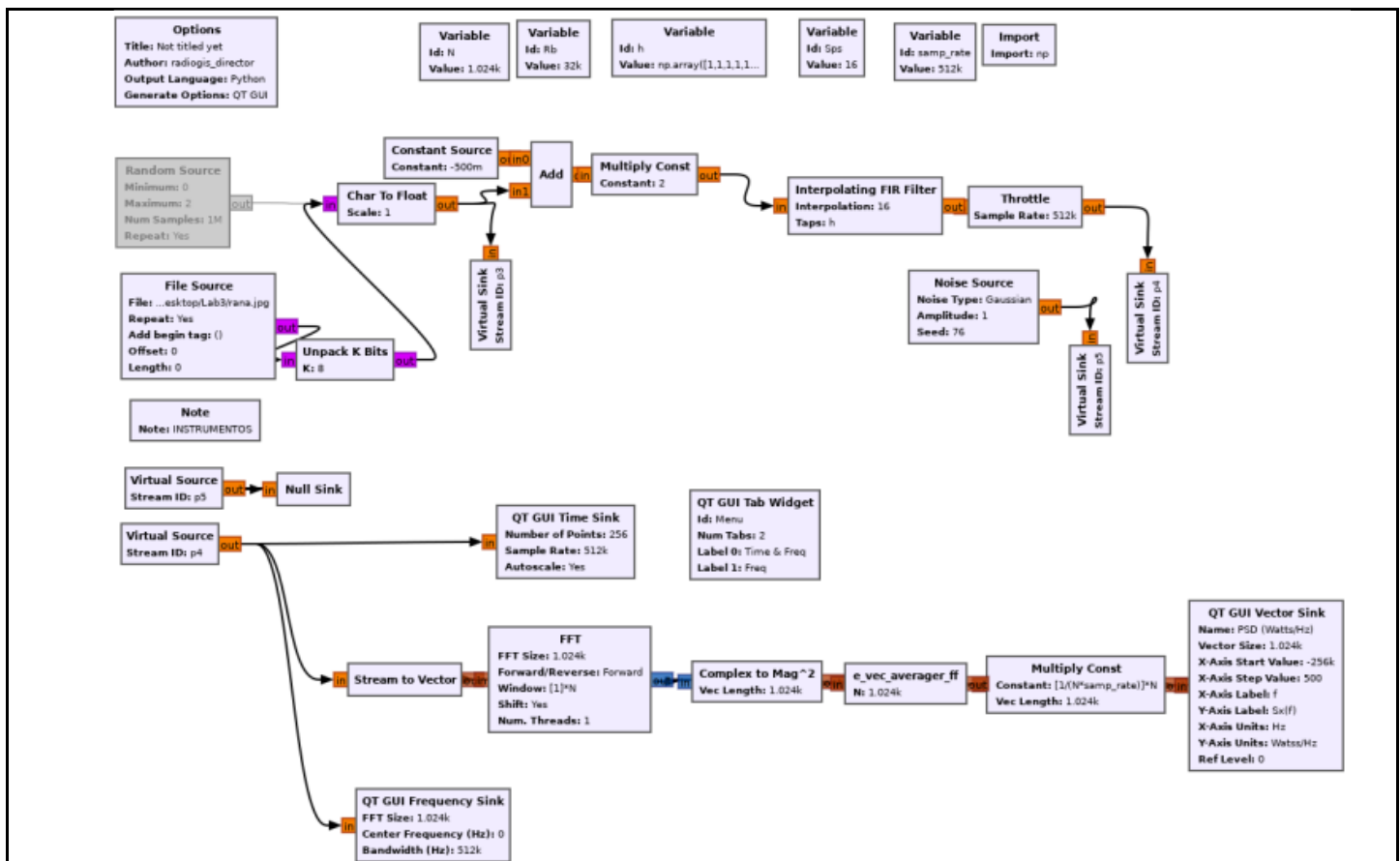


UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
PROGRAMA DE ELECTRONICA
LABORATORIO 2 – PSD DE SEÑALES ALEATORIAS

1. IDENTIFICACIÓN	
FACULTAD E3T	PROGRAMA: INGENIERIA ELECTRONICA
ASIGNATURA	COMUNICACIONES II
UNIDAD TEMÁTICA	GNU RADIO
TEMA	PSD DE SEÑALES ALEATORIAS
DOCENTE	JOHAN LEANDRO TÉLLEZ GARZÓN
ALUMNOS	GERSON ALEXANDER SANCHEZ BRITO JUAN CAMILO TIBADUIZA ACEVEDO
FECHA	22/03/2024
2. DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS	
<p>Mediante esta guía de enseñanza se analizan las funciones de densidad espectral de potencia (PSD) de diversas fuentes de señal para identificar características o aspectos únicos de las señales de tipo aleatorio como lo es la información digital que generalmente se transmite por un medio de comunicación.</p> <ul style="list-style-type: none">• Empaquetar en una señal las informaciones provenientes de una fuente binaria.• Generar diversas señales aleatorias• Encontrar y analizar la PSD de las señales generadas• Alterar parámetros de la constitución de las señales para analizar la PSD	
3. REVISIÓN PRELIMINAR	
<p>Conozca el Manual de Manuales para que aprenda a encontrar las ayudas disponibles en temas de SDR en la UIS. Familiarícese con las variables usadas en los flujogramas. El libro de la asignatura contiene además cosas como:</p> <ul style="list-style-type: none">• En el capítulo 6, del libro Vol I, se tiene una descripción de las variables y siglas que se usan en los flujogramas para cualquier práctica de la asignatura.• Enlaces a flujogramas usados en el libro. Debajo de cada gráfica con flujogramas hay una nota que dice: "Flujograma usado". Esos flujogramas usados en el libro están en la página del libro: https://sites.google.com/saber.uis.edu.co/comdig/sw o directamente en github: https://github.com/hortegab/comdig_su_software_libro3.8.git <p>1. Realice el flujograma mostrado a seguir, dejando dos fuentes de señal diferentes: random source y file source (para usar más adelante con una imagen, un audio de voz y un audio musical).</p>	



2. Busque en internet, un audio de voz (wav) y un audio musical de su elección. Use la imagen recomendada más adelante en formato jpg u otra que le llame la atención. Guarde estos tres archivos en la misma carpeta donde creo el flujograma del punto 1.

4. ACTIVIDADES Y PROCEDIMIENTOS

3. Comprobar el funcionamiento del flujograma propuesto para la práctica, analizando una señal binaria aleatoria bipolar de forma rectangular. Siga este proceso:
 - a) Para una señal binaria aleatoria bipolar obtenga la forma en el tiempo, la PSD y los parámetros principales (rata de bits, frecuencia de muestreo, ancho de banda) de para los siguientes valores de Sps (Nota: debe variar h para que Sps tome el valor correspondiente):
 - Sps=1
 - Sps=4
 - Sps=8
 - Sps=16
 - Sps=64
4. Comprobar cómo es el ruido blanco en tiempo y en PSD. Siga este proceso:
 - a) Configure las "Virtual Source" de manera que la primera (la de arriba) diga p4 y la segunda (la de abajo) diga p5
 - b) haga las pruebas que usted considere necesarias y anexe evidencias y explicación de las observaciones

5. Comprobar qué pasa con la señal en tiempo y frecuencia cuando los bits provienen de una fuente del mundo real como es el caso de una cámara fotográfica. Siga este proceso:
 - a) Devuelva los cambios al flujograma hechos en el punto anterior (Sps=4).
 - b) En el flujograma usado en el punto anterior cambie el bloque “Random Source” por los dos bloques que se muestran en la siguiente figura para leer un archivo y extraer los bits. Utilice como imagen de prueba: <https://pixabay.com/es/photos/oceano-mar-playa-ondas-rocas-7118082/> en resolución 640x428.

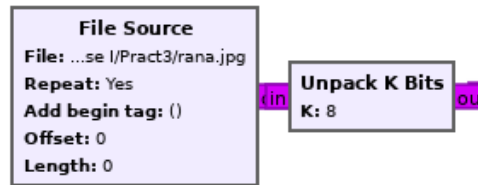


Fig. 1

- c) El bloque “File Source” configure el parámetro “File” para que lea el archivo “nombre_asignado.jpg”
 - d) Haga los experimentos que usted considere necesario, pero registre en el informe la conclusión de sus observaciones basándose en gráficas de tiempo y PSD apropiadas
6. Comprobar qué pasa con la señal en tiempo y frecuencia cuando los bits provienen de una fuente del mundo real como es el caso de un micrófono (audio de voz.wav). Siga este proceso:
 - a) El bloque “File Source” configure el parámetro “File” para que lea el archivo “sonido.wav”
 - b) Continúe como en el punto anterior.
 7. Comprobar qué pasa con la señal en tiempo y frecuencia cuando los bits provienen de una fuente musical del mundo real (audio música.wav). Siga este proceso:
 - a) El bloque “File Source” configure el parámetro “File” para que lea el archivo “musica.wav”
 - b) Continúe como en el punto anterior.
 8. Preguntas de auto control sobre el flujograma randombinayrectsignal.grc:
 - a) ¿Qué papel juega la siguiente combinación de bloques?

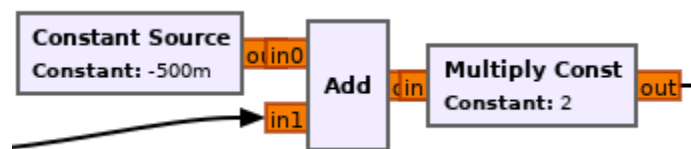


Fig. 2

- b) ¿Qué papel juega el bloque “Interpolationg FIR Filter”, cómo funciona?
 - i. ¿Por qué el parámetro “Interpolation” en el bloque vale “Interpolationg FIR Filter” y qué pasa si se coloca otro valor?
 - ii. Si tuviese que analizar la señal en p3, ¿qué cambios realizaría en la instrumentación?
 - iii. ¿Qué fórmula permite conocer el ancho de banda de la señal en p4 si se conoce R_b y Sps?
 - iv. ¿Qué fórmula permite conocer la frecuencia de muestreo en p3, si se conoce la frecuencia de muestreo en p4 y Sps?
- c) Por qué razón la PSD de las señales binarias que provienen de una señal de audio es diferente a la que proviene de una foto siendo ellas igualmente señales binarias bipolares de forma rectangular?

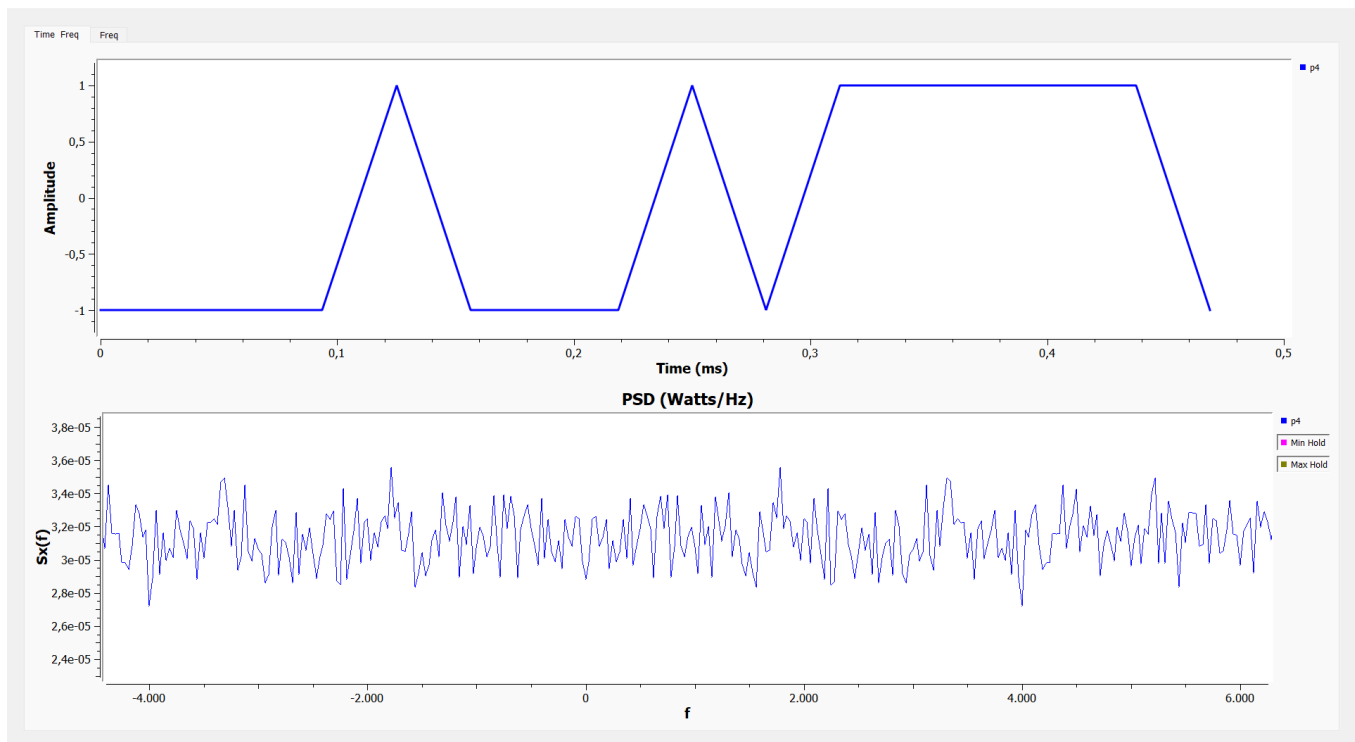
5. RECURSOS E INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Los recursos e informaciones relacionadas al desarrollo de este laboratorio son los siguientes:

- Computador con mínimo 4 GB de RAM, 2GB de espacio en disco y procesador Core i3 o superior.
- Documentación oficial del GNU RADIO.
- Libro E3T

6. EVIDENCIA, RESULTADOS Y CONCLUSIONES DEL LABORATORIO

- **Sps=1**

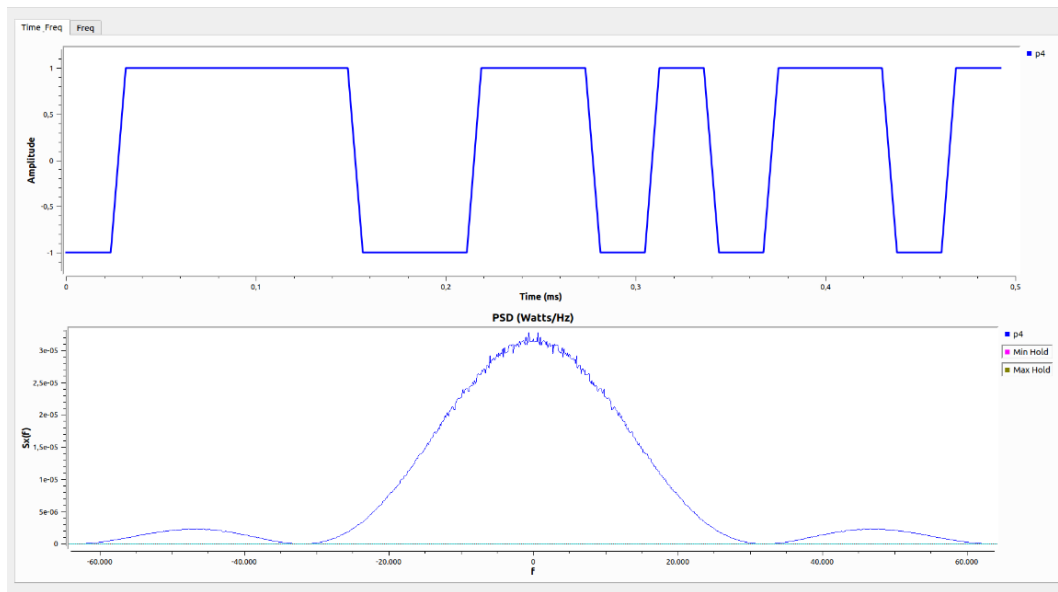


Grafica 1. Señal en tiempo y PSD, para un sps=1.

Rata de bits [bps]	Frecuencia de Muestreo	Ancho de Banda
1	-	-

Tabla 1. Parámetros principales para un sps=1.

- Sps=4

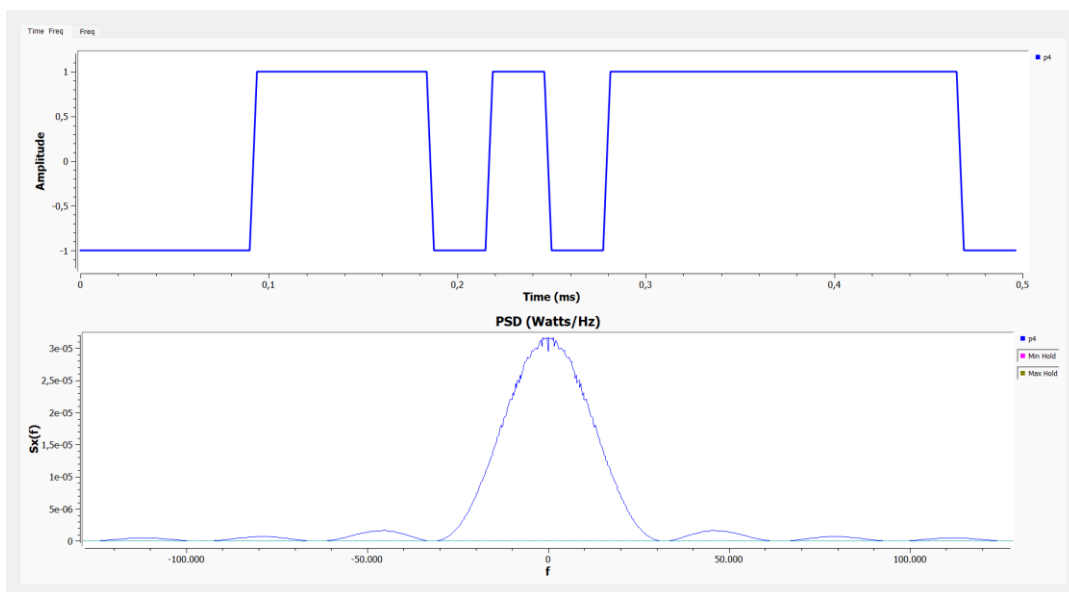


Gráfica 2. Señal en tiempo y PSD, para un sps=4.

Rata de bits	Frecuencia de Muestreo	Ancho de Banda
32000	128000	64000

Tabla 2. Parámetros principales para un sps=4.

- Sps=8

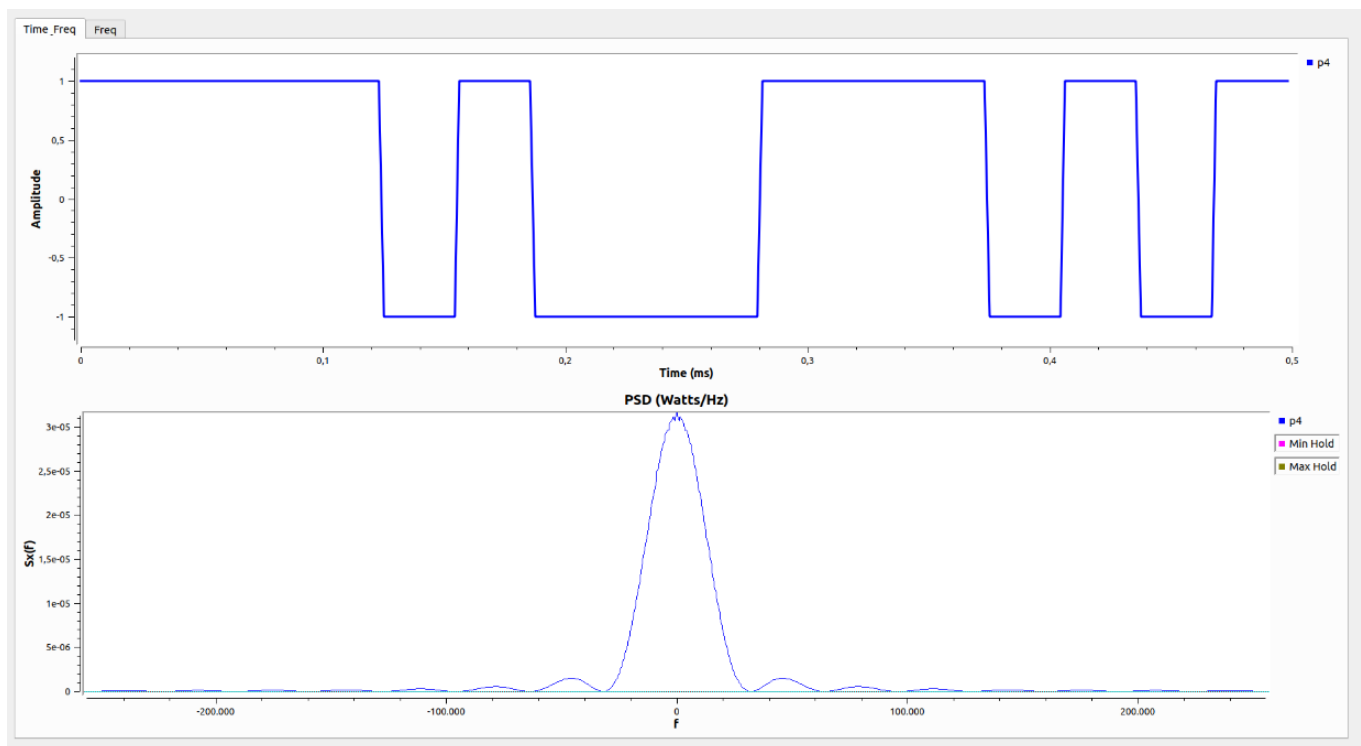


Gráfica 3. Señal en tiempo y PSD, para un sps=8.

Rata de bits	Frecuencia de Muestreo	Ancho de Banda
32217	256000	128000

Tabla 3. Parámetros principales para un $sps=8$.

- **Sps=16**

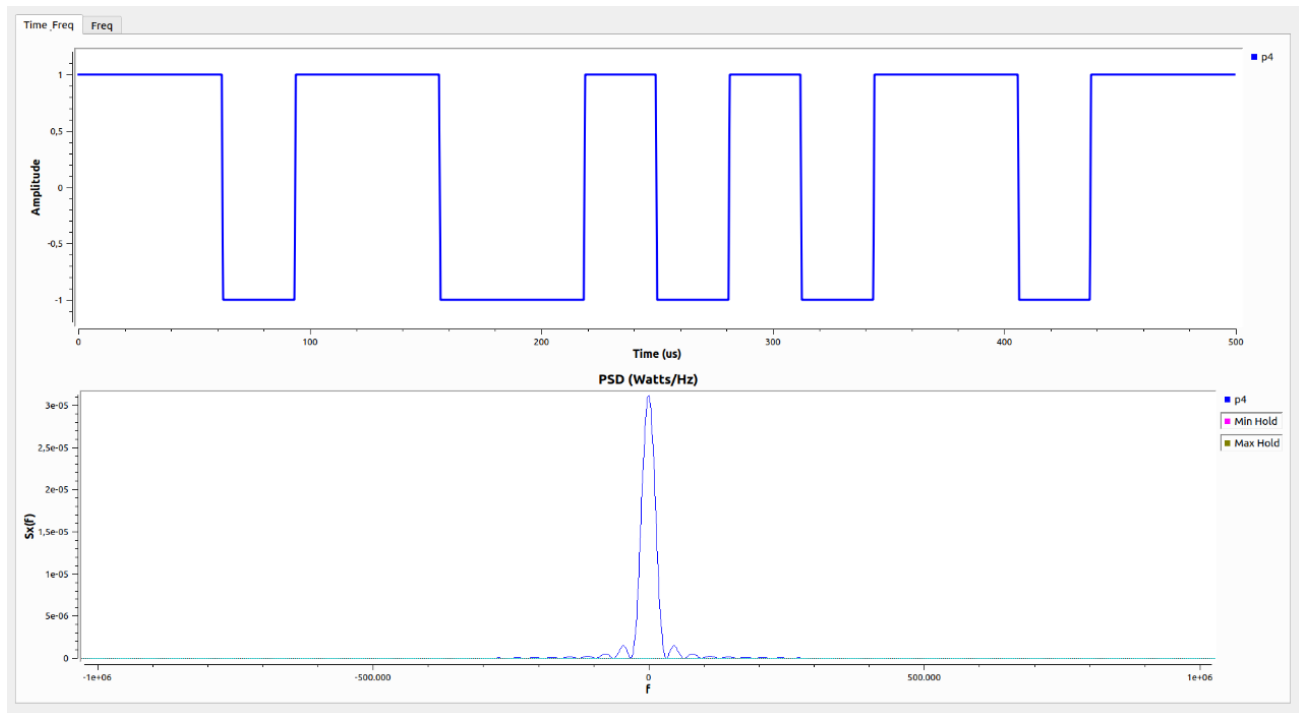


Gráfica 4. Señal en tiempo y PSD, para un $sps=16$.

Rata de bits	Frecuencia de Muestreo	Ancho de Banda
32414	512000	256000

Tabla 4. Parámetros principales para un $sps=16$.

- **Sps=64**



Grafica 5. Señal en tiempo y PSD, para un sps=64.

Rata de bits	Frecuencia de Muestreo	Ancho de Banda
32066	2.048 M	1.024 M

Tabla 5. Parámetros principales para un sps=64.

RUIDO BLANCO EN TIEMPO Y EN PSD

En primera instancia, se realiza la modificación del flujograma para poder visualizar en PSD y tiempo el ruido blanco.

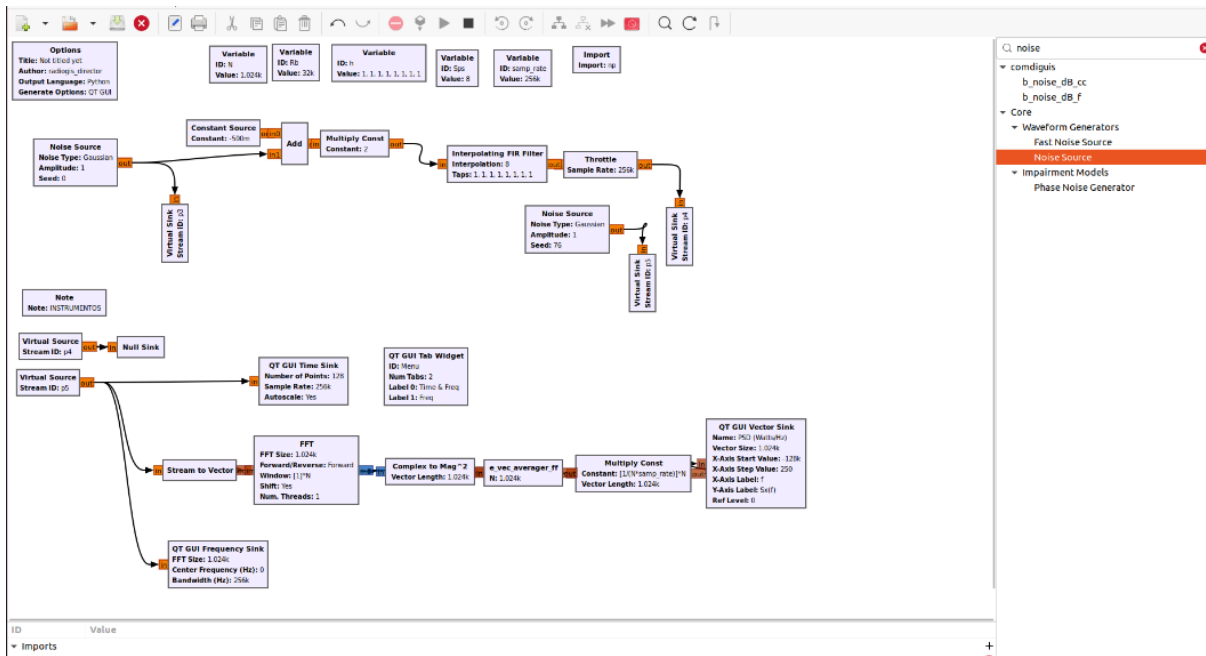
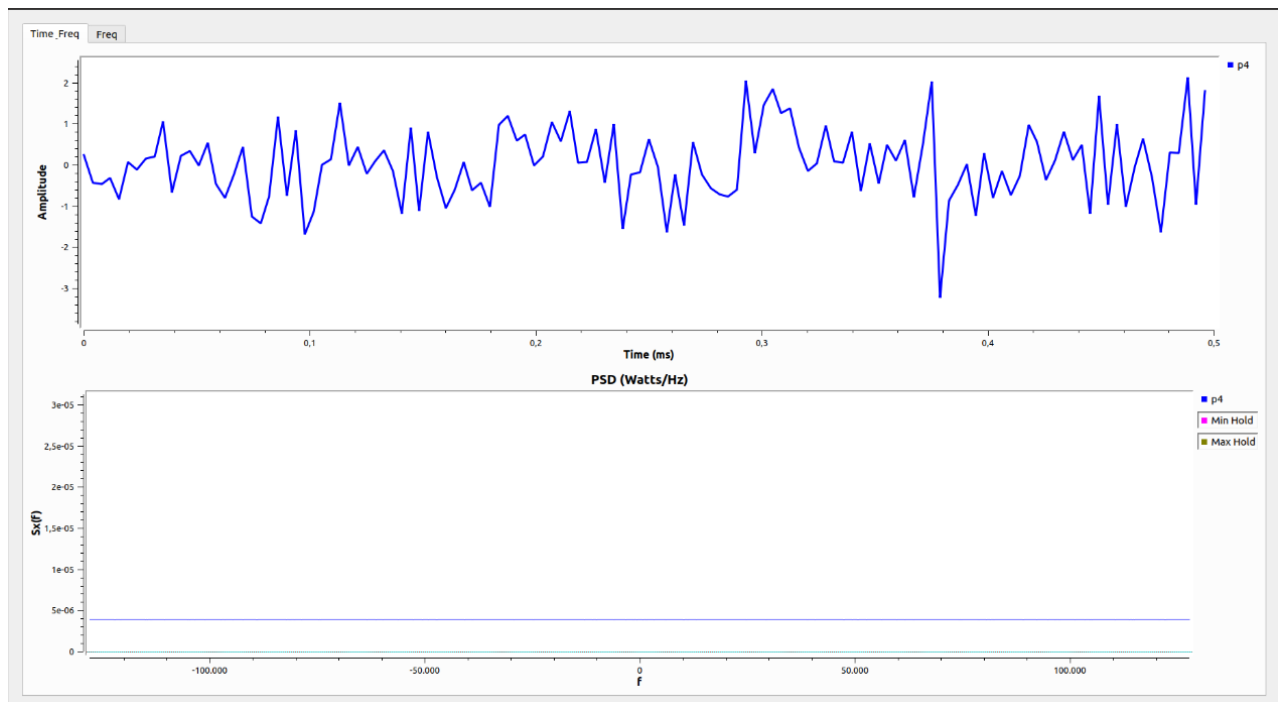


Figura 1. Flujograma modificado.



Gráfica 6. Visualización en tiempo y de la PSD del ruido blanco.

Tras modificar el flujograma con la inclusión del ruido blanco, se pudo constatar que el comportamiento observado tanto en el dominio del tiempo como en el espectro de densidad espectral (PSD) coincidía con las expectativas previas. Es importante destacar que el ruido blanco se caracteriza por ser aleatorio en el dominio del tiempo, lo que significa que su amplitud varía de manera impredecible, mientras que en el dominio de la frecuencia, se mantiene constante. Esta propiedad se reflejó de manera precisa en las gráficas generadas, lo que confirma que la implementación del ruido blanco se realizó correctamente y que el comportamiento de la señal en ambos dominios era coherente con las características esperadas de este tipo de señal.

CAMBIOS AL INGRESAR UNA MUESTRA DE UNA IMAGEN

Se realizaron las modificaciones necesarias en el diagrama de flujo, incluyendo los bloques necesarios para la lectura de la imagen que se utilizaría en el proceso.

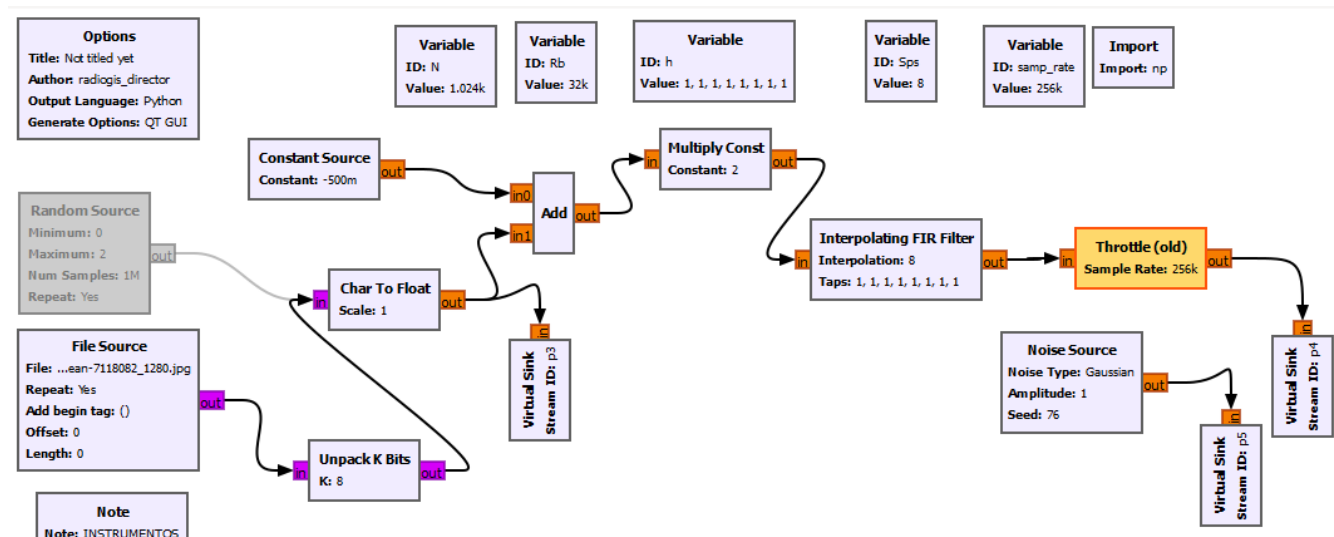
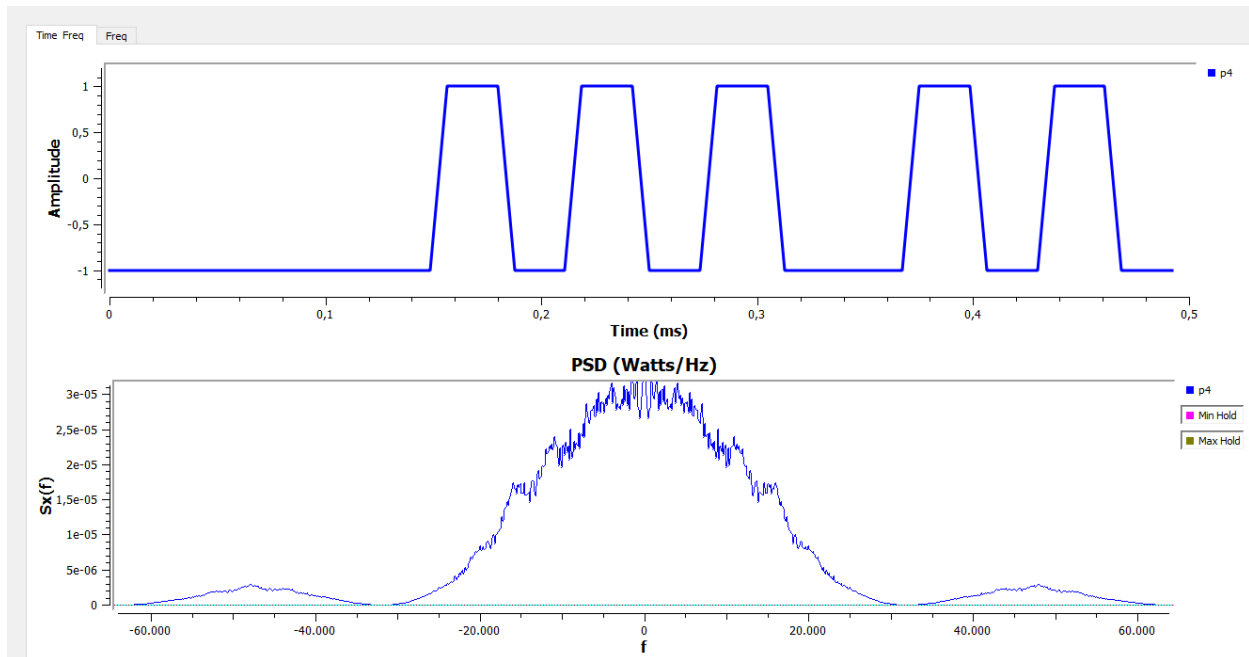


Figura 2. Flujograma modificado con imagen de entrada.

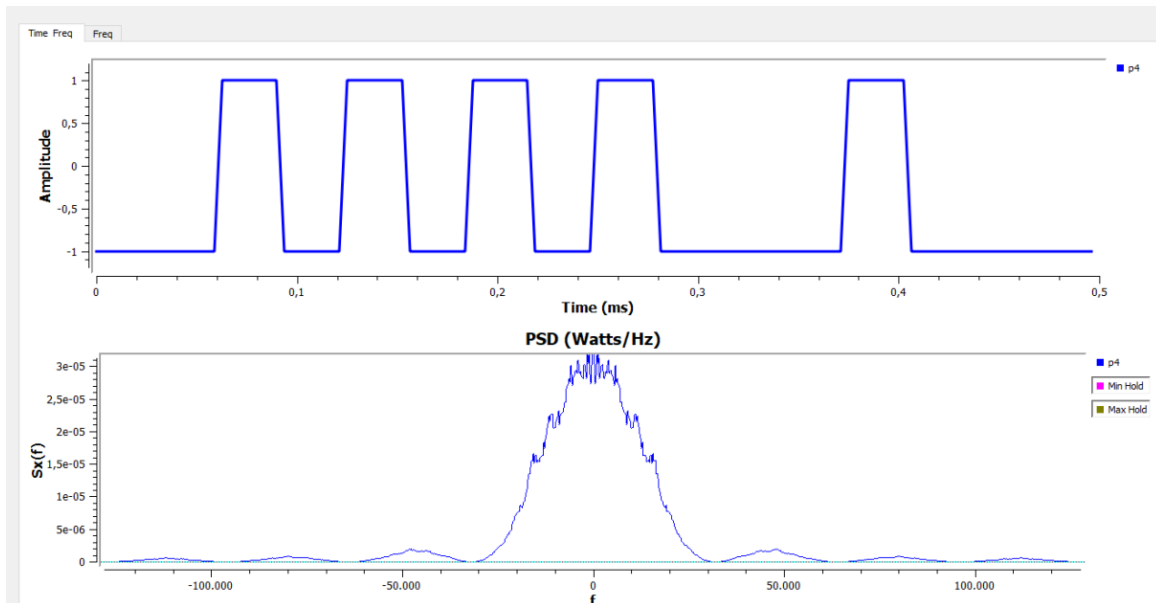
Para observar los cambios en la señal en tiempo continuo y su densidad espectral de potencia (PSD) a partir de una fuente del mundo real, como en este caso una imagen, se modificó la variable "h", lo que resultó en un aumento en el número de muestras por símbolo. Esto permitió apreciar más componentes armónicas cercanos al lóbulo principal de la sinusoidal amortiguada.

- $\text{sps} = 4$



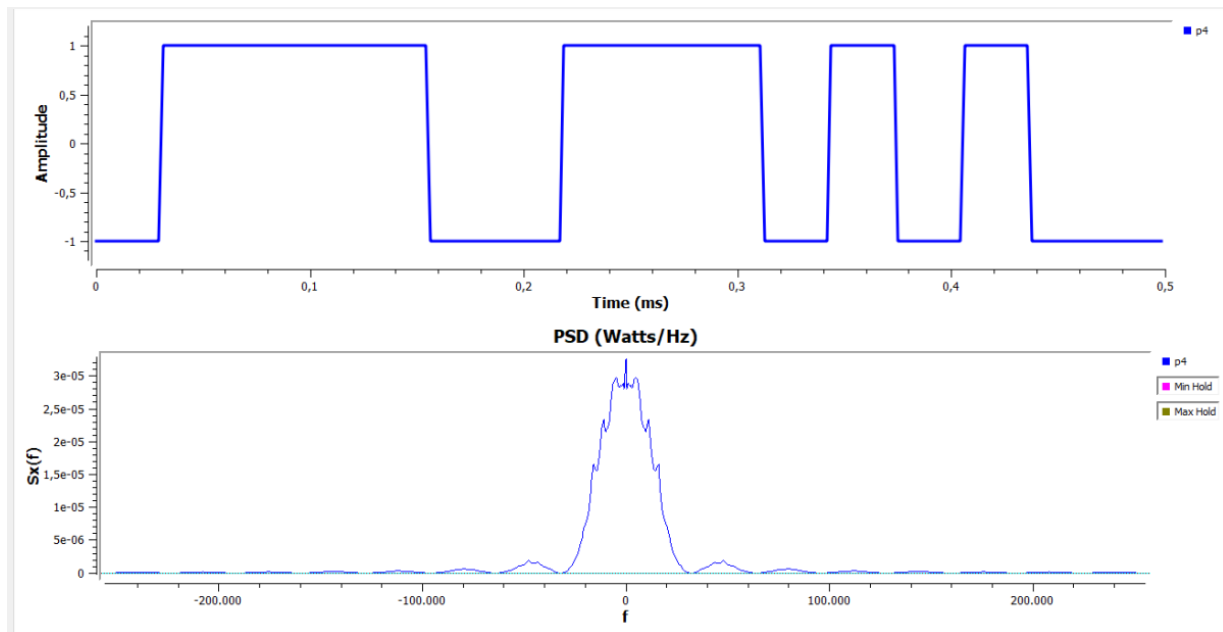
Grafica 7. Visualización en tiempo y en la densidad espectral de potencia (PSD) con una entrada de imagen, utilizando un valor de h igual a 4.

- $\text{sps} = 8$



Grafica 8. Visualización en tiempo y en la densidad espectral de potencia (PSD) con una entrada de imagen, utilizando un valor de h igual a 8.

- sps= 16



Gráfica 9. Visualización en tiempo y en la densidad espectral de potencia (PSD) con una entrada de imagen, utilizando un valor de h igual a 16.

COMPROBACION AL INGRESAR UNA MUESTRA DE AUDIO DE VOZ

Se realizaron las modificaciones necesarias en el diagrama de flujo, incluyendo los bloques necesarios para la lectura de un audio de voz que se utilizaría en el proceso.

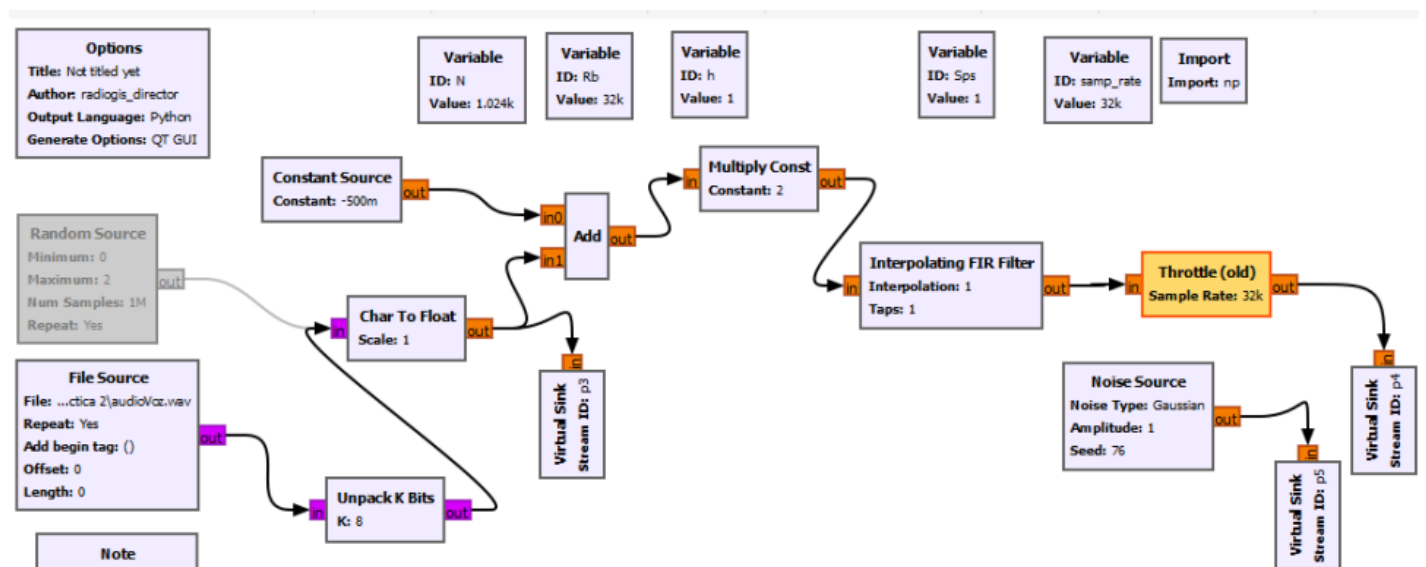
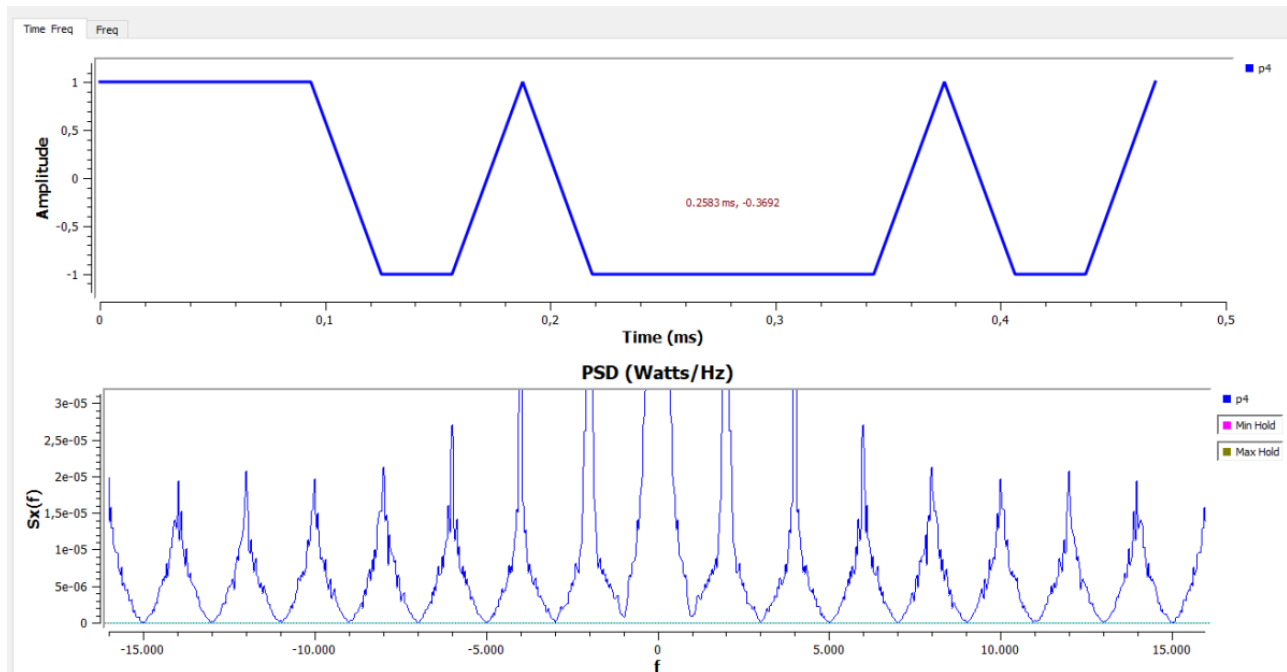


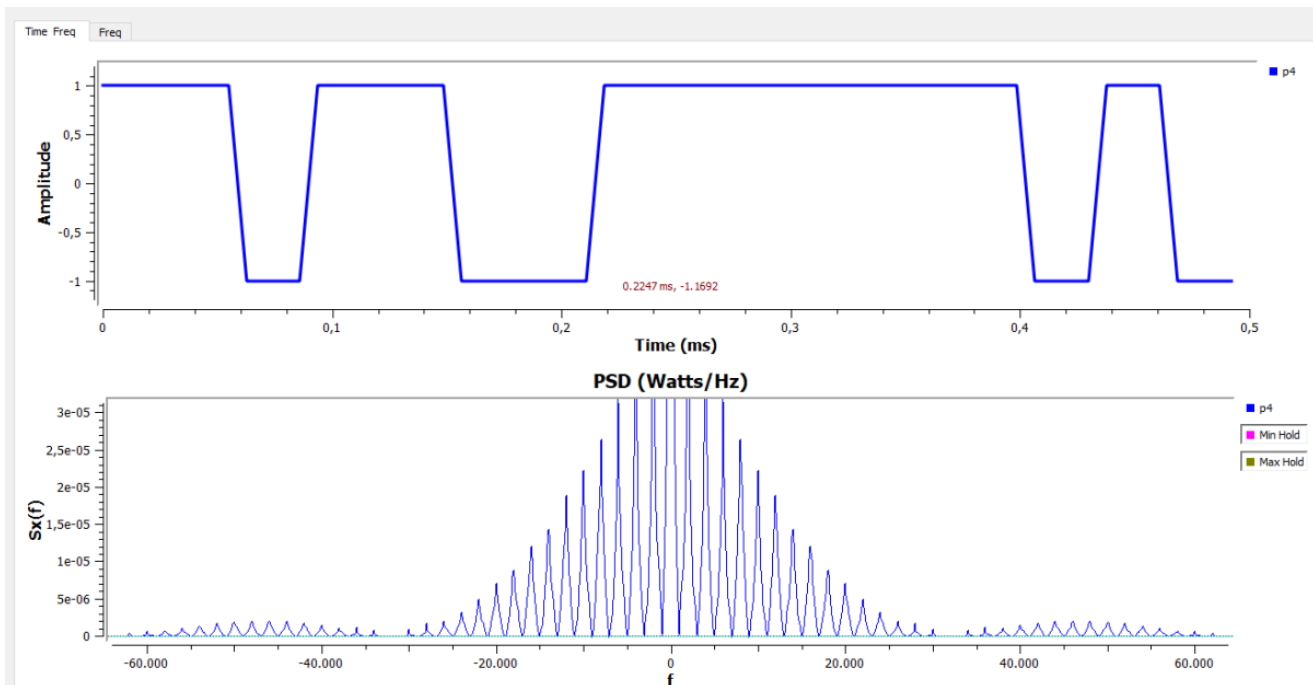
Figura 3. Flujograma modificado con un audio de voz de entrada.

- $\text{sps} = 1$



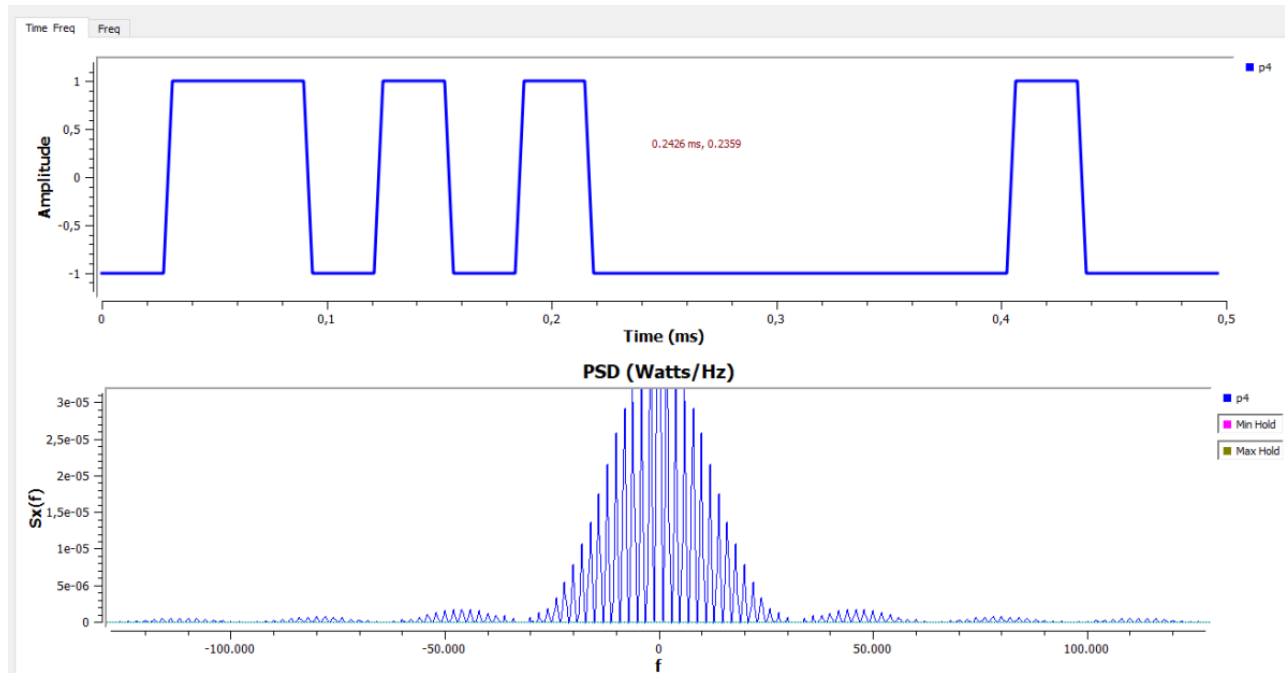
Gráfica 10. Visualización en tiempo y en la densidad espectral de potencia (PSD) con una entrada de audio de voz, utilizando un $\text{sps}=1$.

- $\text{sps} = 4$



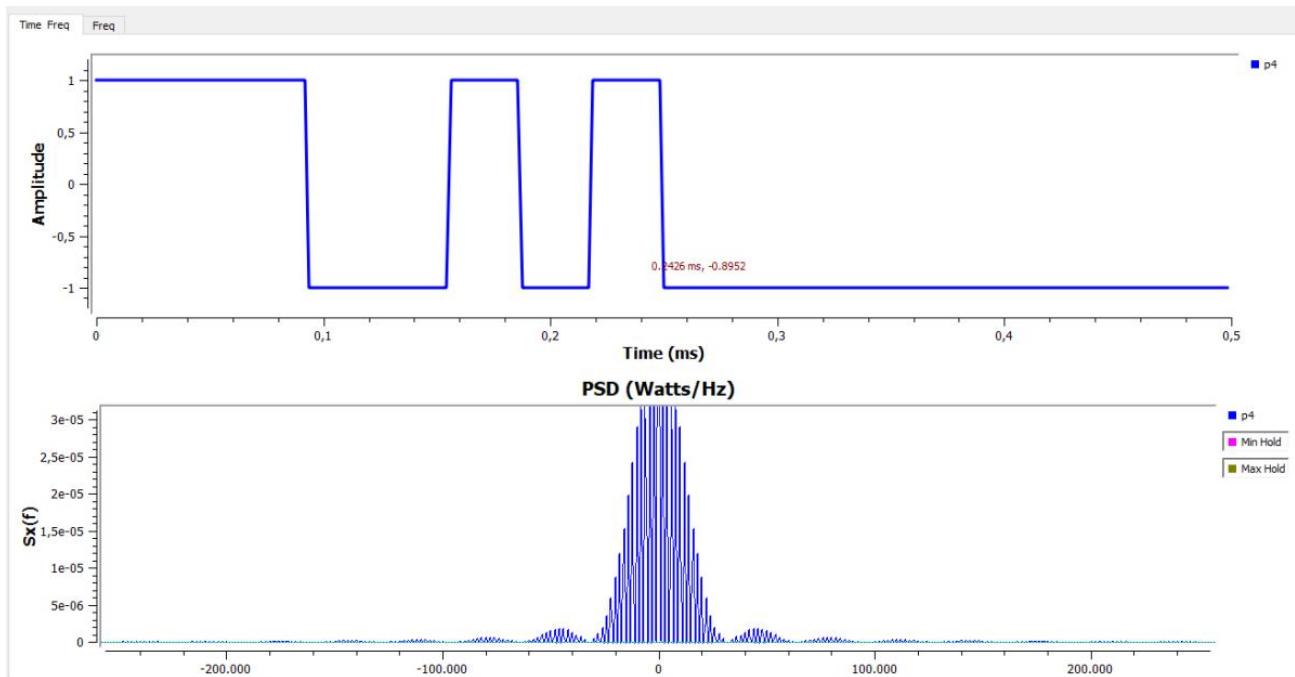
Gráfica 11. Visualización en tiempo y en la densidad espectral de potencia (PSD) con una entrada de audio de voz, utilizando un $\text{sps}=4$.

- $\text{sps} = 8$



Gráfica 12. Visualización en tiempo y en la densidad espectral de potencia (PSD) con una entrada de audio de voz, utilizando un $\text{sps} = 8$.

- $\text{sps} = 16$



Gráfica 13. Visualización en tiempo y en la densidad espectral de potencia (PSD) con una entrada de audio de voz, utilizando un $\text{sps} = 16$.

Cuando la señal de entrada corresponde a un audio de voz, es decir, una grabación no tan producida como una canción, se evidencian cambios de frecuencia significativos debido a diversos factores externos como el ruido ambiental, la voz directa de la persona y las características del entorno. Esto se refleja claramente en las gráficas, donde se observa la formación de múltiples componentes armónicos. A medida que se incrementa el número de muestras por símbolo, la cantidad de lóbulos en pantalla aumenta de manera proporcional, lo que indica una mayor resolución en la representación de la señal y una mejor captura de sus características.

COMPROBACION AL INGRESAR UNA MUESTRA DE MUSICA

Se realizaron las modificaciones necesarias en el diagrama de flujo, incluyendo los bloques necesarios para la lectura de música que se utilizaría en el proceso.

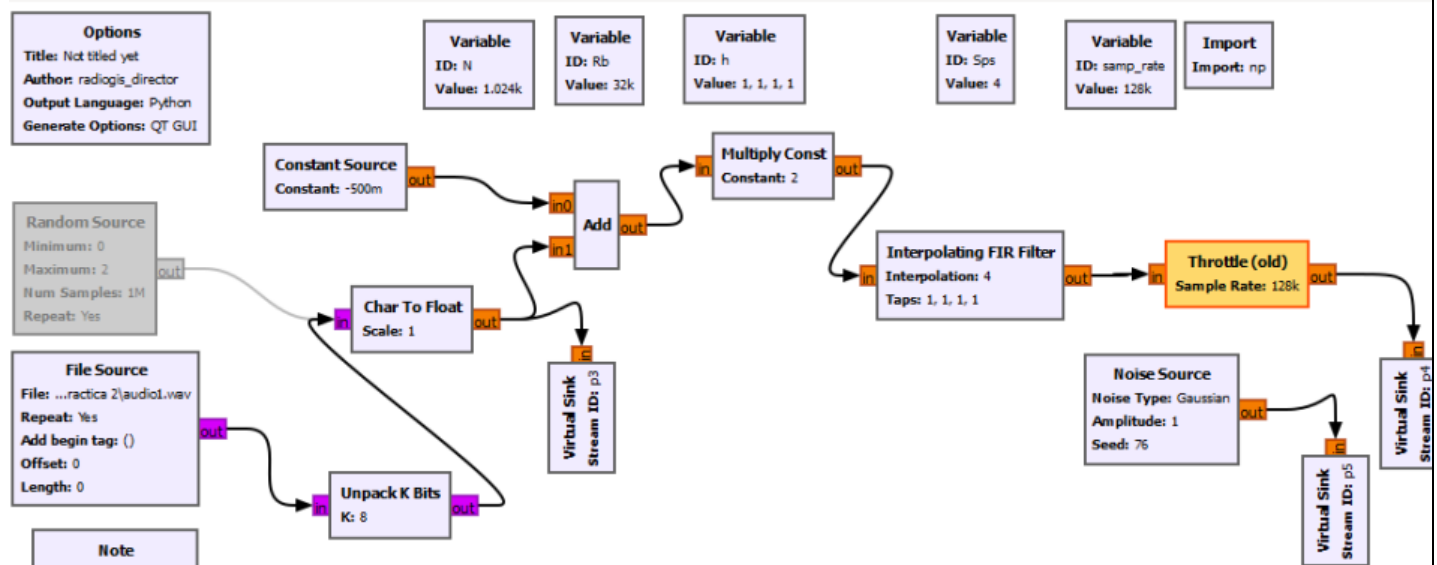
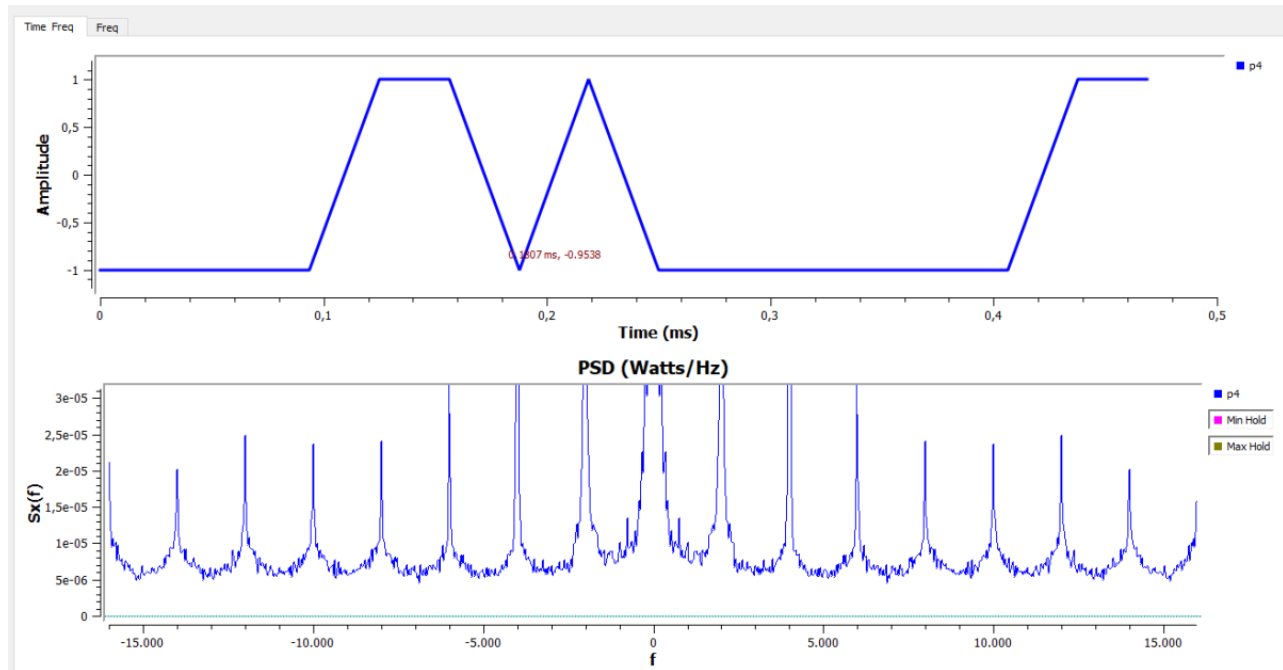


Figura 4. Flujograma modificado con una señal de música de entrada.

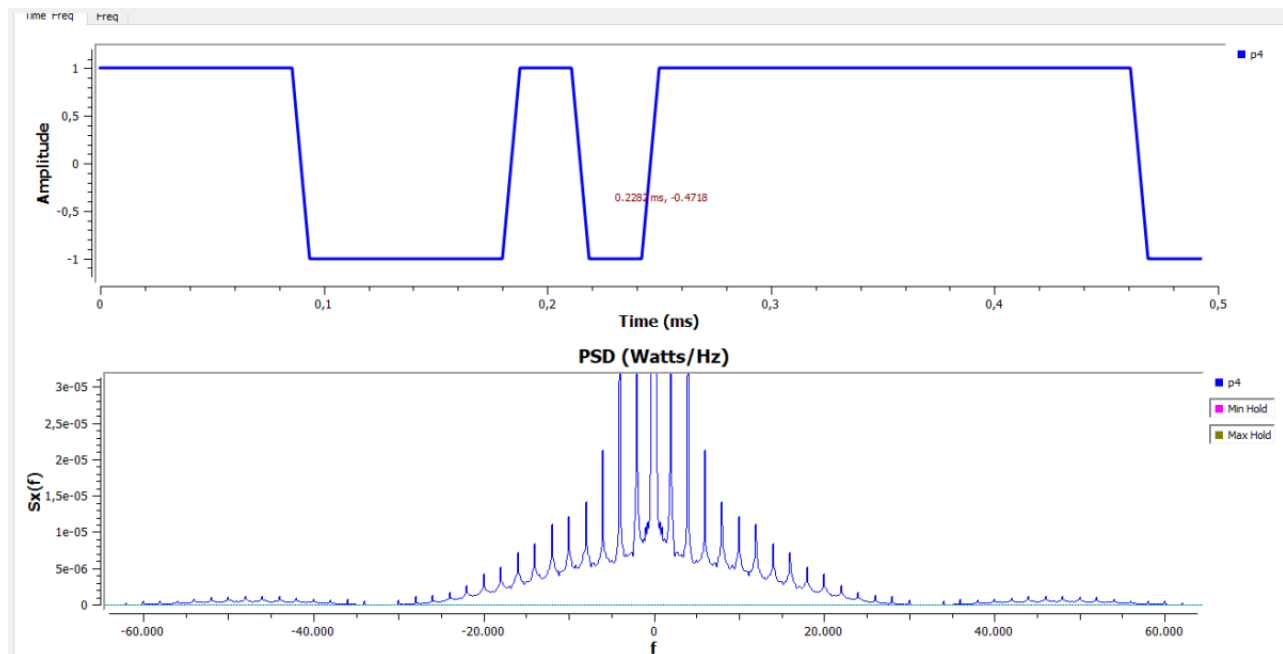
A continuación, se presentan diversas pruebas llevadas a cabo con el fin de alcanzar conclusiones específicas y detalladas."

- $\text{sps} = 1$



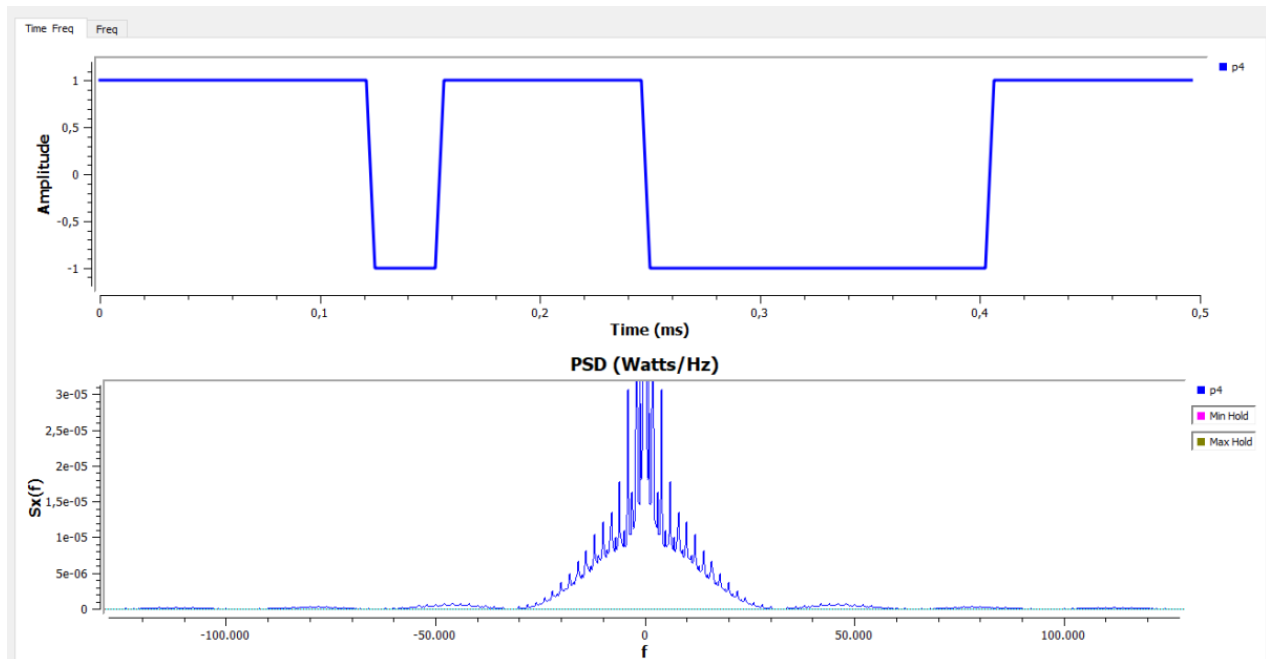
Gráfica 14. Visualización en tiempo y en la densidad espectral de potencia (PSD) con una entrada de música, utilizando un $\text{sps}=1$.

- $\text{sps} = 4$



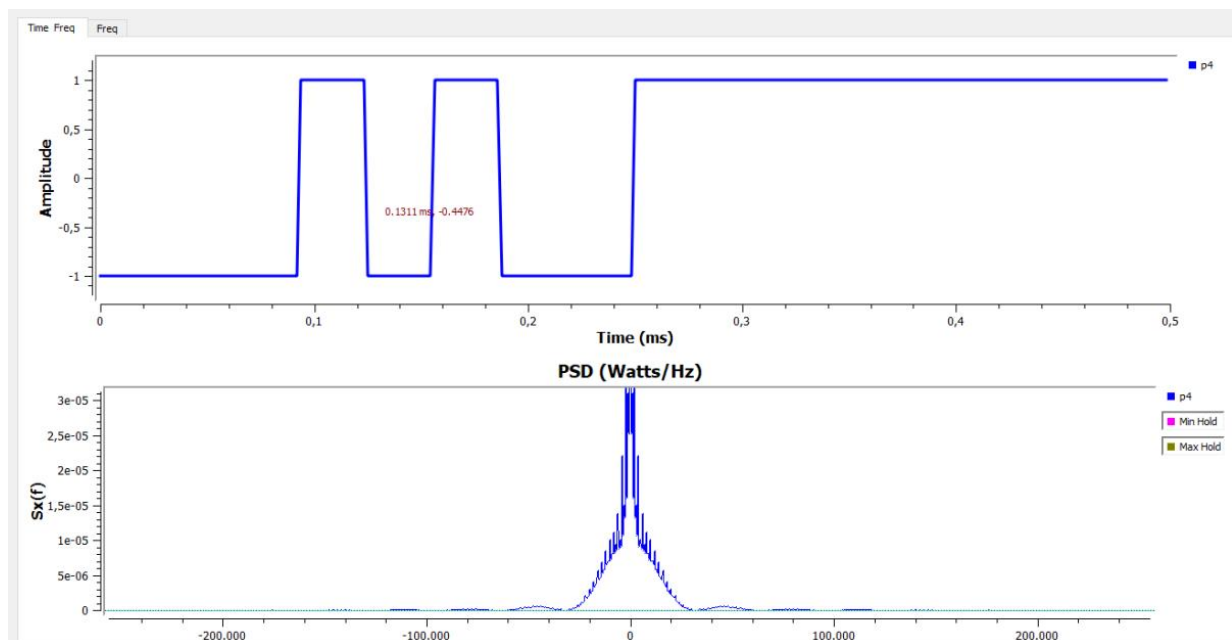
Gráfica 15. Visualización en tiempo y en la densidad espectral de potencia (PSD) con una entrada de música, utilizando un $\text{sps}=4$.

- $\text{sps}=8$



Gráfica 16. Visualización en tiempo y en la densidad espectral de potencia (PSD) con una entrada de música, utilizando un $\text{sps}=8$.

- $\text{sps}=16$



Gráfica 17. Visualización en tiempo y en la densidad espectral de potencia (PSD) con una entrada de música, utilizando un $\text{sps}=16$.

En el caso de utilizar una muestra de música como entrada, se pudo apreciar la relevancia de la frecuencia de muestreo. Con un valor de $\text{sps}=1$, la frecuencia de muestreo resultaba menor que la frecuencia del propio audio, lo que se traduce en una menor cantidad de componentes armónicos observados en comparación con un audio real. Al incrementar las muestras por símbolo, aumenta la frecuencia de muestreo, lo que se traduce en una mayor cantidad de componentes armónicos visibles. Este comportamiento se mantuvo consistente con el obtenido al utilizar una imagen como entrada en la cantidad de lóbulos de la sinusoidal amortiguada.

FLUJOGRAMA RANDOMBINARYRECTSIGNAL



Figura 5. Bloques a analizar.

La combinación de los bloques "Constant Source" y "Add" permite ajustar el nivel de una señal sumándole un valor constante, mientras que el bloque "Multiply Const" se encarga de modificar su amplitud mediante una multiplicación constante. Este enfoque proporciona flexibilidad para controlar la amplitud de la señal de salida de manera precisa y eficiente.

✓ ¿Qué papel juega el bloque "Interpolating FIR Filter", cómo funciona?

El **filtro interpolador FIR** (Respuesta al Impulso Finita) incrementa la velocidad de muestreo mediante interpolación, lo que implica la aplicación de un filtro FIR para especificar la respuesta en frecuencia deseada.

✓ ¿Por qué el parámetro "Interpolation" en el bloque vale "Interpolationg FIR Filter" y qué pasa si se coloca otro valor?

La **interpolación**, representada por el parámetro "SPS" (muestras por símbolo), determina la cantidad de muestras que se utilizan para representar cada símbolo de la señal. Al modificar este valor, se ajusta la tasa de muestras, lo que permite controlar la resolución y la forma con la que se representa la información en el dominio del tiempo.

- ✓ Si tuviese que analizar la señal en p3, ¿qué cambios realizaría en la instrumentación?

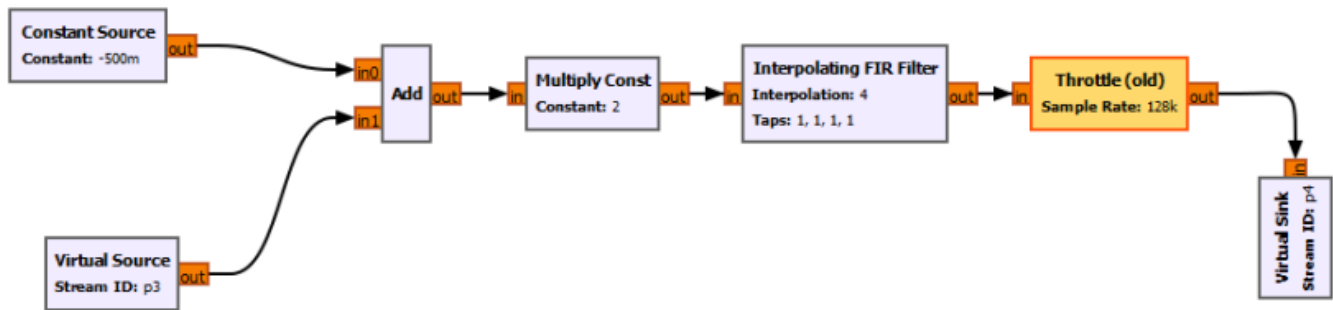


Figura 6. Flujograma modificado para analizar la señal en P3.

- ✓ ¿Qué fórmula permite conocer el ancho de banda de la señal en p4 si se conoce R_b y Sps ?

$$B_W = R_b * SPS$$

- ✓ ¿Qué fórmula permite conocer la frecuencia de muestreo en p3, si se conoce la frecuencia de muestreo en p4 y Sps ?

$$F_s(P_3) = \frac{F_s(P_4)}{SPS * F_s(P_4) - 1}$$

- ✓ Por qué razón la PSD de las señales binarias que provienen de una señal de audio es diferente a la que proviene de una foto siendo ellas igualmente señales binarias bipolares de forma rectangular?

Esto puede explicarse por las características intrínsecas del audio, que abarca frecuencias de hasta 20 kHz, lo que resulta en una distribución predominante de su densidad espectral de potencia (PSD) dentro de ese rango. La PSD del audio se refiere a la distribución de la potencia en el tiempo, mientras que la PSD de una imagen digital se refiere a la distribución de la energía en el espacio.

CONCLUSIONES

- ✓ La PSD se consolida como una herramienta fundamental para el análisis espectral de señales binarias aleatorias. Ofrece una representación minuciosa de la distribución de energía en relación con la frecuencia en este tipo de señales, lo que resulta invaluable para comprender su estructura espectral con precisión y profundidad.
- ✓ GNURadio proporciona la versatilidad requerida para desarrollar y aplicar algoritmos de cálculo de la PSD de forma personalizada. Esta capacidad permite a los ingenieros y analistas adaptar el proceso de análisis según los requisitos particulares de su proyecto, garantizando una mayor eficiencia y precisión en la evaluación de señales.
- ✓ Para lograr una implementación exitosa de la densidad espectral de potencia en GNURadio, es necesario crear funciones a medida que generen vectores de promedio. Esto impulsa el desarrollo de habilidades en programación y análisis de señales, lo que resulta beneficioso tanto en el aprendizaje como en la aplicación práctica.

7. REJILLA DE EVALUACION

Método de calificación por lista de cotejo

N°	Criterios	EXCELENTE (5)	BUENO (4)	REGULAR (3)	DEFICIENTE (2)
1	Los Procedimientos son completos y permiten cumplir el objetivo general y los objetivos específicos. Caso se solicite responder preguntas al final, estas son respondidas de forma adecuada y coherente.				
2	Los Resultados cumplen los siguientes criterios: <ul style="list-style-type: none">• Coherencia con los objetivos• Tienen Comentarios de análisis pertinentes• Están en su totalidad (tiempo, frecuencia u otros solicitados)				
3	Calidad del informe: <ul style="list-style-type: none">• Es organizado de inicio a fin• Etiqueta imágenes y las cita en el texto• Tiene ortografía• La escrita es clara y concisa• No repite informaciones				
4	Tiene al menos una conclusión que sea resultado directo de la ejecución del laboratorio				
Total					