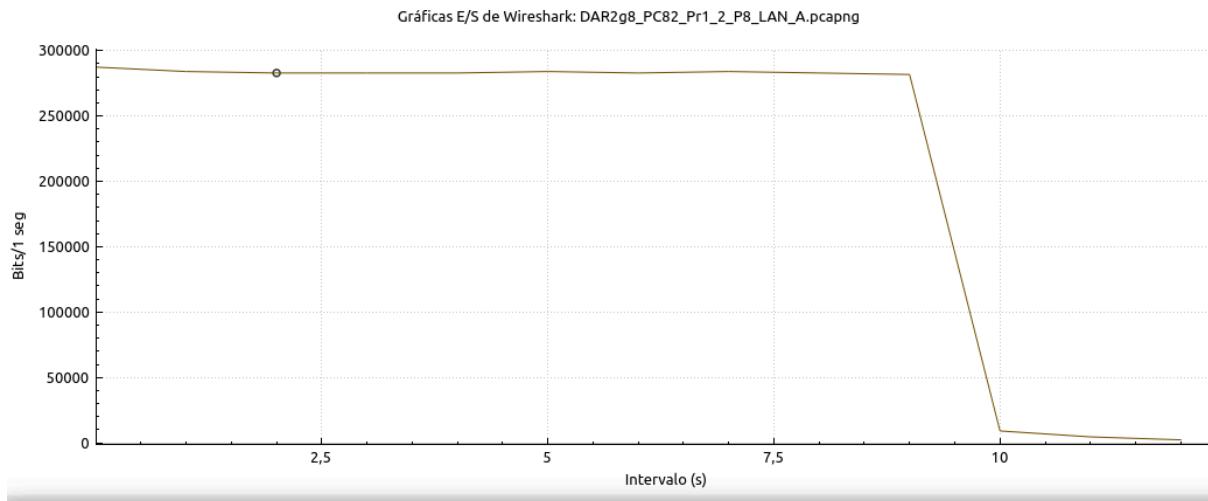


Caso de 100 B: paquetes por segundo frente a segundos en LAN A

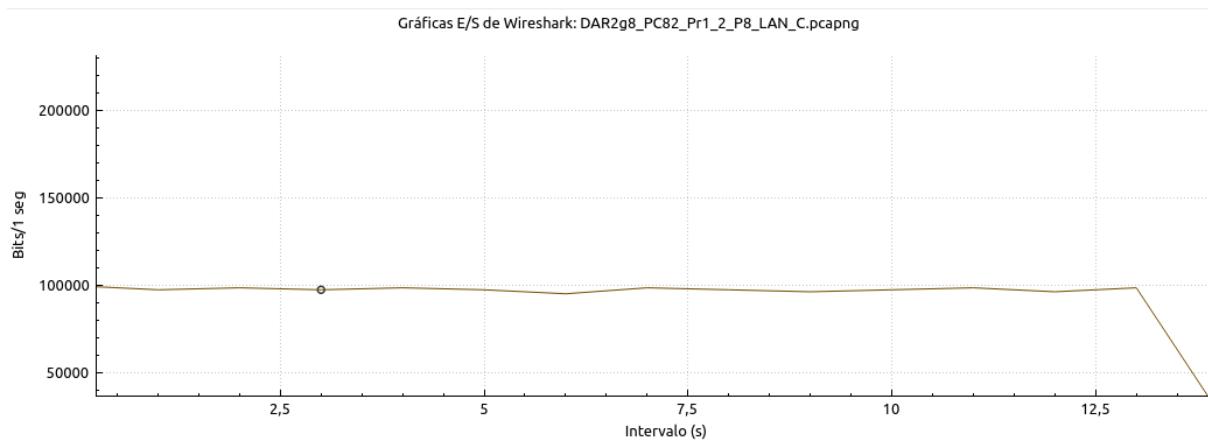


Caso de 100 B: paquetes por segundo frente a segundos en LAN C

Al comparar el caudal en bits por segundo, se observa cómo el ancho de banda máximo pasa de unos 0,27 Mbps en la LAN A a aproximadamente 0,1 Mbps en la LAN C. Este descenso drástico confirma que la velocidad de la LAN C queda claramente limitada y fijada al valor de 0,1 Mbps, tal como se estableció con el comando de restricción.



Caso de 100 B: bits por segundo frente a segundos en LAN A



Caso de 100 B: bits por segundo frente a segundos en LAN C

**Cuestión 9.** Con los aprendido en la cuestión 8, calcula teóricamente el máximo ancho de banda total, el útil a nivel IP y el útil a nivel de aplicación, que podría conseguirse en el escenario propuesto para los casos propuestos de generación de tráfico UDP y teniendo en cuenta que suponemos la transmisión sobre tecnología Ethernet 10Mbps y lo expuesto en la nota de la cuestión 7 tipo T.

Aunque los envíos se realizan sobre tecnología Ethernet a 10Mbps, los que limitan la tasa de envío son el iperf y el tc. Para la LAN A el iperf limita de banda de ancho a 200 kbps, por lo que su tiempo de transmisión es:

$$T_t(L) = \frac{L}{200\text{kbps}} \times \frac{8b}{1B}$$

Para la LAN C el tc limita el ancho de banda a 100 kbps, por lo que el tiempo de transmisión es de:

$$T_t(L) = \frac{L}{100kbps} \times \frac{8b}{1B}$$

Para calcular el tiempo de mensaje se suma el tiempo de gap:

$$T_{gap} = T_t(12)$$

Para el caso del iperf de 100 B, la longitud de la trama se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Cabecera UDP} = 20 B$$

$$\text{Cabecera IP} = 8 B$$

$$\text{Cabecera Ethernet} = 14 B$$

$$CRC = 4 B$$

$$\text{Preámbulo SFD} = 8 B$$

$$L_{Trama} = 128 + 14 + 4 + 8 = 154 B$$

$$L_{Datos IP} = 128 - 20 = 108 B$$

$$L_{Datos TCP} = 108 - 8 = 100 B$$

Para calcular todos los valores en la LAN A se hace lo siguiente:

$$T_m = T_t(154) + T_{gap} = \frac{154B + 12B}{200x10^3 bps} \times \frac{8b}{1B} = 0,00664 s$$

$$Throughput = \frac{1}{T_m} = \frac{1}{0,00664} = 150,60 pps$$

$$BW_{Total} = \frac{L_{Trama} * 8 * Throughput}{1000000} = \frac{154 * 8 * 162,34}{1000000} = 0,186 Mbps$$

$$BW_{\text{Útil IP}} = \frac{L_{Datos IP} * 8 * Throughput}{1000000} = \frac{108 * 8 * 162,34}{1000000} = 0,13 Mbps$$

$$BW_{\text{Útil UDP}} = \frac{L_{Datos UDP} * 8 * Throughput}{1000000} = \frac{100 * 8 * 162,34}{1000000} = 0,12 Mbps$$

Y en la LAN C:

$$T_m = T_t(154) + T_{gap} = \frac{154B + 12B}{100x10^3 bps} \times \frac{8b}{1B} = 0,01328 s$$

$$Throughput = \frac{1}{T_m} = \frac{1}{0,01328} = 75,30 pps$$

$$BW_{Total} = \frac{L_{Trama} * 8 * Throughput}{1000000} = \frac{154 * 8 * 81,17}{1000000} = 0,093 Mbps$$

$$BW_{\text{Útil IP}} = \frac{L_{DatosIP} * 8 * Throughput}{1000000} = \frac{108 * 8 * 81,17}{1000000} = 0,065 Mbps$$

$$BW_{\text{Útil UDP}} = \frac{L_{DatosUDP} * 8 * Throughput}{1000000} = \frac{100 * 8 * 81,17}{1000000} = 0,060 Mbps$$

Los cálculos se hacen igual para los otros iperf. Se ha empleado una tabla Excel para poder calcular los diferentes valores, cuyos resultados son los siguientes:

$L_{Trama}$ (B)	$L_{IP}$ (B)	$L_{UDP}$ (B)	$T_m$ (s)	Throughput (pps)	$BW_{Total}$ (Mbps)	$BW_{\text{Útil IP}}$ (Mbps)	$BW_{\text{Útil UDP}}$ (Mbps)
154	108	100	0,0066	150,60	0,186	0,130	0,120
254	208	200	0,0106	93,98	0,191	0,156	0,150
354	308	300	0,0146	68,31	0,193	0,168	0,164

### LAN A

$L_{Trama}$ (B)	$L_{IP}$ (B)	$L_{UDP}$ (B)	$T_m$ (s)	Throughput (pps)	$BW_{Total}$ (Mbps)	$BW_{\text{Útil IP}}$ (Mbps)	$BW_{\text{Útil UDP}}$ (Mbps)
154	108	100	0,0133	75,30	0,093	0,065	0,060
254	208	200	0,0213	46,99	0,095	0,078	0,075
354	308	300	0,0293	34,15	0,097	0,084	0,082

### LAN C