

Apellidos y Nombre: _____ D.N.I.: _____

1. En un sistema de comunicación digital que transmite 300 símbolos cuaternarios por segundo la velocidad de transmisión en bits por segundo es
 - a. 36000
 - b. 600**
 - c. 1200

Un alfabeto cuaternario contiene 4 símbolos, por lo que cada uno transporta $2 = \log_2 4$ bits de forma que la velocidad de transmisión es $300 \frac{\text{símbolos}}{\text{s}} \times 2 \frac{\text{bits}}{\text{símbolo}} = 600 \frac{\text{bits}}{\text{s}}$

2. Un conjunto de 4 señales mutuamente antipodales
 - a. Tiene un espacio de señal de dimensión 2*
 - b. Es imposible de construir**
 - c. Tiene un espacio de señal de dimensión 4

Antipodal significa “igual y de signo opuesto”, por lo que sólo es posible para una pareja de señales. Un conjunto de más de 2 señales no puede ser antipodal por lo que la respuesta correcta es la (b). Sin embargo en la corrección aceptaremos también la (a) porque el enunciado se podría interpretar como que las 4 señales se agrupan en dos parejas de señales antipodales.

3. Si la probabilidad de error de símbolo en un sistema cuaternario es 10^{-3} el BER
 - a. Es siempre mayor o igual que 5×10^{-4}**
 - b. Es siempre mayor que 2×10^{-3}
 - c. Está comprendida entre 2.5×10^{-4} y 10^{-3}

El BER se acota como $\frac{P_e}{m} \leq P_b \leq 1$ donde P_e es la probabilidad de error de símbolo y m es el número de bits por símbolo. En este caso $m = 2$ y por lo tanto $0.5 \times 10^{-3} \leq P_b \leq 10^{-3}$

4. El filtro adaptado
 - a. Es un filtro lineal de respuesta al impulso igual a la forma de onda de la señal que se desea detectar
 - b. Es el único demodulador óptimo
 - c. Ninguna de las anteriores respuestas es correcta**

El filtro adaptado se construye como una versión invertida temporalmente de la señal a detectar, por lo que la opción (a) es incorrecta. La opción (b) también lo es dado que el receptor de correlación es equivalente e igualmente óptimo que el receptor de filtro adaptado.

5. La constelación utilizada por un sistema de comunicación digital
 - a. Determina la probabilidad de error de bit*
 - b. Determina la forma de onda de las señales utilizadas por el modulador
 - c. Ninguna de las anteriores respuestas es correcta**

En una interpretación estricta, la constelación únicamente contiene información sobre las coordenadas de los símbolos, por lo que únicamente es posible determinar la probabilidad de error de símbolo conocida la constelación, por lo que la respuesta (a) es incorrecta. La respuesta (b) también lo es dado que para construir las señales del modulador es necesario conocer, además de las coordenadas, las funciones de la base. En la corrección se ha dado por buena también la opción (a) debido a la posible interpretación de que la constelación contenga la asignación de bits a los símbolos, que permitiría calcular el BER.

6. Para un canal AWGN, la salida del demodulador óptimo
- Es una variable aleatoria multidimensional de media cero
 - Es un vector aleatorio de componentes decorrelacionadas**
 - Es uno de los símbolos de la constelación del modulador

La salida del demodulador óptimo es un vector aleatorio de la forma $q = A + n$ donde A es el vector de coordenadas del símbolo transmitido y n es un vector aleatorio de componentes decorrelacionadas, media cero y varianza $N_0/2$ por componente.

7. La señal generada por sistema 4-PAM en banda base que transmite 2400 bits por segundo ocupa un ancho de banda mínimo de
- 1200 Hz
 - 600 Hz**
 - 4800 Hz

Una señal 4-PAM en banda base tiene una constelación de 4 símbolos cada uno de los cuales tiene asignado dos bits. Si el periodo de bit es T_b , el periodo de símbolo es $T = 2T_b$ (cada símbolo transporta 2 bits). El ancho de banda mínimo de un sistema PAM en banda base es (usando pulsos sinc) igual a $1/2T = 1/4T_b$. El periodo de bit y la velocidad de transmisión en bits/s están relacionados por $T_b = 1/R_b$ por lo que el ancho de banda mínimo es en este caso $B_{min} = 1/4T_b = R_b/4 = 2400/4 = 600 \text{ Hz}$.

8. Para que no exista interferencia inter-simbólica en un sistema PAM es necesario que
- Las señales transmitidas ocupen exactamente un periodo de símbolo
 - El pulso conformador verifique el criterio de Nyquist
 - Ninguna de las anteriores respuestas es correcta**

La condición para que no exista ISI en un sistema PAM es que las muestras a la salida del demodulador sean independientes, y esto puede conseguirse aunque las señales transmitidas ocupen más de un periodo de símbolo, por lo que la respuesta (a) es incorrecta. Esta condición se concreta en el criterio de Nyquist que debe ser verificado por las señales a la salida del demodulador (resultado de la convolución del pulso conformador usado por el transmisor con el filtro adaptado usado en el receptor) por lo que la respuesta (b) es incorrecta también.

9. Para que una señal PAM paso banda tenga envolvente constante es suficiente que
- Todos los símbolos de la constelación tengan la misma energía
 - El pulso conformador debe ser rectangular
 - Deben cumplirse las dos condiciones anteriores**

Para obtener una envolvente constante es necesario que se verifiquen las dos condiciones. La primera garantiza que todos los símbolos tienen señales de la misma amplitud. La segunda garantiza que la envolvente es constante durante el periodo de símbolo.

10. Una constelación rectangular 32-QAM

- a. *Está formada por símbolos de 5 bits*
- b. Es imposible de construir**
- c. Está formada por símbolos de 32 bits

Una constelación rectangular QAM tal y como la definimos en teoría se forma con dos constelaciones PAM que contienen un número de símbolos $L = \sqrt{M}$ lo que en este caso no es posible dado que $\sqrt{32} = 5.6569$ no es entero, luego la respuesta correcta es (b). Sin embargo, debido al enunciado, se podría pensar en una constelación formada por dos PAM con diferente número de símbolos, en este caso $4 \times 8 = 32$, con lo que se podría construir con símbolos de 5 bits (2 en un eje formado una 4-PAM y 3 en el otro eje formado una 8-PAM). De forma que se también se acepta como válida la respuesta (a).

11. El parámetros de robustez η de una constelación 4-PAM en banda base es

- a. $1/2$
- b. $1/3$**
- c. $1/\sqrt{2}$

En una constelación 4-PAM en banda base, la amplitud máxima de los símbolos es 3 y la distancia entre ellos es 2, por lo que $\eta = \frac{d/2}{A_{max}} = 1/3$. La respuesta correcta es la (b). La opción (a) es el valor para QPSK.

12. Para estimar un igualador lineal con 5 coeficientes son necesarios

- a. *Al menos 11 símbolos piloto*
- b. Al menos 5 símbolos piloto
- c. 9 símbolos piloto**

Un ecualizador lineal de 5 coeficientes (numerados a partir de 0) tiene un valor $K=4$ y el sistema lineal de ecuaciones resultante contiene $(N-K)$ ecuaciones con $(K+1)$ incógnitas por lo que la condición para que exista solución es $N-K \geq K+1$, es decir $N \geq 2K+1$ que en este caso es $N \geq 9$ correspondiente a la opción (c). Sin embargo, como el enunciado puede inducir a confusión porque no contempla la desigualdad a diferencia la primera opción resultante de considerar $K=5$. Por lo tanto también se considera correcta la opción (a).

13. La codificación diferencial de fase permite

- a. Reducir el efecto de del error de frecuencia de la portadora
- b. *Eliminar las ambigüedades de fase*
- c. Las dos respuestas anteriores son correctas**

La opción correcta es la (c) dado que como se muestra en el problema 5 del tema 5, utilizar una codificación diferencial cuando existe un error de frecuencia de portadora permite reducir la probabilidad de error. Sin embargo, dado que esta cuestión no se desarrolló en teoría, se acepta también como correcta la opción (b).

14. En la modulación OQPSK la máxima diferencia de fase entre dos símbolos consecutivos es

- a. 180°
- b. $\pi/2$**
- c. $3\pi/4$

OQPSK es una variante de QPSK en la que al retardar $T/2$ las componentes en fase y cuadratura se evitan los saltos de fase de 180° , en consecuencia la máxima diferencia de fase es $\pi/2$.

15. La relación entre el ancho de banda del lóbulo principal de un sistema 4-CPFSK y el de un sistema 8-MSK es
- 7/6
 - 2
 - 10/11**

La mínima separación de frecuencia (lineal) para CPFSK es $1/T$, por lo que el ancho de banda (en frecuencia lineal) para un alfabeto de M símbolos es $B_{CPFSK} = \frac{1}{T} + \frac{M-1}{T} + \frac{1}{T} = \frac{M+1}{T}$. Para MSK sin embargo la mínima separación de frecuencia es $1/2T$, por lo que el ancho de banda es $B_{MSK} = \frac{1}{T} + \frac{M-1}{2T} + \frac{1}{T} = \frac{M+3}{2T}$ los valores en este caso son $B_{CPFSK} = \frac{5}{T}$ y $B_{MSK} = \frac{11}{2T}$ y la relación es $\frac{B_{CPFSK}}{B_{MSK}} = \frac{5/T}{11/2T} = 10/11$.

16. Para un sistema QPSK con portadora de 300KHz en el que el receptor se encuentra a una distancia máxima de 120m el error de fase, en ausencia de ruido de canal
- Nunca provoca errores de recepción**
 - Siempre provoca errores de recepción
 - Las dos anteriores son incorrectas

El mayor error de fase ocurre cuando el receptor se encuentra a la distancia $d=120m$ del transmisor, y se puede calcular como el producto del retardo por la frecuencia de portadora $\Delta\theta = \tau\omega_c$. El retardo en función de la distancia es $\tau = d/c$ y por lo tanto $\Delta\theta = \frac{d\omega_c}{c}$ considerando la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas es aproximadamente $c = 300.000 \frac{Km}{s} = 3 \times 10^8 m/s$ y la frecuencia de portadora $\omega_c = 2\pi 300 \times 10^3 rad/s = 2\pi 3 \times 10^5 rad/s$ obtenemos $\Delta\theta = \frac{d\omega_c}{c} = \frac{120 \times 2\pi 3 \times 10^5}{3 \times 10^8} = 0.12 \times 2\pi rad = 43.2^\circ$. Como la frontera de decisión en QPSK está a 45° , en ausencia de ruido nunca se producen errores de decisión.

17. Para un sistema de comunicación digital paso banda con eficiencia espectral superior a 3.5 bits/s/Hz y la menor probabilidad de error, el mejor esquema de modulación es
- 4-FSK
 - 16-QAM**
 - 16-PSK

La eficiencia espectral de FSK es siempre menor que la unidad, luego (a) no es correcta. Las eficiencias espectrales de 16-QAM y 16-PSK son iguales a $4 = \log_2 16$, sin embargo QAM presenta una menor probabilidad de error que PSK para el mismo número de símbolos y en consecuencia la opción correcta es la (b).

18. Un sistema de codificación de forma de onda bi-ortogonal que utiliza bloques de datos de 6 bits y que utiliza un esquema de modulación digital BPSK necesita un ancho de banda
- 16/3 veces superior al no codificado BPSK**
 - 6 veces superior al no codificado BPSK
 - 64/6 veces superior al no codificado BPSK

Un sistema de codificación de onda ortogonal con k bits de datos utiliza 2^k bits codificados, y un sistema bi-ortogonal utiliza la mitad de los bits 2^{k-1} . La relación entre las velocidades de transmisión en el sistema codificado y no codificado es por tanto $\frac{2^{k-1}}{k} = \frac{2^5}{6} = \frac{32}{6} = \frac{16}{3}$ que es la relación de anchos de banda dado que son proporcionales a las velocidades de transmisión.

19. Un código de bloque (7,3) contiene
- a. 128 palabras código de 8 bits
 - b. 8 palabras código de 7 bits**
 - c. 7 palabras código de 3 bits

La notación (n, k) indica un código de bloque con k bits de datos y n bits codificados, por lo tanto el número de palabras del código es $2^k = 2^3 = 8$ cada una de las cuales contiene $n = 7$ bits.

20. La decodificación basada en síndrome de un código de bloque lineal (8,5) cuyas palabras son diferentes
- a. Es capaz de detectar 224 patrones de error diferentes
 - b. Es capaz de detectar y corregir 7 patrones de error diferentes
 - c. Las dos son correctas**

El código está formado por $2^k = 2^5 = 32$ palabras. Cada palabra recibida contiene $n = 8$ bits y por lo tanto existen $2^n = 2^8 = 256$ posibles palabras, de las cuales únicamente 32 son del código y generarán síndrome nulo, el resto $256 - 32 = 224$ no pertenecen al código y generarán un síndrome no nulo (aunque no diferentes) y se corresponderán a 224 patrones de error que el código es capaz de detectar. De otra parte, el número de errores que el código es capaz de corregir está limitado por el número de síndromes diferentes. Como el síndrome contiene $n - k$ bits, el número de síndromes diferentes es $2^{n-k} = 2^3 = 8$. Que contiene al síndrome nulo (no hay error) y 7 síndromes que se pueden usar para corregir 7 patrones de error diferentes, y en consecuencia la opción correcta es la (c).