

# Tema 8: El nivel físico

## Soluciones

### Cuestiones

- C1.** ¿La velocidad de propagación es la misma en todo el ancho de banda? ¿Qué implicaciones tiene?

Solución:

La velocidad de propagación no es la misma en todo el ancho de banda, dado que, en los medios de transmisión (principalmente en los medios guiados) dicha velocidad de propagación depende de la frecuencia de la señal. Esto implica que una onda con un determinado ancho de banda sufrirá un retardo diferente para cada una de las frecuencias que la componen (menos retardo en la frecuencia central que en los extremos de la banda). Esto provoca la llegada desfasada al receptor de las diferentes componentes frecuenciales de la onda, produciendo la denominada distorsión por retardo.

- C2.** Si transmitimos dos señales de similares características, a la misma velocidad de transmisión por dos canales con distinto ancho de banda, ¿las señales recibidas seguirán siendo similares?

Solución:

Las señales serán las mismas dependiendo de la relación entre el ancho de banda de las señales y el ancho de banda de los medios de transmisión. Si los anchos de banda de ambos medios de transmisión son mayores que el ancho de banda de la señal, entonces las señales recibidas serán similares. En caso contrario, los medios de transmisión se comportarán como filtros paso-bajo y, dado que poseen anchos de banda diferentes, posiblemente filtrarán diferente número de componentes frecuenciales, con lo que una señal se distorsionará respecto a la otra y por tanto las señales recibidas no serán iguales.

### Ejercicios

- 1.** Supongamos que transmitimos el siguiente carácter de 8 bits (01000001) indefinidamente mediante una señal periódica. El canal de transmisión tiene un ancho de banda de 3000 Hz. Calcula cuál es la máxima velocidad de transmisión a la que podemos transmitir para que atraviesen el canal las 5 primeras componentes de la señal.

Solución:

Como la señal se repite en intervalos de 8 bits, el periodo de la señal corresponderá con 8 tiempos de bit, y puesto que la velocidad de transmisión es la inversa del tiempo de bit, el periodo de la señal será:

$$T = 8 \text{ bits} * t_{\text{bit}} = 8 / V_{\text{trans}} \rightarrow V_{\text{trans}} = 8 / T \rightarrow V_{\text{trans}} = 8 / (1/f_{\text{fundamental}})$$

Por otro lado, la frecuencia fundamental de la señal transmitida debe permitir el paso cinco armónicos por el ancho de banda especificado, luego

$$5 * f_{\text{fundamental}} \leq 3000 \text{ Hz} \rightarrow f_{\text{fundamental}} \leq 3000/5 = 600 \text{ Hz}$$

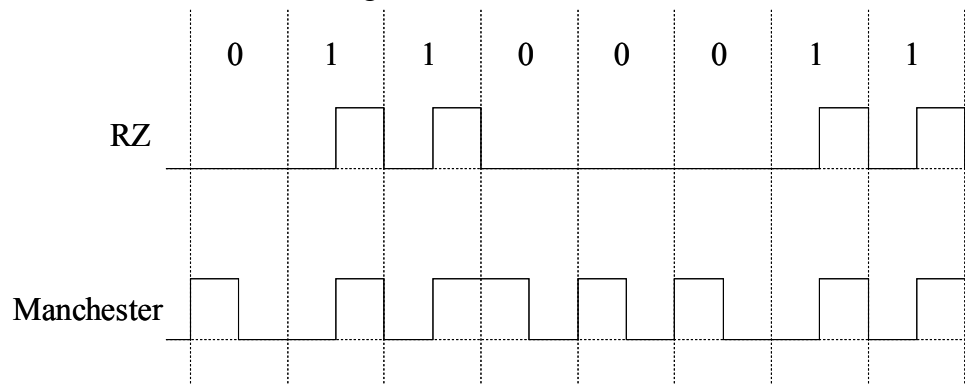
Ya que la frecuencia es la inversa del periodo, obtenemos que

$$V_{\text{trans}} = 8 / (1/f_{\text{fundamental}}) \rightarrow V_{\text{trans}} = 8 * 600 = 4800 \text{ bps}$$

2. Codifica el carácter 'c', cuyo código ASCII de 8 bits es 01100011, mediante los esquemas RZ y Manchester.

Solución:

La codificación solicitada es la siguiente:

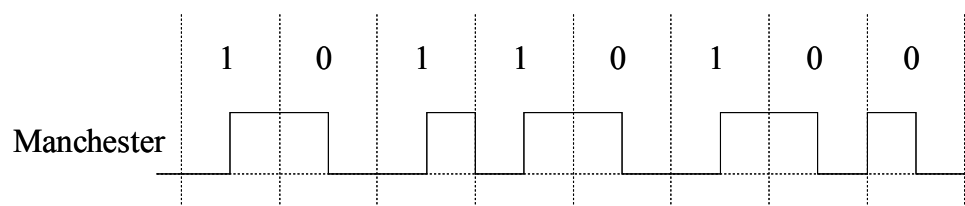


3. Se transmite la secuencia 10110100 a  $V_{\text{tx}} = 2000 \text{ bps}$  en código Manchester.

a) Dibuja la señal.

Solución:

La señal correspondiente a la codificación manchester del carácter "c" solicitado es la siguiente:



b) Calcula la velocidad de modulación.

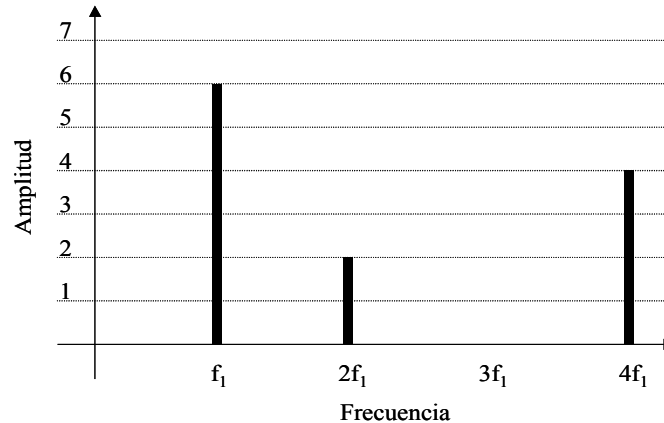
Solución:

En la codificación Manchester, el número de cambios de la señal por bit es 2. Por lo tanto,  $V_{\text{mod}} = 2 * V_{\text{trans}} = 4000 \text{ Baudios}$ .

4. Dada la señal:  $s(t) = 6\text{sen}(2\pi f_1 t) + \text{sen}(2 \cdot 2\pi f_1 t) + 4\text{sen}(4 \cdot 2\pi f_1 t)$ , con  $f_1 = 2\text{MHz}$ :

a) Representa el espectro en frecuencia de la señal.

Solución:



b) Indica el ancho de banda de la señal.

Solución:

$$\text{Ancho de Banda} = f_{\max} - f_{\min} = 4f_1 - f_1 = 8\text{MHz} - 2\text{MHz} = 6\text{MHz}$$

c) Indica la velocidad de transmisión si se están transmitiendo 2 bits por periodo.

Solución:

$$V_{\text{trans}} = n^\circ \text{ bits} / T \Rightarrow V_{\text{trans}} = 2 \text{ bits} / (1/f_1) = 2 \text{ bits} / (1/2\text{MHz}) = 4 \text{ Mbps}$$

Otro posible razonamiento es que en cada periodo se transmiten 2 bits. Los periodos se repiten a razón de 2MHz (la frecuencia  $f_1$ ), por tanto, la velocidad de transmisión será de 4Mbps.

5. Calcula la velocidad de modulación empleada por un módem que transmite a 9600 bps, si su esquema de modulación utiliza 12 ángulos distintos para los cambios de fase, para 4 de los cuales se permiten 2 amplitudes distintas de la señal.

Solución:

Si el esquema de modulación dispone de doce fases, ello permite diferenciar doce elementos de señal distintos. Además, en cuatro de estas fases diferenciamos dos amplitudes distintas, es decir, cuatro estados adicionales de la señal modulada. Por tanto, el número total de estados distintos serán 8 fases con una amplitud más cuatro fases con dos amplitudes, o lo que es lo mismo  $8 + (4 \cdot 2) = 16$  valores posibles distintos para un elemento de señal. Por lo tanto, cada elemento de señal permite codificar 4 bits. Si la velocidad de transmisión es de 9600 bps, y teniendo en cuenta que cuatro bits viajan en cada elemento de señal, la velocidad de modulación será  $V_{\text{mod}} = 9600/4 = 2400$  baudios

6. El ancho de banda de un cable UTP de categoría 3 es de 16 MHz. Para una correcta recepción de la señal se requieren los primeros 16 armónicos. Calcula la velocidad de transmisión máxima a la que se puede enviar una secuencia 1111... codificada en Manchester para que se reciba correctamente.

Solución:

$B = 16 \text{ Mhz}$ ; El número de armónicos  $n$  que podrán pasar por el canal vendrá dado por la condición  $n \cdot f = 16 \cdot 10^6 \text{ Hz}$ , donde  $f$  es la frecuencia fundamental de la señal.

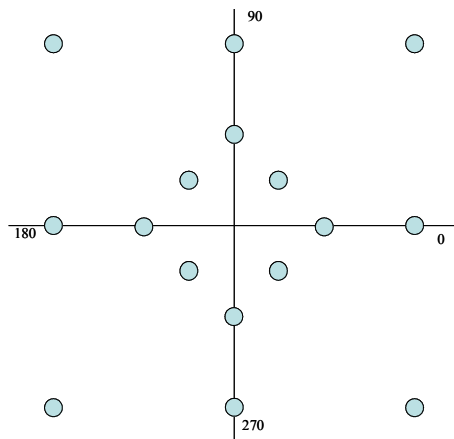
Por otra parte, la frecuencia  $f$  puede calcularse como:

$$f = V_{\text{trans}} / \text{número\_de\_bits\_por\_periodo}$$

Como se está transmitiendo de forma permanente una secuencia de unos, al estar la señal codificada en Manchester, en cada periodo se transmite un único bit y la frecuencia de la señal coincide con la velocidad de transmisión. Por tanto:

$$f = V_{\text{trans}} ; n \cdot V_{\text{trans}} = 16 \cdot 10^6 \rightarrow V_{\text{trans}} = 16 \cdot 10^6 / 16 = 1 \text{ Mbps}$$

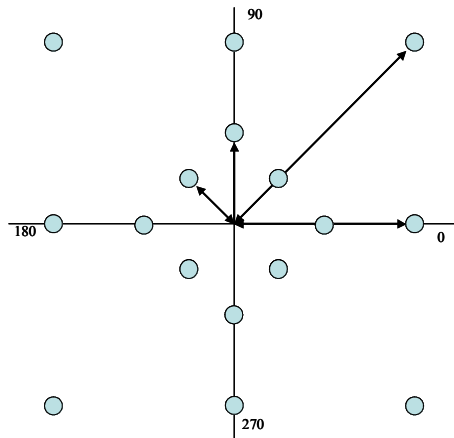
7. Un sistema de comunicaciones está basado en una modulación cuya constelación de estados aparece en la figura:



a) ¿Cuántas amplitudes diferentes puede adoptar la señal modulada?

Solución:

La señal modulada puede adoptar las 4 amplitudes marcadas en la figura.



- b) Suponiendo que la velocidad de modulación es de 200 baudios. ¿A qué velocidad transmite el sistema?

Solución:

La señal modulada tiene 16 ( $= 2^4$ ) estados diferentes, por lo que cada estado de la señal puede representar 4 bits (= bits por elemento de la señal, bpe), luego  $V_{\text{trans}} = V_{\text{mod}} * \text{bpe}$   
 $= 200 * 4 = 800 \text{ bps}$ .

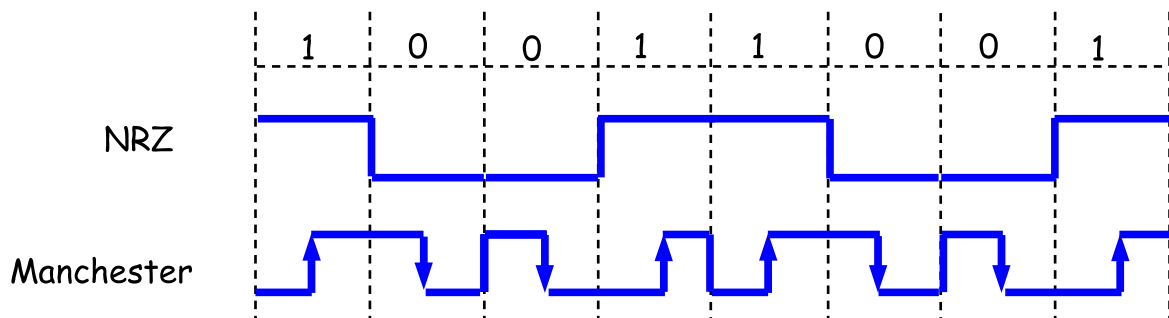
8. Supongamos que un módem telefónico funciona a una velocidad de modulación de 2400 baudios, y su velocidad de transmisión es de 33600 bps. Indica cuántos bits representa cada elemento de la señal. Razona tu respuesta.

Solución:

$V_{\text{mod}} = V_{\text{trans}} / \text{bpe}$ , luego  $\text{bpe} = 33600/2400 = 14 \text{ bits}$ .

9. Codifica el carácter 10011001 usando codificación NRZ y usando codificación Manchester. Si se transmite dicho carácter de forma continua a 1Gbps, ¿cuál es la velocidad de modulación en cada caso?

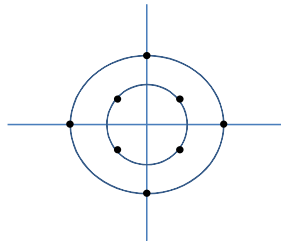
Solución:



$$V_{\text{mod}} = V_{\text{tx}}/\text{bpe}$$

En NRZ bpe es 1. En Manchester es 0.5. Por tanto, la velocidad de modulación es 1Gbaudio en el caso de NRZ y 2 Gbaudios en el caso de Manchester.

10. Un sistema de comunicaciones está basado en una modulación cuya constelación de estados aparece en la figura. Si la velocidad de modulación es de 300 baudios, contesta las siguientes preguntas:



- a) Calcula la velocidad de transmisión del sistema.

Solución:

$$V_{\text{trans}} = V_{\text{mod}} * \text{bpe}$$

$V_{\text{mod}} = 300$  baudios y bpe son los bits que podemos transmitir por cada estado de la señal. Siendo el nº de estados que puede tomar la señal igual a  $8 = 2^3$ , serán 3 bit los que podremos transmitir por cada estado de la señal, es decir  $\text{bpe} = 3$ .

$$\text{Por lo tanto } V_{\text{trans}} = 300 * 3 = 900 \text{ bps}$$

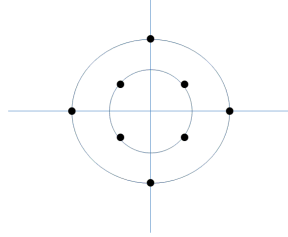
- b) ¿Cómo podríamos conseguir mayor velocidad de transmisión manteniendo la misma velocidad de modulación?

Solución:

Podríamos conseguir mayor velocidad de transmisión si aumentamos el nº de bits que se transmiten por cada estado de la señal (bpe).

Para ello habría que aumentar el nº de estados en la constelación, lo cual se consigue aumentando el nº de amplitudes o nº de fases a utilizar.

11. Se dispone de un modem que transmite a 14.400 bps basado en una modulación cuya constelación de estados aparece en la figura.



a) ¿Cuántas amplitudes y fases diferentes puede adoptar la señal modulada? Justifica la respuesta.

Solución:

Como se desprende de la constelación dada, la señal puede adoptar dos amplitudes diferentes y ocho fases.

b) ¿Cuál es la velocidad de modulación de dicho modem? Justifica la respuesta.

Solución:

$$V_{\text{mod}} = V_{\text{tx}} / \text{bpe}$$

$$V_{\text{tx}} = 14400 \text{ bps}$$

bpe son los bits que se transmiten en cada estado de la señal. Siendo el n° de estados que puede tomar la señal igual a  $8 = 2^3$ , serán 3 bits los que podremos transmitir por cada estado de la señal, es decir  $\text{bpe} = 3$ .

$$\text{Por lo tanto: } V_{\text{mod}} = 14400 / 3 = 4800 \text{ baudios}$$

12. Dado un canal de transmisión con un ancho de banda de 30000 Hz,

a) Calcula cuántos armónicos se enviarán al transmitir de forma periódica el carácter de 6 bits 010000 a una velocidad de 9600 bps utilizando codificación NRZ. Muestra los cálculos realizados y justifica tu respuesta.

Solución:

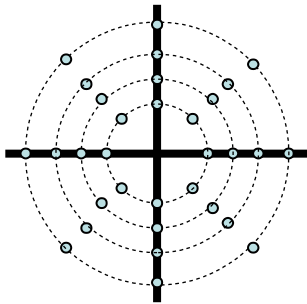
Dado que la velocidad de transmisión es 9600 bps y que en cada periodo de la señal se envían 6 bits, la frecuencia fundamental de la señal es 1600 Hz ( $9600/6$ ). Además, como los diferentes armónicos de la señal son todos múltiplos de la frecuencia fundamental, podemos afirmar que están equiespaciados con distancia 1600 Hz entre ellos. Por este motivo, el número de armónicos que se enviarán es  $30000\text{Hz}/1600\text{Hz} = 18.75$  armónicos, es decir, 18 armónicos.

b) Si aumentamos la velocidad de transmisión, se ¿recibirán más o menos armónicos? Justifica tu respuesta.

Solución:

Se recibirán menos armónicos, porque al aumentar la velocidad de transmisión se está aumentando la frecuencia fundamental de la señal, y esto conlleva que la distancia entre armónicos crezca, cabiendo menos en el ancho de banda del canal.

13. Un sistema de comunicaciones emplea una modulación con la constelación de estados que aparece en la figura. Dicho sistema transmite a través de una línea de comunicaciones de 1 MHz. Sabiendo que son necesarios dieciséis armónicos para que sea posible reconstruir la señal transmitida, y teniendo en cuenta que, en este caso, la frecuencia fundamental de la señal modulada es la mitad de la velocidad de modulación, calcula cuál será la máxima velocidad de transmisión que puede emplear el sistema.



Solución:

Si son necesarios 16 armónicos para reconstruir la señal, cuya frecuencia fundamental denominamos  $f$ , y el medio tiene un ancho de banda de 1 Mhz, ello significa que  $16 \times f \leq 1 \text{ Mhz}$ , luego la frecuencia de la señal será, como máximo,  $f = 1\text{Mhz}/16 = 62,5 \text{ KHz}$ .

Puesto que, como se indica en el enunciado,  $f = V_{\text{mod}} / 2$ , la velocidad de modulación máxima será  $V_{\text{mod}} = f \times 2 = 125 \text{ KBaud}$ .

Por otro lado, la constelación de estados indica que se dispone de cuatro amplitudes y ocho fases, dando lugar a 32 estados posibles. Ello permite codificar  $\log_2 32 = 5$  bits por estado (**bpe**). Ello implica que  $V_{\text{trans}} = V_{\text{mod}} \times 5 = 125 \text{ KBaud} \times 5 = \mathbf{625 \text{ Kbps}}$ .