

# Arquitectura de Redes I

## Tema 3

### Problemas TCP

Se ha registrado la siguiente traza en un sistema conectado a Internet:

<p>Frame 1 (42 bytes on wire, 42 bytes captured)</p> <p>Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: ff:ff:ff:ff:ff:ff</p> <p>Address Resolution Protocol</p> <p>Hardware type: Ethernet (0x0001)</p> <p>Protocol type: IP (0x0800)</p> <p>Hardware size: 6</p> <p>Protocol size: 4</p> <p>Opcode: 0x0001</p> <p>Sender MAC address: 00:02:3f:56:ba:b6</p> <p>Sender IP address: 82.185.99.93</p> <p>Target MAC address: 00:00:00:00:00:00</p> <p>Target IP address: 82.185.96.1</p>
<p>Frame 2 (60 bytes on wire, 60 bytes captured)</p> <p>Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6</p> <p>Address Resolution Protocol</p> <p>Hardware type: Ethernet (0x0001)</p> <p>Protocol type: IP (0x0800)</p> <p>Hardware size: 6</p> <p>Protocol size: 4</p> <p>Opcode: 0x0002</p> <p>Sender MAC address: 00:11:20:6a:a8:f8</p> <p>Sender IP address: 82.185.96.1</p> <p>Target MAC address: 00:02:3f:56:ba:b6</p> <p>Target IP address: 82.185.99.93</p>
<p>Frame 3 (73 bytes on wire, 73 bytes captured)</p> <p>Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8</p> <p>Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 62.81.16.131</p> <p>User Datagram Protocol, Src Port: 3009, Dst Port: domain (53)</p> <p>Domain Name System (query)</p> <p>Transaction ID: 0x0136</p> <p>Flags: 0x0100 (Standard query)</p> <p>Questions: 1</p> <p>Answer RRs: 0</p> <p>Authority RRs: 0</p> <p>Additional RRs: 0</p> <p>Queries</p> <p>ftp.fi.upm.es: type A, class IN</p>

Frame 4 (289 bytes on wire, 289 bytes captured)  
 Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  
 Internet Protocol, Src: 62.81.16.131, Dst: 82.185.99.93  
 User Datagram Protocol, Src Port: domain (53), Dst Port: 3009  
 Domain Name System (response)

Transaction ID: 0x3601  
 Flags: 0x8180 (Standard query response, No error)  
 Questions: 1  
 Answer RRs: 2  
 Authority RRs: 5  
 Additional RRs: 5  
 Queries  
 ftp.fi.upm.es: type A, class IN  
 Answers  
 ftp.fi.upm.es: type CNAME, class IN, cname asterix.fi.upm.es  
 asterix.fi.upm.es: type A, class IN, addr 138.100.8.6  
 Authoritative nameservers  
 fi.upm.es: type NS, class IN, ns zape.fi.upm.es  
 fi.upm.es: type NS, class IN, ns goofy.fi.upm.es  
 fi.upm.es: type NS, class IN, ns asterix.fi.upm.es  
 fi.upm.es: type NS, class IN, ns galileo.ccupm.upm.es  
 fi.upm.es: type NS, class IN, ns ns.fi.upm.es  
 Additional records  
 ns.fi.upm.es: type A, class IN, addr 138.100.8.23  
 ns.fi.upm.es: type A, class IN, addr 138.100.240.4  
 ns.fi.upm.es: type A, class IN, addr 138.100.8.1  
 ns.fi.upm.es: type A, class IN, addr 138.100.8.4  
 galileo.ccupm.upm.es: type A, class IN, addr 138.100.4.4

Frame 5 (62 bytes on wire, 62 bytes captured)  
 Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  
 Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  
 Transmission Control Protocol, Src Port: 3136, Dst Port: ftp (21), Seq: 0, Len: 0, Hdr Len: 28, Flags: 0x0002 (SYN), Window: 64240  
 Options: (8 bytes)  
 Maximum segment size: 1460 bytes  
 NOP  
 NOP  
 SACK permitted

Frame 6 (60 bytes on wire, 60 bytes captured)  
 Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  
 Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  
 Transmission Control Protocol, Src Port: ftp (21), Dst Port: 3136, Seq: 0, Ack: 1, Len: 0, Hdr Len: 24, Flags: 0x0012 (SYN, ACK), Window: 17520  
 Options: (4 bytes)  
 Maximum segment size: 1460 bytes

Frame 7 (54 bytes on wire, 54 bytes captured)  
 Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  
 Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  
 Transmission Control Protocol, Src Port: 3136, Dst Port: ftp (21), Seq: 1, Ack: 1, Len: 0, Hdr Len: 20, Flags: 0x0010 (ACK), Window: 64240

Frame 8 (104 bytes on wire, 104 bytes captured)  
 Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  
 Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  
 Transmission Control Protocol, Src Port: ftp (21), Dst Port: 3136, Seq: 1, Ack: 1, Len: 50, Hdr Len: 20, Flags: 0x0018 (PSH, ACK), Window: 17520  
 File Transfer Protocol (FTP)  
 220 ProFTPD 1.3.0 Server (asterix) [138.100.8.6]\r\n

<p>Frame 9 (54 bytes on wire, 54 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 3136, Dst Port: ftp (21), Seq: 1, Ack: 51, Len: 0, Hdr Len: 20, Flags: 0x0010 (ACK), Window: 64190</p>
<p>Frame 10 (70 bytes on wire, 70 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 3136, Dst Port: ftp (21), Seq: 1, Ack: 51, Len: 16, Hdr Len: 20, Flags: 0x0018 (PSH, ACK), Window: 64190  File Transfer Protocol (FTP)  USER anonymous\r\n</p>
<p>Frame 11 (130 bytes on wire, 130 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  Transmission Control Protocol, Src Port: ftp (21), Dst Port: 3136, Seq: 51, Ack: 17, Len: 76, Hdr Len: 20, Flags: 0x0018 (PSH, ACK), Window: 17520  File Transfer Protocol (FTP)  331 Anonymous login ok, send your complete email address as your password.\r\n</p>
<p>Frame 12 (54 bytes on wire, 54 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 3136, Dst Port: ftp (21), Seq: 17, Ack: 127, Len: 0, Hdr Len: 20, Flags: 0x0010 (ACK), Window: 64114</p>
<p>Frame 13 (68 bytes on wire, 68 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 3136, Dst Port: ftp (21), Seq: 17, Ack: 127, Len: 14, Hdr Len: 20, Flags: 0x0018 (PSH, ACK), Window: 64114  File Transfer Protocol (FTP)  PASS <a href="mailto:usuario@fi.upm.es">usuario@fi.upm.es</a>\r\n</p>
<p>Frame 14 (105 bytes on wire, 105 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  Transmission Control Protocol, Src Port: ftp (21), Dst Port: 3136, Seq: 127, Ack: 31, Len: 51, Hdr Len: 20, Flags: 0x0018 (PSH, ACK), Window: 17520  File Transfer Protocol (FTP)  230 Anonymous access granted, restrictions apply.\r\n</p>
<p>Frame 15 (54 bytes on wire, 54 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 3136, Dst Port: ftp (21), Seq: 31, Ack: 178, Len: 0, Hdr Len: 20, Flags: 0x0010 (ACK), Window: 64063</p>
<p>Frame 16 (80 bytes on wire, 80 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 3136, Dst Port: ftp (21), Seq: 31, Ack: 178, Len: 26, Hdr Len: 20, Flags: 0x0018 (PSH, ACK), Window: 64063  File Transfer Protocol (FTP)  PORT 82,185,99,93,19,137\r\n</p>
<p>Frame 17 (83 bytes on wire, 83 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  Transmission Control Protocol, Src Port: ftp (21), Dst Port: 3136, Seq: 178, Ack: 57, Len: 29, Hdr Len: 20, Flags: 0x0018 (PSH, ACK), Window: 17520  File Transfer Protocol (FTP)  200 PORT command successful\r\n</p>

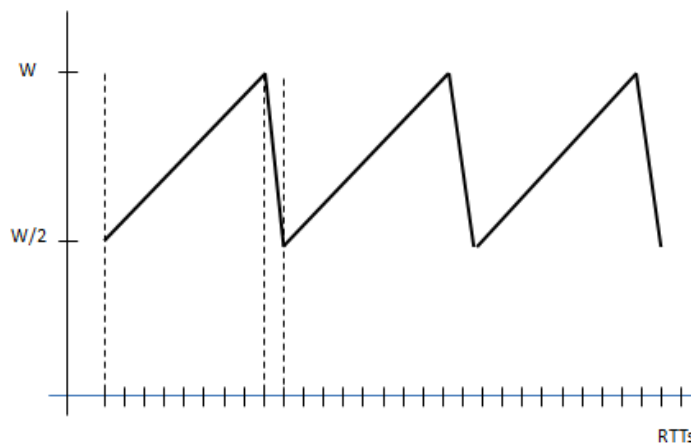
<p>Frame 18 (60 bytes on wire, 60 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 3136, Dst Port: ftp (21), Seq: 57, Ack: 207, Len: 6, Hdr Len: 20, Flags: 0x0018 (PSH, ACK), Window: 64034  File Transfer Protocol (FTP)  NLST<sup>1</sup>\r\n</p>
<p>Frame 19 (60 bytes on wire, 60 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  Transmission Control Protocol, Src Port: ftp-data (20), Dst Port: 5001, Seq: 0, Len: 0, Hdr Len: 24, Flags: 0x0002 (SYN), Window: 17520  Options: (4 bytes)  Maximum segment size: 1460 bytes</p>
<p>Frame 20 (58 bytes on wire, 58 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 5001, Dst Port: ftp-data (20), Seq: 0, Ack: 1, Len: 0, Hdr Len: 24, Flags: 0x0012 (SYN, ACK), Window: 64240  Maximum segment size: 1460 bytes</p>
<p>Frame 21 (60 bytes on wire, 60 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  Transmission Control Protocol, Src Port: ftp-data (20), Dst Port: 5001, Seq: 1, Ack: 1, Len: 0, Hdr Len: 20, Flags: 0x0010 (ACK), Window: 17520</p>
<p>Frame 22 (108 bytes on wire, 108 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  Transmission Control Protocol, Src Port: ftp (21), Dst Port: 3136, Seq: 207, Ack: 63, Len: 54, Hdr Len: 20, Flags: 0x0018 (PSH, ACK), Window: 17520  File Transfer Protocol (FTP)  150 Opening ASCII mode data connection for file list\r\n</p>
<p>Frame 23 (66 bytes on wire, 66 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  Transmission Control Protocol, Src Port: ftp-data (20), Dst Port: 5001, Seq: 1, Ack: 1, Len: 12, Hdr Len: 20, Flags: 0x0018 (PSH, ACK), Window: 17520  FTP Data  FTP Data: lost+found\r\n</p>
<p>Frame 24 (84 bytes on wire, 84 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  Transmission Control Protocol, Src Port: ftp-data (20), Dst Port: 5001, Seq: 13, Ack: 1, Len: 30, Hdr Len: 20, Flags: 0x0019 (FIN, PSH, ACK), Window: 17520  FTP Data  FTP Data: pub\r\nbin\r\netc\r\nlib\r\nincoming\r\n</p>
<p>Frame 25 (54 bytes on wire, 54 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 5001, Dst Port: ftp-data (20), Seq: 1, Ack: 44, Len: 0, Hdr Len: 20, Flags: 0x0010 (ACK), Window: 64198</p>

---

<sup>1</sup> Comando similar a LIST

<p>Frame 26 (54 bytes on wire, 54 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 5001, Dst Port: ftp-data (20), Seq: 1, Ack: 44, Len: 0, Hdr Len: 20, Flags: 0x0011 (FIN, ACK), Window: 64198</p>
<p>Frame 27 (60 bytes on wire, 60 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  Transmission Control Protocol, Src Port: ftp-data (20), Dst Port: 5001, Seq: 44, Ack: 2, Len: 0, Hdr Len: 20, Flags: 0x0010 (ACK), Window: 17520</p>
<p>Frame 28 (78 bytes on wire, 78 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  Transmission Control Protocol, Src Port: ftp (21), Dst Port: 3136, Seq: 261, Ack: 63, Len: 24, Hdr Len: 20, Flags: 0x0018 (PSH, ACK), Window: 17520  File Transfer Protocol (FTP)  226 Transfer complete.\r\n</p>
<p>Frame 29 (54 bytes on wire, 54 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 3136, Dst Port: ftp (21), Seq: 63, Ack: 285, Len: 0, Hdr Len: 20, Flags: 0x0010 (ACK), Window: 63956</p>
<p>Frame 30 (60 bytes on wire, 60 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 3136, Dst Port: ftp (21), Seq: 63, Ack: 285, Len: 6, Hdr Len: 20, Flags: 0x0018 (PSH, ACK), Window: 63956  File Transfer Protocol (FTP)  QUIT\r\n</p>
<p>Frame 31 (68 bytes on wire, 68 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  Transmission Control Protocol, Src Port: ftp (21), Dst Port: 3136, Seq: 285, Ack: 69, Len: 14, Hdr Len: 20, Flags: 0x0018 (PSH, ACK), Window: 17520  File Transfer Protocol (FTP)  221 Goodbye.\r\n</p>
<p>Frame 32 (54 bytes on wire, 54 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 3136, Dst Port: ftp (21), Seq: 69, Ack: 299, Len: 0, Hdr Len: 20, Flags: 0x0011 (FIN, ACK), Window: 63942</p>
<p>Frame 33 (60 bytes on wire, 60 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  Transmission Control Protocol, Src Port: ftp (21), Dst Port: 3136, Seq: 299, Ack: 69, Len: 0, Hdr Len: 20, Flags: 0x0011 (FIN, ACK), Window: 17520</p>
<p>Frame 34 (54 bytes on wire, 54 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:02:3f:56:ba:b6, Dst: 00:11:20:6a:a8:f8  Internet Protocol, Src: 82.185.99.93, Dst: 138.100.8.6  Transmission Control Protocol, Src Port: 3136, Dst Port: ftp (21), Seq: 70, Ack: 300, Len: 0, Hdr Len: 20, Flags: 0x0010 (ACK), Window: 63942</p>
<p>Frame 35 (60 bytes on wire, 60 bytes captured)  Ethernet II, Src: 00:11:20:6a:a8:f8, Dst: 00:02:3f:56:ba:b6  Internet Protocol, Src: 138.100.8.6, Dst: 82.185.99.93  Transmission Control Protocol, Src Port: ftp (21), Dst Port: 3136 (3136), Seq: 299, Ack: 70, Len: 0, Hdr Len: 20, Flags: 0x0010 (ACK), Window: 17520</p>

- 1.- Se pide representar en un diagrama los segmentos TCP de la(s) conexión(es) que se registran en la traza indicando cómo funcionan los asentimientos y los números de secuencia
- 2.- Representar del mismo modo las fases de establecimiento de la conexión y la desconexión de los sockets que aparecen en la traza.
- 3.- (Kurose Capítulo 3 Problema P42) Se puede suponer de manera simplificada que durante la transmisión TCP la velocidad de transmisión varía de manera lineal entre  $W/2$  y  $W$  según va aumentando la ventana de congestión. Cada ciclo de RTT la ventana de congestión (medida en MSS) aumenta en una unidad. Cuando se detecta la pérdida de un paquete, desciende a  $W/2$  tal como se puede ver en la siguiente figura:



En cada periodo de subida y bajada de la ventana de congestión se pierde un solo paquete. Según este modelo, demostrar que la tasa de pérdida de paquetes (proporción de paquetes perdidos) se puede obtener de forma aproximada como:

$$L = \frac{1}{\frac{3}{8}W^2 + \frac{3}{4}W}$$

- 4.- (Continuación del problema 3) Demostrar que la velocidad media de una transmisión TCP se puede expresar aproximadamente como:

$$\text{tasa de transferencia media de una conexión} = \frac{0,75 W}{RTT}$$

Si la ventana  $W$  es grande demostrar que, si una conexión TCP tiene una tasa de pérdida de paquetes  $L$  dada por la expresión del problema 3, la velocidad de transmisión media es aproximadamente:

$$\approx \frac{1,22 \times MSS}{RTT \times \sqrt{L}}$$

## Soluciones

La traza corresponde con una sesión de FTP entre dos sistemas. Uno es el cliente ftp con dirección 82.185.99.93 y el otro es el servidor con dirección 138.100.8.6. Se establecen dos sockets ftp:

Socket ftp de control: 82.185.99.93:3136 - 138.100.8.6:21

Socket ftp de datos: 82.185.99.93:5001 - 138.100.8.6:20

Los puertos del servidor en ambos casos son bien conocidos, tal como refleja la traza. Los del cliente son efímeros en ambos casos. Como se verá a continuación, para la conexión de datos, el servidor es el que inicia la conexión al puerto del cliente. El valor de dicho puerto se recibe en el servidor con el comando PORT de la trama 16: PORT 82,185,99,93,19,137 \r\n de manera que el valor del puerto es  $19 \times 256 + 137 = 5001$

El establecimiento del socket de control se representa en la figura 1.1

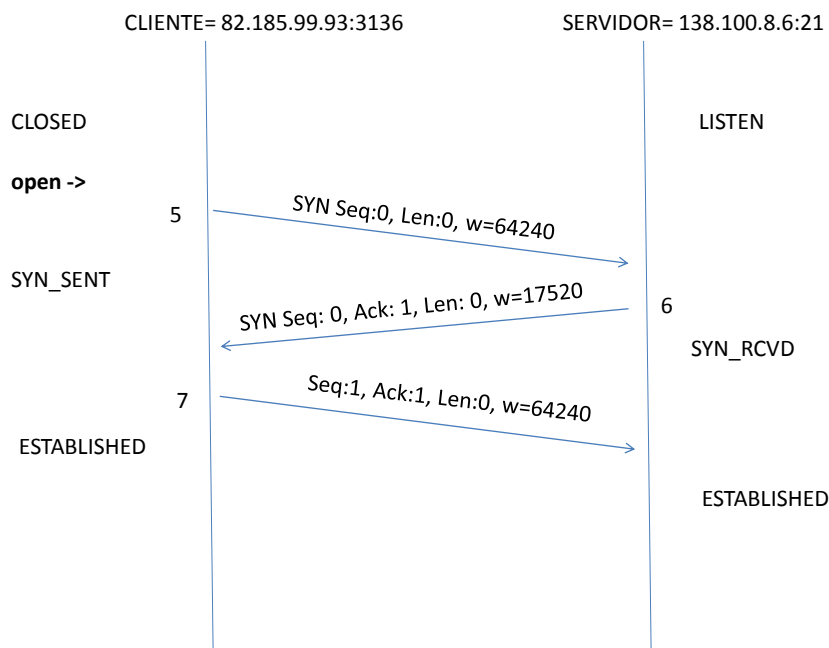


Fig 1.1

A continuación, se transmiten los comandos FTP a través de dicho socket tal como se presenta en la figura 1.2

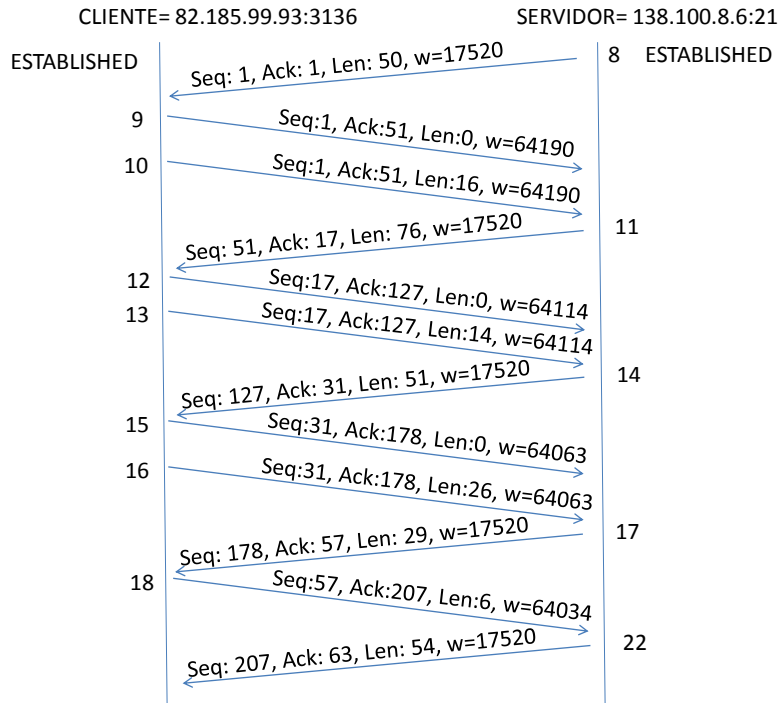


Fig 1.2

El servidor se conecta al cliente para enviar los datos solicitados, realiza dicho envío y luego se desconecta según lo indicado en la figura 1.3

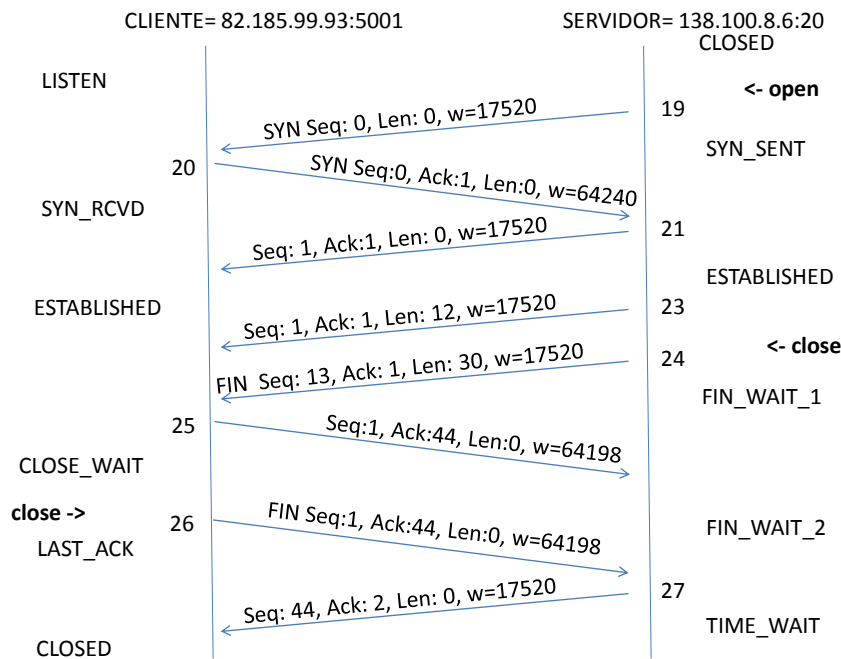


Fig 1.3



Finalmente, el cliente cierra el socket de control según lo indicado en la figura 1.4

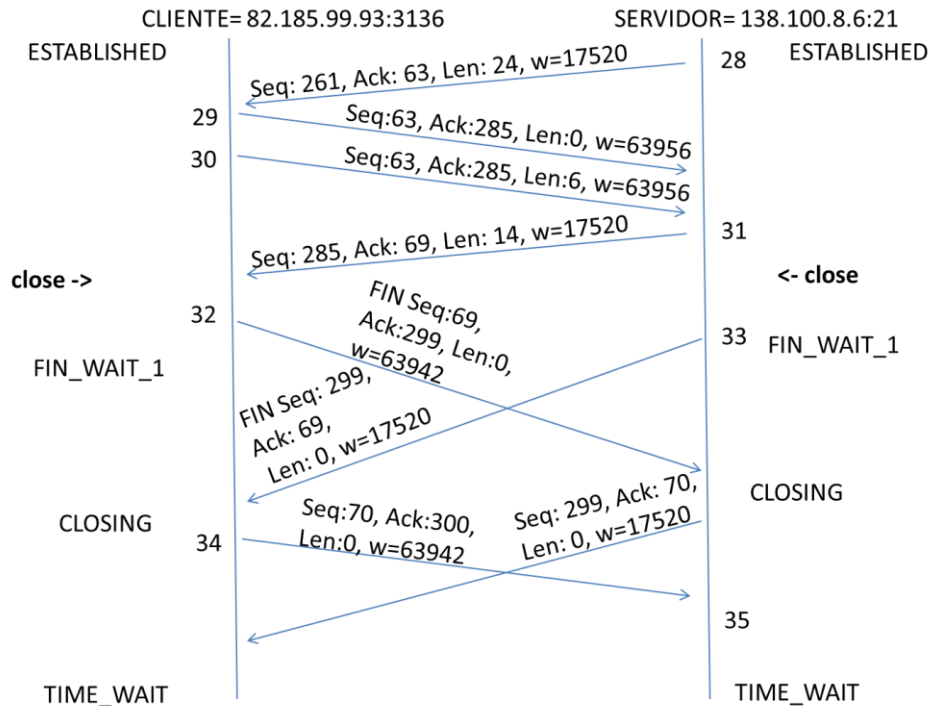


Fig 1.4

1.- Como se puede apreciar en las figuras 1.2 y 1.3 el valor de asentimiento en cada trama corresponde con el número de secuencia más el tamaño de la trama que se está asentiendo. Por ejemplo, en la figura 1.2 la trama 14 está asentiendo la trama 13, ya que su número de asentimiento es  $31 = 17 + 14$

Se puede comprobar que esto es así con la única excepción del caso en el que se esté asentiendo una trama con los flags SYN o FIN activados. Por ejemplo en la figura 1.4 la trama 34 está asentiendo la trama 33 ya que  $300 = 299 + 0 + 1$

De igual forma, la trama 25 en la figura 1.3 está asentiendo la trama 24 ya que  $44 = 30 + 13 + 1$

Por otra parte, se puede apreciar en la figura 1.2 que la ventana ofrecida por el cliente se va cerrando según se van recibiendo los paquetes del servidor, por lo que puede suponerse que no se están procesando por la aplicación mientras está el socket abierto.

2.- Las fases de apertura y cierre de los sockets están en las figuras 1.1, 1.3 y 1.4 en las que se ha indicado por qué estados pasa TCP en cada extremo y los momentos en que la aplicación TCP abre (open) o cierra (close) el socket correspondiente. En el caso de los puertos 21 en el servidor y 5001 en el cliente, la aplicación ha creado previamente a la recepción de paquetes el socket y lo ha puesto en estado de espera (LISTEN)

En la figura 1.3 se puede apreciar que el servidor aprovecha la última trama de datos para enviar el flag de FIN e iniciar la desconexión del socket.

En la figura 1.4 se puede ver que la desconexión corresponde con un cierre simultáneo. Éste es posible debido a que se envía el comando de interrupción de la sesión a nivel de aplicación y, por tanto, ambos extremos pueden desconectarse a la vez.

3.- Para calcular la proporción (tasa) de paquetes perdidos, estimamos que en cada ciclo en el que se detecta una congestión se pierde un paquete. Puesto que la gráfica está indicando la velocidad de transmisión, el área corresponde al número de paquetes enviados en cada ciclo indicado. En la figura 3.1 se puede apreciar una descomposición del área en cuatro:  $T1+T2+C1+C2$ .

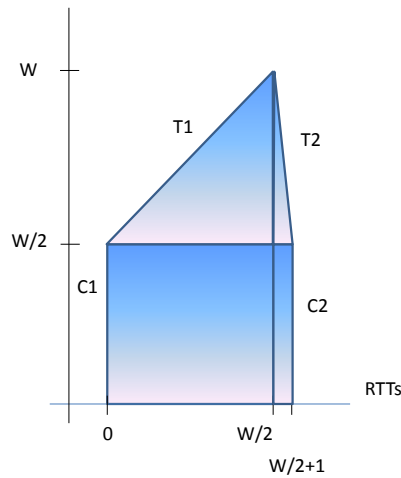


Fig 3.1

El área de cada parte es:

$$\blacktriangledown \quad T1 = \frac{1}{2} \left( \frac{W}{2} \right)^2 = \frac{W^2}{8} \quad (3.1)$$

$$\blacktriangledown \quad T2 = \frac{1}{2} \left( \frac{W}{2} \right) = \frac{W}{4} \quad (3.2)$$

$$\blacktriangledown \quad C1 = \left( \frac{W}{2} \right)^2 = \frac{W^2}{4} \quad (3.3)$$

$$\blacktriangledown \quad C2 = \frac{W}{2} \quad (3.4)$$

Sumando de (3.1) a (3.4) se tiene el número total de paquetes transmitidos:

$$\blacktriangleright \quad T1 + T2 + C1 + C2 = \frac{3}{8} W^2 + \frac{3}{4} W \quad (3.5)$$

Puesto que se pierde un paquete en cada ciclo, la tasa de pérdida  $L$  será la expresión (3.6)

$$\blacktriangleright \quad L = \frac{1}{\frac{3}{8}W^2 + \frac{3}{4}W} \quad (3.6)$$

4.- La velocidad media será el número total de paquetes enviados dividido por el tiempo empleado. El número de paquetes  $N$  viene dado por (3.5) que para un valor grande de la ventana  $W$  se puede aproximar por (4.1)

$$\blacktriangledown \quad N = \frac{3}{8}W^2 \quad (4.1)$$

El tiempo  $T$  empleado en la transmisión viene dado por la expresión (4.2)

$$\blacktriangledown \quad T = RTT \times \frac{W}{2} \quad (4.2)$$

Por tanto, la tasa media en paquetes por segundo será (4.3)

$$\blacktriangleright \quad \text{tasa media} = N/T = \frac{3W}{4RTT} = \frac{0,75W}{RTT} \quad (4.3)$$

Para calcular la tasa media en función de las pérdidas suponemos  $W$  muy grande por lo que (3.6) se puede aproximar por (4.4)

$$\blacktriangleright \quad L = \frac{8}{3W^2} \quad (4.4)$$

Por tanto, despejando  $W$  de (4.4) y sustituyendo en (4.3) se tiene:

$$\therefore \quad \text{tasa media} = \frac{0,75 \sqrt{\frac{8}{3L}}}{RTT} = \frac{1,22}{RTT \sqrt{L}} \quad (4.5)$$

Para hallar la velocidad media, hay que tener en cuenta que cada paquete tiene un tamaño dado por MSS en Bytes. Por lo tanto, si  $RTT$  se mide en segundos, la velocidad media en Bytes/segundo es la indicada en (4.6)

$$\blacktriangleright \quad \text{velocidad media} = \frac{1,22 \times MSS}{RTT \sqrt{L}} \quad (4.6)$$