



## Tema 1 - Introducción Hoja de problemas

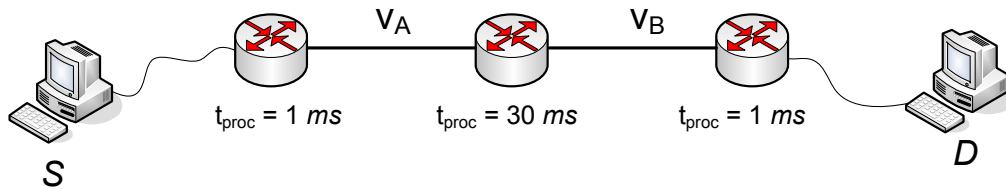
**Problema 1.** Para una red JDP en su jerarquía primaria de 30+2, determinar el cociente  $(S/N)_{\text{ley-A}}/(S/N)_{\text{lineal}}$  en todo el margen dinámico del cuantificador. Para ello evalúese el citado cociente en cada segmento de la ley-A, teniendo en cuenta que la relación  $S/N$  es proporcional al cuadrado del número de niveles cuando estos se encuentran equiespaciados. Finalmente efectúese el promedio de los cocientes, teniendo en cuenta que la función de densidad de probabilidad de la tensión instantánea de la señal vocal es exponencial (par) y que su varianza es  $2\tau^2$ . Supóngase además que el margen dinámico de los cuantificadores  $(-V, +V)$  es igual a  $20\tau$ .

**Problema 2.** Considerar los siguientes parámetros de una red de conmutación:

- $N$ : número de saltos entre dos estaciones  $A$  y  $B$ .
  - $L$ : longitud total del mensaje en bits.
  - $B$ : velocidad en bps de todos los enlaces.
  - $P$ : tamaño del paquete en bits.
  - $H$ : número de bits de la cabecera.
  - $S$ : suma de los tiempos de establecimiento de la conexión previa a la transmisión (en modo conmutación de circuitos) y de liberación de esta conexión.
  - $D$ : retardo de propagación para cada enlace en segundos.
- (a) Obtener una expresión del retardo total ocasionado al enviar un mensaje de  $A$  a  $B$  sobre una red de conmutación de circuitos y sobre una alternativa de conmutación de paquetes (datagrama). Determinar en qué condiciones el retardo en ambas estrategias será menor en función de  $L$  y  $N$ . Considerar que el retardo de procesado en los nodos de conmutación es insignificante.
- (b) Calcular el valor de  $P$  en función de  $N$ ,  $L$  y  $H$  que minimice el valor del retardo total para una red de conmutación de paquetes.

**Problema 3.** En una red de conmutación de paquetes se ha encontrado que la longitud media de los mensajes ( $L$ ) es de 30 octetos y el número medio de nodos ( $N$ ) atravesados en un ruta es 2. Si el campo de cabecera ( $H$ ) es de 3 octetos, ¿cuál será la fragmentación óptima de los mensajes en esta red? Supóngase que todos los enlaces tienen igual capacidad de transmisión, siendo  $T$  el tiempo de transmisión de un octeto. Los retardos de propagación, procesado en los nodos y espera en colas de retransmisión se consideran despreciables.

**Problema 4.** Dada la red de conmutación de paquetes de la figura:



Si los paquetes que se transmiten tienen una longitud total de 256 bytes, cuál es la cadencia máxima de generación de paquetes entre  $S$  y  $D$  para las combinaciones de velocidades de transmisión de los enlaces que se indican en la tabla.

Supuesto	$V_A$ (kbps)	$V_B$ (kbps)
1	64	64
2	64	56
3	56	64
4	128	128

**Problema 5.** Una empresa dispone de diversas sucursales, cada una con un ordenador, y necesita actualizar, enviando a la central, la información almacenada en estos ordenadores. El volumen de datos que se transfiere desde una sucursal a la central en cada actualización es de 100 Kbytes.

Para disponer de este servicio, esta empresa se plantea la instalación de una red de datos que permita comunicar las sucursales con la central. Después de consultar a los posibles proveedores, se debe decidir entre dos opciones.

#### Opción A. Red de conmutación de circuitos

- Velocidad del circuito de 64 Kbps.
- Tiempo de establecimiento del circuito de 2 s.
- Tiempo de liberación del circuito de 1 s.
- Tiempo de propagación despreciable.

#### Opción B. Red de conmutación de paquetes

- Velocidad del enlace de acceso desde el terminal al nodo de conmutación de 64 Kbps.
- Los paquetes son de 256 bytes, formados por 20 bytes de cabecera y 236 bytes de datos de usuario.
- Tiempo de propagación despreciable.
- Tiempo de procesamiento del paquete despreciable.

Considerando que el sistema funciona correctamente sin congestión ni bloqueo, se pide responder las siguientes preguntas, razonando los parámetros que se eligen.

- (a) Calcular el tiempo necesario para transmitir, desde una sucursal a la central, la información a actualizar en cada una de las opciones.
- (b) Razonar cómo se podría modificar la peor de las opciones para conseguir mejorar el tiempo necesario para la actualización.

**Problema 6.** Una red de radioenlaces tiene las siguientes características:

- Número de nodos de conmutación  $N = 21$ .
- Velocidad de transmisión de cada enlace  $B = 64$  Kbps.
- Distancia promedio entre enlaces  $d = 30$  Km.

Se quiere enviar un mensaje de longitud  $L = 24000$  bits.

Calcular el tiempo total (desde que sale el primer bit del primer enlace hasta que es procesado el último bit en el último nodo de conmutación) suponiendo una funcionalidad:

- Conmutación de paquetes con encaminamiento datagrama, donde:
  - Longitud del paquete:  $P = 1024$  bits.
  - Cabecera:  $H_{dt} = 64$  bits.
  - Tiempo de procesado en cada nodo de conmutación:  $T_{pdt} = 20$  ms.
- Conmutación de paquetes con encaminamiento por circuito virtual, donde:
  - Longitud del paquete:  $P = 1024$  bits.
  - Cabecera:  $H_{cv} = 24$  bits.
  - Tiempo de procesado en cada nodo de conmutación:  $T_{pcv} = 10$  ms.
  - Tiempo de establecimiento de la conexión:  $S = 0.5$  s.

Suponer que en los dos casos los paquetes recorren el mismo camino, pasando por los  $N - 2$  nodos intermedios. Se asume además que no hay ningún tipo de error en la transmisión. La velocidad de propagación es  $v_{prop} = 200$  km/ms.

**Problema 7.** Se dispone de  $N = 10$  estaciones conectadas a una red de velocidad  $B = 1$  Mbps. Se quiere transferir un fichero de 55000 bytes de una estación a otra, separadas por una distancia eléctrica de  $D = 1$  Km.

El protocolo que se utiliza transmite la información en paquetes de  $P = 256$  bits, que incluyen cabeceras de  $H = 80$  bits, y espera un paquete de reconocimiento de 54 bits por cada paquete de información, antes de transmitir el siguiente.

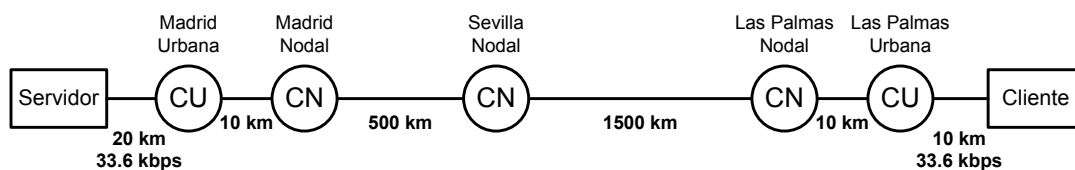
La velocidad de propagación de la señal en el medio es de  $200$  m/ $\mu$ s y el tiempo de procesado de los paquetes en las estaciones es despreciable. Considerar que no hay errores de transmisión ni colisiones.

Calcular el retardo total de transmisión del fichero y la velocidad efectiva (velocidad real a la que se transmite) si:

- (a) Se utiliza una red con topología eléctrica de tipo bus en la que todas las estaciones conectadas pueden acceder a los paquetes que se transmiten sin introducir retardos.
- (b) Se utiliza una red con topología eléctrica en anillo con una longitud eléctrica circular de  $2D$ , donde las estaciones están equidistantes. Los paquetes circulan en un único sentido por el anillo, pasando de estación en estación. Estas estaciones actúan como meros **repetidores**, introduciendo un retardo correspondiente a un bit (esto es, cada bit que entra en una estación sale de ella con un retardo entrada-salida igual a un tiempo de bit, no habiendo por lo tanto almacenamiento del paquete). Cuando la estación destino recibe un paquete, lo retransmite de nuevo al origen añadiendo el paquete de reconocimiento a continuación.

Considerar para el cálculo del retardo que la estación origen es la uno y la destino es la seis.

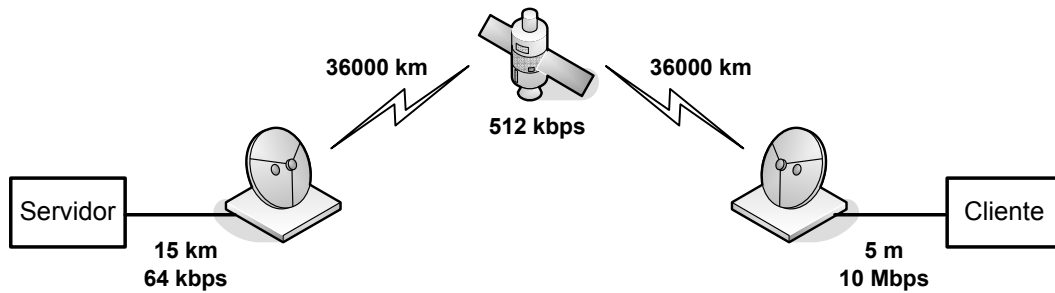
**Problema 8.** Una empresa establecida en las inmediaciones de Madrid se dedica a la difusión de información bursátil. Para ello su servidor transmite constantemente cotizaciones. Cada cotización se envía en un paquete de 100 bytes. Se considera prioritario que estos mensajes se entreguen con el menor retardo posible. Uno de los clientes de esta empresa se encuentra en Las Palmas de Gran Canaria.



Para darle servicio se utiliza la Red Telefónica Conmutada y modems de 33.6 Kbps, resultando la topología de la figura de arriba. Los enlaces entre centrales son multiplex TDM. Cada día se establece el circuito telefónico y se mantiene durante toda la jornada laboral.

- (a) Calcular el retardo medio que tarda en llegar una cotización al cliente (desde la salida del primer bit del servidor hasta la llegada del último al cliente). (*Suponer que la velocidad de propagación es  $v_{prop} = 200 \text{ km/ms}$* ).

Se va a estudiar una opción alternativa basada en una red VSAT de conmutación de paquetes. En esta solución la empresa se conecta directamente al HUB de la red mediante una línea de 64 Kbps. En Las Palmas se instala un nodo VSAT junto al host el cliente y se conectan entre sí a 10 Mbps. La topología queda representada en la figura.



En esta configuración debe considerarse que en el HUB hay un tiempo medio de espera en cola de  $10\text{ ms}$  (no incluye el tiempo de transmisión). Los enlaces con el satélite son de  $512\text{ Kbps}$ . Suponer, además, que el tiempo de procesado en el satélite y en el VSAT de Las Palmas es despreciable.

- (b) Repetir el apartado (a) para este caso, teniendo en cuenta que la velocidad de propagación en el enlace por satélite es la velocidad de la luz ( $c = 300\text{ km/ms}$ ).

**Problema 9.** Un host conectado a una red de conmutación de paquetes desea transmitir un mensaje a otro host conectado a la misma red. Los paquetes generados por el transmisor pasan por 2 nodos intermedios (routers) que están conectados entre sí por una línea de  $2048\text{ Kbps}$  y  $3\text{ Km}$  de longitud. Los enlaces de abonado son digitales a  $64\text{ Kbps}$  y de  $3\text{ Km}$  de longitud.

El software de comunicaciones se estructura según la arquitectura OSI. La *Service Data Unit* (SDU) del servicio del Nivel de Presentación es de  $900$  octetos de longitud. Las *Protocol Data Unit* (PDU) de cada nivel, excepto el Físico, añaden una sobrecarga de  $20$  octetos a su correspondiente SDU.

El mensaje que se desea transmitir usando el servicio del Nivel de Presentación es de  $2700$  bytes. La velocidad de propagación de los medios físicos es de  $200000\text{ Km/s}$ .

Sabiendo que:

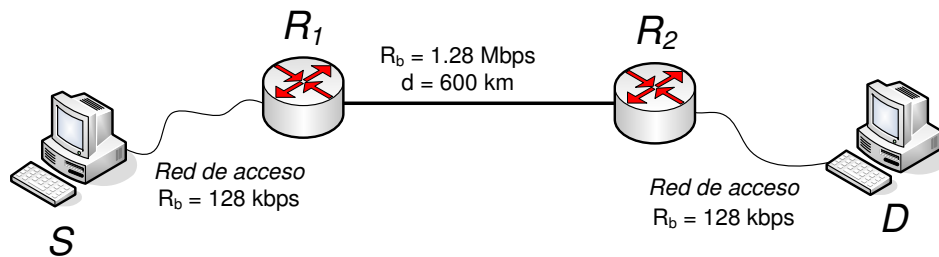
- Toda la arquitectura de red trabaja en modo no orientado a la conexión.
- El nivel de enlace de los hosts y de los routers emplea un protocolo de ‘parada y espera’; es decir, se transmite un paquete después de recibir el asentimiento del anterior.
- La PDU de asentimiento (ACK) del Nivel de Enlace es de  $50$  octetos de longitud.
- La tasa de error de bit que ofrece el Nivel Físico es despreciable.
- La carga de la red es tal que la longitud de las colas en los nodos intermedios es despreciable.

Se pide:

- (a) Calcular la longitud de las SDUs del Nivel de Enlace y el número de ellas que se necesitan para enviar el mensaje.

- (b) Calcular el tiempo entre la transmisión de dos PDUs de Nivel de Enlace consecutivas en el enlace de abonado. Este tiempo es el que transcurre desde que se comienza a transmitir el primer bit de una PDU hasta que se comienza a transmitir el primero de la siguiente.
- (c) Calcular el retardo del mensaje entre dos hosts (desde que se empieza a transmitir en un host hasta que se recibe completamente en el otro).

**Problema 10.** Se considera la red de la figura:



En las secciones de acceso se cuenta con líneas de capacidad 128 kbps y, dado que la distancia con el nodo de red es reducida, el tiempo de propagación puede considerarse despreciable. Por su parte, la línea que une  $R_1$  y  $R_2$  ( $L$ ) tiene una capacidad de 1.28 Mbps, con una longitud de 600 km. El tamaño máximo de paquete que se puede transmitir (incluyendo todas las cabeceras) es de 800 Bytes.

- (a) Asumiendo que el tiempo de procesado en los nodos de red ( $R_1$  y  $R_2$ ) es de 6 ms y que el retardo de propagación en  $L$  es de  $5 \mu s/km$ , calcular el tiempo que se necesita para transmitir entre los dos terminales ( $S$  y  $D$ ) un paquete de tamaño máximo. *Nota: El procesado comienza tras recibirse completamente un paquete.*
- (b) Calcular el tiempo necesario para transmitir  $M$  paquetes de longitud máxima entre  $S$  y  $D$ , en función de  $M$ .

Se pretende transmitir un fichero entre  $S$  y  $D$ , con un tamaño total de 148000 Bytes. Teniendo en cuenta que las longitudes de las cabeceras que se emplean durante la comunicación tienen una longitud de 20 Bytes para cada uno de los tres niveles utilizados (transporte, red y MAC/PHY), se pide:

- (c) Calcular el tiempo necesario para transmitir el fichero completo.
- (d) Se decide emplear un protocolo para controlar el flujo al que se transmiten paquetes; para ello la aplicación en el receptor ( $D$ ), envía un reconocimiento ( $ACK$ ) de 4 Bytes tras recibir  $W$  paquetes consecutivos desde  $S$ , que no puede seguir generando paquetes hasta recibir dicho  $ACK$ . Calcular el tiempo necesario para enviar el fichero cuando  $W$  vale 1 y 4. Comentar los resultados, comparándolos con los del apartado anterior.

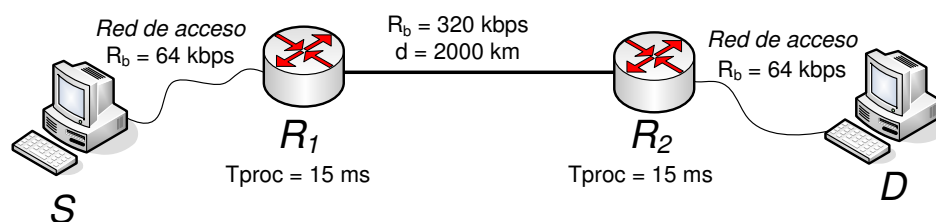
**Problema 11.** Se pretende enviar un fichero de 75000 Bytes entre dos estaciones  $S$  y  $D$ . La estación  $S$  está conectada al nodo  $R_1$ , a través de una línea de 128 kbps, mientras que  $D$  tiene una conexión de 64 kbps con el nodo  $R_2$ . Se supone, además, que entre  $R_1$  y  $R_2$  hay un enlace dedicado, con una capacidad de 640 kbps y una longitud de 1000 Km. El tamaño máximo del paquete que se puede transmitir sobre dicha configuración de red es de 800 Bytes, incluyendo los 50 Bytes de todas las cabeceras que hay que considerar. Teniendo en cuenta que los retardos de procesado en  $R_1$  y  $R_2$  son, en media, de 15 y 20 ms, respectivamente, y que el tiempo de propagación en las redes de acceso puede considerarse despreciable, se pide resolver, de manera justificada, los siguientes apartados.

- ¿Cuánto tiempo se necesita para transmitir un paquete de tamaño máximo entre las dos estaciones? ¿Cuál es la cadencia máxima a la que la fuente puede transmitir paquetes? (Suponer que la velocidad de propagación en el enlace entre  $R_1$  y  $R_2$  es de 200 km/ms).
- Calcular el tiempo que se necesita para transmitir, entre  $S$  y  $D$ ,  $M$  paquetes de tamaño máximo. Nota: El procesamiento de un paquete en los nodos comienza tras recibirse su último bit.
- Utilizar el resultado anterior para calcular el tiempo que se tardaría en transmitir el fichero.

Se decide emplear un protocolo para controlar el flujo al que se transmiten paquetes; para ello la aplicación en el receptor ( $D$ ), envía un reconocimiento ( $ACK$ ) de 50 Bytes (incluyendo las cabeceras de todas las capas) tras recibir  $W$  paquetes consecutivos desde  $S$ , que no puede seguir generando paquetes hasta recibir dicho  $ACK$ .

- Calcular el tiempo necesario para enviar el fichero cuando  $W$  vale 1 y 4. Comentar los resultados, comparándolos con los del apartado anterior.

**Problema 12.** Considérese la red de la figura.



- Suponiendo un tamaño de paquete de 400 Bytes y una velocidad de propagación de 200 km/ms, calcular el tiempo necesario para transmitir un paquete desde el transmisor al receptor, y la cadencia máxima de la fuente.

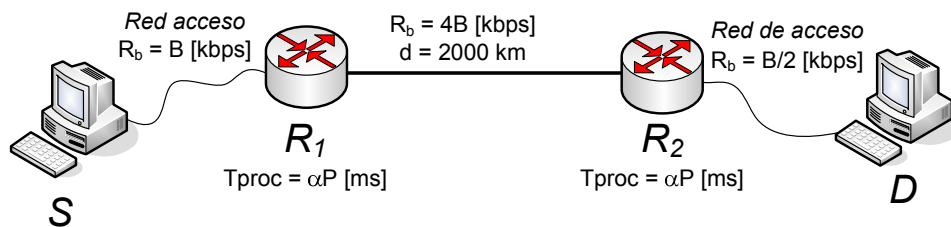
Repetir los cálculos del apartado (a) para los siguientes supuestos (sólo se modifica, respecto a la configuración inicial, lo que está indicado en cada caso).

- (b) La velocidad en la red de acceso del transmisor se incrementa hasta los 128 kbps.
- (c) El nodo  $R_2$  tiene que sustituirse temporalmente por un modelo más antiguo, y el tiempo de procesado se incrementa hasta los 65 ms.
- (d) El enlace entre  $R_1$  y  $R_2$  se sustituye por un circuito vía satélite, de una longitud total de  $2 \times 36000$  km (ida y vuelta). (Suponer que el satélite no procesa ni almacena los paquetes - **simplemente los 'reenvía'** - y que la velocidad de propagación es, en este caso, de  $v_{prop} = 300000$  km/s.)

Considerar para la **cadencia** el tiempo que hay entre los primeros bits de dos paquetes consecutivos en la fuente.

**Nota:** Suponer, en todos los apartados, que el retardo de propagación en las redes de acceso es despreciable.

**Problema 13.** Considérese la red de la figura.

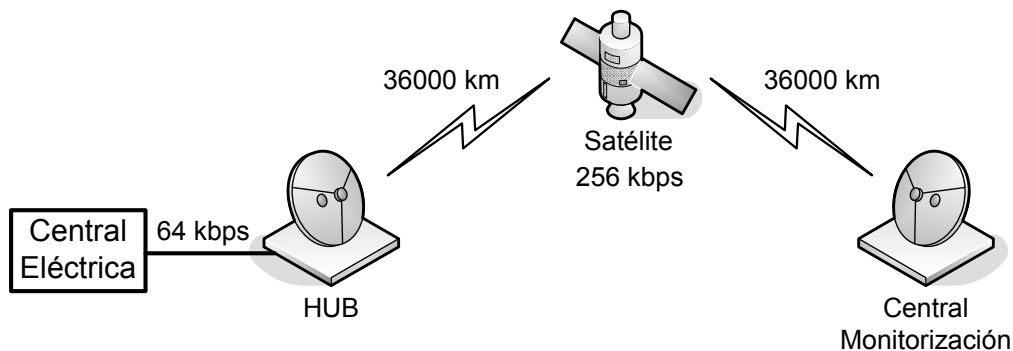


- (a) Teniendo en cuenta que el retardo de procesado en  $R_1$  y  $R_2$  depende linealmente de la longitud de paquete según un parámetro  $\alpha$ :  $(t_{proc})^{(R1)} = (t_{proc})^{(R2)} = \alpha P$ , se pide establecer el tamaño de paquete óptimo para enviar un mensaje de longitud  $L$ , sabiendo que es necesario emplear una cabecera de longitud  $H$ . **Nota:** Asumir que todas las unidades son coherentes (bits y milisegundos) y que el retardo de procesado es menor, en cualquier caso, que el tiempo de transmisión.
- (b) ¿Cuánto tiempo se tardará, con la configuración encontrada anteriormente, en enviar un mensaje de 100 Bytes, si  $B = 40$  kbps y  $\alpha = 2^{-6}$  ms/bit? Asumir que la velocidad de propagación es de 200 km/ms y que la cabecera tiene una longitud de 5 Bytes.
- (c) ¿Cuál es el valor máximo de  $\alpha$  para que el resultado anterior sea válido? Justificar la respuesta.

**Nota:** Suponer, en todos los apartados, que el retardo de propagación en las redes de acceso es despreciable.

**Problema 14.** Una compañía eléctrica tiene una central de monitorización en una zona poco poblada; pretendiendo reducir las intervenciones manuales en la misma, decide adquirir un equipo de actuación inteligente, que es capaz de reprogramarse a través de ficheros con una longitud de 53760 Bytes. Para hacérselos llegar, la empresa contrata una capacidad de 256 kbps a una compañía de comunicaciones por satélite. La conexión entre la sede central de la eléctrica y el *hub* se lleva a cabo a través de un canal de 64 kbps. La topología de la red empleada es la que se muestra en la figura.





El satélite actúa de mero **repetidor**, por lo que no procesa ni almacena los paquetes que le llegan, simplemente los reenvía, sin introducir ningún retraso adicional. Por su parte, el tiempo de procesado en el *hub* se puede considerar nulo. Se asume además que el retardo de propagación en la línea dedicada de 64 kbps es despreciable, y que la distancia con el satélite (geoestacionario) es de 36000 km (la velocidad de propagación es la de la luz en el vacío,  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s).

Como se hace uso de un enlace satelital, se emplea un protocolo de control de errores, de manera que el receptor (situado en la estación de monitorización) envía un reconocimiento (*ACK*) de 32 Bytes a la fuente cuando le llega un paquete correcto. Si la longitud de los paquetes que se transmiten es de 480 Bytes (incluyendo la cabecera de 32 Bytes), se pide responder las siguientes cuestiones.

- Calcular el tiempo necesario para transmitir un paquete desde el transmisor al receptor (*tener en cuenta el tiempo necesario para que el ACK llegue a la fuente*).
- ¿Cuánto tiempo será necesario para transmitir el fichero de configuración completo?

La empresa decide modificar el protocolo de control de errores, para que sólo se envíe la confirmación tras la recepción correcta de  $W$  paquetes. Así, la fuente envía  $W$  paquetes de manera consecutiva, y permanece a la espera hasta recibir el correspondiente *ACK*.

- Calcular el tiempo necesario para transmitir el fichero completo cuando  $W = 4$  y 8.

Para reducir aún más el tiempo necesario para transmitir el fichero, la empresa decide modificar la red. Se contrata un canal de 64 kbps adicional entre el *hub* y su sede, y se modifica la configuración del enlace por satélite, de manera que haya 192 kbps en el enlace hacia la central de monitorización y 64 kbps en el de vuelta. De esta manera, la *transmisión de los reconocimientos* se puede hacer de manera completamente *simultánea* con la de datos en todos los enlaces que forman parte de la red. El destino confirma todos los paquetes recibidos uno a uno (esto es, manda un *ACK* por cada paquete recibido), y la fuente puede tener hasta  $W$  paquetes pendientes de confirmar.

- ¿Cuánto tiempo sería necesario para transmitir el fichero cuando  $W = 2$ ?
- ¿Cuánto es el valor más pequeño de  $W$  que permite a la fuente transmitir de manera continua? ¿Cuánto tiempo se necesita para transmitir el fichero en ese caso?