

PRACTICA 4

PRACTICA 4 A

PARTE 1

1. El primer punto esta solucionado en el documento “Demodulacion de Emisoras FM”.

2. El uso de equipos de bajo costo ofrece una solución económica para la observación en tiempo real de diversas bandas del espectro, permitiendo identificar interferencias, verificar el cumplimiento normativo y realizar estudios técnicos sin requerir inversiones elevadas. A pesar de sus limitaciones en precisión y rango dinámico frente a equipos profesionales, son herramientas clave para prototipado y vigilancia básica del espectro.

3. Se detectó una señal distinta a la de radio FM con el objetivo de observar su comportamiento y características. Para ello, se optó por buscar transmisión de televisión analógica, cuya señal presenta dos componentes espectrales: una correspondiente al video y otra al audio, separadas entre sí por una distancia de 4,5 MHz.

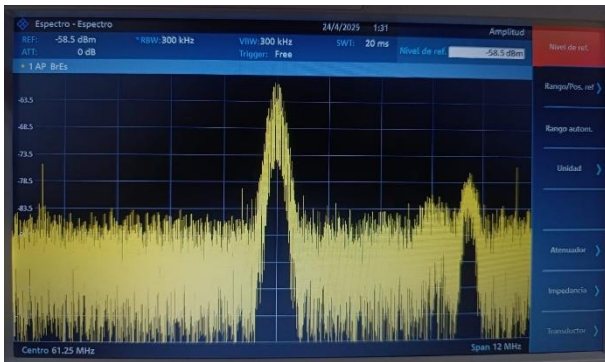


Figura 1. VHF Canal 3.

Portadora de video: 61.25 MHz

Portadora de audio: 65.75 MHz

Ancho de banda: 6 MHz

PARTE 2

En esta parte del laboratorio se repitió el proceso de medición del ancho de banda de emisoras en pasabanda utilizando un analizador de espectro.

1. Se analizó el espectro de cinco señales con el uso del analizador de espectro. Para cada una de ellas,

se determinó el ancho de banda aplicando el criterio de los -20 dB respecto al nivel máximo. Además, se realizó una medición adicional considerando el piso de ruido como referencia.

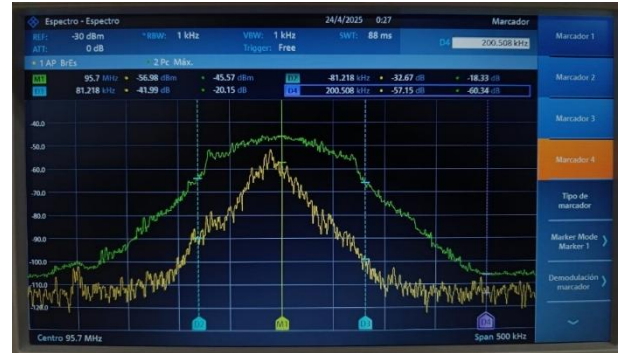


Figura 2. Frecuencia espectral Caracol.

Frecuencia central: 95.7 MHz

Nivel de potencia pico: -45.57 dBm

Ancho de banda aproximado: 200.5 kHz

Ancho de banda criterio -20dB: 162.436 kHz

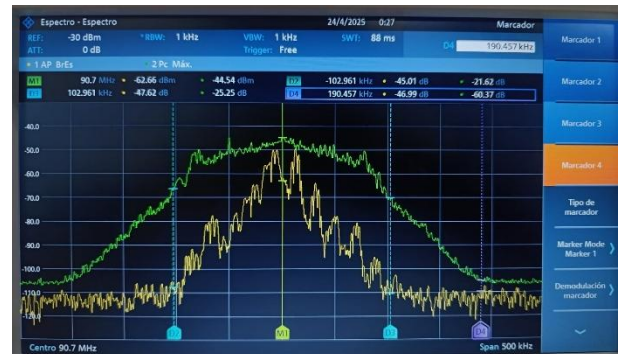


Figura 3. Frecuencia espectral Compañía de Comunicaciones.

Frecuencia central: 90.7 MHz

Nivel de potencia pico: -44.54 dBm

Ancho de banda aproximado: 190.457 kHz

Ancho de banda criterio -20dB: 205.922 kHz



Figura 4. Frecuencia espectral Servicio Radial.

Frecuencia central: 99.7 MHz
Nivel de potencia pico: -56.82 dBm
Ancho de banda aproximado: 300 kHz
Ancho de banda criterio -20dB: 200 kHz



Figura 5. Frecuencia espectral Compañía de Comunicaciones Florida.

Frecuencia central: 104.7 MHz
Nivel de potencia pico: -73.42 dBm
Ancho de banda aproximado: 217.394 kHz
Ancho de banda criterio -20dB: 171.236 kHz

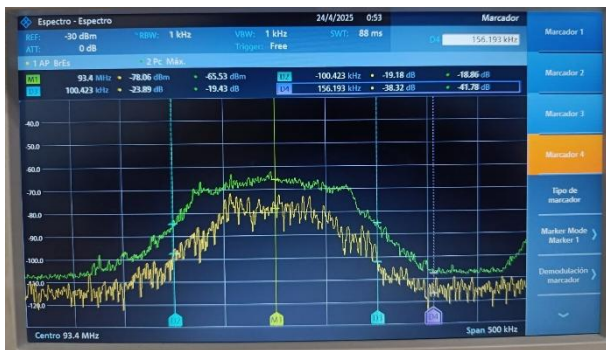


Figura 6. Frecuencia espectral Corporación para el Desarrollo Oriente.

Frecuencia central: 93.4 MHz
Nivel de potencia pico: -65.53 dBm
Ancho de banda aproximado: 312.386 kHz
Ancho de banda criterio -20dB: 200.846 kHz

2. El uso de la Radio Definida por Software y analizadores de espectro presenta ventajas y desventajas importantes. Los SDR son equipos versátiles y de bajo costo que permiten capturar y analizar señales en tiempo real mediante software, lo cual ofrece gran flexibilidad para realizar múltiples tareas como demodulación, filtrado o visualización espectral. Sin embargo, su sensibilidad, precisión y rango dinámico son limitados frente a un analizador de espectro dedicado. Por su parte, el analizador ofrece mediciones más confiables, con mejor resolución y exactitud, siendo ideal para aplicaciones

donde se requiere alta fidelidad. En conclusión, el SDR es más accesible y adaptable, pero el analizador brinda mayor precisión técnica.

PRACTICA 4 B

PARTE 1

Caso 1 $k_p \cdot A_m < 0.1$:

‘ k_p ’: 0.050

‘ f_m ’: 1000

Frecuencia portadora [MHz]: 200

‘ G_{TX} ’: 30.0

‘ A_m ’: 1000

‘ AC ’: 0.250

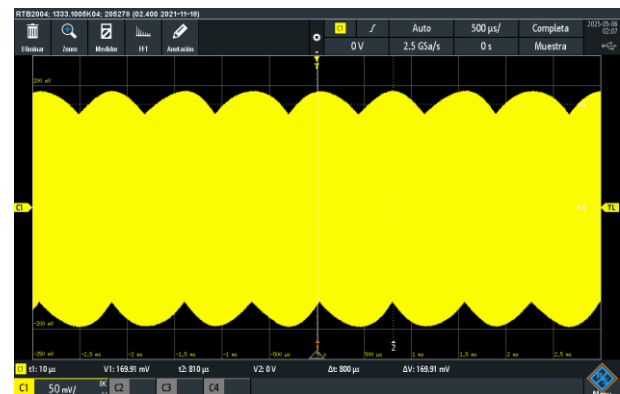


Figura 7. Señal osciloscopio caso 1.

El osciloscopio muestra una señal que es prácticamente una portadora senoidal con muy poca variación de fase.

Se observa una ligera deformación de la envolvente, lo cual es esperable en modulación angular de banda estrecha.

Cómo el valor de amplitud de la señal senoidal se midió desde la mitad, este corresponde al valor pico y entonces la potencia es:

$$P = \frac{V_p^2}{2 \cdot R}$$

Considerando $R = 50 \, \Omega$

V_p = 169.91 [mV])

P = 288.7 [uW]

Se puede observar que la modulación es leve debido a que los picos no se deforman mucho.

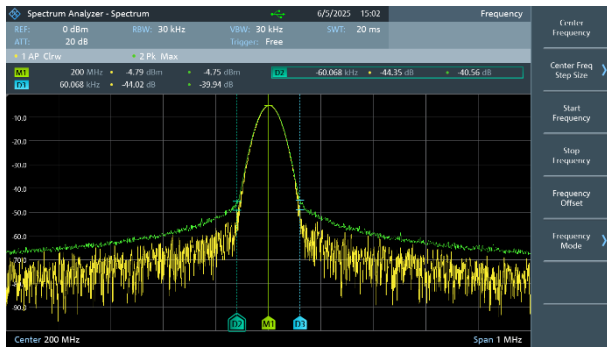


Figura 8. Señal analizador caso 1.

Observando el analizador de espectros, asumiendo sólo el pico del espectro y no un criterio cómo el de los 20 dB (Imagen: analizador1.1), tenemos $P = -4.79 \text{ dBm}$

$$P = 331.89 \text{ [uW]}$$

Obteniendo una diferencia de más o menos 12% respecto al osciloscopio, lo cual se debe probablemente a pérdidas del sistema ya que es usual que se atenúe más la señal en el osciloscopio.

$$BW = 120 \text{ [kHz]}$$

Caso 2 $k_p \cdot A_m < 0.1$:

$$k_p: 0.100$$

$$f_m: 1000$$

$$\text{Frecuencia portadora [MHz]: } 200$$

$$GTX: 30.0$$

$$A_m: 1000$$

$$AC: 0.250$$

Ahora, para el caso 2 de $k_p \cdot A_m < 0.1$ ya que es la mitad no cambia mucho el análisis sobre los efectos de la modulación, por lo que queda ver las relaciones entre uno y el otro.

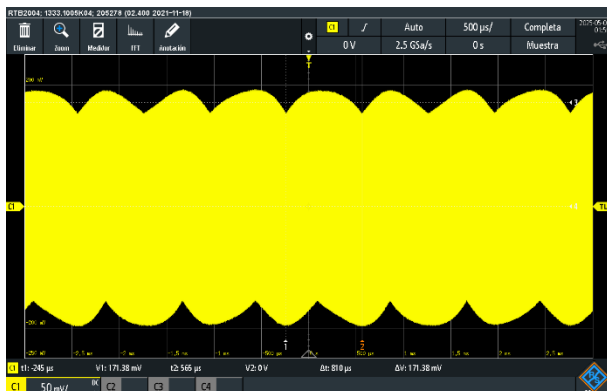


Figura 9. Señal osciloscopio caso 2.

$$P = 293.71 \text{ [uW]}$$

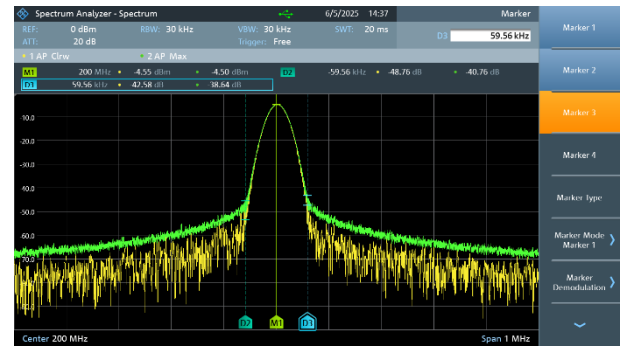


Figura 10. Señal analizador caso 2.

$$P = 354.81 \text{ [uW]}$$

$$BW \text{ apenas un poco menor a } 120 \text{ [kHz]}$$

En este punto tiene sentido los resultados ya que las frecuencias laterales del espectro se redujeron a 59.56 kHz y la potencia se concentró un poco más en el pico central. Sin embargo, la potencia total no cambia mucho más que por efectos externos al canal o ambiente puesto que la amplitud de la portadora en si no ha cambiado prácticamente nada.

Caso 1 $k_p \cdot A_m > 5$:

$$k_p: 55$$

$$f_m: 10000$$

$$\text{Frecuencia portadora [MHz]: } 50$$

$$GTX: 30.0$$

$$A_m: 1000$$

$$AC: 0.250$$



Figura 11. Señal osciloscopio caso 1.

$$P = 199.99 \text{ [uW]}$$

La señal modulada presenta una forma altamente no senoidal, con variaciones abruptas en la fase.

Se observa una envolvente con oscilaciones muy rápidas, lo que es característico de modulación angular de banda ancha (especialmente modulación por frecuencia).

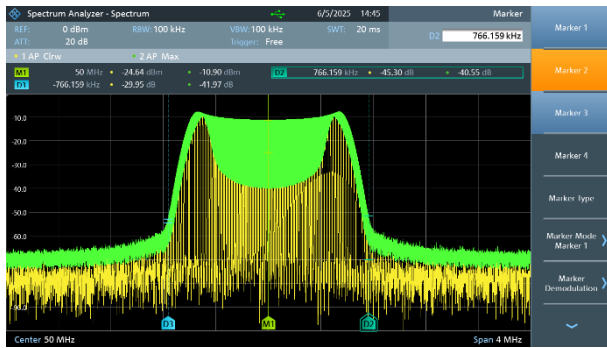


Figura 12. Señal analizador caso 1.

Hay múltiples picos, indicando una variación significativa de frecuencia instantánea.

Con $RBW = 100\text{[kHz]}$

Se realiza un cálculo estimado evitando integrar, entonces suponiendo un espectro plano:

$$PRBW = 1010 - 10.9 = 8.13 \times 10^{-2} \text{ mW} = 81.3 \text{ } \mu\text{W}$$

$$\text{Densidad} = RBW / PRBW = 100 \times 10381.3 \times 10^{-6} = 8.13 \times 10^{-10} \text{ W/Hz}$$

$$P_{\text{total}} = \text{Densidad} \times BW = 8.13 \times 10^{-10} \cdot 1.5 \times 10^6 = 1.2195 \times 10^{-3} \text{ W} = 121.95 \text{ } \mu\text{W}$$

Es claro que se notará una diferencia más grande ya que el cálculo de esta forma es una aproximación y no representa la potencia total de la señal.

Caso 2 $k_p \cdot A_m > 5$:

‘ k_p ’: 100

‘ f_m ’: 10000

Frecuencia portadora [MHz]: 50

‘ G_{TX} ’: 30.0

‘ A_m ’: 1000

‘ AC ’: 0.250



Figura 13. Señal osciloscopio caso 2.

$P = 713 \text{ } \mu\text{W}$

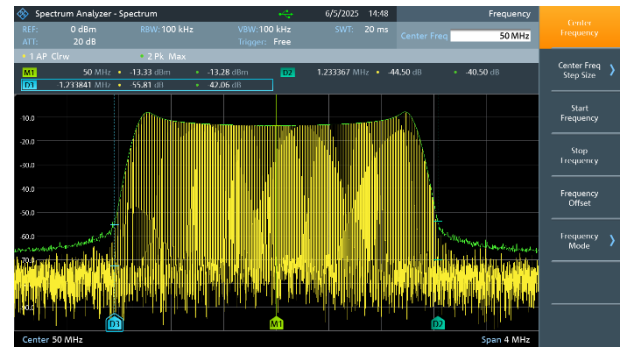


Figura 14. Señal analizador caso 2.

$P = 1150\text{ } \mu\text{W}$

Aquí una vez más, hay una gran diferencia debido al cálculo aproximado en el analizador, además de que en este caso la forma se aleja mucho más de ser plana, se observa que el ancho de banda es:

$BW = 2.46\text{MHz}$

Se confirma que la señal corresponde a una modulación FM de banda ancha.

El análisis en tiempo y frecuencia es coherente: la señal tiene envolvente constante (osciloscopio) y un ancho de banda amplio y plano (analizador de espectro).

La potencia total se estima en +1.54 dBm (osciloscopio) y +0.63 dBm (espectro), con diferencia razonable dada la distinta naturaleza de las mediciones.

PARTE 2

se utiliza el siguiente código de Python:

```
from scipy.special import jn # jn(n, x) = J_n(x)
kp = 3.0
for n in range(11):
    print(f"J_{n}({kp}) = {jn(n, kp):.5f}")
```

En el cual se obtienen los mismos resultados que en la tabla de Excel, dónde se implementa en esencia la misma ecuación para obtener los coeficientes teóricos.

La energía total se distribuye en múltiples componentes espectrales. La mayor parte de la potencia se encuentra concentrada en los primeros cinco armónicos (J_0 a J_4), lo cual coincide con el comportamiento teórico esperado para un índice de modulación $\beta=3$, de igual manera para los

otros coeficientes la mayor parte de la potencia se encuentra en las componentes espectrales esperadas.

El resto de la parte 2 esta evidenciado en el documento "Coeficientes Bessel".