



Universidad
de Alcalá

Arquitectura de Redes

Problemas propuestos (y algunos resueltos)

Raúl Durán Díaz

Departamento de Automática
Universidad de Alcalá

ALCALÁ DE HENARES, ESPAÑA

Raúl Durán Díaz
Departamento de Automática
Universidad de Alcalá
E-28871 Alcalá de Henares, España
raul.duran@uah.es

Revisión: 1.18

Fecha: 16 de diciembre de 2022

Nota: El autor no está en condiciones de garantizar que las soluciones presentadas sean correctas en todos los casos y agradece que se le comunique a su correo electrónico cualquier fallo encontrado. Si, además, se le adjunta la solución buena... ¡mucho mejor!

Capítulo 3

La capa de transporte

1. Calcular la *suma de comprobación* de las siguientes parejas de bytes (suponer que el ancho de palabra es 8 bits).
 - a) $a = 01011100, b = 01010110$.
 - b) $a = 11011010, b = 00110110$.
2. En un protocolo de parada y espera, sea T_t el tiempo de transmisión esperado para enviar un paquete, sea T_f el tiempo de procesamiento, y T_p el tiempo de propagación (el mismo para la ida y la vuelta).
 - a) ¿Cuál será el tiempo esperado T , entre dos transmisiones sucesivas de paquetes, suponiendo que no hay otros retardos?
 - b) Sea p_t la probabilidad de que se produzca un error en un paquete de datos, y sea p_r la probabilidad de que se produzca un error en un paquete de reconocimiento. ¿Cuál será la probabilidad, q , de que se transmita correctamente un paquete y sea reconocido?
 - c) Demostrar que el número esperado de veces que un paquete ha de ser retransmitido, E , vale precisamente $1/q$.
 - d) Combinar los resultados anteriores para obtener el tiempo requerido esperado para cada paquete. Aplicarlo al caso $T_t = 1, T_f = T_p = 0,1$, y $p_t = p_r = 10^{-3}$.
3. Se desea transferir un archivo de L bytes, desde el host A al B . Supongamos que el MSS (cantidad máxima de datos de la capa de aplicación) vale 536 bytes.
 - a) ¿Cuál es el valor mínimo de L que provoca la repetición de los números de secuencia? Recuerde que el campo de número de secuencia es de 4 bytes.
Solución: La secuencia se agota con el tamaño del campo, es decir, 2^{32} bytes. Es independiente de L .
 - b) Si las restantes capas añade un total de 66 bytes a los datos de aplicación, ¿cuál será el mínimo tiempo que tardará en transmitirse todo el fichero a través de una interfaz de 155 Mb/s, suponiendo que se pueden transmitir

todos los paquetes seguidos, sin esperar los reconocimientos? Suponer que L toma el valor máximo posible según el apartado anterior.

Solución: Para un máximo aprovechamiento de la conexión, conviene usar la máxima carga de pago en cada paquete, es decir, MSS. Por lo tanto, el tamaño máximo de cada paquete será $536 + 66$ bytes y se necesitará transmitir $\lceil L/MSS \rceil$ de ellos. Si se pueden transmitir todos los paquetes seguidos, sin esperas, tendremos,

$$t = \frac{\lceil L/MSS \rceil \times (MSS + 66) \times 8}{155 \times 10^6} \text{ segundos.}$$

Para $L = 2^{32}$ bytes,

$$t = \frac{\lceil 2^{32}/536 \rceil \times (536 + 66) \times 8}{155 \times 10^6} = 248,97 \text{ segundos.}$$

4. Sea un protocolo de tipo GBN. La ventana del emisor tiene un tamaño N y el rango de números posibles para la secuencia es R , con $N \ll R$. En un instante dado, t , el receptor está esperando que llegue el paquete con número de secuencia S . Suponemos que el medio transmisor no puede reordenar los mensajes.
 - a) ¿Cuáles son los posibles rangos de valores para la ventana del emisor?
 - b) ¿Cuál es el rango de los valores posibles para el número de secuencia de los paquetes de reconocimiento que estén propagándose de vuelta al emisor en ese instante t ?
5. Si consideramos los protocolos GBN y SR, ya se vio que podía haber problemas cuando el tamaño de la ventana era próximo al valor máximo posible para el número de secuencia. Demostrar cuál es el mínimo valor máximo del número de secuencia que evita tales problemas.
6. Tenemos un host emisor A y un receptor B . A envía 5 segmentos consecutivos a B de los cuales el segundo se pierde. Supóngase que el RTT es suficiente para que no se produzcan expiraciones en los temporizadores antes de que lleguen los paquetes de reconocimiento. Comparar el rendimiento de GBN, SR, y TCP.

Solución: Tratemos caso a caso.

a) Caso GBN.

A envía 9 segmentos en total. Primero van el 1, 2, 3, 4, 5; luego se reenvían 2, 3, 4 y 5.

B envía 8 reconocimientos: primero van 4 para el número de secuencia 1 y luego los correspondientes al 2, 3, 4, y 5.

b) Caso SR.

A envía 6 segmentos en total. Primero van el 1, 2, 3, 4 y 5; luego se reenvía solamente el 2.

B envía 5 reconocimientos: los correspondientes a 1, 3, 4 y 5. Por fin llega el paquete 2 y se envía su reconocimiento.

c) Caso TCP.

Como antes, A envía 6 segmentos en total. Primero van el 1, 2, 3, 4 y 5; luego se reenvía solamente el 2.

B envía 5 reconocimientos: primero van 4 con número de reconocimiento 2 (el valor del paquete esperado). Por último, un solo paquete con valor 6, que reconoce implícitamente los anteriores.

TCP resulta el protocolo más eficiente gracias a la *retransmisión adelantada*, que se dispara al recibir el tercer reconocimiento repetido.

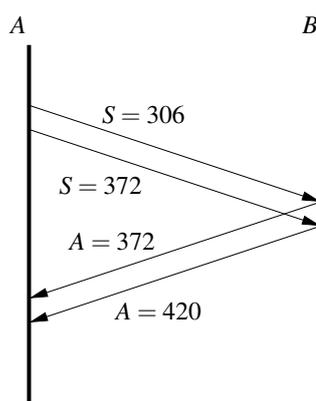
7. Supóngase una conexión entre los hosts A y B que utiliza el protocolo GBN con una ventana de tamaño fijo N , mediante la cual se quiere transmitir un fichero grande de tamaño F . El tamaño máximo de los paquetes es MSS . Supóngase que la velocidad de transmisión es R , que el retardo de propagación entre A y B es constante y de valor t_p , y que estamos en un escenario sin pérdida ni reordenación de paquetes. Por último, supongamos también que el retardo de transmisión del paquete de reconocimiento es despreciable.

En estas condiciones, se pide dar una expresión para la velocidad máxima de transmisión del fichero y el tiempo que tardará en transmitirse a esa velocidad, en función de los parámetros citados.

8. Supóngase que el host A está enviando datos al host B a través de una conexión TCP. Supóngase que B ya ha recibido y reconocido hasta, e incluyendo, el byte 305 de la conexión, y que dicho reconocimiento ha sido recibido correctamente por A . Los puertos de origen y destino de la conexión son 5502 y 80. En esas condiciones, A envía dos segmentos seguidos a B , de tamaños 66 y 48 bytes respectivamente.

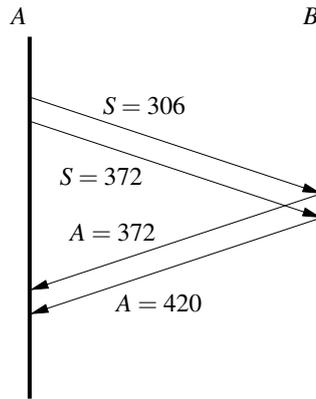
- a) En el segundo segmento que A envía, ¿qué valores tienen el puerto origen, el puerto destino, y el número de secuencia?

Solución: 5502, 80, 372.



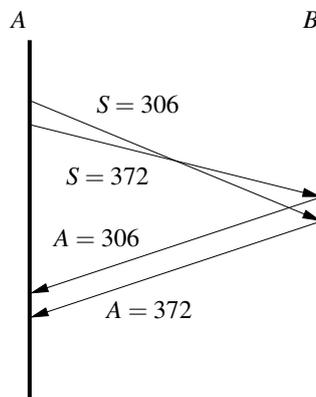
- b) Si los dos segmentos llegan a B en orden, ¿cuáles serán los valores de puerto origen, puerto destino, y número de reconocimiento en el segmento de reconocimiento correspondiente al segundo segmento recibido en B ?

Solución: 80, 5502, 420.



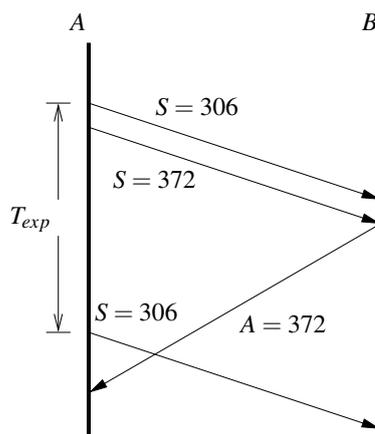
- c) Si los dos segmentos llegan a B en desorden, esto es, el segundo antes que el primero, ¿cuáles serán los valores de puerto origen, puerto destino, y número de reconocimiento en el segmento de reconocimiento correspondiente al primer segmento recibido en B ?

Solución: 80, 5502, 306.



- d) Supongamos que los segmentos llegan a B en orden y B manda los correspondientes reconocimientos; supongamos que el primer reconocimiento se pierde y cuando el segundo llega, el temporizador de A ya hace tiempo que ha expirado. ¿Qué valor tendrá el número de secuencia en el segmento o segmentos generados por A , tras el evento de la expiración?

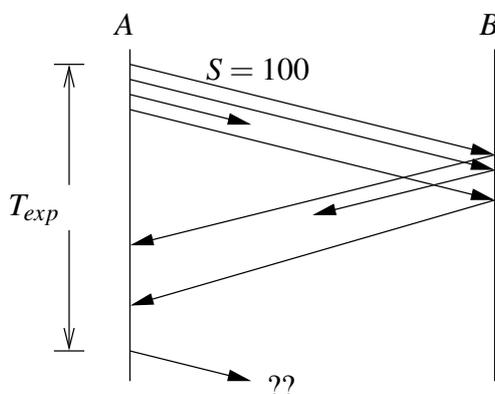
Solución: 306.



9. Supóngase que el host A está enviando datos al host B a través de una conexión TCP; que B ya ha recibido y reconocido hasta, e incluyendo, el byte 128 de esa conexión, y que dicho reconocimiento ha sido recibido correctamente por A . Por su parte, A ha recibido y reconocido datos recibidos de B hasta, e incluyendo, el byte 2050. En esas condiciones, A envía dos segmentos seguidos a B , ambos de tamaño 3 bytes. B contesta con sendos segmentos de reconocimiento, en donde agrega 325 y 201 bytes de datos, respectivamente. A devuelve a B el reconocimiento a dichos segmentos.

- Dibujar un esquema que refleje el tráfico de segmentos descrito arriba entre A y B , señalando para cada segmentos cuál es el valor de los campos de número de secuencia y número de reconocimiento.
- Si se pierde el primero de los reconocimientos que B envía a A , ¿qué acciones tomará A cuando expire el temporizador? Supóngase que la expiración es posterior a todo el tráfico descrito.
- Si $RTT = 2$ milisegundos, ¿qué velocidad de transferencia ve cada emisor, A y B ? Supóngase despreciable el retardo de transmisión.

10. Supóngase que la conexión TCP entre los nodos A y B de la figura necesita transmitir 4 segmentos, todos ellos con 4 bytes de datos. El número de secuencia del primer segmento es $S = 100$.



- a) Escribir los números de secuencia y reconocimiento del resto de segmentos.
- b) Cuando expire el temporizador, ¿cuántos segmentos enviará *A* (si es que manda alguno) y cuáles serán sus números de secuencia? Razonar la respuesta.

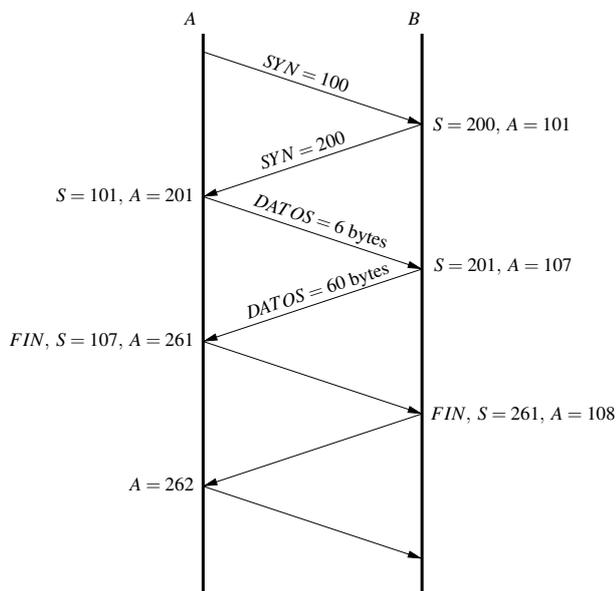
11. Un cliente *A* establece una conexión TCP con *B* para enviarle un mensaje de 1 byte. *A* elige aleatoriamente como número de secuencia inicial el valor 100, mientras que *B* elige 200. Después de enviado el mensaje, *A* cierra la conexión, a lo que *B* contesta cerrándola también.

Se pide dibujar todo el intercambio de segmentos entre *A* y *B*, incluyendo los de inicio y cierre de la conexión, expresando en cada uno el valor del número de secuencia y de reconocimiento cuando sea el caso.

12. Un cliente *A* establece una conexión TCP con *B* para enviarle un mensaje de su protocolo de aplicación, con tamaño 6 bytes. *A* elige aleatoriamente como número de secuencia inicial el valor 100, mientras que *B* elige 200. Después de enviado el mensaje, *B* contesta devolviendo un mensaje con la información solicitada por *A*, con tamaño 60 bytes. Recibido ese mensaje, *A* cierra la conexión, a lo que *B* contesta cerrándola también.

Se pide dibujar todo el intercambio de segmentos entre *A* y *B*, incluyendo los de inicio y cierre de la conexión, expresando en cada uno el valor del número de secuencia y de reconocimiento cuando sea el caso.

Solución: La secuencia es como sigue:



Obsérvese que hemos supuesto un cierre “abreviado” en solo tres pasos.

13. Supongamos que se inicia una conexión TCP en un enlace que tiene una velocidad de *R* bytes por segundo y el emisor quiere transferir una cantidad de datos

de $15 \cdot MSS$ donde MSS es el tamaño máximo de segmento en bytes. El tiempo de ida y vuelta es constante e igual a RTT segundos. Ignoramos los paquetes iniciales de establecimiento de la conexión y suponemos que la conexión opera todo el tiempo en modo arranque lento, sin pérdida ni reordenación de paquetes. Calcular cuánto tiempo tardarán en transferirse los datos en función de MSS , RTT , y R en los siguientes supuestos:

- a) $4 \cdot MSS/R > MSS/R + RTT > 2 \cdot MSS/R$.
- b) $MSS/R + RTT > 4 \cdot MSS/R$.
- c) $MSS/R > RTT$.

Suponer también que el tamaño de los paquetes de reconocimiento es despreciable.

14. Expresar el término RTT_E en función puramente de los RTT_M muestreados para hacer patente que se trata de una media móvil exponencialmente decreciente.

Solución: Para facilitar la notación, sean E_i y S_i los valores estimado y muestreado, respectivamente, en el paso i . Podemos escribir:

$$\begin{aligned}
 E_1 &= S_1, \\
 E_2 &= \alpha S_2 + (1 - \alpha)E_1 = \alpha S_2 + (1 - \alpha)S_1, \\
 E_3 &= \alpha S_3 + (1 - \alpha)E_2 = \alpha \{S_3 + (1 - \alpha)S_2\} + (1 - \alpha)^2 S_1, \\
 E_4 &= \alpha S_4 + (1 - \alpha)E_3 = \alpha \{S_4 + (1 - \alpha)S_3 + (1 - \alpha)^2 S_2\} + (1 - \alpha)^3 S_1, \\
 &\vdots \\
 E_n &= (1 - \alpha)^{n-1} S_1 + \alpha \sum_{j=0}^{n-2} (1 - \alpha)^j S_{n-j},
 \end{aligned}$$

con lo que se ve que la contribución de las muestras más antiguas se va decreciendo exponencialmente (recuérdese que $\alpha < 1$).

15. Supóngase que se está enviando un archivo de gran tamaño desde el host A al B mediante una conexión TCP y que el algoritmo de control de congestión se halla en el estado de *evitación de congestión*, es decir, en régimen permanente. Supóngase también que no hay pérdidas de paquetes.
 - a) Si la duración de cada ciclo es RTT segundos, como habitualmente, ¿cuánto tiempo tardará la ventana de congestión en pasar de un tamaño de 3 MSS a 24 MSS?
 - b) ¿Cuál ha sido la velocidad de transferencia promedio, en función de RTT y MSS durante tal espacio de tiempo?
16. El host A está enviando datos al host B a través de una conexión TCP y la ventana de congestión se encuentra en el estado *evitación de congestión*, esto es, en régimen permanente. Supóngase que el tamaño máximo de la ventana de congestión antes de que se produzca el evento del triple reconocimiento repetido es 60 segmentos. Se tiene que $RTT = 50$ ms y $MSS = 1460$ bytes.

a) ¿Cuál será la velocidad de transferencia de datos promedio alcanzada?

Solución: Para obtener la velocidad de transferencia promedio, necesitamos saber la cantidad de datos transmitida por unidad de tiempo. Pero en el estado de evitación de congestión, el tamaño de la ventana oscila entre un máximo (alcanzado en el momento del evento de pérdida) y su mitad. Por tanto, el número de segmentos, n_s , transmitidos por ciclo será:

$$n_s = \frac{W}{2} + \left(\frac{W}{2} + 1\right) + \left(\frac{W}{2} + 2\right) + \dots + W = \sum_{n=0}^{W/2} \left(\frac{W}{2} + n\right).$$

El número de ciclos será $W/2$. Por lo tanto:

$$v = \sum_{n=0}^{W/2} \left(\frac{W}{2} + n\right) \times \frac{MSS}{\frac{W}{2} \times RTT}.$$

En nuestro caso, $W = 60$, $RTT = 50$ ms y $MSS = 1460$ bytes. Sustituyendo,

$$v = (30 + 31 + \dots + 59 + 60) \times \frac{1460}{30 \times 50 \cdot 10^{-3}} \approx 1,36 \text{ MB/s.}$$

b) Si la interfaz de red es de 100 Mb/s y el resto de capas añaden un total de 66 bytes adicionales antes de lanzarlo a la red, ¿cuál será el porcentaje de uso de la interfaz de red?

Solución: La interfaz transmite en promedio $\frac{W+W/2}{2}$ paquetes en cada RTT , que en nuestro caso es

$$\frac{W + W/2}{2} = 45.$$

El tiempo de actividad es el que le toma transmitir ese número de paquetes, es decir,

$$F = \frac{45 \times (MSS + 66) \times 8}{100 \cdot 10^6} \approx 5,49 \text{ ms.}$$

Como el $RTT = 50$ ms, el porcentaje de uso de la interfaz será:

$$\% = \frac{F}{RTT} \approx \frac{5,49 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-3}} \times 100 = 10,98 \%.$$

17. Se ha enviado un fichero de 100 MB por medio de ftp desde un host A a uno B y se han necesitado 2,5 segundos. Se ha medido también el RTT promedio entre dichos hosts, que ha resultado ser de 3 ms. Como se trata de una red Ethernet, la MTU es de 1500 bytes. Además, el protocolo exige añadir cabeceras de tamaño 38 bytes al segmento de transporte. Suponiendo que la conexión ha operado todo el tiempo en modo *evitación de congestión*, contéstese a las siguientes cuestiones.

- a) ¿Cuál ha sido el tamaño medio (medido en segmentos) de la ventana de congestión?

Solución: La velocidad de transferencia, v se relaciona con el tamaño promedio de la ventana de congestión, \bar{W} , como

$$v = \bar{W} \cdot \frac{MSS}{RTT}.$$

Pero v , en función del tamaño del fichero transmitido, F , y el tiempo empleado, T , será

$$v = \frac{F}{T} = \frac{100 \cdot 10^6}{2,5} = 40 \cdot 10^6 \text{ bytes/s.}$$

Si consideramos solo los datos, descontando las cabeceras, que suponen 20 bytes para el TCP y 38 bytes para el resto de protocolos,

$$MSS = MTU - 38 - 20 = 1442 \text{ bytes.}$$

Reuniendo ambas ecuaciones

$$\bar{W} = v \cdot \frac{RTT}{MSS} = 40 \cdot 10^6 \frac{3 \cdot 10^{-3}}{1442} \approx 84 \text{ segmentos.}$$

- b) ¿Cuáles han sido los tamaños máximo y mínimo de dicha ventana?

Solución: Sabemos que

$$\bar{W} = \frac{3}{4} W_{\text{máx}},$$

de donde

$$W_{\text{máx}} = \frac{4}{3} \bar{W} = 112 \quad \Rightarrow \quad W_{\text{mín}} = \frac{W_{\text{máx}}}{2} = 56.$$

- c) ¿Cada cuánto tiempo se produce un evento de pérdida de paquete?

Solución: Puesto que el evento de pérdida de paquete se produce al llegar la ventana al tamaño máximo, momento en que pasa al tamaño mínimo, el ciclo tendrá una duración de

$$(W_{\text{máx}} - W_{\text{mín}}) \times RTT = 56 \times 3 \cdot 10^{-3} = 0,168 \text{ s.}$$

- d) ¿Cuántos paquetes se han transmitido en ese tiempo?

Solución: Durante ese tiempo se habrán transmitido

$$56 + 57 + \dots + 111 + 112 = \frac{168 \times 57}{2} = 4788 \text{ paquetes.}$$

18. Macroscópicamente, se puede considerar que según el algoritmo AIMD (aumento lineal, disminución exponencial), se va aumentando un MSS por cada RTT hasta llegar al «evento de pérdida», momento en que se divide por dos la ventana. Por tanto, se tiene una serie de ventanas de tamaño (medido en MSS) $W/2, W/2 + 1, W/2 + 2, \dots, W$. Si en todo ese ciclo solo se pierde un paquete (justo el último que provoca la disminución), se pide:

a) Demostrar que la fracción de paquetes perdidos, L , es igual a

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

Solución: La tasa de pérdidas es igual al número de paquetes perdidos dividido por el total de los transmitidos. Según el enunciado, se ha perdido uno. Respecto al número de los transmitidos, n_t , será la suma de los tamaños de todas las ventanas, es decir,

$$n_t = \frac{W}{2} + \left(\frac{W}{2} + 1\right) + \left(\frac{W}{2} + 2\right) + \dots + W = \sum_{n=0}^{W/2} \left(\frac{W}{2} + n\right).$$

El resultado de la suma es

$$n_t = \frac{3}{8}W^2 + \frac{3}{4}W,$$

de donde

$$L = \frac{1}{n_t} = \frac{1}{\frac{3}{8}W^2 + \frac{3}{4}W}. \quad (3.1)$$

b) Con el resultado anterior, demostrar que el velocidad de la conexión V es aproximadamente igual a

$$V \approx \frac{\sqrt{6}}{2} \frac{MSS}{RTT\sqrt{L}}.$$

Solución: La velocidad será el número de bytes en los paquetes transmitidos dividido por el tiempo que tomó transmitirlos:

- Si cada paquete transporta MSS bytes de carga útil, el total de bytes útiles transmitidos será $n_t \times MSS$.
- El tiempo total será RTT por el número de ciclos, que es $W/2$, por tanto, $W/2 \times RTT$.

Hagamos la cuenta:

$$V = \frac{2 \times n_t \times MSS}{W \times RTT}.$$

Pero de antes sabemos que $n_t = 1/L$, luego

$$V = \frac{2 \times MSS}{L \times W \times RTT}. \quad (3.2)$$

Ahora bien, si en la ecuación (3.1) despejamos W en función de L (tomando una aproximación), nos queda

$$L = \frac{1}{\frac{3}{8}W^2 + \frac{3}{4}W} \approx \frac{8}{3W^2} \Rightarrow W \approx \sqrt{\frac{8}{3L}}.$$

Sustituyendo en (3.2) el valor de W en función de L y haciendo cuentas, llegamos finalmente a

$$V \approx \frac{\sqrt{6}}{2} \frac{MSS}{RTT\sqrt{L}}.$$

- c) Aplicar el resultado anterior para calcular la velocidad de la conexión en el caso en que $MSS = 536$ bytes, $RTT = 10^{-3}$ segundos y la fracción de paquetes perdidos es 10^{-6} .

Solución: Por aplicación directa de la fórmula, se tiene

$$V \approx \frac{\sqrt{6}}{2} \frac{MSS}{RTT\sqrt{L}} = \frac{\sqrt{6}}{2} \frac{536}{10^{-3}\sqrt{10^{-6}}} = 656,46 \text{ MB/s.}$$

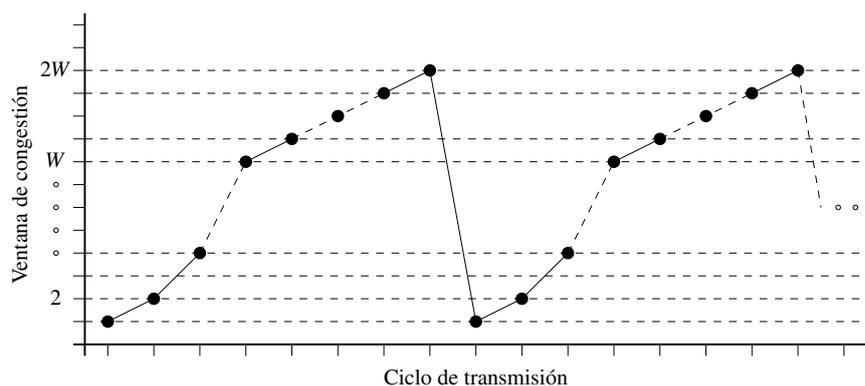
19. Supóngase una conexión entre los hosts A y B que opera utilizando TCP Tahoe (la versión antigua) para el control de congestión, de modo que solo hay dos estados, el *arranque lento* y la *elusión de congestión*. En la figura se representan, a modo de ejemplo, dos copias de un periodo que suponemos constantemente repetido.

Supongamos una situación estacionaria, en que el evento de pérdidas se produce siempre cuando la ventana de congestión alcanza el valor $2W$ y el valor de la variable umbral permanece invariable en el valor W (suponer que W es una potencia de 2).

Los segmentos tienen todos una longitud de MSS bytes y cada ciclo tiene una duración de RTT segundos.

En estas condiciones:

- Dar una expresión para la velocidad promedio de transmisión.
- ¿Cuál es el porcentaje mínimo de pérdidas?
- Comparar la velocidad obtenida en el apartado anterior con la que habríamos obtenido de haber usado TCP Reno (la versión moderna) funcionando en régimen estacionario, en *elusión de congestión*, con el mismo valor W de antes para la variable umbral.



20. Dos nodos, A y B , han establecido una conexión TCP para transportar una sesión telnet. Pasado cierto tiempo, A ha recibido y reconocido de B hasta, e incluyendo, el byte 2255, mientras que B ha recibido de A hasta, e incluyendo, el byte 3557.

Supongamos que el mecanógrafo teclea a una velocidad de 300 pulsaciones por minuto, el valor de $RTT = 500$ ms y el algoritmo de Nagle está activado.

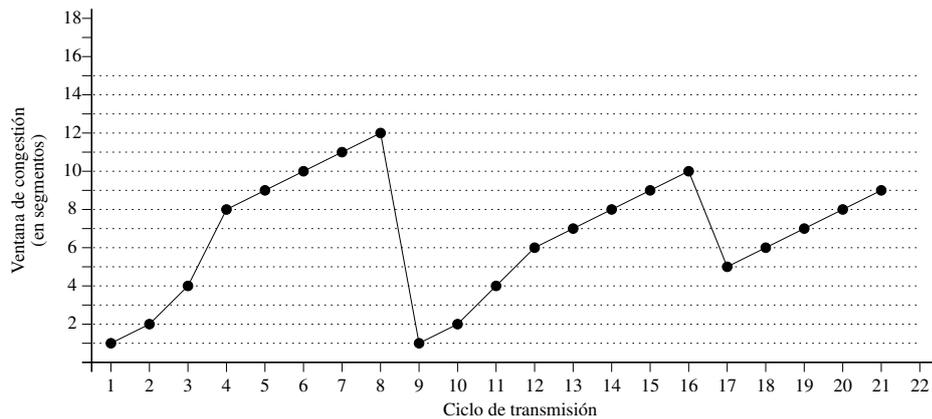
En estas condiciones, el mecanógrafo teclea en *A* el comando «ls tmp». Dibujar todo el intercambio de segmentos entre *A* y *B*, especificando números de secuencia, números de reconocimiento, número de bytes transportados y qué bytes viajan en cada segmento. Supóngase que no hay pérdidas ni reordenaciones de segmentos.

21. Supóngase que un host *A* inicia una conexión TCP con *B*. Se asume que el valor inicial de la variable *umbral* es 8 segmentos y que se usa TCP Reno.

Se pide dibujar el diagrama que represente el tamaño que va tomando el valor de la ventana de congestión hasta el ciclo 22 suponiendo que se verifican los siguientes eventos:

- La conexión comienza en modo *arranque lento*.
- Se produce un evento de pérdida de paquete en el ciclo 8.
- Se produce un evento de triple reconocimiento repetido en el ciclo 16.

Solución: A continuación se muestra el diagrama pedido:



22. Demostrar que mediante el algoritmo de elusión de congestión, se produce la igualación de velocidades en dos conexiones que compartan el mismo canal, de ancho de banda *R*.

Bibliografía

Básica

- James F. Kurose, Keith W. Ross. *Redes de computadoras: un enfoque descendente*. 7ª edición. Pearson Educación, Madrid, 2017.

Complementaria

- Andrew S. Tanenbaum. *Redes de computadoras*. 4ª edición traducida. Prentice Hall, 2003.
- William Stallings. *Comunicaciones y Redes de Computadores*. 7ª edición traducida. Prentice Hall, 2004.
- Dimitri P. Bertsekas, Robert G. Gallager. *Data Networks*. Second edition. Prentice Hall, 1992.
- F. Halsall. *Redes de computadoras e Internet*. 5ª edición traducida. Pearson Educación, 2006.
- James F. Kurose, Keith W. Ross. *Computer networking: a top-down approach*. Seventh edition. Pearson Education, 2017.
- Andrew S. Tanenbaum. *Computer networks*. Fifth edition. Prentice Hall, 2011.
- William Stallings. *Data and Computer Communications*. Ninth edition. Prentice Hall, 2010.
- W. Richard Stevens. *TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols*. First edition. Addison-Wesley, 1994.
- W. Richard Stevens, Bill Fenner, Andrew M. Rudoff. *UNIX network programming, Volume 1: The Sockets Networking API*. Third edition. Addison-Wesley, 2004.
- W. Richard Stevens. *UNIX network programming, Volume 1: Networking APIs sockets and XTI*. Second edition. Prentice Hall, 1998.
- Francisco Manuel Márquez García. *UNIX programación avanzada*. 3ª edición. Ra-Ma, 2004.
- Paul Deitel, Harvey M. Deitel. *C: how to program*. Sixth edition. Prentice Hall, 2009.