

**TRABAJO PRÁCTICO N° 8****Modulación, multiplexación digital: PDH, SDH y SONET**

- 1) Construir el esquema de un modulador ASK por supresión de portadora y graficar la señal de salida del mismo suponiendo que a su entrada tenemos la siguiente señal: 0011110011
- 2) Suponer una señal analógica que se muestrea a una  $f_{\text{muestreo}} = 3 f_{\text{max}}$ , existiendo 64 niveles de cuantificación. Si consideramos que el ancho de banda del canal es la mitad del necesario, cuál será la relación S/N?
- 3) Se tiene que transmitir una señal analógica que pasa a través de un filtro de 4000 Hz de ancho de banda. Dicha señal entra a un modulador PCM donde se toman muestras cada 125 microsegundos, codificándose cada muestra según un proceso de cuantificación de 128 niveles.
  - a) Hallar la capacidad que debe tener el vínculo de salida del modulador.
  - b) Cuál sería dicha capacidad si fueran 256 niveles cuánticos?
- 4) Se dispone de un modem que trabaja con el tipo de modulación 16-PSK.
  - a) Calcule el desfase entre estados que adopta la señal modulada.
  - b) Qué relación hay entre la velocidad de transmisión  $V_t$  y la velocidad de modulación  $V_m$ ?
- 5) Se tiene un modem cuyo tipo de modulación es 8-PSK. Indicar:
  - a) De la señal moduladora, portadora y modulada, indicar cuáles son analógicas y cuáles digitales.
  - b) Proponer una asignación de fases a secuencias de bits y realizar el diagrama de fases.
  - c) Indicar la relación que existe entre la velocidad de modulación y la velocidad de transmisión.
- 6) Se quiere transmitir por un canal telefónico a 9600 bps y se cuenta con un modem de 2400 baudios que opera con transmisión multinivel y modulación PSK. Hallar:
  - a) Qué tipo de modulación PSK debe emplearse para transmitir a la velocidad de transmisión requerida.
  - b) El diagrama vectorial y la asignación de fases correspondiente.
- 7) Construir el espectro de frecuencias para una modulación FSK donde el desvío de frecuencia ( $\Delta f$ ) es para los dígitos binarios "0" = 200 Hz y para los "1" = - 200 Hz. Entre canales se debe dejar libre 1000 Hz.
  - a) Indicar cuántas comunicaciones simultáneas se pueden realizar en un canal telefónico cuyo ancho de banda es de 4 KHz.
  - b) Cuál es el ancho de banda de cada comunicación?



8) Una portadora de 100 MHz se modula en frecuencia con una señal sinusoidal de 10 kHz de manera tal que la desviación máxima de frecuencia es de 1 MHz.

Determinar el ancho de banda aproximado de la señal de FM en este caso y en el de una amplitud doble de la señal modulante.

9) Dada una señal senoidal representada por  $e(t) = E \sin \omega_m t$  donde  $E = 7$  Voltios y  $\omega_m = 2000 \pi$  radianes/seg, debe ser digitalizada mediante un CODEC. Este dispositivo utiliza 15 niveles cuánticos uniformes. Hallar:

- a) La frecuencia de muestreo necesaria mínima para reconstruir la señal.
- b) Cuál es el  $T_m$  (período de la señal moduladora) y cuál el  $T_M$  (período de muestreo)? Indicar el significado de cada uno.
- c) Proponer el valor en voltios de los niveles de cuantificación y el código en bits correspondiente a cada uno.
- d) Dejar una combinación disponible del código para reserva.
- e) Cuál es el tiempo de bit y la velocidad de transmisión de la señal digital a la salida del CODEC?

10) Confeccione un cuadro resumen de los tipos de modulación especificando para cada uno si la señal moduladora, portadora y modulada son analógicas o digitales.

11) Qué diferencia a la modulación MIC del resto de los tipos de modulación?

12) Qué tipos de modulación se ven menos afectados por el ruido y por qué?

13) Qué tipo de señales (analógicas o digitales) se obtienen después de un proceso de multiplexación FDM y TDM?

14) Confeccione un cuadro comparativo entre el multiplexor con sus variantes FDM, TDM y STDM, y el concentrador.

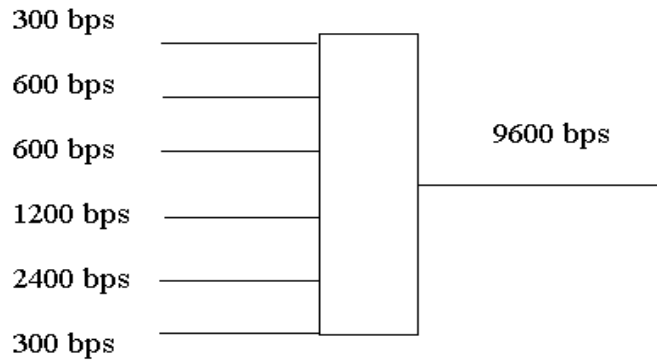
15) Plantear la inecuación que mejor describiría la característica de asignación dinámica en un multiplexor STDM. Pueden las velocidades máximas entrantes al multiplexor superar a la velocidad saliente?

16) De los siguientes esquemas donde las velocidades enunciadas son las máximas para las líneas entrantes y la saliente.

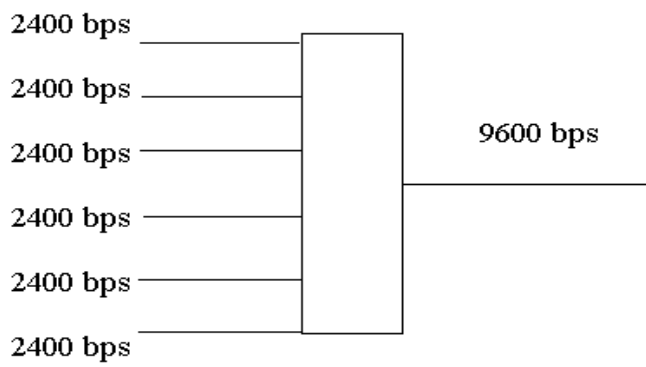
- a) Determinar qué casos representan multiplexores o concentradores.
- b) En el caso de ser multiplexores, de qué técnica se trata?



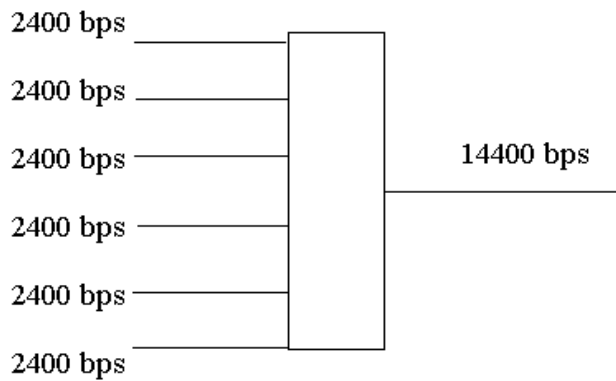
a.



b.



c.



17) En el problema anterior, indicar en qué casos y bajo qué condiciones se representa un multiplexor STDm.

18) En el caso de un concentrador, qué ventajas tiene para la calidad del servicio y ahorro?

# TP 8

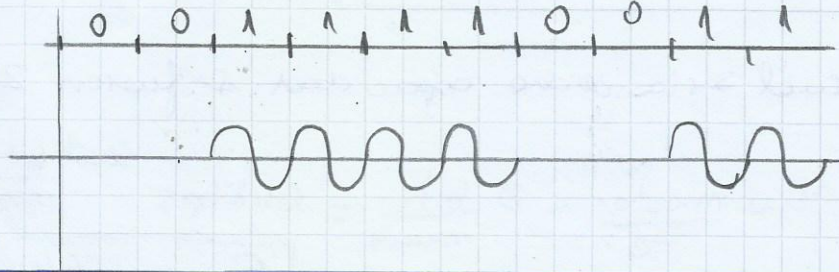
## Comunicaciones

### Modulación, multiplexación: PAM, SDH, SONET

1) Construir el esquema de un modulador ASK por supresión de portadora y graficar la señal de salida del mismo suponiendo que en su entrada tenemos la sig. señal:

001110011

ASK  $\rightarrow$  Supresora



2) Suponer una señal analógica que se muestra a una fde muestreo  $= 3f_{max}$ , existiendo 64 niveles de cuantificación. Si consideramos que el ancho de banda del canal es la mitad del necesario ¿cuál será la relación S/N?

$$\Delta f_{max} = \Delta f \log_2(64) = 6 \Delta f$$

$$\log_2(64) = 6 \Rightarrow 6 \text{ bits por muestra}$$

$$V_{muestreo} = 3 \Delta f_{max} = 3 \times 6 \Delta f = 18 \Delta f = V_{muestreo} = V_c$$

$$\left\{ \begin{aligned} AB_{canal} &= \frac{1}{2} AB_{necesario} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} \Delta f_{canal} \log_2(64) &= \frac{1}{2} \Delta f_{necesario} \log_2(64) \end{aligned} \right.$$

$$36 = \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

$$C_{canal} = \Delta f_{canal} \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) = \frac{1}{2} \Delta f_{necesario} \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

$$18 \Delta f = \frac{1}{2} \Delta f_{necesario} \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right) \Rightarrow 36 = \log_2\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

$$1 + \frac{S}{N} = 2^{36}$$

$$dB = 10 \log_{10}(x)$$

$$\frac{S}{N} = 6,871947674 \times 10^{10}$$

$$\boxed{\frac{S}{N} = 108,37 \text{ dB}}$$

- 3) Se tiene que transmitir una señal analógica que pasa a través de un filtro de 4000 Hz de AB. Dicha señal entra a un modulador PCM donde se toman muestras cada 125  $\mu$ s, codificándose cada muestra según un proceso de cuantificación de 128 niveles.

a) Hallar la capacidad que debe tener el vínculo de salida del modulador

$$V_{\text{muestreo}} = 8000 \frac{\text{muestras}}{\text{seg}} \quad d = 125 \times 10^{-6} \text{ seg} \quad \rightarrow \log_2(128) = 7$$

cont de bit/muestra

$$V_{\text{binaria}} = V_{\text{muestreo}} \cdot \text{cont bit/muestra} = 8000 \frac{\text{muestras}}{\text{seg}} \cdot 7 \frac{\text{bits}}{\text{muestra}}$$

$$V_{\text{binaria}} = 56 \text{ Kbps}$$

$$C_{\text{canal}} = 56 \text{ Kbps} \quad 128$$

b) ¿cuál sería dicha capacidad si fueran 256 niveles cuánticos?

$$C = 8000 \frac{\text{muestras}}{\text{seg}} \cdot 8 \frac{\text{bits}}{\text{muestra}} = 64 \text{ Kbps} \quad \text{cont bits/muestra} = \log_2(256) = 8$$

$$C_{256} = 64 \text{ Kbps}$$

4) Se dispone de un módem que trabaja con el tipo de modulación 16-PSK

a) Calcular el desfase entre estados que adopta la señal modulada

$$16\text{-PSK} \Rightarrow M=16 \Rightarrow \theta = \frac{2\pi}{16} \Rightarrow \theta = \frac{\pi}{8} = 22,5^\circ$$

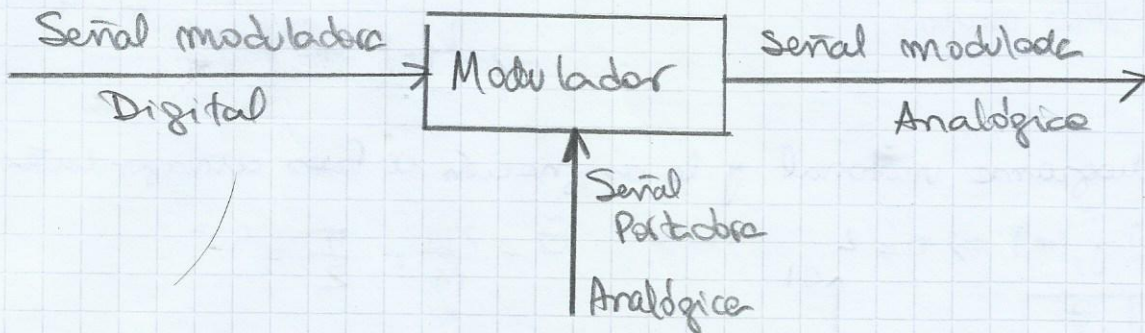
b) ¿qué relación hay entre la velocidad de transmisión  $V_t$  y la velocidad de modulación  $V_m$ ?

$$\left. \begin{array}{l} V_t = \frac{1}{d} \log_2(m) \\ V_m = \frac{1}{d} \end{array} \right\} V_t = V_m \log_2(16) = 4 V_m$$

$$V_t = 4 V_m$$

5) Se tiene un modem cuyo tipo de modulación es 8 PSK  
Indicar:

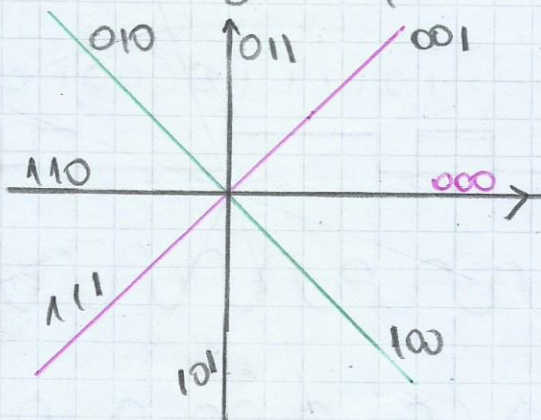
a) Señal moduladora, portadora y modulada e indicar cuáles son analógicas y cuáles digitales



b) Proponer una asignación de fases a secuencias de bits y realizar el diagrama de fases

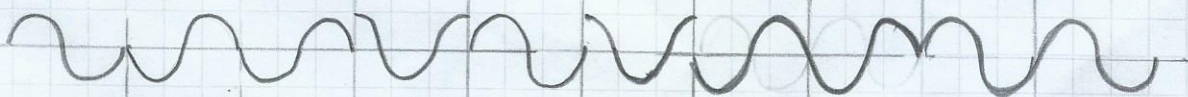
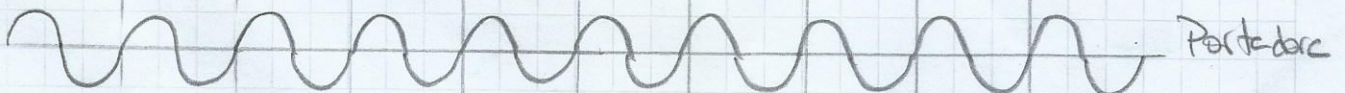
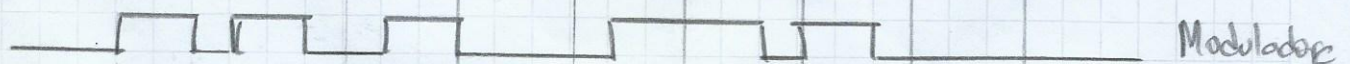
8 PSK  $\Rightarrow M=8 \Rightarrow \theta = \frac{2\pi}{8} = \frac{\pi}{4} = 45^\circ = \theta$   $\log_2(8)=m$   
 $m=3$

| Secuencias | $\theta$ |
|------------|----------|
| 000        | 0        |
| 001        | 45       |
| 011        | 90       |
| 010        | 135      |
| 110        | 180      |
| 111        | 225      |
| 101        | 270      |
| 100        | 315      |



"d)" Dibujar indicando moduladora, portadora y modulada para

00011011100110000111110110000000



c) Indicar la relación entre  $V_m$  y  $V_t$

$M = \log_2(m) = 8 \Rightarrow m=3 \Rightarrow V_t = 3 \cdot V_m$

6 pts

4800

Se quiere transmitir por un canal telefónico a ~~9600~~ <sup>4800</sup> bps y se cuenta con un modem de 2400 baudios que opera con ~~dos~~ <sup>dos</sup> niveles de modulación y modulación PSK

Atención:

a) Qué tipo de modulación PSK debe emplearse para transmitir la lo velocidad de transmisión requerida?

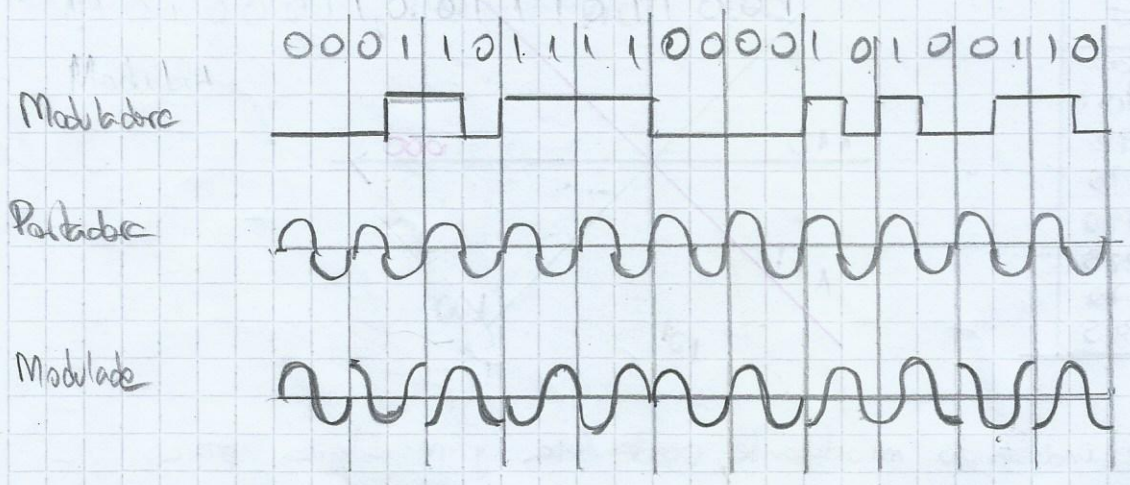
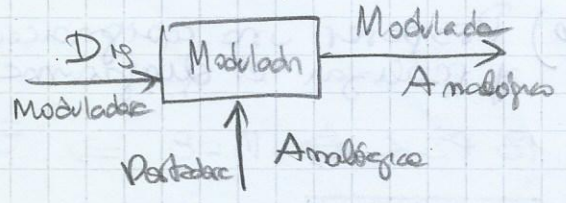
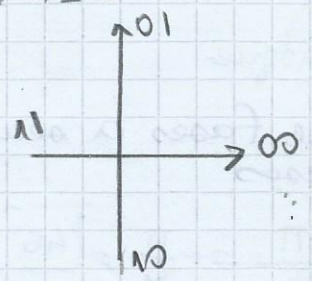
$$V_t = 4800 \text{ bps} = V_m \log_2(m) = 2400 \log_2(m) \Rightarrow \log_2(m) = 2 \Rightarrow m = 4$$

$$V_m = 2400 \text{ baudios} \Rightarrow \boxed{4\text{-PSK}}$$

b) El diagrama vectorial y la asignación de fases correspondiente

$$4 = \log_2(m) \Rightarrow n = 2 \quad M = 4 \quad \theta = \frac{2\pi}{M} = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$$

| sec | $\theta$    |
|-----|-------------|
| 00  | $0^\circ$   |
| 01  | $90^\circ$  |
| 11  | $180^\circ$ |
| 10  | $270^\circ$ |



TP 8

Comunicaciones  
Modulación, multiplexación digital

6) Se quiere transmitir por un canal telefónico a 9600 bps y se cuenta con un modem de 2400 baudios que opera con transmisión multibit y modulación PSK.

Hallar:

a) ¿Qué tipo de modulación PSK debe emplearse para transmitir a la velocidad de transmisión requerida?

$$V_t = V_m \log_2(m) \Rightarrow 9600 = 2400 \log_2(m) \Rightarrow \log_2(m) = 4$$

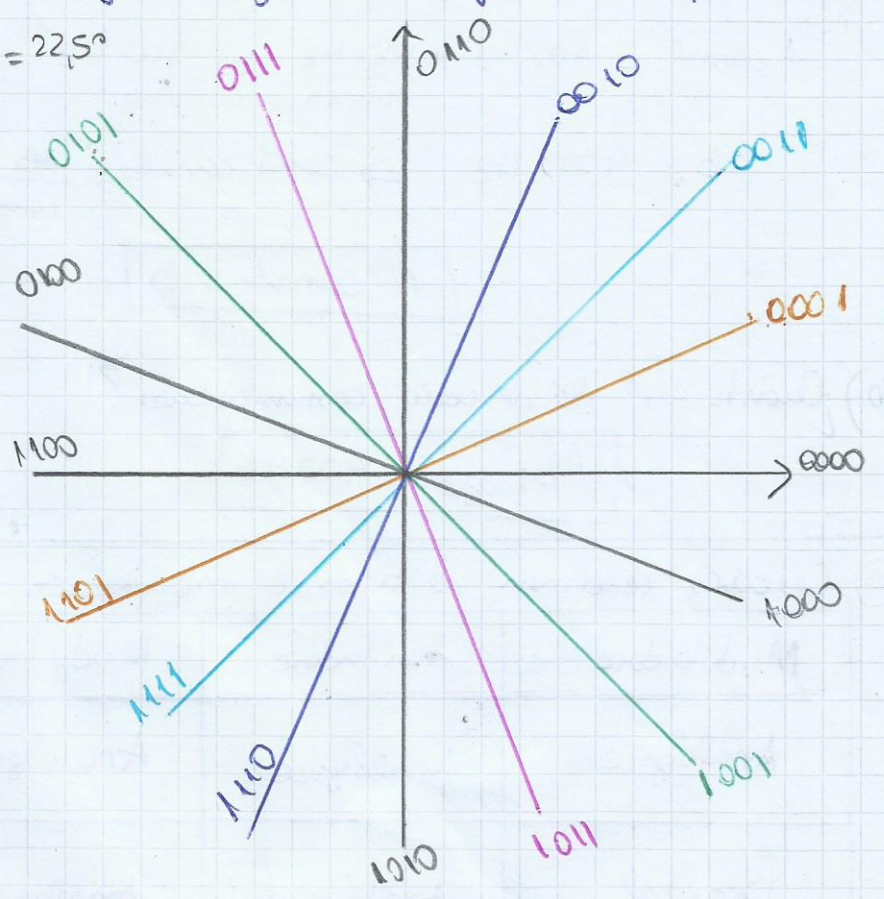
16-PSK

 $\Leftrightarrow m=16$

b) El diagrama vectorial y la asignación de fases correspondientes

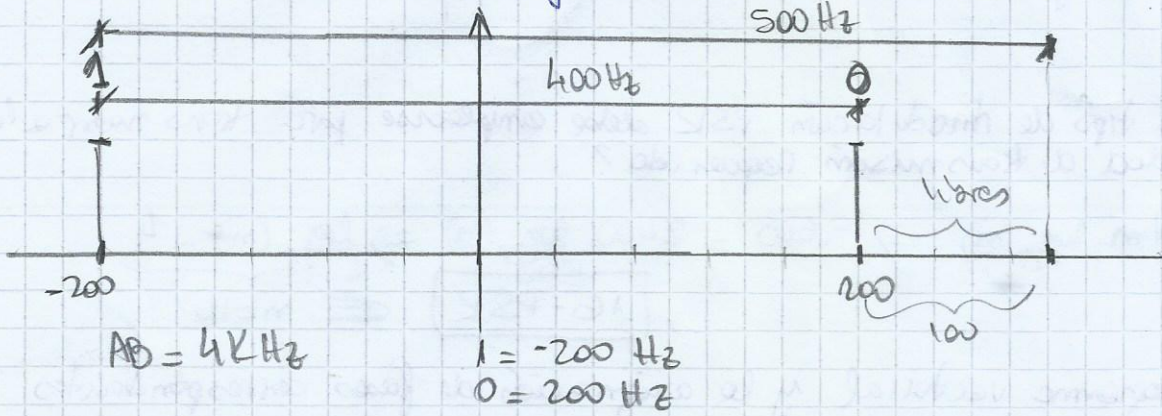
$$\theta = \frac{2\pi}{16} \Rightarrow \theta = \frac{\pi}{8} = 22,5^\circ$$

| Secuencias | $\theta$ |
|------------|----------|
| 0 0 0 0    | 0        |
| 0 0 0 1    | 22,5     |
| 0 0 1 1    | 45       |
| 0 0 1 0    | 67,5     |
| 0 1 1 0    | 90       |
| 0 1 1 1    | 112,5    |
| 0 1 0 1    | 135      |
| 0 1 0 0    | 157,5    |
| 1 1 0 0    | 180      |
| 1 1 0 1    | 202,5    |
| 1 1 1 1    | 225      |
| 1 1 1 0    | 247,5    |
| 1 0 1 0    | 270      |
| 1 0 1 1    | 292,5    |
| 1 0 0 1    | 315      |
| 1 0 0 0    | 337,5    |



7) Construir el espectro de frecuencias para una modulación FSK donde el desvío de frecuencia ( $\Delta f$ ) es para los dígitos binarios "0" = 200 Hz y para los "1" = -200 Hz. Entre canales se debe dejar libre 1000 Hz.

a) Indicar cuántas comunicaciones simultáneas se pueden realizar en un canal telefónico cuyo ancho de banda es de 4 KHz



$$1 \text{ canal} = 400 \text{ Hz} + \underbrace{100 \text{ Hz}}_{\text{libres}} = 500 \text{ Hz}$$

$$AB = 4000 \text{ Hz} \Rightarrow \text{cant canales} = \frac{AB}{1 \text{ canal}} = \frac{4000 \text{ Hz}}{500 \text{ Hz}} = 8$$

$$\boxed{N^{\circ} \text{ canales} = 8}$$

b) ¿Cuánto es el AB de cada comunicación?

$$\boxed{AB_{1 \text{ canal}} = 400 \text{ Hz}}$$

10) Cuadro resumen de tipos de modulación

| Moduladora | Portadora | Modulada  | Tipo   |
|------------|-----------|-----------|--|
| Análogica  | Análogica | Análogica | AM<br>PM<br>PM   |
| Digital    | Análogica | Análogica | ASK Shift key<br><del>PSK</del><br>PSK<br>DPSK<br>MQAM |
| Análogica  | Digital   | Análogica | PAM<br>PDM<br>PPM                                      |
| Digital    | Digital   | Digital   | PCM<br>DPCM<br>Delta<br>Delta adaptativo               |

7) ¿Qué diferencia a la modulación MC del resto de los tipos de modulación?

PCM (MC) se diferencia del resto en que se basa en la representación de la información de la señal digitalizada mediante códigos discretos y de terminados por code word de cuantificación asignados.

8) ¿Qué tipos de modulación se ven menos afectados por el ruido y por qué?

FM, pues envía información a través de cambios en la frecuencia y no en la amplitud y los cambios repentinos introducidos por el ruido son de baja o nula relevancia.

9) ¿Qué tipo de señal (analógica o digital) se obtiene después de un proceso de multiplexación FDM y TDM?

FDM = Multiplexación por la división de la Frecuencia  
↳ resultante analógica

TDM = Multiplexación por División del tiempo  
↳ resultante DIGITAL

10) STDM, como TDM pero con tiempo ESTADÍSTICO

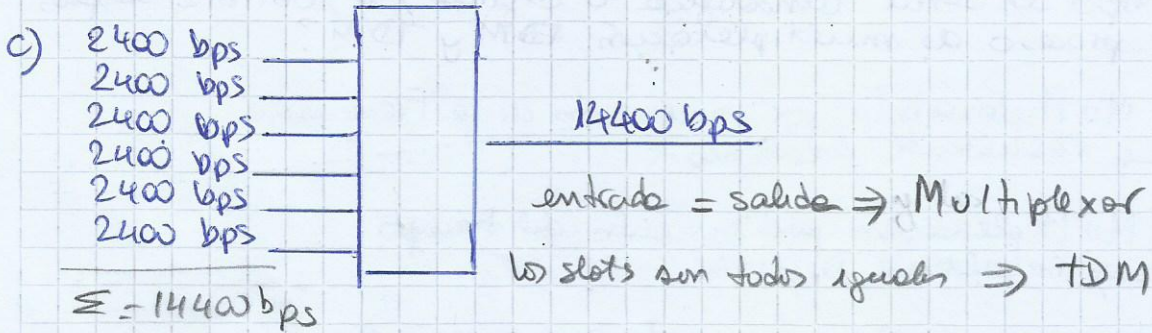
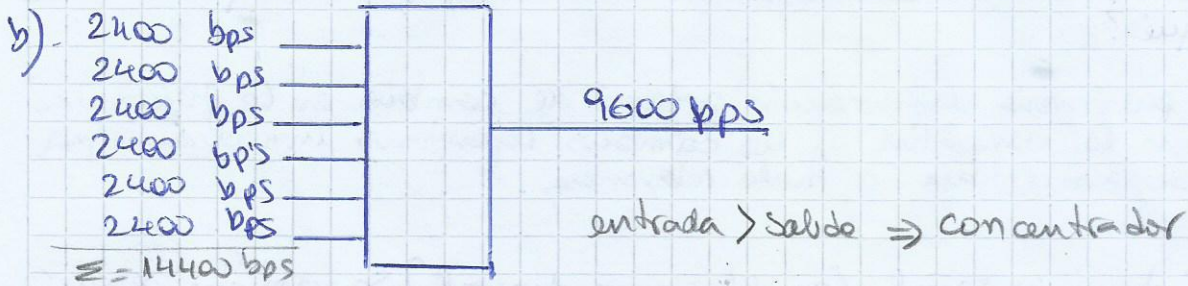
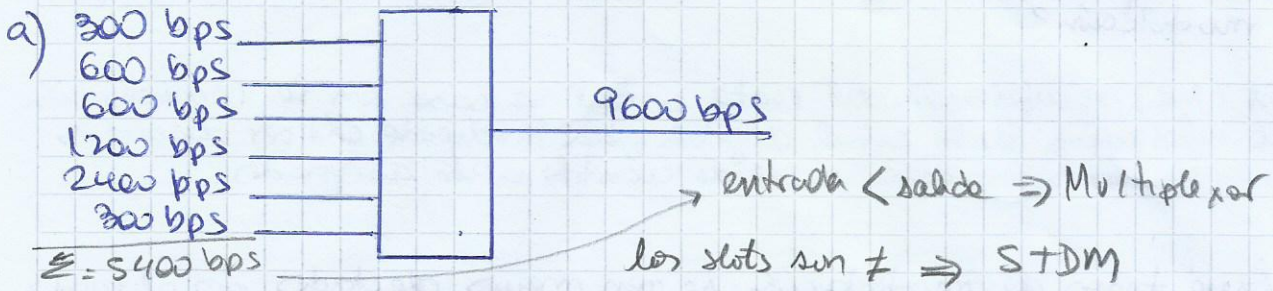
concentrador :  
• Reducción de costos a costa de la calidad del servicio  
• resultante digital (entrante también digital)  
• uso más eficiente respecto a los costos del canal

11) Plantear la ecuación que mejor describa la característica de asignación dinámica en un multiplexor STDM.  
¿Pueden las velocidades máximas entrantes al MPX superar la velocidad saliente?

Salida < cant. canales

La sumatoria de las velocidades máximas entrantes al MPX puede superar a la velocidad saliente

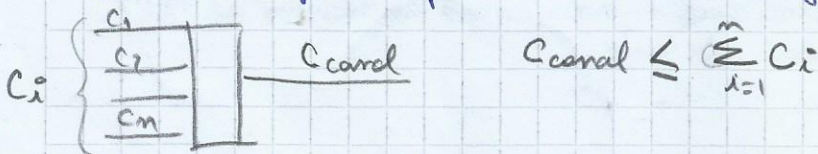
12) De los sig. esquemas, determinar qué casos representan multi-  
 plexores o concentradores.  
 Si es MPX → qué técnica usa  
 Los velocidades son máximas para las líneas entrantes y salientes



13) Del problema anterior, en qué casos y bajo qué condición se repre-  
 sante un MPX STDM?

Un MPX STDM se usa cuando las capacidades de los subcanales entran-  
 tes no son homogéneas. Se busca aprovechar al máximo la capacidad  
 del canal saliente.

14) Respecto de la ecuación definida para representar un concentrador,  
 ¿qué reflexión cabe respecto a la calidad del servicio y ahorro para  
 el caso en que el primer término sea igual que al segundo?



El ahorro se basa en que cuanto menor sea la cap. del canal SALIENTE  
 más reducciones habrá en costos en detr.mento de una menor calidad del  
 servicio.

Si  $C_{canal} = \sum_{i=1}^n C_i \Rightarrow$  no hay necesidad de reducción  $\Rightarrow$  no se baja  
 la calidad del servicio

Adicionales

Se dispone de un canal de comunicaciones que soporte una velocidad de comunicación máxima de 1200 baudios y se desea alcanzar una velocidad de transmisión binaria de 2400bps.

a) ¿Qué tipo de modulación de fase deberá emplearse?

$$V_m = 1200 \text{ baudios} = \frac{1}{d}$$

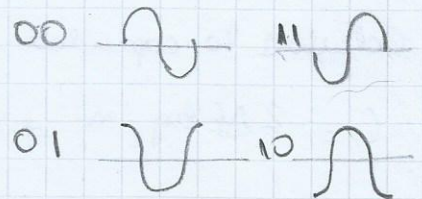
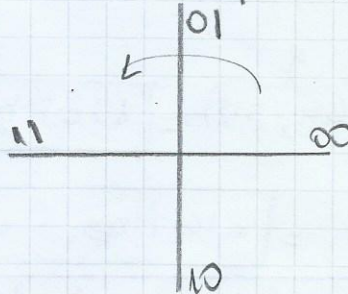
$$V_t = \frac{1}{d} \log_2(m) = V_m \log_2(m) \Rightarrow 2400 = 1200 \log_2(m)$$

$$\log_2(m) = 2 \Rightarrow m = 4 \Rightarrow \boxed{4\text{-PSK}}$$

b) Proponga una correspondencia entre fases y combinación de bits de manera que entre fases adyacentes el cambio de bits sea mínima (usar código Gray)  
Dibujar el diagrama de fases o de estados

$$4\text{-PSK} \Rightarrow M=4 \Rightarrow \theta = \frac{2\pi}{4} = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$$

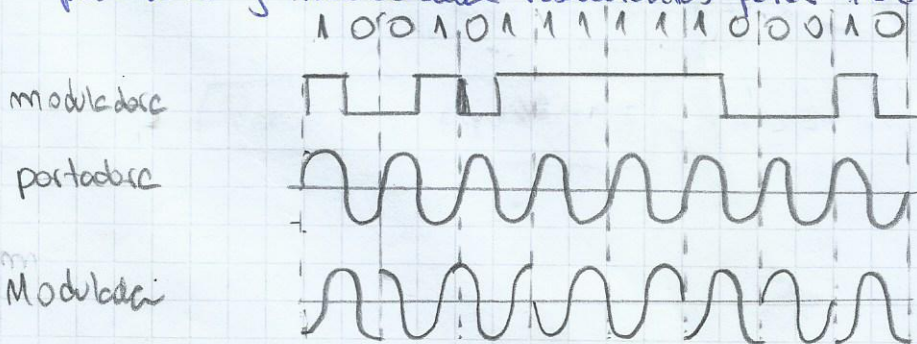
| sec | o   |
|-----|-----|
| 00  | 0   |
| 01  | 90  |
| 11  | 180 |
| 10  | 270 |



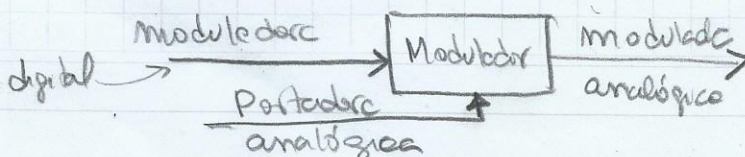
c) ¿Qué relación hay entre la velocidad de transmisión y la  $V_m$ ?

$$\begin{matrix} V_m = 1200 \\ V_t = 2400 \end{matrix} \Rightarrow \boxed{V_t = 2 V_m}$$

d) Reduzca el gráfico indicando las formas de onda de moduladora, portadora y modulada resultantes para 100101111100010



e) De los señales moduladora, portadora y modulada ¿cuáles son analógicos y cuáles digitales?



Se desea conocer la velocidad binaria teórica y el AB de un canal que permita transmitir 32 canales de voz más 2 para sincronización y sincronismo.

Se debe usar un sistema de multiplexación por división de tiempos <sup>TDM</sup>

$$V_{\text{muestreo}} = 8000 \text{ muestras/seg} \quad 32 \text{ canales} \Rightarrow 8 \text{ bits por muestra}$$

$$V_{\text{canal}} = V_{\text{muestreo}} \times \text{bits muestra} = 8000 \frac{\text{muestras}}{\text{seg}} \cdot \frac{8 \text{ bits}}{\text{muestra}} = 64 \text{ Kbps} = V_{\text{canal}} \text{ 1 canal}$$

$$V_{\text{canal total}} = V_{\text{B}} \text{ 1 canal} \times \text{cant canales} = 64 \text{ Kbps} \cdot 32 \text{ canales} = 2048 \text{ Kbps}$$

$$V_{\text{B total}} = 2,048 \text{ Mbps}$$

$$\text{AB}_{32 \text{ canales}} = 2,048 \text{ MHz}$$

Se desea transmitir 2 señales de TV digitalizadas mediante un enlace PCM de 512 niveles de cuantificación/muestra.

La señal original posee un  $\Delta f$  que se extiende a los 6 MHz.

Calcular la capacidad del canal

$$C = 2 \Delta f \log_2(m) = 2 \times 6 \text{ MHz} \cdot \log_2(512) = 108 \text{ Mbps} = C \quad 1 \text{ señal}$$

$$C_{2 \text{ señales}} = 108 \text{ MHz} \times 2 = 216 \text{ Mbps} = C_{\text{total}}$$

Se desea transmitir 12 señales analógicas mediante un sistema PCM. Se dispone de  $\Delta f = 2 \text{ KHz}$  y se ~~de~~ desea una resolución de  $\frac{6 \text{ bits}}{\text{muestra}}$

Calcular la capacidad necesaria

$$C_{\text{1 señal}} = 2 \Delta f \log_2(m) = 2 \times 2 \text{ KHz} \cdot \frac{6 \text{ bits}}{\text{muestra}} = 24 \text{ Kbps} = C_{\text{1 canal}}$$

$\frac{6 \text{ bits}}{\text{muestra}} = \log_2(m)$

$$C_{\text{total}} = 24 \text{ Kbps} \times 12 \text{ señales} = 288 \text{ Kbps} = C_{\text{total}}$$