

La finalidad de este boletín resuelto es que el alumno trabaje previamente los ejercicios propuestos en el boletín sin soluciones y, posteriormente, contraste su solución con la solución planteada aquí. Algunos de los problemas pueden tener diferentes soluciones de las planteadas en este boletín, lo cual no tiene por qué significar que otra solución sea incorrecta.

### *Soluciones propuestas*

- 1. Suponga que hay seis dispositivos conectados con una topología en malla. ¿Cuántos cables son necesarios? ¿Cuántos puertos tiene que tener cada dispositivo?**

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

**Responda las mismas cuestiones para una topología en bus.**

Para la topología en bus son necesarios 7 cables (1 compartido y 1 por cada dispositivo) y cada dispositivo necesita un solo puerto de E/S.

- 2. Cinco computadores están conectados a un cable común en una 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?**

Como comparten el cable, de media tendrán  $100 \text{ Kbps}/5 = 20 \text{ Kbps}$  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?**

Dado que ahora sólo quieren transmitir dos de los cinco, la tasa media sería  $100 \text{ Kbps} / 2 = 50 \text{ Kbps}$

- 3. Se desea diseñar un sistema de comunicaciones basado en transmisión síncrona, en el que cada trama está formada por 16 bits de delimitadores de trama y 32 bits de control. Para conseguir una eficiencia superior al 80%, ¿cuál debe ser la longitud de trama?**

La trama contiene bits de datos, de control y de delimitadores, por lo que la longitud total sería:

$$L = L_{\text{datos}} + L_{\text{control}} + L_{\text{delimitadores}} = L_{\text{datos}} + 32 + 16 = L_{\text{datos}} + 48$$

$$\text{Eficiencia (\%)} = 100 \cdot L_{\text{datos}}/L \geq 80, \text{ de donde se obtiene que } L_{\text{datos}} \geq 0,8 \cdot L$$

Si sustituimos esto último en  $L = L_{\text{datos}} + 48$  nos queda:

$$L \geq 0,8 \cdot L + 48 \qquad L \geq 240$$

Notas: Observa que el enunciado dice que hay 16 bits de delimitadores en total, pero no dice si están al principio o al final de la trama o repartidos entre ambos sitios. En cualquier caso, para la resolución del problema no necesitamos esa información.

4. Si se desean transmitir 1000 caracteres ASCII asincrónicamente, ¿cuál es el número mínimo de bits extras necesarios? ¿Cuál es la eficiencia en porcentaje?

Como mínimo 1 bit de Start y 1 bit de Stop (el bit de paridad es opcional) por cada carácter, luego el número mínimo de bits extras necesario sería: 2 bits\_extra/carácter x 1000 caracteres = 2000 bits extra.

La eficiencia sería:  $100 \cdot (7 \text{ bits por carácter ASCII} / 9 \text{ bits en total por carácter}) = 77.7 \%$

5. Una señal viaja del punto A al punto B. En el punto A la potencia de la señal es de 100 watos, y en el punto B la potencia de la señal es de 90 watos. ¿Cuál es la atenuación en dB?

Atenuación (dB) =  $10 \cdot \lg(P_B/P_A) = 10 \cdot \lg(90/100) = 10 \cdot (-0.045) = -0.45 \text{ dB}$

6. Una señal ha pasado a través de tres amplificadores en cascada, cada uno de los cuales tenía una ganancia de 4dB. ¿Cuál es la ganancia total? ¿Cuánto se ha amplificado la señal?

Utilizando como medida los dB, se pueden sumar las ganancias de los tres amplificadores en cascada:  $4\text{dB} + 4\text{dB} + 4\text{dB} = 12 \text{ dB}$ , que es la ganancia total.

$12\text{dB} = 10 \cdot \log(\text{Potencia Recibida}/\text{Potencia Transmitida})$ ,  $1.2\text{dB} = \log(\text{Potencia Recibida}/\text{Potencia Transmitida})$ , luego:  $10^{1.2} = (\text{Potencia Recibida}/\text{Potencia Transmitida}) = 15,84$

Entonces Potencia Recibida =  $15,84 \cdot \text{Potencia Transmitida}$ , es decir la potencia recibida equivale a 15.84 veces la potencia transmitida.

7. Se mide el rendimiento de una línea telefónica (3.1KHz de ancho de banda). Cuando la señal es 10 voltios, el ruido es de 5 milivoltios. ¿Cuál es la tasa de datos máxima soportada por esta línea telefónica?

Aplicando la fórmula de Shannon para calcular la capacidad máxima de un canal con ruidos:

$$C = W \cdot \log_2(1 + S/N)$$

Observa que los datos del enunciado son amplitudes (voltios) y no potencias (watos), por tanto hay que aplicar la fórmula:

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 20 \log A_s/A_r = 20 \log 10/0.005 = 66 \text{ dB}$$

$$66\text{dB} = 10 \log S/N \Rightarrow 10^{6.6} = S/N = 3.981.071$$

$$C = 3,1 \cdot 10^3 \cdot \log_2(1 + 3.981.071) = 3,1 \cdot 10^3 \cdot 21,9 = 67890 \text{ bps}$$

Nota:  $\log_a b = \log b / \log a$

8. ¿Cuál es el SNR necesario para un dispositivo periférico (una impresora por ejemplo) si se supone una capacidad máxima del canal de 4 Kbps con un ancho de banda de 500 Hz.

Aplicando la fórmula de Shannon para la capacidad máxima de un canal ruidoso:

$$C=W \cdot \lg_2(1+S/N)$$

de donde conocemos que  $C=4\text{Kbps}$ ,  $W=500\text{ Hz}$  y queremos calcular SNR:

$$C/W = \lg_2(1+S/N) \quad 2^{C/W} = 1 + S/N \quad S/N = 2^{C/W} - 1 = 2^8 - 1 = 255$$

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \cdot \lg 255 = 24 \text{ dB}$$

**9. Una línea telefónica estándar tiene un ancho de banda de 3100 Hz. Si se puede mantener un SNR de 30 dB, ¿cuál es la capacidad máxima, en bps, del canal?**

Aplicando la fórmula de Shannon para la capacidad máxima de un canal ruidoso:

$$C=W \cdot \lg_2(1+S/N)$$

Se obtiene el valor del SNR:  $30\text{dB} = 10 \cdot \lg S/N$  y se despeja S/N:  $S/N = 10^3$

$$C = 3100 \cdot \lg_2(1+10^3) = 30898 \text{ bps}$$

**10. ¿Cómo varía la capacidad máxima de un canal de comunicaciones con el SNR para un ancho de banda del canal constante? Dar algunos valores.**

Teniendo en cuenta la fórmula de Shannon:  $C=W \cdot \lg_2(1+S/N)$ , a mayor S/N, mayor capacidad del canal, es decir la capacidad del canal es directamente proporcional al cociente S/N. Sabemos que cuanto mayor sea el cociente S/N, más fácil es distinguir qué es señal y qué es ruido (la potencia de la señal es significativamente mayor que la del ruido), por lo que es importante que este cociente sea grande para poder extraer la señal en el receptor.

Por ejemplo:

- si tenemos un  $\text{SNR}_{\text{dB}} = 30 \text{ dB}$  y  $W = 3100 \text{ Hz}$ , tendremos una capacidad de  $C = 3100 \cdot \lg_2(1+1000) = 30898 \text{ bps}$
- si tenemos un  $\text{SNR}_{\text{dB}} = 0 \text{ dB}$  y  $W = 3100 \text{ Hz}$ , tendremos una capacidad de  $C = 3100 \cdot \lg_2(1+1) = 3100 \text{ bps}$

Observamos claramente, que para el primer caso, la capacidad del canal es mucho mayor que para el segundo caso.

**11. Se quiere averiguar si se puede enviar por fax una hoja escrita de 8 x 10 pulgadas a una resolución de 150 dpi (puntos por pulgada) a través de un circuito telefónico estándar (ancho de banda 3 KHz) en un minuto. Razone la respuesta.**

Lo que se quiere enviar son  $8 \cdot 10 \cdot 150 = 120000$  puntos en un minuto:  $120000/60 = 200$  puntos/segundo.

Por el funcionamiento de un fax (dibuja o no dibuja punto), se puede decir que lo que se envía son 200 bits/segundo.

Dado que el ancho de banda del canal telefónico es de 3KHz, la velocidad en símbolos es de 3Kbaudios en el

peor de los casos ( $V_s = N \cdot B$ , con  $N=1$ ), si queremos transmitir a 200 bps, aplicando la fórmula que relaciona  $V_s$  y  $V_t$ :

$V_t = n \cdot V_s$        $n = V_t/V_s = 200/3000 < 1$ , por tanto es posible enviar esa tasa con ese ancho de banda.

---- Esto no lo pide el enunciado, pero para pensar un poco más:

Sin embargo, si consideramos, por ejemplo, que lo que queremos transmitir son 12000 bits en un segundo, en vez de en un minuto y aplicamos el mismo razonamiento:

$n = V_t/V_s = 12000/3000 = 4$

En este caso, para que el envío fuera posible, el módem tendría que ser capaz de transportar, como mínimo, 4 bits por cada símbolo o elemento de señalización. Eso sería factible si dicho módem utiliza para codificar 16QPSK ó 16QAM, por ejemplo.

**12. Usando el teorema de Nyquist, calcule la tasa de muestreo para las siguientes señales analógicas:**

**a) Una señal con ancho de banda de 2.000 Hz**

Necesito conocer la frecuencia máxima de la señal dentro de ese ancho de banda, para poder calcular la frecuencia de muestreo.

**b) Una señal con frecuencias de 2.000 a 6.000 Hz**

La máxima frecuencia de esta señal es 6.000, luego la frecuencia de muestreo debe ser como mínimo, del doble, es decir, 12.000 Hz.

**c) Una señal con una línea horizontal en la representación de dominio del tiempo**

Se trata de una señal continua en el tiempo, luego su frecuencia de muestreo puede ser cualquiera, ya que siempre podremos reconstruirla en el destino aunque tengamos una sola muestra.

**d) Una señal con una línea vertical en la representación de dominio de la frecuencia**

Se trata de una señal que tiene una única frecuencia, por tanto, habría que muestrear con una frecuencia del doble de dicha frecuencia (valor del eje horizontal de la representación espectral).

**13. ¿Cuál es la tasa de bits para cada una de las siguientes señales?**

**a) Una señal en la que la duración de un bit es de 0.001 segundo**

$1 \text{ bit} / 0.001 \text{ seg} = 1000 \text{ bps}$

**b) Una señal en la que la duración de un bit es de 2 milisegundos**

$1 \text{ bit} / 0.002 \text{ seg} = 500 \text{ bps}$

**c) Una señal en la que la duración de 10 bits es de 20 microsegundos**

$10 \text{ bits} / 20 \cdot 10^{-6} = 0.5 \text{ Mbps}$

**d) Una señal en la que la duración de 1000 bits es de 250 picosegundos**

$1000 \text{ bits} / 250 \cdot 10^{-12} = 4 \text{ Tbps}$

**14. Una señal analógica cuya expresión es:  $f(t) = 20 + 20 \sin(500t + 30^\circ)$  se va a muestrear periódicamente y a reproducir con los valores de muestreo:**

**a) Encuentre el intervalo de tiempo permisible máximo entre los valores de muestreo.**

Para encontrar el tiempo de muestreo, tengo que aplicar el teorema del muestreo, que dice que para muestrear una señal conservando toda la información original, la frecuencia de muestreo ( $f_s$ ) debe ser mayor o igual al doble de la máxima frecuencia de la señal ( $f$ ):

La máxima frecuencia de la señal en este ejercicio es  $f = 500/2\pi$ , luego:

$f_s \geq 2 \cdot 500/2\pi = 500/\pi$ , por tanto:



**18. Los datos de una fuente varían ente los valores  $-1.0$  y  $1.0$ , ¿en qué se transforman los puntos  $0.91$ ,  $-0.25$ ,  $0.56$  y  $0.71$  si se usa una cuantización con 8 bits?**

$$8 \text{ bits} = 1 \text{ bit signo} + 7 \text{ bits magnitud} = [+127, -127]$$

$2\text{V}$  de amplitud /  $256$  niveles =  $0.0078125 \text{ V/nivel} = 7.8125 \text{ mV}$ , que es la amplitud de cada salto o la diferencia de tensión entre dos niveles consecutivos.

$$1 - 0.91 = 0.09 \text{ V}$$

$0.09 / 0.0078125 = 11.52$  es el número de niveles que hay entre  $+1.0 \text{ V}$  (que equivale a  $+127$ ) y  $+0.91\text{V}$ , que equivaldría a:  $127 - 11.52 = 115.48$ , luego se cuantizaría con el nivel  $+115$  o  $+116$ .

$$-1.0 - (-0.25) = -0.75 \text{ V}$$

$0.75 / 0.0078125 = 96$ , que es el número de niveles que hay entre  $-1.0 \text{ V}$  (que equivale a  $-127$ ) y  $-0.25 \text{ V}$ , que equivaldría a:  $127 - 96 = 31$ , luego se cuantizará con el nivel  $-31$

$$1 - 0.56 = 0.44 \text{ V}$$

$0.44 / 0.0078125 = 56.32$ , que es el número de niveles que hay entre  $+1.0 \text{ V}$  (que equivale a  $+127$ ) y  $+0.56 \text{ V}$ , que equivaldría a:  $127 - 56.32 = 70.68$ , luego se cuantizaría con el nivel  $+70$  ó  $+71$ .

$$1 - 0.71 = 0.29 \text{ V}$$

$0.29 / 0.0078125 = 37.12$  es el número de niveles que hay entre  $+1.0 \text{ V}$  (que equivale a  $+127$ ) y  $+0.71\text{V}$ , que equivaldría a:  $127 - 37.12 = 89.88$ , luego se cuantizaría con el nivel  $+89$  ó  $+90$ .

**19. Calcule la tasa de baudios para las siguientes tasa de bits y tipos de modulación:**

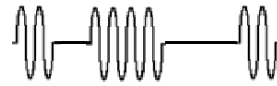
- |                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| <b>g. 2000 bps, FSK:</b>     | 2000 baudios             |
| <b>h. 4000 bps, ASK:</b>     | 4000 baudios             |
| <b>i. 6000 bps, 2-PSK:</b>   | 6000 baudios             |
| <b>j. 6000 bps, 4-PSK:</b>   | $6000/2 = 3000$ baudios  |
| <b>k. 6000 bps, 8-PSK:</b>   | $6000/3 = 2000$ baudios  |
| <b>l. 4000 bps, 4-QAM:</b>   | $6000/2 = 3000$ baudios  |
| <b>m. 6000 bps, 16-QAM:</b>  | $6000/4 = 1500$ baudios  |
| <b>n. 36000 bps, 64-QAM:</b> | $36000/6 = 6000$ baudios |

**20. ¿Por qué se necesita un módem para transmitir datos digitales por la red telefónica conmutada? Describir con dibujos y parte de texto los siguientes métodos de modulación para la transmisión de los datos digitales "1011001":**

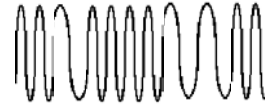
- ASK
- FSK
- PSK

Las señales que viajan por la RTC son analógicas, luego hay que transformar los datos digitales para que puedan ser transportados por señales analógicas. Además, hay que adaptar el espectro de la señal que se quiere transmitir a un espectro compatible con el del ancho de banda del canal telefónico.

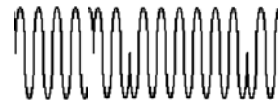
En ASK se utilizan amplitudes diferentes para el 0 y el 1.



En FSK se utilizan frecuencias diferentes para el 0 y el 1.



En PSK se utilizan fases diferentes para el 0 y el 1.



En los tres casos se envía 1 bit por cada elemento de señalización, símbolo o baudio.

*Ejercicios de exámenes*

21. ¿Cuál es el ancho de banda de una señal modulada en FSK con  $s(t)$  si su velocidad de transmisión es de 3600 bps?

$$s(t) = \begin{cases} \cos(100t) \\ \cos(200t) \end{cases}$$

$$AB_{\text{FSK}} = (f_{c1} - f_{c0}) + V_s$$

En FSK la tasa de baudios coincide con la de bits, luego  $V_s = 3600$  baudios.

Las frecuencias portadoras se obtienen de la fórmula dada para la señal moduladora  $s(t)$ , y sabemos que la fórmula general es

$$s(t) = \begin{cases} \cos(2f_{c1}\pi t) \\ \cos(2f_{c2}\pi t) \end{cases}$$

Por lo tanto,  $2f_{c1}\pi t = 100t$  y  $2f_{c2}\pi t = 200t$ , así que obtenemos el ancho de banda:

$$AB_{\text{FSK}} = (200/2\pi - 100/2\pi) + 3600 = 3615,91 \text{ Hz}$$

22. Un equipo quiere enviar una señal de vídeo a través de la red a una velocidad de 15 cuadros/segundo y puede elegir uno de los formatos estándares siguientes:

- 4CIF: 704x576
- CIF: 352x288
- QCIF: 176x144

Además, también puede elegir entre estas dos opciones:

- cada píxel puede tomar uno de entre 16 posibles valores de intensidad
- cada píxel puede tomar uno de entre 32 posibles valores de intensidad

Considerando que se dispone de un canal sin ruidos de 10 MHz de ancho de banda y que se utilizan 4 niveles de tensión para transmitir los datos:

- a) Calcule cuál es la capacidad del canal en bps.
- b) Qué configuración considera que sería la más idónea teniendo en cuenta el resultado del apartado anterior. Justifique la respuesta.
- c) Calcule la capacidad del canal en bps si el canal tiene una relación señal-ruido de 40dB. ¿Cambiaría la elección realizada en el apartado anterior? Justifique la respuesta.

- a) La capacidad de un canal sin ruidos, independientemente de la fuente que vaya a utilizar dicho canal, se calcula mediante la fórmula de Nyquist:

$$C = 2 \cdot W \cdot \lg_2 M$$

donde  $W$  es el ancho de banda del canal y  $M$  el número de niveles de tensión empleados para transmitir los datos a través del dicho canal.

Sustituyendo esos parámetros por los dados en el enunciado, tenemos que:

$$C = 2 \cdot 10^7 \cdot \lg_2 4 = 40 \text{ Mbps}$$

La capacidad del canal es de 40 Mbps.

- b) Para responder a esta cuestión es necesario ver cuál sería la capacidad de la fuente para cada uno de los 6 posibles casos. Para cada formato estándar de imagen hay que calcular el número de bits por segundo que habría que mandar considerando que la velocidad de la imagen debe ser de 15 cuadros por segundo y la profundidad de cada píxel de 4 ó 5 bits:

	4 bits/píxel	5 bits/píxel
4CIF: 704x576	$704 \times 576 \times 4 \times 15 = 24.3 \text{ Mbps}$	$704 \times 576 \times 5 \times 15 = 30.4 \text{ Mbps}$
CIF: 352x288	$352 \times 288 \times 4 \times 15 = 6.1 \text{ Mbps}$	$352 \times 288 \times 5 \times 15 = 7.6 \text{ Mbps}$
QCIF: 176x144	$176 \times 144 \times 4 \times 15 = 1.5 \text{ Mbps}$	$176 \times 144 \times 5 \times 15 = 1.9 \text{ Mbps}$

Dado que la capacidad del canal es de 40Mbps, se puede utilizar cualquiera de los formatos especificados. Por lo tanto, lo ideal es utilizar el formato de mayor tamaño y mayor resolución: 4CIF/32.

c) Si se trata de un canal ruidoso, hay que aplicar la fórmula de Shannon:

$$C = W \cdot \lg_2(1 + S/N)$$

donde W es el ancho de banda del canal y S/N el cociente de la potencia de la señal respecto a la potencia del ruido, pero no en dB. Por tanto, hay que hallar el valor de S/N a partir SNR en dB:

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10 \cdot \lg S/N \rightarrow 40 = 10 \cdot \lg S/N \rightarrow 40/10 = 2 = \lg S/N \rightarrow S/N = 10^4$$

$$C = 10^7 \cdot \lg_2(1 + 10000) = 10^7 \cdot (\lg 10001 / \lg 2) = 132.8 \text{ Mbps}$$

Con ese SNR<sub>dB</sub>, el canal tiene una capacidad de 132.8Mbps, por lo que la elección sería la misma que para el apartado anterior: 4CIF /32.

**23. Considerando una comunicación con dos extremos conforme el modelo OSI, ¿qué elementos intervienen y cómo se produce la comunicación de una entidad de nivel N de un extremo con una entidad de nivel N en el otro extremo?** [2 febrero 2004]

Elementos: puntos de acceso al servicio de nivel N-1 y el protocolo par (de nivel N).

Cómo: la entidad N pide el servicio a la entidad N-1 mediante el SAP, se produce la comunicación vertical (hacia abajo en Txor y hacia arriba en Rxor) y la entidad N-1 en el otro extremo le hace llegar el dato a la entidad N a través del SAP, utilizando el protocolo par (de nivel N).

**24. ¿Por qué es necesaria la modulación de señales?** [2 febrero 2004]

Es necesaria en el caso de que el ancho de banda de la señal a transmitir no coincide con el ancho de banda del canal o porque se quieren transmitir datos digitales mediante señales analógicas.

**25. ¿Qué es un armónico de una señal? ¿Qué relación tiene con el ancho de banda de la señal?** [2 febrero 2004]

Es una componente senoidal de dicha señal. Por medio de la superposición (o suma) de armónicos se puede lograr reproducir la señal (o una aproximación a la misma).

El número de armónicos de la señal determinan el ancho de banda efectivo de la misma, ya que el ancho de banda de la señal se calcula como la diferencia de la frecuencia del armónico de mayor frecuencia y la frecuencia del armónico de menor frecuencia.

**26. Enumere brevemente las diferencias significativas entre el par trenzado, el coaxial y la fibra óptica.** [2 febrero 2004]

El par trenzado es el que permite menor ancho de banda, seguido del coaxial y después de la fibra.

La fibra óptica es la de mayor inmunidad al ruido electromagnético, seguida del coaxial y después del par trenzado.

El par trenzado es el más barato y fácil de instalar, seguido del coaxial y después de la fibra óptica.

La fibra permite mayores distancias, seguida del coaxial y después del par trenzado.

27. Suponga que se transmite una imagen digitalizada de TV de 480x500 píxeles, donde cada píxel puede tomar uno de entre 32 posibles valores de intensidad, y que se envían 30 imágenes por segundo (esta fuente digital es similar a los estándares adoptados para la difusión de TV). [2 febrero 2004]

- a. Determine la capacidad de la fuente en bps.
- b. Suponga que la fuente anterior se transmite por un canal sin ruidos de 3 MHz de ancho de banda. Calcule la capacidad del canal en bps. ¿Es factible esta suposición?
- c. Y si se tratara de una canal con una relación señal-ruido de 35 dB, ¿sería posible?

a. El tamaño de cada imagen es:

$L=480 \cdot 500$  puntos/imagen  $\cdot \log_2(32)$  bits/punto  $= 1.2 \cdot 10^6$  bits/imagen  
ya que para representar 32 niveles de intensidad se necesitan  $\log_2(32)$  bits.

Dado que se transmiten 30 imágenes por segundo, la velocidad final es

$$C = 1.2 \cdot 10^6 \text{ bits/imagen} \cdot 30 \text{ imagenes/s} = 36 \cdot 10^6 \text{ bps} = 36 \text{ Mbps}$$

b. Si el canal no tiene ruidos, su capacidad máxima viene dada por la fórmula de Nyquist:

$$C = 2 \cdot W \cdot \log_2 M, \text{ suponiendo que se utilicen dos niveles de tensión} \rightarrow$$

$$C = 2 \cdot W = 2 \cdot 3 \cdot 10^6 = 6 \text{ Mbps}$$

En este caso no sería posible enviar la salida de la fuente por el canal.

c. La capacidad de un canal con ruido es

$$C = W \cdot \log_2(1 + \text{SNR})$$

Si la relación señal ruido es de 35 dB,

$$\text{SNR dB} = 10 \cdot \log \text{SNR} \rightarrow 35 / 10 = \log \text{SNR} \rightarrow \text{SNR} = 10^{3.5} = 3162.27$$

Con lo que, sustituyendo el ancho de banda de 3 MHz:

$$C = 3 \cdot 10^6 \cdot (\log_{10}(3163,27) / \log_{10}(2)) = 34 \cdot 10^6 \text{ bps} = 34 \text{ Mbps}$$

En este caso tampoco sería posible enviar la fuente por el canal.

Nota: Cuidado con no confundir el parámetro M, que indica el número de niveles de tensión que se utilizarán para generar la señal que se transmite por el medio, con el parámetro número de niveles de intensidad de los píxeles (32 para el caso de este problema).

28. Un sistema transmite una señal de 0 a 1 voltio con posibilidad de distinguir variaciones de 3.9 mV.

La separación entre dos pulsos consecutivos es de 1 mseg. Suponiendo el caso más favorable, calcula la velocidad de transmisión de información y el ancho de banda del canal. [2 febrero 2004]

Si distinguimos variaciones de 3.9 mV en el rango de 0 a 1 voltio, la señal está utilizando M niveles de tensión:

$$M = 1 / 3.9 \cdot 10^{-3} = 256.41 \approx 256$$

Si, según el enunciado, se transmite un pulso (símbolo) por cada milisegundo ( $T_s = 1\text{ms}$ ), la velocidad de transmisión en símbolos será:

$$V_s = 1/T_s = 1/1\text{ms} = 1\text{Kbaudio}$$

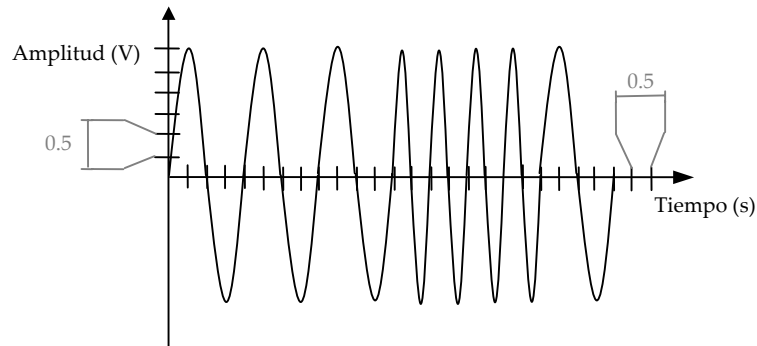
Como el enunciado no nos dice nada al respecto, consideramos el caso más favorable. Teniendo esto en cuenta, sabemos que el ancho de banda está relacionado con la velocidad en símbolos por la siguiente fórmula:

$$V_s = 2 \cdot W \rightarrow W = V_s / 2 = 1\text{K} / 2 = 0.5 \text{ KHz de ancho de banda.}$$

Aplicando la fórmula de Nyquist para un canal sin ruidos y considerando el ancho de banda que acabamos de calcular:

$$C = 2 \cdot W \cdot \log_2 M = 2 \cdot 0.5\text{K} \cdot \log_2 256 = 2 \cdot 0.5\text{K} \cdot 8 = 8 \text{ Kbps, que es la capacidad máxima del canal sin ruidos.}$$

29. A partir de la siguiente señal, indica de qué tipo de modulación se trata, escribe qué fórmula podría tener y qué datos digitales se estarían transmitiendo. [2 de febrero 2004]



Se trata de una modulación en frecuencia (FSK), ya que a lo largo del tiempo varía la frecuencia pero no la amplitud ni la fase.

Como la modulación consiste en variar la frecuencia en función de la señal moduladora, manteniendo la amplitud y la fase constante, la fórmula que la modele debe contemplar este aspecto. Considerando la escala temporal dada en el enunciado, una frecuencia de es 0.5 Hz ( $T=2\text{seg}$ ) y la otra es de 1 Hz ( $T=1\text{seg}$ ). Por lo tanto la función que representa a la portadora podría ser:

$$s(t) = \begin{cases} 3\text{sen}(2\pi t + \varphi) & \text{para } 1 \\ 3\text{sen}(\pi t + \varphi) & \text{para } 0 \end{cases}$$

Luego los datos digitales que se modulan son 000110.

Notas:

- Todos los bits tienen la misma duración, aquí se ha supuesto que dicha duración es de 2 segundos.
- Podríamos haberlo considerado de forma que el símbolo de mayor frecuencia correspondiese al 0 y el menor frecuencia al 1, en tal caso los datos digitales que se modulan son 111001.

30. ¿Por qué se utiliza generalmente la conmutación de paquetes en las redes de computadores y no la conmutación de circuitos? ¿Cree que es adecuada para la transmisión de audio y vídeo? Justifique la respuesta [28 septiembre 2004]

Fundamentalmente porque, a la hora de transmitir 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.

Esa transmisión no es la adecuada para la transmisión de audio y vídeo, precisamente porque está diseñada para entrega de datos no en tiempo real, además de porque los distintos paquetes pueden tomar diferentes caminos y llevar asociados distintos retrasos, llegando en desorden al destino, e introduciendo un tiempo de procesamiento extra para formar la señal de audio/vídeo original. Aún así, existen hoy múltiples protocolos que permiten aprovechar al máximo las características de estas redes para que sí puedan ser adecuadas a la transmisión multimedia.

**31. ¿Es cierta esta afirmación: “Los servicios siempre tienen que implementar todos los tipos de primitivas”? Justifique brevemente la respuesta [28 septiembre 2004]**

No es cierta, ya que dependiendo del tipo de servicio, se implementan sólo algunas. Por ejemplo:

- en un servicio confirmado se implementan las cuatro primitivas
- en un servicio no confirmado sólo se implementan las primitivas request e indication
- en un servicio parcialmente confirmado se implementan las primitivas request, indication y confirm
- y en un servicio iniciado por el proveedor sólo se implementa la primitiva indication.

**32. ¿Existe alguna relación entre el ancho de banda de una señal y la representación de dicha señal con la serie de Fourier? Razone la respuesta. [28 septiembre 2004]**

Sí, el ancho de banda de la señal viene determinado por las componentes espectrales más significativas de dicha señal y la serie de Fourier tiene un término senoidal por cada una de las componentes espectrales que constituyen la señal. Cuantos más términos de la serie de Fourier tengamos, más se parecerá a la señal ideal. Es decir, cuanto mayor sea el ancho de banda de la señal, mejor la podremos representar, porque habremos cogido más términos de la suma de Fourier, acercándonos más a la señal original.

**33. ¿Qué diferencias hay entre el par trenzado STP y UTP? ¿Cuándo se suele utilizar cada uno de ellos? [28 septiembre 2004]**

La diferencia fundamental es que el STP lleva una cubierta apantallada que permite un mayor aislamiento frente a las interferencias externas. Sin embargo, es más costoso y más complejo de instalar y manejar que el UTP.

El UTP se emplea por cuestiones económicas, facilidad de instalación y cuando la seguridad en la transmisión no es necesaria (bien por que la distancia es corta, por el tipo de información a transmitir o por el bajo uso que se debe hacer del mismo). En entornos industriales, contaminados de ruido electromagnético es más conveniente el uso de STP.

**34. Explique detalladamente cuál es la relación entre el ancho de banda, la frecuencia y la calidad de una señal, y el ancho de banda del canal de comunicaciones. [22 diciembre 2004]**

Si mantenemos el mismo número de armónicos de la señal y aumentamos la frecuencia de la señal, el ancho de banda de la señal será mayor, por lo que necesita un ancho de banda mayor en el canal de comunicaciones. Si, por el contrario, mantenemos la frecuencia pero tomamos más armónicos, la calidad de la señal transmitida será mejor, pero el ancho de banda de canal necesario también aumentará. (Transparencias 20-21-22)

**35. a) ¿Qué es una transmisión síncrona autosincronizada orientada al bit? Se trata de una transmisión en la que hay un solo reloj (el del transmisor), en la que se utiliza una sola línea para transmitir, de modo que el reloj va incluido en los propios datos y en la que el bloque de datos que se transmite se considera como una secuencia de bits que están delimitados por un flag de inicio y un flag de fin.**

**b) Suponga que se quiere diseñar un sistema de comunicaciones basado en ese tipo de transmisión, en el que cada trama está formada por 10 bits de delimitadores de trama y 20 bits de control. Calcule la longitud mínima de la trama para conseguir una eficiencia superior al 90%. [22 diciembre 2004]**

$$L = L_{\text{datos}} + L_{\text{control}} + L_{\text{delimitadores}} = L_{\text{datos}} + 10 + 20 = L_{\text{datos}} + 30$$

$$\text{Eficiencia (\%)} = 100 \cdot L_{\text{datos}} / L \geq 90 \quad L_{\text{datos}} \geq 0,9 \cdot L$$

$$L \geq 0,9 \cdot L + 30 \quad L \geq 300 \Rightarrow \text{La longitud mínima de la trama debería ser de 300 bits.}$$

36. Razone si es o no posible enviar una imagen de tamaño 352x288 con 8 bits/píxel a través de un circuito telefónico estándar en un minuto. En caso de que sea posible, ¿qué tipo de modulación cree que debería utilizar el módem? Justifique su respuesta. [22 diciembre 2004]

Lo que se quiere enviar son  $352 \times 288 \times 8 = 811008$  bits en un minuto:

$$811008/60 = 13516,8 \text{ bps}$$

Dado que el ancho de banda del canal telefónico es de 3300Hz y la velocidad en símbolos es de 3300 baudios en el peor de los casos (con  $N=1$ ;  $V_s=N \cdot B$ , con  $1 \leq N \leq 2$ ), si queremos transmitir a 13516,8 bps, aplicando la fórmula que relaciona  $V_s$  y  $V_t$ :

$$V_t = n \cdot V_s \quad n = V_t/V_s = 13516,8/3300 = 4,0957 \text{ bits}$$

Para que el envío fuera posible, el módem tendría que ser capaz de transportar, como mínimo, 5 bits por cada símbolo o elemento de señalización. Eso sería factible si dicho módem utiliza para codificar 32QPSK ó 32QAM, por ejemplo.

Nota: Igualmente se hubiera considerado válido coger 4bits/símbolo, en cuyo caso habría que utilizar una modulación 16QPSK o 16QAM, por ejemplo.

37. Indique qué medios físicos consideraría más adecuados para cada uno de los siguientes casos, y justifique de forma clara cada elección (sin justificación, la respuesta no se considerará correcta): [3 febrero 2005]

- backbone de un campus
- equipos conectados dentro de una habitación
- WAN entre dos continentes
- cableado en una zona industrial de tamaño medio
- equipos conectados dentro de un mismo edificio

No hay una única respuesta para este ejercicio, lo que se valoraba era la justificación de la elección elegida por el alumno, de acuerdo con lo visto en teoría.

38. Suponga una codificación digital, que llamaremos “tri-RZ”, en la que el 1 digital se codifica como se muestra en la figura 1 y el 0 digital se codifica como se muestra en la figura 2. [3 febrero 2005]

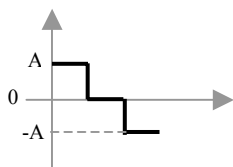


Figura 1: Codificación “tri-RZ” para el 1

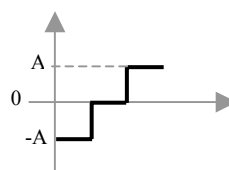


Figura 2: Codificación “tri-RZ” para el 0

Se sabe que el ancho de banda disponible para transmitir los datos es de 3300 Hz, que las condiciones de transmisión no son ideales, y que se desea transmitir el dato digital 10011101.

a) Calcule la velocidad de transmisión que permite esta codificación.

$$V_t = n \cdot V_s = n \cdot A \cdot B \cdot N = n \cdot 3300 \cdot 1 = 1/3 \cdot 3300 = 1100 \text{ bps}$$

b) Dibuje la señal digital que se debe enviar considerando esta codificación “tri-RZ”.

c) ¿Cree que esta codificación mejora en algo la codificación Manchester? Justifique su respuesta.

No la mejora, ya que la  $V_t$  que aporta esta codificación es más baja de la de Manchester.

**39. Responda las siguientes cuestiones respecto la modulación PCM:** [3 febrero 2005]**a) ¿En qué consiste la cuantificación?**

Es el proceso, dentro de la modulación PCM, en el que se decide el número discreto de valores de tensión que va a ser considerado para representar los valores de las muestras analógicas tomadas. En función del número de valores que se consideren, se utilizarán más o menos bits para representar dichos valores, de modo que utilizando  $n$  bits por cada muestra analógica (resultante del muestreo PAM) se pueden representar  $2^n$  valores de tensión diferentes. Al cuantificar, hay que hacer corresponder un valor analógico con uno de los  $2^n$  valores posibles, produciéndose el consiguiente error de cuantificación, menor cuanto mayor sea el número de niveles de cuantificación considerado y, por tanto, mayor sea el número de bits por muestra.

**b) Si se quiere transmitir una señal con un ancho de banda de 1MHz y se utilizan 128 niveles diferentes en la cuantificación, ¿cómo calcularía la capacidad del canal que sería necesaria? Justifique su respuesta.**

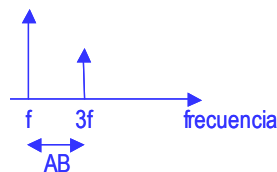
No se puede calcular porque no se conoce la frecuencia máxima de la señal. Suponiendo que es  $f_{max}$ , se calcularía como  $V_t = 2f_{max} \cdot \lg_2 128$  bps.

Si yo quiero ser capaz de reconstruir una señal analógica a partir de muestras digitales, tengo que tomar esas muestras cumpliendo el teorema del muestreo, es decir, debo muestrear la señal analógica, como mínimo, al doble de su frecuencia máxima. Por tanto, si suponemos que la frecuencia máxima de la señal es  $f_{max}$ , habría que muestrear la señal analógica a  $2f_{max}$  (como mínimo), es decir, tomaría  $2f_{max}$  muestras por segundo de la señal. Si se usan 128 niveles distintos de cuantificación, necesito  $\lg_2 128$  bits para cada muestra, es decir, 7 bits por muestra.

Si tengo que tomar  $2f_{max}$  muestras por segundo y por cada muestra necesito 7 bits, entonces, se necesitaría una tasa de bits de  $2f_{max} \times 7 = 14f_{max}$  bps.

**44. Se desea transmitir una secuencia de unos (V voltios de amplitud) y ceros (0 voltios de amplitud) alternantes a una velocidad de 6Mbps. ¿Qué ancho de banda (Hz) sería necesario en los siguientes casos?:** [23 septiembre 2005]**a) La señal cuadrada se puede aproximar, de modo eficiente para que el receptor pueda discernir el uno y el cero, con la segunda frecuencia fundamental de la Transformada de Fourier.**

Como se ha visto en teoría, la representación de la señal cuadrada en el dominio espectral hasta la segunda frecuencia espectral sería la siguiente:



La frecuencia fundamental es la inversa del período:  $T=1/f$ , con 2 bits por cada período.

La velocidad de transmisión resultaría:  $V_t = 2(\text{bits})/T(\text{seg}) = 2f = 6$  Mbps

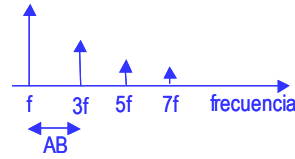
Despejando lo anterior, da como resultado una frecuencia de  $f=6/2=3$  MHz

Si  $f$  son 3MHz, el ancho de banda mínimo del sistema de transmisión para una señal cuadrada aproximada al segundo armónico, necesita:  $AB=3f - f = 2f = 6$  MHz

**b) La señal cuadrada se aproxima con la cuarta frecuencia fundamental.**

Si la misma señal se necesita aproximar hasta la cuarta frecuencia fundamental, el ancho de banda necesario es mayor.

La representación espectral sería:



Por lo que el ancho de banda mínimo es  $AB=7f-f=6f=18\text{ MHz}$ .

**c) Relacione los resultados obtenidos en los dos apartados anteriores, extraiga conclusiones y justifíquelas. [0.5]**

Cuanto menos armónicos tomemos para representar la señal menos ancho de banda necesitaremos para transmitir dicha señal a través del canal de transmisión. Sin embargo, cuántos más armónicos tomemos, más se parecerá la señal que transmitimos a la señal original. En este caso cogemos dos armónicos más, pero que aportan poca amplitud a la señal y eso nos “cuesta” 12 MHz de ancho de banda respecto al caso a). Si la calidad de la señal no es un factor crítico se podría aproximar la señal usando los dos primeros armónicos fundamentales.

**45. ¿En qué consiste el diseño estructurado de protocolos y qué beneficios aporta? [23 septiembre 2005]**

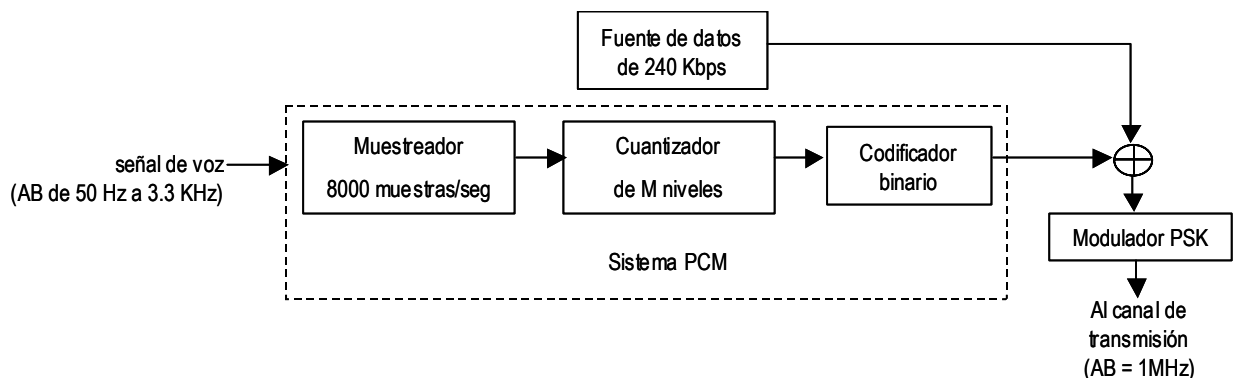
Transparencias páginas 4, 5 y 6 del tema 2.

**46. Un canal de transmisión de 1MHz de ancho de banda, centrado en 100 MHz, se encuentra disponible para la transmisión de información. En dicho canal se inyecta la salida del modulador PSK de la figura. [23 septiembre 2005]**

**a) Justifique si el muestreador del Sistema PCM indicado en la figura es o no adecuado para muestrear la señal de voz.**

**b) Calcule el máximo número de niveles (M) que puede usarse en el Sistema PCM considerando el ancho de banda disponible en el canal de transmisión.**

*Nota: Observe que a la entrada del modulador PSK se suman las tasas de datos provenientes de la Fuente de datos y del Sistema PCM y el total es lo que se inyecta en el canal de transmisión.*



**a) El muestreador toma 8000 muestras por segundo, es decir, actúa a una frecuencia de muestreo de 8 KHz. Como la componente espectral de máxima frecuencia de la señal de voz es de 3.3 KHz, se verifica el teorema del muestreo:  $8\text{ KHz} \geq 2 \cdot 3.3\text{ KHz}$ . Luego ese muestreador es **adecuado** para este caso.**

**b) Si denominamos M al número de niveles utilizados en el cuantizador y n al número de bits necesarios para codificar en binario dichos niveles, se cumple que:  $M=2^n$**

El flujo de salida que inyecta el Sistema PCM es:

$$8000 \text{ muestras/seg} \cdot n \text{ bits} = 8000 \cdot n \text{ bps}$$

Como a la entrada del modulador llegan dos fuentes diferentes de información que se suman, el flujo de entrada al modulador PSK es:

$$V_t = 8 \cdot n \text{ Kbps} + 240 \text{ Kbps}$$

Al modular en PSK el ancho de banda necesario, en el caso ideal ( $r = 0$ ) es:

$$AB_{\text{total}} = V_s = 8 \cdot n + 240 \text{ KHz}$$

(en PSK  $V_s = V_t$ )

El enunciado del problema nos plantea que la señal modulada con PSK tiene que pasar por un canal cuyo ancho de banda es de 1 MHz. Por tanto se tiene que cumplir que:  $AB_{\text{total}} \leq AB_{\text{canal}}$

$$8 \cdot n + 240 \text{ KHz} \leq 1.000 \text{ KHz}$$

$$n \leq (1.000 - 240)/8 = 95 \text{ bits}$$

Como  $n$  tiene que ser un número entero los valores máximos serán pues

$$n=95 \text{ bits} \Rightarrow M = 2^{95} \text{ niveles de cuantización.}$$

#### 40. Una modulación tiene asociada la siguiente constelación, en la que se usa un bit redundante:



[Septiembre 2006]

**a) ¿De qué tipo de modulación se trata? ¿Por qué?**

Se trata de una modulación QAM, ya que es una modulación que utiliza varias amplitudes y fases diferentes (no hay por qué saber cuántas exactamente). En la constelación están representados 128 símbolos, debido a que se usan 7 bits por símbolo. Sin embargo, dado que un bit es redundante, en realidad sólo tenemos 6 bits de información por símbolo, luego sería  $2^6 = 64$  estados diferentes útiles; por tanto se trata de una 64QAM.

**b) Suponiendo el caso ideal y que el ancho de banda del canal es de 1MHz, calcule la velocidad de modulación que es capaz de alcanzar dicho MODEM.**

La velocidad de modulación va asociada al canal, no al MODEM, y depende del ancho de banda del canal, por tanto es independiente de la codificación que utilice el MODEM.

Suponiendo el caso ideal, la velocidad de modulación se puede calcular a partir de una constante ( $N$ ) y el ancho de banda del canal ( $AB$ ) siguiendo la siguiente fórmula:

$V_s = N \times AB$  donde  $N=2$  (porque debemos suponer el caso ideal) y  $AB=1\text{MHz}$ , con lo que la velocidad de modulación sería de:

$$V_s = 2 \times 1 \cdot 10^6 = 2\text{Mbaudios}$$

**c) Calcule qué tiempo tardaría la transmisión por dicha línea de un archivo de 3MBytes.**

Como la velocidad de modulación es de  $V_s=2\text{Mbaudios}$ , podemos calcular la velocidad de transmisión de la línea para ver qué tiempo se tarda en transmitir el fichero, aplicando la fórmula  $V_t = n \times V_s$  donde  $n$  es el número de bits que transporta cada símbolo. En este caso, como tenemos 1 bit de redundancia y 6 bits de información, debemos considerar que  $n=6$ , por lo que  $V_t = 6 \times 2\text{M} = 12\text{Mbps}$ , que sería la velocidad de transmisión que sería capaz de alcanzar este MODEM.

[Nota: Si consideramos en esta cuenta el bit de control, estamos diciendo que el MODEM es capaz de transmitir a más bps de lo que realmente lo es, debido a que por cada 7 bits que se envían en un símbolo, sólo 6 son de información.]

Si el MODEM es capaz de transmitir 12Mbits de información en un segundo, para calcular cuánto tardaría en transmitir 3Mbytes =  $3 \times 8\text{Mbits} = 24\text{Mbits}$ , sólo tenemos que hacer una sencilla regla de tres:

$$12\text{Mbits} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 1 \text{ segundo}$$

$$24\text{Mbits} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad t$$

$$t = 24\text{Mb}/12\text{Mb} = 2 \text{ segundos.}$$

**41. Explique de forma clara y detallada la relación existente entre una PDU y una SDU en una arquitectura de red estructurada. [Septiembre 2006]**

En cada nivel de una arquitectura de red hay definida una unidad de datos de protocolo propia de ese nivel, que es lo que conocemos como la PDU de dicho nivel. Esta unidad de datos es utilizada por el protocolo par de ese nivel para comunicar una entidad de ese nivel con otra entidad en su nivel homólogo en el otro extremo.

Considerando el proceso de encapsulamiento que se produce en la transmisión, sabemos que cada nivel toma los datos que provienen del nivel superior mediante la petición de servicio de una entidad del nivel superior. La unidad de datos del servicio es lo que se conoce como SDU. Por tanto, cada nivel utilizará la SDU que provenga del nivel superior para formar su PDU, adjuntándole unos datos de control (PCI) conocidos como la cabecera de la PDU.

Dado que la PDU de cada nivel debe tener un tamaño definido para su campo de datos, si la SDU que se recibe del nivel superior es mayor que ese tamaño, hay que dividir la SDU en tantos fragmentos como sea necesario y cada fragmento, de modo que se generará una PDU diferente para transportar cada fragmento. Esto es lo que se conoce como segmentación (véase Figura 1).

Durante el proceso de desencapsulamiento en recepción, cuando las PDUs llegan al nivel homólogo en el destino, hay que extraer de las PDUs cada uno de los fragmentos que formaban la SDU del nivel superior y reensamblar la SDU completa antes de pasarla al nivel superior. Esto es lo que se conoce como reensamblaje.

Luego, una SDU proveniente de un nivel superior será transportada en una o más PDUs del nivel actual en función de si es necesario segmentar/reensamblar.

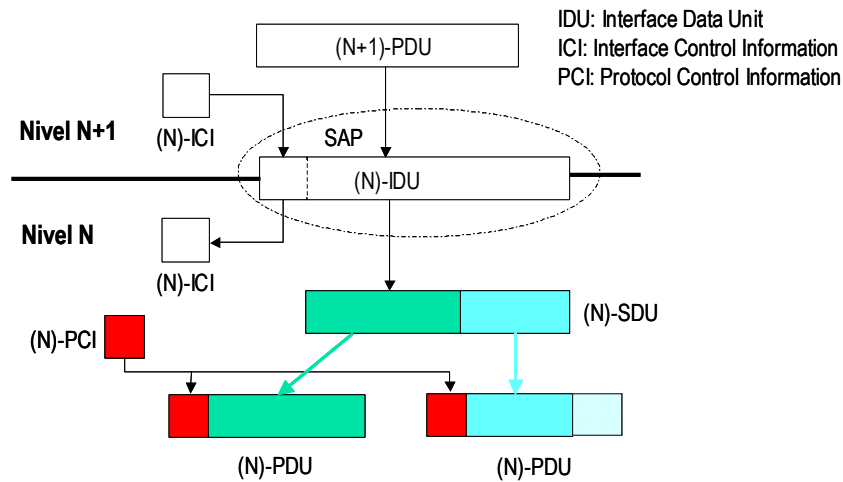


Figura 1

42. Una empresa en expansión ubicada en Sevilla desea abrir varias sedes nuevas en distintas provincias de Andalucía y quiere que todas las sedes estén comunicadas entre sí mediante una red de datos (Intranet). Usted, como consultor contratado, debe **justificar** la estrategia a seguir en cuanto a los medios físicos de transmisión que utilizaría y los que no, **aportando en su justificación las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos**. Para ello tenga en cuenta que no existe ninguna infraestructura implantada para la comunicación de las sedes. [Septiembre 2006]

No hay una única solución para este problema.

Se valora:

- las justificaciones del uso de uno u otro medio (se valora negativamente el hecho de afirmar sin justificar)
- el orden y la claridad de exposición de la estrategia a seguir
- la distinción entre los medios que se proponen para la comunicación entre las diferentes sedes y los que se proponen para la comunicación dentro de cada una de las sedes.

Ejercicios complementarios

**43. Se dispone de un sistema de multiplexión TDM síncrona de 4 canales. Cada fuente genera 2.000bps. Suponiendo que las transmisiones están entrelazadas a nivel de carácter y que se utiliza un único bit por trama para el sincronismo, ¿qué capacidad es necesaria para el enlace compartido?**

Como el multiplexor tiene 4 canales de entrada, es necesario que cada trama contenga 4 ranuras. Dado que el entrelazado se produce a nivel de carácter, cada ranura transporta 8 bits, luego  $4 \times 8 = 32$  bits de datos por cada trama. A esos 32 bits, se le suma uno más que es el bit de sincronismo, entonces son 33 bits por trama.

$2000 \text{ bps} = 2000/8 \text{ caracteres/seg} = 250 \text{ caracteres por segundo}$

Entonces, en total, son 250 tramas las que hay que enviar, a 33 bits/trama:  $250 \times 33 = 8250 \text{ bps}$  es la capacidad que debe tener el enlace.

Otra forma de calcularlo es  $2000 \text{ bps/canal} \times 4 \text{ canales} = 8.000 \text{ bps}$ . Por cada trama hay que añadir 1 bit de sincronismo, luego tengo que calcular el número de tramas:  $2000 \text{ bps}/8 = 250 \text{ caracteres/seg}$ . Luego, en total son 250 tramas, entonces en total son 250 bits de sincronismo.

El enlace del enlace sería:  $8000 \text{ bps} + 250 = 8.250 \text{ bps}$

**44. Dos usuarios (A y B) se comunican a través de una red de datos y entre ellos hay tres saltos. Calcular el tiempo que se tarda en transmitir un fichero de 64Mbits en caso de utilizar conmutación de circuitos y conmutación de paquetes. En este último caso, calcularlo en modo datagrama y en modo circuito virtual.**

Para ello considere que:

- los paquetes pueden tener un tamaño máximo de 1.002 bytes, de los cuales 2 bytes corresponden a la cabecera
- al establecer un circuito se requiere el envío de un mensaje de SETUP, cuyo tamaño es 4 bytes y el cual se confirma con un mensaje de ACK, de un tamaño de 2 bytes, para indicar la disponibilidad del enlace
- la probabilidad de bloqueo en el establecimiento del circuito es nula
- el tiempo de procesamiento de los datos entrantes en cada nodo es despreciable, así como el tiempo entre cada dos paquetes consecutivos
- la longitud de cada enlace es de 1.000km, 200km, 126km y 30km respectivamente
- la capacidad de cada enlace es de 1Mbps, 256Kbps, 100Kbps y 64Kbps respectivamente
- la velocidad de propagación de la señal en los enlaces es de  $2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ .

Conmutación de Circuitos:

$$t_{\text{tx-total}} = t_{\text{setup}} + t_{\text{ack}} + t_{\text{tx}}$$

$$t_{\text{setup}} = t_{\text{setup1}} + t_{p1} + t_{\text{proc1}} + t_{\text{setup2}} + t_{p2} + t_{\text{proc2}} + t_{\text{setup3}} + t_{p3} + t_{\text{proc3}} + t_{\text{setup4}} + t_{p4} + t_{\text{proc4}}$$

Como el tiempo de procesamiento en cada nodo es despreciable  $t_{\text{proc}_i}$  se considera nulo.

$$t_{\text{setup}_i} = \text{tamaño\_dato} / \text{velocidad\_de\_tx\_del\_enlace}$$

$$t_{\text{setup1}} = 4 \times 8 / 1 \text{ Mbps} = 32 \cdot 10^{-6} \text{ seg}$$

$$t_{p1} = 1000 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^8 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ seg}$$

$$t_{\text{setup2}} = 4 \times 8 / 256 \text{ Kbps} = 93.75 \cdot 10^{-5} \text{ seg}$$

$$t_{p2} = 200 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^8 = 10^{-3} \text{ seg}$$

$$t_{\text{setup}3} = 4 \times 8 / 100 \text{Kbps} = 32 \cdot 10^{-5} \text{ seg}$$

$$t_{p3} = 126 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^8 = 63 \cdot 10^{-5} \text{ seg}$$

$$t_{\text{setup}4} = 4 \times 8 / 64 \text{Kbps} = 0.5 \cdot 10^{-3} \text{ seg}$$

$$t_{p4} = 30 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^8 = 15 \cdot 10^{-5} \text{ seg}$$

$$t_{\text{setup}} = 0,0085695 \text{ segundos}$$

$$t_{\text{ack}} = t_{\text{ack}1} + t_{p1} + t_{\text{ack}2} + t_{p2} + t_{\text{ack}3} + t_{p3} + t_{\text{ack}4} + t_{p4}$$

$$t_{\text{ack}1} = 2 \times 8 / 1 \text{Mbps} = 16 \cdot 10^{-6} \text{ seg}$$

$$t_{\text{ack}2} = 2 \times 8 / 256 \text{Kbps} = 0,0625 \cdot 10^{-3} \text{ seg}$$

$$t_{\text{ack}3} = 2 \times 8 / 100 \text{Kbps} = 16 \cdot 10^{-5} \text{ seg}$$

$$t_{\text{ack}4} = 2 \times 8 / 64 \text{Kbps} = 0.25 \cdot 10^{-3} \text{ seg}$$

y considerando los tiempos de propagación calculados anteriormente:

$$t_{\text{ack}} = 0,0072685 \text{ segundos}$$

$$t_{\text{tx}} = t_{\text{ptotal}} + t_{\text{tx-datos}} = (1000 \cdot 10^3 + 200 \cdot 10^3 + 126 \cdot 10^3 + 30 \cdot 10^3) / 2 \cdot 10^8 + 64 \cdot 10^6 / 10^6 + 64 \cdot 10^6 / 256 \cdot 10^3 + 64 \cdot 10^6 / 100 \cdot 10^3 + 64 \cdot 10^6 / 64 \cdot 10^3 = 0,00678 + 64 + 250 + 640 + 1000 = 1954,00678 \text{ segundos} \approx 32 \text{ minutos}$$

$$t_{\text{tx-total}} = 0,0085695 + 0,0072685 + 1954,00678 = 1954,022618 \text{ segundos} \approx 32 \text{ minutos}$$

#### Conmutación de paquetes:

En este caso los datos se fraccionan en paquetes de 1002 bytes, donde 2 bytes corresponden a la cabecera de cada paquete y 1000 bytes son de datos. Como queremos transmitir 64Mbits = 8Mbytes, hay que enviar en total 8Mbytes/1000bytes/paquete = 8000 paquetes.

##### ➤ Modo datagrama:

En este modo no es necesario establecer la conexión previamente, luego directamente se envían los paquetes. Además, dada la simplicidad del problema propuesto, se supone que todos los paquetes siguen el mismo camino.

Como las capacidades de los enlaces son diferentes, el enlace que tenga menor capacidad será el que tarde más tiempo en pasar la información al siguiente nodo, por tanto habrá que calcular el tiempo de transmisión de los 8000 paquetes en el enlace más lento y, además, el tiempo en transmitir el primer paquete desde el primer nodo hasta ese enlace, más el tiempo en transmitir el último paquete desde el enlace más lento hasta el último enlace. En el caso de este problema, el enlace más lento es el último (64Kbps), luego habrá que calcular el tiempo que se tarda en transmitir el primer paquete hasta el tercer nodo y el tiempo que se tarda en transmitir todos los paquetes en ese enlace, para obtener el tiempo total.

$$t_{\text{tx}} = t_{\text{tx\_paquete1hasta nodo3}} + t_{\text{tx-todos\_paquete\_en\_enlace3-4}} = (1002 \times 8 / 10^6 + 1002 \times 8 / 256 \cdot 10^3 + 1002 \times 8 / 10^5) + 8000 \times 1002 \times 8 / 64 \cdot 10^3 = 0,008016 + 0,0313125 + 0,08016 + 1002 = 1002,1194885 \text{ segundos} \approx 16 \text{ minutos}$$

**Atención:** habría que considerar también los tiempos de vuelo, es decir:

$$t_{\text{tx}} = t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4} + t_{\text{tx\_paquete1hasta nodo3}} + t_{\text{tx-todos\_paquete\_en\_enlace3-4}}$$

##### ➤ Modo circuito virtual:

En este modo es necesario establecer la conexión previamente, al igual que ocurre con la conmutación de circuitos

$$t_{\text{tx}} = t_{\text{establecimiento\_circuito}} + t_{\text{tx-modo-datagrama}} = 0,0085695 + 0,0072685 + 1002,1194885$$

$$t_{\text{tx}} = 1002,1353265 \text{ segundos} \approx 16 \text{ minutos}$$

$t_{\text{establecimiento\_circuito}}$  es el mismo tiempo que para la fase de conexión de la Conmutación de Circuitos calculada anteriormente en el problema

$t_{\text{tx-modo-datagrama}}$  es el mismo tiempo que para la transmisión calculado en modo datagrama, ya que se ha supuesto que todos los paquetes siguen el mismo camino.

**45. Considere dos extremos (A y B) que se comunican a través de una red de datos y entre ellos hay dos saltos.**

- a) Calcule el tiempo que se tarda en transmitir un fichero de 4Mbytes en caso de utilizar conmutación de paquetes en modo circuito virtual, considerando que:
- ✓ los paquetes pueden tener un tamaño máximo de 2.004 bytes, de los cuales 4 bytes corresponden a la cabecera
  - ✓ el tiempo de procesamiento de los datos entrantes en cada nodo es de 1 milisegundo
  - ✓ la longitud entre cada dos enlaces es de 100km, 10km y 20km respectivamente
  - ✓ la capacidad de cada uno de los enlaces es de 64Kbps, 256Kbps, 128Kbps y 512Kbps respectivamente
  - ✓ la velocidad de propagación de la señal en los enlaces es de  $2 \cdot 10^8$  m/s.
- b) ¿Cambiaría en algo el resultado del apartado anterior si la capacidad del enlace de 128Kbps fuese de 64Kbps? Justifique su respuesta. [3 febrero 2005]

A | | | B

$$t_{\text{tx-total}} = t_{\text{setup}} + t_{\text{ack}} + t_{\text{tx}}$$

$$t_{\text{setup}} = t_{\text{setupA1}} + t_{pA1} + t_{\text{proc1}} + t_{\text{setup12}} + t_{p12} + t_{\text{proc2}} + t_{\text{setup2B}} + t_{p2B} + t_{\text{procB}}$$

Como el tiempo de procesamiento en cada nodo es de 1 ms, la suma de los 3 nodos que lo procesan (los 2 nodos intermedios y el receptor) es igual a 3 ms.

$$t_{\text{setupA1}} = 2004 \times 8 / 64 \text{Kbps} = 0,2505 \text{ seg}$$

$$t_{pA1} = 100 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^8 = 0,0005 \text{ seg}$$

$$t_{\text{setup12}} = 2004 \times 8 / 256 \text{Kbps} = 0,062625 \text{ seg}$$

$$t_{p12} = 10 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^8 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ seg}$$

$$t_{\text{setup2B}} = 2004 \times 8 / 128 \text{Kbps} = 0,12525 \text{ seg}$$

$$t_{p2B} = 20 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^8 = 10^{-4} \text{ seg}$$

$$t_{\text{setup}} = 0,2505 + 0,0005 + 0,062625 + 5 \cdot 10^{-5} + 0,12525 + 10^{-4} \\ = 0,439025 \text{ segundos}$$

$$t_{\text{ack}} = t_{\text{ackB2}} + t_{pB2} + t_{\text{proc2}} + t_{\text{ack21}} + t_{p21} + t_{\text{proc1}} + t_{\text{ack1A}} + t_{p1A} + t_{\text{procA}}$$

$$t_{\text{ackB2}} = 2004 \times 8 / 512 \text{Kbps} = 0,0313125 \text{ seg}$$

$$t_{\text{ack21}} = 2004 \times 8 / 128 \text{Kbps} = 0,12525 \text{ seg}$$

$$t_{\text{ack1A}} = 2004 \times 8 / 256 \text{Kbps} = 0,062625 \text{ seg}$$

y considerando los tiempos de propagación calculados anteriormente:

$$t_{\text{ack}} = 0,2228375 \text{ segundos}$$

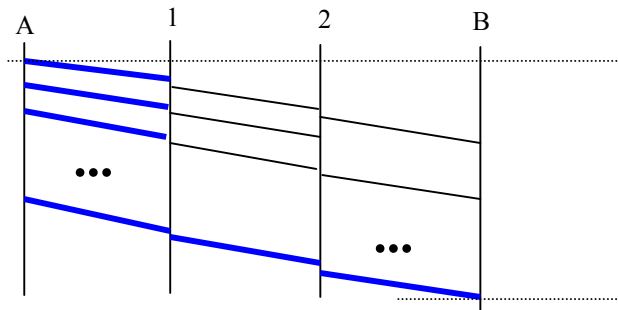
Como es conmutación de paquetes, los datos se fraccionan en paquetes de 2004 bytes, donde 4 bytes

corresponden a la cabecera de cada paquete y 2000 bytes son de datos. Como queremos transmitir 8Mbits = 4Mbytes, hay que enviar en total 4Mbytes/2000bytes/paquete = 2000 paquetes.

➤ Modo circuito virtual:

En este modo es necesario establecer la conexión previamente. Además, dada la simplicidad del problema propuesto, se supone que todos los paquetes siguen el mismo camino.

Como las capacidades de los enlaces son diferentes, el enlace que tenga menor capacidad será el que tarde más tiempo en pasar la información al siguiente nodo, por tanto habrá que calcular el tiempo de transmisión de los 2000 paquetes en el enlace más lento y, además, el tiempo en transmitir el primer paquete desde el primer nodo hasta ese enlace, más el tiempo en transmitir el último paquete desde el enlace más lento hasta el último enlace. Como en este caso, el enlace más lento es el primero (64Kbps), luego habrá que calcular el tiempo que se tarda en transmitir todos los paquetes desde el enlace más lento hasta el segundo nodo + el tiempo que se tarda en transmitir el último paquete desde el primer nodo intermedio hasta el extremo B, para obtener el tiempo total.



$$\begin{aligned}
 t_{tx} &= t_{tx\_paqueteshastanodo1} + t_{tx\_ultimopaquete\_de1\_hastaB} + t_{procesamiento\_2000paquetes} \\
 &= 2000 \times 2004 \times 8 / 64 \cdot 10^3 + (2004 \times 8 / 256 \cdot 10^3 + 2004 \times 8 / 128 \cdot 10^3) + 0,001 \times 2000 = 501 + (0,062625 + 0,12525) \\
 &+ 2 = 503,187875 \text{ segundos}
 \end{aligned}$$

Nota:  $t_{procesamiento\_2000paquetes}$  = cada paquete tiene que ser procesado por el nodo que lo recibe, luego hay que sumar el retraso introducido por este procesamiento.

Entonces, sustituyendo los valores calculados en la fórmula del principio:

$$\begin{aligned}
 t_{tx-total} &= t_{setup} + t_{ack} + t_{tx} = 0,439025 + 0,2228375 + 503,0939375 \\
 &= 503,7558 \text{ segundos} \approx 8 \text{ minutos}
 \end{aligned}$$

b) En caso de que el enlace de 2 a 1 sea de 64 Kbps en lugar de 128 Kbps, afectaría al cálculo del tiempo de establecimiento porque afectaría al acuse de recibo de la fase de conexión inicial, pero como es un solo paquete la diferencia sería prácticamente despreciable.