

# Arquitectura de redes

## Nivel Físico: Boletín 1

### 1.

- $C = 10Kbps$
- $SNR_{db} = 50db$

$$SNR_{db} = 10 \log_{10} SNR \rightarrow SNR = 10^{\frac{SNR_{db}}{10}} = 10^{\frac{50}{10}} = 10^5$$

Aplicamos Shannon:

$$C = B * \log_2(1 + SNR) \quad B = \frac{C}{\log_2(1+SNR)} = \frac{10*10^3}{\log_2(1+10^5)} = \frac{10*10^3}{16,61} = 602,06Hz$$

### 2.

- 1 punto  $\rightarrow$  5 bits
- 1 imagen  $\rightarrow$   $480 * 500$  puntos  $\rightarrow$  240.000 puntos  $\rightarrow$  1.200.000 bits
- 1 segundo  $\rightarrow$  30 imágenes  $\rightarrow$  36.000.000 bits = 36Mbps

#### 2.a.

$$R = 36Mbps$$

#### 2.b.

$$\begin{aligned} SNR_{db} &= 35db \rightarrow SNR = 10^{3,5} \\ B &= 4,5MHz \\ C &= B * \log_2(1 + SNR) = 4,5 * 10^6 * \log_2(1 + 10^{3,5}) = 4,5 * 10^6 * \log_2 316,28 = \\ &11,63 * 4,5 * 10^6 = 52,32Mbps \end{aligned}$$

### **3.**

Según el teorema de Nyquist:

$$C = 2B \log_2 M \rightarrow B = \frac{C}{2 \log_2 M}$$

#### **3.a.**

$$B = \frac{9600}{2 \log_2 16} = \frac{9600}{8} = 1200 \text{ Hz}$$

#### **3.b.**

$$B = \frac{9600}{2 \log_2 2^8} = \frac{9600}{16} = 1200 \text{ Hz}$$

### **4.**

#### **4.a.**

$$SNR_{db} = 24 \text{ db} \rightarrow SNR = 10^{2,4}$$

$$C = B * \log_2(1 + SNR) = 1 * 10^6 * \log_2(1 + 10^{2,4}) = 10^6 \log_2(252,19) = 7,97 * 10^6 \simeq 8 \text{ Mbps}$$

#### **4.b.**

$$\text{Aplicando Nyquist: } C = 2B \log_2 M \rightarrow M = 2^{\frac{C}{2B}}$$

$$M = 2^{\frac{8 * 10^6}{2 * 10^6}} = 2^4 = 16 \text{ niveles}$$

### **5.**

Aplicamos la fórmula del ruido térmico:

$$N = k * T * B = 1,38 * 10^{-23} * 293^\circ K * 350 * 10^6 \text{ Hz} = 1,41519 * 10^{-12} \text{ W}$$

### **6.**

- $B = 350 \text{ MHz}$

- $N_0 = K * T * B = 1,38 * 10^{-23} * 290 * 350 * 10^6 = 1,4 * 10^{-12}$
- $K = 1,38 * 10^{-23}$
- $T = 17^\circ C = 290^\circ K$

$$N_{0(db)} = 10 \log_{10} N_0 = -118,53 dB$$

## 7.

- 1 error de cada 1000  $\rightarrow \frac{E_b}{N_o}(db) = 7,2 db$
- $V_T = 10 Mbps$
- $T = 20^\circ C = 293^\circ K$

$$\frac{E_b}{N_o} = 10^{0,72} = 5,25 = \frac{S}{RKT}$$

$$S = 5,25 * R * K * T = 5,25 * 10 * 10^6 * 1,38 * 10^{-23} * 293 = 2,11 * 10^{-13}$$

$$S_{db} = 10 \log_{10} 2,11 * 10^{-13} = -126,73 dBW$$

## 8.

- $S_{db} = -151 dBW \rightarrow S = 10^{-15,1} = 7,94 * 10^{-16}$
- $T = 1500^\circ K$
- $\frac{E_b}{N_0}$  para  $2400 bps?$

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{RKT} = \frac{7,94 * 10^{-16}}{2400 * 1,38 * 10^{-23} * 1500} = 15,98$$

$$\frac{E_b}{N_0}(db) = 10 \log_{10}(15,98) = 12,03 dB$$

## 9.

En primer lugar, podemos descartar el cable B debido a que los valores posibles de impedancia se salen de los requisitos para las redes Ethernet, ya que estos serían  $85-111\Omega$  y el cable puede llegar a  $115\Omega$ .

Posteriormente, entre el cable A y el cable C, debemos elegir el **cable A**, ya que permite una velocidad de transmisión mucho mayor al disponer de un rango de frecuencia mucho más grande.

## 10.

- Pérdida(db) = 20dB → Pérdida =  $10^2$
- PEntrada = 0.5 W
- Ruido =  $4.5\mu W$

Entendemos la pérdida como la inversa de la ganancia:  $Ganancia = 10^{-2}$

$$Ganancia = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \rightarrow 10^{-2} = \frac{P_s}{0,5} \rightarrow P_s = 5 * 10^{-3}W$$

$$SNR = \frac{P_{salida}}{Ruido} = \frac{5*10^{-3}}{4,5*10^{-6}} = 1111,11$$

$$SNR_{db} = 10\log_10 SNR = 10\log_10 1111,11 = 30,45db$$

## 11.

- PEntrada = 100W
- Psalida = 1W
- L?

$$P_{db} = 10\log_10 100 = 20dBW$$

### 11.a. Par trenzado, 0.5mm, 300kHz

$$\begin{aligned} 300KHz &\rightarrow 10^{5,1}Hz \\ Perdida &= 10 \frac{db}{km} \\ L &= 20/10 = 2km \end{aligned}$$

### 11.b. Par trenzado, 0.5mm, 1MHz

$$\begin{aligned} 1MHz &\rightarrow 10^6Hz \\ Perdida &= 20 \frac{db}{km} \\ L &= 20/20 = 1km \end{aligned}$$

### 11.c. Cable coaxial, 9.5mm, 1MHz

$$\begin{aligned} 1MHz &\rightarrow 10^6Hz \\ Perdida &= 2,5 \frac{db}{km} \\ L &= 20/2,5 = 8km \end{aligned}$$

## 11.d. Cable coaxial, 9.5mm, 25MHz

$$1MHz \rightarrow 10^{7,39}Hz$$
$$Perdida = 10 \frac{db}{km}$$
$$L = 20/10 = 2km$$

## 11.e. Fibra óptica

$$Perdida = 0,2 \frac{db}{km}$$
$$L = 20/2,5 = 100km$$

# 12.

En primer lugar, usaremos la fórmula de la atenuación:

$$L = 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) - 147,56$$

Si ahora duplicamos la frecuencia de transmisión:

$$L2 = 20\log_{10}(2f) + 20\log_{10}(d) - 147,56 = 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) - 147,56 + 20\log_{10}(2) \rightarrow L2 = L + 20\log_{10}(2) = L + 6,02db$$

Por lo tanto, al duplicar la frecuencia de transmisión podemos observar como la atenuación aumenta en aproximadamente 6db, lo que supone una reducción de la potencia recibida en 6db.

Para demostrarlo con la distancia sería exactamente igual pero multiplicando por 2 la distancia en lugar de la frecuencia de transmisión. El resultado sería el mismo.

# 13.

- P = 50W

## 13.a.

$$P_{db} = 10\log_{10}P = 10\log_{10}50 = 16,99dBW$$

## 13.b.

- f = 900MHz
- d = 100m

$$L = 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) - 147,56 = 20\log_{10}(900*10^6) + 20\log_{10}(100) - 147,56dB = 71,52dBW$$

$$L = 10\log_{10}\frac{P_{transmitida}}{P_{recibida}} \rightarrow 1,41 * 10^7 = \frac{P_{transmitida}}{P_{recibida}} \rightarrow P_{recibida} = \frac{P_{transmitida}}{1,41,10^7} = 3,52\mu W$$

### 13.c.

Al tener una ganancia de 2, se aplica la fórmula de la ganancia:

$$Ganancia = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = 2$$

De esta forma, la potencia resultante será el doble que con ganancia uno:

$$P_{recibida} = 7,04\mu W$$

### 14.

- $f = 11GHz$
- $V_T = 90 Mbps$
- $d = 80KM$

$$L = 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) - 147,56 = 20\log_{10}(11 * 10^9) + 20\log_{10}(90 * 10^3) - 147,56dB = 151,32dBW$$

### 15.

- $f = 6GHz$
- $V_T = 90 Mbps$
- $L = 130/150dBW$

En el caso de 130dBW:

$$\begin{aligned} L &= 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) - 147,56 \rightarrow 20\log_{10}(d) = L + 147,56 - 20\log_{10}(f) = \\ &130 + 147,56 - 20\log_{10}(6 * 10^9) = 81,99 \\ d &= 10^{\frac{81,99}{20}} = 10^{4,1} = 12,58km \\ d &= 7,14(\sqrt{K * h}) \rightarrow h = \frac{(\frac{d}{7,14})^2}{K} = 2,33m \end{aligned}$$

En el caso de 150dBW:

$$\begin{aligned}
L &= 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d) - 147,56 \rightarrow 20\log_{10}(d) = L + 147,56 - 20\log_{10}(f) = \\
&= 150 + 147,56 - 20\log_{10}(6 * 10^9) = 101,99 \\
d &= 10^{\frac{101,99}{20}} = 10^{4,1} = 125,74 \text{ km} \\
d &= 7,14(\sqrt{K * h}) \rightarrow h = \frac{(\frac{d}{7,14})^2}{K} = 232,6 \text{ m}
\end{aligned}$$

## 16.

- BER =  $\frac{1}{10000}$
- Pdb = 95dBW
- NRZ  $\rightarrow \frac{E_b}{N_0} = 8,2$
- AMI  $\rightarrow \frac{E_b}{N_0} = 11$

Se obtendrá una mayor velocidad con NRZ ya que la velocidad de transmisión R es inversamente proporcional a  $\frac{E_b}{N_0}$

## 17.

- Cable UTP Tipo 5, Atenuación = 104dB/Km a 25MHz
- Ganancia = 200dBW
- Transmisores a 3, 6 y 9km
- $\frac{E_b}{N_0} = 7,2$
- R = 4Mbps
- T = 20° km 1-9
- T = 20° km 10
- f = 25MHz

Primero calculamos la potencia mínima que debe recibir el último nodo:

$$\begin{aligned}
\frac{E_b}{N_0} &= \frac{S}{KTR} \rightarrow S = \frac{E_b}{N_0} * KTR = 7,2 * 1,38 * 10^{-23} * 4 * 10^6 * 278 = 1,10 * 10^{-13} \\
S_{db} &= 10\log_{10}S = -129,57
\end{aligned}$$

La potencia perdida durante los 9Km de recorrido es:

$$L = 104 * 10 = 1040 \text{ dB}$$

Finalmente:

$$P_{transmitida} = 1040 - 200 * 3 - 129,57 = 310,43 \text{ dB}$$

# Arquitectura de redes

## Nivel Físico: Boletín 2

### 1.

- 16 estados → 4 bits por símbolo
- $D = 4800$

Se trata de un patrón de constelación 16 QAM  $R = D * \log(n) = 4D = 4 * 4800 = 19200 \text{ bps} = 19,2 \text{ kbps}$

### 2.

#### 2.a. 2000 bps, FSK

Como FSK tiene un patrón de constelación de dos puntos:

$$D = \frac{R}{L} = \frac{2000}{\log_2(2)} = 2000 \text{ baudios}$$

#### 2.b. 4000 bps, ASK

Como ASK tiene un patrón de constelación de dos puntos:  $D = \frac{R}{L} = \frac{4000}{\log_2(2)} = 4000 \text{ baudios}$

#### 2.c. 6000 bps, 2-PSK

$$D = \frac{R}{L} = \frac{6000}{\log_2(2)} = 6000 \text{ baudios}$$

#### 2.d. 6000 bps, 4-PSK

$$D = \frac{R}{L} = \frac{6000}{\log_2(4)} = 3000 \text{ baudios}$$

**2.e. 6000 bps, 8-PSK**

$$D = \frac{R}{L} = \frac{6000}{\log_2(8)} = 2000 \text{baudios}$$

**2.f. 4000 bps, 4-QAM**

$$D = \frac{R}{L} = \frac{4000}{\log_2(4)} = 2000 \text{baudios}$$

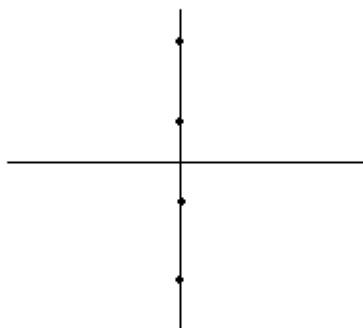
**2.g. 6000 bps, 16-QAM**

$$D = \frac{R}{L} = \frac{6000}{\log_2(16)} = 1500 \text{baudios}$$

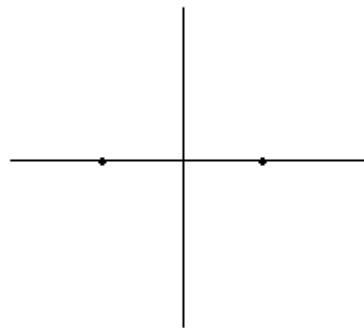
**2.h. 36000 bps, 64-QAM**

$$D = \frac{R}{L} = \frac{36000}{\log_2(64)} = 6000 \text{baudios}$$

**3.**



**ASK**



**2-PSK**

**4.**

**4.a.**

Se trata de QPSK y su velocidad sería:  $R = D * \log(n) = 1200 * 2 = 2400 \text{bps}$

#### 4.b.

Se trata de una modulación por amplitud, es decir, ASK.

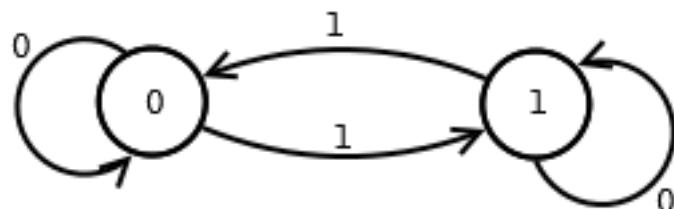
#### 4.c.

Se trataría de una modulación QPSK, como la del apartado a de este ejercicio.

#### 4.d.

Al tratarse de un módem dúplex total, puede enviar y recibir datos de forma simultánea, por esto necesita 2 frecuencias, uno para sentido de la transmisión.

### 5.



Equivale a una puerta XOR

### 6.

El error se encuentra en la transmisión del 7 bit. En bipolar AMI, los 0 se mantienen a voltaje 0 mientras que los 1 se representan alternativamente como voltaje +V o -V, es decir, el primer 1 será siempre positivo, el segundo negativo, el tercero positivo, etc...

En este caso, el séptimo bit es un 1 y ha sido representado en -V cuando sin embargo, debería haberse representado como +V ya que es el tercer uno y el anterior ya se había representado en negativo.

### 7.

Las dos secuencias que con un solo bit erróneo darían como resultado la secuencia bipolar anterior pueden ser:

- 11011111
- 11011001

## 8.

Realizaré la demostración tan solo para el caso de  $d_1(t)$ , ya que para el otro caso sería casi exactamente lo mismo.

$$s(t) = d_1(t)\cos(2\pi f_c t) + d_2\sin(2\pi f_c t)$$

$$s_1(t) = s(t) * \cos(2\pi f_c t) = d_1(t)\cos^2(2\pi f_c t) + d_2\sin(2\pi f_c t) * \cos(2\pi f_c t) =$$

$$d_1(t) * \frac{1+\cos(4\pi f_c t)}{2} + d_2(t)\sin(4\pi f_c t) = \frac{d_1(t)}{2} * \frac{d_1(t)*\cos(4\pi f_c t)}{2} + d_2(t)\sin(4\pi f_c t)$$

Finalmente, al aplicar el filtro paso baja en esta última expresión, se eliminarán todas las altas frecuencias quedando como resultado:

$$\frac{d_1(t)}{2}$$

Demostrando así que el demodulador funciona correctamente.

## 9.

- BER =  $10^{-6}$
- ASK, FSK, PSK, QPSK
- Eficiencia =  $\frac{B_T}{R} = 1$

Tenemos que:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N_0 * R}$$

Además:

$$N = N_0 * B_T$$

Por tanto:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{B_T * S}{N * R}$$

Y como  $\frac{B_T}{R} = 1$ , tenemos que:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \rightarrow \frac{E_b}{N_0}(db) = \frac{S}{N}(db)$$

Por último, solo queda mirar la gráfica de los apuntes que relaciona el BER con  $\frac{E_b}{N_0}$ , obteniendo:

- ASK y FSK: 13.5dB
- PSK y QPSK: 10.5dB

## 10.

- NRZ-L
- $r=0.5$
- $B_T$ ? para ASK y FSK
- FSK:  $f_1=50\text{kHz}$  y  $f_2 = 55\text{kHz}$

$$\Delta f = f_1 - f_c = f_2 - f_c$$

Para maximizar  $\Delta f$ , tomamos  $f_c$  como  $52.5\text{kHz}$  y por lo tanto  $\Delta f$  como  $2.5\text{kHz}$ .

Finalmente, los resultados para cada tipo de modulación seria:

$$\text{ASK: } B_T = (1 + r)R = 1,5 * 2400 = 3600\text{Hz}$$

$$\text{FSK: } B_T = 2\Delta f(1 + r)R = 2 * 2,5 * 10^3 + 1,5 * 2400 = 8600\text{Hz}$$

## 11.

- 10 bits PCM

$$SNR(db) = 20\log_{10}(2^n) + 1,76dB = 6,02 * 10 + 1,76dB = 61,96dB$$

## 12.

- Frecuencias:  $300\text{Hz}-3000\text{Hz} \rightarrow w = 2700\text{Hz}$
- 7000 muestras/segundo PCM

### 12.a.

- SNR = 30dB

$$SNR_{db} = 6,02 * n + 1,76dB \rightarrow n = \frac{SNR_{db}-1,76}{6,02} = 4,96bits \simeq 5bits$$

### 12.b.

$$V_T = V_{muestreo} * n = 7000 * 5 = 35000bps$$

## 13.

- $s(t) = 10\cos[2\pi 10 * 6t + 0,1\sin(10^3\pi t)]$

### 13.a.

- $n_p = 10$

$$\phi(t) = n_p * m(t) \rightarrow m(t) = \frac{0,1\sin(10^3\pi t)}{10} = 0,01\sin(10^3\pi t)$$

### 13.b.

- $n_f = 10\pi$

$$\phi'(t) = n_f * m(t) \rightarrow m(t) = \frac{10^2\pi\cos(10^3\pi t)}{10\pi} = 10\cos(10^3\pi t)$$

## 14.

- BER =  $10^{-7}$
- ASK
- Acoplador 50:50

### 14.a.

$$(\frac{E_b}{N_0})_{1(db)} = (\frac{E_b}{N_0}) + 10\log_{10}(0,5) = 14,2 - 3 = 11,2 dB \rightarrow BER = 2 * 10^{-4}$$

### 14.b.

**Enlace de comunicaciones:**  $(\frac{E_b}{N_0})_{1(db)} = (\frac{E_b}{N_0}) + 10\log_{10}(0,9) = 14,2 - 0,45 = 13,8 dB \rightarrow BER = 8 * 10^{-6}$

**Monitorizado:**  $(\frac{E_b}{N_0})_{1(db)} = (\frac{E_b}{N_0}) + 10\log_{10}(0,1) = 14,2 - 10 = 4,2 dB \rightarrow BER = 0,1$

Como podemos observar, en todos los casos aumenta la probabilidad de error de bit al reducir la potencia.

## 15.

- PSK
- SNR  $\rightarrow (\frac{S}{N})_{db} = 10dB \rightarrow \frac{S}{N} = 10$
- BER =  $10^{-5}$

En primer lugar, miramos en la gráfica el valor de  $\frac{E_b}{N_0}$  para el BER dado, obteniendo:  $\frac{E_b}{N_0}(db) = 9,5dB$ , que al normalizar, obtenemos  $\frac{E_b}{N_0} = 10^{9,5/10} = 8,91$   
La eficiencia con estos datos sería:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N_0 * R} = \frac{S * B_T}{N * R}$$

Sabiendo que la eficiencia es  $\frac{R}{B_t}$ :

$$Eficiencia = \frac{R}{B_t} = \frac{S}{N} * \frac{N_0}{E_b} = 10 * 0,11 = 1,1$$

Si cambiamos el valor del BER, deberemos obtener el nuevo valor para  $\frac{E_b}{N_0}$ , que sería:  $\frac{E_b}{N_0}(db) = 11,2dB$ , que al normalizar, obtenemos  $\frac{E_b}{N_0} = 10^{11,2/10} = 13,18$

Aplicando de nuevo la fórmula anterior:

$$Eficiencia = \frac{R}{B_t} = \frac{S}{N} * \frac{N_0}{E_b} = 10 * 0,076 = 0,76$$

Al reducir la probabilidad de error, la eficiencia espectral se ha reducido también.

Finalmente, utilizando una modulación ASK debemos volver a calcular el valor de  $\frac{E_b}{N_0}$ , obteniendo:  $\frac{E_b}{N_0} = 14,2dB$  que al normalizar,  $\frac{E_b}{N_0} = 10^{14,2/10} = 26,3$

Y obteniendo una eficiencia espectral:

$$Eficiencia = \frac{R}{B_t} = \frac{S}{N} * \frac{N_0}{E_b} = 10 * 0,038 = 0,38$$

## 16.

- Ancho de banda = 4kHz
- $SNR_{db} = 50dB \rightarrow SNR = 10^5$

En primer lugar, aplicamos el teorema de Shannon para obtener la velocidad máxima del canal:

$$C = B * \log_2(1 + SNR) = 4 * 10 * \log_2(1 + 10^5) = 66438bps$$

Una vez obtenido esto, calculamos el número de bits por símbolo (n) que harán falta para transmitir a esa velocidad:

$$C = 2B * \log_2(M) \rightarrow n = \log_2(M) = \frac{C}{2B} = 8,3 \rightarrow 8bits$$

Una vez obtenido esto, aplicamos la fórmula para obtener el ruido de cuantificación que será el resultante:

$$SNR_{db} = 6,02 * 8 * 1,76 = 84,76dB$$

Se han cogido 8 bits ya que no tiene sentido trabajar con un número de bits que no sea entero y no se puede alcanzar una velocidad de transmisión superior a la impuesta por Shannon, lo que ocurriría si usáramos 9 bits.

# Arquitectura de redes

## Nivel Físico: Boletín 3

### 1.

- 10000 bytes
- 2400 bps

#### 1.a.

En este caso, por cada byte, habrá 2 bits de control, es decir:

$$BitsSuplementarios = nbytes * 2 = 10000 * 2 = 20000$$

Calculamos el tiempo invertido en enviar todos los bits suplementarios:

$$T_{Redundancia} = \frac{20000}{2400} = 8,3s$$

#### 1.b.

Suponemos que cada trama contiene 8048 bits, es decir, los 8000 de caracteres más los 48 bits de control de trama. Según esto, se añadirán 48 bits de control por cada 8000 de datos, por lo tanto:

$$N_{tramas} = \frac{N_{bytes}}{1000} = 10tramas$$

$$BitsSuplementarios = N_{tramas} * 48 = 480$$

$$T_{Redundancia} = \frac{480}{2400} = 0,2s$$

#### 1.c.

En el caso del **apartado A**:

$$BitsSuplementarios = nbytes * 2 = 100000 * 2 = 200000$$

$$T_{Redundancia} = \frac{200000}{2400} = 83,3s$$

Y en el caso del **apartado B**:

$$N_{tramas} = \frac{N_{bytes}}{1000} = 100tramas$$

$$BitsSuplementarios = N_{tramas} * 48 = 4800$$

$$T_{Redundancia} = \frac{480}{2400} = 2s$$

## 1.d.

En el caso del **apartado A**:

$$T_{Redundancia} = \frac{20000}{9600} = 2,08s$$

Y en el caso del **apartado B**:

$$T_{Redundancia} = \frac{480}{9600} = 0,05s$$

## 2.

- Caracteres IRA de 7 bits
- $xbps$

### 2.a.

- 1.5 bits de parada
- 1 bit de paridad
- Suponemos 1 bit de comienzo de trama

$$Eficiencia = \frac{7}{7+1+1,5+1} = 0,67$$

$V_{max} = 0,67 * x$  Es decir, solo un 67% del ancho de banda se empleará en la transmisión de bits de datos

### 2.b.

- Transmisión Síncrona
- 128bits información
- 48bits control
- 1 bit de paridad por byte de información

$$BitsSuplementarios = 16 + 48 = 64bits$$

$$Eficiencia = \frac{112}{112+64} = 0,64$$

De nuevo tan solo un 64 % del ancho de banda se empleará en la transmisión de bits de datos.

## 2.c.

## 2.d.

- Transmisión Síncrona
- 1024bits información
- 48bits control
- 1 bit de paridad por byte de información

$$BitsSuplementarios = 128 + 48 = 176\text{ bits}$$

$$Eficiencia = \frac{896}{896+176} = 0,83$$

En este caso, aumenta el rendimiento y un 83 % de los datos enviados corresponden a bits de datos.

## 3.

Al tratarse de un sistema con muestreo a mitad del bit, la máxima desviación del tiempo aceptable sería 0.5 veces el tiempo de reloj. Pueden darse dos casos:

- El receptor es más rápido que el emisor:

En este caso, el peor caso posible sería que el receptor estuviera en el instante  $T_r * 11,5$  y el emisor aún no hubiera llegado al instante  $11 * T_e$ , es decir:  $T_r * 11,5 > T_e * 11$ . Por lo tanto, un límite del desfase sería:

$$\frac{T_e}{T_r} < \frac{11,5}{11} = 1,045$$

- El receptor es más rápido que el emisor:

En este caso, el problema sería que el receptor estuviera en el instante  $T_r * 11,5$  recibiendo el último bit del carácter y el emisor estuviera en el instante  $12 * T_e$  emitiendo ya el primer bit del siguiente carácter , es decir:  $T_r * 11,5 < T_e * 12$ . El otro límite del desfase del receptor sería:

$$\frac{T_e}{T_r} > \frac{11,5}{12} = 0,958$$

Es decir, el tiempo de reloj del receptor no puede ser menor a 0.958 veces ni mayor a 1.045 veces el tiempo de reloj del emisor.

Calculamos los porcentajes de imprecisión:

- $(1 - 0,958) * 100 = 4,2$
- $(1,045 - 1) * 100 = 4,5$

Y nos quedamos con el menor admisible: 4.2 % de porcentaje de imprecisión máximo.

## 4.

$$Eficiencia = \frac{Bits_{datos}}{Bits_{totales}} = \frac{Bits_{datos}}{Bits_{datos} + 16 + 32} = 0,8 \rightarrow Bits_{datos} = 4 * 48 = 192$$

## 5.

Suponemos que el muestreo en el receptor se realiza a mitad del tiempo de bit, de forma que una desviación mayor de la mitad de este tiempo de bit produciría una transmisión errónea. Tenemos en cuenta 2 posibilidades:

El peor caso que puede ocurrir sería que el receptor se encuentre en el instante  $T_r * 239,5$  y, sin embargo, el emisor, esté comenzando a transmitir el primer bit de la siguiente trama:  $T_e * 240$ , para evitar esto:

$$T_r * 239,5 < T_e * 240 \rightarrow \frac{T_r}{T_e} = \frac{240}{239,5} = 1,002$$

Es decir, la desviación del reloj no puede ser mayor de un 0.2 %.

### 5.a.

En este caso, la desviación del reloj sería de un 0.02 %, lo cual no llegaría al límite impuesto anteriormente y por tanto si sería posible construir el sistema.

### 5.b.

Aplicando la fórmula anterior:

$$T_r * (n_{trama} - 0,5) < T_e * n_{trama} \rightarrow \frac{T_r}{T_e} = \frac{n_{trama}}{n_{trama} - 0,5} = 1,0002$$

Despejando obtenemos que  $n_{trama} = 2500,5\text{bits}$ , y redondeando hacia abajo, podemos decir que el tamaño máximo de trama para el cual serían válidos los relojes es 2500 bits.

## 6.

- Ancho de banda: 400-3100Hz → 2700Hz
- 4 señales analógicas
- Cada señal 500Hz

### 6.a. FDM

Tenemos un total de 2700Hz para distribuir cuatro señales de 500Hz cada una, por lo tanto, podemos dejar intervalos de 200Hz entre cada una de ellas, quedando

de la siguiente forma:

1. 400-900Hz →  $s_1(t)$
2. 1100-1600Hz →  $s_2(t)$
3. 1800-2300Hz →  $s_3(t)$
4. 2500-3000Hz →  $s_4(t)$

Siendo la suma de estas señales la señal resultante.

## 6.b. PCM

Según el teorema de muestreo de Shannon tenemos que:

$$B = 2F = 2 * 500\text{Hz} = 1000\text{baudios}$$

Como tenemos 4 bits por muestra:

$$V_T = 4 * 1000 = 4Kbps$$

Por cada canal, sabiendo que tenemos 4 canales:

$$V_{Ttotal} = 4Kbps * 4 = 16Kbps$$

Que deben ser enviados por los 2700Hz disponibles.

## 7.

Sabiendo que cada señal de voz necesita 4KHz, de esta forma como mínimo será necesario  $24 * 4 = 96KHz$  de ancho de banda para transmitir la señal.

Sin embargo, es necesario dejar una banda de guarda entre señales, aumentando así el ancho de banda necesario. Insertando bandas de guarda de 0.5KHz, el ancho de banda necesario sería:  $24 * 4 + 23 * 0.5 = 107,5KHz$

Para mandar la misma señal mediante TDM y PCM, primero debemos calcular el ancho de banda necesario mediante el Teorema de muestreo de Shannon:

$$B = 4KHz * 2 = 8000\text{baudios por canal}$$

Calculándolo para el conjunto de los 24 canales:

$$24 * 8000 = 192000\text{baudios}$$

Y suponiendo 4 bits por muestra PCM, como en el ejercicio anterior tenemos:

$$192000 * 4 = 768Kbps \rightarrow 768KHz$$

## 8.

Mediante TDM síncrona necesitaríamos 96Kbps independientemente de la ocupación de la red en cada momento.

Mediante TDM estadística, si cada línea está ocupada el 50 % del tiempo, está enviando una media de 4800bps por línea de forma que:

$$BW_{lineas} = 4800 \text{ bps} * 10 = 48 \text{ Kbps}$$

Cómo además, se quiere limitar la utilización media de la línea a un 80 %, necesitaremos:

$$BW = \frac{48 \text{ Kbps}}{0,8} = 60 \text{ Kbps}$$

Sin embargo, al tratarse de TDM estadística, esto puede variar en función de la ocupación de la red en cada momento, pudiendo reducirse o incrementarse.

## 9.

- GSM
- Frecuencias: 935-960MHz → 25MHz
- Canales separados de 200KHz
- Cada estación usa una o más portadoras
- Señal portadora dividida en: multitramas de 120ms
- Cada multitraza contiene 26 tramas
- Cada trama tiene 8 slots
- Cada slot contiene 114bits.
- Dos tramas de cada multitraza son de control

Como un canal de tráfico usa únicamente un slot en cada una de las tramas de datos de una multitraza, la velocidad de transmisión en este canal sería:

$$V_{canal} = 24 \text{ slots} * 114 \text{ bits/slot} * 1/0,12s = 22800 \text{ bps} = 22,8 \text{ Kbps}$$

## 10.

- 2 terminales a 600bps
- 3 terminales a 300bps
- x terminales a 150bps
- Ancho de banda = 4800bps
- 1 carácter de sincronización cada 99
- 3 % de la línea reservada

La línea posee una velocidad de 4800bps, pero un 3% se reserva y no se usará para datos, por lo que queda:

$$4800 * 0,97 = 4656 \text{ bps}$$

Si una de cada 100 caracteres es de sincronización, se pierde un 1% extra del ancho de banda en la utilización de estos caracteres:

$$4656 * 0,99 = 4609,4 \text{ bps} \simeq 4609 \text{ bps}$$

Si restamos de esta velocidad la velocidad ya asignada a determinados terminales:

$$4609 - 600 * 2 - 300 * 5 = 1909 \text{ bps}$$

Por último, al dividir esto entre los 150bps que emitirán cada una de las estaciones que se quieren incluir en el ancho de banda restante:

$$1909/150 = 12,72 \rightarrow 12 \text{ terminales}$$

## 11.

- Se quiere transmitir información:

**E1:** 8kHz

**E2:** 4kHz

**E3:** 8kbps

**E4:** 16kbps

En primer lugar, calculamos el ancho de banda necesario para transmitir la información analógica de E1 y E2 mediante el teorema de Shannon:

$$BW_{E1} = 8000 * 2 * 4 = 64 \text{ Kbps}$$

$$BW_{E2} = 4000 * 2 * 4 = 32 \text{ Kbps}$$

Si sumamos el ancho de banda necesario para cada una de las transmisiones, obtendremos el ancho de banda total que será necesario, que será de 120Kbps

El ancho de banda por canal será para cada estación:

**E1:** 64b

**E2:** 32b

**E3:** 8b

**E4:** 16b

De esta forma, cada trama estará formada por 120 bits y será transmitida en 1ms, podemos ver una representación de la trama resultante en la siguiente imagen:

E1	E2	E4	E3
----	----	----	----

## 12.

- A→B: 905-914MHz
- B→A: 950-959MHz
- FDM-200KHz
- Cada canal FDM: 8 canales TDM.
- Cada canal TDM: 156 bits, de los cuales 42 son de control.
- Comunicación dúplex
- $V_T = 270Kbaudios$
- Modulación DPSK de dos fases

### 12.a.

Tenemos un total de  $9MHz/200KHz = 45$  canales FDM, los cuales a su vez, contienen un total de  $45 * 8 = 360$  canales TDM, es decir, el sistema permite 360 conexiones dúplex simultáneas.

### 12.b.

Cada trama esta formada por 8 subtramas TDM de 156 bits, es decir, cada trama contiene  $156 * 8 = 1248bits$

Como tenemos DPSK con 2 fases, enviamos 1bit por símbolo ya que el patrón de constelación tiene dos puntos:

$$R = 270Kbaudios * \log_2(2) = 270Kbps$$

Por lo tanto, el número de tramas enviadas por segundo será:

$$N_{tramas} = \frac{270Kbps}{1248b/trama} = 216,34tramas/s$$

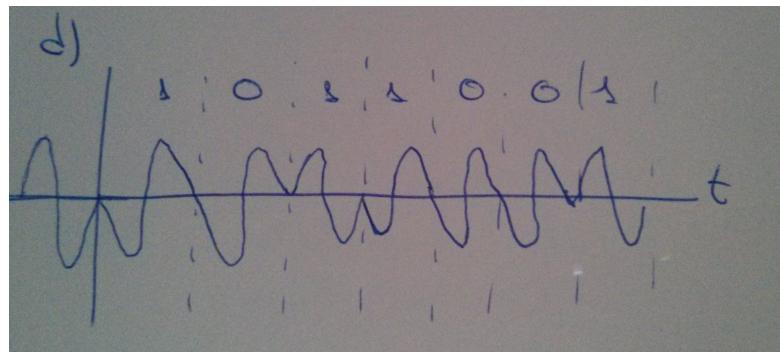
## 12.c.

Cada comunicación transmitirá:

$$R_{ef} = 114 \text{ bits/ranura} * 216,34 \text{ ranuras/s} = 24,67 \text{ Kbps}$$

## 12.d.

La señal transmitida se puede ver en la siguiente imagen:



## 12.e.

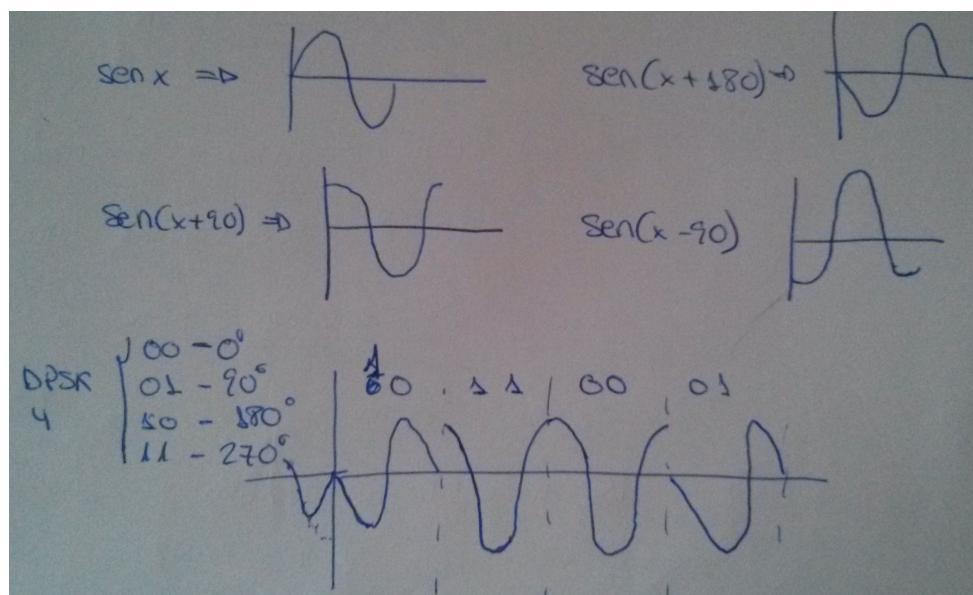
Al aumentar el número de símbolos a 4, se podrán transmitir 2 bits por cada símbolo, por lo que la velocidad de transmisión aumentará al doble:

$$R = 270 \text{ Kbaudios} * \log_2(4) = 540 \text{ Kbps}$$

Y por tanto, la velocidad efectiva de la comunicación también aumentará al doble:

$$R_{ef} = 24,67 \text{ Kbps} * 2 = 49,34 \text{ Kbps}$$

La señal transmitida se puede ver en la siguiente imagen:



# Arquitectura de redes

## Nivel de Enlace: Boletín 4

### 1.

- $L = 100\text{km}$
- $R = 1.544\text{Mbps}$
- $V_{cable} = 2/3 \text{ de la velocidad de la luz} = 2 * 10^8\text{m}/2$

En primer lugar calculo el tiempo que tardan la señal en recorrer todo el cable:  $t = \frac{100 * 10^3}{2 * 10^8} = 0,5\text{ms}$  En ese tiempo, cabrán en el cable:  $\text{NumeroBits} = 0,5 * 10^{-3} * 1,544 * 10 * 6 = 772\text{bits}$

### 2.

- $R = 4Kbps$
- Retardo = 20ms
- Eficiencia = 50

Que la eficiencia deba ser mayor del 50 % supone que:

$$\frac{T_{trama}}{T_{total}} > 0,5$$

El tiempo de trama sería:

$$t_{trama} = \frac{L_{trama}}{R}$$

Y el tiempo total sería: (despreciando el tamaño de la trama de respuesta):

$$T_{total} = t_{trama} + retardo * 2 \rightarrow \text{Eficiencia} = \frac{T_{trama}}{T_{trama} + retardo * 2}$$

Despejamos el tiempo de trama:

$$\frac{T_{trama}}{T_{trama} + retardo * 2} = 0,5 \rightarrow t_{trama} = 2 * retardo = 40ms$$

Por último, la longitud de la trama a enviar sería:

$$L_{trama} = R * t_{trama} = 4 * 10^3 * 40 * 10^{-3} = 160\text{bits}$$

### 3.

- Capacidad del canal: 9600bps

- Tiempo de propagación: 20ms
- Tiempo de proceso en destino: 10ms
- Longitud de la trama: 100bytes
- Longitud de ACK: 10bytes

Calculamos el tiempo que tardamos en enviar una trama y el tiempo total hasta que recibimos la confirmación de la trama enviada:

$$t_{trama} = \frac{N_{trama}}{R} = \frac{800}{9600} = 0,083s = 83ms$$

$$t_{total} = t_{prop} * 2 + t_{trama} + t_{proc} + t_{ACK} = 20ms * 2 + 83ms + 10ms + \frac{80}{9600} = 0,147s = 147ms$$

Finalmente calculamos el número de tramas que da tiempo a emitir durante ese tiempo total:

$$\text{Número de tramas} = \frac{0,147}{0,083} = 1,77 \rightarrow 2 \text{ tramas}$$

Se ha redondeado el resultado hacia arriba, para permitir que envíe sin interrupción, aunque este enviando tramas hasta después de haber recibido la confirmación de la primera.

## 4.

- Tamaño de trama: 4000 bits
- Tamaño ACK: 500 bits
- Velocidad del cable:  $2/3c$

### 4.a.

- Longitud = 10000km
- R = 250Kbps

$$t_{trama} = \frac{4000}{250*10^3} = 16ms$$

$$t_{ACK} = \frac{500}{250*10^3} = 2ms$$

$$t_{prop} = \frac{10000*10^3}{2*10^8} = 50ms$$

$$t_{total} = t_{trama} + 2 * t_{prop} + t_{ACK} = 118ms$$

Rendimiento con parada y espera:

$$\frac{t_{trama}}{t_{total}} = 16/118 = 0,136 = 13,6\%$$

Rendimiento con ventana deslizante:

$$\frac{t_{trama}}{t_{total}} = \frac{7*16}{118} = 0,949 = 94,9\%$$

#### 4.b.

- Longitud = 100m
- R = 10Mbps

$$t_{trama} = \frac{4000}{10 \cdot 10^6} = 0,4ms$$

$$t_{ACK} = \frac{500}{250 \cdot 10^3} = 0,05ms$$

$$t_{prop} = \frac{100}{2 \cdot 10^8} = 5 \cdot 10^{-7}s$$

$$t_{total} = t_{trama} + 2 * t_{prop} + t_{ACK} = 0,451ms$$

Rendimiento con parada y espera:

$$\frac{t_{trama}}{t_{total}} = \frac{0,4}{0,451} = 0,887 = 88,7\%$$

En el caso de ventana deslizante, el rendimiento es del 100 % ya que la confirmación de la primera trama llega mucho antes de que se hayan enviado las 7 que se podrían enviar.

Como conclusión, hay que destacar que en casi todos los casos, el método con ventana deslizante es mejor, sin embargo, en algunos casos como por ejemplo aquellos en que los tiempos de propagación y de envío de ACK son muy pequeños en comparación con el tiempo de trama, este protocolo da un resultado aceptable.

#### 5.

El tiempo total que se tarda en enviar una trama y recibir confirmación de esta, es decir, el tiempo de trama más dos veces el tiempo de propagación más el tiempo de ACK más el tiempo de procesamiento en el destino, si lo hubiera.

#### 6.

- Retardo A-B =  $4000 \cdot 5 = 20ms$
- Retardo B-C =  $1000 \cdot 5 = 5ms$
- $R_{A-B} = 100 kbps$
- Longitud de trama = 1000 bits
- ACK despreciables
- A-B usa ventana deslizante con n=3

- B-C usa parada y espera
- No hay errores

$$t_{trama} = \frac{1000}{100*10^3} = 10ms$$

$$Ttotal_{AB} = t_{trama} + t_{prop} * 2 = 50ms$$

En este tiempo de 50ms se transmiten 3 tramas desde el nodo A al nodo B, ya que estamos usando un protocolo de ventana deslizante.

Ahora debemos calcular la velocidad en el enlace B-C para que el tiempo de envío de tres tramas sea el mismo que acabamos de calcular, es decir, 50ms

$$Ttotal_{BC} = 2 * t_{prop} + t_{trama} = 10ms + \frac{1000}{R_{BC}}$$

$$3 * Ttotal_{BC} = Ttotal_{AB} \rightarrow 30ms + \frac{3000}{R_{BC}} = 50ms$$

$$R_{BC} = \frac{3000}{20*10^{-3}} = 150Kbps$$

## 7.

### 7.a.

Calculamos la probabilidad de que lleguen todos los bits correctos:

$$Pcorrecto = (1 - Peb)^8 = 0,992 = 99,2\%$$

Por lo tanto, la probabilidad de que ocurra al menos un error es:

$$Perror = 1 - Pcorrecto = 0,008 = 0,8\%$$

### 7.b.

Volvemos a realizar las mismas cuentas pero ahora con 10 bits:

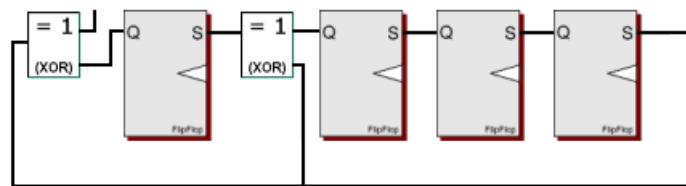
$$Pcorrecto = (1 - Peb)^{10} = 0,99 = 99\%$$

$$Perror = 1 - Pcorrecto = 0,01 = 1\%$$

## 8.

### 8.a.

En la siguiente imagen podemos ver el circuito que realizará el CRC indicado:



8.b.

Como podemos ver en la imagen, el resultado de aplicar el CRC es 1101

9.

- $P_e = 10^{-4}$
  - $P = (1 - Pe)^L$

La fórmula de la velocidad de transmisión efectiva sería:

$$R_{ef} = R * \frac{L - L_c}{L} * (1 - P_e)^L$$

Para calcular el máximo habría que hacer la derivada de esta con respecto a la longitud de trama e igualar a 0. El resultado sería 1888 bits.

## 10.

- Con 64 bits de trama y sin CRC:  $P_{error} = 1 - (1 - Pe)^{nBits} = 1 - (1 - 10^{-4})^{64} = 0,0063 = 0,63\%$
- Con 64 bits de trama y 32 de CRC:  $P_{error} = 1 - (1 - Pe)^{nBits} = 1 - (1 - 10^{-4})^{96} = 0,0095 = 0,95\%$
- Con 1500 bits de trama y sin CRC:  $P_{error} = 1 - (1 - Pe)^{nBits} = 1 - (1 - 10^{-4})^{96} = 0,139 = 13,9\%$
- Con 64 bits de trama y 32 de CRC:  $P_{error} = 1 - (1 - Pe)^{nBits} = 1 - (1 - 10^{-4})^{96} = 0,142 = 14,2\%$

Como podemos observar, en el caso de la trama de 64 bits, se nota mucho el aumento de la probabilidad de error, ya que aumenta esta en torno a un 50% (de 0.63% a 0.95%) mientras que en el caso de las tramas de 1500 bits, se nota mucho menos el cambio de la probabilidad de error.

## 11.

- R = 1Mbps
- Tprop = 270ms
- HDLC 1024 bits
- N° secuencia: 3 bits → Ventana: 7
- Trama HDLC: (976 bits de datos, 1024 en total)

**Delimitador:** 8 bits

**Dirección:** 8 bits

**Control:** 8 bits

**Información:** x bits

**FCS:** 16 bits

**Delimitador:** 8 bits

Al estar pidiendo el rendimiento máximo del sistema, consideraremos que ya se ha establecido la conexión mediante el envío de las tramas SABM y UA y que no se produce ningún error en ningún momento.

En primer lugar calculamos el tiempo que tarda en enviarse una trama si solo tuviera bits de datos:

$$t_{trama976} = \frac{976}{10^6} = 0,976ms$$

Calculamos ahora el tiempo que tarda en transmitirse una trama completa:

$$t_{trama} = \frac{1024}{10^6} = 1,024ms$$

El tiempo total que se tarda hasta que se recibe una confirmación es:

$$t_{total} = t_{trama} + 2 * t_{prop} + t_{N(R)}$$

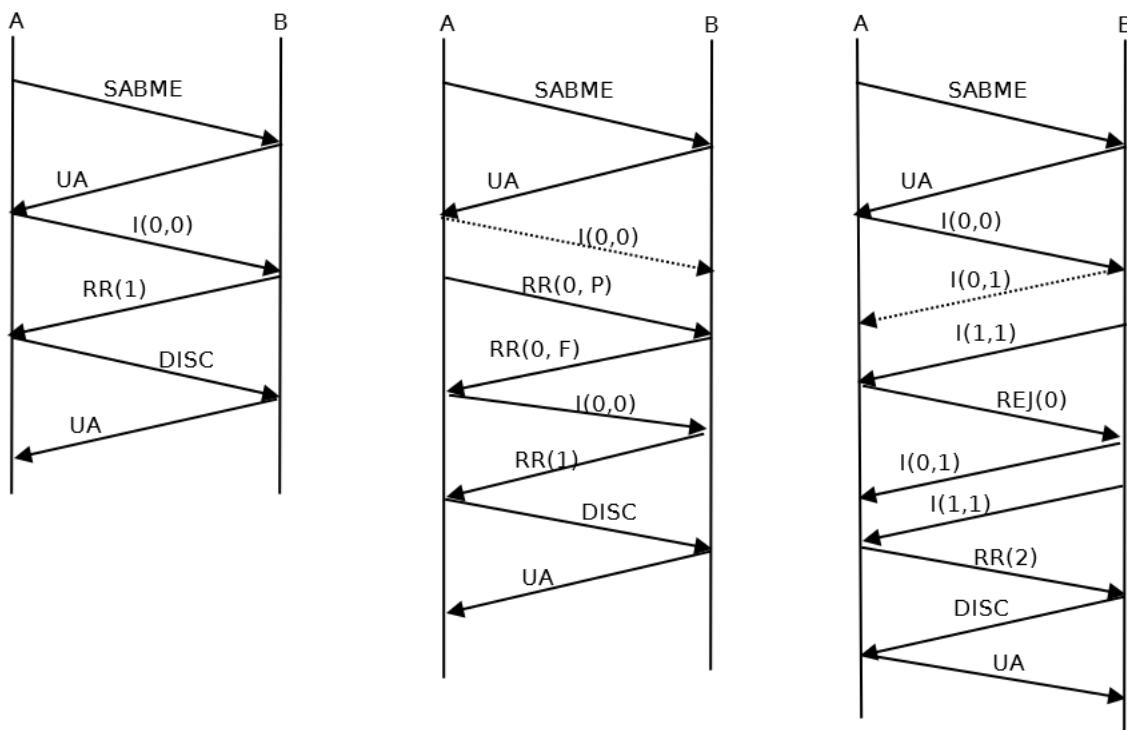
Como las tramas de confirmación tienen la misma longitud que las tramas normales salvo por el hecho de que no tienen campo de datos, es decir, poseen una longitud de 48 bits:  $t_{N(R)} = \frac{48}{10^6} = 0,048ms$

$$t_{total} = 1,024ms + 540ms + 0,048ms = 541,072ms$$

Por tanto, el rendimiento sería:

$$\text{Rendimiento} = \frac{7*0,976ms}{541,072ms} = 0,0126 = 1,26\%$$

## 12.



# Arquitectura de redes

## Redes de Área local: Boletín 5

### 1.

- $n$  estaciones
- $R = 56\text{Kbps}$
- Cada estación:  $\frac{1000\text{bits}}{100\text{s}} = 10\text{bps}$

Tomaremos  $G = 0.5$  ya que no se indica en el enunciado. De esta forma, la velocidad real de transporte máxima será:

$$S = G * e^{-2G} = 0,184 \rightarrow 0,184 * 56\text{Kbps} = 10,3\text{Kbps}$$

Por tanto, el número de estaciones que se podrán tener será:

$$n = \frac{10,3\text{Kbps}}{10\text{bps}} = 1030\text{estaciones}$$

### 2.

- 10000 estaciones
- estación promedio: 18 solicitudes/hora  $\rightarrow 180000$  solicitudes/hora total
- Ranura:  $125\mu\text{s}$

$$180000\text{sol/hora} = 50\text{sol/seg}$$

Por lo tanto, podemos calcular el factor G:

$$G = 125 * 10^{-6} * 50\text{sol/s} = 6,25 * 10^{-3}$$

Calculamos S:

$$S = G * e^{-G} = 0,0062$$

Es decir, la carga del canal será como máximo un 0.62 % de su capacidad total.

### 3.

- $R = 1\text{Gbps}$
- $d = 1\text{Km}$
- $v = 200.000\text{km/s} = 2^8\text{m/s}$

$$\text{Calculamos } \tau = \frac{d}{v} = \frac{1}{200000} = 5\mu s$$

El tiempo que debe tardar en trasmisir la trama es el mismo que el de la ranura de contención, es decir,  $2 * \tau = 10\mu s$

La cantidad de bits transmitidos en ese tiempo es:

$$1 * 10^9 * 10^{-6} = 100000 \text{ bits} = 1250 \text{ bytes}$$

## 4.

- $\tau = 290ms$
- $R = 1 \text{ Mbps}$

En caso de utilizar CMSA/CD, la longitud de trama debería de ser:

$$L = 2 * \tau * R = 580 * 10^{-3} * 10^6 = 580,000 \text{ bits} = 580 \text{ kbytes} = 72500 \text{ bytes}$$

Es un tamaño de trama demasiado grande ya que al ser tan grande y tratarse de un enlace satélite es muy probable que se produzca algún error y haya que retransmitir toda la trama, debido a esto, es mejor utilizar el protocolo ALOHA.

## 5.

- 19 estaciones equidistantes
- Bus de 20Km
- $R = 10 \text{ Mbps}$

Al tratarse de 19 estaciones en 20Km, suponemos que se encuentran una estación en cada borde del bus y las 17 restantes separadas 1.11Km entre ellas.

### 5.a.

Calcularemos el tiempo máximo que haría falta para enviar la trama, es decir desde la primera estación hasta la última, con una separación de 20km entre ellas:  
 $T = t_{trama} + t_{prop} = \frac{1000 \text{ bits}}{10 * 10^6} + \frac{20 * 10^3}{2 * 10^8} = 1,1ms$

### 5.b.

Tardarán en darse cuenta el doble del tiempo que tardaría la trama en recorrer la mitad de la distancia que los une:

$$\frac{1,11 * 10^3}{2 * 10^8} = 5,55 \mu s$$

Y durante este tiempo habrán transmitido:

$$5,55 * 10^{-6} * 10 * 10^6 = 55,5 \text{ bits}$$

## 6.

- En el caso del concentrador o HUB, al tratarse de un medio compartido basta con 10Mbps pues no podrá generarse más tráfico.
- En el caso del commutador o Switch, necesitaremos 120Mbps, es decir, 10 para cada uno de los puertos, esto es debido a que al enviar datos, el switch se encargará de distribuirlos entre cada uno de los puertos y se podría generar hasta 10Mbps de tráfico por cada puerto.

## 7.

- $R = 10\text{Mbps}$
- $V_{\text{propBus}} = 2 * 10^8 \text{m/s}$
- $V_{\text{propAire}} = 3 * 10^8 \text{m/s}$
- Máxima distancia de bus = 500m
- Máxima distancia aire = 1km
- trama = 1000bytes

### 7.a.

Consideraremos las máximas distancias tanto de conexión inalámbrica como por bus al tratarse del peor caso:

$$T_{\text{total}} = t_{\text{trama}} + 2 * (t_{\text{prop1}} + t_{\text{prop2}})$$

$$t_{\text{trama}} = \frac{1000 * 8}{10 * 10^6} = 8 * 10^{-4} \text{s}$$

$$t_{\text{prop1}} = \frac{500}{2 * 10^8} = 2,5 * 10^{-6}$$

$$t_{\text{prop2}} = \frac{1000}{3 * 10^8} = 3,33 * 10^{-6}$$

$$T_{\text{total}} = 8,12 * 10^{-4}$$

$$R_{\text{ef}} = \frac{8000}{8,12 * 10^{-4}} = 9,85 \text{Mbps}$$

### 7.b.

La longitud mínima de trama es la cantidad de información que se transmitirá en el doble del tiempo de propagación:

$$\tau = t_{\text{prop1}} + t_{\text{prop2}} = 5,83 * 10^{-6}$$

$$L = 2 * \tau * R = 11,66 * 10^{-6} * 10 * 10^6 = 116\text{bits}$$

## 8.

- $R = 11\text{Mbps}$
- Protocolo con confirmación

### 8.a.

- Paquetes: 64-1500bytes
- $D_{max} = 150m$

Debemos calcular el tiempo total que tarda en transmitirse una trama y en llegar la respuesta al emisor:

$$T = 2 * (t_{trama} + t_{prop}) + (2 * t_{prop})$$

Hemos supuesto un tamaño de la confirmación despreciable, de forma que no hay que tener en cuenta su tiempo de transmisión.

- En primer lugar, en el mejor de los casos, debemos considerar paquetes pequeños y a una distancia 0 de la estación base:

$$T = 2 * t_{trama} = 2 * \frac{64*8}{11*10^6} = 2 * 46,54\mu s = 93,09\mu s$$

$$R_{ef} = \frac{64*8}{93,09*10^{-6}} = 5,50Mbps$$

- En el peor de los casos, debemos considerar paquetes grandes, de 1500 bytes y a una distancia máxima de la estación base, 150m:

$$t_{prop} = \frac{150}{3*10^8} = 0,5\mu s$$

$$t_{trama} = \frac{1500*8}{11*10^6} = 1,09ms$$

$$T = 2 * t_{trama} + 4 * t_{prop} = 2 * 1,09 * 10^{-3} + 2 * 10^{-6} = 2,18ms$$

$$R_{ef} = \frac{1500*8}{2,18*10^{-3}} = 5,504Mbps$$

Como podemos observar, la diferencia es mínima y el resultado es la mitad de la velocidad teórica debido a que es necesario hacer el trayecto 2 veces, para llegar hasta el punto de acceso y posteriormente para llegar hasta el nodo destino.

### 8.b.

Realizaremos de nuevo los cálculos para el peor caso suponiendo una distancia de 50km:

$$t_{prop} = \frac{50*10^3}{3*10^8} = 166\mu s$$

$$T = 2 * t_{trama} + 4 * t_{prop} = 2 * 1,09 * 10^{-3} + 4 * 166 * 10^{-6} = 2,84ms$$

$$R_{ef} = \frac{1500*8}{2,84*10^{-3}} = 4,225Mbps$$

Como podemos observar en este caso se nota considerablemente la reducción de velocidad debido al aumento de la distancia. Supongamos ahora el uso de paquetes de tamaño reducido, de 64B:

$$T = 2 * t_{trama} + 4 * t_{prop} = 2 * 46,54 * 10^{-6} + 4 * 166 * 10^{-6} = 0,757ms$$

$$R_{ef} = \frac{64*8}{0,757*10^{-3}} = 676,354Kbps$$

En este caso, se nota mucho la diferencia entre un tamaño de paquete y otro debido a que el tiempo de espera de confirmación es mayor.

## 9.

- D = 1Km
- P = 256 bits
- Confirmacion = 88 bits

### 9.a.

- V = 1Mbps

En primer lugar calcularemos el tiempo invertido en transmitir un solo paquete P:  
 $t_P = t_{trama} + t_{prop} * 2 + t_{conf}$

$$t_{trama} = \frac{256}{1*10^6} = 256\mu s$$

$$t_{prop} = \frac{1000}{2*10^8} = 5\mu s$$

$$t_{conf} = \frac{88}{1*10^6} = 88\mu s$$

$$t_P = t_{trama} + t_{prop} * 2 + t_{conf} = 256 + 88 + 10 = 354\mu s$$

Como debemos enviar 1 millón de caracteres y suponiendo que cada carácter son 8 bits, debemos transmitir 8Mb, lo cual supondría:

$$N_P = \frac{8*10^6}{256-80} = 45454,5 \rightarrow 45455 paquetes$$

Por lo tanto, el tiempo total en enviar el fichero sería:

$$T = t_P * N_P = 45455 * 354 * 10^{-6} = 16,091s$$

## 9.b.

- $V = 10\text{Mbps}$

En primer lugar calcularemos el tiempo invertido en transmitir un solo paquete P:  
 $t_P = t_{trama} + t_{prop} * 2 + t_{conf}$

$$t_{trama} = \frac{256}{10*10^6} = 25,6\mu s$$

$$t_{conf} = \frac{88}{10*10^6} = 8,8\mu s$$

$$t_P = t_{trama} + t_{prop} * 2 + t_{conf} = 25,6 + 8,8 + 10 = 44,4\mu s$$

$$T = t_P * N_P = 45455 * 44,4 * 10^{-6} = 2,018s$$

## 10.

Como mínimo, serían 0, es decir, la tabla de reenvío estaría vacía cuando aún no se haya producido comunicación entre estaciones y como máximo tendrá 15, una por cada estación, cuando ya se hayan comunicado entre sí todas las estaciones.

## 11.

**A.-** En este caso, como todas las tablas de encaminamiento están vacías, nadie conoce la localización de d, por lo que todos los puentes realizarán la inundación hasta que el paquete llegue a la LAN 8, y a su vez apuntarán el puerto desde el cual les ha llegado el paquete de a en su tabla de encaminamiento.

**B.-** En este caso, ya todos los puentes saben donde se encuentra el nodo a, y cuando el puente A que conecta las redes 1 y 2 reciba el paquete transmitido en la red 2 por c, anotará en su tabla de encaminamiento donde se encuentra el host a y enviará el paquete por el puerto 1. Los puentes B y D también recibirán la trama enviada por c y anotarán su dirección en sus tablas de encaminamiento, sin embargo, no reenviarán la trama por que sabes que a se encuentra en el mismo puerto por donde la han recibido.

**C.-** Al enviar d a c se producirán los siguientes sucesos:

- a) El puente H recoge el paquete, anota la dirección de d y reenvía el paquete a la LAN 5
- b) El puente D recoge el paquete, anota la dirección de d y envía el paquete a la LAN 2, ya que sabe que c se encuentra en esa dirección.

- c) Finalmente tanto el puente A como el B recogen el paquete y anotan en su tabla la dirección de d, pero no reenvían el paquete.

**D.-** d pasa a la LAN6

**E.-** En este momento, los puentes H, D, B y A conocen o creen conocer la localización del host d, el cual, sin embargo ha cambiado de posición. Como todos los puentes conocen la ruta hasta el host a, el paquete irá de forma directa (Puentes: E-B-A) y los puentes por los que pase anotarán la localización del host d, sin embargo, en el caso del puente B, tenía anotado en su tabla de encaminamiento que el nodo d se encontraba por la LAN2 y sin embargo ha recibido un paquete proveniente de d por la LAN3, de forma que cambia la entrada de su tabla de encaminamiento y coloca correctamente la ubicación de d.

## 12.

Puente P1		Puente P2	
Dirección	Puerto	Dirección	Puerto
A	1	A	1
B	1	B	1
C	1	C	1
D	2	D	1
E	2	E	3
F	2	F	2
G	2	G	2