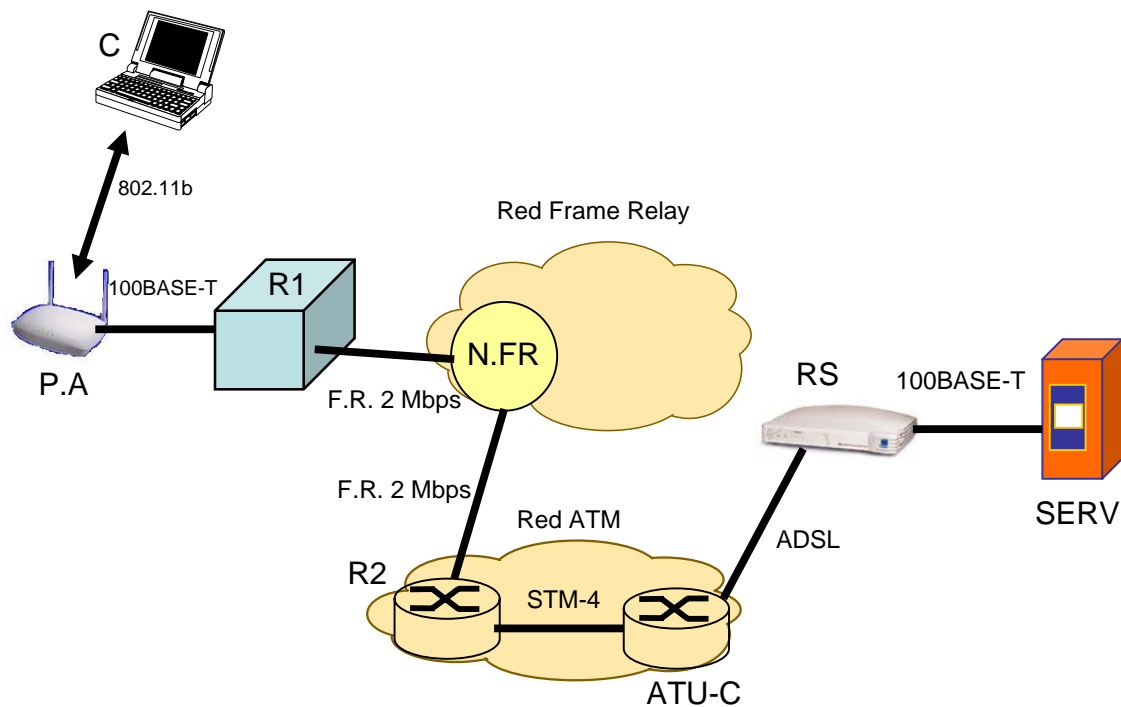


2006-02-10-02

PROBLEMA 2

Un usuario de Internet situado en el portátil C, accede a un servidor web (SERV.). La topología de la interconexión entre ambos equipos se puede ver en la siguiente figura.



El usuario de la máquina C (cliente) está asociado a un punto de acceso P.A, mediante una red inalámbrica de norma IEEE 802.11b. El punto de acceso está configurado en infraestructura y tiene una conexión por cable (100 BASE-T) a un router R1. El router R1 tiene acceso a internet por medio de una red Frame Relay. La velocidad de su enlace con el nodo de acceso a la red F.R es de 2 Mbps.

Al mismo nodo de la red Frame Relay se encuentra conectado un router R2 también a 2 Mbps de velocidad. El router R2 tiene por un lado un interfaz Frame Relay (por el que lo une al nodo Frame Relay) y por el otro lado un interfaz ATM puro. En la red ATM se supone que las celdas desde R2 al ATU-C, y las de vuelta, se encaminan por un único enlace ATM (STM-4) a 622,08 Mbps. En el ATU-C se produce la modulación ADSL para dar acceso al router RS del servidor. La velocidad de este enlace ADSL es de 1 Mbps en el sentido ATU-C router RS y de 320 Kbps en el sentido RS hacia ATU-C.

Las arquitecturas de todas las máquinas implicadas en la comunicación son TCP/IP.

Se van a estudiar los eventos que ocurren en este sistema cuando el usuario del cliente en C y el servidor (SERV) intercambien información.

Suponga en lo sucesivo que: Todos los circuitos virtuales en la red Frame Relay y en la Red ATM están establecidos. La conexión TCP ya está establecida. Las tablas ARP están llenas y las tablas de rutas están bien establecidas.

1) Dibuje la torre de protocolos de todos los dispositivos implicados en la comunicación entre C y SERV. (C, PA, R1, N.FR, R2, ATU-C, RS, SERV).

2) En el supuesto de que el intercambio de información sea el que sigue: C envía 48 octetos a nivel de aplicación hacia el servidor (SERV) sobre protocolo de transporte TCP. Para facilitar la realización suponga que solo se considera un segmento de datos. No aparecen segmentos ACK.

2.1) Dibuje un cronograma a nivel de aplicación de la transferencia antes enunciada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

2.2) Dibuje un cronograma a nivel de transporte de la transferencia antes indicada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

2.3) Dibuje un cronograma a nivel IP de la transferencia antes indicada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

2.4) Dibuje un cronograma a nivel físico de la transferencia antes indicada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

2.5 Calcule el tiempo total empleado en la transferencia, antes indicada. Justifique sus cálculos.

(No se calificarán las respuestas no justificadas)

3) El servidor (SERV) devuelve una respuesta de 1460 octetos a nivel de aplicación hacia el cliente C, también sobre transporte TCP. Para facilitar la realización suponga que solo se considera un segmento de datos. No aparecen segmentos ACK.

3.1) Dibuje un cronograma a nivel de aplicación de la transferencia antes enunciada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

3.2) Dibuje un cronograma a nivel de transporte de la transferencia antes indicada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

3.3) Dibuje un cronograma a nivel IP de la transferencia antes indicada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

3.4) Dibuje un cronograma a nivel físico de la transferencia antes indicada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

3.5) Calcule el tiempo total empleado en la transferencia, antes indicada. Justifique sus cálculos.

(No se calificarán las respuestas no justificadas)

Datos y consideraciones generales para todos los apartados:

La conexión TCP ya está establecida.

Están establecidos los circuitos virtuales ATM y Frame Relay.

Las celdas ATM tienen un tamaño de 53 octetos de los cuales 5 son de cabecera y el resto de datos.

Considere que se utiliza como capa de adaptación de IP a ATM, AAL5.

Formato de la unidad de datos de AAL-5

Datos de usuario (N octetos)	Relleno (0-47 octetos)	Control (8 octetos)
------------------------------	---------------------------	---------------------

Velocidades ADSL: 1000 Kbps desde el ATU-C al usuario y 320 Kbps desde el usuario hacia el ATU-C.

Velocidad del enlace ATM (STM-4) es de 622.08 Mbps.

El tiempo de proceso y conmutación es despreciable en host, routers y conmutadores.

Suponga que no existen opciones en las cabeceras IP, ni en las TCP.

La capa de transporte TCP introduce 20 octetos de cabecera, la capa IP 20 octetos.

La capa MAC+ física de Ethernet/802.3 introduce 26 octetos.

La capa LAPF-núcleo de Frame Relay introduce 6 octetos.

La MTU de la red Frame Relay está establecida en 884 octetos.

La MTU de la ethernet es de 1500 octetos.

La MTU de la 802.11b es de 2312 octetos.

Considere que en las redes inalámbricas:

La red es una 802.11b. Suponga, por facilidad de cálculo, que todos los bits a nivel físico se transmiten a 11Mbps (aunque debe saber que el preámbulo PLCP y la cabecera PLCP se transmiten siempre en 192 μ segundos; es decir: siempre a 1 Mbps).

Se utiliza RTS/CTS.

Los portátiles están siempre asociados a sus respectivos puntos de acceso.

No hay fragmentación a nivel MAC 802.11b.

Las cabeceras añadidas por las distintas capas/subcapas son:

LLC+SNAP= 8 octetos, MAC= 34 octetos y PLCP (Physical Layer Convergence Protocol) = 24 octetos.

El tamaño a nivel MAC de las distintas tramas de control es:

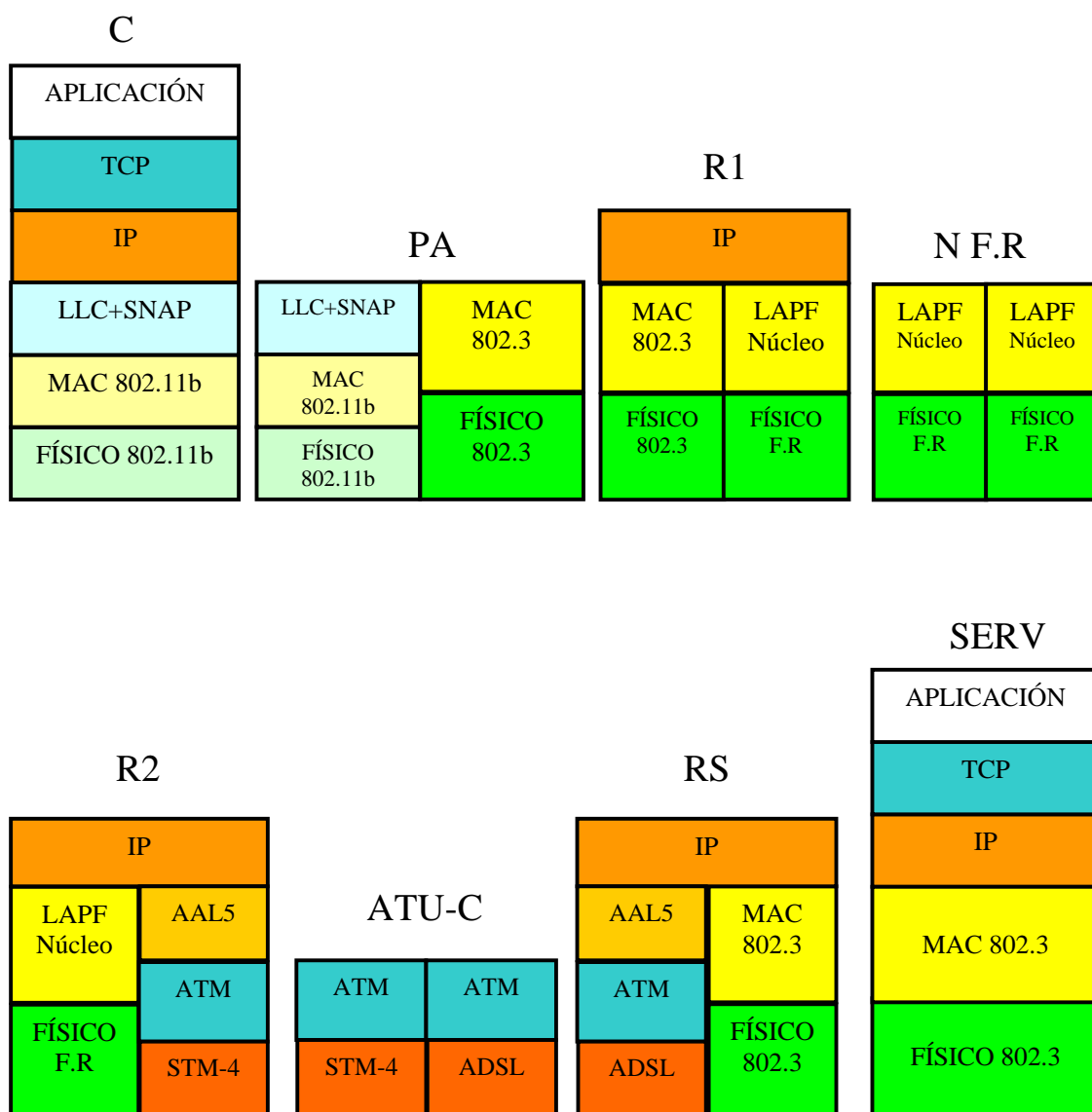
RTS = 20 octetos, CTS= 14 octetos y ACK= 14 octetos

Considerar que los tiempos de proceso y propagación son despreciables y que:

- tSIFS=10 μ s (tiempo de espera de intervalo corto entre tramas)
- tDIFS=50 μ s (tiempo de espera de intervalo distribuido entre tramas).

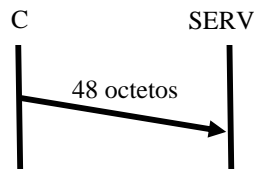
2006-02-10-02-S02

1) Dibuje la torre de protocolos de todos los dispositivos implicados en la comunicación entre C y SERV. (C, PA, R1, N.FR, R2, ATU-C, RS, SERV).



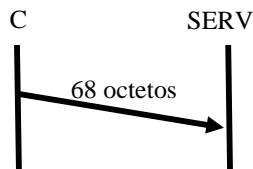
2.1) Dibuje un cronograma a nivel de aplicación de la transferencia antes enunciada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

Cronograma a nivel de Aplicación



2.2) Dibuje un cronograma a nivel de transporte de la transferencia antes indicada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

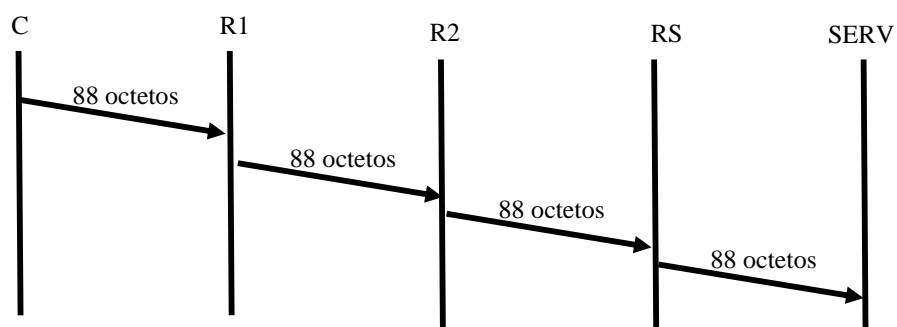
Cronograma a nivel de Transporte



En el nivel de transporte se suman 20 de cabecera TCP a los 48 de aplicación.

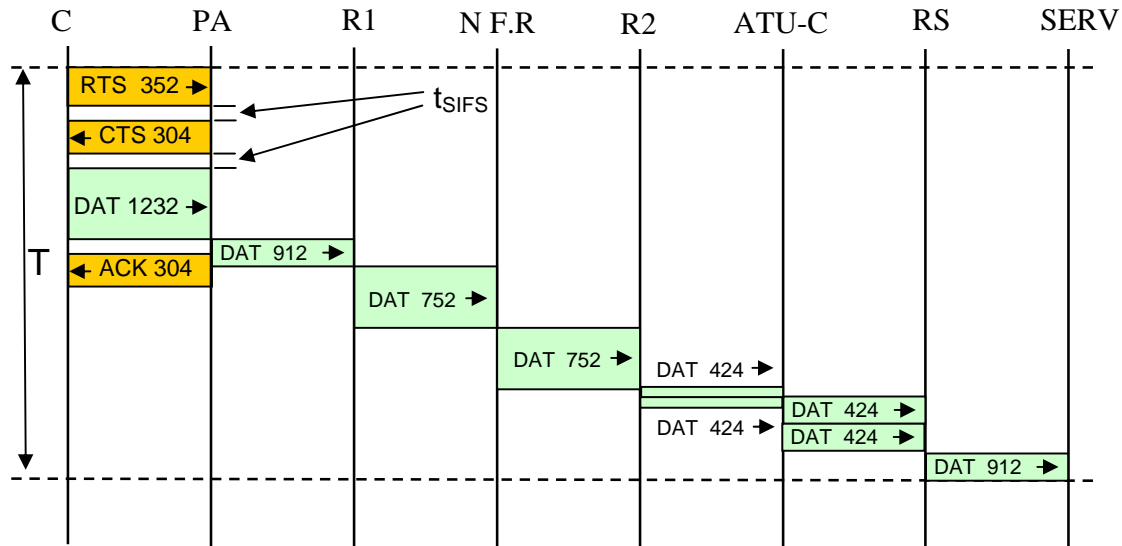
2.3) Dibuje un cronograma a nivel IP de la transferencia antes indicada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

Cronograma a nivel IP



En el nivel de aplicación se suman 20 de cabecera IP a los 68 de aplicación.
En el cronograma a este nivel aparecen los extremos (C y SERV) y los routers.

2.4) Dibuje un cronograma a nivel físico de la transferencia antes indicada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.



Aclaración de los números de bits que aparecen en el cronograma:

Tamaño de las tramas RTS = 20 oct (MAC) + 24 oct (físico) = 44 octetos. 352 bits

Tamaño de las tramas CTS = 14 oct (MAC) + 24 oct (físico) = 38 octetos. 304 bits

La trama de datos en la inalámbrica tiene el siguiente tamaño:

88 oct (IP) + 8 oct (LLC) + 34 oct (MAC) + 24 oct (físico) = 154 octetos. 1232 bits

En el punto de acceso se le quitan los físicos + MAC + LLC de la inalámbrica y se le suman 26 de la ethernet cableada:

La trama en la ethernet cableada es:

88 oct (IP) + 26 oct (MAC + físico) = 114 oct. 912 bits

En el router R1 se desencapsula ethernet y se encapsula en Frame Relay:

88 oct (IP) + 6 oct (Frame Relay núcleo) = 94 oct. 752 bits

El nodo Frame Relay transmite 752 bits igualmente.

El router R2 tiene a su izquierda Frame Relay y a su derecha ATM. Tendrá que adaptar:

En su capa IP:

$[88 \text{ oct (IP)} + 8 \text{ oct (AAL5)} + x \text{ oct (relleno)}] / 48 = 2 \text{ celdas justas. Relleno} = 0.$

Las celdas ATM son de 53 octetos a nivel físico. 424 bits.

Por último el router RS recombina las dos celdas ATM y las junta en una trama ethernet de:

88 oct (IP) + 26 oct (MAC + físico) = 114 oct. 912 bits

2.5 Calcule el tiempo total empleado en la transferencia, antes indicada. Justifique sus cálculos.

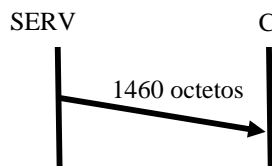
T = tiempo de transmisión de 1 trama RTS + tiempo de transmisión de 1 trama CTS + 2 tiempos cortos t_{SIFS} + 1 vez el tiempo de transmisión de una trama de 1232 bits a 11 Mbps + 1 vez el tiempo de transmisión de una trama de 912 bits a 100 Mbps + 2 veces el tiempo de transmisión de una trama de 752 bits a 2 Mbps + 1 vez el tiempo de transmisión de una celda de 424 bits a 622,08 Mbps + 2 veces el tiempo de transmisión de una celda de 424 bits a 1 Mbps + 1 vez el tiempo de transmisión de una trama de 912 bits a 100 Mbps =

$$\begin{aligned}
 &= 352 / 11 \cdot 10^6 + 304 / 11 \cdot 10^6 + 2 \cdot 10 \mu\text{sg} + \\
 &+ 1232 / 11 \cdot 10^6 + 912 / 100 \cdot 10^6 + 2 \cdot 752 / 2 \cdot 10^6 + \\
 &+ 424 / 622,08 \cdot 10^6 + 2 \cdot 424 / 1 \cdot 10^6 + \\
 &+ 912 / 100 \cdot 10^6 = 1810,55 \mu\text{sg}
 \end{aligned}$$

3) El servidor (SERV) devuelve una respuesta de 1460 octetos a nivel de aplicación hacia el cliente C, también sobre transporte TCP. Para facilitar la realización suponga que solo se considera un segmento de datos. No aparecen segmentos ACK.

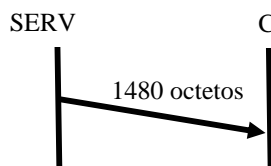
3.1) Dibuje un cronograma a nivel de aplicación de la transferencia antes enunciada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

Cronograma a nivel de Aplicación

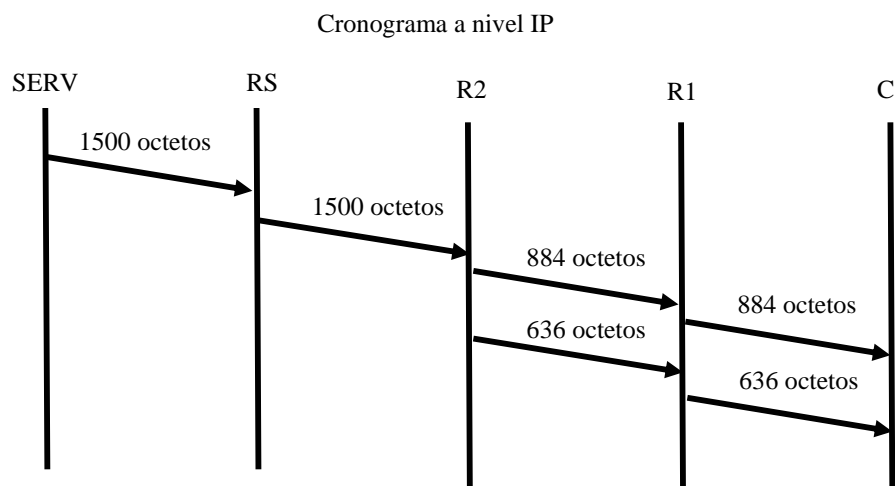


3.2) Dibuje un cronograma a nivel de transporte de la transferencia antes indicada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

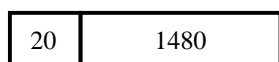
Cronograma a nivel de Transporte



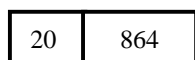
3.3) Dibuje un cronograma a nivel IP de la transferencia antes indicada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.



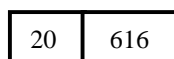
El router R2 recibe desde RS un datagrama IP de 1500 octetos, que ha de fragmentar porque la MTU de la Frame Relay es de 884 octetos. Se generan dos fragmentos:



Datagrama original



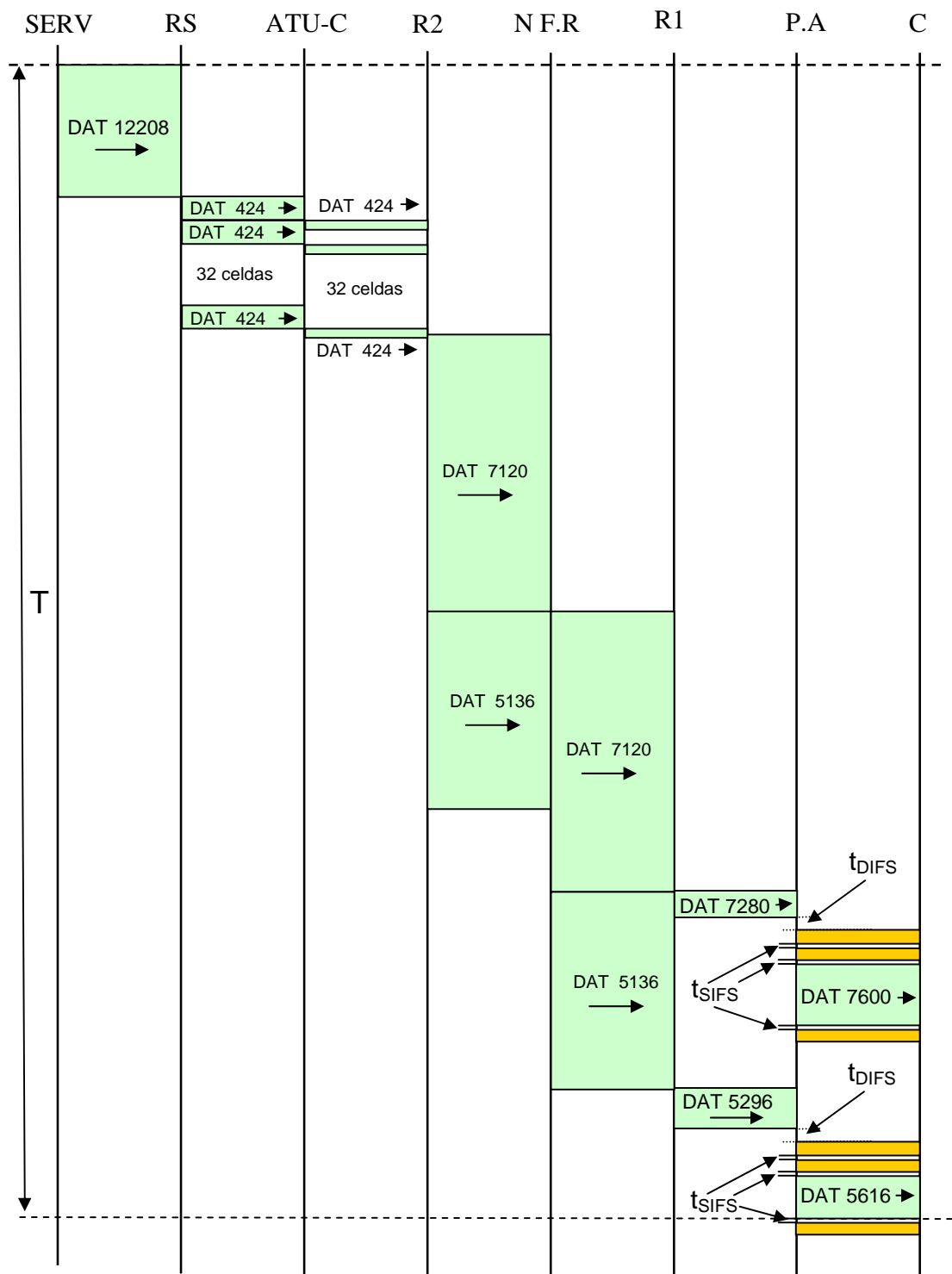
Primer fragmento, el área de datos es múltiplo de ocho



Segundo fragmento, contiene los octetos que restan

3.4) Dibuje un cronograma a nivel físico de la transferencia antes indicada. Indicando el tamaño de las unidades de datos intercambiadas.

A continuación se muestra el cronograma a nivel físico y su explicación.



Aclaración de los números de bits que aparecen en el cronograma:

El servidor transmite un segmento de 1460 octetos

$1460 \text{ (aplicación)} + 20 \text{ (transporte)} + 20 \text{ (IP)} = 1500 \text{ octetos}$

A nivel físico:

$1500 \text{ octetos} + 26 \text{ (MAC + físico ethernet)} = 1526 \text{ octetos. } 12208 \text{ bits}$

Estos 12208 bits llegan al router RS y son desencapsulados de ethernet y encapsulados en ATM con AAL5 para ADSL.

$[1500 \text{ (IP)} + 8 \text{ (AAL5)} + \text{relleno}] / 48 = 31,41 \text{ celdas} \rightarrow \text{salen } 32 \text{ celdas ATM de } 424 \text{ bits cada una.}$

Después de pasar por el ATU-C las celdas llegan a R2 cuya capa IP recibirá el datagrama de 1500 octetos. Como por el interfaz de red que tienen que salir hay Frame Relay, con una MTU = 884 octetos, ha de fragmentar. Se generan dos fragmentos que a nivel IP tienen: 884 octetos el primero y 636 octetos el segundo. Se fragmenta según se ha visto en el apartado 3.3 anterior.

Así que salen dos tramas Frame Relay:

$884 \text{ (IP)} + 6 \text{ (F.R)} = 890 \text{ octetos. } 7120 \text{ bits}$

$636 \text{ (IP)} + 6 \text{ (F.R)} = 642 \text{ octetos. } 5136 \text{ bits}$

Al llegar al router R1 se desencapsulan de Frame Relay y se encapsulan en ethernet:

$884 \text{ (IP)} + 26 \text{ (MAC+Físico ethernet)} = 910 \text{ octetos. } 7280 \text{ bits}$

$636 \text{ (IP)} + 26 \text{ (MAC+Físico ethernet)} = 662 \text{ octetos. } 5296 \text{ bits}$

Desde el punto de acceso se han de transmitir a C, para lo cual se desencapsulan de ethernet y se encapsulan en LLC + MAC (802.11b) + Físico .

$884 \text{ (ip)} + 8 \text{ (LLC+SNAP)} + 34 \text{ (MAC 802.11b)} + 24 \text{ (Físico 802.11b)} = 950 \text{ octetos.}$

Que son 7600 bits

$636 \text{ (IP)} + 8 \text{ (LLC+SNAP)} + 34 \text{ (MAC 802.11b)} + 24 \text{ (Físico 802.11b)} = 702 \text{ octetos.}$

Que son 5616 bits

Tamaño de las tramas RTS = $20 \text{ oct (MAC)} + 24 \text{ oct (físico)} = 44 \text{ octetos. } 352 \text{ bits}$

Tamaño de las tramas CTS = $14 \text{ oct (MAC)} + 24 \text{ oct (físico)} = 38 \text{ octetos. } 304 \text{ bits}$

Para transmitir la primera trama al aire hay que esperar un tiempo DIFS y luego seguir el protocolo RTS, CTS, DATOS y ACK, con un tiempo SIFS entre ellos. Como se ve en el dibujo del cronograma, a escala aproximadamente, la suma de todos los tiempos es mucho menor que la transmisión de la trama de 5112 bits entre el nodo Frame Relay y el router R1, así que este tiempo quedará solapado.

Hay que esperar que llegue la segunda trama al punto de acceso para poder repetir el protocolo y transmitirla.

3.5 (Calcule el tiempo total empleado en la transferencia, antes indicada. Justifique sus cálculos.

T = tiempo de transmisión de 1 trama de 12208 bits a 100 Mbps + 32 veces el tiempo de transmisión de una celda ATM de 424 bits a 320 Kbps + 1 vez el tiempo de transmisión de una celda de 424 bits por el STM-4 a 622,28 Mbps + 2 veces el tiempo de transmisión de una trama de 7120 bits por Frame Relay a 2 Mbps + 1 vez el tiempo de transmisión de una trama de 5136 bits por Frame Relay a 2 Mbps + 1 vez el tiempo de transmisión de una trama de 5296 bits por la ethernet a 100 MBps + 1 vez el tiempo T_{DIFS} + 1 vez el tiempo de transmisión de una trama RTS a 11 Mbps + 1 tiempo T_{SIFS} + 1 vez el tiempo de transmisión de una trama CTS a 11 Mbps + 1 tiempo T_{SIFS} + 1 vez el tiempo de transmisión de una trama de 5616 bits a 11 Mbps =

$$\begin{aligned}
 &= 12208 / 100 \cdot 10^6 + 32 \cdot 424 / 320 \cdot 10^3 + 424 / 628,28 \cdot 10^6 + \\
 &+ 2 \cdot 7120 / 2 \cdot 10^6 + 5136 / 2 \cdot 10^6 + 5296 / 100 \cdot 10^6 + \\
 &+ 50 \mu\text{sg} + 352 / 11 \cdot 10^6 + 10 \mu\text{sg} + 304 / 11 \cdot 10^6 + \\
 &+ 10 \mu\text{sg} + 5616 / 11 \cdot 10^6 = 52903,88 \mu\text{sg}
 \end{aligned}$$

ooooooooooooOOOOOOOOOOOOoooooooooooo