

# Redes de Comunicaciones

## Ejercicios Tema 1. Introducción



**Ramón Agüero Calvo**

Departamento de Ingeniería de Comunicaciones

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)



E.T.S.I.I.T - Grado en Ingeniería de  
Tecnologías de Telecomunicación

## Redes de Comunicaciones

### Tema 1 - Introducción

#### Hoja de problemas

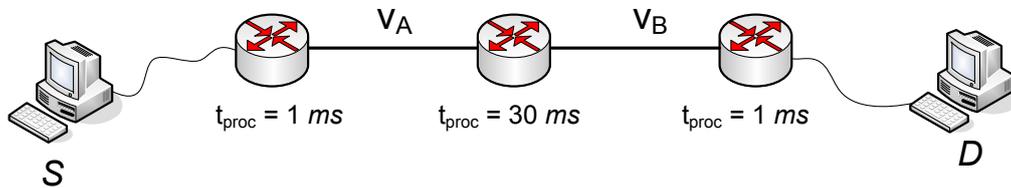
**Problema 1.** Para una red JDP en su jerarquía primaria de 30+2, determinar el cociente  $(S/N)_{\text{ley-A}}/(S/N)_{\text{lineal}}$  en todo el margen dinámico del cuantificador. Para ello evalúese el citado cociente en cada segmento de la ley-A, teniendo en cuenta que la relación  $S/N$  es proporcional 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 Bytes y el número medio de nodos ( $N$ ) atravesados en una ruta es 2. Si el campo de cabecera ( $H$ ) es de 3 Bytes, ¿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.

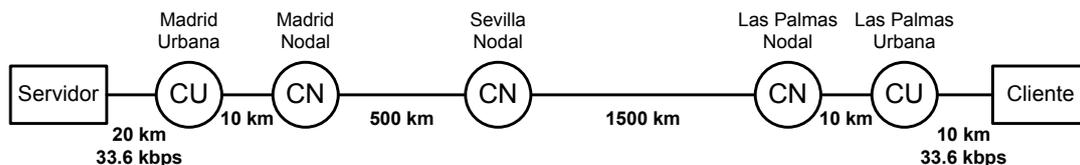
La velocidad de propagación de la señal en el medio es de  $200$  m/ $\mu$ s y el tiempo de procesado de los paquetes en las estaciones es despreciable. Considerar que no hay errores de transmisión ni colisiones.

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.

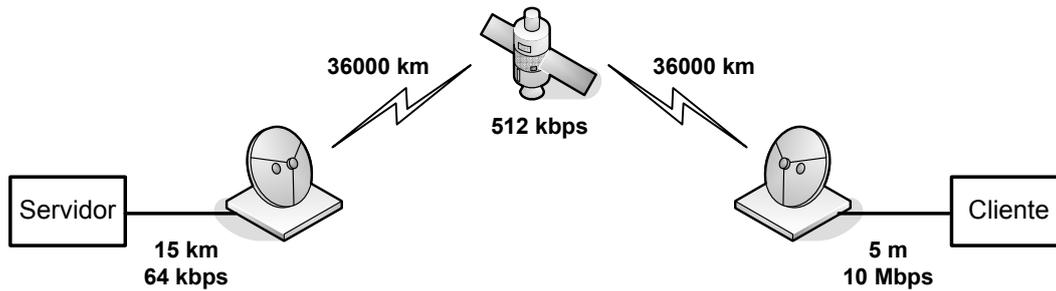
**Problema 8.** Una empresa establecida en las inmediaciones de Madrid se dedica a la difusión de información bursátil. Para ello su servidor transmite constantemente cotizaciones. Cada cotización se envía en un paquete de 100 bytes. Se considera prioritario que estos mensajes se entreguen con el menor 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  $900\text{ Bytes}$  de longitud. Las *Protocol Data Unit* (PDU) de cada nivel, excepto el Físico, añaden una sobrecarga de  $20\text{ Bytes}$  a su correspondiente SDU.

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

Sabiendo que:

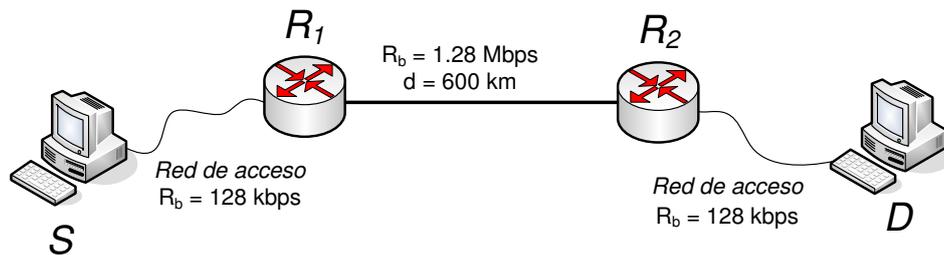
- Toda la arquitectura de red trabaja en modo no orientado a la conexión.
- El nivel de enlace de los hosts y de los routers emplea un protocolo de ‘parada y espera’; es decir, se transmite un paquete después de recibir el asentimiento del anterior.
- La PDU de asentimiento (ACK) del Nivel de Enlace es de  $50\text{ Bytes}$  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.

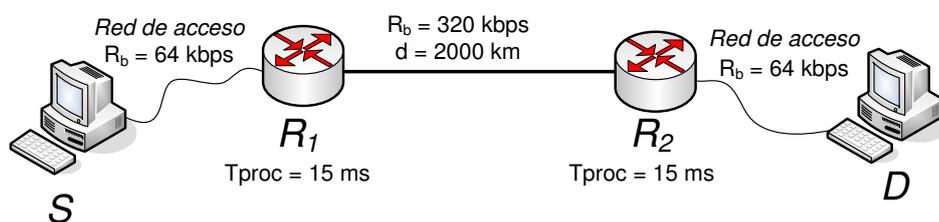
**Problema 11.** Se pretende enviar un fichero de 75000 Bytes entre dos estaciones  $S$  y  $D$ . La estación  $S$  está conectada al nodo  $R_1$ , a través de una línea de 128 kbps, mientras que  $D$  tiene una conexión de 64 kbps con el nodo  $R_2$ . Se supone, además, que entre  $R_1$  y  $R_2$  hay 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 procesado 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.

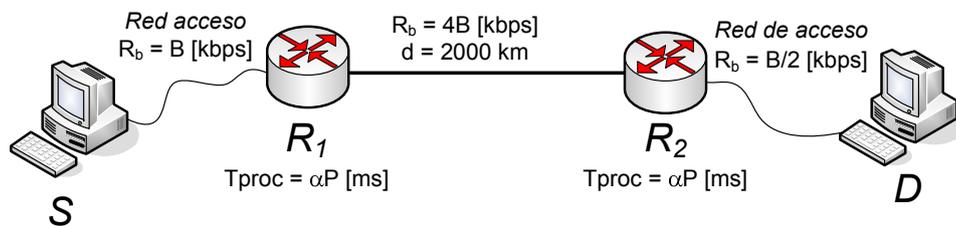
Repetir los cálculos del apartado (a) para los siguientes supuestos (sólo se modifica, respecto a la configuración inicial, lo que está indicado en cada caso).

- (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.

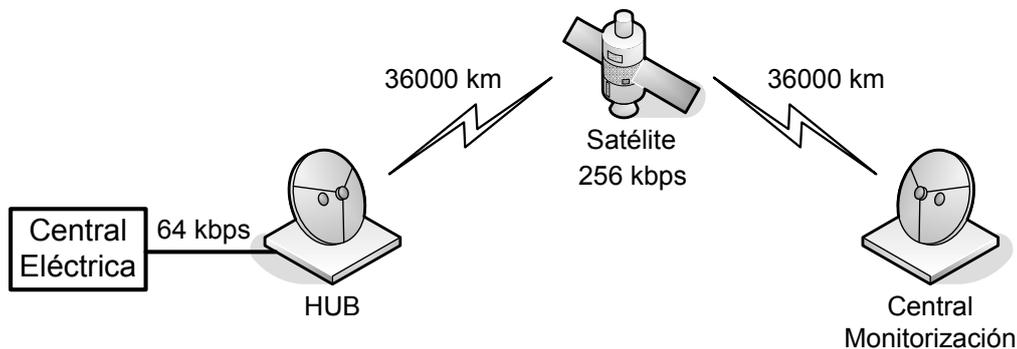
**Problema 13.** Considérese la red de la figura.



- (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?

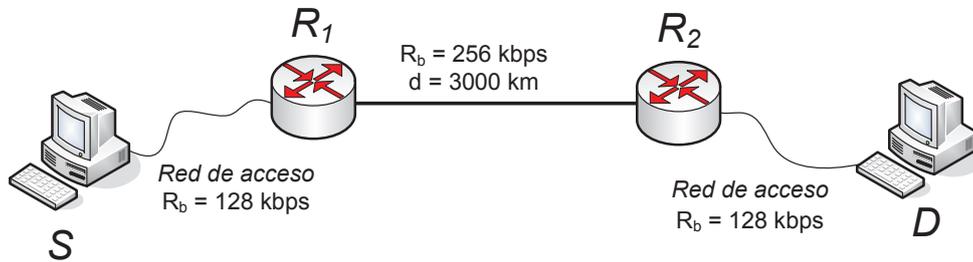
La empresa decide modificar el protocolo de control de errores, para que sólo se envíe la confirmación tras la recepción correcta de  $W$  paquetes. Así, la fuente envía  $W$  paquetes de manera consecutiva, y permanece a la espera hasta recibir el correspondiente *ACK*.

- 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?

**Problema 15.** Para conectar dos de sus sedes, una compañía tiene desplegada la red que se muestra en la figura.



El retardo de propagación en las redes de acceso se puede considerar despreciable, mientras que entre los nodos  $R_1$  y  $R_2$  se estima en  $5 \mu s/km$ . Además, el tiempo de procesado en los nodos  $R_1$  y  $R_2$  puede considerarse también como nulo. Si la longitud de los paquetes que se transmiten es de 800 Bytes (incluyendo una cabecera de 40 Bytes), se pide responder las siguientes cuestiones.

- (a) Calcular el tiempo necesario para transmitir un fichero de 95 KByte entre  $S$  y  $D$ .  
(Se recuerda que 1 Kbyte se corresponde con  $2^{10}$  bytes).

Debido a las características del enlace dorsal (entre  $R_1$  y  $R_2$ ), se decide aplicar un protocolo de control de errores (nivel de enlace, entre estos nodos), según el cual se envía un paquete de reconocimiento (ACK) de 32 Bytes por cada paquete de datos recibido.

- (b) Repetir el apartado (a) con este cambio en la configuración.  
(c) ¿Cuál es la velocidad mínima necesaria en el enlace dorsal para que la fuente pueda usar una transmisión continua?

La empresa cambia la configuración del enlace dorsal, de manera que haya 200 kbps en el enlace entre  $R_1$  y  $R_2$  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 los paquetes de datos. El destino ( $R_2$ ) confirma todos los paquetes recibidos uno a uno (esto es, manda un *ACK* por cada paquete recibido), y la fuente ( $R_1$ ) puede tener hasta  $W$  paquetes pendientes de confirmar.

- (d) ¿Cuánto tiempo sería necesario para transmitir el fichero cuando  $W = 1$ ?  
(e) ¿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?

**Problema 16.** Se dispone de dos terminales  $S$  y  $D$  que se pretende unir a través de una red de conmutación de paquetes. Cada uno de ellos se conecta a un nodo de la red ( $R_1$  y  $R_N$ , respectivamente) a través de conexiones dedicadas de 128 kbps, en las que el retardo de propagación se puede considerar despreciable. Se asume que los enlaces entre

nodos de la red tienen una capacidad de 512 kbps y una longitud media de 500 km. Si los paquetes que se transmiten tienen un tamaño de 800 Bytes, incluyendo una cabecera de 32 Bytes, se pide resolver las siguientes cuestiones.

- (a) Se plantea inicialmente la utilización de una ruta que atraviesa un nodo adicional a los de conexión con las estaciones ( $N = 3$ ). Si el retardo de procesado de todos ellos se estima en 30 ms, ¿cuánto tiempo se tardaría en transmitir un fichero de 150 kBytes entre  $S$  y  $D$ ?

*Asumir que el retardo de propagación es de  $5 \mu\text{s}/\text{Km}$ .*

*Se recuerda que 1 kByte se corresponde con  $2^{10}$  Bytes.*

- (b) Los ingenieros encargados de la gestión de red analizan la posibilidad de utilizar una ruta con un enlace adicional ( $N = 4$ ). ¿Cuál es el máximo retardo de procesado que podrían tener los nodos en esta alternativa para que los ingenieros se decantaran por ella? Calcular el tiempo necesario para transmitir el fichero cuando el procesado es igual a 10 ms. Comentar los resultados, analizando la diferencia en el tiempo necesario en ambas configuraciones.

En esta última configuración se decide incorporar un protocolo de control de flujo en cada uno de los enlaces de la red dorsal (entre  $R_1$  y  $R_2$ , entre  $R_2$  y  $R_3$ , etc). Así, tras recibir y procesar completamente un paquete, el nodo destino lo confirma con un ACK de 32 Bytes. El siguiente paquete sólo se podrá transmitir tras haber recibido el reconocimiento del anterior (los ACK no se tienen que procesar). Por otro lado, el tiempo de procesado de los 4 nodos crece hasta los 20 ms, debido a la funcionalidad adicional incorporada.

- (c) ¿Cuál sería la velocidad mínima necesaria en los enlaces entre cada par de nodos para que la fuente pudiera utilizar transmisión continua?

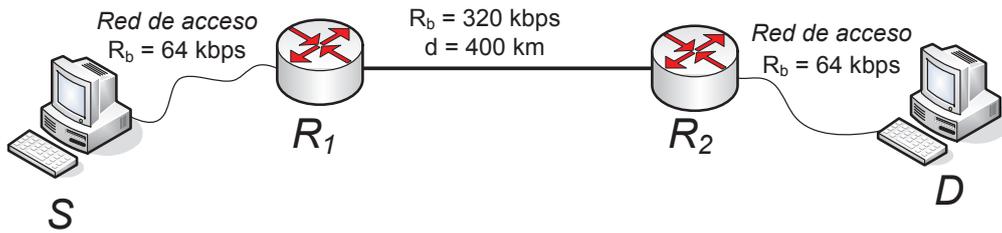
Finalmente, para ayudar al ingeniero de gestión a tomar una decisión apropiada, responder, de manera razonada, las dos cuestiones siguientes, partiendo de la configuración del apartado (a).

- (d) ¿Se modificaría el tiempo total de transferencia del fichero si se añadieran más saltos en la ruta? ¿y la cadencia de la fuente?

*Se define la cadencia como el inverso del tiempo entre los instantes de comienzo de la transmisión de dos paquetes consecutivos.*

- (e) Repetir el apartado anterior, considerando un aumento en la longitud media de cada enlace.

**Problema 17.** Considérese la red de la figura, que la compañía **LeXTeL** utiliza para enviar ficheros de configuración desde su central a estaciones de monitorización remotas. Se sabe que los paquetes que se envían tienen una longitud de 400 Bytes, incluyendo una cabecera de 16 Bytes.



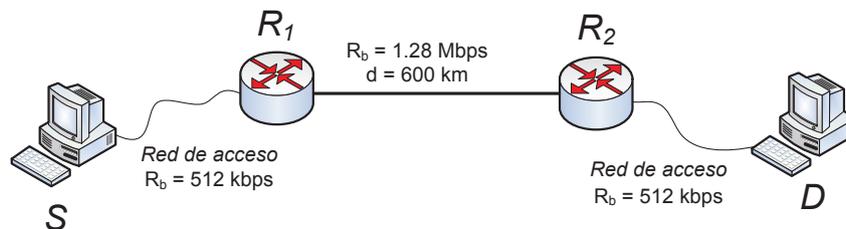
- Calcular el tiempo necesario para enviar un fichero de 150 kBytes entre  $S$  y  $D$ , si se supone que los *routers*  $R_1$  y  $R_2$  introducen un retardo de procesamiento de 15 ms.  
Asumir que el retardo de propagación es de  $5 \mu\text{s}/\text{Km}$ .  
Se recuerda que 1 kByte se corresponde con  $2^{10}$  Bytes.
- Repetir el apartado anterior si los ingenieros encargados de la gestión de red deciden emplear un protocolo de control de flujo en el enlace entre  $R_1$  y  $R_2$ , de manera que por cada paquete se envía un reconocimiento de 40 Bytes.  $R_1$  no puede comenzar a transmitir el paquete siguiente hasta recibir el ACK del anterior.  
Asumir que el tiempo de procesamiento del ACK en  $R_1$  es despreciable, y que  $R_2$  puede transmitir simultáneamente el paquete hacia  $D$  y el ACK hacia  $R_1$ .
- Si el resto de parámetros se mantienen, ¿cuál es el tiempo de procesamiento máximo en los *routers* (el mismo para  $R_1$  y  $R_2$ ) para que la fuente pueda emplear transmisión continua?
- Manteniendo el resto de parámetros del apartado (a), ¿cuál es la velocidad de transmisión mínima necesaria en el enlace dorsal (entre  $R_1$  y  $R_2$ ) para que la fuente pueda emplear transmisión continua?
- LeXTeL** decide emplear el protocolo anterior para comunicar la central con otras sedes. Asumiendo que se mantienen los retardos de procesamiento y la  $R_b$  del apartado (a), ¿cuál es la distancia máxima entre los dos *routers* para que la fuente pueda emplear transmisión continua?
- ¿Cuánto tiempo se tardaría en transmitir el fichero si la distancia entre  $R_1$  y  $R_2$  se incrementa hasta los 3600 km?

**Problema 18.** Una compañía pretende conectar dos de sus sedes mediante un único enlace (línea alquilada), que uniría los correspondientes *routers* de acceso  $R_1$  y  $R_2$ , a los que se conectan las dos sedes,  $A$  y  $B$  respectivamente, con líneas de 512 kbps. Se supone que se contrata, para la línea entre  $R_1$  y  $R_2$ , un grupo **E1**, con una capacidad de 2048 kbps, y que su longitud es de 400 km.

- Asumiendo que el retardo de procesamiento en  $R_1$  y  $R_2$  puede considerarse despreciable, calcular el tiempo que tardaría en enviarse un fichero de 245 KBytes (1 KByte se corresponde con 1024 Bytes) entre  $A$  y  $B$ , teniendo en cuenta que se utilizan paquetes de 1024 Bytes, incluyendo una cabecera de 44 Bytes. Asumir que los retardos de propagación en las redes de acceso son despreciables y que el retardo de propagación en el enlace  $\overline{R_1 R_2}$  es de  $0.005 \text{ ms}/\text{Km}$ .

- (b) Tras la puesta en marcha de la red, los ingenieros de gestión deciden incorporar un esquema de monitorización, basado en el envío de paquetes de *probe*. Así cada vez que  $R_1$  manda un mensaje de datos, envía a continuación un paquete sonda a  $R_2$ , que lo recibe, añade su propia información y se lo vuelve a enviar con el mismo tamaño;  $R_1$  no puede transmitir el siguiente paquete de datos hasta haber recibido el *probe response* por parte de  $R_2$ . Asumiendo que el enlace entre  $R_1$  y  $R_2$  **no** es *full-duplex*, ¿cuál es el tamaño máximo del paquete de *probe* para que no afecte al rendimiento calculado en el apartado (a)? ¿Cuál sería dicha longitud en el supuesto que el paquete le mandara inicialmente  $R_2$ , tras recibir un paquete de datos? En este caso  $R_1$  mandaría la respuesta al *probe request* y, posteriormente, podría transmitir el siguiente paquete de datos.

**Problema 19.** Una compañía dispone de la configuración de red que se muestra en la figura para comunicar dos estaciones de monitorización  $S$  y  $D$ .



- (a) ¿Cuál es el tiempo necesario para transmitir un fichero de 244 KBytes entre  $S$  y  $D$ , teniendo en cuenta que los protocolos involucrados añaden una sobrecarga de 48 Bytes por paquete, y que se transmiten paquetes de 1024 Bytes de longitud? Asumir que los retardos de propagación en las redes de acceso son despreciables y que el retardo de propagación en el enlace  $\overline{R_1 R_2}$  es de  $0.005 \text{ ms/Km}$ . ¿Cuál es el retardo de procesamiento máximo (por bit) que se podría permitir en el router  $R_1$  para mantener la cadencia (inverso del tiempo entre paquetes consecutivos) utilizada previamente?
- (b) Los ingenieros de red deciden incorporar un protocolo de control de flujo entre  $R_1$  y  $R_2$ , para lo que contratan un enlace adicional de 64 kbps entre  $R_2$  y  $R_1$ , de manera que los ACK se puedan transmitir de manera simultánea con los paquetes de datos. Teniendo en cuenta que la longitud de los paquetes de confirmación es de 128 Bytes, ¿qué ventana (número de paquetes transmitidos sin haber recibido confirmación) sería necesaria en  $R_1$  para que se mantuviera el tiempo calculado en el apartado anterior?

*Asumir, en este apartado, que el retardo de procesamiento en los routers es despreciable.*

**Problema 20.** Considérense dos equipos  $S$  y  $D$  que se conectan a dos nodos  $R_1$  y  $R_2$  a través de sendas conexiones de 160 kbps. La capacidad del enlace entre  $R_1$  y  $R_2$  es de

200 kbps, su distancia es de 1200 km, y el procesado en los nodos se puede considerar despreciable.

- (a) ¿Cuánto tiempo se tardaría en transmitir un fichero de 194 kBytes entre  $S$  y  $D$ ? (recordar que 1 kByte se corresponde con  $2^{10}$  Bytes). Considerar que los paquetes que se transmiten tienen una longitud de 800 Bytes, de los cuales 24 se corresponden con cabeceras de los protocolos involucrados, que el tiempo de propagación es despreciable en los enlaces  $S \rightarrow R_1$  y  $R_2 \rightarrow D$  y que  $v_{\text{prop}} = 200 \text{ km/ms}$ .
- (b) Se asume ahora que los nodos  $R_1$  y  $R_2$  introducen un retardo de procesado que se puede modelar como  $\gamma \cdot P$ , donde  $\gamma$  es el retardo por bit (en  $\mu\text{s}$ ) y  $P$  es la longitud del paquete (en bits). ¿Cuál es el valor máximo permitido para  $\gamma$ , si se pretende asegurar una transmisión continua?
- (c) Se decide emplear un esquema de reconocimiento entre los nodos  $R_1$  y  $R_2$ . Así, el nodo  $R_2$  confirma con un ACK de 75 Bytes todos los paquetes recibidos, pero utiliza un enlace adicional  $R_2 \rightarrow R_1$  (de 100 kbps), de manera que los ACK se puedan transmitir de manera simultánea con los datos. ¿Cuál sería la ventana (número de paquetes que se pueden tener sin confirmar) para que se pudiera mantener la transmisión continua en la fuente? Asumir que  $\gamma = 0 \mu\text{s/bit}$  es en este caso.

**Problema 21.** Se pretende analizar un despliegue de nodos IoT para monitorizar parámetros físicos. Uno de los sensores recoge la presión en uno de los pilares de un viaducto, por lo que es importante que los datos que obtiene se envíen adecuadamente al receptor final. Se considera que el sensor pizoeléctrico ( $p$ ) toma muestras que encapsula en paquetes de 512 Bytes, enviándolos al nodo repetidor ( $R$ ) a través de una conexión a 32 kbps. Este nodo reenvía la información a un sink ( $S$ ) a través de un enlace IEEE 802.15.4 a una velocidad de 64 kbps.  $S$ , a su vez, lo envía al terminal ( $t$ ) utilizando una conexión de 32 kbps. Las distancias de todos los enlaces son lo suficientemente cortos para no considerar el retardo de propagación.

- (a) Asumiendo que el procesado en los nodos  $R$  y  $S$  es despreciable, ¿cuánto tiempo sería necesario para transmitir 5 muestras? ¿Cuál es la frecuencia máxima a la que se pueden tomar medidas ( $s^{-1}$ )?

Tras la puesta en marcha de la red, se detecta que la conexión entre  $R$  y  $S$  presenta una tasa de error elevada, por lo que se decide utilizar alguna técnica de control de errores. En una primera alternativa, se decide que el nodo  $S$ , tras recibir un paquete generará un ACK, de 128 Bytes, que reenviará a  $R$ . Este no puede transmitir más información hasta haber recibido dicho ACK.

- (b) Asumiendo que el procesado en  $R$  sigue siendo despreciable, ¿cuál podría ser el tiempo de procesado máximo en  $S$  (antes de generar el ACK) para poder mantener la frecuencia de monitorización calculada en el apartado anterior?

Los ingenieros se plantean el uso de una técnica tipo FEC, en la que se añade cierta redundancia al paquete para protegerlo ante posibles errores en el enlace  $R \rightarrow S$ . Así, al recibir un paquete,  $R$  lo codifica, para lo que invierte un tiempo  $\alpha\mathcal{L}$ , siendo  $\mathcal{L}$  la longitud del paquete que recibe (512 Bytes) y  $\alpha$  el retardo de procesado ( $\frac{ms}{bit}$ ). El paquete que transmite  $R$  tiene una longitud (debido a la sobrecarga del código FEC)  $\mathcal{L}' = \frac{4}{3}\mathcal{L}$ . Finalmente, el procesado en  $S$  será  $\beta\mathcal{L}'$ ; tras este procesado,  $S$  envía paquetes de longitud  $\mathcal{L}$  a  $t$  (esto es, aquellos generados por  $p$ ).

- (c) Asumiendo que  $\alpha = \beta$ , ¿qué valor máximo podrán tener estos parámetros para mantener la cadencia calculada en el apartado (a)? ¿Cuánto tiempo se tardaría en transmitir 5 muestras entre  $p$  y  $t$  si  $\alpha = \beta = 20 \frac{\mu s}{bit}$ ?

**Problema 22.** Una empresa de logística despliega un conjunto de sensores para monitorizar las condiciones ambientales en una de sus naves. Cada dispositivo sensor es capaz de medir cuatro parámetros físicos. Un parámetro físico se encapsula en un paquete de 24 Bytes, que se envía por un enlace de 16 kbps a un concentrador que lo procesa antes de reenviarlo al router de la sede central, para lo que utiliza un enlace dedicado de 128 kbps. Finalmente, se utiliza una conexión de 64 kbps para transmitir el paquete a la estación de gestión. Ésta envía un reconocimiento de 16 Bytes al nodo sensor, que no puede transmitir más medidas hasta haber recibido confirmación de la anterior.

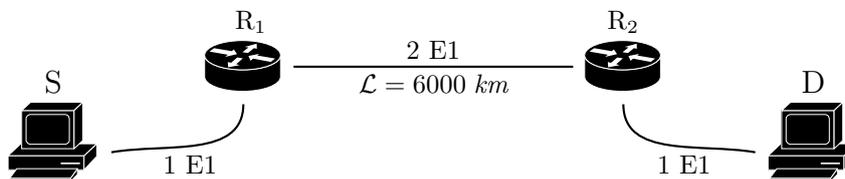
- (a) Asumiendo que el tiempo de procesado en el concentrador para el paquete de datos es de 10 ms y que el retardo de propagación en el enlace dedicado es de 3 ms, calcular el tiempo necesario para completar (incluyendo la recepción del reconocimiento) el envío de una medida. ¿Cuál es la frecuencia a la que se puede monitorizar cada uno de los cuatro parámetros si se van midiendo uno a uno manteniendo siempre el mismo orden?

*Considerar que el resto de tiempos de procesado (tanto para el paquete de datos como para la confirmación) y de propagación son despreciables.*

- (b) Para incrementar la frecuencia anterior, se decide *agrupar* las medidas; así el nodo sensor encapsulará los registros de  $k$  parámetros ( $k = 1 \dots 4$ ) y la estación de gestión confirmará todas las medidas en un único reconocimiento. Se supone que la longitud del paquete que se transmite pasa a ser de  $16 + 8k$  Bytes y que el tiempo de procesado en el concentrador será  $8k + 2$  ms. ¿Con qué frecuencia se pueden tomar las medidas de cada uno de los cuatro parámetros para  $k = 2$ ? ¿Y para  $k = 4$ ?

**Problema 23.** Se pretende analizar el comportamiento de un sistema de telecomunicaciones que utiliza un cable transatlántico de 6000 km para comunicar Europa y Estados Unidos. Se asume que la estación fuente ( $S$ ) se comunica con un primer nodo a través de un acceso con 1 grupo E1 (se recuerda que un grupo E1 tiene una capacidad de 2.048 Mbps). El enlace dedicado que se contrata para unir los dos nodos es de 2 grupos E1 y

posteriormente se utiliza otro acceso, también de 1 grupo E1, para llegar a la estación destino  $D$ , tal y como se muestra en la topología de la figura.



- (a) Asumiendo que el procesado en los nodos  $R_1$  y  $R_2$  es despreciable, ¿cuánto tiempo sería necesario para transmitir un fichero de 45 MBytes, si se utilizan paquetes de 1024 Bytes, que incluyen una cabecera de 64 Bytes?

*Se recuerda que 1 MByte son  $2^{20}$  Bytes.*

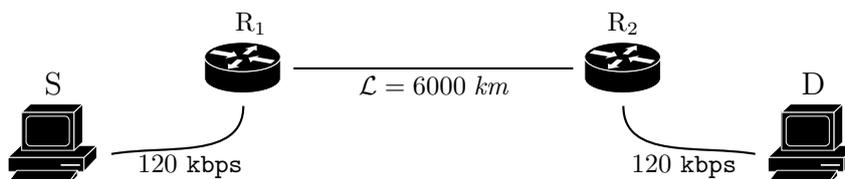
*Asumir que la velocidad de propagación es 200 km/ms.*

- (b) ¿Cuál de las siguientes situaciones modificaría la cadencia a la que la fuente podría transmitir paquetes según los datos del apartado anterior? Indicar SI / NO según corresponda en cada caso.

Procesado $R_1$ $t_{\text{proc}} = 2 \text{ ms}$	Procesado $R_2$ $t_{\text{proc}} = 5 \text{ ms}$	Longitud cable $\mathcal{L} = 8000 \text{ km}$	Capacidad $R_2 \rightarrow D$ 3 grupos E1	Capacidad $R_2 \rightarrow D$ 1024 kbps	Nuevo enlace entre $S$ y $R_1$ , sin procesado y capacidad 2 E1

- (c) A partir de la configuración original, se decide utilizar un esquema de control de flujo en el enlace transatlántico, de manera que el nodo  $R_2$  envía paquetes de reconocimiento de 256 Bytes a  $R_1$ , para cada paquete recibido. Utiliza para ello una conexión dedicada, con capacidad 1 grupo E1, de manera que los ACK se transmiten de manera simultánea con los paquetes de datos. ¿Cuál debería ser la ventana de transmisión en  $R_1$  (esto es, el número de paquetes que pueden transmitirse sin recibir reconocimiento) para mantener el resultado del apartado (a)?

**Problema 24.** Considérese la red de la figura, sobre la que se envían paquetes con una longitud de 1500 Bytes.



Se pretende utilizar un protocolo de control de flujo y errores en el enlace semi-dúplex entre  $R_1$  y  $R_2$ , según el cual  $R_2$  confirma todos los paquetes recibidos con un reconocimiento de 500 Bytes.

- (a) ¿Cuál es la capacidad mínima necesaria en dicho enlace para que  $S$  pueda utilizar transmisión continua?

*Asumir que la velocidad de propagación es de 200 km/ms y que el retardo de propagación en las secciones de acceso es despreciable.*

- (b) Indicar las modificaciones necesarias para mantener dicha transmisión continua incluso si la capacidad del enlace  $\overrightarrow{R_1R_2}$  fuera menor.



**Problema 1.**

- (a) 16.9 dB.

**Problema 2.**

- (a) Circuitos:  $S + DN + \frac{L}{B}$   
Paquetes:  $DN + \frac{P}{B}N + \frac{P}{B} \left( \frac{L}{P-H} - 1 \right)$   
(b)  $P = \sqrt{\frac{LH}{N-1}} + H$

**Problema 3.**

- (a) 9 Bytes (incluyendo cabecera: 6 + 3)

**Problema 4.**

- (a) 31.25 paquetes/seg  
(b) 27 paquetes/seg  
(c) 27 paquetes/seg  
(d) 33.3 paquetes/seg

**Problema 5.**

- (a) Opción A: 15.8 segundos  
Opción B: 13.92 segundos  
(b) Reduciendo tiempo de establecimiento/liberación.

**Problema 6.**

- (a) Datagrama: 1202 ms  
Circuito virtual: 1390 ms

**Problema 7.**

- (a) 800 ms  
 $R_b = 550$  kbps  
(b) 822.5 ms  
 $R_b = 535$  kbps

**Problema 8.**

- (a) 34.06 ms  
(b) 265.8 ms

**Problema 9.**

- (a) 980 Bytes  
3 SDUs  
(b) 131.253 ms  
(c) 516.42 ms

**Problema 10.**

- (a) 120 ms  
(b) 70 + 50M (ms)  
(c) 10.07 segundos  
(d) 28.68 s (W = 1)  
14.67 s (W = 4)

**Problema 11.**

- (a) 200 ms  
64 kbps (100 ms entre paquetes)  
(b) 100(M+1) (ms)  
(c) 10.1 segundos  
(d) 25 s (W = 1)  
13.75 s (W = 4)

**Problema 12.**

- (a) 150 ms  
64 kbps (50 ms entre paquetes)  
(b) 125 ms  
64 kbps (50 ms entre paquetes)  
(c) 200 ms  
49.23 kbps (65 ms entre paquetes)  
(d) 380 ms  
64 kbps (50 ms entre paquetes)

**Problema 13.**

- (a)  $P = \sqrt{\frac{8LH}{5+8B\alpha}} + H$
- (b) 72.5 ms
- (c)  $\alpha < 0.05 \text{ ms/bit}$

**Problema 14.**

- (a) 560 ms
- (b) 67.2 s
- (c) ( $W = 4$ ) 22.2 s  
( $W = 8$ ) 14.7 s
- (d) 34.1 s
- (e)  $W = 10$   
7.71 s

**Problema 15.**

- (a) 6490 ms
- (b) 7252 ms
- (c) 332.8 kbps
- (d) 8529 ms
- (e)  $W = 2$   
6497 ms

**Problema 16.**

- (a) 10.17 s
- (b)  $t_{\text{proc}} = 18.75 \text{ ms}$   
10.13 s
- (c) 266.24 kbps

**Problema 17.**

- (a) 20092 ms
- (b) 20092 ms
- (c)  $t_{\text{proc}} = 35 \text{ ms}$
- (d) 113.55 kbps
- (e) 2400 km
- (f) 24896 ms

**Problema 18.**

- (a) 4118 ms
- (b) 1024 Bytes (ambos casos)

**Problema 19.**

- (a) 4121.4 ms  
 $1.95 \times 10^{-3} \text{ ms}$
- (b)  $W = 2$

**Problema 20.**

- (a) 10.318 s
- (b)  $\gamma_{\text{max}} = 6.25 \frac{\mu\text{s}}{\text{bit}}$
- (c)  $W = 2$

**Problema 21.**

- (a)  $T_{5 \text{ pkt}} = 832 \text{ ms}$   
7.8125 muestras por segundo
- (b) 48 ms
- (c)  $\alpha, \beta \leq 23.4 \frac{\mu\text{s}}{\text{bit}}$   
 $T_{5 \text{ pkt}} \approx 1.045 \text{ s}$

**Problema 22.**

- (a)  $T_{1 \text{ medida}} = 43.5 \text{ ms}$   
5.75 Hz (medidas por segundo)
- (b) ( $k = 2$ ) 8.77 Hz  
( $k = 4$ ) 11.9 Hz

**Problema 23.**

- (a)
- (b)
- (c)

**Problema 24.**

- (a) 400 kbps
- (b)