

GUÍA de Ejercitación
Práctica
Unidades 1 y 2
COMUNICACIONES

2016

Ing. Daniel Arch
Lic. Fernando Miralles
Ing. Gustavo Villarreal

GUÍA DE EJERCICIOS PRÁCTICOS DE LA UNIDAD N° 1

TEMA 1:

NOCIONES GENERALES DE ELECTRICIDAD

Objetivo: aprender los conceptos básicos del campo eléctrico, para poder comprender el funcionamiento de las señales en la transmisión de datos.

- 1.1 Defina Diferencia de Potencial y su relación con Intensidad.
- 1.2 Defina Resistencia y diferencie de Impedancia.
- 1.3 Defina Ley de Ohm e indique su importancia en el campo de la electricidad.
- 1.4 Indique cuales son los factores que influyen en la Resistencia.
- 1.5 Defina Inductancia.
- 1.6 Defina Capacitancia.
- 1.7 ¿Qué es un decibel y dónde se utiliza? Indique a qué se debe el cambio de signo en el resultado de la medición.
- 1.8 Dada la siguiente relación de señales expresadas en dB , para S1(señal de entrada) y S2 (señal de salida)



Si el valor obtenido es de - 5 dB ¿Cuál es la conclusión a la que debo arribar sobre el medio físico de transmisión

$$S := - 5$$

$$V := 10^{\frac{S}{10}} \quad V = 0.316$$

Conclusión: la relación es solo del 31.6%, por lo tanto, el medio físico de transmisión atenúa la señal.

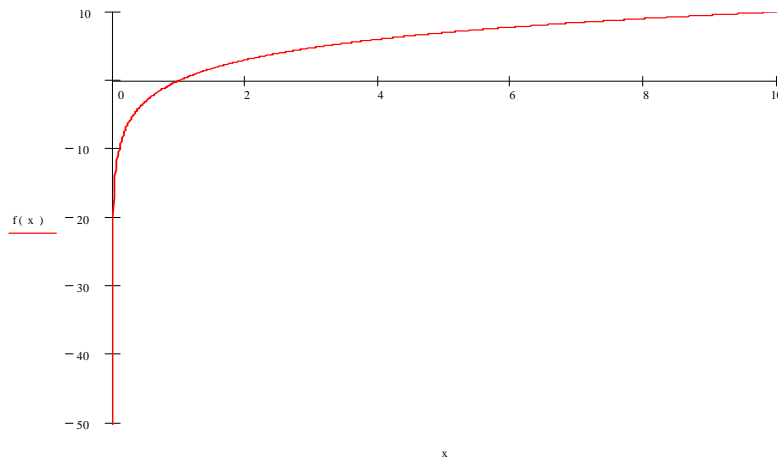
- 1.9 Si el DECIBEL es la representación logarítmica de una comparación entre dos magnitudes del mismo tipo:

$$A = K \text{ Log } X_2 / X_1$$

Realice una grafica de esta función dándole valores a las magnitudes involucradas. ¿Qué relación encuentra con la gráfica obtenida y el ejercicio 1.8?

Conclusión: Donde x es la relación de las dos potencias. Como el medio presenta, por diferentes causas (su impedancia, la pot. del ruido, etc), resistencia al pasaje de la señal, necesitaré transmitir con mayor potencia a la señal para mantener los mismos valores en decibeles y captarla de forma clara. (ver figura adjunta)

$$f(x) := 10 \cdot \log(x)$$



- 1.10** Se tiene un circuito eléctrico compuesto de una fuente de alimentación continua con $V_{cc} = 5\text{ V}$ y dos resistencias en serie de $100\ \Omega$, $10\ \text{K}\ \Omega$. Se pide:
- Diagrama del esquema eléctrico
 - Calcule la corriente eléctrica que circula en el circuito y las caídas de tensión en cada resistencia.
 - Calcule la potencia eléctrica entregada por la fuente de alimentación y las consumidas en cada resistencia. Expresar dicha potencia en Watts y mW
 - Grafique la variación de la tensión eléctrica de la fuente de alimentación en función del tiempo y la variación de la tensión en las resistencias.
- 1.11** Dado un circuito eléctrico de corriente continua con una fuente de alimentación de 3 V y con una resistencia de $10\ \text{K}\ \Omega$ y una carga capacitiva de $10\ \mu\text{F}$, se pide:
- Diagrama eléctrico.
 - Calcule el valor de la constante de tiempo $\tau = R * C$
 - Si la tensión en el capacitor es igual a $V_{cc}(1 - e^{-t/\tau})$ calcule su valor para $t=0$, $t=1\text{ mseg.}$, $t=5\text{ mseg.}$, $t=10\text{ mseg.}$, $t=\tau$, $t=10\tau$, $t=100\tau$ y grafique dichos valores en un diagrama tensión-tiempo.
 - Repita lo pedido en el punto 2 si la resistencia es de $100\ \text{K}\ \Omega$
 - Repita lo pedido en el punto 2 si la resistencia es de $10\ \text{M}\ \Omega$
 - Que conclusiones puede obtener del análisis de los resultados de los puntos c, d y e.
- 1.12** Se tiene un circuito eléctrico compuesto de una fuente de alimentación alterna cuya magnitud es igual a $10 \cos(100\pi t)$ que alimenta una carga resistiva de $10\ \text{K}\ \Omega$. Se pide:
- Diagrama del esquema eléctrico
 - Calcule la corriente eléctrica que circula en el circuito y la caída de tensión en la resistencia.
 - Calcule la potencia eléctrica instantánea y la potencia eléctrica media entregada por la fuente de alimentación y la consumida en la resistencia. Expresar dicha potencia en Watts y mW
 - Grafique la variación de la tensión eléctrica de la fuente de alimentación en función del tiempo y la variación de la tensión en la resistencia
 - Grafique la relación entre tensión y corriente en un diagrama fasorial.

- 1.13** Se tiene un circuito eléctrico compuesto de una fuente de alimentación alterna cuya magnitud es igual a $10 \cos(100\pi t)$ que alimenta una carga capacitiva de $100 \mu\text{F}$. Se pide:
- Diagrama del esquema eléctrico
 - Expresión de la corriente eléctrica que circula en el circuito y la tensión en el capacitor.
 - Grafique la variación de la tensión eléctrica de la fuente de alimentación en función del tiempo y la variación de la tensión en el capacitor.
 - Grafique la relación entre tensión y corriente en un diagrama fasorial.
- 1.14** Se tiene un circuito eléctrico compuesto de una fuente de alimentación alterna cuya magnitud es igual a $10 \cos(100\pi t)$ que alimenta una carga inductiva de 100 mH . Se pide:
- Diagrama del esquema eléctrico
 - Expresión de la corriente eléctrica que circula en el circuito y la tensión en el inductor.
 - Grafique la variación de la tensión eléctrica de la fuente de alimentación en función del tiempo y la variación de la tensión en el inductor.
 - Grafique la relación entre tensión y corriente en un diagrama fasorial.

TEMA 2 :

TEORÍA DE SEÑALES

Objetivo: aprender los elementos básicos que componen el campo de las señales para poder comprender las formas posibles de manipulación en la transmisión de datos.

- 2.1** Enuncie los parámetros característicos de una señal.
- 2.2** Los circuitos integrados que dan vida a nuestro mundo digital funcionan con tensiones que decimos es continua (Vdc); queriendo significar con esta denominación que sus valores no varían con el tiempo. Los valores habituales son $\pm 5\text{V}$ y $\pm 12\text{V}$. Grafique en el espacio bidimensional (Amplitud, tiempo), tales tensiones.
- 2.3** Si los circuitos que conforman nuestras placas (boards), representan una resistencia de 200Ω . ¿Cuál sería el valor de corriente eléctrica suministrada para una fuente de $+5\text{V}$? Diagrame un circuito que represente la solución.
- 2.4** Para el ejercicio anterior calcule la potencia entregada por la fuente y la consumida por la carga. Grafique en un gráfico (A-t) los valores de V, I, W(potencia). Cuál sería la energía consumida en el tiempo de una hora. Grafique en un gráfico (W-t).
- 2.5** Nuestros dispositivos electrónicos son alimentados eléctricamente por lo que llamamos nuestra tensión de línea, que es una señal senoidal de 220 Volts y tiene una frecuencia de 50 Hz. Dibuje en una gráfica amplitud-tiempo dicha forma de onda o señal.
- 2.6** Si el dispositivo anterior representa una carga de $1\text{k}\Omega$. Cuál será la corriente entregada por la fuente de energía. Grafique (V, t) y (I, t). Dibuje un circuito que represente nuestros problemas.
- 2.7** Cual será para el ejercicio anterior el valor de potencia instantánea. Grafique en un plano (W-t). Calcule el valor promedio de potencia teniendo en cuenta que:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) dt = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} v(t) \cdot i(t) dt$$

- 2.8** Represente en forma vectorial las variaciones de tensión, corriente y potencia.
- 2.9** Diferencie los tipos de señales que conozca.
- 2.10** Defina espectro de frecuencia de una señal y enuncie como se obtiene.
- 2.11** Explique a qué se denomina ancho de banda de una señal, y como se obtiene.
- 2.12** Explique cuál es la función de la Transformada de Fourier y cuando se la aplica.
- 2.13** Explique que es un filtro; para qué se lo utiliza y diferencie “pasa bajo”, “pasa alto” y “pasa banda”.
- 2.14** Defina capacidad de canal y su relación con ancho de banda.
- 2.15** Explique la denominada Ley de Shannon-Hartley y su utilidad en el campo de las comunicaciones.
- 2.16** Explique el teorema del muestreo, e indique su aplicación en el campo de las comunicaciones.
- 2.17** Grafique las siguientes funciones:

a) $S(t) = A \text{ sen } (\omega t + \Phi)$

con $A = 3 \text{ volt}$
 $\omega = 2\pi f_1$
 $\Phi = 0$

b) $S(t) = A \text{ sen } (\omega t + \Phi)$

con $A = 3 \text{ volt}$
 $\omega = 2\pi f_2$ y $f_2 = 2 f_1$
 $\Phi = 0$

c) $S(t) = A \text{ sen } (\omega t + \Phi)$

con $A = 3 \text{ volt}$
 $\omega = 2\pi f_2$ y $f_2 = 4 f_1$
 $\Phi = \pi/2$

d) $S(t) = A \text{ sen } t/t$

con $A = 3 \text{ volt}$

Explique cómo salva la indeterminación al graficar.

- 2.18** Dado el número complejo $Z = x + jy$ (forma binómica) expresarlo en forma :

- a) Trigonométrica
 b) Exponencial

- 2.19** Demostrar la siguiente igualdad de números complejos expresados en forma trigonométrica y en forma exponencial , para ello deberá recurrir a la fórmula de Euler y al desarrollo de serie de potencias de Mc Laurin:

$$e^{j\Phi} = \cos \Phi + j \text{ sen } \Phi$$

- 2.20** Realice un circuito con las siguientes características: $V = 3 \text{ volts (DC)}$; $R = 1 \text{ K}\Omega$
 Calcule la corriente (I) y la potencia disipada en la resistencia (R).

- 2.21** Realice un circuito con las siguientes características : $V(t) = 220 \text{ sen } \omega t$; $R = 100 \text{ K}\Omega$
 Calcule la corriente $I(t)$, la potencia disipada en la resistencia $P(t)$ y la potencia media P si:

$$P(\text{media}) = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt \quad \text{para } T = \pi$$

- 2.22** Realice un circuito serie con las siguientes características: $V=5\text{v}$; $R_1=10\text{K}\Omega$; $R_2=100\text{K}\Omega$.
 Si el circuito fuese realizado en paralelo, ¿cuál sería la conclusión a la cual arribaría, tomando en cuenta la potencia total disipada?

- 2.23** Se transmite una señal digital cuya velocidad de señalización es de 6000 baudios. Calcule la velocidad de transmisión si se utilizan pulsos de:

- a) 2 Niveles
- b) 4 Niveles
- c) 8 Niveles

- 2.24** Cuál será el tiempo de duración de un bit si se transmite una señal binaria bipolar con una velocidad de transmisión de:

- a) 2400 bps
- b) 56 Kbps
- c) 10 Mbps

- 2.25** Calcular la velocidad de transmisión si se transmite una señal binaria bipolar de 1's y 0' alternos y la duración o tiempo del bit es de:

- a) 10 mseg.
- b) 0,1 microseg.

- 2.26** Para el ejercicio anterior exprese analíticamente las 3 primeras componentes de su desarrollo en serie de Fourier, si la Amplitud de la señal es de 3 Volts. Grafique su espectro de frecuencia.

- 2.27** Para el ejercicio 2.26 determine el ancho de banda del canal de comunicaciones para que al menos lleguen al receptor las 7 primeras armónicas.

- 2.28** Si en el ejercicio 2.25 el tiempo de duración del bit es igual al del pulso utilizado como símbolo, ¿cuál será el ancho de banda del primer nulo?

- 2.29** Un transmisor genera una señal analógica cuya potencia promedio es de 100 mW. Si dicha señal se recibe con una potencia de 60 mW. ¿Cuál será la atenuación de la misma en dB?

- 2.30** ¿Qué valoren dB tendrá que tener la ganancia de un amplificador si se quiere que la señal del punto 2.29 llegue al receptor con una potencia de 80 mW?

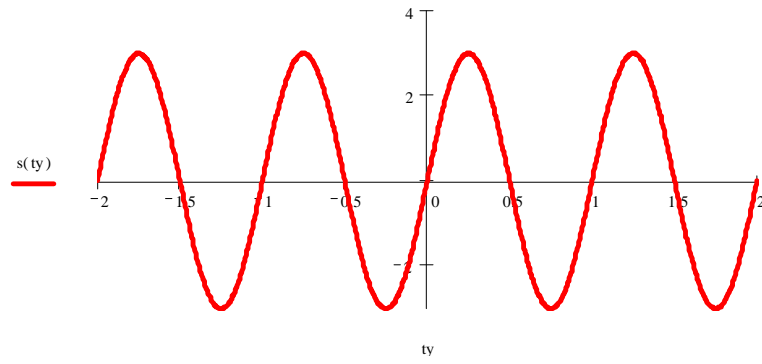
- 2.31** Si transmitimos una señal con un transmisor de 0,5 W y dicha señal sufre una atenuación de 8 dB, ¿cuál será el valor de la potencia recibida en dBm? Exprese la potencia de entrada en dBm; ¿qué conclusiones puede sacar de los resultados obtenidos?

- 2.32** Un cable UTP Cat5 presenta una atenuación típica de 22dB/Km. para señales de 10 Mhz. Suponiendo que la señal transmitida tiene una potencia de 300 mW, calcular la atenuación de la señal en dBm y la potencia recibida en W, después de haber recorrido 2 Km.

RESPUESTAS:**2.17 a)**

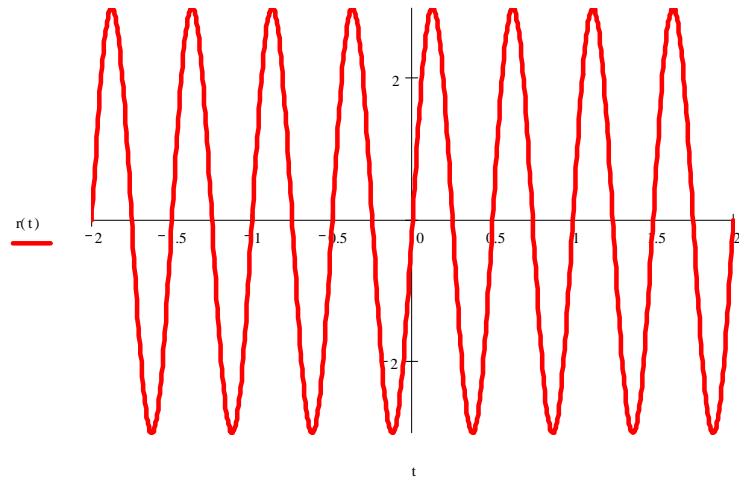
$$\omega := 2\pi \quad \phi := 0 \quad A := 3$$

$$s(t) := A \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi)$$

**b)**

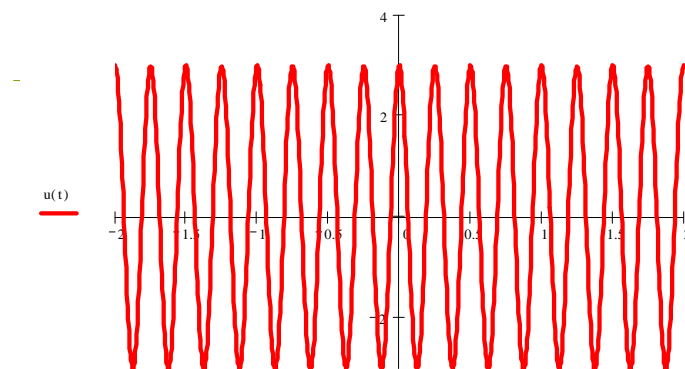
$$\omega := 4\pi \quad A := 3 \quad \phi := 0$$

$$r(t) := A \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi)$$

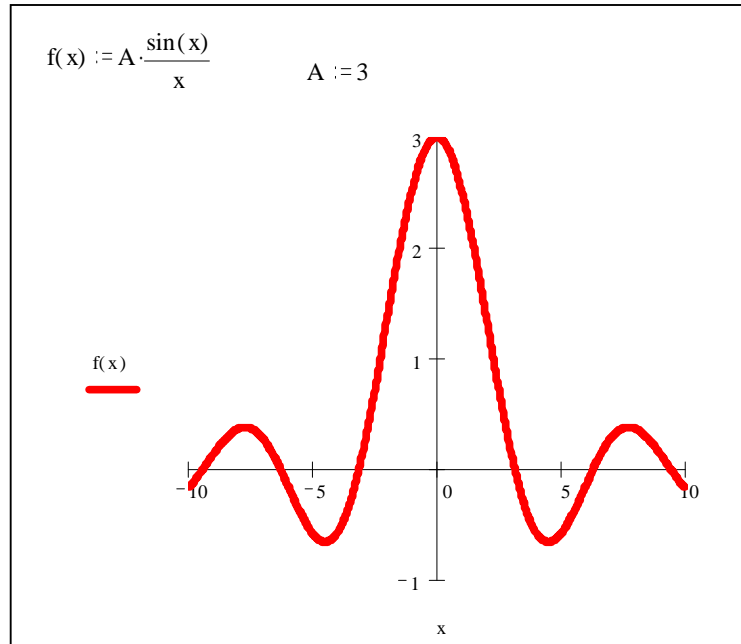
**c)**

$$A := 3 \quad \omega := 8\pi \quad \phi := \frac{\pi}{2}$$

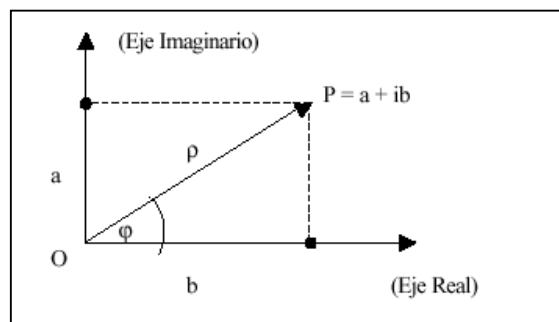
$$u(t) := A \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi)$$



d)



2.18



Por Teorema de Pitágoras tenemos que $\rho = \sqrt{a^2 + b^2}$ entonces podemos calcular a y b partir de ρ y φ :

$a = \rho \times \cos(\varphi)$ y $b = \rho \times \text{sen}(\varphi)$ por lo tanto, el número complejo puede escribirse

$$\rho \times \cos(\varphi) + i \rho \times \text{sen}(\varphi) = \rho \cdot (\cos \varphi + i \cdot \text{sen} \varphi)$$

$\Rightarrow z = \rho \cdot (\cos \varphi + i \cdot \text{sen} \varphi)$ que es la forma trigonométrica

Además, una de las formulas de Euler es $e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \cdot \text{sen} \varphi$, por lo tanto:

$$Z = \rho \cdot e^{i\varphi}$$

Forma exponencial del número complejo.

- 2.19** Demostrar la siguiente igualdad de números complejos expresados en forma trigonométrica y en forma exponencial, para ello deberá recurrir a la fórmula de Euler y al desarrollo de serie de potencias de MacLaurin:

$$e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta$$

Como sabemos, la serie de MacLaurin de la función exponencial es:

$$e^x := 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \dots + \frac{x^n}{n!} + \dots$$

Podemos adoptar como definición de la función exponencial e^z en el plano complejo a la serie anterior, entonces, haciendo $z = iy$:

$$e^z := 1 + \frac{iy}{1!} + \frac{(iy)^2}{2!} + \frac{(iy)^3}{3!} + \frac{(iy)^4}{4!} + \dots + \frac{(iy)^n}{n!} + \dots$$

que es igual a:

$$e^z := 1 + \frac{iy}{1!} - \frac{y^2}{2!} + \frac{iy^3}{3!} - \frac{y^4}{4!} + \dots + \frac{i^n \cdot y^n}{n!} + \dots$$

$$e^z := \left(1 - \frac{y^2}{2!} + \frac{y^4}{4!} - \dots \right) + i \left(\frac{y}{1!} - \frac{y^3}{3!} + \frac{y^5}{5!} - \dots \right)$$

pero cada sumando es el desarrollo en serie del coseno y del seno respectivamente:

$$e^z = \cos(y) + i \cdot \text{sen}(y) \quad \text{que es la fórmula de Euler.}$$

- 2.20** Si $V = 3$; $R = 1000$ y $I = V/R \Rightarrow I = 3 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$ corriente es **3mw**.

Por otro lado, $P = V^2/R \Rightarrow P = 9 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$ la potencia disipada es **9mw**.

- 2.21** Si $V = 220$; $R = 100000$; $I = V/R$ y $P = V^2/R$ entonces:

$I = 0.0022 \Rightarrow$ corriente es **2.2mA**.

$P = 0.484 \Rightarrow$ la potencia disipada en la resistencia es **484mw**.

Ahora si:

$$\omega := 2 \cdot \pi \quad T := \pi$$

$$P_2 := P \cdot \sin(\omega \cdot T)$$

$$P_1 := \frac{1}{T} \cdot \int_0^T P_2 dT$$

$$P_1 = 0.376 \quad \Rightarrow \text{la potencia media es de } \mathbf{37mw}.$$

2.22 Si $V = 5 \text{ v}$; $R_1 = 10 \text{ K}\Omega$; $R_2 = 100\text{K}\Omega$ entonces:

$R_3 = R_1 + R_2 = 1.05 \cdot 10^5 \Rightarrow$ la resistencia total en serie es **105k Ω** .

$R_4 = (R_1 \cdot R_2) / (R_1 + R_2) = 4.762 \cdot 10^3 \Rightarrow$ la resistencia total en paralelo es **4.76k Ω** .

$P_1 = V^2/R_3 = 2.381 \cdot 10^{-4} \Rightarrow$ la potencia disipada en circuito serie es **23.81mw**.

$P_2 = V^2/R_4 = 5.25 \cdot 10^{-3} \Rightarrow$ la potencia disipada en circuito paralelo es menor que uno en serie.

2.23

- $R = r \cdot \log_2 M = 6000 \cdot \log_2 2 = 6000 \text{ bps}$
- $R = r \cdot \log_2 M = 6000 \cdot \log_2 4 = 12000 \text{ bps}$
- $R = r \cdot \log_2 M = 6000 \cdot \log_2 8 = 18000 \text{ bps}$

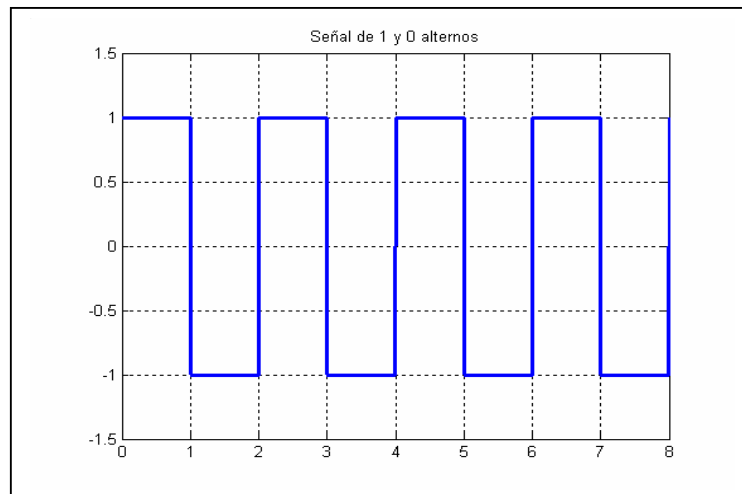
2.24 $R = 1/T_b \Rightarrow T_b = 1/R$

a. $T_b = 1/2400 \text{ bps} = 4,16 \cdot 10^{-4} \text{ seg} = 0,000416 \text{ seg} = 0,416 \text{ mseg.} = 416 \mu\text{seg}$

b. $T_b = 1/56000 \text{ bps} = 1,785 \cdot 10^{-5} \text{ seg} = 17,85 \cdot 10^{-6} = 17,85 \mu\text{seg} = 0,01785 \text{ mseg}$

c. $T_b = 1/10 \text{ Mbps} = 1/10 \cdot 10^6 \text{ bps} = 0,1 \cdot 10^{-6} \text{ seg} = 0,1 \mu\text{seg}$

2.25 $R = 1/T_b$



a) $R = 1/10 \text{ mseg.} = 1/10 \cdot 10^{-3} = 0,1 \cdot 10^3 = 0,1 \text{ Kbps} = 100 \text{ bps.}$

b) $R = 1/0,1 \mu\text{seg} = 1/0,1 \cdot 10^{-6} = 10 \cdot 10^6 = 10 \text{ Mbps} = 10.000.000 \text{ bps.}$

2.26 Para la señal del punto anterior se vio en la clase teórica que el desarrollo en serie de Fourier, no tiene (por la simetría impar de la función), términos coseno y tampoco están presentes los términos seno pares. Por otra parte el valor medio o componente de continua es igual a cero. Luego el desarrollo en Serie queda:

$$b_1 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_0) + b_1/3 \cdot \sin(3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_0) + b_1/5 \cdot \sin(5 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_0) + \dots$$

donde b_1 es la amplitud de la primera armónica o fundamental y es aproximadamente igual a la amplitud del pulso binario es decir 3 V y f_0 es la frecuencia de la primera armónica o fundamental que coincide con la frecuencia de la señal periódica dada.

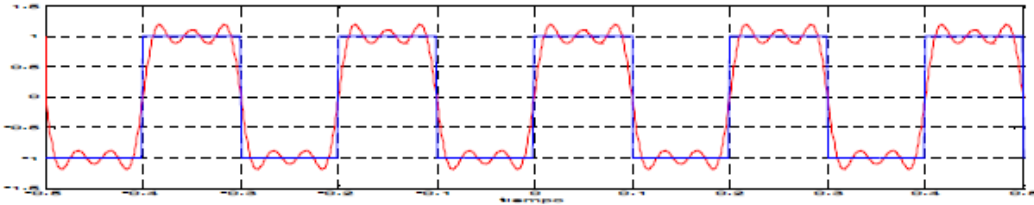
El período de la señal binaria es $T = 2 \cdot T_b$, luego:

$T = 20$ mseg. y $f_0 = 1/T = 1/20 * 10^{-3} \text{ seg} = 0,05 * 10^3 \text{ Hz} = 50 \text{ Hz}$. (para el punto a).

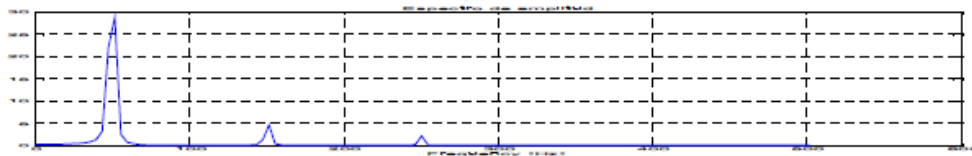
En consecuencia

$$f(t) = 3 * \text{sen}(2 * \pi * 50) + 1 * \text{sen}(3 * 2 * \pi * 50) + 3/5 \text{sen}(5 * 2 * \pi * 50).$$

Su representación en el tiempo será:



Y su espectro de frecuencia:



Donde la última gráfica se obtuvo mediante la transformada rápida de Fourier (fft).

- 2.27** Para la parte a) resuelta en el ejercicio 2.26 se calculó una frecuencia fundamental $f_0 = 50 \text{ Hz}$. Luego la séptima armónica será $7 * f_0 = 350 \text{ Hz}$. Por lo tanto el ancho de banda necesario para dejar pasar todas las armónicas hasta la séptima será $350 \text{ Hz} - 50 \text{ Hz} = 300 \text{ Hz}$. (Utilizamos en este ejercicio la definición de ancho de banda absoluto).
- 2.28** El ancho de banda del primer nulo es igual a la inversa de la duración del pulso o en forma equivalente a la velocidad de señalización. Por lo tanto si el tiempo de duración del pulso (p o τ) es de 10 mseg , entonces $r = 1/p = 1/10 * 10^{-3} \text{ seg} = 0,1 * 10^3 \text{ baudios} = 100 \text{ baudios}$. Y el ancho de banda del primer nulo o del primer cruce por cero $B = 100 \text{ Hz}$.
- 2.29** Atenuación $\text{dB} = 10 \log_{10} (P_s/P_e)$; donde $P_s =$ Potencia recibida y $P_e =$ Potencia transmitida.
Luego $10 \log_{10} (60 \text{ mW}/100 \text{ mW}) = 10 \log_{10} (0,6) = 10 * -0,221 = -2,21 \text{ dB}$.
- 2.30** Puesto que la atenuación sufrida por la señal hacia que esta fuera recibida con un valor de 60 mW , la ganancia del amplificador medida en dB será:
 $10 \log_{10} (80 \text{ mW}/60 \text{ mW}) = 10 \log_{10} (4/3) = 1,25 \text{ dB}$
- 2.31** $P_s/P_e = 10^{x\text{dB}/10}$. Luego $P_s = P_e * 10^{x\text{dB}/10} = 0,5 \text{ W} * 10^{-8\text{dB}/10} = 0,5 \text{ W} * 10^{-0,8} = 0,5 \text{ W} * 0,158 = 0,079 \text{ W}$ $\text{dBm} = 10 * \log_{10} (P/1\text{mW}) = 10 * \log_{10} (79 \text{ mW}/1\text{mW}) = 10 * \log_{10} (79) = 10 * 1,987 = 19,87 \text{ dBm}$.

Cual será el valor $0,5 \text{ W}$ en dBm ? Que conclusiones sacó?

- 2.32** Si la atenuación es de 22dB/Km y la señal recorrió 2 Km significa que la atenuación total fue de: $22 \text{ dB/Km} * 2 \text{ Km} = 44 \text{ dB}$.
 Por lo tanto si la señal transmitida es de 300 mW, se tiene que:
 $P_s/P_e = 10^{x\text{dB}/10}$.Luego $P_s = P_e * 10^{x\text{dB}/10}$ $P_s = 300 \text{ mW} * 10^{-44\text{dB}/10} = 0,0119 \text{ mW}$

TEMA 3 :

TEORÍA DE LA INFORMACIÓN

Objetivo: comprender la transmisión de información a través del fenómeno de representación de 0 y 1, y sus distintas formas de medición.

- 3.1** Explique el teorema fundamental de la información (Teorema de Shannon) y su aplicación en el campo de las comunicaciones.
- 3.2** Explique Entropía e indique su aplicación en el campo de las comunicaciones
- 3.3** ¿Qué relación existe entre tasa de información y ancho de banda en un canal de comunicaciones?
- 3.4** Diferencie entre bit y binit. ¿Cuándo valen lo mismo? ¿Por qué?
- 3.5** Diferencie entre “bps” y “Baudio”. ¿Dónde se aplica cada uno?
- 3.6** Defina capacidad de canal. ¿Qué diferencia existe entre en el cálculo de capacidad para un canal digital y para uno analógico?
- 3.7** Calcular la información asociada a la caída de una moneda (suceso estadísticamente independiente).
 $P = 1/2$; $I = \log_2 (1/P) \Rightarrow I = 1$
- 3.8** Calcular la información entregada por la aparición de una letra entre 32 equiprobables.
 $P = 1/32$; $I = \log_2 (1/32) \Rightarrow I = 5$
- 3.9** Supongamos que una fuente produce los símbolos A, B, C y D con probabilidades $1/2$, $1/4$, $1/8$ y $1/8$ respectivamente :
 a) Calcular la información en cada caso
 b) Si los símbolos son independientes, calcular los bits de información del mensaje BACA
 Respuesta:
 a) $I_1 = 1$; $I_2 = 2$; $I_3 = 3$ y $I_4 = 3$.
 b) $P(\text{BACA}) = P_2 * P_1 * P_3 * P_1 \Rightarrow I(\text{BACA}) = \log_2 (1/P(\text{BACA})) = 7 \text{ bits}$.
- 3.10** Calcular la probabilidad que aparezcan 3 caras consecutivas en la tirada de una moneda y su información asociada.
 Respuesta: la probabilidad es $1/8$ y la información asociada es 3bits
- 3.11** De un mazo de 40 cartas españolas se extrae una carta. Si me informan que es de “oro”; ¿cuantos bits de información recibí? ¿Qué información adicional es necesaria para especificar la carta?
 Respuesta:
 La probabilidad de que salga cualquier carta es: $P_1 = 1/40 \Rightarrow I(P_1) = \log_2 (40) = 5.322$
 La probabilidad de que salga una de oro es: $P_2 = 1/4 \Rightarrow I(P_2) = \log_2 (4) = 2$
 La probabilidad que salga cualquier número de carta dentro de ORO es de oro:
 $P_3 = 1/10 \Rightarrow I(P_3) = \log_2 (10) = 3.322$

Entonces: si la carta sale ORO, la información es 2 bits; si sale un número en particular siendo de ORO, la información es 3.322 bits.

- 3.12** Una fuente produce 5 símbolos con probabilidades $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$ y $\frac{1}{16}$. Calcular la información promedio o entropía H.

Respuesta:

$$P_1 := \frac{1}{2} \quad P_2 := \frac{1}{4} \quad P_3 := \frac{1}{8} \quad P_4 := \frac{1}{16} \quad P_5 := \frac{1}{16}$$

$$H := \sum_{i=1}^5 P_i \cdot \log_2 \left(\frac{1}{P_i} \right) \quad H = 1.875$$

- 3.13** Una fuente posee los símbolos A, B, C y D, con probabilidades $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ y $\frac{1}{8}$ respectivamente. Se solicita:

- Calcular la información del mensaje de tres símbolos $X=BDA$, suponiendo que son estadísticamente independiente.
- Calcular la entropía del mensaje $X = BDA$
- Determine la información promedio por símbolo para el código de los cuatro eventos A, B, C y D.
- Determine la entropía si los cuatro símbolos fuesen equiprobables.

Respuesta: a) 6 bits; b) 1.375 bits/símbolo; c) 1.75 bits/símbolo; d) 2 bits/símbolo.

- 3.14** Calcular la información en el experimento de arrojar un dado, suponiendo que los eventos (puntos en cada cara) son igualmente probables.

Respuesta: 2.585 bits.

- 3.15** Repetir el ejercicio anterior, pero considerando que se asignan probabilidades a las caras del dado (calcular la información promedio o entropía) :

$$P(1) = 0.10; P(2) = 0.20; P(3) = 0.25; P(4) = 0.30; P(5) = 0.05 \text{ y } P(6) = 0.10$$

Respuesta: $H = 2.366$ bits/símbolo.

- 3.16** En una universidad que utiliza calificaciones A, B, C, D y F, se sabe que el profesor de cierto curso asigna al 40 % de los estudiantes la calificación C y a un 5% la F. ¿Cuánta información, en bits, se transmite a los padres de un estudiante cuando se les informa (sin tener información previa) que la calificación de un curso es :

- C
- no es F
- F

Respuesta:

40% alumnos de un curso \longrightarrow C
 5% alumnos de un curso \longrightarrow F
 55% restante de un curso \longrightarrow A, B, D

- $P = 2/5 \Rightarrow I = \log_2 (5/2) = 1.322$ bits.
- $P = 95/100 \Rightarrow I = \log_2 (100/95) = 0.074$ bits.
- $P = 1/20 \Rightarrow I = \log_2 (20) = 4.322$ bits.

- 3.17** Un código dado tiene seis mensajes con probabilidades $P(A)=\frac{1}{2}$, $P(B)=\frac{1}{4}$, $P(C)=\frac{1}{8}$, $P(D)=\frac{1}{16}$, $P(E)=\frac{1}{32}$, $P(F)=\frac{1}{32}$:

- Determinar la entropía del código.
- Suponiendo independencia estadística, encontrar la información en los mensajes: $X_1 = BABC$ y $X_2 = FDEF$

- c) Repetir los puntos a) y b) suponiendo que $P(A)=0.25$; $P(B)=0.22$; $P(C)=0.18$; $P(D)=0.15$; $P(E)=0.12$ y $P(F)=0.08$.

Respuesta: a) $H = 1.938$ bits/símbolo; b) $X_1 = 8$ bits y $X_2 = 19$ bits; c) $H = 2.495$ bits/símbolo, $X_1' = 8.843$ bits y $X_2' = 13.084$ bits.

- 3.18** Determinar la información mutua al sacar una carta de un mazo de 52 barajas. Calcular también la información mutua si se extraen dos cartas, y para el caso en que la carta se reintegre al mazo.

Respuesta:

La información mutua es:

$$P_1 := \frac{1}{52}$$

$$I_1 := \log_2 \left(2, \frac{1}{P_1} \right) \quad I_1 = 5.7$$

Al extraer dos cartas (misma fuente):

$$P_8 := P_1 \cdot P_2$$

$$I_8 := \log_2 \left(2, \frac{1}{P_8} \right) \quad I_8 = 11.401$$

- 3.19** Calcular la tasa de información R de una fuente telegráfica teniendo por probabilidades y duración promedio :

$$P(\text{punto}) = 2/3 \quad P(\text{raya}) = 1/3$$

$$\sigma(\text{punto}) = 0,2 \text{ seg.} \quad \sigma(\text{raya}) = 0.4 \text{ seg.}$$

Respuesta: $R = 3.44$ bps.

$$P_1 = 2/3; P_2 = 1/3 \Rightarrow H = \sum_{i=1}^2 P_i \log_2(1/P_i) = 0.918 \text{ bits símbolo.}$$

$$\sigma = \sum_{i=1}^2 P_i * d_i = 0.267 \Rightarrow R = H / \sigma = 3.44 \text{ bits/símbolo.}$$

- 3.20** Se supone que una tasa de voz normal es de 300 palabras por minuto y que la palabra promedio contiene 6 caracteres considerando que son estadísticamente independientes dentro de una palabra. Calcular la tasa de información en bits, suponiendo 27 letras equiprobables y estadísticamente independientes.

Respuesta:

$$300p \dots \dots \dots 60 \text{seg.}$$

$$1p \dots \dots \dots x = 0.2 \text{seg.}$$

$$1p \dots \dots \dots 6 \text{ caracteres}$$

$$P(\text{caracter}) = 1/27 \Rightarrow I(\text{carácter}) = \log_2 1/P(\text{caracter}) = \log_2 27 = 4.75 \text{ bits}$$

$$\text{Entropía de una palabra } H = 4.75 * 6 = 28.5 \text{ bits/palabra}$$

$$\text{La duración de una palabra } \sigma = 0.2 \text{ segundos/palabra}$$

$$\text{Entonces la tasa de información } R = H / \sigma = \frac{28.5 \text{ bits/palabra}}{0.2 \text{ seg/palabra}} = 142.5 \text{ bis/seg}$$

- 3.21** Una fuente de datos tiene 8 símbolos equiprobables y emite en bloques de tres a una tasa de 1000 bloques por segundo. Si el primer símbolo de cada bloque es siempre el mismo (sincronización) y los dos restantes pueden ser cualquiera de los 8 símbolos de la fuente, Calcular la tasa de información R.

Respuesta: $R = 6000$ bps.

- 3.22** ¿Qué valor de capacidad mínima deberá tener un canal sin ruido si se desea transmitir una señal de 1 W de potencia, si el ancho de banda del canal es de 1 Mhz y la velocidad de transmisión es de 10 Mbps.?

Respuesta:

De acuerdo al Teorema Fundamental de la Teoría de la información la capacidad de canal C, debe ser mayor o igual a la velocidad de transmisión R. Luego la Capacidad mínima deberá ser igual a la velocidad de transmisión que es dato del problema. Luego $C_{min} = 10$ Mbps

- 3.23**Cuál será la máxima velocidad de transmisión a través de un canal digital sin ruido, si el ancho de banda del mismo es de 100 KHz. y se utilizan 16 niveles de tensión distintos para representar la información.

Respuesta:

$C = 2 * B * \log_2 M$, luego $C = 2 * 100 \text{ Mhz} * \log_2 16 = 200 \text{ Mhz} * 4 = 800$ Mbps.

- 3.24**Cuál será la máxima velocidad de transmisión a través de un canal digital sin ruido, si la duración del símbolo es de 10 mseg. y se utilizan 32 niveles de tensión distintos para representar la información.

Respuesta: $C = 2 * B * \log_2 M = r * \log_2 M$ por ser $B_{Niquist} = r/2$,
y siendo $r = 1/p$, se tiene que $r = 1/10 * 10e-3 = 0,1 * 10e3 = 100$ baudios,
de donde $C = 100 \text{ baudios} * \log_2 32 = 100 * 5 = 500$ bps

- 3.25**Cuál será la capacidad de canal de un medio de transmisión cableado si el ancho de banda del mismo es de 1 Mhz y la relación señal/ruido es de 20 dB. ¿Cuál será la máxima velocidad alcanzable en dicho canal si la potencia de la señal es de 3 mW.?

Respuesta:

De acuerdo a la Ley de Shannon-Hartley $C = B * \log_2 (1 + S/N)$; La relación S/N expresada en dB es igual a 20 dB, luego la relación de potencias S/N de la formula surge de $S/N = 10 * x_{dB}/10 = 10 * 20_{dB}/10 = 102 = 100$; de donde se sigue que $C = 1 \text{ Mhz} \log_2 (1 + 100) = 1 \text{ Mhz} * 3,32 * \log_{10} (101) = 6,65$ Mbps

- 3.26** Se tiene una línea telefónica con un ancho de banda de 4 KHz. Si la amplitud de la señal eléctrica es de 10 Voltios y la amplitud del ruido presente en la línea es de 5 mV, se pide:

- La relación señal/ruido expresada en dB
- La máxima velocidad de transmisión de acuerdo a la Ley de Shannon-Hartley

Respuesta:

a) $\text{dB} = 20 \log (V_s/V_e)$ y $V_s/V_e = 10 \text{ xdB}/20$.

Luego $S/N = 20 \log_{10} (10000\text{mV}/5\text{mV}) = 20 \log_{10}(2000) = 66 \text{ dB}$

b) $S/N = 10^{66/10} = 10^{6,6} = 3981071,7$

$C = B * \log_2(1 + S/N) = 4 \text{ KHz} * 3,32 \log_{10} (1 + 3981071,7) = 4 \text{ KHz} * 3,32 * 6,6$

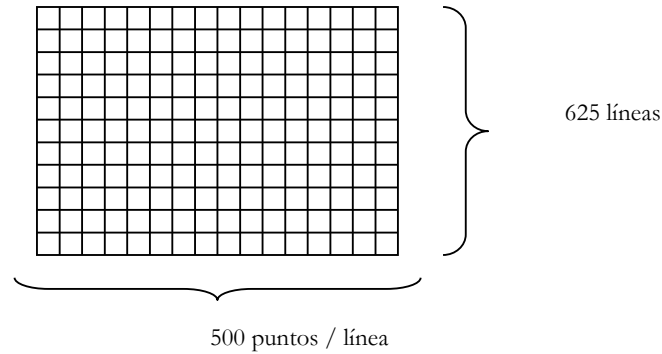
$C = 87,648$ Kbps

TEMA 4:

EJERCICIOS

- 4.1 Una imagen de televisión tiene 625 líneas con 500 puntos por línea y 128 niveles equiprobables de brillo por punto. Si se transmiten 25 imágenes por segundo, determine la velocidad de transmisión del equipo.

SOLUCIÓN:



Cada punto tiene 128 niveles equiprobables de brillo

$$I_{\text{punto}} = \log_2 M = \log_2 128 = 7 \text{ bits}$$

ó

$$I_{\text{punto}} = \log_2 \frac{1}{1/128} = \log_2 128 = 7 \text{ bits}$$

luego:

$$I_{\text{imagen}} = 625 \frac{\cancel{\text{línea}}}{\text{imagen}} \cdot 500 \frac{\cancel{\text{puntos}}}{\cancel{\text{línea}}} \cdot 7 \frac{\text{bits}}{\cancel{\text{punto}}} =$$

$$I_{\text{imagen}} = 2.187.500 \text{ bits} \quad [\text{cantidad de inf. de una imagen}]$$

$$H_{\text{imagen}} = N_{\text{puntos}} * H_{\text{punto}} = [625 * 500] * \log_2 \frac{1}{P_{\text{punto}}} =$$

$$H_{\text{imagen}} = 312500 * \log_2 128 = 312.500 * 7 = 2.187.500$$

$$r = 25 \left(\frac{\text{imagenes}}{\text{segundo}} \right)$$

$$R = \frac{H_{\text{imagen}}}{\sigma} = H_{\text{imagen}} * r = 2.187.500 \left[\frac{\text{bits}}{\text{imagen}} \right] * 25 \left[\frac{\text{imagen}}{\text{segundo}} \right] =$$

$$R = 54.687.500 \text{ bps} \cong 54.7 \text{ Mbps}$$

- 4.2** Si la señal del punto anterior se quiere transmitir a través de un canal con una relación señal/ruido de 30 dB: ¿cuál será el ancho de banda necesario en el canal?

Respuesta:

$$B = 54.907.126 \text{ Hz} \cong 55 \text{ MHz}$$

- 4.3** ¿Se puede transmitir la misma información por un canal con la mitad del ancho de banda del ejercicio anterior? ¿Cómo?

Respuesta:

Si, aumentado la $\frac{S}{N}$ en forma proporcional.

- 4.4** Se quiere transmitir una señal eléctrica de 1000 pulsos binarios por segundo y recibirlos con una baja probabilidad de error. ¿Es posible usar un medio de transmisión con un ancho de banda de 1 Hz? Si es posible, calcule la relación señal ruido.

Respuesta:

No es posible (ley de Nyquist).

- 4.5** ¿Cuántos baudios tiene un tono senoidal de 1000 Hz? ¿Cuántos bits de información lleva?

Respuesta:

2000 baudios, No lleva información (señal periódica)

- 4.6** Un sistema de señalización digital se desea que opere a 9600 bps. a) Si cada elemento de señalización codifica una palabra de 4 bits ¿cuál es el ancho de banda mínimo requerido para el canal? b) Repita el punto anterior para el caso de palabras de 8 bits.

Respuesta:

- a) 2400Hz
b) 1600Hz

- 4.7** Dado un canal con una capacidad pretendida de 20 Mbps y un ancho de banda de 3 Mhz ¿cuál será la relación señal ruido necesaria para lograr dicha capacidad?

Respuesta:

$$\frac{S}{N} = 2^{\frac{20}{3}} - 1$$

- 4.8** Si un amplificador tiene una ganancia de 30 dB. ¿Qué relación de voltajes representa dicha ganancia?

Respuesta:

$$\frac{V_2}{V_1} = 10^{1.5}$$

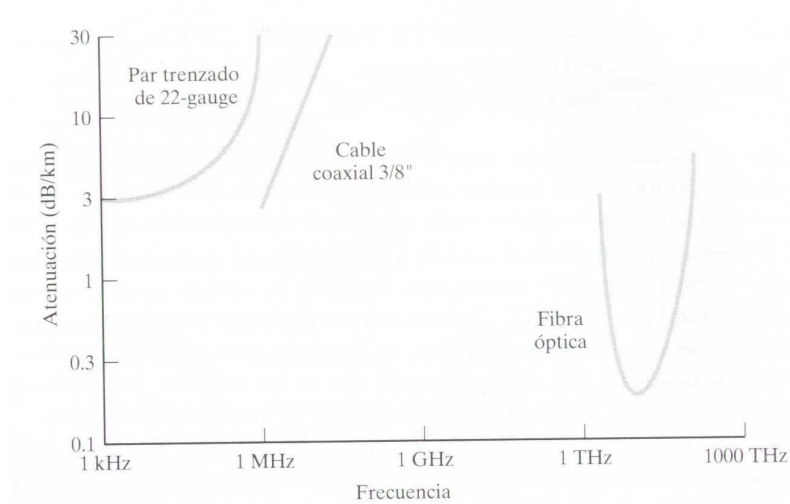
- 4.9** Una línea telefónica con un ancho de banda de 100 kHz tiene una pérdida de 20 dB. La señal de entrada tiene una potencia de 0.5 watt y la potencia de la señal de ruido en la salida es de 2.5 microwatts. Calcule la relación señal/ruido a la salida.

Respuesta:

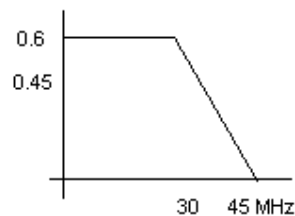
$$\left(\frac{S}{N}\right)_{dB} = 10 \log_{10}(2000)$$

- 4.10** Dada una señal de 100 W de potencia ¿Cuál será la máxima longitud permitida para los siguientes medios de transmisión si se tiene que recibir una señal de 1W?

- 22 gauge par trenzado 1 kHz
- 22 gauge par trenzado 1 MHz
- 0.375 inch cable coaxial a 1 MHz
- 0.375 inch cable coaxial a 1 GHz
- Fibra óptica a su frecuencia óptima



- 4.11** Un par trenzado es aproximadamente un filtro con las características de la siguiente figura. Dicha figura muestra la cantidad de atenuación de la señal en función de la frecuencia. Supongamos que enviamos una señal cuadrada compuesta de 1 y 0, y alternados, donde el uno se codifica con 5 volts y los 0 con -5 volts y donde la duración de cada bit es de 0.1 microsegundos. Encuentre el espectro en frecuencia de la señal a la salida del cable.



- 4.12** Evalúe la capacidad de un canal de una teleimpresora que tiene un ancho de banda de 300 Hz y una SNR de 30 dB.

Respuesta: 2988,43 bps

- 4.13** Supóngase que la terminal de una computadora dispone de un teclado de 110 caracteres y que cada uno se envía por medio de palabras binarias. a) ¿Cuál es el número de bits requeridos para representar cada carácter? b) ¿Qué tan rápido se pueden enviar los caracteres (caracteres/segundo) a través de una línea telefónica cuyo ancho de banda es de 3.2 kHz y una SNR de 20 dB? c) ¿Cuál es el contenido de información de cada carácter si todos tienen la misma probabilidad de ser enviados?

Respuestas:

- a) 7 bits/ch
- b) 21293,91 bps
- c) 7 bits

- 4.14** Una línea telefónica analógica tiene una SNR de 45 dB y transmite frecuencias de audio en el intervalo de 300 a 3200 Hz. Se va a diseñar un modem para transmitir y recibir datos al mismo tiempo (es decir, full-duplex) a través de esta línea sin errores. a) Si se utiliza el intervalo de frecuencias de 300 a 1200 Hz para transmitir la señal ¿cuál es la velocidad máxima de los datos transmitidos? b) Si se utiliza el intervalo de frecuencias de 1500 a 3200 Hz para recibir la señal ¿cuál es la velocidad máxima de los datos recibidos? c) Si se utiliza un circuito híbrido para transmitir simultáneamente en el intervalo de frecuencias de 300 a 3200 Hz ¿cuáles son las velocidades máximas de los datos transmitidos y recibidos?

Respuestas:

- a) 13446 bps
- b) 25398 bps
- c) 43326 bps

- 4.15** Se conecta un transmisor a una resistencia de 75 Ohms. Un wattímetro (aparato de lectura de potencia) de 67 W. ¿Cuál es la potencia expresada en dBm. (NOTA: un dBm es un dB referido a un mW o miliwattio). Grafique un esquema referido al planteamiento del problema.

Respuesta:

$$10 \log_{10} (67 * 10^3)$$

- 4.16** El voltaje o la tensión entre los terminales de una antena de 300 Ohms de un receptor de FM es de 3.5 microVolts. a) determine la potencia de entrada (watts); b) evalúe la potencia de entrada (dBm); c) cuál será el voltaje de entrada (microwatts) con la misma potencia de entrada si la resistencia de entrada es de 57 Ohms en lugar de 300 Ohms.

Respuestas:

- a) $4.083 \cdot 10^{-14}$ w
- b) -103.89 dBm
- c) $2.12 \cdot 10^{-13}$ w

- 4.17** Un sistema de comunicación de niveles múltiples debe operar a una velocidad de transmisión de 9600 bps. Si cada nivel codifica palabras de 14 bits para transmitirlos a través del canal: a) ¿cuál será el ancho de banda mínimo requerido en el canal?; b) repita el caso anterior de codificación con 8 bits en cada nivel.

Respuestas:

- a) 342.85 hz
- b) 600 hz

- 4.18** Un sistema de fax transmite una imagen que posee 250 líneas horizontales y 200 puntos por línea. Si cada punto puede tomar 32 niveles de brillo equiprobables calcular la información de una imagen.
Si la imagen una vez explorada se almacena eléctricamente en una memoria y se transmite a 208,33 bits/seg. ¿Cuánto tiempo se tarda en transmitirla?
- 4.19** Una fuente de datos tiene 16 símbolos equiprobables cada uno de 1 mseg. De duración. Los símbolos se emiten en bloques de a 15, separados por un pulso de sincronismo de 5mseg. Calcular R y r.
- 4.20** Un sistema de facsímil transmite una imagen que tiene 250 líneas horizontales y 200 puntos por línea. Si cada punto puede tomar 32 niveles equiprobables de brillo, calcular la información de la imagen. Si la imagen una vez explorada se almacena eléctricamente en una memoria y se envía por un canal de transmisión a 208.33 bit/seg. ¿Cuánto tiempo se tarda en transmitirla?
- 4.21** Calcular la capacidad necesaria de un canal, para transmitir imágenes de TV digitalizadas, suponiendo una razón señal ruido de 50dB y un ancho de banda de transmisión de 5MHz.
- 4.22** Una línea telefónica estándar de voz analógica tiene un ancho de banda útil para transmisión de datos cercano a 2400 Hz. Si se puede mantener una S/N = 30 dB, ¿cuál es la capacidad del canal?
- 4.23** ¿Cuál es el tiempo mínimo necesario para la transmisión por facsímil de una imagen por un circuito telefónico normal? Deben transmitirse cerca de 2.25×10^6 elementos de imagen y utilizarse alrededor de 12 niveles de brillantez para una buena reproducción. Suponer que todos los niveles de brillantez para una buena reproducción. Suponer que todos los niveles de brillantez son equiprobables y que el circuito telefónico tiene un ancho de banda de 3 kHz y una relación de señal ruido de 30 dB (parámetros típicos).
- 4.24** Se desea transmitir un archivo de texto codificado en ASCII. Si el archivo en cuestión tiene 2500 caracteres, que tiempo se tardará en transmitir dicho archivo si la transmisión se realiza utilizando un MODEM de 14400 bps o un cable UTP Cat 5 utilizando Ethernet (10 Mbps).

Respuesta:

El tamaño del archivo medido en bytes será: $2500 * 8 = 20000 \text{ bytes} = 160000 \text{ bits}$
 $R = I [\text{cantidad de información}] / \text{tiempo} [\text{seg}]$. Luego tiempo de transmisión $t = I/R$
 Para el Modem a 14400 bps: $t = 160000 \text{ bits} / 14400 \text{ bps} = 11,11 \text{ seg}$
 Para Ethernet a 10 Mbps: $t = 160000 / 10 * 10^6 \text{ bps} = 0,016 \text{ seg}$.

Resolución de los Ejercicios

Ejercicio N° 4.2:

De acuerdo con la Ley de Shannon-Hartley

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

En la formula $\frac{S}{N}$ esta dada como relación de potencia $\left[\frac{\omega}{\omega} \right]$, luego debemos pasar a nuestros datos que están en dB a esta forma. Recordando que

$$x[dB] = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow 10^{\frac{x}{10}}$$

$$\text{Luego: } \frac{S}{N} = 10^{\frac{30}{10}} = 10^3 = 1000$$

Se debe cumplir que $C \geq R$. Tomando el límite inferior.

$$R = B \log_2 (1 + 1000), \text{ luego } B = \frac{R}{\log_2 (1001)}$$

sabiendo que $\log_2 a = 3,32 \log_{10} a$

$$B = \frac{R}{3,32 \log_{10} (1001)} = \frac{54.687.500}{3,32 \cdot 3} = 54.907.126 \text{ Hz} \cong 55 \text{ MHz}$$

Ejercicio N° 4.3:

Si, aumentado la $\frac{S}{N}$ en forma proporcional.

Ejercicio N° 4.4:

No es posible (ley de Nyquist).

Ejercicio N° 4.5:

2000 baudios, No lleva información (señal periódica)

Ejercicio N° 4.6:

$$C = 2W \log_2 M$$

$$A)_ W = \frac{C}{2 \log_2 M} = \frac{9600}{2 \log_2 4} = \frac{9600}{2 \cdot 2} = 2400 \text{ Hz}$$

$$B)_ = \frac{9600}{2 \cdot 3} = \frac{9600}{6} = 1600 \text{ Hz}$$

Ejercicio N° 4.7:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad ; \quad 20 \text{Mbps} = 3 \text{Mhz} \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$\frac{20}{3} = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad \rightarrow \quad 20^{\frac{20}{3}} = 1 + \frac{S}{N}$$

$$2^{\frac{20}{3}} - 1 = \frac{S}{N}$$

Ejercicio N° 4.8:

$$30 \text{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 \log_{10} \frac{V_2^2 / R}{V_1^2 / R} = 10 \log_{10} \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2$$

$$30 = 20 \log_{10} \frac{V_2}{V_1} \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = 10^{1.5}$$

Ejercicio N° 4.9:

$$P_{\text{entrada}} = 0.5 \omega$$

$$20 \text{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_{\text{entr}}}{P_{\text{salida}}} \rightarrow \frac{P_{\text{entr}}}{P_{\text{salida}}} = 10^{\frac{20}{10}} = 10^2 = 100$$

$$P_{\text{salida}} = \frac{P_{\text{entr}}}{100} \rightarrow \frac{0.5 \omega}{100} = 0.005 \omega = 5 \text{m} \omega$$

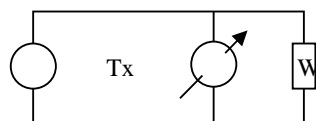
$$N_{\text{salida}} = 2.5 \mu \omega$$

$$\left(\frac{S}{N} \right)_{\text{salida}} = \frac{5 \text{m} \omega}{2.5 \mu \omega} = \frac{5 \cdot 10^3 \mu \omega}{2.5 \mu \omega} = 2000$$

$$\left(\frac{S}{N} \right)_{\text{dB}} = 10 \log_{10} (2000)$$

Ejercicio N° 4.11:

$$f(t) = 20/\pi [\text{sen}(10\pi t) + 0.2 \text{sen}(30\pi t) + 0.12 \text{sen}(50\pi t) + 0.028 \text{sen}(70\pi t)]$$

Ejercicio N° 4.15:

$$R = 75 \Omega$$

$$\begin{aligned}
 W = 67\omega \quad dBm &= 10\log \frac{P_x}{1m\omega} = \\
 &= 10\log_{10} \frac{67 \cdot 10^3 m\omega}{1m\omega} = 10\log_{10} 67 \cdot 10^3
 \end{aligned}$$

Ejercicio N° 4.18:

a) La información contenida en un punto de la imagen es

$$I = \log_2 32 = 5 \text{ bits}$$

la imagen posee 250 líneas por 200 puntos en cada línea = 50.000 puntos, por lo tanto

$$H(s) = I(s) \max = 50.000 \times 5 = 250.000 \text{ bits / imagen}$$

b) Si se transmiten 208,33 bits en 1 segundo, entonces 250.000 bits tardarán $250.000 / 208,33 = 1.200,2$ segundos (aproximadamente 20 minutos).

Ejercicio N° 4.19:

a) $R = H(s) / \phi$ siendo R la tasa de información, H la entropía de la fuente (s) y ϕ la duración promedio de los símbolos, o también:

$R = H(s) \times r$ siendo r la velocidad de señalización en baudios = $1/\phi$.

La entropía de una fuente de memoria nula con elementos equiprobables es igual a la entropía máxima de una fuente: $H(s)_{\max} = \log_2 s = \log_2 16 = 4$ bits/binit

Como se transmiten bloques de 15 símbolos entonces la información por bloque será: $15 \times 4 = 60$ bits/bloque. Pero cada bloque envía 16 símbolos siendo la Información del sincronismo = 0. Por ello la H –entropía- (o información **promedio** de la fuente) resulta:

$$H = 60/16 = 3,75 \text{ bits/binit}$$

ϕ = duración **promedio** de los símbolos = $0,020 / 16 = 0,00125$ seg.

$R = H(s) / \phi$ pero “ ϕ ” será = 0,00125 (segundos/binit) entonces

$$R = 3,75 \text{ (bit/binit)} / 0,00125 \text{ (segundos/binit)} = 3.000 \text{ bits/seg}$$

b) $r = 1 / \phi$ Entonces $r = 1 / 0,00125 = 800$ (binit/seg) es decir:

$$r = 800 \text{ baudios.}$$

Ejercicio N° 4.21:

$$S := 50$$

$$B := 5000 \quad V := 10^{\frac{S}{10}}$$

$$C := B \cdot \log_2(2, (1 + V)) \quad C = 8.305 \cdot 10^4$$

La capacidad es de 83.05Mbps.

Ejercicio N° 4.22

$$S := 30$$

$$B := 2400 \quad V := 10^{\frac{S}{10}}$$

$$C := B \cdot \log_2(2, (1 + V)) \quad C = 2.392 \cdot 10^4$$

La capacidad es de 23.92Kbps.

Ejercicio N° 4.23

$$\text{Imagen} = 2.25 * 106 * 3.585 = 85.502\text{Kb}$$

$$S := 30$$

$$B := 3000 \quad V := 10^{\frac{S}{10}}$$

$$C := B \cdot \log_2(2, (1 + V)) \quad C = 2.99 \cdot 10^4$$

Transferencia = 85.502Kb / 30Kbps = 2.85seg.

TEMA 5 :**CODIFICACIÓN**

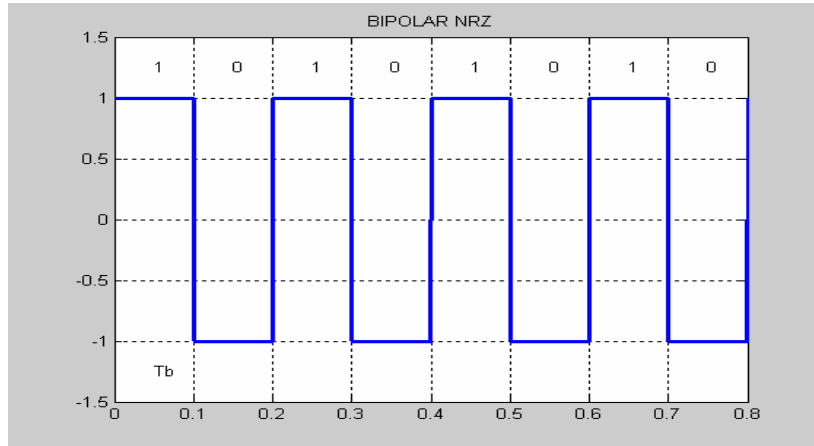
Objetivo: comprender la transmisión de información a través de señales digitales, aplicando distintos tipos de códigos de línea.

- 5.1** ¿A qué se conoce con el nombre de transmisión en banda base?
- 5.2** ¿A qué se denomina código de línea?
- 5.3** ¿Cuáles son los distintos tipos de códigos de línea que conoce?
- 5.4** Por un canal de comunicaciones se transmite un tren de pulsos binarios (1's y 0's) alternos. Si se los codifica en NRZ bipolar con + 5V y 0V respectivamente y el tiempo de duración de un bit es de 0,1 mseg, Se pide:
 - a) Grafique los 8 primeros pulsos en un diagrama amplitud-tiempo.

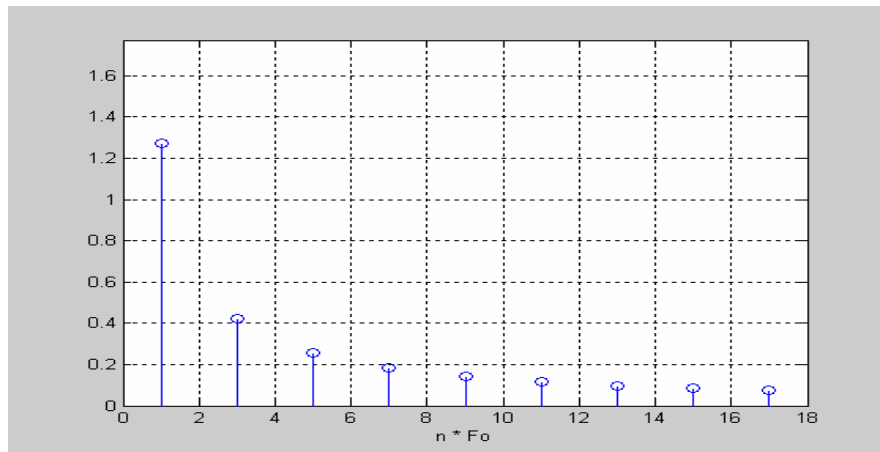
- b) Esquematice el espectro de frecuencia de dicha señal digital
 c) Calcule la velocidad de transmisión y la velocidad de señalización. Cuáles son las tres categorías de conversión de digital a digital? ¿En qué se diferencian?

Respuestas:

a)



b)



c)

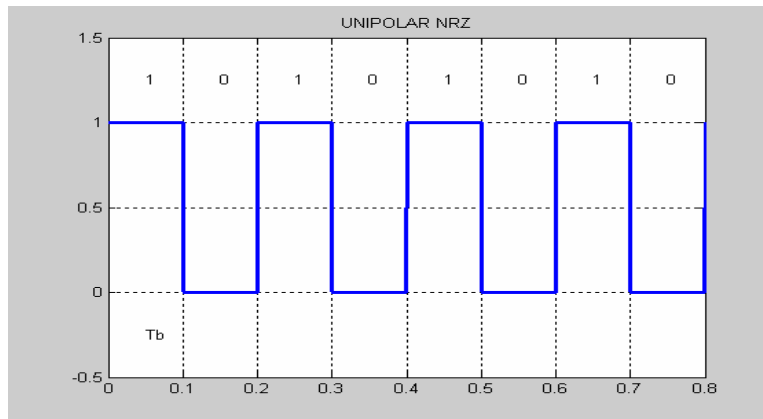
$$R = 1/T_b \Rightarrow R = 1/0,1 \cdot 10^{-3} \text{ seg.} = 10 \cdot 10^3 \text{ bps} = 10 \text{ Kbps} = 10.000 \text{ bps}$$

$$r = 1/p \text{ siendo } p = \text{ancho del pulso. Como } p = T_b \Rightarrow r = 1/p = 10.000 \text{ baudios}$$

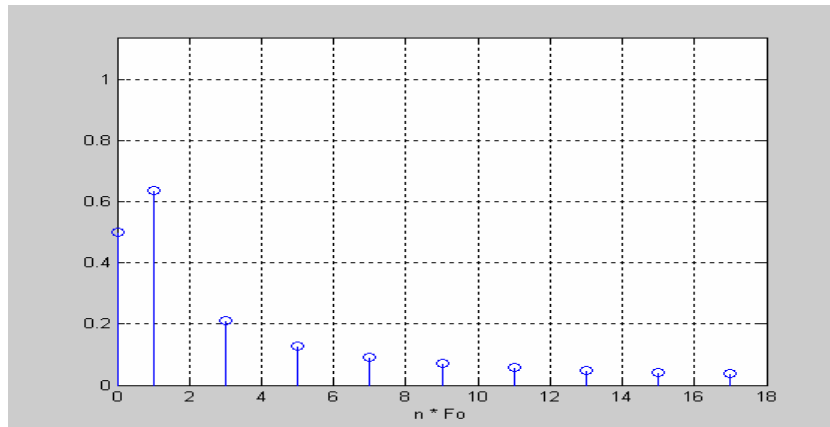
- 5.5** Por un canal de comunicaciones se transmite un tren de pulsos binarios (1's y 0's) alternos. Si se los codifica en NRZ unipolar con +5V y -5V respectivamente y el tiempo de duración de un bit es de 0,1 mseg, Se pide:
- Grafique los 6 primeros pulsos en un diagrama amplitud-tiempo.
 - Esquematice el espectro de frecuencia de dicha señal digital
 - Calcule la velocidad de transmisión y la velocidad de señalización

Respuestas:

a)



b)



c)

$$T = 2 * T_b; f_0 = 1/T = 1/2 * 0,1 \text{ mseg} = 1/0,2 \text{ mseg} = 50 * 10^3 = 50 \text{ Khz.} = 50.000 \text{ Hz.}$$

5.6 Para los ejercicios 5.4 y 5.5 responda los puntos a), b) y c) suponiendo que el tiempo de duración de un bit es de 0,01 microsegundo.

5.7 Calcule utilizando la transformada de Fourier el espectro de frecuencia de un pulso binario de duración T_b . Represente el pulso en una gráfica amplitud-tiempo y su representación gráfica en frecuencia.

Respuesta:

La definición de la señal en el dominio del tiempo es

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{para } t < -T_b/2 \\ 1 & \text{para } -T_b/2 < t < T_b/2 \\ 0 & \text{para } T_b/2 < t \end{cases} \quad \text{suponiendo la amplitud } A=1$$

Por definición, la transformada de Fourier es igual a:

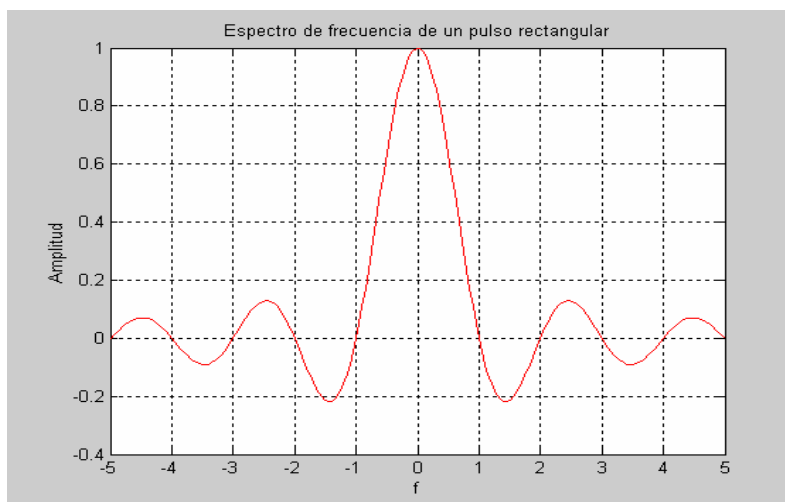
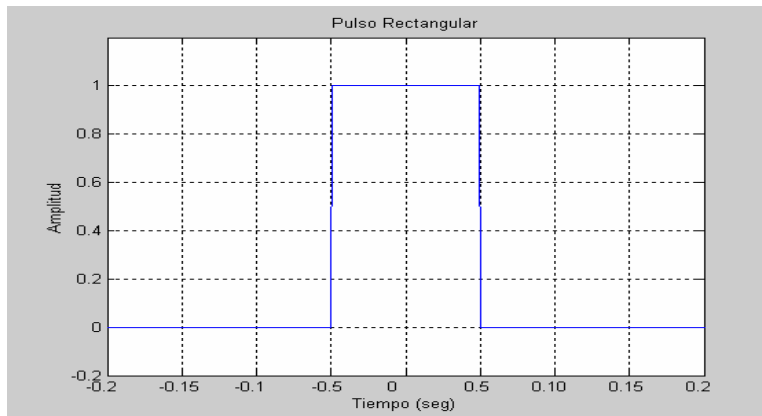
$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt = \int_{-T_b/2}^{T_b/2} e^{-j\omega t} dt \quad \text{con } \omega = 2\pi f$$

Integrando

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{-j\omega} e^{-j\omega t} \Big|_{-T_b/2}^{T_b/2} \\ &= \frac{1}{-j\omega} (e^{-j\omega T_b/2} - e^{j\omega T_b/2}) \end{aligned}$$

Aplicando fórmulas de Euler

$$F(\omega) = T_b \frac{\text{sen}(\omega T_b / 2)}{\omega T_b / 2}$$

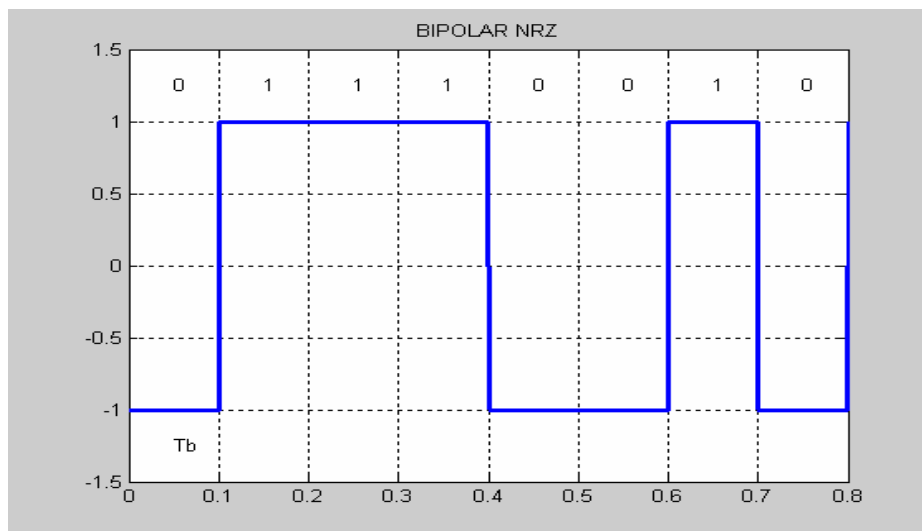
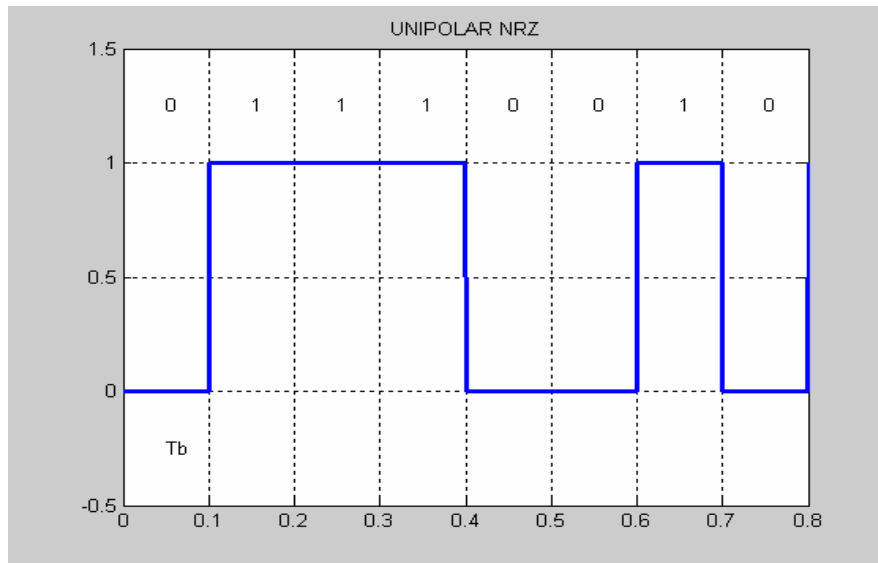


5.8 En los ejercicios 5.4 y 5.5 suponga ahora que el tren de pulsos corresponde a una fuente de datos aleatorios cuyos 8 primeros bits son: 01110010. Se pide:

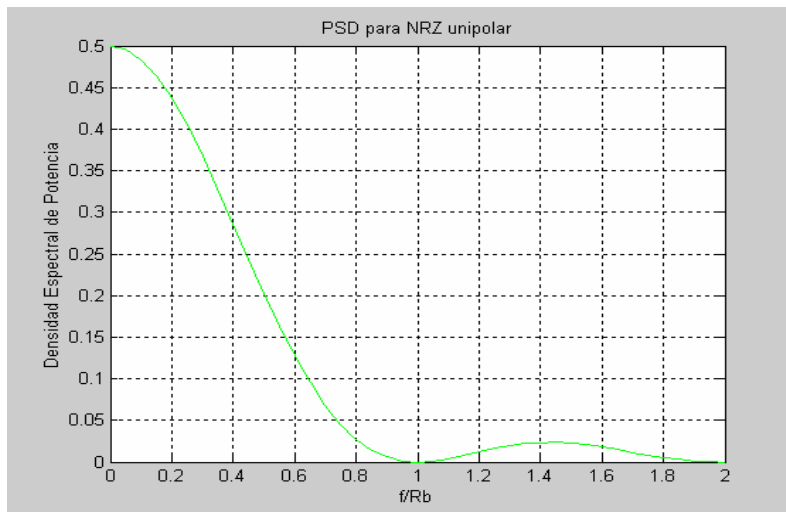
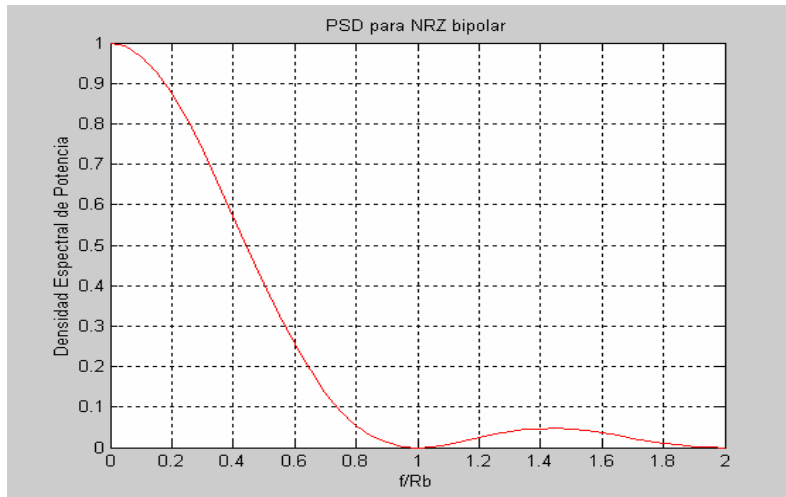
- Grafique los 8 primeros pulsos en un diagrama amplitud-tiempo.
- Esquematice la densidad espectral de potencia (PSD) de dichas señales.
- Calcule la velocidad de transmisión y la velocidad de señalización

Respuestas:

a)



b)

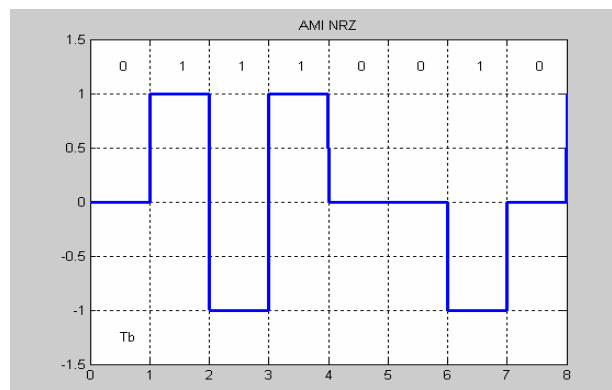


5.9 Para la serie transmitida en el punto 5.8, grafique la señal en los siguientes códigos de línea:

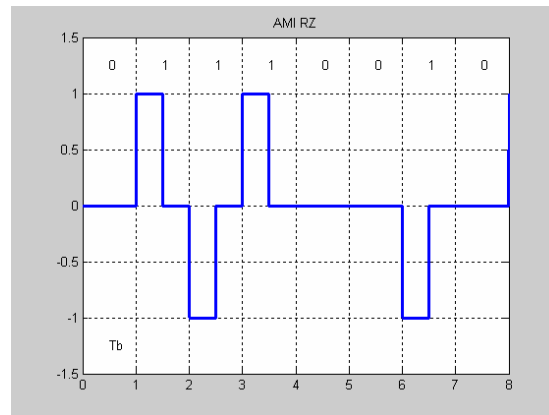
- AMI
- AMIRZ
- RZ (con un idle-time igual al 50% de T_b)
- Manchester.

Respuestas:

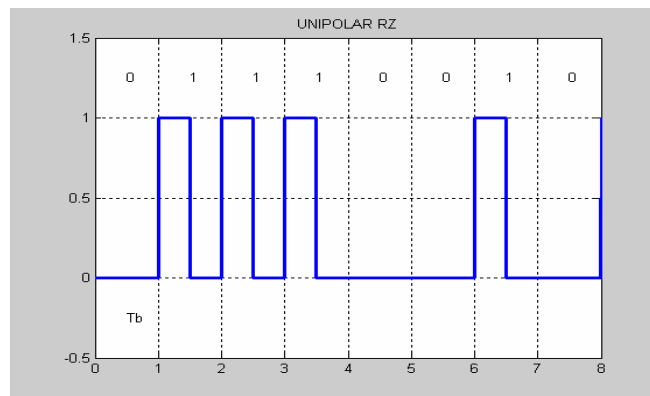
a)



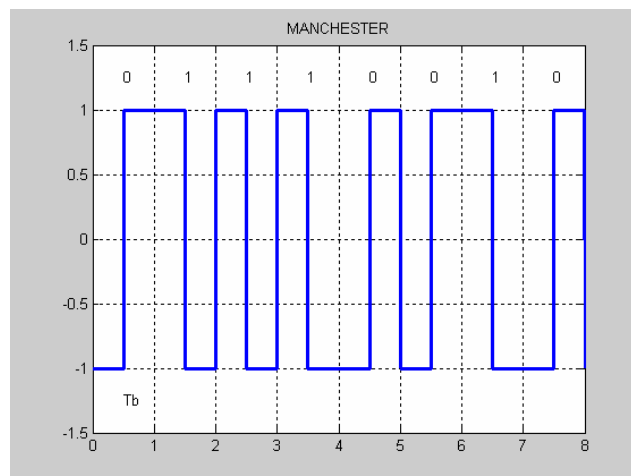
b)



c)



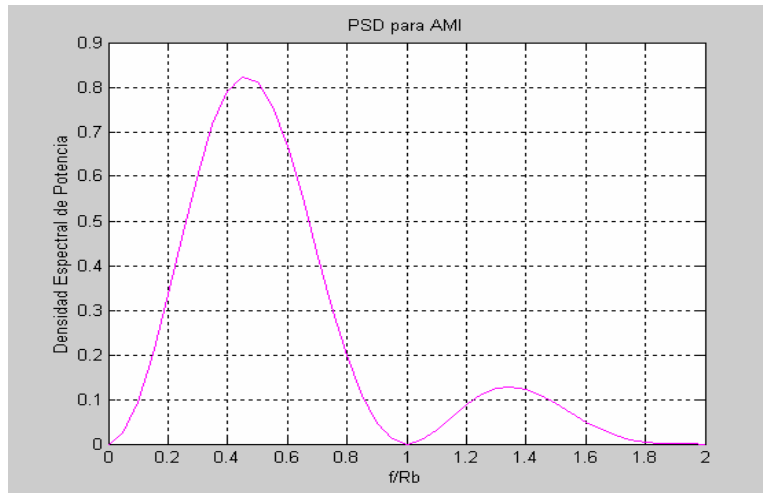
d)



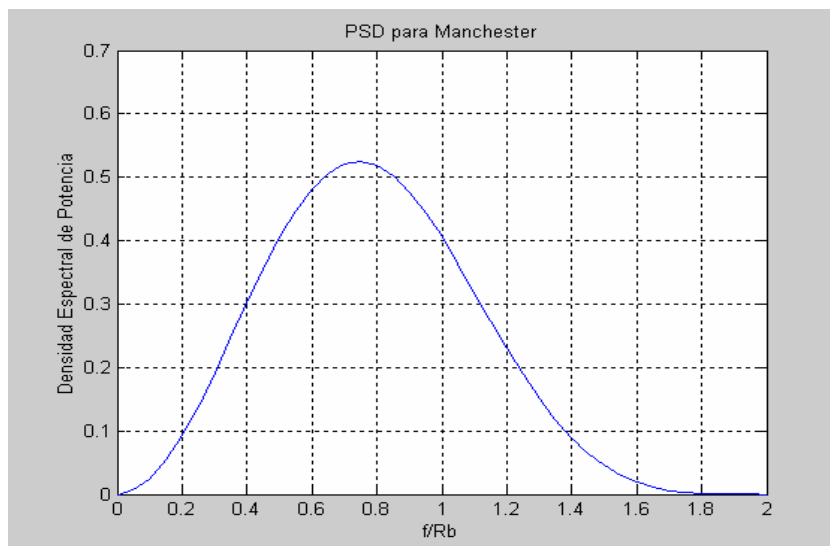
5.10 Para los códigos de línea del ejercicio 5.9 calcule R , r , el ancho de banda del primer nulo y el ancho de banda de Nyquist, si el $T_b = 1$ microsegundo. En cada caso grafique su PSD.

Respuestas:

a)



d)



5.11 Se desea transmitir información de naturaleza digital a razón de 16 kbps a través de un canal de banda base. Si para la transmisión se utiliza un código binario NRZ unipolar.

- Determine la velocidad de señalización.
- Bosqueje el módulo del espectro de un pulso.
- Estime el ancho de un pulso por el criterio del primer cruce por cero.

5.12 Responda los mismos puntos del ejercicio anterior si se utiliza para la transmisión un código RZ con un ciclo de trabajo del 50 %.

5.13 Para la transmisión de una señal digital en banda base se utiliza un código 2B1Q. Si la velocidad de transmisión se fija en 64 Kbps, cual será el ancho de banda de la señal utilizando el criterio del primer nulo. Determine también el ancho del pulso y esquematice su densidad espectral de potencia.

- 5.14** Realice un cuadro comparativo con las características de los códigos de línea NRZI y Manchester Diferencial. Esquematice la densidad espectral de potencia de ambos códigos.
- 5.15** Para los códigos del ejercicio 5.9, calcule el rendimiento o eficiencia espectral en cada caso.

PCM

- 5.16** Cuáles serán las mínimas frecuencias de muestreo para señales de voz telefónicas de Audio de alta calidad y de televisión. En cada caso determine el período de muestreo.
- 5.17** Para una señal senoidal, cuyos valores varían entre +V y -V Volts, determine la relación S/N de cuantificación, si la señal se cuantifica mediante M niveles.
- 5.18** Se digitaliza una señal analógica con frecuencias que no superan los 8 Khz. Mediante PCM. Si utilizan 512 niveles de cuantificación, determine la velocidad de transmisión si la señal se muestrea a 1,2 veces la tasa de Nyquist.

Respuesta:

$$R = 1,2 * 2 * 8.000 \text{ Hz} * \log_2 512 = 1,2 * 16.000 * 9 = 172.800 \text{ bps}$$

- 5.19** Se desea digitalizar una señal de audio con componentes espectrales no superiores a 16 Khz. Si se utiliza PCM uniforme y la señal varía entre +5 y -5 V, cuál será el máximo error absoluto cometido en cada muestra, si las mismas se codifican mediante 8 bits. Repita el cálculo si la codificación se realiza con 16 bits. ¿Qué conclusiones obtiene?

Respuesta:

El rango dinámico de la señal es de 10 V. La cantidad de niveles utilizados son $2^n = 2^8 = 256$, por lo tanto el paso de cuantificación $\Delta = 10/256$ y en consecuencia el máximo error absoluto de cuantificación $\Delta/2 = 0,01953125$

- 5.20** Para grabar digitalmente sonido se utiliza PCM uniforme y la señal se ajusta para que sus amplitudes varíen entre +/- 1V. Determine la cantidad de bits necesarios para que la potencia media del ruido de cuantificación no sobrepase los -50 dBW.
- 5.21** Qué medio de almacenamiento utilizaría para almacenar 30 minutos de una conversación telefónica a través de la red telefónica conmutada, si dicha conversación se digitaliza utilizando PCM con 1024 niveles. Justifique su respuesta.
- 5.22** Si la señal del punto anterior, se transmite a través de una red Ethernet de 10 Mbps, cuál será el tiempo de transmisión. (Sin considerar al estructura de la trama).

TEMA 6 :

MODULACIÓN

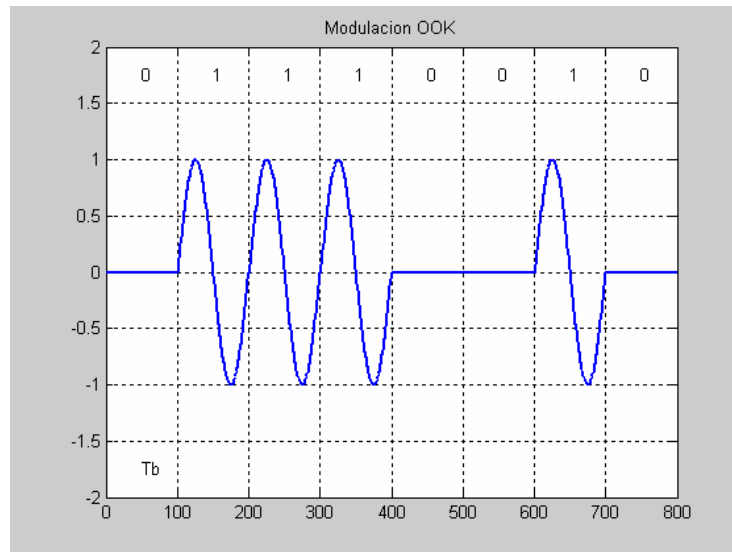
Objetivo: comprender la transmisión de información a través de señales analógicas, aplicando distintos procesos de modulación.

- 6.1** ¿Qué se conoce con el nombre de Modulación?

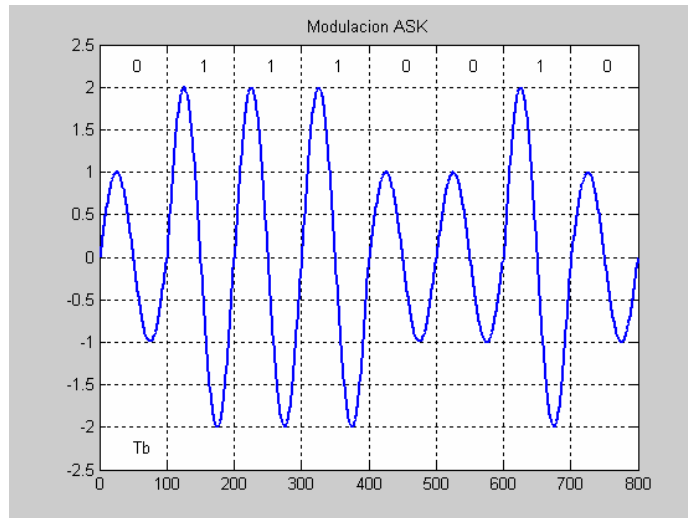
- 6.2 ¿Qué diferencia existe entre Modulación y Codificación?
- 6.3 Diferencie entre Modulación digital y Modulación analógica.
- 6.4 El mensaje digital del punto 5.8, se modula utilizando OOK, ASK, BPSK y QPSK y FSK. Grafique en cada caso la señal modulada en el plano temporal.

Respuestas:

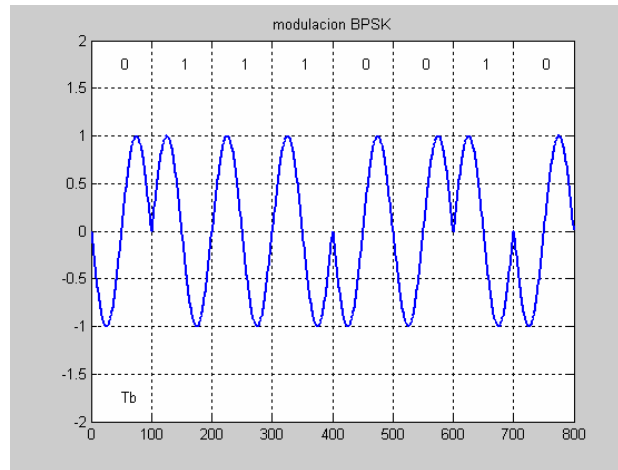
a) OOK



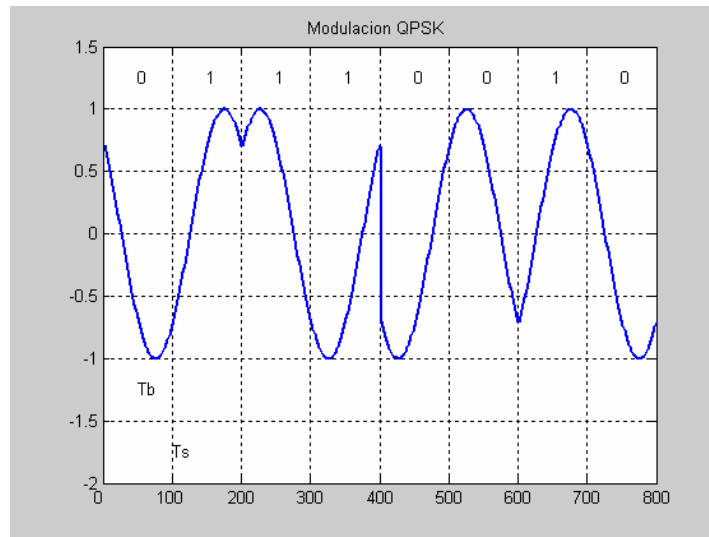
b) ASK



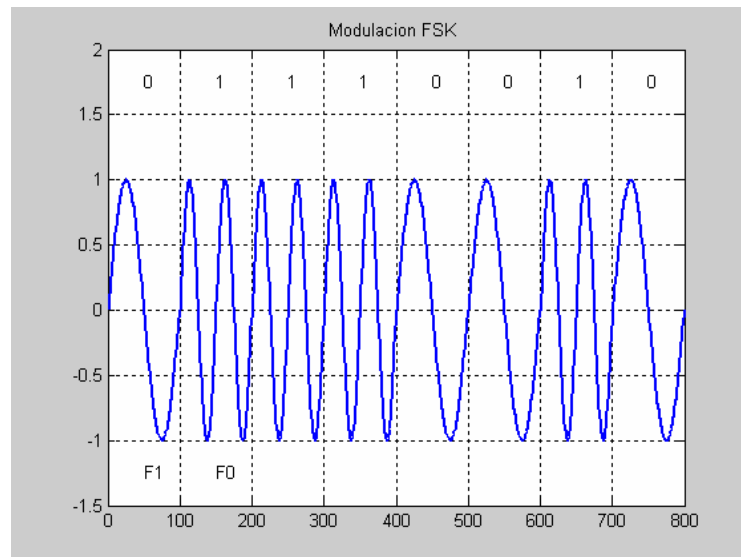
c) BPSK



d) QPSK

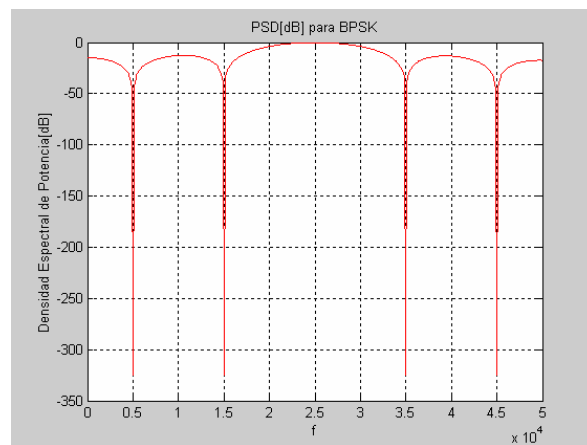
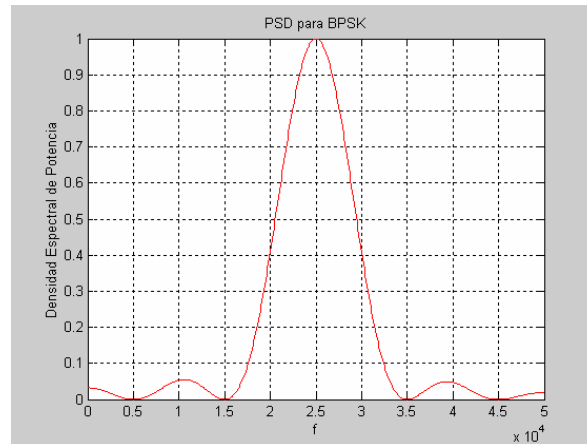
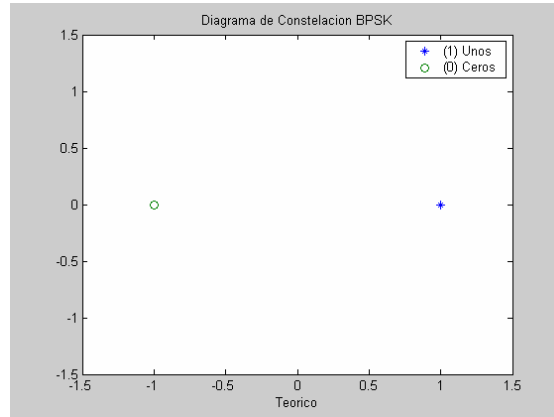


e) FSK



- 6.5** Si el mensaje digital del ejercicio 5.8, se modula utilizando BPSK, esquematice su PSD. En la modulación se utiliza una portadora sinusoidal $f_c = \text{sen}(50 \pi \cdot 103 \cdot t)$ y $T_b = 1$ msec. Grafique también el diagrama de constelación y calcule la eficiencia espectral.

Respuesta:



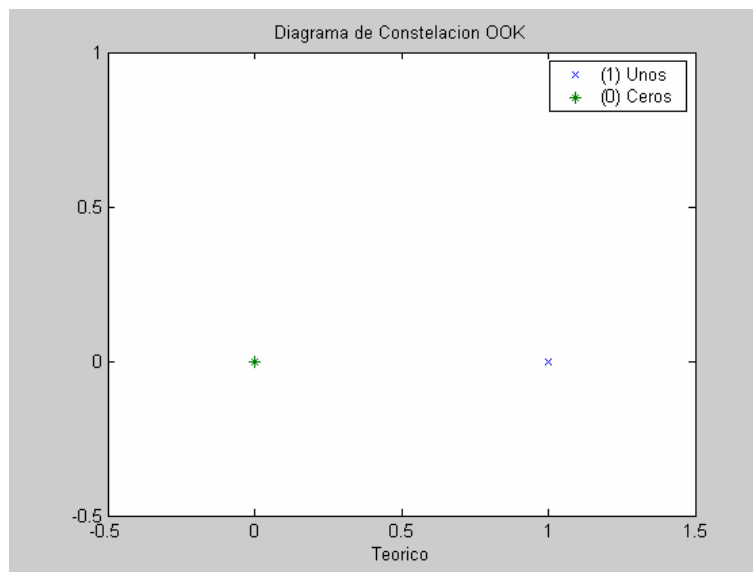
$$\eta = \frac{R(\text{bps})}{B(\text{Hz})} = \frac{1\text{Kbps}}{2\text{KHz}} = 0,5\text{bps} / \text{Hz} = \frac{\log_2 M}{2} = \frac{\log_2 2}{2} = 0,5\text{bps} / \text{Hz}$$

6.6 Grafique los diagramas de constelación para las siguientes modulaciones:

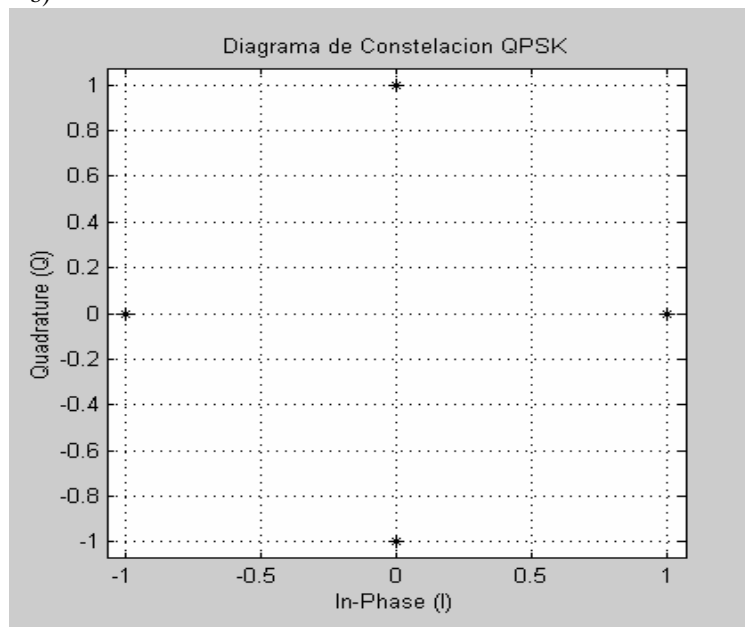
- a) Modulación OOK
- b) Modulación QPSK
- c) Modulación 8QAM
- d) Modulación 16 QPSK
- e) Modulación 16 QAM.

Respuestas:

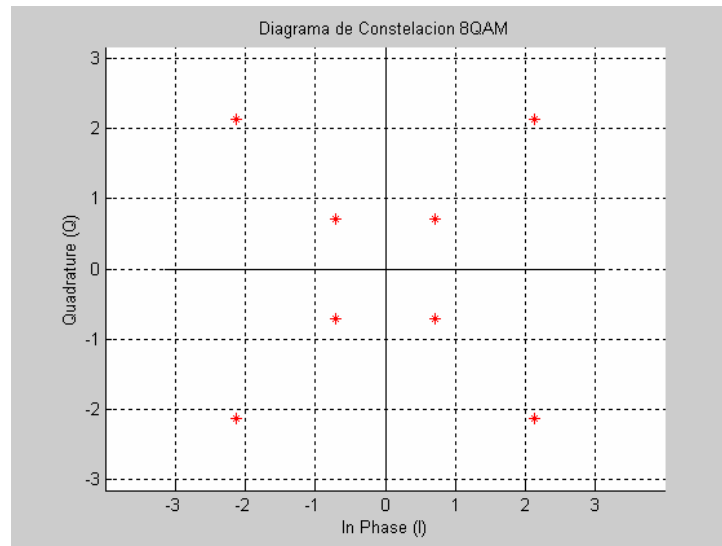
a)



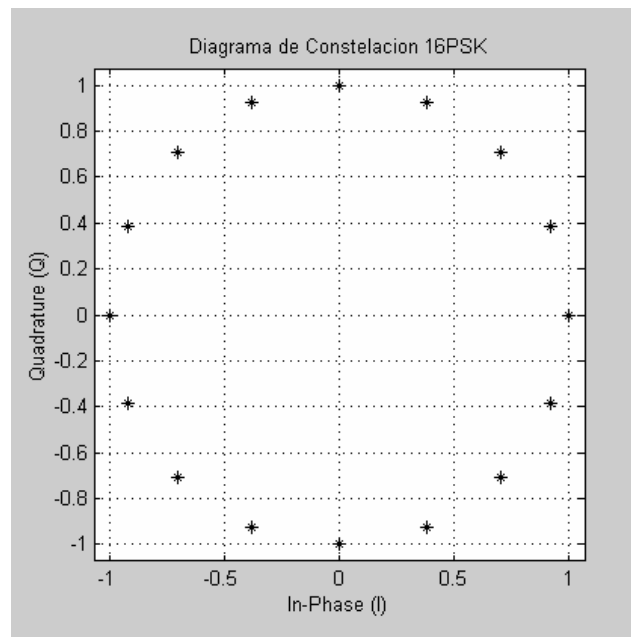
b)



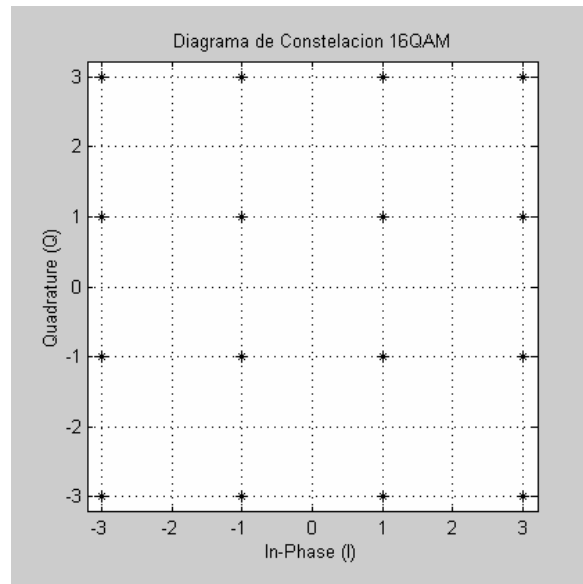
c)



d)



e)



- 6.7** Para las técnicas de modulación del punto 5.13, calcule en cada caso su rendimiento espectral.
- 6.8** Se desea transmitir una señal binaria con una velocidad de transmisión de 120 Mbps a través de un canal de comunicaciones usando Doble Banda Lateral. Si suponemos que la señal de banda base ocupa el ancho de banda de Nyquist (o esta filtrada con un filtro ideal con ancho de banda igual al de Nyquist) y el ancho de banda del canal es de 30 MHz. ¿Qué técnica de modulación elegiría para satisfacer estos requerimientos?
- 6.9** El Modem Codec 9600C transmite a 9600 bps utilizando 2400 Hz del ancho de banda del canal telefónico. ¿Cuál es su eficiencia espectral y que técnica de modulación usa?
- 6.10** El Modem Paradyne MP14400 transmite a 14400 bps utilizando 2400 Hz del ancho de banda del canal telefónico. ¿Cuál es su eficiencia espectral y que técnica de modulación usa?
- 6.11** Una portadora de 880 Mhz es modulada en frecuencia por un mensaje sinusoidal de 100 Khz. Si la desviación de frecuencia pico de la señal de FM es 500 Khz, determine el ancho de banda ocupado por la señal producto de la modulación. Esquematice su espectro de frecuencia.
- 6.12**Cuál será el ancho de banda utilizado por la señal del punto anterior si se utiliza la misma portadora pero se modula en AM BLU y un índice de modulación igual a 0,8.
- 6.13** Seis canales telefónicos con frecuencias entre 300 Hz y 3400 Hz se multiplexan en frecuencia utilizando sendas portadoras separadas 4 Khz. Con frecuencias asignadas a estas últimas empezando en 10 Khz.
- Determine el tipo de modulación utilizado para llevar a cabo la multiplexacion.
 - Grafique el espectro de frecuencia de las señales multiplexadas.
- 6.14** Para un MODEM FSK con $f_0 = 40$ Mhz y $f_1 = 60$ Mhz y una velocidad de transmisión de 10 Mbps, determine la velocidad de modulación y el ancho de banda de la señal modulada. Grafique el espectro de frecuencia de esta última.

- 6.15** Para un modulador 8PSK con $R = 20$ Mbps y frecuencia de portadora 100 Mhz, determine el ancho de banda de Nyquist de nulo a nulo y la velocidad de modulación.
- 6.16** Idem al ejercicio 5.18 pero utilizando 16QAM.
- 6.17** Determine la eficiencia espectral para los siguientes moduladores:
- a) QPSK y $R = 10$ Mbps
 - b) 8PSK y $R = 21$ Mbps
 - c) 16QAM y $R = 20$ Mbps
- 6.18** Un MODEM V29 trasmite 9600 bps con tan solo 400 baudios. Cuál es su eficiencia espectral y que sistema de modulación usa si el ancho de banda utilizado es de 2400 Hz con una portadora de 1700 Hz. Dibuje es espectro en frecuencia de la señal de banda base y el de la señal modulada.
- 6.19** La banda de frecuencias asignada a la transmisión de radio FM está comprendida entre los 88 Mhz y los 108 Mhz aproximadamente y se asigna a cada estación transmisora un ancho de banda de 200 Khz (Banda II de VHF). Si el ancho de banda asignado a la señal de audio es de 15 Khz, calcule la desviación de frecuencia máxima, si dejamos una banda de guardia de 10 Khz en cada extremo de las frecuencias asignadas. Dibuje el espectro de frecuencia correspondiente a 3 emisoras contiguas.
- 6.20** Si Ud. es un oyente frecuente de alguna radio de FM, determine cuáles son las frecuencias asignadas a esa emisora.
- 6.21** Investigue y grafique el espectro de frecuencias de un canal de video. Cuáles son las frecuencias correspondientes a los canales locales 8, 10 y 12 de Córdoba. Explique cuáles son las frecuencias destacadas en ese espectro.
- 6.22** Determine la velocidad de transmisión de un enlace troncal si se multiplexan mediante TDM síncrono, 20 canales digitalizados mediante PCM uniforme, cuyas entradas son señales de audio con frecuencias no superiores a 15 Khz y en la cuantificación se utilizan.