

LABORATORIO 5-B

Jhon Chavez #2212234

Andrés Quintero #2204655

Pregunta 1:

- a) Bloques para que funcionará la transmisión de radio, y se viera bien en el osciloscopio y analizador de espectro:

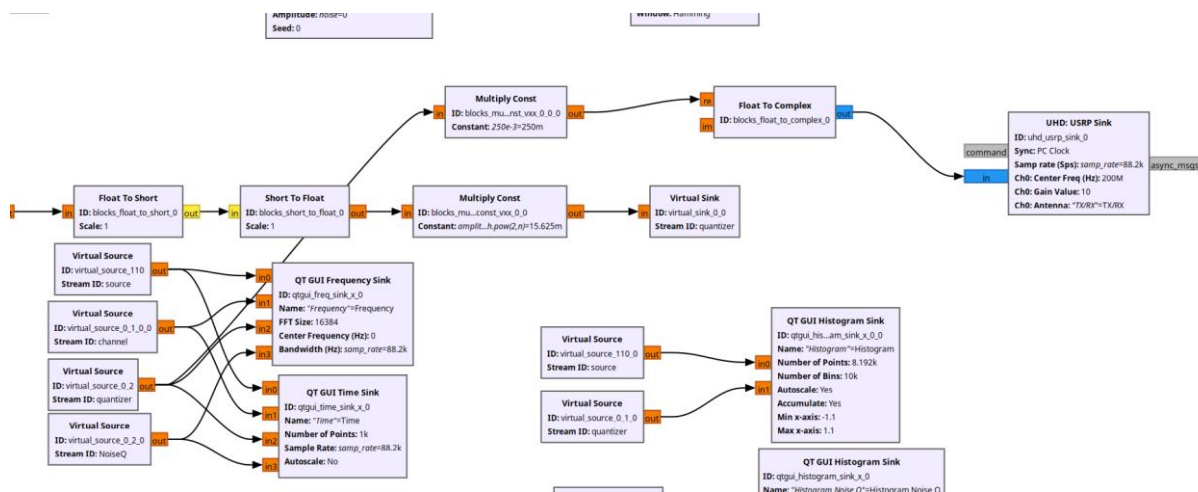


Figura 1: Diagrama de bloques GNU Radio para transmitir señal por radio.

- b) ¿Cómo afecta la resolución del cuantizador a la calidad de la señal después de la cuantización?

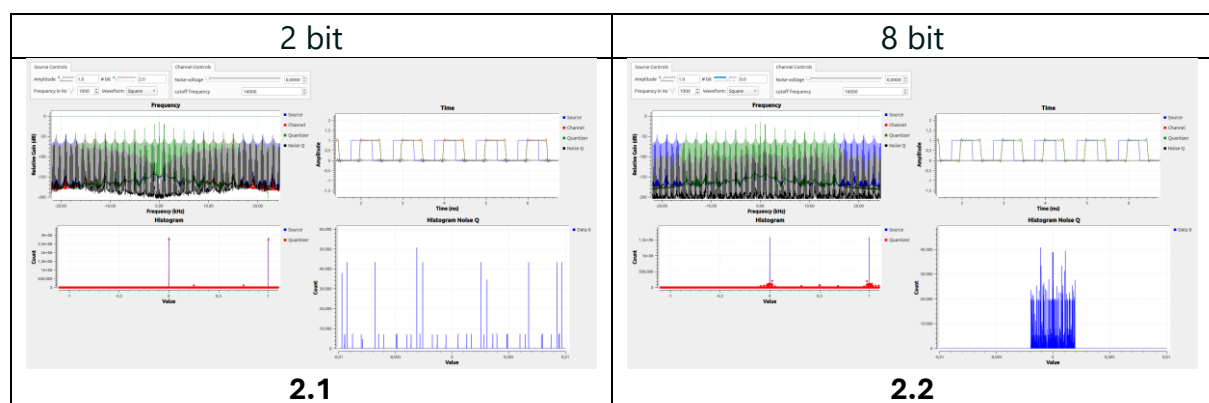


Figura 2: Análisis de calidad de la señal con diferentes valores de bits.

Observando la **Figura 2**, podemos deducir que a mayor resolución del cuantizador (más bits), mejor es la calidad de la señal cuantizada. Con 8 bits hay más niveles de representación y menos pérdida de detalle, mientras que con 2 bits hay mayor distorsión, pérdida de información y calidad visual reducida, algo que se puede notar en el histograma

respectivamente, cuando tenemos más bits la información se concentra en los valores cercanos a 0, y cuando no, pues esta información se distribuye en diferentes puntos.

c) ¿Qué impacto tiene el ruido de cuantización en la señal procesada y cómo se puede minimizar?

En la **figura 2.1** con una señal cuantizada a 2 bits, se nota un poco de ruido (señal de color negro), en cambio en la señal **figura 2.2** ese ruido disminuye bastante, casi ni se percibe, esto se debe a que:

- Con **2 bits**, hay solo 4 niveles posibles, lo que produce un error más grande entre el valor real y el valor cuantizado.
- Con **8 bits**, hay 256 niveles, lo que significa que el valor cuantizado está mucho más cerca del valor original, y por tanto, el ruido es mucho menor.

d) ¿Cómo influye el ancho de banda del filtro pasabajas en la calidad de la señal después de la cuantización?

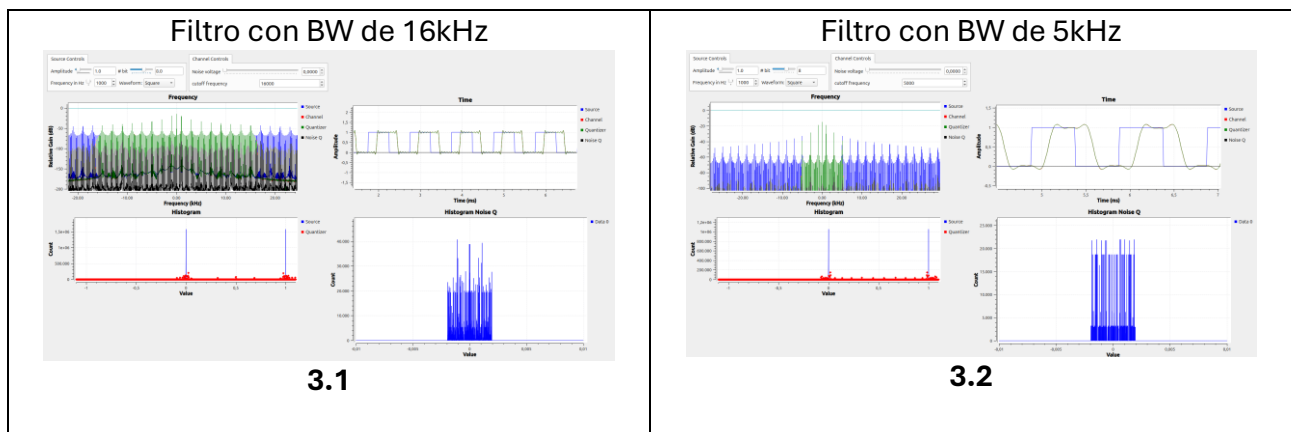


Figura 3: Variación del ancho de banda del filtro pasabajas.

Observando la figura anterior, específicamente las gráficas en el tiempo y el histograma podemos concluir que un filtro pasabajas con menor ancho de banda (5 kHz) atenúa más el ruido de cuantización, pero también puede eliminar detalles importantes de la señal. Uno con mayor ancho de banda (16 kHz) conserva más detalle, pero puede dejar pasar más ruido, es por eso por lo que el ancho del filtro debe elegirse en función del espectro útil de la señal original.

e) ¿De qué manera la adición de ruido gaussiano afecta el desempeño del cuantizador uniforme en GNU Radio?

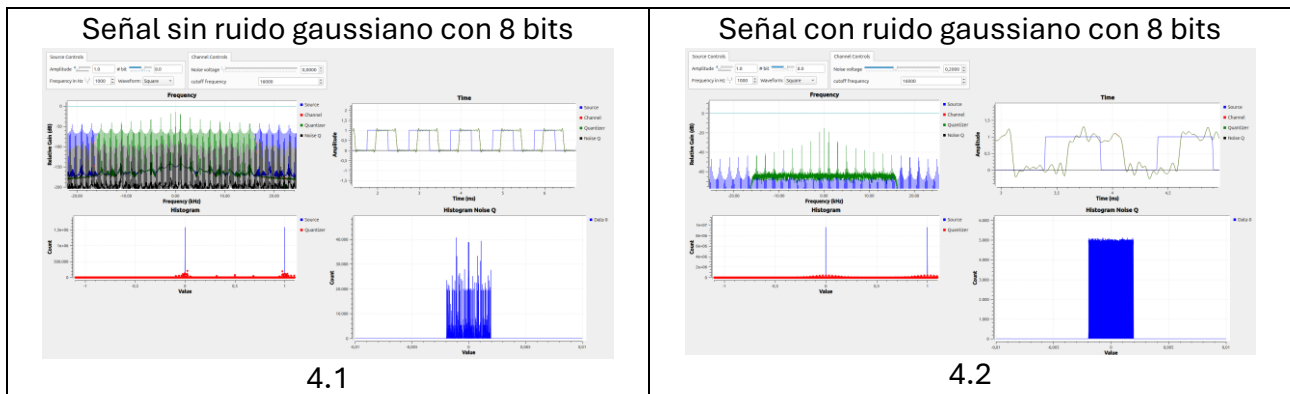


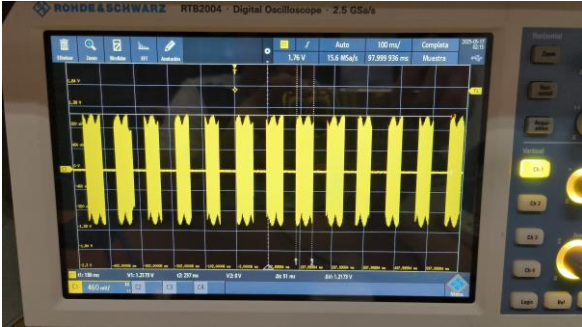
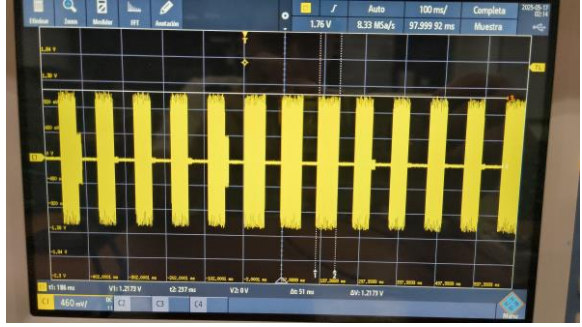
Figura 4: Variación de la señal cuando se introduce ruido gaussiano.

En la **figura 4.2**, podemos ver como el ruido gaussiano “ensucia” la señal antes de cuantizarla, lo que empeora la precisión de los niveles asignados por el cuantizador uniforme.

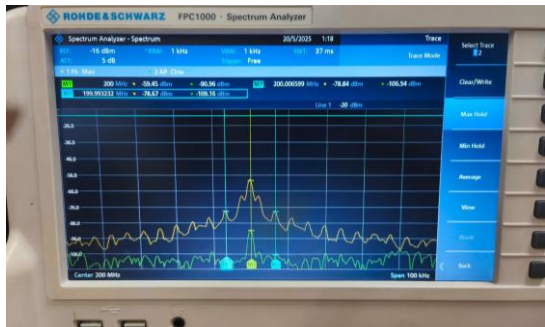
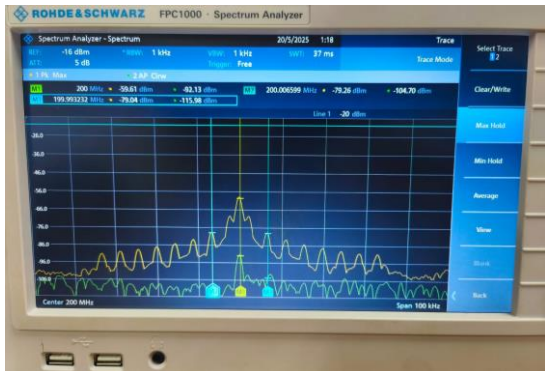
f) ¿Qué ventajas y desventajas tiene el uso de diferentes esquemas de cuantización en aplicaciones de procesamiento digital de señales?

	Ventajas	Desventajas
Uniforme	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Simplicidad de implementación. ✓ Requiere bajo costo computacional. ✓ Buena para señales con distribución uniforme o ruido blanco. 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Ineficiente para señales no uniformes (como voz). ✗ SNR no óptima a bajos niveles de señal.
No uniforme	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mejora la relación señal/ruido (SNR) para señales de voz (donde la energía está concentrada en bajos niveles). ✓ Más eficiente para señales con distribución no uniforme (como señales logarítmicas o exponenciales). 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Más compleja de implementar. ✗ Puede requerir funciones de compresión/expansión (companding). ✗ No siempre adecuada para señales no vocales.

g) Observe uno de los casos en el osciloscopio y documente lo observado (amplitudes, delta de amplitudes, delta de tiempos)

<p>2 bits</p> 	<p>$\Delta v = 2.42 \text{ v}$</p> <p>$\Delta t = 51 \text{ ms}$</p> <p>$A = 1.21 \text{ v}$</p> <p>Podemos ver picos menos uniformes, esto es debido a que solo tenemos 2 bits, es decir, 4 niveles de cuantización, por lo cual la resolución es baja.</p>
<p>8 bits</p> 	<p>$\Delta v = 2.42 \text{ v}$</p> <p>$\Delta t = 51 \text{ ms}$</p> <p>$A = 1.21 \text{ v}$</p> <p>Aquí ya vemos que los picos de los pulsos son más uniformes, no tienen casi variaciones, esto es debido a que tiene 256 niveles de cuantización, por lo cual la resolución es alta.</p>

h) Observe uno de los casos en el analizador de espectro y documente lo observado (ancho de banda, delta de frecuencia y potencia)

<p>2 bits</p> 	<p>BW = 13.36 KHz (Criterio de 20 dB)</p> <p>$\Delta f = 6.59 \text{ KHz}$</p> <p>P = -59.45 dBm (Portadora, ya que tiene casi toda la potencia)</p>
<p>8 bits</p> 	<p>BW = 13.36 KHz (Criterio de 20 dB)</p> <p>$\Delta f = 6.59 \text{ KHz}$</p> <p>P = -59.61 dBm (Portadora, ya que tiene casi toda la potencia)</p> <p>Nota: Lo que realmente cambia es la distribución de potencia, como se observa con la potencia de la portadora y de los armónicos.</p>

Pregunta 2:

- a) ¿Cómo influye el valor de la constante **A** en la distribución de los niveles de cuantización y la percepción del ruido de cuantización?

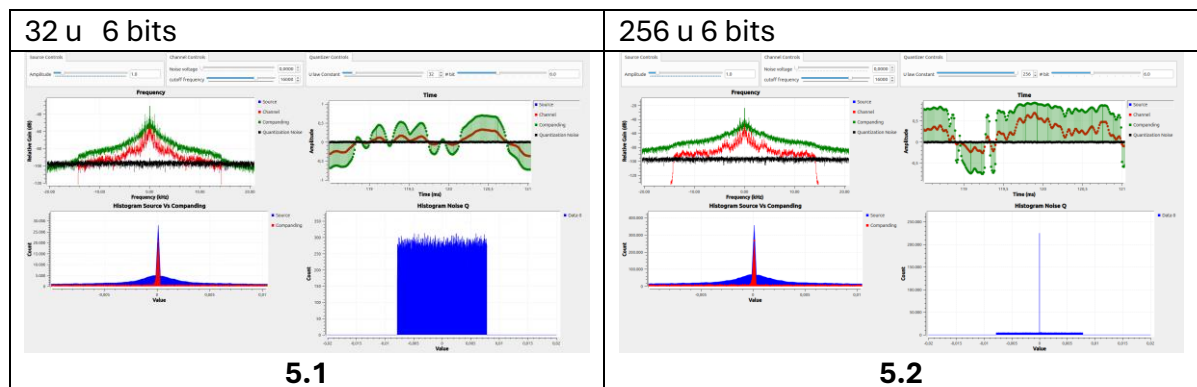


Figura 5: Señal cuantizada para diferentes valores de μ .

Para entender el comportamiento de estas graficas, es necesario recordar que ocasiona la constante U o A de la señal,

Estas constantes controlan la curvatura de la compresión logarítmica:

- Valores bajos de μ se traduce en una curva suave y por consiguiente se parece más a una cuantización uniforme.
- Valores altos de μ se traduce en una curva más abrupta por lo que habrá una mayor compresión en amplitudes pequeñas, y expansión en grandes.

Si nos fijamos en el histograma de la figura 5, con $\mu = 32$, el histograma de ruido de cuantización (abajo derecha) es más disperso, mostrando una distribución relativamente plana, en cambio, con $\mu = 256$, el histograma tiene un pico estrecho y central, indicando que la mayoría del error de cuantización es muy pequeño, ósea una mejor percepción.

- b) ¿Cuáles son las ventajas del cuantizador Ley A en comparación con la cuantización uniforme?
- La Ley A comprime las amplitudes antes de la cuantización, asignando más niveles de cuantización a valores pequeños.
 - Esto reduce el ruido de cuantización relativo cuando la señal tiene poca amplitud (lo cual es común en señales de voz).
 - En cambio, la cuantización uniforme reparte los niveles de forma equidistante, sin privilegiar los valores pequeños, lo que genera más error relativo en señales débiles.

En conclusión la cuantización Ley A ofrece ventajas significativas sobre la cuantización uniforme al mejorar la relación señal a ruido en señales de baja amplitud y reducir la distorsión perceptible, esto la convierte en una técnica más eficiente para aplicaciones como la compresión de voz, donde la percepción humana es más importante que la fidelidad absoluta.

c) ¿Cómo afecta el ancho de banda del canal a la calidad de la señal cuantizada y qué implicaciones tiene para el ruido de cuantización?

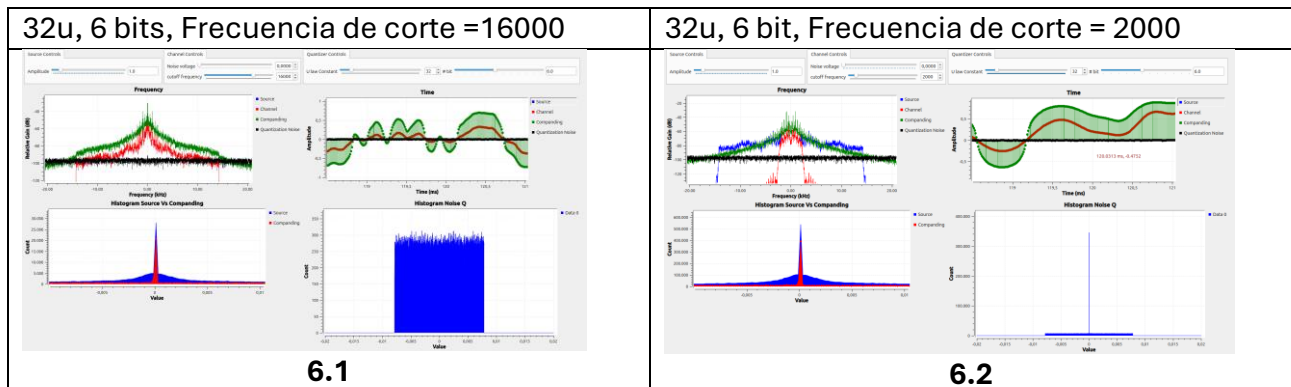


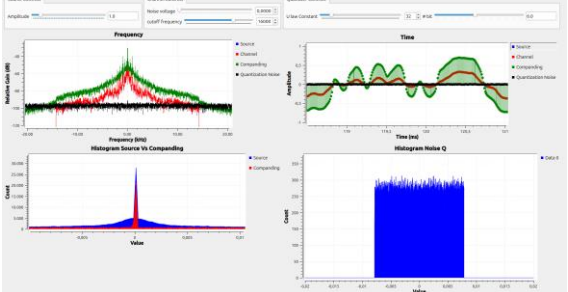
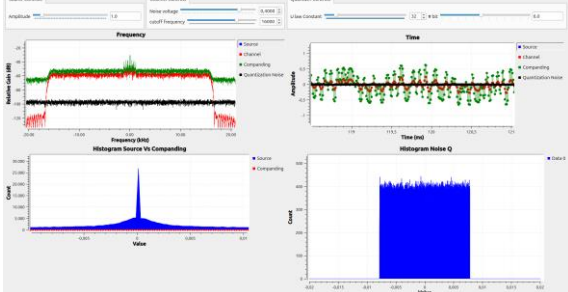
Figura 6: Señal cuantizada para diferentes valores de cutoff frequency.

En la figura anterior podemos comprobar que el ancho de banda del canal tiene un efecto directo sobre la calidad de la señal cuantizada. Un canal de ancho de banda reducido filtra tanto las altas frecuencias de la señal como parte del ruido de cuantización, lo que puede mejorar la calidad percibida.

Ahora bien, analizando su espectro en frecuencia **figura 6**, con un cutoff de 2 kHz, la señal Companding aparece más atenuada y un poquito concentrada en bajas frecuencias, mientras que, en el caso de 16 kHz, la señal mantiene más componentes de alta frecuencia. Esto indica que el canal ha eliminado contenido espectral más allá de los 2 kHz

En el histograma del ruido de cuantización cuando el cutoff es bajo (2 kHz), el histograma del ruido se reduce significativamente, esto nos indica que el ruido tiene menor dispersión, y esto se debe a que las altas frecuencias, que contienen los cambios más bruscos han sido filtradas.

d) ¿Qué impacto tiene la adición de ruido gaussiano en la señal procesada con cuantización Ley A?

32U, 6bit sin ruido	32U, 6bit con ruido
 <ul style="list-style-type: none"> ✓ En la frecuencia podemos ver que el espectro de la señal es limpio y simétrico, con una distribución más suave. ✓ Si observamos, el histograma de ruido aquí es uniforme, pero con bordes bien definidos. 	 <ul style="list-style-type: none"> ✓ En la frecuencia aquí ya aparece una elevación general del piso, especialmente en las partes de menor ganancia, bueno esto indica que el ruido ha llenado el espectro con componentes aleatorios, reduciendo la SNR. ✓ la traza de la señal Companding muestra perturbaciones de alta frecuencia, generando una señal más irregular y es que a simple vista podemos observar que el ruido distorsiona el seguimiento de la señal original, lo cual provoca el error de cuantización. ✓ El histograma de ruido aquí se ve con más dispersión y una distribución aún más uniforme. ✓ En el histograma de la señal vs companding muestra la señal original (azul) y la compandida (rojo) se alejan más entre sí cuando hay ruido, sobre todo en los extremos, y es que el ruido hace que más muestras caigan lejos del valor central.

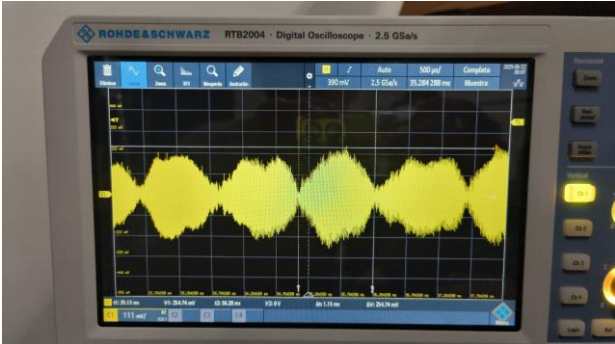
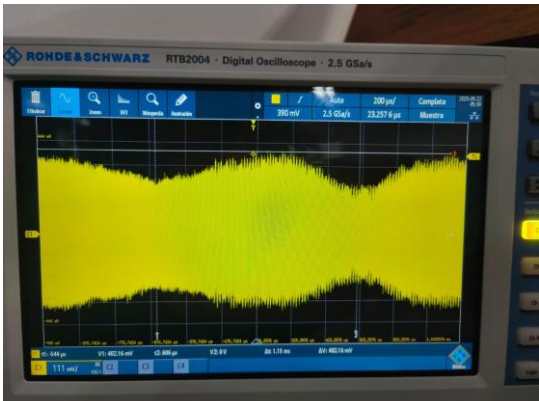
- e) ¿Cómo se puede optimizar la cuantización Ley A para mejorar la relación señal-ruido en sistemas de procesamiento digital?

Con respecto a todos los parámetros que intervienen en la cuantización Ley A, puedo decir que para mejorar la relación podemos ajustarlos de tal manera que aporten algo:

Estrategia	Mejora aportada
Ajustar valor de μ	Optimiza compresión según tipo de señal
Aumentar número de bits	Disminuye el error de cuantización
Filtrado antes de cuantizar	Elimina componentes innecesarios
Usar dither	Mejora percepción del ruido
Companding adaptativo	Mejora para señales no estacionarias
Codificación predictiva (DPCM)	Reduce amplitud del error cuantizado
Evitar clipping	Previene distorsión severa

- f) Observe uno de los casos en el osciloscopio y documente lo observado (amplitudes, delta de amplitudes, delta de tiempos)

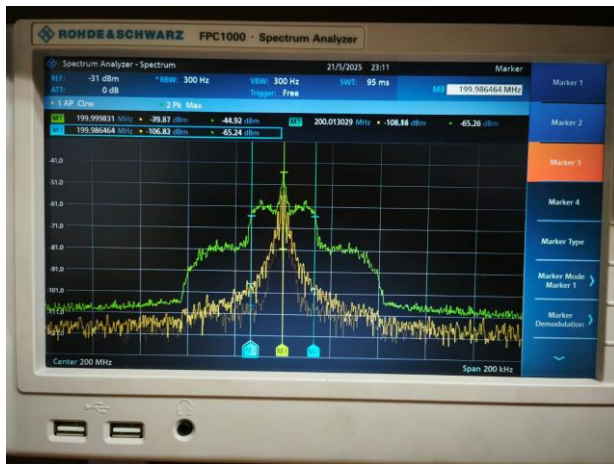
Para este caso, decidí analizar cuando se modifica el U.

<p>U= 12</p> 	<p>$\Delta v = 509,42 \text{ mV}$</p> <p>$\Delta t = 1,15 \text{ ms}$</p> <p>A = 254,71 mV</p>
<p>U=120</p> 	<p>$\Delta v = 804,32 \text{ mV}$</p> <p>$\Delta t = 1,15 \text{ ms}$</p> <p>A = 402,16 mV</p> <p>Nota: Vemos que en frecuencia el periodo permanece igual, pero la amplitud aumenta y por consiguiente no se van a ver esos picos bajos como en U=12.</p>

- g) Observe uno de los casos en el analizador de espectro y documente lo observado (ancho de banda, delta de frecuencia y potencia)

Para este caso decidí variar el ruido, dejando tanto U=32 y 6 bits.

Sin ruido

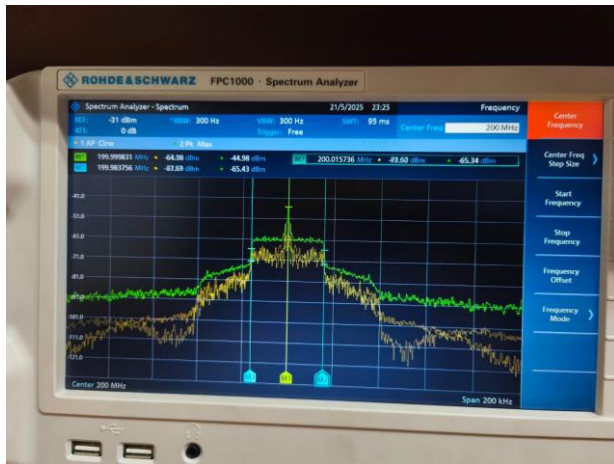


BW = 26,565 KHz (Criterio de 20 dB)

$\Delta f = 13,2825$ KHz

P = -44.92 dBm (Portadora, ya que tiene casi toda la potencia)

Con ruido



BW = 31,98 KHz (Criterio de 20 dB)

$\Delta f = 15,99$ KHz

P = -44,98 dBm (Portadora, ya que tiene casi toda la potencia)

Nota: La adición de ruido gaussiano eleva el piso de ruido y reduce la relación SNR, lo cual degrada la calidad espectral de la señal, dificultando su detección y procesamiento, y esto lo podemos ver en un espectro más difuso.