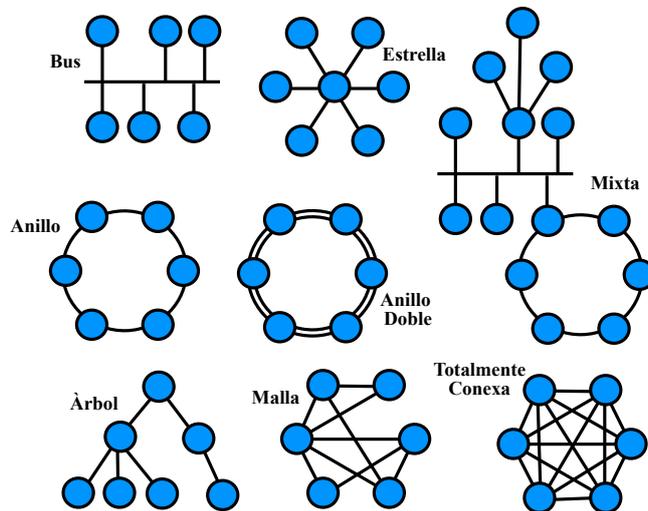


Capítulo 1

Introducción a las redes



Generado: 29/09/2024 21:53:10

Cuestiones

Q-1.1 ¿Qué es una arquitectura de protocolos?

Q-1.2 ¿Qué ventajas e inconvenientes aporta una arquitectura en capas como TCP/IP?

Q-1.3 ¿Qué es TCP/IP y OSI?

Q-1.4 ¿Qué tareas realiza la capa de transporte y que diferencias presente frente a la capa de red?

Q-1.5 Identifique las funciones que tiene la capa de enlace. ¿Qué analogías/diferencias presenta frente a la capa de red?

Q-1.6 ¿Por qué pueden existir direcciones a distintos niveles?

Q-1.7 ¿Qué es una unidad de datos del protocolo (PDU)?

Q-1.8 ¿Qué diferencia existe entre interfaz, servicio y protocolo?

Q-1.9 ¿Qué requisitos diferenciadores presenta una red inalámbrica frente a una red cableada?

Q-1.10 Identifique los cinco componentes de un sistema de transmisión de datos.

Q-1.11 ¿Cuáles son las ventajas de una conexión multipunto sobre una conexión punto a punto?

Q-1.12 Defina configuraciones punto a punto y multipunto. Ponga ejemplos de cada una de ellas.

Q-1.13 Defina y compare medios simplex, half-dúplex y full-dúplex. Ponga ejemplos de sistemas para cada uno de estos casos.

Q-1.14 Ventajas e inconvenientes de los sistemas de comunicación que operan bajo el principio de *simplex*.

Q-1.15 Ventajas e inconvenientes de los sistemas de comunicación que operan bajo el principio de *full-duplex*.

Q-1.16 Clasifique las diferentes topologías de red en función de su configuración de línea (tipo de conexión).

Q-1.17 En terminología de conmutación de paquetes, ¿a qué se refiere con el término “*cabecera*” y “*cola*”, cómo se añaden y se eliminan?

A



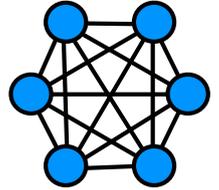
- Conceptos básicos
- Unicast, multicast, broadcast
- Simplex, half-duplex, full-duplex
- Bus, estrella, anillo, mixta, árbol, malla

Ref: 1-A-01

Problema:
1.1

Suponga que hay seis dispositivos conectados con una topología en **mall**a totalmente conectada.

- ¿Cuántos cables son necesarios?
- ¿Cuántos puertos tiene que tener cada dispositivo?

**Resolución:**

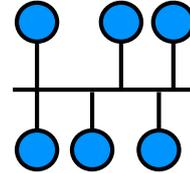
- Para la topología en malla son necesarios: $n(n-1)/2$ cables = $6 \times 5/2 = 15$ cables.
- Cada dispositivo necesita 5 puertos de E/S.

Ref: 1-A-02

Problema:
1.2

Suponga que hay seis dispositivos conectados con una topología en **bus**.

- ¿Cuántos cables son necesarios?
- ¿Cuántos puertos tiene que tener cada dispositivo?

**Resolución:**

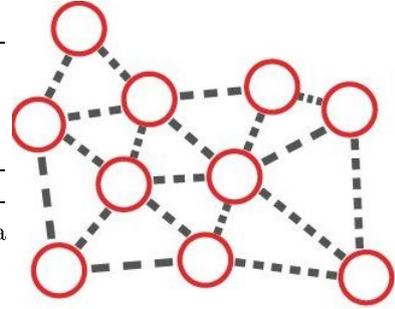
- Para la topología en bus son necesarios 7 cables: 1 compartido y 1 por cada dispositivo
- Cada dispositivo necesita un sólo puerto de E/S.

Ref: 1-A-03

Problema:
1.3

Una red de computadores está formada por 20 estaciones.

- Determine el número de links, x , necesarios suponiendo las siguientes topologías:
 - Malla.
 - Estrella.
- Supongamos que se establecen cuatro estaciones como *hubs*, totalmente interconectados entre ellos. El resto de 16 estaciones están distribuidas igualmente en los hubs, de forma que cada estación sólo está conectada a un hub. Esboza la topología y determina el número de enlaces.
- Compara las tres topologías.

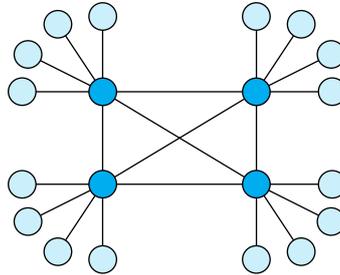
**Resolución:**

- (i) En la topología malla, el total de enlaces:

$$x = \frac{n(n-1)}{2} = 190$$

- En la topología estrella, hay un enlace por nodo. Suponiendo que una de las estaciones actúa como nodo central, entonces, hay 19 enlaces.

- La descripción es una topología k -full-mesh, con $k = 4$:



La cantidad de enlaces:

$$x = \frac{k(k-1)}{2} + k^2 = 6 + 4^2 = 22$$

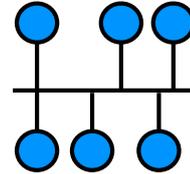
- (i) Absolutamente inviable en términos de número de enlaces (190).
- Es eficiente ya que sólo son necesarios 19 enlaces para proporcionar un poco de flexibilidad.
- Proporciona un compromiso entre (i) y (ii).

Ref: 1-A-07

Problema:
1.4

Cinco computadores están conectados a un cable común en configuración multipunto. El cable puede transferir un máximo de 100 kbps.

- Si todos los computadores tienen datos para enviar, ¿cuál es la tasa media de datos para cada computador?
- Ahora piense qué ocurriría si sólo quisieran enviar dos de los cinco computadores conectados, ¿cuál sería la tasa media de datos para cada computador en este caso?


Resolución:

- Sea N el ancho de banda del medio y k los dispositivos activos que comparten el cable, entonces, cada computador, dispondrá de una tasa de datos media:

$$N_k = \frac{N}{k}$$

Por lo tanto, para $k = 5$ dispositivos activos, cada uno dispondrá de la siguiente tasa de datos media:

$$N_5 = \frac{100 \text{ kbps}}{5} = 20 \text{ kbps}$$

- Dado que ahora sólo quieren transmitir dos de los cinco dispositivos, la tasa media, por dispositivo:

$$N_2 = \frac{100 \text{ kbps}}{2} = 50 \text{ kbps}$$

Ref: 1-A-09Problema:
1.5

Supongamos cinco dispositivos conectados en las siguientes topologías, diga qué ocurriría si falla una conexión (enlace):

- a) Malla
- b) Estrella (sin contar el hub).
- c) Bus.
- d) Anillo.

Resolución:

- a) Un fallo impediría que dos nodos pudieran conectarse directamente, pero seguirían conectados a través de cualquier otro nodo a dos saltos.
- b) Un fallo en un enlace inhabilitaría la conexión entre un nodo y el nodo central.
- c) Un fallo dividiría la red en dos, haciendo imposible que las dos subredes se comunicaran entre sí. Sin embargo, dos equipos cualesquiera del mismo sub-bus sí podrían comunicarse.
- d) Un fallo haría que uno de los sentidos de comunicación estuviera inutilizado. Los dos nodos adyacentes al enlace caído se comunicarían dando la vuelta al anillo.

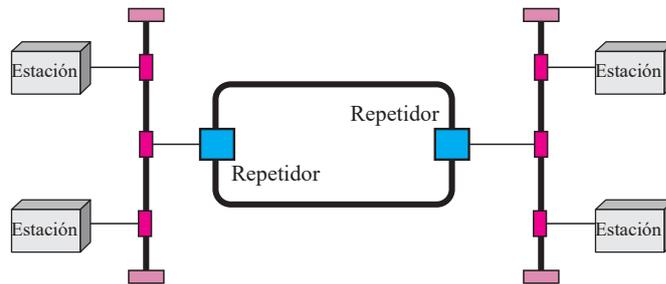


Representa las siguientes topologías híbridas (o mixtas):

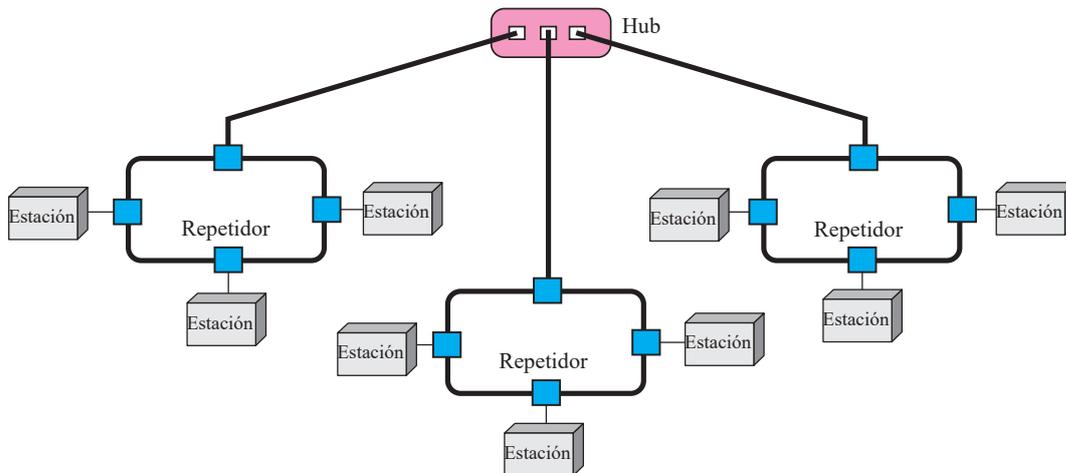
- Backbone anillo y dos redes en bus.
- Backbone estrella y tres redes en anillo.

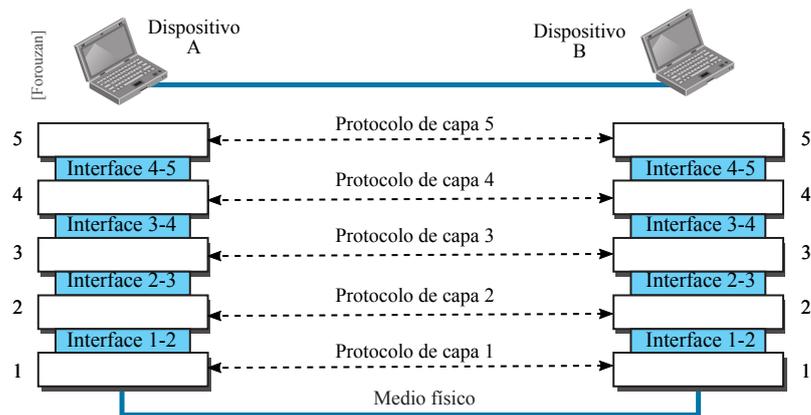
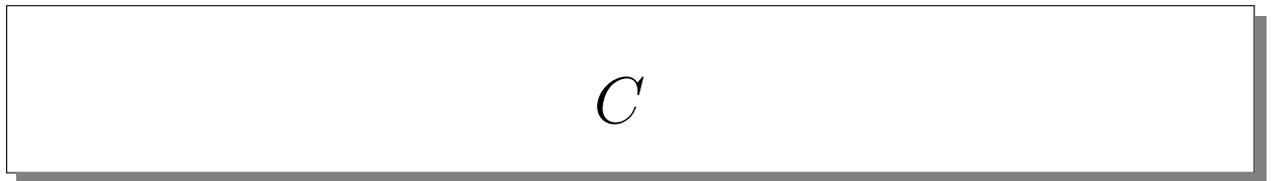
Resolución:

- Backbone anillo y dos redes en bus.



- Backbone estrella y tres redes en anillo.



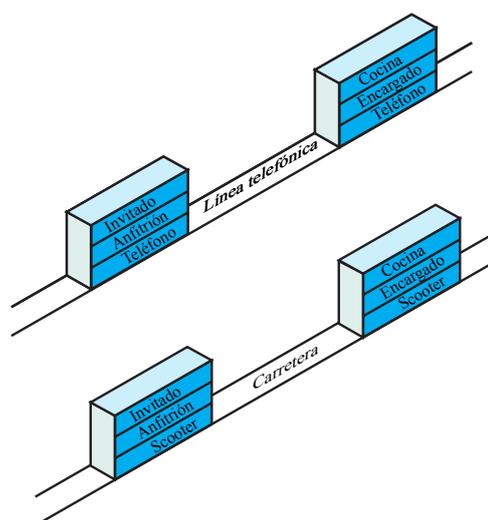


- Modelos en capas: comunicación, entidades, puntos de acceso al servicio
- Cabecera, cola, sobrecarga
- Servicios: orientados a conexión, sin conexión
- PDU

Ref: 1-C-01

Problema:
1.7

A partir del modelo en capas de la figura, describe el proceso de pedido y envío de una pizza, indicando las interacciones de cada nivel.



Resolución:

El invitado sincroniza el pedido con la cocina. El anfitrión comunica su pedido al encargado, quien coordina con la cocina. El sistema telefónico proporciona el camino físico de forma que el pedido pueda ser transportado desde el anfitrión hasta el encargado.

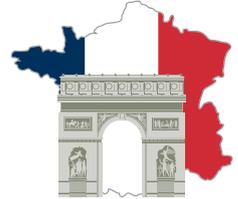
La cocina entrega la pizza al encargado, con el formulario de pedido (actuando de «cabecera» de la pizza). El encargado empaqueta la pizza, incorpora la dirección de envío y la entrega al sistema de envío (scooter). La carretera proporciona el camino físico para la entrega.

Ref: 1-C-02

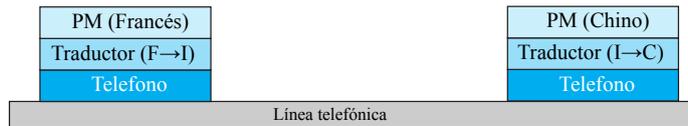
Problema:
1.8

Los primeros ministros francés y chino necesitan celebrar una cumbre internacional vía telefónica, pero ninguno de ellos habla el idioma del otro. Además, ninguno dispone de traductor para traducir el idioma de uno al del otro.

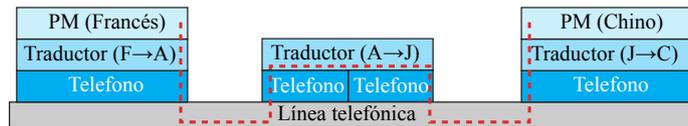
- A última hora, ambos ministros consiguen un traductor a inglés entre su personal. Representa el diagrama de modelo de referencia en capas que ilustre la situación. Describe la interacción entre cada nivel.
- Ahora supongamos que el traductor del primer ministro chino sólo puede traducir al japonés y que el del primer ministro francés sólo puede traducir a alemán. Un traductor alemán-japonés está disponible en Alemania. Esboza el nuevo diagrama que refleje esta organización y describe una hipotética conversación telefónica.

**Resolución:**

- El primer ministro chino habla como si lo estuviera haciendo directamente con el francés. El mensaje (en inglés) se pasa directamente entre los traductores vía telefónica.



- Se necesita un nodo intermedio que se utiliza como traductor antes de pasarlo al otro extremo. El nodo intermedio maneja el mensaje sólo hasta el segundo nivel, por lo que, el primer ministro no es necesario en este nodo.



Ref: 1-C-03

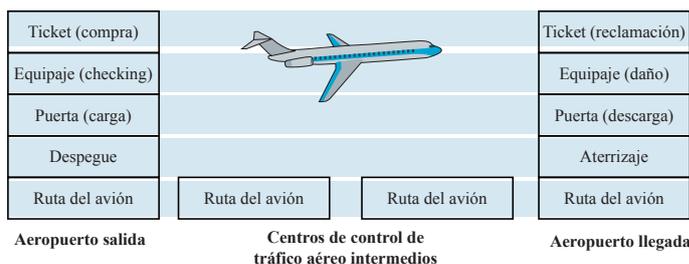
Problema:
1.9

Supongamos el proceso completo de viaje en avión, compra del ticket en ventanilla, operaciones de check-in, recogida de maletas, embarque/desembarque, así como las operaciones de despegue/aterrizaje del avión y los vuelos por las diferentes rutas.

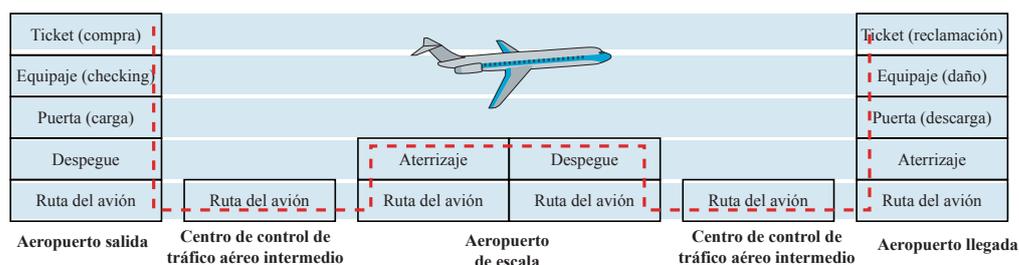
- Diseñar el modelo en capas de las operaciones descritas.
- Modele el siguiente escenario: el avión necesita hacer una escala para repostar.

**Resolución:**

- El modelo en capas:



- La operación de escala para repostar:



Ref: 1-C-04

Problema:
1.10

Los directivos de la compañía Cervezas Especiales, S.A. quieren desarrollar un nuevo proyecto junto con otra cervecera local para producir una cerveza en lata invisible (para el tema de residuos). El presidente se lo comunica a su departamento legal y pide que estudie el tema legal, impuestos, etc. Departamento legal, a su vez, pide ayuda al departamento de ingeniería. Como resultado, el jefe de ingeniería llama a su homólogo en la cervecera local para discutir aspectos técnicos del proyecto. Los ingenieros reportan sus resultados a sus respectivos departamentos legales, que a su vez, debaten los aspectos legales vía telefónica con sus homólogos en la otra compañía. Finalmente, los presidentes de ambas compañías discuten los aspectos financieros del proyecto. ¿Qué principio, desde el punto de vista de los protocolos multinivel OSI, está violando este mecanismo de comunicación?

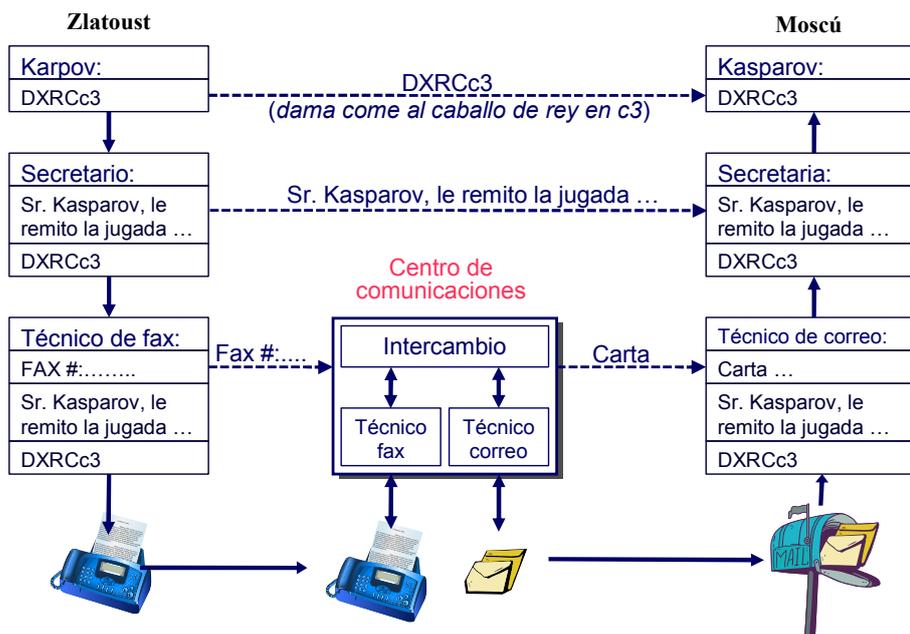
**Resolución:**

En el modelo de protocolos multinivel OSI, la comunicación física sólo se realiza en el nivel más bajo y no en cada nivel.

Ref: 1-C-06

Problema:
1.11

Se disputa en Moscú la final del Campeonato del Mundo de ajedrez entre Karpov y Kasparov. A última hora, las condiciones meteorológicas impiden a Karpov viajar a Moscú para el enfrentamiento, debiéndose quedar en su ciudad natal, Zlatoust. No obstante, deciden jugar la partida de forma remota. Karpov dispone de secretario y FAX. Por el contrario, Kasparov, dispone de secretaria, pero no dispone de FAX, sólo dispone del servicio de Correo postal. Ante la magnitud del evento, la Federación Mundial de Ajedrez decide la instalación de un centro de control, con un técnico de FAX y técnico de correo, encargado de trasladar la carta que contiene la jugada, al servicio de Correos. Esboza el procedimiento a seguir desde el punto de vista de Modelo en capas.

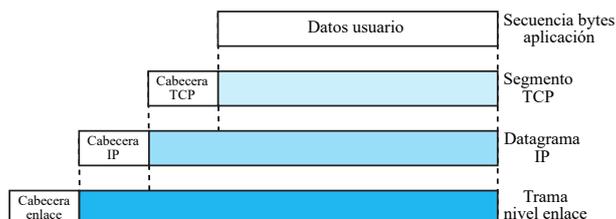
**Resolución:**

Ref: 1-C-10

Problema:
1.12

Una unidad de datos de protocolo (PDU) de la capa N se encapsula en una PDU de capa $(N-1)$. También es posible separar una PDU de nivel N en varias PDUs de nivel $(N-1)$ (*segmentación*) o agrupar varias PDUs de nivel N en una PDU de nivel $(N-1)$ (*agrupamiento*).

- En el caso de *segmentación*, ¿es necesario que cada segmento de nivel $(N-1)$ contenga una copia de la cabecera a nivel N ?
- En el caso de *agrupamiento*, ¿es necesario que cada PDU de nivel N mantenga su propia cabecera, o puede que los datos sean consolidados en una sola PDU de nivel N con una sola cabecera de nivel N ?

**Resolución:**

- NO.

El método propuesto violaría el principio de separación por niveles. Para la PDU de nivel $(N-1)$, la PDU de nivel N son simplemente datos. La entidad $(N-1)$ nada sabe ni conoce acerca del formato interno de la PDU de nivel N . Separa la PDU de nivel N en fragmentos y los reensambla en el orden correcto.

- Cada PDU de nivel N debe contener su propia cabecera (por las mismas razones que en el apartado anterior).

Ref: 1-C-14

Problema:
1.13

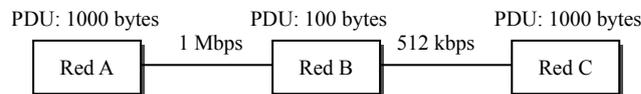
Supongamos tres redes IP denominadas A, B y C. El Host H_A , en la red A, envía mensajes que contienen 180 bytes de aplicación al host H_C , en la red C. La capa TCP añade una cabecera de 20 bytes al mensaje. Los mensajes pasan a través de la red B. El tamaño máximo de PDU, incluyendo 20 bytes de IP, en cada red es:

Red A: 1000 bytes

Red B: 100 bytes

Red C: 1000 bytes

Las redes A y B están conectadas a través de un enlace a 1 Mbps y las redes B y C están conectadas a través de un enlace a 512 Mbps:



Suponiendo que los paquetes se envían correctamente, ¿cuántos bytes, incluyendo cabeceras, se envían a la capa IP en el destino para un mensaje de aplicación, en el mejor caso? Consideramos sólo paquetes de datos.

Sol: 260 bytes

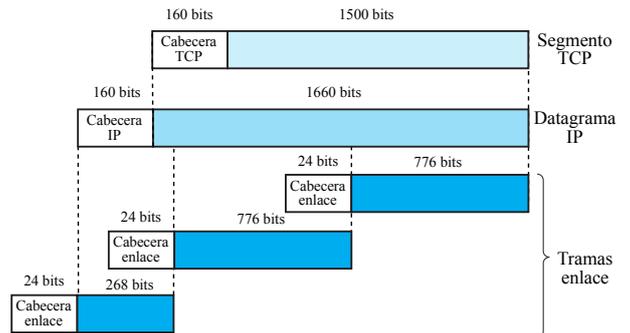
Ref: 1-C-15

Problema:
1.14

Un segmento TCP, consistente en 1500 bits de datos y 160 bits de cabecera, se envía al nivel IP, que añade otros 160 bits de cabecera. Este paquete se transmite a través de varias redes, cada una de ellas utiliza una cabecera de 24 bits. La red destino tiene un tamaño de paquete máximo de 800 bits (incluyendo cabeceras). ¿Cuántos bits, incluyendo cabeceras, se enviarán a la red destino?

Resolución:

En la estación origen, tenemos que los datos más las cabeceras de nivel TCP e IP es un total de 1820 bits. Estos datos se envían a través de las redes mediante una secuencia de paquetes, a cada uno de ellos se les añade 24 bits de cabecera dependiente de la red (enlace), y por lo tanto, puede contener hasta $800 - 24 = 776$ bits de nivel superior.



Por tanto, son necesarios 3 paquetes de red. El total de bits enviados es:

$$1500 + 160 \cdot 2 + 3 \cdot 24 = 1892 \text{ bits}$$

Ref: 1-C-16

Problema:
1.15

Supongamos que el dispositivo fuente A y el destino B están conectados a través de dispositivos de nivel de red.

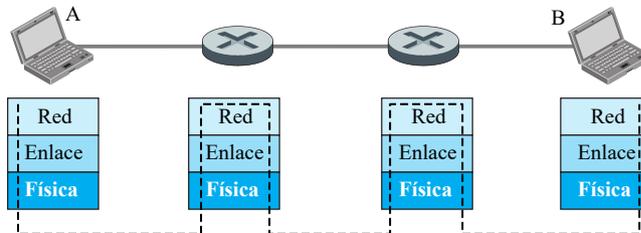


En el viaje del paquete desde A hasta B, determine:

- ¿Cuántas veces visitará el nivel de red?
- ¿Cuántas veces visitará el nivel de enlace?

Resolución:

Los niveles visitados en los diferentes dispositivos se representan en la siguiente figura:

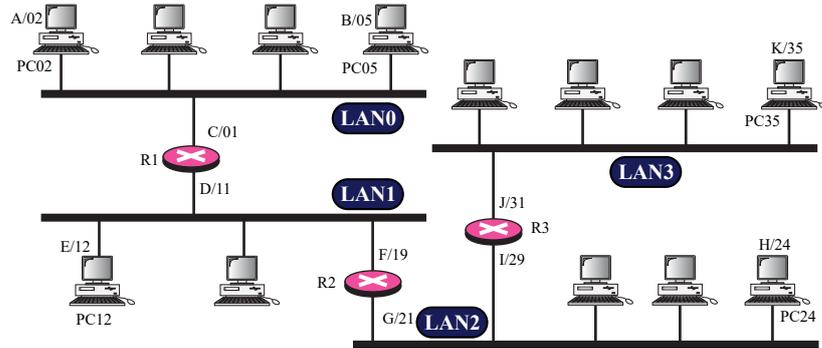


Por lo tanto:

- 4 veces el nivel de red.
- 6 veces el nivel de enlace.

Ref: 1-C-17	😊😊😊	?	↻	🎓	🎸	Problema: 1.16
--------------------	-----	---	---	---	---	-------------------

Sea la siguiente topología, formada por diferentes LANs, interconectadas mediante dispositivos de nivel 3 (routers) y donde el direccionamiento, de cada interfaz, viene indicado por Dirección red/dirección física:



Un cliente HTTP, ubicado en PC02, envía una petición a un servidor, ubicado en PC35.

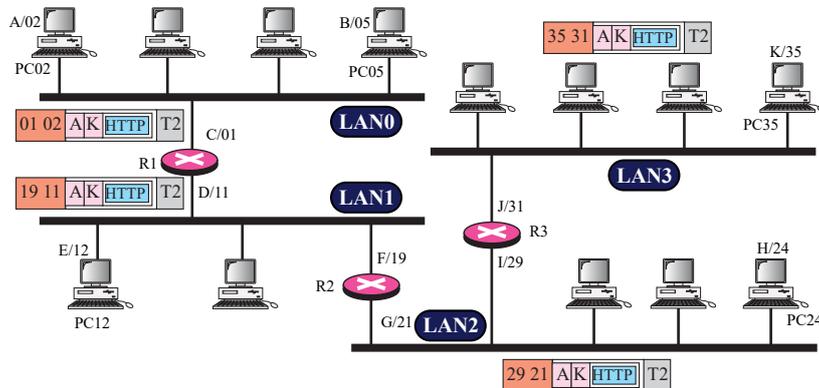
- ¿Cuántas veces se visitará cada nivel de la pila de protocolos TCP/IP?
- Indica, de forma esquemática, la secuencia de tramas generadas.
- ¿Cuántas interfaces serían afectadas por un mensaje broadcast procedente de PC02? ¿Y por PC24?

Resolución:

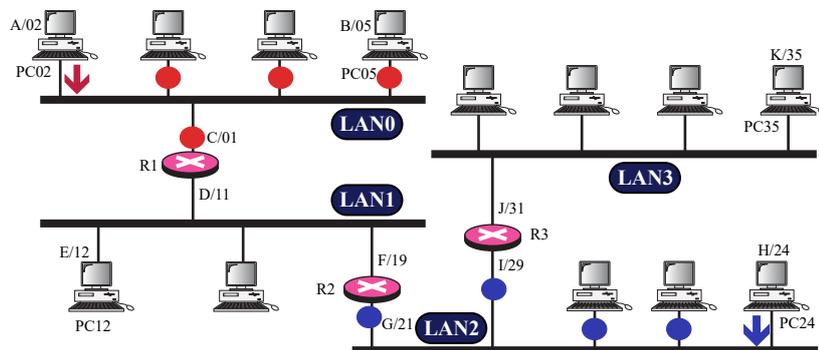
a) Los niveles visitados por la petición HTTP, viene indicado en la siguiente tabla:

Aplicación	Transporte	Red	Enlace/Físico
2	2	5	8

b) La secuencia de tramas generada:



c) Todas las interfaces de la misma LAN (dominio de broadcasting) leerían la trama broadcast, a excepción, de la de procedencia de PC02 (indicado en rojo) y PC24 (indicado en azul).



Ref: 1-C-19	😊😊😊	?	↻	Problema: 1.17
--------------------	-----	---	---	--------------------------

Dos máquinas, A y B, que utilizan una arquitectura de comunicaciones formado por 5 capas, inician un intercambio de información en una arquitectura por niveles, con las siguientes características:

Capa	Nombre	Descripción
L1	Física	No orientada a conexión y no fiable
L2	Enlace	No orientada a conexión y no fiable
L3	Red	Orientada a conexión y fiable
L4	Transporte	Orientada a conexión y fiable
L5	Aplicación	Encargada de generar mensajes

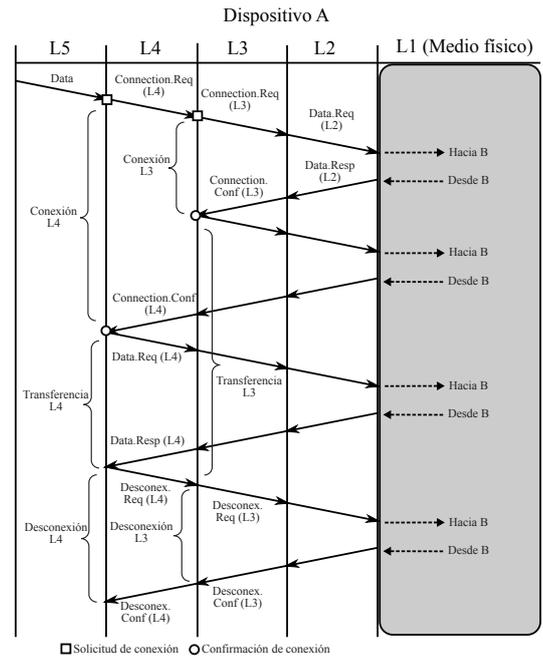
Supongamos la capa L5 del dispositivo A transmite un mensaje a su capa par en B.

- a) Realiza un diagrama temporal con el intercambio de PDUs.
- b) Indica el número de PDUs de cada capa que se intercambian en total.

Resolución:

- a) Hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los servicios orientados a la conexión, previo al envío de datos, es necesario establecer la conexión.
- Los servicios con confirmación, necesita el acuse (confirmación) del otro extremo antes de continuar.



Por tanto, el diagrama final, queda como sigue:

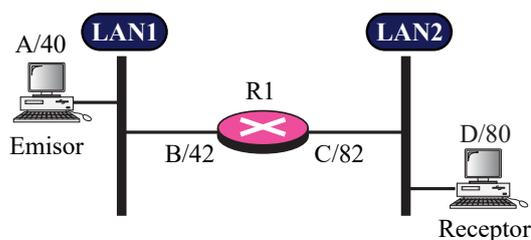
- b) El total de PDUs intercambiados. *Nota:* en el gráfico sólo se visualizan los del dispositivo A, por lo que, son el doble de los mostrados.

Nivel	5	4	3	2	1
PDUs	2	12	16	16	16

Ref: 1-C-20

Problema:
1.18

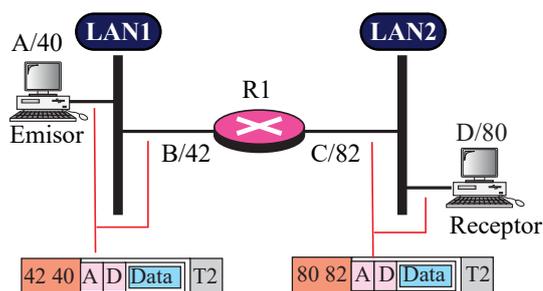
Supongamos la topología de la figura, donde las direcciones de cada nodo vienen indicadas por (*Dirección Red*)/(*Dirección Física*), por ejemplo, A/40, indica el nodo con dirección de red A y dirección física 40:



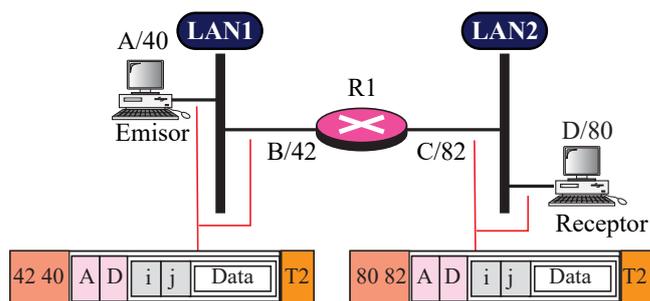
- El computador A envía un mensaje a D a través de LAN1, router R1 y LAN2. Muestra el contenido de los paquetes y tramas a nivel de red y enlace, respectivamente, en cada segmento de red.
- Supongamos se ha establecido una comunicación entre un proceso ejecutándose en el computador A a través del puerto i y un proceso ejecutándose en el computador D a través del puerto j . Muestra el contenido de los paquetes y tramas a nivel red, enlace y transporte en cada segmento de red.

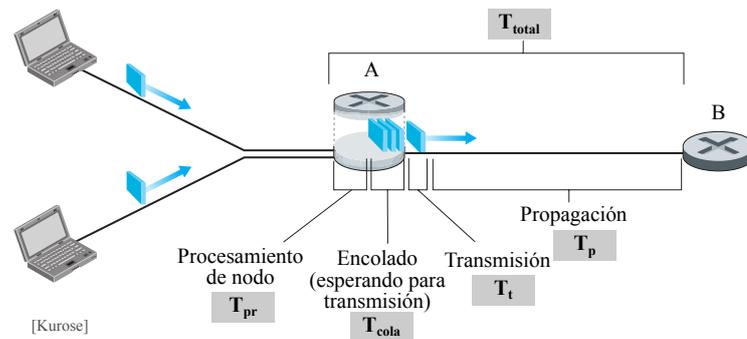
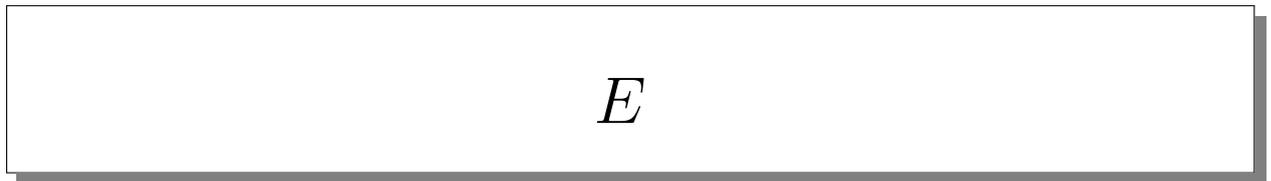
Resolución:

- En este caso:



- En este caso:





- Velocidad/tasa de transmisión/datos/transferencia
- Velocidad del medio
- Retardos: tiempo de transmisión (t_t), tiempo de propagación (t_p)
- Retardo extremo a extremo
- Factor dominante
- Codificación de imagen y voz
- Longitud de trama
- Saltos entre nodos
- Cuello de botella
- Rendimiento/productividad
- Ancho de banda
- Longitud/tiempo de bit
- RTT (*Round Trip Time*)
- Producto retardo \times ancho de banda
- Diagrama temporal

Ref: 1-E-01

Problema:
1.19

Imagine que ha entrenado a su perro San Bernardo, Blacky, para transportar una caja con tres cintas de 8-mm, en lugar de un pequeño tonel de brandy. Las cintas contienen 7 Gigabytes cada una. El perro puede viajar hasta vd., desde donde esté, a una velocidad de 18 km/h.

- ¿Para qué rango de distancias tiene una tasa de transmisión de datos superior a una línea de comunicaciones con una tasa de datos (excluyendo overhead y cualquier otro retardo) de 150 Mbps?
- ¿Y si la velocidad de Blacky fuera el doble?
- ¿Y si la capacidad de cada cinta fuera el doble?
- ¿Y si la tasa de datos de la línea de transmisión fuera el doble?


Resolución:

- Si L es la cantidad de datos transportados, entonces, Blacky puede transportar:

$$L = 3 \cdot 7 \text{ Gigabytes} \cdot 8 = 168 \text{ Gigabits}$$

Si la velocidad de Blacky es $V = 18 \text{ km/h} = 0,005 \text{ km/s}$, entonces, el tiempo necesario para viajar una distancia de $x \text{ km}$ es:

$$t = \frac{x \text{ km}}{0,005 \text{ km/s}} = 200x \text{ s}$$

con lo que se obtiene una tasa de datos:

$$R = \frac{L}{t} = \frac{168 \text{ Gigabits}}{200x \text{ s}} = \frac{840}{x} \text{ Mbps}$$

Entonces:

$$\frac{840}{x} \text{ Mbps} > 150 \text{ Mbps} \rightarrow x < 5,6 \text{ km}$$

Para distancias de hasta 5,6 km, Blacky consigue una tasa de datos superior a una línea de transmisión de 150 Mbps.

- Si la velocidad de Blacky es el doble, el valor máximo de x es el doble.
- Si la capacidad de la cinta es el doble, el valor de x es doble, también.
- Si la tasa de datos de la línea de transmisión es el doble, el valor de x es la mitad.

Ref: 1-E-02

Problema:
1.20

Supongamos datos almacenados en DVDs de 8,54 GBytes de capacidad, simple cara, con un peso de 15 g cada uno, transportados utilizando el servicio de tren Eurostar, Londres-París, que transporta 10^4 kg de estos DVDs. La distancia por ferrocarril es de 640 km y el viaje dura 2 horas y 15 minutos.



¿Cuál es la tasa de transmisión de datos del sistema?

Resolución:

Tiempo transcurrido = 2 horas, 15 minutos = 8100 seg.

$$N^{\circ} \text{ de DVDs} = \frac{10^7 \text{ g}}{15 \text{ g/DVD}} = 666667 \text{ DVDs}$$

$$\text{Tasa de transferencia} = \frac{(8 \cdot 8,54 \text{ Tbits/DVD})(666667 \text{ DVDs})}{8100 \text{ s}} \approx 5,62 \text{ Tbps}$$

Ref: 1-E-06

Problema:
1.21

Sea una imagen de 1600×1200 píxeles con 3 bytes/píxel. Supongamos la imagen sin comprimir. ¿Cuánto tardará en transmitirse utilizando los siguientes estándares?

- a) Canal modem 56 kbps.
- b) Cable modem 1 Mbps.
- c) Ethernet 10 Mbps.
- d) Ethernet 100 Mbps.
- e) Ethernet Gigabit.



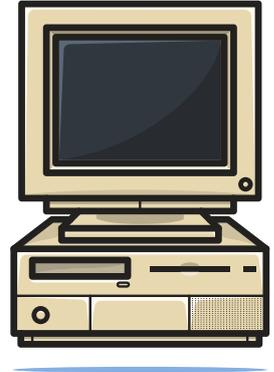
Sol: a) 822,857 s b) 46,080 s c) 4,608 s d) 0,461 s e) 46 ms

Ref: 1-E-07

Problema:
1.22

El monitor de una computadora tiene una resolución de 1200×1000 píxeles y cada píxel utiliza 1024 colores.

- ¿Cuántos bits son necesarios para enviar todo el contenido de una pantalla?
- ¿Cuánto tiempo tardaría en ser transmitido el contenido de la pantalla a través de un canal de 1 Mbps?
- ¿Cuánto tardaría en transmitir el contenido de la pantalla, en el caso del medio de transmisión de 1 Mbps, pero utilizando un algoritmo de compresión de vídeo 100:1?



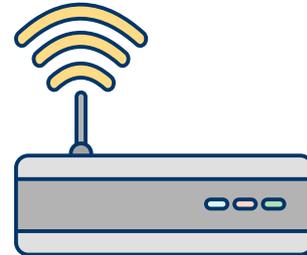
Sol: a) 12 Mbits b) 12 s c) 0,12s

Ref: 1-E-11

Problema:
1.23

Calcula el tiempo mínimo requerido para descargar un millón de bytes de información, utilizando la siguiente tecnología:

- Modem 56K.
- ADSL, considerando la tasa mínima de 1,5 Mbps.
- Cable modem, considerando la tasa mínima de 10 Mbps.



Sol: a) $\approx 143\text{s}$ b) $\approx 5,3\text{s}$ c) $\approx 0,8\text{s}$

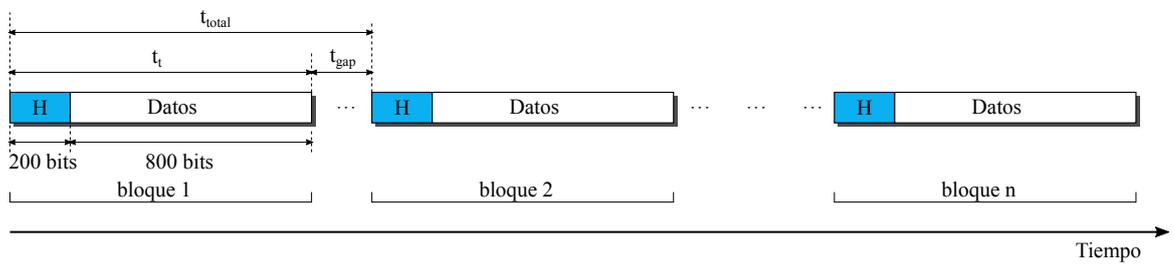
Ref: 1-E-12

Problema:
1.24

Calcula la tasa de transferencia de datos efectiva, trabajando sobre un enlace a 4800 bps, si todos los bloques son de 1000 bits con un contenido del 80% de datos si se transmiten con un intervalo de reposo (*gap*) entre bloques de 2ms.

**Resolución:**

Tenemos que:



entonces, la velocidad efectiva, también denominado *rendimiento* o *throughput*:

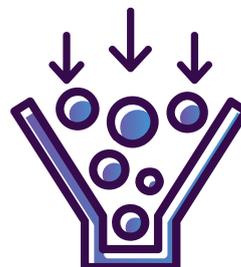
$$R_{efectiva} = \frac{L_{datos}}{t_t + t_{gap}} = \frac{1000 \text{ bits} \cdot 0,8}{\left(\frac{1000}{4800} + 0,002\right) \text{ s}} \approx 3803 \text{ bps}$$

Ref: 1-E-16

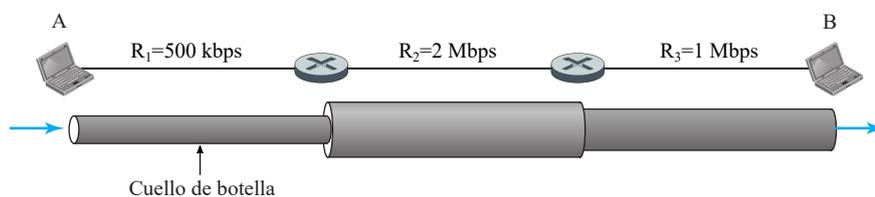
Problema:
1.25

Supongamos que el host A quiere enviar un fichero grande al host B. El camino desde el host A hasta B tiene tres enlaces en serie, de tasas $R_1 = 500$ kbps, $R_2 = 2$ Mbps y $R_3 = 1$ Mbps.

- Suponiendo que no existe ningún otro tipo de tráfico en la red, ¿cuál es el *throughput* de la transferencia de fichero?
- Supongamos el fichero de 4 millones de bytes. ¿Cuánto tardará, aproximadamente, en enviar el fichero al host B?
- Repita (a) y (b), pero ahora con R_2 reducida a 100 kbps.


Resolución:

- Al ser una comunicación por tres enlaces en serie, se obtiene el *throughput* producido por el enlace de menor capacidad (*cuello de botella*), como se muestra en la siguiente figura:



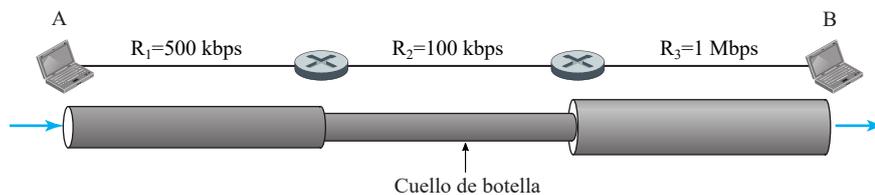
Por lo tanto, el *Throughput*:

$$\text{Throughput} = \min\{R_1, R_2, R_3\} = \min\{500 \text{ kbps}, 2 \text{ Mbps}, 1 \text{ Mbps}\} = 500 \text{ kbps}$$

- El tiempo de envío viene determinado por el tiempo de transmisión a través del cuello de botella:

$$t = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot 8 \text{ bits}}{500 \text{ kbps}} = 64 \text{ s}$$

- En este caso, R_2 se convierte en el cuello de botella:



Por lo tanto, el *Throughput*:

$$\text{Throughput} = \min\{R_1, R_2, R_3\} = \min\{500 \text{ kbps}, 100 \text{ kbps}, 1 \text{ Mbps}\} = 100 \text{ kbps}$$

Y el tiempo de envío, otra vez viene determinado por el tiempo de transmisión a través del cuello de botella, que en este caso:

$$t = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot 8 \text{ bits}}{100 \text{ kbps}} = 320 \text{ s}$$

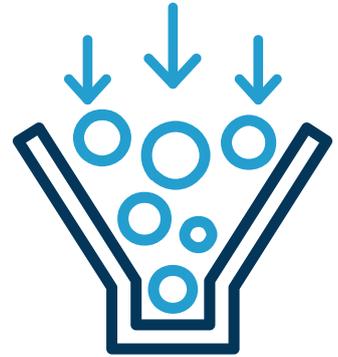
Ref: 1-E-17

Problema:
1.26

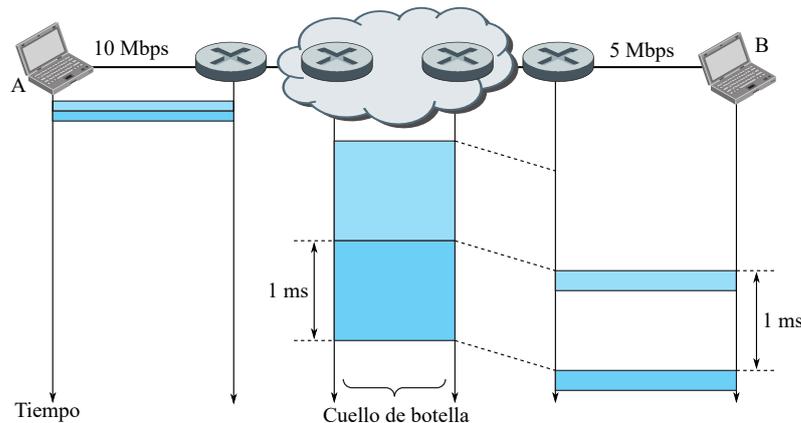
Supongamos dos nodos, A y B, que comunican a través de una red Store & Forward. El nodo A está conectado a la red mediante un enlace a 10 Mbps, mientras que el nodo B está conectado mediante un enlace a 5 Mbps. A envía dos paquetes, de forma consecutiva, de 1000 bits cada uno. La diferencia entre los tiempos de llegadas de ambos paquetes consecutivos a B es de 1 ms.

Consideramos que no hay ningún otro paquete en la red excepto los enviados por A e ignoramos, también, el tiempo de procesamiento de paquetes. Suponemos que ambos paquetes siguen el mismo camino y que no se reordenan. El tiempo de llegada de un paquete al nodo se define como el instante de llegada del último bit del paquete al nodo.

¿Cuál es la tasa de transferencia del enlace de menor capacidad a lo largo del camino $A \leftrightarrow B$?

**Resolución:**

Como los paquetes se envían de forma consecutiva y los tiempos de procesamiento intermedios son nulos, tenemos que la diferencia entre los tiempos de llegada a B de dos paquetes consecutivos representa, en consecuencia, el tiempo de transmisión del segundo paquete a lo largo del enlace más lento de la ruta (cuello de botella), como se refleja en la siguiente figura (realizada a escala):



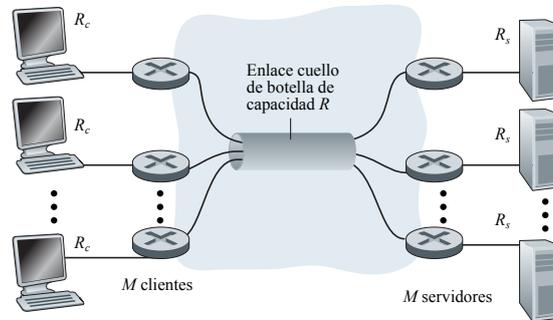
Por lo tanto, la tasa de transferencia mínima del camino entre el origen y destino, corresponde a la tasa de transferencia del cuello de botella. Si L es el tamaño de paquete y T es el tiempo de llegada entre paquetes, y por lo tanto, el tiempo de transmisión por el cuello de botella, entonces, la tasa de transferencia del cuello de botella:

$$R_{\text{mín}} = \frac{L}{T} = \frac{1000 \text{ bits}}{1 \text{ ms}} = 1 \text{ Mbps}$$

Ref: 1-E-18

Problema:
1.27

Considere la topología de la figura con M pares de procesos cliente/servidor. Denotemos por R_s , R_c y R las tasas de datos de los enlaces de servidor, cliente y red, respectivamente. Supongamos que el resto de enlaces tienen suficiente capacidad y que no hay ningún otro tráfico en la red junto al tráfico generado por los M pares cliente/servidor. Obtener una expresión general del *throughput* en términos de R_s , R_c , R y M .

**Resolución:**

El *throughput* final será el mínimo de los rendimientos de todos los enlaces que intervienen en la transmisión del tráfico definido:

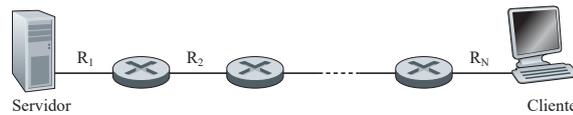
$$\text{throughput} = \min\{R_s, R_c, R/M\}$$

Ref: 1-E-19

Problema:
1.28

Considere la red de la figura, donde hay M caminos entre el servidor y el cliente. Ningún camino comparte enlace físico. El camino k , siendo $k = 1, 2, \dots, M$, está formado por N enlaces con tasas de transmisión de $R_1^k, R_2^k, \dots, R_N^k$. ¿Cuál es el máximo *throughput* que puede conseguir el servidor en los siguientes casos?

- Sólo puede utilizar un camino para enviar los datos al cliente.
- Puede utilizar todos los M caminos para enviar los datos al cliente.

**Resolución:**

- Si sólo utiliza un camino:

$$\text{throughput} = \max \{ \min\{R_1^1, R_2^1, \dots, R_N^1\}, \min\{R_1^2, R_2^2, \dots, R_N^2\}, \dots, \min\{R_1^M, R_2^M, \dots, R_N^M\} \}$$

- Si utiliza todos los caminos:

$$\text{throughput} = \sum_{k=1}^M \min\{R_1^k, R_2^k, \dots, R_N^k\}$$

Ref: 1-E-20

Problema:
1.29

Tenemos un enlace de 2 Km de longitud con capacidad 100 Kbps, por el que queremos transmitir un paquete de 1250 bytes. Suponiendo una velocidad de propagación de 2×10^8 m/s.

- ¿Qué retardo es mayor: transmisión o propagación?
- ¿Qué ocurriría si la capacidad del enlace aumenta a 100 Mbps?
- ¿Y si aumenta a 10 Gbps?

**Resolución:**

El retardo de propagación, es el mismo en todos los casos. Si D es la longitud del medio y V la velocidad de propagación en el medio, entonces:

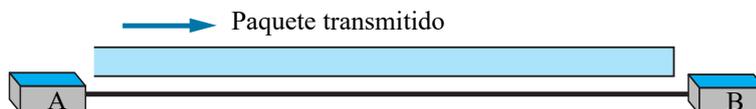
$$t_p = \frac{D}{V} = \frac{2 \cdot 10^3 \text{ m}}{2 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 10 \mu\text{s}$$

Sea L la longitud paquete y R la tasa de transmisión, entonces, el tiempo de transmisión:

$$t_t = \frac{L}{R}$$

- Enlace 100 kbps: *los primeros bits del paquete llegan al destino antes de ser transmitido al medio.*

$$t_t = \frac{8 \cdot 1250 \text{ bits}}{100 \text{ kbps}} = 0,1 \text{ s} \Rightarrow t_t \gg t_p$$

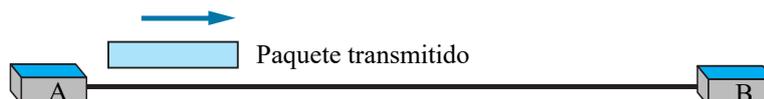


- Enlace 100 Mbps: (misma interpretación que el caso anterior)

$$t_t = \frac{8 \cdot 1250 \text{ bits}}{100 \text{ Mbps}} = 0,1 \text{ ms} \Rightarrow t_t > t_p$$

- Enlace 10 Gbps: *el paquete ha sido transmitido por completo al medio antes que llegue al destino.*

$$t_t = \frac{8 \cdot 1250 \text{ bits}}{10 \text{ Gbps}} = 1 \mu\text{s} \Rightarrow t_t < t_p$$

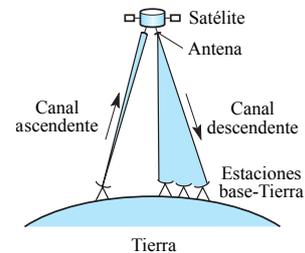


Observamos que, para un mismo enlace, una componente de retardo es mayor que otra dependiendo de la capacidad del enlace (y del tamaño del paquete a transmitir).

Ref: 1-E-21

Problema:
1.30

Un sistema cliente-servidor utiliza una red satélite, con el satélite a una altura de 40000 km. ¿Cuál es el mejor retardo en una respuesta a una solicitud?

**Resolución:**

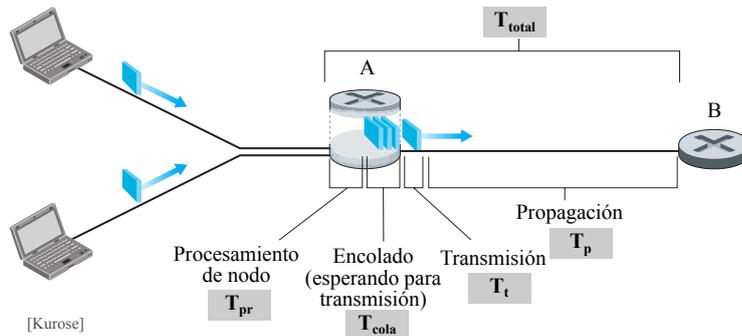
Los sistemas de comunicación satélite están configurados mediante canales ascendente y descendente, por lo tanto, el de solicitud tiene que subir y bajar del satélite, hasta alcanzar el servidor. Y de la misma forma, la respuesta, procedente del servidor, tiene que subir y bajar del satélite, hasta alcanzar el cliente.

Si suponemos $D = 40000$ km la distancia desde los dispositivos tierra hasta el satélite y la velocidad de la luz en el aire y vacío es $c = 300000$ km/s, entonces, sólomente el retardo de propagación, y por lo tanto, el retardo mínimo:

$$t_p = \frac{4D}{c} = \frac{4 \cdot 40000 \text{ km}}{300000 \text{ km/s}} \approx 533 \text{ ms}$$



Supongamos una red enviando paquetes de longitud L , a una tasa de transmisión R a través de un medio de transmisión de longitud D y velocidad de la señal V . Enumera los componentes de retardo extremo-a-extremo, indicando si son constantes o variables.



Resolución:

Los componentes de retardo son:

- T_{pr} : Retardo de procesamiento.
- T_{cola} : Retardo en cola.
- T_t : Retardo de transmisión
- T_p : Retardo de propagación

Todas las componentes son constantes, a excepción del retardo en cola, que dependerá del tamaño de la cola, y por lo tanto, de la congestión de la red.

Ref: 1-E-25

Problema:
1.32

Supongamos un estudio de cine quiere distribuir una nueva película, contenida en un fichero digital, a 1000 salas de proyección mediante una distribución de fichero *peer-to-peer*. Tanto el estudio como las salas de proyección tienen conexiones DSL con tasas de 8 Gbps *downstream* y 4 Gbps *upstream*. El fichero tiene un tamaño de 10 GBytes. ¿Cuánto tiempo, aproximadamente, necesitará para distribuir la película a todas las salas, suponiendo condiciones ideales?

**Resolución:**

La tasa de transferencia está limitada por los 4 Gbps de bajada de las salas de proyección. Como el fichero debe ser enviado a todas las salas, tenemos que hay que transmitir 10 GB de datos a 1000 salas de cine, por tanto, con una tasa de transferencia de 4 Gbps, tardará:

$$t = \frac{1000 \cdot 10 \cdot 8 \text{ Gbits}}{4 \text{ Gbps}} = 20000 \text{ s} \approx 6 \text{ h}$$

Ref: 1-E-26

Problema:
1.33

Determinar el tiempo de propagación y tiempo de transmisión suponiendo una distancia de 12000 km y velocidad de propagación de $2,4 \times 10^8$ m/s, en los siguientes casos. Para cada uno de ellos, indica el factor dominante.

- E-mail con un tamaño de mensaje de 2,5 Kbytes en una red de ancho de banda de 1 Gbps.
- Imagen con un tamaño de mensaje de 5 Mbytes en una red de ancho de banda de 1 Mbps.



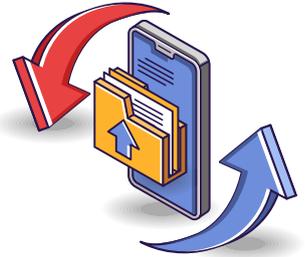
Sol: a) $t_p = 50$ ms; $t_t = 20 \mu\text{s}$ b) $t_p = 50$ ms; $t_t = 40$ s

Ref: 1-E-29

Problema:
1.34

Un fichero de tamaño 30 Mbits se tiene que transferir entre los dispositivos terminales A y B, conectados mediante un enlace directo de 5000 km con una velocidad de la señal de propagación de 200000 km/s. El fichero se transfiere mediante un sólo mensaje, y suponemos que no hay cabeceras de protocolo. Suponiendo tasas de transmisión, de ambos dispositivos, 56 kbps, 64 kbps, 1 Mbps, 16 Mbps y 100 Mbps. Calcula:

- Tiempo de transferencia (latencia) del fichero.
- Indica qué factor es el dominante.
- Producto Retardo \times ancho de banda.

**Resolución:**

Sea D es la distancia del medio y V la velocidad de propagación, entonces, el tiempo de propagación:

$$t_p = \frac{D}{V} = \frac{5000 \text{ km}}{200000 \text{ km/s}} = 25 \text{ ms}$$

Sea L la longitud de paquete y R la tasa de bits al medio, entonces, el tiempo de transmisión:

$$t_t = \frac{L}{R}$$

Por lo que, la latencia total:

$$T = t_p + t_t$$

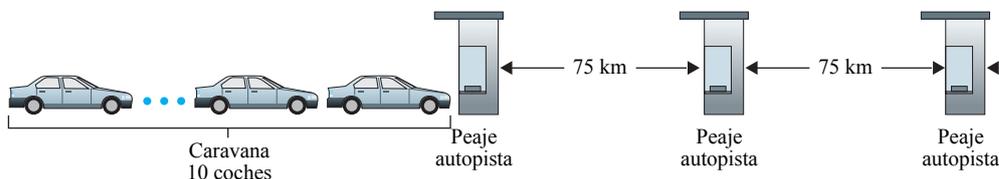
Teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- El tiempo de propagación será igual en todos los casos.
- El tiempo de transmisión dependerá de la tasa de transmisión.
- El producto retardo por ancho de banda, evidentemente, depende del ancho de banda.

por lo tanto, se obtienen los siguientes resultados:

B	t_t	t_p	T	Factor	rb
56 kbps	$\frac{30 \text{ Mbit}}{56 \text{ kbps}} \approx 536 \text{ s}$	25 ms	$536 + 0,025 = 536 \text{ s}$	t_t	30001 kbits
64 kbps	$\frac{30 \text{ Mbit}}{64 \text{ kbps}} \approx 469 \text{ s}$	25 ms	$469 + 0,025 = 469 \text{ s}$	t_t	30002 kbits
1 Mbps	$\frac{30 \text{ Mbit}}{1 \text{ Mbps}} = 30 \text{ s}$	25 ms	$30 + 0,025 = 30 \text{ s}$	t_t	30025 kbits
16 Mbps	$\frac{30 \text{ Mbit}}{16 \text{ Mbps}} = 1,875 \text{ s}$	25 ms	$1,875 + 0,025 = 1,9 \text{ s}$	~	30400 kbits
100 Mbps	$\frac{30 \text{ Mbit}}{100 \text{ Mbps}} = 0,3 \text{ s}$	25 ms	$0,3 + 0,025 = 0,325 \text{ s}$	~	32500 kbits

Ref: 1-E-30

Problema:
1.35

Sea una autopista con una estación de peaje cada 75 km (como se muestra en la figura) donde los coches viajan 100 km/h, es decir, cuando un coche abandona un peaje, instantáneamente acelera hasta los 100 km/h y mantiene esa velocidad hasta el siguiente peaje. Además, supongamos que hay 10 coches viajando juntos formando una caravana, uno justo a continuación del otro. También supongamos que el peaje sirve un coche a una tasa de un coche cada 12 segundos, y además, es una hora en la que la caravana son los únicos coches en el autopista. Finalmente, supongamos que cuando el primer coche de la caravana llega al peaje, espera en la entrada hasta que el resto de nueve coches hayan llegado a la línea justo detrás de él. Por lo tanto, la caravana entera debe ser alojado en el peaje antes de su salida hacia el siguiente peaje.

- Establece las analogías entre los elementos y servicios del autopista con las redes de conmutación de paquetes.
- Suponiendo que la caravana realiza un recorrido total de 150 km, comenzando enfrente de un peaje, pasando a través de un segundo peaje, y terminando justo después de un tercer peaje. ¿Cuál es el retardo extremo-a-extremo?
- Repite el apartado anterior suponiendo una caravana de ocho coches, en lugar de diez.

Resolución:

Autopista	Red de conmutación de paquetes
Peajes	Routers o dispositivos de interconexión
Coche	Bit
Caravana	Paquete
a) Tramos de la autopista entre peajes	Enlaces
Viaje de la caravana por el autopista	Propagación
Servicio de despacho de coches en el peaje	Transmisión
Llegada del primer coche y alojamiento en el peaje de toda la caravana	Almacenar y retransmitir

- Los peajes están separados 75 km, los coches viajan a una velocidad de 100 km/h y los peajes despachan coches a una tasa de un coche cada 12 segundos. Como hay 10 coches, el primer peaje tarda 120 s (ó 2 minutos) en despachar los 10 coches. Cada coche tiene un retardo de propagación de 45 minutos (viajando 75 km) antes de llegar al segundo peaje. Por lo tanto, todos los coches están alineados antes del segundo peaje pasados 47 minutos.

Se repite el proceso para pasar del segundo al tercer peaje. Finalmente, tarda otros 2 minutos en despachar por el tercer peaje los 10 coches.

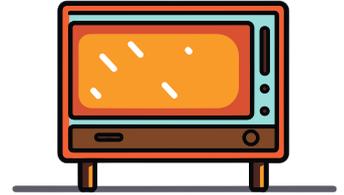
El retardo total es de 96 minutos.

- El retardo entre peajes es 8×12 segundos más 45 minutos, es decir, 46 minutos y 36 segundos. El retardo total es dos veces esa cantidad más 8×12 segundos, es decir, 94 minutos y 48 segundos.

Ref: 1-E-50

Problema:
1.36

La codificación de la HDTV (*Hig-definition TV*) utiliza una señal digital para difundir señal de vídeo de alta calidad, donde el tamaño de pantalla es 16:9 (en contraste con la TV normal que es 4:3), por lo tanto, es más ancha. La pantalla está formada por 1920×1080 pixels, la frecuencia de refresco de la pantalla es 30 veces por segundo, cada color de pixel se representa por 24 bits. ¿Cuál será la tasa de bits necesaria para transmitir HDTV?

**Resolución:**

La tasa de bit calculada es:

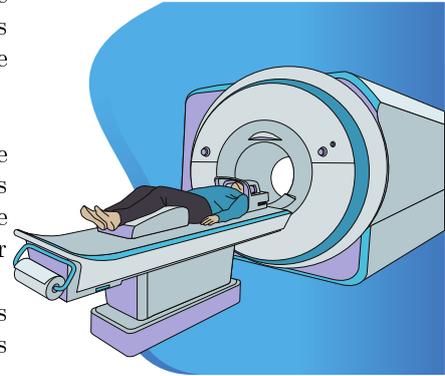
$$N = 1920 \cdot 1080 \cdot 30/s \cdot 24 \text{ bit} = 1492992000 \text{ bps} \approx 1,5 \text{ Gbps}$$

Ref: 1-E-51

Problema:
1.37

Los estudios médicos basados en radiología digital por ultrasonidos consiste en alrededor de 25 imágenes extraídas de un reconocimiento por ultrasonidos en movimiento. Cada imagen consiste en 512×512 píxeles, cada píxel tiene 8 bits para codificación de la intensidad.

- ¿Cuántos bits hay en las 25 imágenes?
- Idealmente, además, los médicos les gustaría utilizar fotogramas de $512 \times 512 \times 8$ bits a 30 fps (fotogramas por segundo). Ignorando posibles factores de compresión y overhead, ¿cuál es la mínima capacidad de canal requerida para que sea posible este estudio en movimiento por ultrasonidos?
- Supongamos que cada estudio en movimiento consiste en 25 secuencias de fotogramas. ¿Cuántos bytes de almacenamiento serían necesarios para guardar un estudio simple en formato no comprimido?



Sol: a) 52,4Mb b) 62,9Mbps c) 196,6 MB

Ref: 1-E-52Problema:
1.38

Supongamos que necesitamos descargar documentos de texto a una tasa de 100 páginas/s, suponiendo 24 líneas con 80 caracteres por línea y codificación de caracteres de 1 byte (8 bits). ¿Cuál es la tasa de bits del canal necesaria?



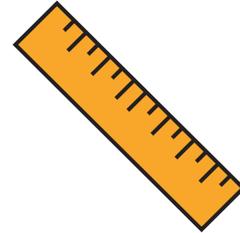
Sol: 1,536 Mbps

Ref: 1-E-60

Problema:
1.39

¿Cuál es la longitud de un bit en un canal con una velocidad de propagación de 2×10^8 m/s, para los siguientes anchos de banda del canal?

- a) 1 Mbps.
- b) 10 Mbps.
- c) 100 Mbps.



Sol: a) 200 m/b b) 20 m/b c) 2 m/b

Ref: 1-E-63

Problema:
1.40

¿Cuál es la longitud de bit (en metros) en la Ethernet original standard IEEE 802.3? Supongamos una velocidad de transmisión de 10 Mbps y velocidad de propagación en el medio coaxial de $\frac{2}{3}$ la velocidad de la luz en el vacío.

**Resolución:**

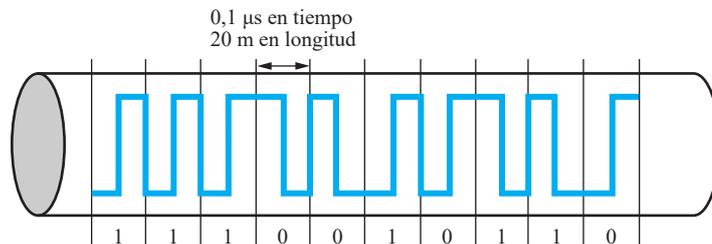
Si R es la tasa de transmisión al medio, entonces, el tiempo de transmisión de un bit:

$$t = \frac{1}{R}$$

Si V la velocidad de propgación entonces la longitud de un bit en el cable:

$$L = t \cdot V = \frac{1}{R} \cdot V = 10^{-7} \text{ s} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 20 \text{ m}$$

Graficamente:



Ref: 1-E-74

Problema:
1.41

Un factor a considerar en los sistemas de conmutación de circuitos es el tiempo empleado por los conmutadores en la operación de almacenamiento y conmutación de paquetes. Si el tiempo de conmutación es $10\ \mu\text{s}$, ¿es posible que sea el mayor factor de retardo en la respuesta de un sistema cliente-servidor, cuando el cliente está en Lisboa y el servidor en Moscú (aproximadamente, 5000 km)? Supongamos que la velocidad de propagación en cobre y fibra es $2/3$ de la velocidad de la luz en el vacío.

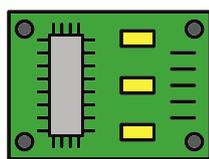

Resolución:

NO.

La velocidad de propagación es $200000\ \text{km/s} = 200\ \text{m}/\mu\text{s}$. En $10\ \mu\text{s}$ la señal viaja 2 km. Por consiguiente, cada switch añade el equivalente a 2 km de cable extra. Si el cliente y servidor están separados 5000 km, suponiendo que cruzaran incluso 50 switches, añadiría 100 km al total de la ruta, lo que supone sólo un 2% del total.

En definitiva, el retardo de conmutación no es el factor dominante bajo estas circunstancias.

Ref: 1-E-81

Problema:
1.43

1 cm



1 m



100 m



100 km



1000 km



10000 km

El retardo de propagación es el tiempo que tarda la energía de una señal en propagarse de un punto a otro.

- Calcula el retardo de propagación atravesando diferentes redes a la velocidad de luz en el cable ($2,3 \times 10^8$ m/s).
- Suponiendo una velocidad de transmisión de: 10000 bps; 1 Mbps; 100 Mbps, 10 Gbps. ¿Cuántos bits hay en el canal durante el tiempo de propagación en cada caso?

Resolución:

Red	Distancia	t_p (s)	Retardo \times ancho de banda (bits)			
			10 Kbps	1 Mbps	100 Mbps	10 Gbps
Circuito impreso	10 cm	0,4347 ns	$4,347 \cdot 10^{-6}$	$4,347 \cdot 10^{-4}$	0,04347	4,3478
Habitación	10 m	0,043478 μ s	$4,3478 \cdot 10^{-4}$	0,043478	4,3478	434,780
Edificio	100 m	0,43478 μ s	$4,3478 \cdot 10^{-3}$	0,43478	43,478	4347,800
Area metropolitana	100 km	0,43478 ms	4,3478	434,78	43478	4347800
Un continente	5000 km	21,74 ms	217,4	21740	2174000	$2,174 \cdot 10^8$
Satélite geoestacionario	2×36000 km	313,04 ms	3130,4	313040	31304000	$3,1304 \cdot 10^9$

Ref: 1-E-86

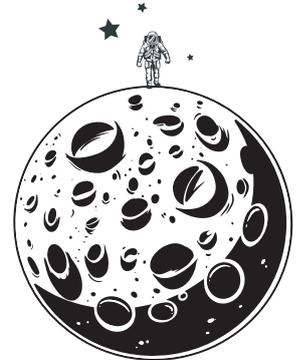
Problema:
1.44

Sea un enlace punto a punto a 1 Gbps establecido entre la Tierra y una nueva colonia en la Luna. La distancia Luna-Tierra es, aproximadamente, 385000 km, y los datos viajan sobre el enlace a la velocidad de la luz (3×10^8 m/s). Se pide:

- Calcula el mínimo RTT del enlace.
- Calcula el producto RTT \times ancho de banda.
- ¿Cuál es el significado del valor obtenido en (b)?

Una cámara en la base lunar toma fotografías de la Tierra y las guarda en formato digital en disco con un tamaño de 25 MBytes. Supongamos que el Control de misión en Tierra quiere descargar las imágenes.

- ¿Cuál es el tiempo mínimo entre que se envía la solicitud hasta que se finaliza la descarga de la imagen en el Control de misión en Tierra?

**Resolución:**

- Si D es la distancia entre la Tierra-Luna y c es la velocidad de la luz, entonces:

$$RTT_{\min} = 2 \cdot \frac{D}{c} = 2 \cdot \frac{385 \cdot 10^6 \text{ m}}{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 2,57 \text{ s}$$

- Si R es la tasa de transferencia de datos del enlace, entonces, el producto RTT-ancho de banda:

$$rb = RTT \cdot R = 2,57 \text{ s} \cdot 1 \text{ Gbps} = 2,57 \text{ Gb}$$

- Indica la cantidad de datos que el emisor podría enviar antes de que fuera posible recibir una respuesta.
- Como es el Control Tierra el que solicita la imagen, primero hay una solicitud que viaja Tierra-Luna, a continuación, la imagen es transmitida desde Luna y, finalmente, viaja hasta Tierra. Por lo tanto, es necesario, como mínimo, un RTT antes de que el primer bit de la imagen pueda llegar a Tierra. Suponiendo que cada fotografía va contenida en un sólo paquete, entonces, si L es la longitud del paquete y asumiendo sólo retardo de transmisión para finalizar el envío:

$$t_t = \frac{L}{R} = \frac{25 \cdot 8 \cdot 10^6 \text{ bits}}{1 \text{ Gbps}} = 0,2 \text{ s}$$

Por lo tanto, el tiempo total para que la imagen llegue, por completo, al Control de misión en Tierra:

$$T = t_t + RTT = 0,2 \text{ s} + 2,57 \text{ s} = 2,77 \text{ s}$$

Ref: 1-E-87

Problema:
1.45

Calcula la cantidad de bits que caben en los siguientes enlaces. Supongamos el retardo en un sólo sentido, desde que el primer bit es enviado hasta que el primer bit es recibido.

- Ethernet 100 Mbps con un retardo de $10 \mu\text{s}$.
- Ethernet 100 Mbps con cuatro switches *store-and-forward*, tamaño de paquete de 12000 bits y retardo de propagación, en cada enlace, de $10 \mu\text{s}$. Nota: suponemos 4 enlaces y 4 dispositivos.
- Línea T1 a 1,5 Mbps, con un retardo transcontinental en un sentido de 50 ms.
- Línea T1 entre dos estaciones terrestres comunicando con satélite en órbita geostacionaria a 35900 km de altura. El único retardo es el producido por el retardo de propagación a la velocidad de la luz, entre Tierra-satélite y vuelta.



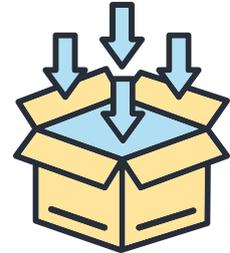
Sol: a) 1 Kbit b) 52 Kbit c) 75 Kbit d) 359 Kbit

Ref: 1-E-88

Problema:
1.46

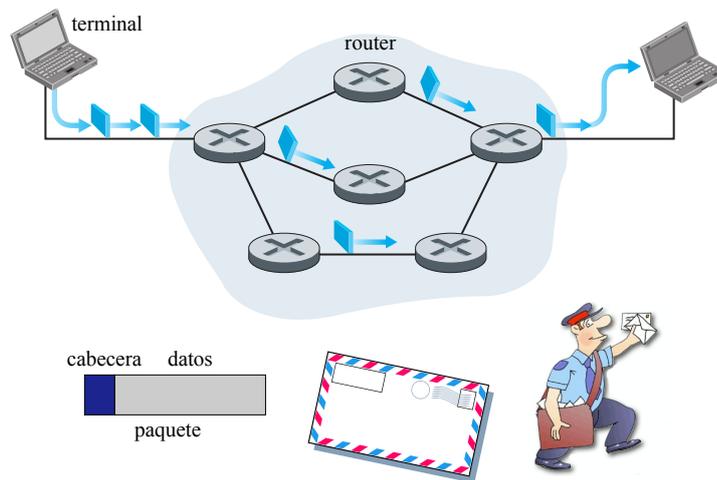
Podemos definir el producto ancho de banda \times retardo en una red como el número de paquetes que pueden estar en el enlace, de forma simultánea, durante un *round-trip-time* (RTT). ¿Cuál es el producto ancho de banda \times retardo, rb , expresado en paquetes, en los siguientes escenarios?

Escenario	Ancho de banda	RTT	Tamaño de paquete
a	1 Mbps	20 ms	1000 bits
b	10 Mbps	20 ms	2000 bits
c	1 Gbps	4 ms	10000 bits



Sol: a) 20 paquetes b) 100 paquetes c) 400 paquetes

F

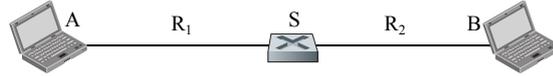


- Redes de conmutación de circuitos
- Redes de conmutación de paquetes
- Redes de conmutación de circuitos virtuales
- Segmentación de mensajes en paquetes: óptimo, sobrecarga
- Ventana de transmisión
- Store and forward y cut-through
- Diagrama temporal

Ref: 1-F-01

Problema:
1.47

Los hosts A y B están conectados al switch S mediante los enlaces $R_1 = R_2 = 100$ Mbps. El retardo de propagación en cada enlace es $20 \mu\text{s}$. Supongamos el envío de 10000 bits de A hasta B, en los siguientes casos:



Si S es un dispositivo *store-and-forward* que comienza la retransmisión del paquete $35 \mu\text{s}$ después de haber finalizado la recepción.

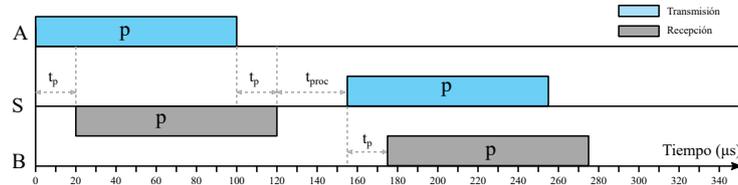
- Como un sólo paquete.
- Como dos paquetes de 5000 bits, enviados uno justo a continuación del otro.

Ahora supongamos que el switch S implementa conmutación *cut-through*, lo que permite empezar la retransmisión del paquete después de haber recibido los primeros 200 bits.

- Como un sólo paquete.
- Como dos paquetes de 5000 bits, enviados uno justo a continuación del otro.

Resolución:

- Dado L la longitud de paquete, el tiempo de procesamiento t_{proc} y el tiempo de propagación, tenemos que, el tiempo de total T , suponiendo un sólo paquete p , desde que sale de A y llega, por completo a B, viene representado en el siguiente diagrama temporal:



Analíticamente:

$$T = \frac{L}{R_1} + t_p + t_{proc} + \frac{L}{R_2} + t_p = \frac{L}{R_1} + t_{proc} + \frac{L}{R_2} + 2t_p \quad (1.1)$$

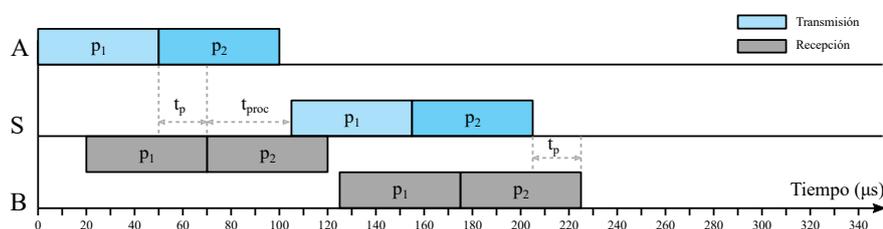
como $R_1 = R_2 = R$, entonces, a partir de la expresión (1.1), el paquete alcanza, por completo, el dispositivo destino, en el instante:

$$T = 2 \left(\frac{L}{R} + t_p \right) + t_{proc} = 2 \left(\frac{10000}{100 \cdot 10^6} + 20 \cdot 10^{-6} \right) + 35 \cdot 10^{-6} = 275 \mu\text{s} \quad (1.2)$$

Con la siguiente sucesión de eventos:

Instante (μs)	Evento
0	A Inicia la transmisión de p
20	El primer bit de p alcanza S
100	A finaliza la transmisión de p
120	p está completamente almacenado en S
155	S inicia la transmisión de p
175	El primer bit de p alcanza B
255	S finaliza la transmisión de p
275	El último bit de p alcanza B

b) Si el mensaje se envía mediante 2 paquetes (p_1 y p_2), de tamaño 5000 bits, entonces, el tiempo de total T , desde que p_1 sale de A hasta que p_2 llega, por completo, a B, viene representado en el siguiente diagrama temporal:



Analíticamente, considerando S el cuello de botella, la expresión del tiempo total se obtiene mediante la adición de los siguientes componentes de tiempo:

- Retardo incurrido por el primer paquete en alcanzar el cuello de botella, es decir, el tiempo de transmisión A, (t_t), más el tiempo necesario en alcanzar B, es decir, (t_p).
- Una vez alcanzado B, el retardo incurrido en procesamiento, por lo tanto, (t_{proc}).
- Retardo incurrido en transmitir n paquetes por el cuello de botella, en este caso, 2 paquetes, por lo tanto, ($2t_t$).
- Finalmente, el retardo incurrido por el último paquete, en alcanzar el destino, por tanto, (t_p).

Luego, si el tamaño de paquete es $L = 5000$ bits y se mantiene la tasa de transmisión R , entonces, el tiempo total:

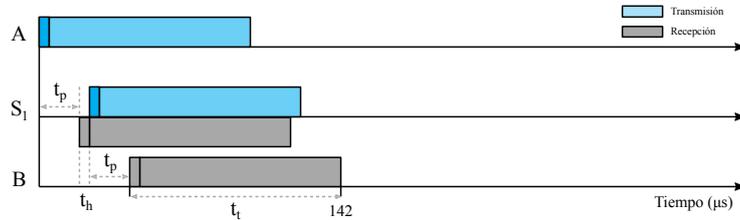
$$T = \frac{L}{R} + t_p + t_{proc} + 2\frac{L}{R} + t_p = 3\frac{L}{R} + 2t_p + t_{proc} = 3 \cdot \frac{5000}{100 \cdot 10^6} + 2 \cdot 20 \cdot 10^{-6} + 35 \cdot 10^{-6} = 225 \mu s$$

Y la sucesión de eventos:

Instante (μs)	Evento
0	Inicio
50	A finaliza la transmisión de p_1 , inicia transmisión de p_2
70	p_1 ha sido propagado hasta S
100	A finaliza el envío de p_2
105	S inicia la transmisión de p_1
125	El primer bit de p_1 alcanza B
175	El primer bit de p_2 alcanza B
225	p_2 ha llegado, por completo, a B

El retardo total es más pequeño que en (a) debido a que p_1 inicia su viaje fuera del switch mientras que p_2 está todavía siendo transmitido por el primer enlace, por lo que se ganan $50 \mu s$. Evidentemente, más pequeño, es más rápido, en este caso.

c) Suponiendo dispositivo *cut-through* y un sólo paquete, el diagrama temporal queda como sigue:



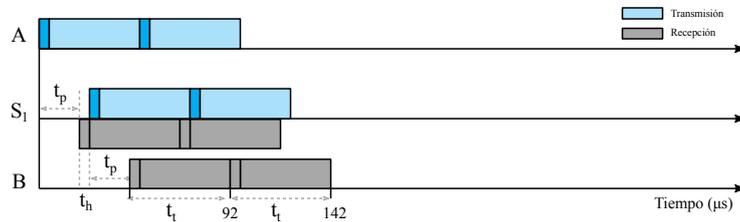
En *cut-through*, una vez el paquete alcanza el switch, se produce un retardo debido a la lectura de la cabecera del paquete, t_h , por lo tanto, la expresión de latencia total:

$$T = 2t_p + t_h + t_t \quad (1.3)$$

Si el tamaño de cabecera es $H = 200$ bits y el tamaño de trama $L = 10000$ bits, entonces, a partir de la expresión (1.3):

$$T = 2t_p + \frac{H}{R} + \frac{L}{R} = 2 \cdot 20 \mu s + \frac{200 \text{ bit}}{100 \text{ Mbps}} + \frac{10000 \text{ bits}}{100 \text{ Mbps}} = 2 \cdot 20 \mu s + 2 \mu s + 100 \mu s = 142 \mu s$$

d) Suponiendo dispositivo *cut-through* y dos paquetes de tamaño $L = 5000$ bits:



Analíticamente, sería el tiempo en transmitir el paquete anterior más el tiempo de transmisión por el cuello de botella (en este caso, el tiempo de transmisión por cualquier enlace):

$$T = 2(t_p + t_t) + t_h = 2 \cdot (20 + 50) \mu s + 2 \mu s = 142 \mu s$$

Ref: 1-F-06

Problema:
1.48

En relación a las técnicas de conmutación:

- a) ¿Por qué se utiliza, generalmente, conmutación de paquetes en redes de computadores y no conmutación de circuitos?
- b) ¿Cree que es adecuada para la transmisión de audio y vídeo? Justifique la respuesta.

Resolución:

- a) En transmisión de datos digitales, la conmutación de paquetes proporciona un mejor aprovechamiento del ancho de banda del canal, reduce los retrasos, requiere menor capacidad de almacenamiento en los nodos intermedios y permite que la entrega de datos no sea en tiempo real.
- b) La conmutación de paquetes no es adecuada para la transmisión de audio y vídeo, precisamente porque está diseñada para entrega de datos no en tiempo real. Además, los distintos paquetes pueden tomar diferentes caminos y llevar asociados distintos retrasos, incluso llegando desordenados al destino, e introduciendo un tiempo de procesamiento extra para formar la señal de audio/vídeo original. No obstante, existen hoy múltiples protocolos que permiten aprovechar al máximo las características de estas redes para que sí puedan ser adecuadas a la transmisión multimedia.

Ref: 1-F-10

Problema:
1.49

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

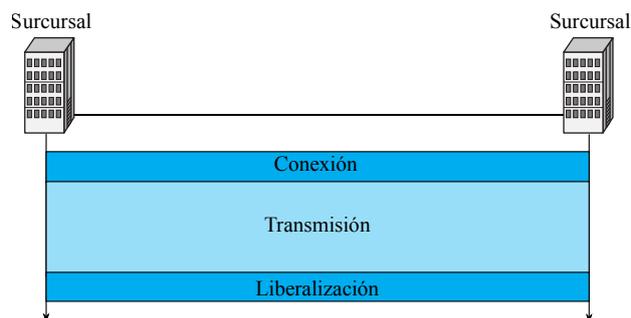
- Velocidad del enlace de acceso desde el terminal al nodo de conmutación de 64 Kbps.
- Los paquetes son de 256 bytes, formados por 20 bytes de cabecera y 236 bytes de datos de usuario.
- Tiempo de propagación despreciable.
- Tiempo de procesado del paquete despreciable.

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 la información a actualizar, desde una sucursal a la central, según opción A.
- b) Idem. que el apartado anterior, según opción b).
- c) Razonar cómo se podría modificar la peor de las opciones para conseguir mejorar el tiempo necesario para la actualización.

Resolución:

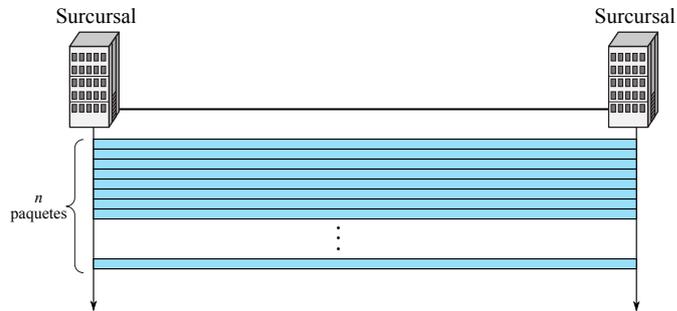
- a) **Opción A:** conmutación de circuitos:



Sean S_1 y S_2 los tiempos de conexión y desconexión, respectivamente. Sea M el tamaño de mensaje y R la tasa de transmisión, entonces, el tiempo total para la transmisión del fichero:

$$T_{cc} = S_1 + \frac{M}{R} + S_2 = 2\text{s} + \frac{100 \cdot 8 \text{ kbytes}}{64 \text{ kbps}} + 1\text{s} = 15,5\text{s}$$

b) **Opción B:** conmutación de paquetes:



Si D es el tamaño de datos en el paquete, entonces, el número de paquetes a transmitir:

$$n = \left\lceil \frac{M}{D} \right\rceil = \left\lceil \frac{100 \text{ Kbytes}}{236 \text{ bytes/paquete}} \right\rceil = 424 \text{ paquetes}$$

Si P es el tamaño de paquete y R la tasa de transmisión, entonces, el tiempo total:

$$T_{cp} = n \frac{P}{R} = 424 \cdot \frac{256 \cdot 8 \text{ bit}}{64 \text{ kbps}} = 13,5 \text{ s}$$

c) Reduciendo tiempo de establecimiento y/o liberación del circuito.

Ref: 1-F-12

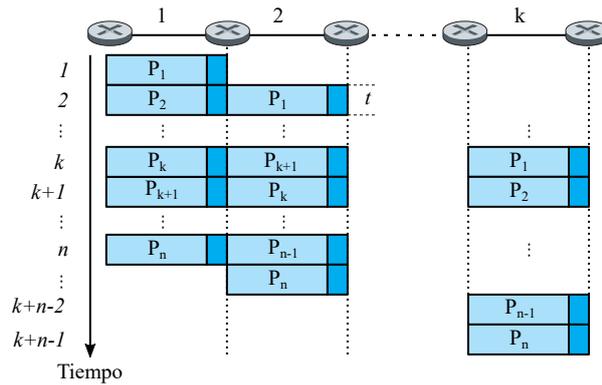
Problema:
1.50

Un mensaje de M bits de datos se transmite por una red de conmutación de paquetes atravesando k enlaces nodo-nodo. Los paquetes están formados por D bits de datos y H bits de cabecera, la tasa de transmisión es R bps y el tiempo de propagación es insignificante.

- Hallar la expresión general de D que minimiza el tiempo total de transmisión.
- Calcular D para $M = 1$ Mbit, $k = 17$ enlaces, $H = 12$ bits y $R = 1200$ bps.
- Supongamos el envío de un fichero grande de tamaño 1 Mbit del host A al B. Hay tres enlaces (y dos conmutadores) entre A y B. Supongamos que los enlaces no sufren congestión (no hay retardo de colas). Host A segmenta el fichero en segmentos de D bits de datos y 80 bits de cabecera. La tasa de transmisión de cada enlace es de R Mbps. Encuentra el valor de D que minimiza el retardo de mover el fichero del host A al B. Ignora el retardo de propagación.

Resolución:

- A la vista del diagrama temporal:



Sea n el número de paquetes de tamaño P en los que se divide el mensaje M , a una tasa de transmisión R a lo largo de k enlaces, siendo $n > k$, entonces, el tiempo de transmisión del mensaje:

$$T = (n + k - 1) \frac{P}{R} \quad (1.4)$$

Si el número de paquetes:

$$n = \left\lceil \frac{M}{D} \right\rceil \approx \frac{M}{D} \quad (1.5)$$

y sabemos que:

$$P = D + H \quad (1.6)$$

Entonces, sustituyendo (1.5) y (1.6) en (1.4), obtenemos:

$$T = \left(\frac{M}{D} + k - 1 \right) \frac{D + H}{R} \quad (1.7)$$

Para encontrar el valor de D que minimiza T , hacemos:

$$\frac{\partial T}{\partial D} = 0$$

obteniendo:

$$D = \sqrt{\frac{MH}{k-1}}$$

b) A partir de los datos del enunciado:

$$D = \sqrt{\frac{MH}{k-1}} = \sqrt{\frac{10^6 \cdot 12}{17-1}} = 866,02 \text{ bits} \rightarrow 867 \text{ bits} \quad (1.8)$$

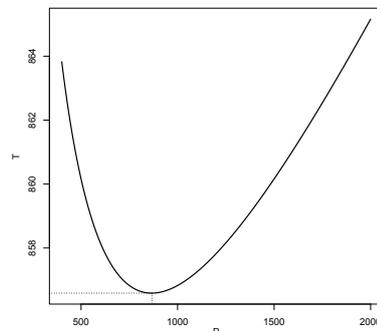
Además, numéricamente podemos comprobar que, para diferentes valores D en la expresión (1.7), se obtiene un mínimo para el valor obtenido a partir de la expresión (1.8):

$$T_{(D=100)} \approx 935 \text{ s}$$

$$T_{(D=867)} \approx 856 \text{ s}$$

$$T_{(D=2000)} \approx 865 \text{ s}$$

Finalmente, a partir de (1.7), para diferentes valores de D , obtenemos:



c) A partir del enunciado, $k = 3$, $M = 10^6$ bits y $H = 80$ bits, con la siguiente topología:



Por lo tanto, a partir de (1.8):

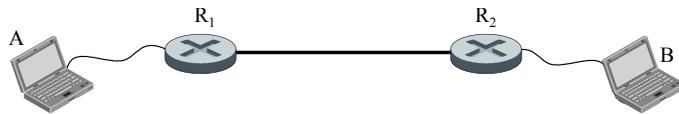
$$D = \sqrt{\frac{MH}{k-1}} = \sqrt{\frac{10^6 \cdot 80}{3-1}} \approx 6325 \text{ bits}$$

Ref: 1-F-16

Problema:
1.51

Supongamos la red de conmutación de paquetes de la figura. Supongamos que el ancho de banda de cada enlace es 1Mbps. Un usuario en el host A envía un fichero de tamaño 1000 bits al host B a través de los routers R_1 y R_2 , de tres formas diferentes:

- Como un único paquete que contiene todo el fichero.
- El fichero se divide en 10 partes iguales.
- El fichero se divide en 20 partes iguales.



Calcula el tiempo total de envío del fichero, en cada escenario, teniendo en cuenta las siguientes suposiciones:

- Sobrecarga total de cabeceras de 100 bits.
- Sólo se considera tiempo de transmisión e ignoramos cualquier otro tiempo de procesamiento, encolamiento y propagación.
- No hay errores de transmisión.

Resolución:

Sea T_n el tiempo total de transmisión de n paquetes de tamaño P bits a través de N nodos, a una tasa de transmisión de R bps:

$$T_n = n \frac{P}{R} + (N - 2) \frac{P}{R} = (N - 2 + n) \frac{P}{R}$$

En este caso, con $N = 4$, por lo tanto:

$$T_n = (n + 2) \frac{P}{R}$$

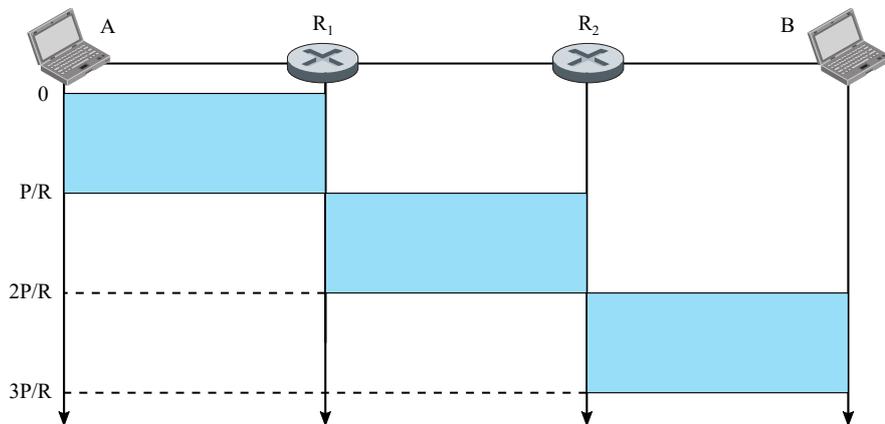
Si D es el tamaño de datos y H el tamaño de la cabecera del paquete, entonces:

$$P = D + H$$

por lo que la expresión final:

$$T_n = (n + 2) \frac{D + H}{R} \quad (1.9)$$

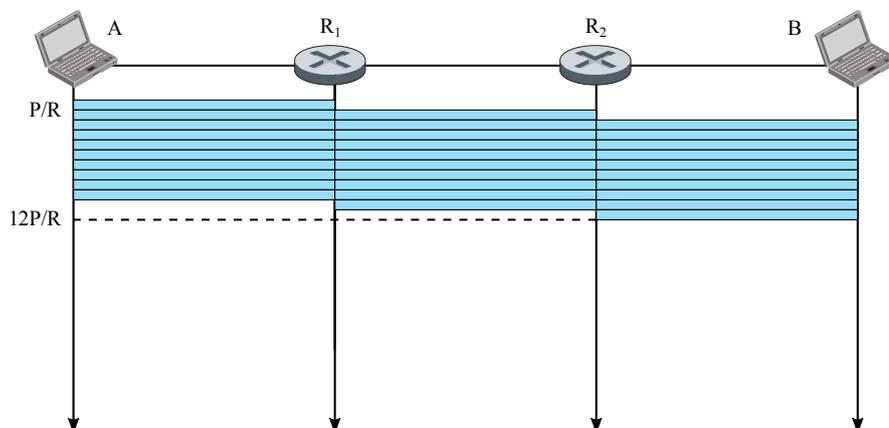
- Utilizando un sólo paquete, $n = 1$:



por lo tanto, $D = 1000$ y $H = 100$. A partir de la expresión (1.9):

$$T_1 = (1 + 2) \cdot \frac{(1000 + 100) \text{ bits}}{1 \text{ Mbps}} = 3300 \mu\text{s}$$

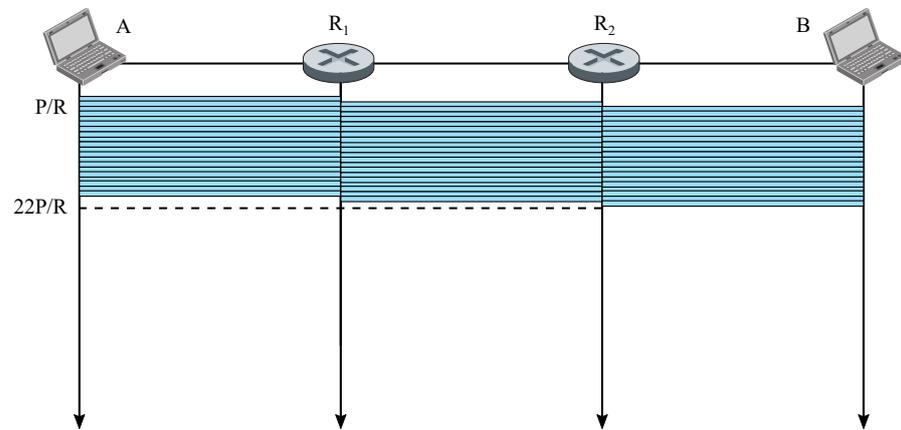
b) Segmentando el mensaje $n = 10$ paquetes:



por lo tanto, $D = 100$ y $H = 100$. A partir de la expresión (1.9):

$$T_{10} = (10 + 2) \cdot \frac{(100 + 100) \text{ bits}}{1 \text{ Mbps}} = 2400 \mu\text{s}$$

c) Segmentando el mensaje $n = 20$ paquetes:

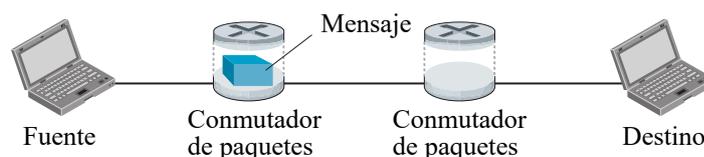


por lo tanto, $D = 50$ y $H = 100$. A partir de la expresión (1.9):

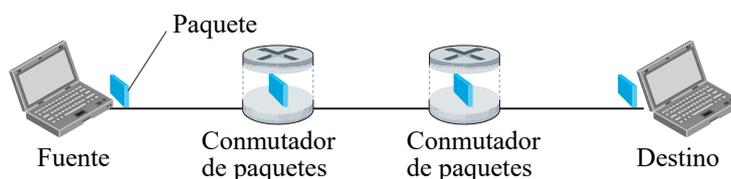
$$T_{20} = (20 + 2) \cdot \frac{(50 + 100) \text{ bits}}{1 \text{ Mbps}} = 3300 \mu\text{s}$$



En las redes de conmutación de paquetes modernas, incluido Internet, los hosts fuente segmentan los mensajes largos de nivel aplicación (por ejemplo, ficheros de imágenes o música) en paquetes más pequeños para ser enviados por la red. El receptor, se encarga de reensamblar los paquetes para obtener el mensaje original (proceso de segmentación) (ver figura adjunta). Consideremos un mensaje de longitud 8 Mbits enviado desde el host origen al host destino. Supongamos enlaces a 2 Mbps y despreciables los retardos de propagación, colas y procesamiento.



(a) Sin segmentación de mensajes.



(b) Con segmentación de mensajes.

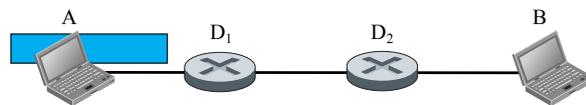
- Consideremos el envío de un mensaje de la fuente al destino sin segmentación de mensajes. ¿Cuánto tardará desde el host fuente hasta el primer conmutador de paquetes?
- Sin olvidar que los conmutadores realizan operaciones de *store-and-forward*, ¿cuál será el tiempo total utilizado en viajar el mensaje desde el host origen hasta el host destino?
- Ahora supongamos que el mensaje se segmenta en 800 paquetes, con una longitud de paquete de 10 Kbits. ¿Cuánto tardará el primer paquete desde el host fuente hasta el primer conmutador?
- Cuando el primer paquete está siendo enviado del primer al segundo switch, el segundo paquete está siendo enviado desde el host fuente al primer conmutador. ¿En qué instante será totalmente recibido el segundo paquete en el primer conmutador?
- ¿Cuánto tardará el fichero en ir desde el host origen hasta el host destino utilizando segmentación de mensajes? Comparar y comentar con el resultado de (a).
- Además de la reducción del retardo, ¿cuáles son las razones para la segmentación de mensajes?
- Discutir los inconvenientes de la segmentación de mensajes.

Sol: a) 4s b) 12s c) 5ms d) 10ms e) 4,01s f) - g) -

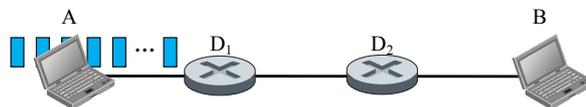
Ref: 1-F-28

Problema:
1.53

En las redes de conmutación de paquetes, el host fuente segmenta los mensajes de nivel aplicación que superan cierto tamaño (por ejemplo, ficheros de imagen, video, audio, etc) en paquetes más pequeños y los envía a la red. El receptor debe, entonces, reensamblar todos los paquetes en el mensaje original. Este proceso se denomina *segmentación de mensajes*. Supongamos un mensaje de 9Mbits de longitud que debe ser enviado desde un host fuente al destino, según la siguiente la figura, suponiendo un ancho de banda de 1,5Mbps, y suponiendo despreciables los retardos de propagación, cola y procesamiento. Considerar *Store and Forwarding* en los nodos intermedios.



(a) Sin segmentacion



(b) Con segmentacion

Considerar el envío del mensaje de la fuente al destino sin segmentación de mensajes.

- ¿Cuánto tiempo tardará en mover el mensaje desde el host origen hasta el primer conmutador?
- ¿Cuánto tardará en viajar el mensaje desde el host fuente hasta el host destino?

Supongamos ahora que el mensaje se segmenta en 6000 paquetes, con una longitud de 1500 bits cada paquete.

- ¿Cuánto tardará el primer paquete en viajar hasta el primer conmutador?

Cuando el primer paquete se está enviando del primer hacia el segundo switch, el segundo paquete se está enviando del host fuente al primer conmutador.

- ¿En qué instante de tiempo será recibido completamente el segundo paquete en el primer conmutador?
- ¿Cuánto tardará en mover el fichero del host fuente al host destino cuando se utiliza segmentación? Compara los resultados con los obtenidos en el apartado (a).

Sol: a) 6 s b) 18 s c) 1 ms d) 2 ms e) 6,002 s

Ref: 1-F-32

Problema:
1.54

Considerar los siguientes parámetros de una red de conmutación:

- k , número de saltos (enlaces) entre dos estaciones A y B.
- M , longitud total del mensaje en bits.
- R , 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 liberación de esta conexión.
- τ , retardo de propagación para cada enlace en segundos.

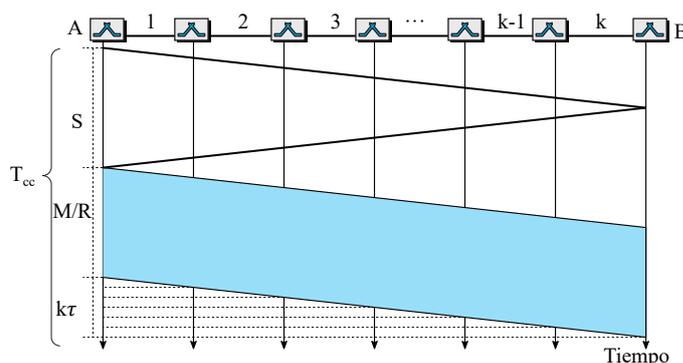
Sea un mensaje enviado desde el dispositivo A hasta B. Se pide:

- a) Obtener la expresión del retardo total sobre una red de conmutación de circuitos.
- b) Idem mediante red de conmutación de paquetes (datagrama).
- c) Calcular el valor de P en función de k , M y H que minimice el valor del retardo total para una red de conmutación de paquetes.

Resolución:

Tanto en conmutación de circuitos como en conmutación de paquetes, siempre es aconsejable realizar el diagrama temporal:

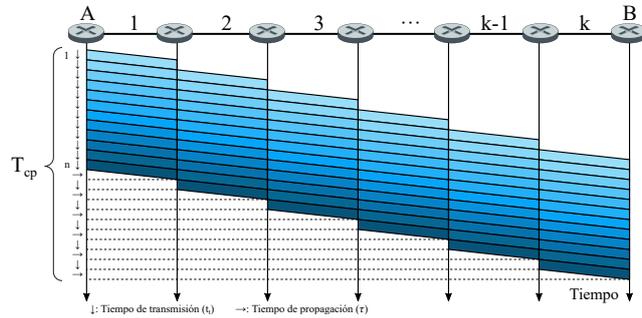
- a) El diagrama temporal correspondiente a la conmutación de circuitos:



Por lo que el tiempo total, utilizando conmutación de circuitos, T_{cc} :

$$T_{cc} = S + \frac{M}{R} + k\tau$$

- b) El diagrama temporal correspondiente a la conmutación de paquetes:



Por lo que el tiempo total, utilizando conmutación de paquetes, T_{cp} :

$$T_{cp} = n \frac{P}{R} + k\tau + (k-1) \frac{P}{R} \quad (1.10)$$

c) Sabiendo que P es la longitud total del paquete, H la longitud de cabecera y D la longitud de datos:

$$P = D + H$$

Si n es el número de paquetes en los que se segmenta el mensaje M original, entonces:

$$n = \frac{M}{D}$$

por lo tanto, sustituyendo en la expresión (1.10):

$$T_{cp} = \frac{M}{D} \cdot \frac{D+H}{R} + k\tau + (k-1) \cdot \frac{D+H}{R}$$

Para encontrar el mínimo de T_{cp} con respecto a D :

$$\frac{\partial T_{cp}}{\partial D} = 0$$

obteniendo:

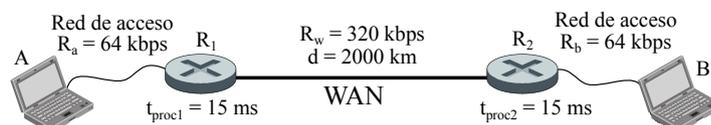
$$D = \sqrt{\frac{MH}{k-1}}$$

Por lo tanto, el valor mínimo de P corresponde a:

$$P = D + H = \sqrt{\frac{MH}{k-1}} + H$$



Se considera la red de la figura:



- a) 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 emisor hasta el receptor así como la cadencia (tiempo entre transmisiones) 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 emisor se incrementa hasta 128 kbps.
- c) El nodo R_2 tiene que sustituirse temporalmente por un modelo más antiguo y el tiempo de procesado se incrementa hasta 65 ms.
- d) El enlace $R_1 \leftrightarrow R_2$ se sustituye por un circuito vía satélite, de una longitud total de $2 \cdot 36000$ 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, $V = 300000$ 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.

Resolución:

- a) Si D es la distancia y V la velocidad de propagación, entonces, el tiempo de propagación:

$$\tau = \frac{D}{V} = \frac{2000 \text{ km}}{200 \text{ km/ms}} = 10 \text{ ms}$$

entonces, el tiempo en enviar un paquete entre los extremos de la topología:

$$\begin{aligned} T &= \frac{P}{R_a} + t_{proc1} + \frac{P}{R_w} + \tau + t_{proc2} + \frac{P}{R_b} \\ &= P \left(\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_w} + \frac{1}{R_b} \right) + t_{proc1} + t_{proc2} + \tau \end{aligned} \quad (1.11)$$

luego, el tiempo necesario para enviar un paquete, de tamaño $P = 400$ bytes, a partir de (1.11):

$$T = 400 \cdot 8 \cdot \left(\frac{2}{64} + \frac{1}{320} \right) \text{ bit/kbps} + 2 \cdot 15 \text{ ms} + 10 \text{ ms} = 150 \text{ ms}$$

El cuello de botella en el camino $A - B$ viene producido por $R_a = 64$ kbps, por lo tanto, si el tiempo de transmisión por el cuello de botella:

$$t = \frac{P}{R_a} = \frac{400 \cdot 8 \text{ bit}}{64 \text{ kbps}} = 50 \text{ ms}$$

entonces, la cadencia máxima con la que puede transmitir la fuente viene determinada por el cuello de botella, por lo tanto, en términos de paquetes, habrá 50 ms entre paquetes, que corresponde al tiempo de transmisión de paquete en el cuello de botella.

b) Con este cambio en la velocidad de acceso, a partir de (1.11):

$$T = 400 \cdot 8 \cdot \left(\frac{1}{128} + \frac{1}{320} + \frac{1}{64} \right) \text{ bit/kbps} + 2 \cdot 15 \text{ ms} + 10 \text{ ms} = 125 \text{ ms}$$

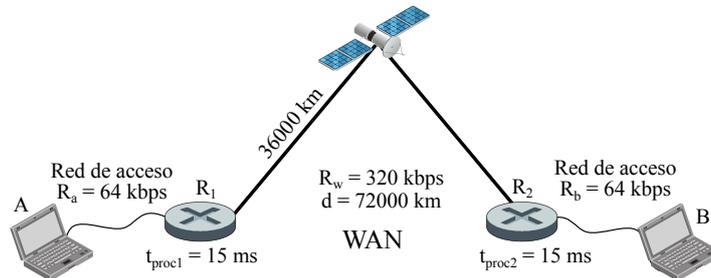
El cuello de botella sigue siendo el mismo nodo, 64 kbps, por lo tanto, misma cadencia máxima que en el apartado anterior, 50 ms, entre paquetes.

c) Aumentando el tiempo de procesamiento en R_2 , y a partir de (1.11), se tiene un tiempo total:

$$T = 400 \cdot 8 \cdot \left(\frac{2}{64} + \frac{1}{320} \right) \text{ bit/kbps} + 15 \text{ ms} + 65 \text{ ms} + 10 \text{ ms} = 200 \text{ ms}$$

En este caso, el cuello de botella viene producido por t_{proc2} , por lo tanto, se produce una cadencia de 65 ms entre paquetes.

d) Cambiando el enlace WAN por un enlace satélite:



en este caso, el tiempo de propagación:

$$\tau = \frac{D}{V} = 2 \cdot \frac{36000 \text{ km}}{300 \text{ km/ms}} = 240 \text{ ms}$$

por lo tanto, a partir de (1.11):

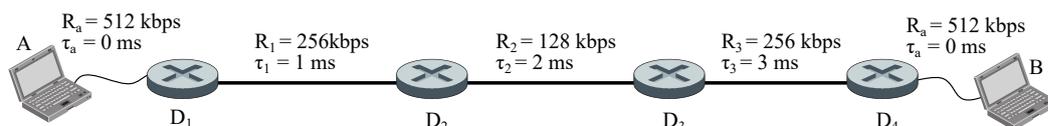
$$T = 400 \cdot 8 \cdot \left(\frac{2}{64} + \frac{1}{320} \right) \text{ bit/kbps} + 2 \cdot 15 \text{ ms} + 240 \text{ ms} = 380 \text{ ms}$$

Por lo que se obtiene un Throughput de 64 kbps y 50 ms entre paquetes (cadencia).

Ref: 1-F-42

Problema:
1.56

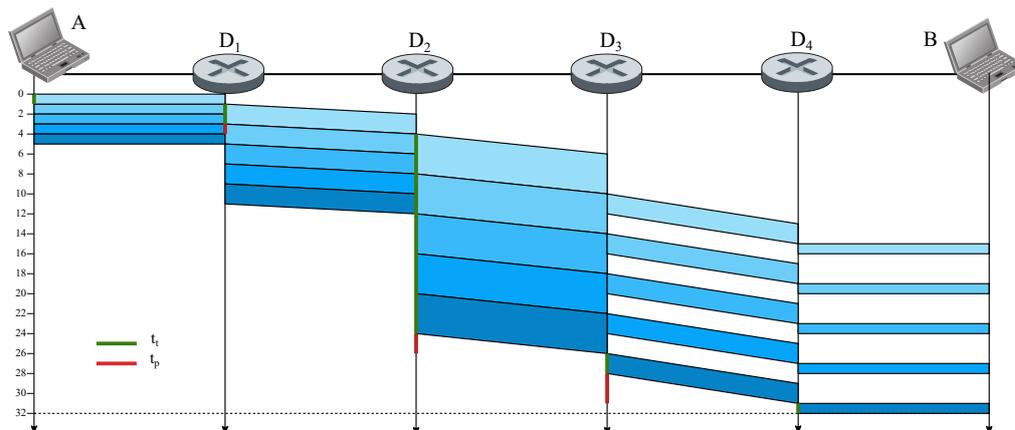
Sea la topología de la figura, compuesta por los conmutadores D_1 , D_2 , D_3 y D_4 , conectados por enlaces punto a punto con tasas de transmisión R_x kbps y retardo de propagación τ_x ms. La red de acceso, en ambos extremos, tiene una tasa de transmisión R_a y tiempo de propagación despreciable. En el instante $t = 0$, el host A tiene 5 paquetes destinados al host B. Suponiendo longitud de paquetes de $P = 512$ bits, indica cuando tardarán en ser recibidos en su totalidad, los paquetes en el dispositivo B, mediante las siguientes técnicas de modelado:



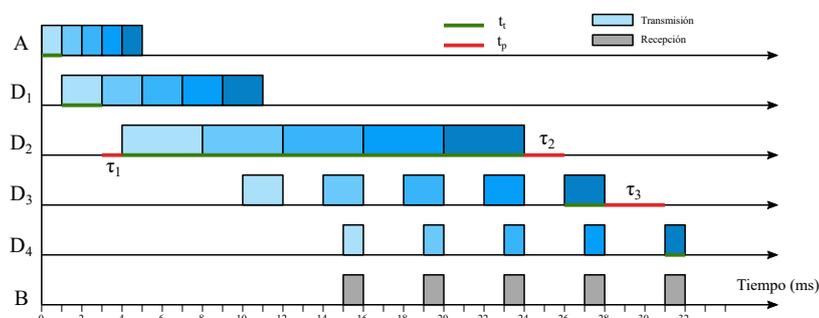
- Diagrama temporal vertical
- Diagrama temporal horizontal
- Ecuaciones

Resolución:

- Diagrama temporal con el eje del tiempo vertical:



- Diagrama temporal con el eje del tiempo horizontal:



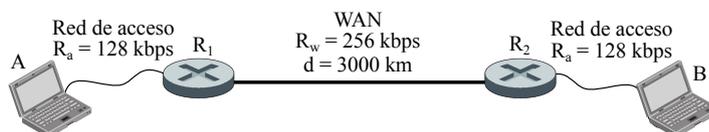
- Analíticamente, si $n = 5$ es el número de paquetes, entonces el tiempo total:

$$\begin{aligned} T &= \frac{P}{R_a} + \frac{P}{R_1} + \tau_1 + n \frac{P}{R_2} + \tau_2 + \frac{P}{R_3} + \tau_3 + \frac{P}{R_a} \\ &= P \left(\frac{2}{R_a} + \frac{1}{R_1} + \frac{n}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) + \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 \\ &= 512 \cdot \left(\frac{2}{512} + \frac{1}{256} + \frac{5}{128} + \frac{1}{256} \right) + 1 + 2 + 3 \\ &= 32 \text{ ms} \end{aligned}$$

Ref: 1-F-43

Problema:
1.57

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 $5 \mu\text{s}/\text{km}$. 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 $P = 800$ bytes (incluyendo una cabecera de 40 bytes). Se pide:

- a) Calcular el tiempo necesario para transmitir un fichero de 95 Kbyte entre A y B (suponer 1 Kbyte = 2^{10} bytes).

Debido a las características del enlace troncal ($R_1 - R_2$), 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 troncal para que la fuente pueda usar una transmisión continua?

La empresa cambia la configuración del enlace troncal, de manera que ahora tenemos 200 kbps en el enlace $R_1 \rightarrow R_2$ y 64 kbps el de vuelta ($R_2 \leftarrow R_1$). De esta manera, la transmisión de las confirmaciones 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 (es decir, envía 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?

Resolución:

- a) Si el tamaño del paquete de datos es $P = 800$ bytes y el tamaño de cabecera es $H = 40$ bytes, entonces, el tamaño de datos, D :

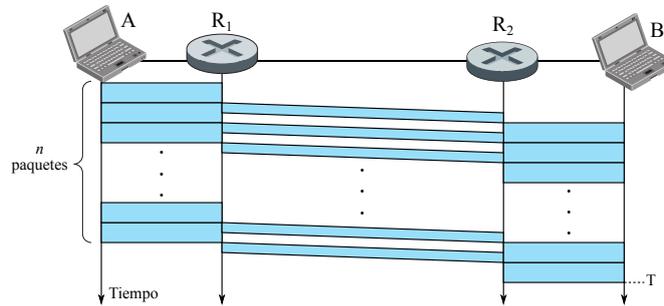
$$P = D + H$$

$$D = P - H = 800 - 40 = 760 \text{ bytes}$$

entonces, el número de paquetes necesario para transmitir el fichero completo, de tamaño M :

$$n = \frac{M}{D} = \frac{95 \text{ Kbytes}}{760 \text{ bytes/paquete}} = \frac{95 \cdot 2^{10} \text{ bytes}}{760 \text{ bytes/paquete}} = 128 \text{ paquetes}$$

El diagrama temporal de la conmutación de paquetes:



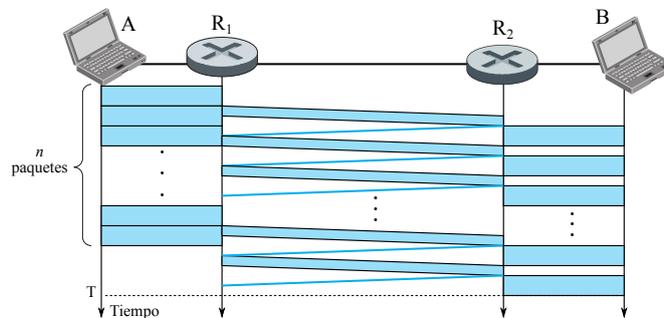
Si definimos el tiempo de propagación en el enlace WAN:

$$\tau = 5 \mu\text{s}/\text{km} \cdot 3000 \text{ km} = 15 \text{ ms}$$

entonces, el tiempo necesario para enviar el fichero:

$$\begin{aligned} T &= n \frac{P}{R_a} + \frac{P}{R_w} + \tau + \frac{P}{R_a} \\ &= P \left(\frac{n+1}{R_a} + \frac{1}{R_w} \right) + \tau \\ &= 8 \cdot 800 \cdot \left(\frac{129}{128} + \frac{1}{256} \right) + 15 \\ &= 6490 \text{ ms} \end{aligned}$$

b) El diagrama temporal de la conmutación de paquetes:



Si definimos $P_{ack} = 32$ bytes el tamaño del paquete ACK, entonces:

$$\begin{aligned} T &= \frac{P}{R_a} + (n-1) \left(\frac{P}{R_w} + 2\tau + \frac{P_{ack}}{R_w} \right) + \frac{P}{R_w} + \tau + \frac{P}{R_a} \\ &= P \left(\frac{2}{R_a} + \frac{n}{R_w} \right) + (2n-1)\tau + (n-1) \frac{P_{ack}}{R_w} \\ &= 8 \cdot 800 \cdot \left(\frac{2}{128} + \frac{128}{256} \right) + 255 \cdot 15 + 127 \cdot \frac{8 \cdot 32}{256} \\ &= 7252 \text{ ms} \end{aligned}$$

c) Para que la fuente (A) pueda realizar un envío continuo, es decir, no saturar las colas de R_1 , se tiene que cumplir que el tiempo de envío en la red de acceso de A sea mayor o igual que el tiempo de envío

en la WAN:

$$\frac{P}{R_a} \geq \frac{P}{R_w} + \frac{P_{ack}}{R_w} + 2\tau$$

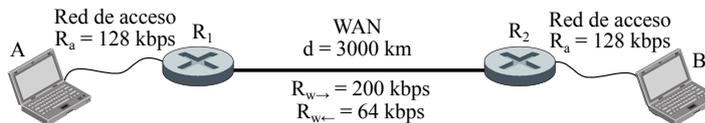
por lo tanto:

$$R_w \geq \frac{R_a(P + P_{ack})}{P - 2\tau R_a}$$

y aplicando los datos del enunciado:

$$R_w \geq \frac{128 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot (800 + 32)}{8 \cdot 800 - 2 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \cdot 128 \cdot 10^3} = 332,8 \text{ kbps}$$

d) El nuevo escenario:



Un tamaño de ventana $W = 1$, implica el envío de un sólo paquete de datos y esperar la llegada del *ack*, por lo tanto, es la misma situación que en el apartado (b). Aplicando las nuevas tasas de datos en el enlace WAN, y definiendo $R_{w \rightarrow} = 200$ kbps y $R_{w \leftarrow} = 64$ kbps, las nuevas tasas de envío de datos y *ack*, respectivamente, en el enlace WAN, el tiempo total necesario para el envío del fichero:

$$\begin{aligned} T &= \frac{P}{R_a} + (n-1) \left(\frac{P}{R_{w \rightarrow}} + 2\tau + \frac{P_{ack}}{R_{w \leftarrow}} \right) + \frac{P}{R_{w \rightarrow}} + \tau + \frac{P}{R_a} \\ &= P \left(\frac{2}{R_a} + \frac{n}{R_{w \rightarrow}} \right) + \frac{(n-1)P_{ack}}{R_{w \leftarrow}} + \tau(2n-1) \\ &= 8 \cdot 800 \cdot \left(\frac{2}{128} + \frac{128}{200} \right) + \frac{127 \cdot 8 \cdot 32}{64} + 15 \cdot 255 \\ &= 8529 \text{ ms} \end{aligned}$$

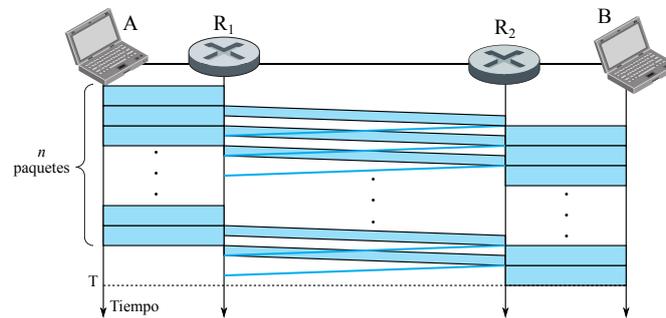
e) Si definimos el *RTT*:

$$RTT = \frac{P}{R_{w \rightarrow}} + 2\tau + \frac{P_{ack}}{R_{w \leftarrow}}$$

entonces, el tamaño de ventana:

$$W = \left\lfloor \frac{RTT}{\frac{P}{R_{w \rightarrow}}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{\frac{P}{R_{w \rightarrow}} + 2\tau + \frac{P_{ack}}{R_{w \leftarrow}}}{\frac{P}{R_{w \rightarrow}}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{\frac{8 \cdot 800}{200} + 2 \cdot 15 + \frac{8 \cdot 32}{64}}{\frac{8 \cdot 800}{200}} \right\rfloor = 2$$

Para un tamaño de ventana $W = 2$, el intercambio de paquetes quedaría reflejado en el siguiente diagrama temporal:



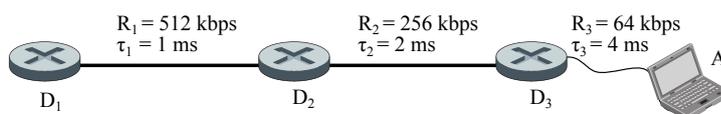
y el tiempo total para la transmisión del fichero:

$$\begin{aligned}
 T &= \frac{P}{R_a} + \frac{P}{R_{w \rightarrow}} + \tau + n \frac{P}{R_a} \\
 &= P \left(\frac{n+1}{R_a} + \frac{1}{R_{w \rightarrow}} \right) + \tau \\
 &= 8 \cdot 800 \cdot \frac{129}{128} + \frac{1}{200} + 15 \\
 &= 6497 \text{ ms}
 \end{aligned}$$

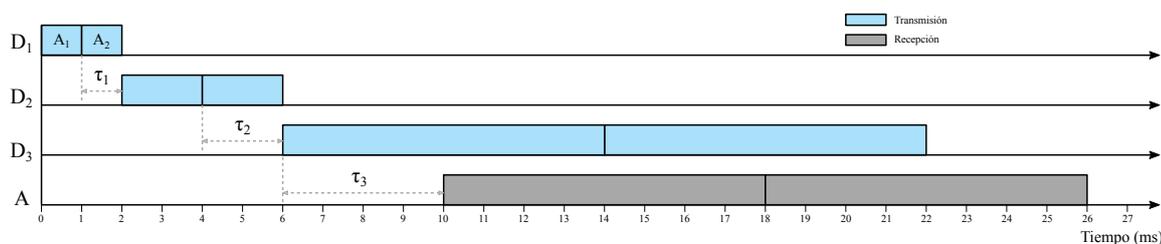
Ref: 1-F-54

Problema:
1.58

Sea la topología de la figura, compuesta por los conmutadores D_1 , D_2 y D_3 , conectados por enlaces punto a punto con tasas de transmisión R_x kbps y retardo de propagación τ_x ms. En el instante $t = 0$, la cola de salida de D_1 tiene 2 paquetes hacia el dispositivo A. Suponiendo longitud de paquetes de 512 bits, indica el instante en que cada paquete se recibe, en su totalidad, en el dispositivo destino. Obtener el resultado gráfica y analíticamente. *Nota:* suponemos no existe ningún retardo en nodos, a partir de que es almacenado, se retransmite por el interface que corresponda.

**Resolución:**

El diagrama temporal:



Si P es la longitud de paquete, entonces:

$$t_{A_1} = \frac{P}{R_1} + \tau_1 + \frac{P}{R_2} + \tau_2 + \frac{P}{R_3} + \tau_3 = \frac{512}{512} + 1 + \frac{512}{256} + 2 + \frac{512}{64} + 4 = 18 \text{ ms}$$

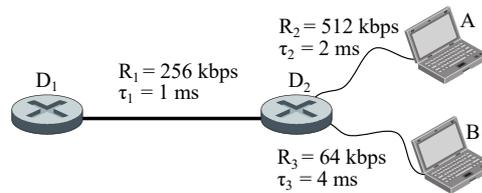
$$t_{A_2} = t_{A_1} + \frac{P}{R_3} = 18 + \frac{512}{64} = 26 \text{ ms}$$

donde observamos que para el cálculo de t_{A_2} , hay que considerar el tiempo del paquete anterior, t_{A_1} y la transmisión por el cuello de botella, en este caso, R_3 .

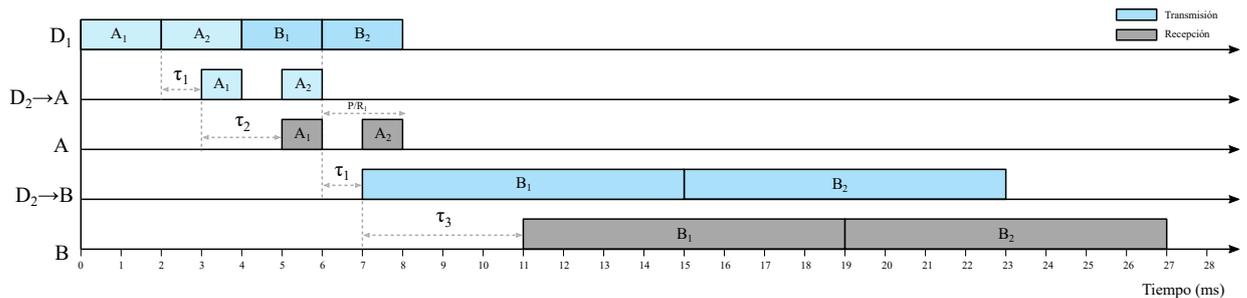
Ref: 1-F-56

Problema:
1.59

Sea la topología de la figura, compuesta por los conmutadores D_1 y D_2 , conectados por enlaces punto a punto con tasas de transmisión R_x kbps y retardo de propagación τ_x ms. En el instante $t = 0$, la cola de salida de D_1 tiene 4 paquetes hacia los dispositivos A, A, B, B. Suponiendo longitud de paquetes de 512 bits, indica el instante en que cada paquete se recibe, en su totalidad, en el dispositivo destino. Obtener el resultado gráfica y analíticamente. *Nota:* suponemos no existe ningún retardo en nodos, a partir de que es almacenado, se retransmite por el interface que corresponda.

**Resolución:**

El diagrama temporal:



Si P es la longitud de paquete, entonces:

$$t_{A_1} = \frac{P}{R_1} + \tau_1 + \frac{P}{R_2} + \tau_2 = \frac{512}{256} + \frac{512}{512} + 1 + 2 = 6 \text{ ms}$$

$$t_{A_2} = t_{A_1} + \frac{P}{R_1} = 6 + \frac{512}{256} = 8 \text{ ms}$$

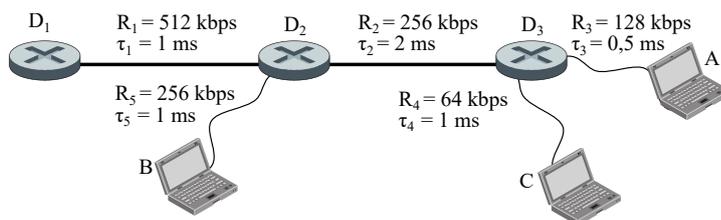
$$t_{B_1} = \frac{3P}{R_1} + \tau_1 + \frac{P}{R_3} + \tau_3 = \frac{3 \cdot 512}{256} + 1 + \frac{512}{64} + 4 = 19 \text{ ms}$$

$$t_{B_2} = t_{B_1} + \frac{P}{R_3} = 19 + \frac{512}{64} = 27 \text{ ms}$$

Ref: 1-F-58

Problema:
1.60

Sea la topología de la figura, compuesta por los conmutadores D_1 , D_2 y D_3 , conectados por enlaces punto a punto con tasas de transmisión R_x kbps y retardo de propagación τ_x ms. En el instante $t = 0$, la cola de salida de D_1 tiene 5 paquetes hacia los dispositivos A , A , B , B , C . Suponiendo longitud de paquetes de 1024 bits, indica el instante en que cada paquete se recibe, en su totalidad, en el dispositivo destino. Obtener el resultado gráfica y analíticamente. *Nota:* suponemos no existe ningún retardo en nodos, a partir de que es almacenado, se retransmite por el interface que corresponda.



Sol: $t_{A_1} = 17,5$ ms; $t_{A_2} = 25,5$ ms; $t_{B_1} = 12$ ms; $t_{B_2} = 16$ ms; $t_{C_1} = 34$ ms