

## Ejercicio 2

Se tiene una señal portadora de 100 MHz que es modulada exponencialmente por un mensaje cuya frecuencia va desde 200 Hz hasta 2500 Hz con una amplitud máxima  $V_m$ . Se sabe que el ancho de banda de la señal modulada es de 8 kHz.

Se solicita:

- Si la amplitud máxima de la señal modulante se duplica (**a 2. $V_m$** ).  
¿Cuál será el nuevo ancho de banda de la señal modulada?
- Si se usara modulación FM y se duplicara la frecuencia máxima del mensaje (**a 5 kHz**)  
¿Cuál será el nuevo ancho de banda de la señal modulada?
- Si se usara modulación PM y se duplicara la frecuencia máxima del mensaje (**a 5 kHz**)  
¿Cuál será el nuevo ancho de banda de la señal modulada?
- En base en los resultados obtenidos en los incisos anteriores, determinar en qué caso se mantuvo constante la relación de desviación y en cuál caso se mantuvo constante la máxima desviación en frecuencia. Sacar conclusiones.
- Para la modulación de un tono en FM, graficar el espectro (considere el ancho de banda Carson) y comparar lo siguiente:
  - Una frecuencia moduladora constante de  **$f_m=5\text{KHz}$**  y desviación de frecuencia variable en [1KHz ; 5KHz ; 10KHz ]
  - Una desviación de frecuencia constante de  **$\Delta f=1\text{KHz}$**  y una frecuencia moduladora  $f_m$  variable en [5KHz ; 1KHz ; 0,5KHz]

$$f_c = 100\text{MHz}$$

$$200\text{Hz} \leq f_{m(t)} \leq 2500\text{Hz}$$

Sabiendo que el ancho de banda del mensaje modulado es:

$$BW \approx 2 \cdot (\beta + 1) \cdot B = 2 \cdot (\beta + 1) \cdot 2500\text{Hz} = 8\text{KHz}$$

Entonces se puede despejar  $\beta$  como:

$$\beta \approx \frac{8000\text{Hz}}{2 \cdot 2500\text{Hz}} - 1 = 0,6$$

En función del tipo de modulación se puede expresar:

$$\beta_f = \frac{k_f \cdot A_m}{F_{max}}$$

$$\beta_p = k_p \cdot A_m$$

**a)**

Si la amplitud máxima de la señal modulante se duplica, entonces:

$$\beta'_f = \frac{k_f \cdot (2 \cdot A_m)}{F_{max}} = 2 \cdot \beta_f = 1, 2$$

$$\beta'_p = k_p \cdot (2 \cdot A_m) = 2 \cdot \beta_p = 1, 2$$

$$BW \approx 2 \cdot (\beta' + 1) \cdot B = 2 \cdot (1, 2 + 1) \cdot 2500Hz = 11KHz$$

**b)**

Si se modula con FM y se duplica la frecuencia máxima del mensaje:

$$\beta'_f = \frac{k_f \cdot A_m}{(2 \cdot F_{max})} = \frac{\beta_f}{2} = 0, 3$$

$$BW \approx 2 \cdot (\beta' + 1) \cdot B = 2 \cdot (0, 3 + 1) \cdot 2500Hz = 6, 5KHz$$

**c)**

Si se modula con PM, duplicar la frecuencia máxima del mensaje no modifica el valor de  $\beta$  y por ende tampoco modifica el ancho de banda.

**d)**

La desviación máxima de frecuencia se mantuvo constante en **b** y **c**, cuando se duplicó la frecuencia del mensaje:

$$(\Delta F = k_{f|p} \cdot A_m)$$

Mientras que la relación de desviación se mantuvo constante en **c** ya que, al ser una modulación de fase y no de frecuencia, dicho parámetro no depende del ancho de las componentes frecuenciales del mensaje, sólo de su amplitud.

Por lo tanto, si usara FM para frecuencias altas, el nivel de señal de mensaje o el coeficiente de desviación de frecuencia debería aumentar para frecuencias altas y disminuir para frecuencias bajas de forma tal de mantener una transferencia plana ó utilizar PM para frecuencias altas y FM para frecuencias bajas, tal como se utiliza para FM broadcasting.

**e)**

**i.** Una frecuencia moduladora constante de  $f_m = 5KHz$  y desviación de frecuencia variable en  $[1KHz; 5KHz; 10KHz]$

$$\beta = \frac{\Delta F}{f_m} = \frac{\Delta F}{5KHz}$$

$$BW = 2 \cdot (1 + \beta) \cdot f_m$$

$$\beta_1 = \frac{1KHz}{5KHz} = 0, 2$$

$$BW_1 = 2 \cdot (1 + 0, 2) \cdot 5KHz = 12KHz$$

$$\beta_2 = \frac{5KHz}{5KHz} = 1$$

$$BW_2 = 2.(1 + 1).5KHz = 20KHz$$

$$\beta_3 = \frac{10KHz}{5KHz} = 2$$

$$BW_3 = 2.(1 + 2).5KHz = 30KHz$$

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

fvar = ["1KHz", "5KHz", "10KHz"]
BW = [12e3, 20e3, 30e3]
# Parámetros
center_freq = 100e6 # Frecuencia central en Hz
spacing = 5e3 # Espaciado entre deltas en Hz
for index, BW_i in enumerate(BW):
    a_freq = center_freq
    while a_freq >= center_freq - BW_i/2:
        a_freq -= spacing

    a_freq += spacing

    freqs = []

    while a_freq <= center_freq + BW_i/2:
        freqs.append(a_freq)
        a_freq += spacing
    # Crear array de frecuencias

    #freqs = [100e6 - 5e3, 100e6, 100e6 + 5e3]

    print(center_freq)
    print(spacing)
    print(freqs)

    # Datos discretos
    if len(freqs) == 3:
        y = np.array([0.25, 0.5, 0.25]) # Valores en el eje y
    elif len(freqs) == 5:
        y = np.array([0.1, 0.15, 0.4, 0.15, 0.1]) # Valores en el eje y
    elif len(freqs) == 7:
        y = np.array([0.03, 0.12, 0.15, 0.4, 0.15, 0.12, 0.03]) # Valores en el

    # Graficar datos discretos
    plt.stem(freqs, y)

    # Configurar etiquetas de los ejes y título
    plt.xlabel('Frecuencia')
```

```
plt.ylabel('Amplitud componente %/100')
plt.title(f'Fracuencia de mensaje 5KHz; frecuencia variable {fvar[index]}')
```

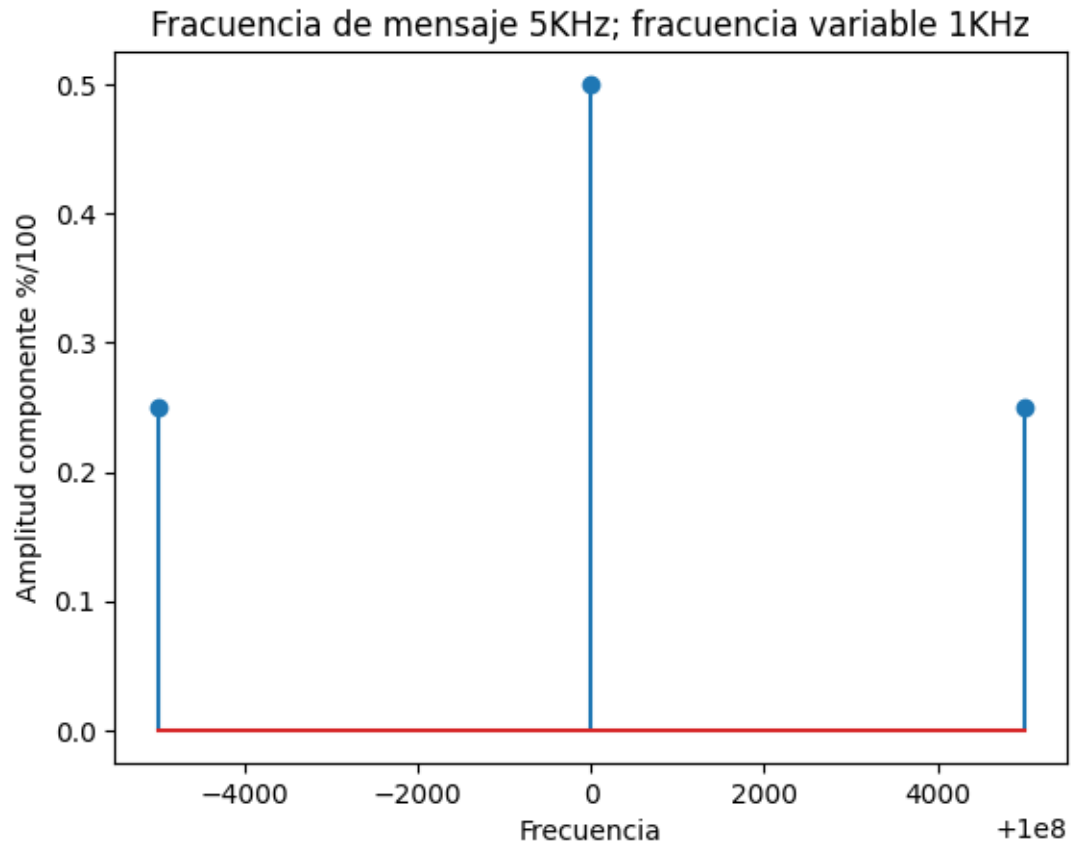
```
# Mostrar el gráfico
```

```
plt.show()
```

```
100000000.0
```

```
5000.0
```

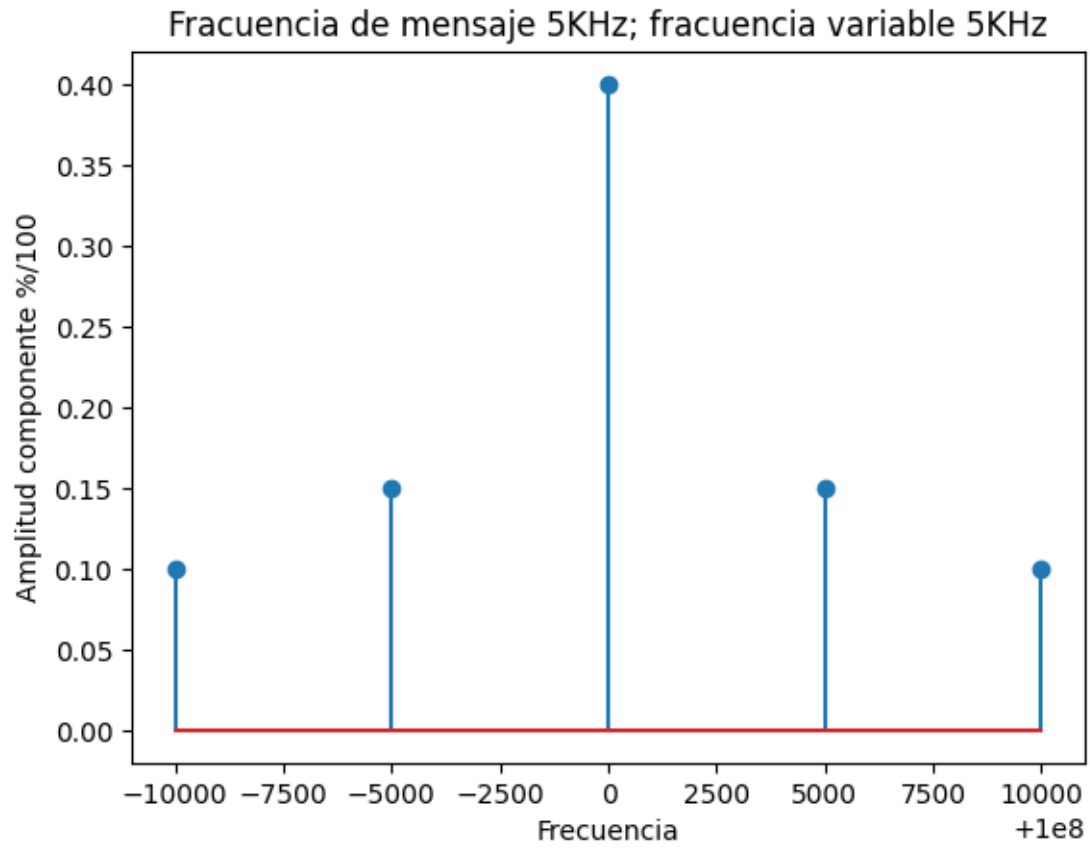
```
[99995000.0, 100000000.0, 100005000.0]
```



```
100000000.0
```

```
5000.0
```

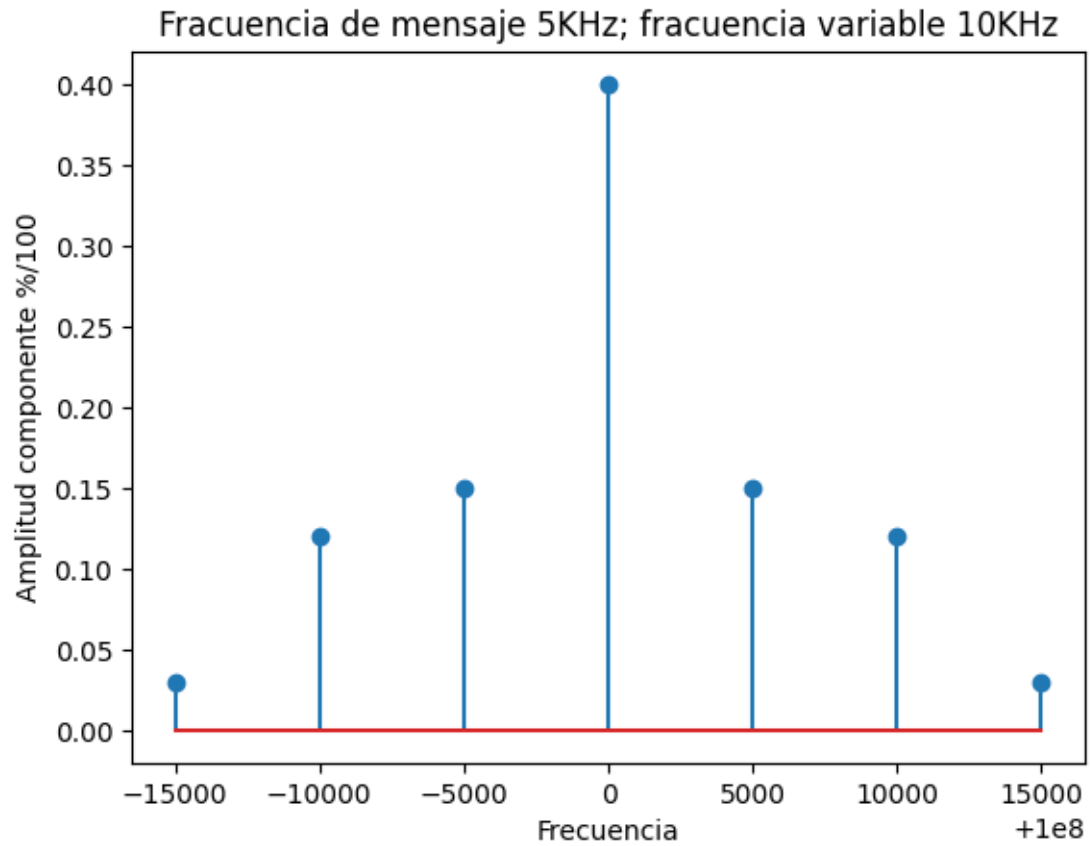
```
[99990000.0, 99995000.0, 100000000.0, 100005000.0, 100010000.0]
```



100000000.0

5000.0

[99985000.0, 99990000.0, 99995000.0, 100000000.0, 100005000.0, 100010000.0, 100015000.0]



ii Una desviación de frecuencia constante de  $\Delta F = 1KHz$  y una frecuencia moduladora  $f_m$  variable en  $[5KHz; 1KHz; 0,5KHz]$

$$\beta = \frac{\Delta F}{f_m} = \frac{1KHz}{f_m}$$

$$BW = 2.(1 + \beta).f_m$$

$$\beta_1 = \frac{1KHz}{5KHz} = 0,2$$

$$BW_1 = 2.(1 + 0,2).5KHz = 12KHz$$

$$\beta_2 = \frac{1KHz}{1KHz} = 1$$

$$BW_2 = 2.(1 + 1).1KHz = 4KHz$$

$$\beta_3 = \frac{1KHz}{0,5KHz} = 2$$

$$BW_3 = 2.(1 + 2).0,5KHz = 3KHz$$

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

fmes = ["5KHz", "1KHz", "0,5KHz"]
f = [5e3, 1e3, 0.5e3]
BW = [12e3, 4e3, 3e3]

# Parámetros
center_freq = 100e6 # Frecuencia central en Hz

for index, BW_i in enumerate(BW):
    a_freq = center_freq

    while a_freq >= center_freq - BW_i/2:
        a_freq -= f[index]

    a_freq += f[index]

    freqs = []
    while a_freq <= center_freq + BW_i/2:
        freqs.append(a_freq)
        a_freq += f[index]

# Crear array de frecuencias
# freqs = [100e6 - 5e3, 100e6, 100e6 + 5e3]

# Datos discretos
if len(freqs) == 3:
    y = np.array([0.25, 0.5, 0.25]) # Valores en el eje y
elif len(freqs) == 5:
    y = np.array([0.1, 0.15, 0.4, 0.15, 0.1]) # Valores en el eje y
elif len(freqs) == 7:
    y = np.array([0.03, 0.12, 0.15, 0.4, 0.15, 0.12, 0.03]) # Valores en el

# Graficar datos discretos
plt.stem(freqs, y)

# Configurar etiquetas de los ejes y título
plt.xlabel('Frecuencia')
plt.ylabel('Amplitud componente %/100')
plt.title(f'Frecuencia de mensaje {fmes[index]}; frecuencia variable 1KHz')

# Mostrar el gráfico
plt.show()

```

