

**1) En un canal sin ruido, con W=711 kHz, y usando PSK con una fase cada 60 grados, se desea transmitir un fichero de 16 MB usando la máxima velocidad del medio. ¿Cuánto tiempo tarda en transmitirlo?**

$$\text{Número de fases} = 360/60 = 6$$

Número de amplitudes = si es sólo PSK no modulo en amplitud, luego es 1.

Número de frecuencias = sólo 1 si no me dicen nada.

$$M=APF=1 \times 6 \times 1 = 6$$

$$C=2W\log M=2 \times 711000 \times \log 6$$

Si asumo que no se pueden utilizar aquellos estados de señal (fases en este caso) que no corresponden a una potencia exacta de dos...

$$C=2 \times 711000 \times 2 = 2844000 \text{ bps}$$

$$t = \frac{\text{tamaño}}{\text{velocidad}} = \frac{16 * 1026 * 1024 * 8}{2844000} = 47,19 \text{ s.}$$

**2) ¿Cuál es la mínima potencia de señal (en dBW) necesaria para que un canal de W=2 MHz tenga una capacidad máxima de 16 Mbps, sabiendo que sólo existe ruido térmico?. T=400K. K=1.3803\*10-23 J/K.**

$$N=KTW$$

$$N = 1,3803 * 10^{-23} * 400 * 2 * 10^6 = 1,10424 * 10^{-14} \text{ W}$$

$$C = W * \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$16 * 10^6 = 2 * 10^6 * \log_2 \left( 1 + \frac{S}{1,1 * 10^{-14}} \right)$$

$$8 = \log_2 \left( 1 + \frac{S}{1,1 * 10^{-14}} \right)$$

$$256 = 1 + \frac{S}{1,1 * 10^{-14}}$$

$$S = 1,1 * 10^{-14} * (256 - 1) = 2,8 * 10^{-12} \text{ W}$$

Por último pasamos la potencia de la señal recibida de W a dBW

$$s = 10 * \log_{10} (2,8 * 10^{-12}) = -115,5 \text{ dBW}$$

**3) La capacidad de un canal es de 13'786 Kbps. Si la potencia de la señal es de 15W y la del ruido es de 6 dB, ¿cuál es el ancho de banda utilizado?**

$$NdB = 10 * \log_{10} (Nw)$$

$$6 = 10 * \log_{10} (Nw)$$

$$0,6 = \log_{10} (Nw)$$

$$10^{0,6} = Nw = 3,98 \text{ W}$$

$$C = W * \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$13786 = W * \log_2 \left( 1 + \frac{15}{3,98} \right)$$

$$13786 = W * \log_2 (4,7678)$$

$$W = \frac{13786}{2,25} = 6118 \text{ Hz}$$

4) Se sabe que la capacidad de un canal sin ruido es de 852 kbps y su ancho de banda es de 213 kHz. Si se utiliza para transmitir FM (FSK) ¿Cada cuántos Hz habrá una portadora?

$$C = 2W \log_2 M$$

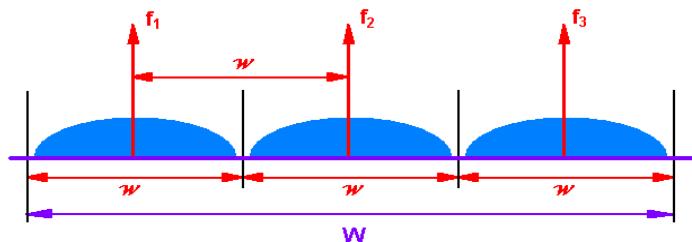
$$852 * 10^3 = 2 * 213 * 10^3 * \log_2 M$$

$$\log_2 M = 2$$

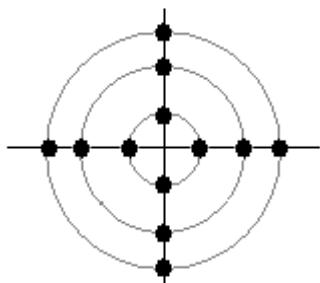
$$M = 2^2 = 4$$

En ese ancho de banda ha de haber espacio para 4 portadoras. Si están espaciadas de forma equitativa en ese intervalo, a cada una le corresponderá un mismo ancho de banda particular, y por lo tanto la distancia entre cada una de ellas será justo la amplitud de ese mismo intervalo:

$$w = W/4 = 213000/4 = 53250 \text{ Hz}$$



5) En un canal sin ruido se utiliza el diagrama de fasores adjunto para transmitir. Si su capacidad máxima teórica es de 2,4 Mbps ¿Qué técnicas se están utilizando? ¿Cuál es el ancho de banda utilizado?



Dado que las fases son a  $90^\circ$  y que también hay modulación en amplitud, se trata de QAM

$$M = APf = 3 * 4 * 1 = 12$$

$$C = 2W \log_2 M$$

$$2,4 * 10^6 = 2W * \log_2 12$$

$$W = \frac{2,4 * 10^6}{2 * \log_2 12} = \frac{2,4 * 10^6}{2 * 3} = 400 \text{ kHz}$$

6) En un enlace punto a punto se sabe que el ancho de banda es de 1,6 GHz y que la capacidad del canal es de 254 Mbps ¿Cuántas veces es superior la potencia de la señal al ruido?

$$C = W * \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$254 * 10^6 = 1,6 * 10^9 * \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$0,15875 = \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$2^{0,15875} = 1,11632 = 1 + \frac{S}{N}$$

$$\frac{S}{N} = 0,11632$$

**7) En un cable UTP el ancho de banda medido es de 150 MHz, y el ruido detectado alcanza los -36 dBW ¿Cuál es la potencia de la señal necesaria (en W) para lograr una capacidad de 100Mbps?**

$$\begin{aligned}
 NdB &= 10 * \log_{10}(Nw) \\
 -36 &= 10 * \log_{10}(Nw) \\
 -3,6 &= \log_{10}(Nw) \\
 10^{-3,6} &= Nw = 251 * 10^{-6} W \\
 C &= W * \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \\
 100 * 10^6 &= 150 * 10^6 * \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \\
 0,666 &= \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \\
 2^{0,666} &= 1,5874 = 1 + \frac{S}{N} \\
 \frac{S}{N} &= 0,5874 \\
 s &= 0,5874 * 251 * 10^{-6} = 147 * 10^{-6} W
 \end{aligned}$$

**8) Dado un sistema de transmisión cuya capacidad máxima es de 965 kbps, cuando se transmite una señal de 2,6W con un ruido máximo de -26 dBW, ¿Cuál es el ancho de banda disponible?**

$$\begin{aligned}
 NdB &= 10 * \log_{10}(Nw) \\
 -26 &= 10 * \log_{10}(Nw) \\
 -2,6 &= \log_{10}(Nw) \\
 10^{-2,6} &= Nw = 0,002511 W \\
 C &= W * \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \\
 965 * 10^3 &= W * \log_2\left(1 + \frac{2,6}{0,002511}\right) \\
 965 * 10^3 &= W * \log_2(1036,44) \\
 W &= \frac{965 * 10^3}{10,017} = 96332 Hz
 \end{aligned}$$

**9) En un canal se transmite una señal cuya potencia en el receptor es 267 veces superior al ruido. El ancho de banda es 22 GHz. ¿Cuál es la capacidad del canal? Si la potencia recibida es de -84 dBW y el ruido tiene únicamente origen térmico ¿a qué temperatura está el medio?**

$$\begin{array}{ll}
 C = W * \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) & SdB = 10 * \log_{10}(Sw) \\
 C = 22 * 10^9 * \log_2(1 + 267) & -84 = 10 * \log_{10}(Sw) \\
 C = 177,45 Gbps & -8,4 = \log_{10}(Sw) \\
 & 10^{-8,4} = Sw = 3,981 * 10^{-9} W
 \end{array}$$

$$\frac{S}{N} = 267$$

$$\frac{3,981 \cdot 10^{-9}}{N} = 267$$

$$N = \frac{3,981 \cdot 10^{-9}}{267} = 1,491 \cdot 10^{-11} W$$

$$N = KTW$$

$$1,491 \cdot 10^{-11} = 1,3803 \cdot 10^{-23} \cdot T \cdot 22 \cdot 10^9$$

$$T = \frac{1,491 \cdot 10^{-11}}{30,37 \cdot 10^{-14}} = 49,1 K$$

**10) En un canal con  $W=460$  MHz, y usando QAM con tres niveles de amplitud diferentes, se desea transmitir un fichero de 25 MB usando la máxima velocidad del medio. ¿Cuánto tiempo se tarda en transmitirlo?**

QAM significa 4 fases decaladas 90 grados y múltiples amplitudes. Luego:

$$M = APF = 3 \cdot 4 \cdot 1 = 12$$

$$C = 2W \log_2 M$$

$$C = 2 \cdot 460 \cdot 10^6 \cdot \log_2 12$$

$$C = 2,76 \cdot 10^9 bps$$

$$t = \frac{L}{C} = \frac{25 \cdot 1024 \cdot 1024 \cdot 8}{2,76 \cdot 10^9} = 0,076 s$$

Nota: Se ha elegido el entero inferior en el logaritmo, asumiendo una codificación independiente para cada estado de señal.

**11) En un enlace punto a punto coaxial se desea transmitir a una velocidad de 10 Mbps. Se transmite en un ancho de banda de 1MHz. La potencia mínima detectable en la señal recibida es de -76 dBW. La potencia máxima con la que se puede emitir la señal es de 15W. La atenuación media es de 3,8 dB/km. ¿Cuál es la máxima distancia alcanzable por este enlace? ¿Cuál es el máximo ruido admisible? Si el ruido ambiente detectado está en torno a los 0,25 mW, ¿cuál será la distancia máxima ahora?**

$$SdB = 10 \cdot \log_{10}(Sw) \quad Atn = SdB - sdB \quad Atn = d \cdot Atn km$$

$$SdB = 10 \cdot \log_{10}(15) \quad Atn = 11,76 - (-76) \quad 87,76 = d \cdot 3,8$$

$$SdB = 11,76 dBW \quad Atn = 87,76 dB \quad d = \frac{87,76}{3,8} = 23 km$$

$$SdB = 10 \cdot \log_{10}(Sw)$$

$$-76 = 10 \cdot \log_{10}(Sw)$$

$$-7,6 = \log_{10}(Sw)$$

$$10^{-7,6} = Sw = 2,5 \cdot 10^{-8} W$$

$$C = W \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$10 \cdot 10^6 = 1 \cdot 10^6 \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$10 = \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$2^{10} = 1024 = 1 + \frac{S}{N}$$

$$\frac{S}{N} = 1023$$

$$N = \frac{2,5 \cdot 10^{-8}}{1023} = 2,44 \cdot 10^{-11} W$$

Dado que el nuevo ruido supera al máximo admisible, las antenas han de acercarse de modo que  $s$  aumente hasta alcanzar la misma proporción con respecto al ruido.

$$C = W * \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$\dots$$

$$\frac{S}{N} = 1023$$

$$s = 1023 * N = 1023 * 0,25 * 10^{-3} = 0.256 W$$

$$\begin{array}{lll} s dB = 10 * \log_{10}(sw) & Atn = SdB - s dB & Atn = d * Atn km \\ s dB = 10 * \log_{10}(0,256) & Atn = 11,76 - (-5,92) & 17,68 = d * 3,8 \\ s dB = -5,92 dBW & Atn = 17,68 dB & d = \frac{17,68}{3,8} = 4,65 km \end{array}$$

**12) Un radioenlace se sitúa entre dos elevaciones separadas 10km. La frecuencia de trabajo es de 12 Ghz. Las antenas tienen una ganancia de 12 dBi. ¿Cuál es la atenuación? Si las antenas emiten con una potencia de 68W y el ruido es de -65 dBm ¿cuál es la SNR? Si el ancho de banda utilizado es de 482 Mhz ¿cuál es la capacidad del canal?**

$$Atn = -G_e + 20 \log_{10} \frac{4\pi \cdot d \cdot f}{c} - G_r = -12 + 20 \log_{10} \frac{4\pi \cdot 10000 \cdot 12 \cdot 10^9}{0,3 \cdot 10^9} - 12 = 110,03 dB$$

$$s_{dB} = S_{dB} - Atn = 10 \log_{10} S_w - Atn = 10 \log_{10} 68 - 110,03 = -91,7 dB$$

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{S_w}{N_w} = 10 \log s_w - 10 \log N_w = s_{dB} - N_{dB} = -91,7 - (-65 - 30) = 3,3 dB$$

$$C = W * \log_2 \left( 1 + \frac{S_w}{N_w} \right) \quad \frac{S_w}{N_w} = 10^{SNR/10} = 10^{3,3/10} = 2,138$$

$$C = 482 \cdot 10^6 \log_2 (1 + 2,138) = 795,22 Mbps$$

**13) Un cable coaxial (0,04 dB/m) trabajando a 12,4 Ghz pasa adyacente a una tubería de vapor a 412 °C ¿A qué potencia (en W) he de emitir para lograr 2,48 Gbps a 98 m de distancia? K=°C+273 // k=1,38 \* 10<sup>-23</sup> J/K**

$$N = KTW = 1,38 \cdot 10^{23} \cdot (412 + 273) \cdot 12,4 \cdot 10^9 = 1,172 \cdot 10^{10} W$$

$$C = W \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S_w}{N_w} \right)$$

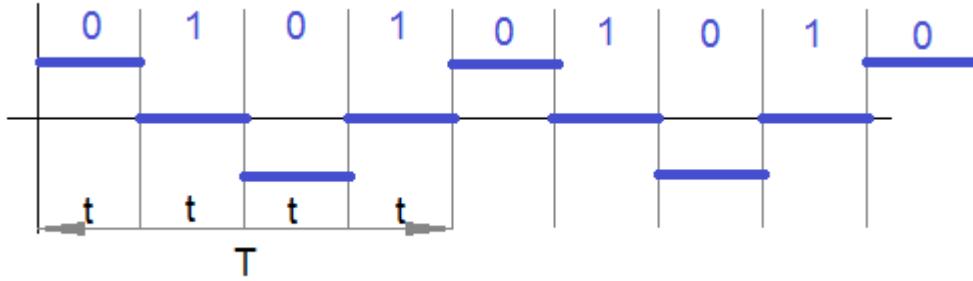
$$2,48 \cdot 10^9 = 12,4 \cdot 10^9 \log_2 \left( 1 + \frac{S_w}{1,172 \cdot 10^{-10}} \right) \quad S_w = 1,743 \cdot 10^{-11} W$$

$$Atn_{TOTAL} = Atn \cdot d = 0,04 \cdot 98 = 3,92 dB$$

$$Atn_{TOTAL} = 10 \log_{10} \frac{S_w}{S_w} \quad \frac{S_w}{S_w} = 10^{Atn_{TOTAL}/10}$$

$$\frac{S_w}{1,173 \cdot 10^{-11}} = 10^{3,92/10} \quad S_w = 4,3 \cdot 10^{-11} W$$

**14) Se transmite la señal ...0101010101... en Pseudoternario, a razón de 36 Kbps. Si se precisa hasta el vigésimo (20º) armónico para recomponer la señal con calidad suficiente, ¿cuál es la capacidad del canal? Si se considera ahora un ruido de 1,584 W ¿cuál habrá de ser la potencia de la señal que mantenga la misma capacidad utilizando el ancho de banda anterior?**



A tenor de la gráfica, el periodo es de 4 bits. Si se considera Pseudoternario dos de los estados de señal (+5V y -5V) se utilizan para codificar el mismo bit, por tanto M=2

$$T = 4t = 4 \frac{1}{V_t} = \frac{4}{36000} = \frac{1}{9000}$$

$$W = f_{20} = 20 \cdot f_1 = 20 \frac{1}{T} = 20 \cdot 9000 = 180 \text{ kHz}$$

$$C = 2W \log_2 M = 2 \cdot 180000 \log_2 2 = 360 \text{ kbps}$$

$$C = W \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S_w}{N_w} \right)$$

$$360 \cdot 10^3 = 180 \cdot 10^3 \log_2 \left( 1 + \frac{S_w}{1,584} \right) \quad S_w = 4,752 \text{ W}$$

**15) El ancho de banda de un canal es de 86,4 Mhz. El ruido de -2,5 dB y la distancia del enlace es de 7 km. ¿Con qué potencia en W he de emitir para lograr una capacidad del canal de 54 Mbps? Atn= 2dB/km**

$$N_w = 10^{N_{db}/10} = 10^{-2,5/10} = 0,5623 \text{ W}$$

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S_w}{N_w} \right)$$

$$54 \cdot 10^6 = 86,4 \cdot 10^6 \log_2 \left( 1 + \frac{S_w}{0,5623} \right) \quad S_w = 0,305 \text{ W}$$

$$Atn_{TOTAL} = Atn \cdot d = 2 \cdot 7 = 14 \text{ dB}$$

$$Atn_{TOTAL} = 10 \log_{10} \frac{S_w}{S_w} \quad \frac{S_w}{S_w} = 10^{Atn_{TOTAL}/10}$$

$$\frac{S_w}{0,305} = 10^{14/10} \quad S_w = 7,66 \text{ W}$$

**16) Un usuario desea comprar una antena direccional para poder conectarse a un PA público WiFi (2,4 GHz) situado a 800 m de su vivienda. Un SNR aceptable en wifi es de 20 dB. El ruido medido promedio es de -85 dBm. El PA público emite con una potencia de 26 dBm, y al usar una antena dipolo sólo ofrece una ganancia de 1,3 dB en la dirección del usuario. ¿Cuál ha de ser la ganancia de la antena direccional? ¿Cuál sería la capacidad del canal sabiendo que usa un ancho de banda de 20 MHz?**

$$\begin{aligned}
 SNR &= 10\log_{10} \frac{s_w}{N_w} = 10\log_{10} s_w - 10\log_{10} N_w = s_{dB} - N_{dB} \\
 20 &= s_{dB} - (-85 - 30) \quad s_{dB} = -95 \text{ dB} \\
 Aten &= S_{dB} - s_{dB} = (26 - 30) - (-95) = 91 \text{ dB} \\
 Aten &= -G_e + 20\log_{10} \frac{4\pi \cdot d \cdot f}{c} - G_r \\
 91 &= -1,3 + 20\log_{10} \frac{4\pi \cdot 800 \cdot 2,4 \cdot 10^9}{0,3 \cdot 10^9} - G_r \quad G_r = 5,81 \text{ dB} \\
 \frac{s_w}{N_w} &= 10^{SNR/10} = 10^{20/10} = 100 \\
 C &= W \log_2 \left( 1 + \frac{s_w}{N_w} \right) = 20 \cdot 10^6 \log_2 (1 + 100) = 133,16 \text{ Mbps}
 \end{aligned}$$

**17) Un radioenlace se sitúa entre dos elevaciones separadas 10km. La frecuencia de trabajo es de 12 Ghz. Las antenas tienen una ganancia de 12 dBi. ¿Cuál es la atenuación? Si las antenas emiten con una potencia de 68W y el ruido es de -60 dBm ¿cuál es la SNR? Si el ancho de banda utilizado es de 482 Mhz ¿cuál es la capacidad del canal?**

$$\begin{aligned}
 Aten &= -G_e + 20\log_{10} \frac{4\pi \cdot d \cdot f}{c} - G_r \\
 Aten &= -12 + 20\log_{10} \frac{4\pi \cdot 10.000 \cdot 12 \cdot 10^9}{0,3 \cdot 10^9} - 12 = 110'03 \text{ dB} \\
 Aten &= S_{dB} - s_{dB} \quad 110'03 = 10\log_{10} 68 - s_{dB} \quad s_{dB} = -91'7 \text{ dB} \\
 SNR &= 10\log_{10} \frac{s_w}{N_w} = 10\log_{10} s_w - 10\log_{10} N_w = s_{dB} - N_{dB} = -91'7 - (-85 - 30) = 23,3 \text{ dB} \\
 \frac{s_w}{N_w} &= 10^{SNR/10} = 10^{23'3/10} = 213'8 \\
 C &= W \log_2 \left( 1 + \frac{s_w}{N_w} \right) = 482 \cdot 10^6 \log_2 (1 + 213'8) = 3'73 \text{ Gbps}
 \end{aligned}$$