

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**  
**PROGRAMA DE ELECTRONICA**  
**LABORATORIO 1 – PROGRAMACIÓN DE SISTEMAS DE TIEMPO REAL**

**1. IDENTIFICACIÓN**

<b>FACULTAD E3T</b>	<b>PROGRAMA:</b> INGENIERIA ELECTRONICA
<b>ASIGNATURA</b>	COMUNICACIONES II
<b>UNIDAD TEMÁTICA</b>	GNU RADIO
<b>TEMA</b>	PROGRAMACIÓN DE SISTEMAS DE TIEMPO REAL
<b>DOCENTE</b>	JOHAN LEANDRO TÉLLEZ GARZÓN
<b>ALUMNOS</b>	<b>Otto Andrade Camelo - 2190403</b> <b>Daniela Cabrales Navarro - 2194554</b> <b>Brayan Fonseca Gonzalez - 2182355</b>
<b>FECHA</b>	<b>08/09/2023</b>

**2. DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS**

Mediante esta guía de enseñanza se hace un acercamiento inicial a la programación de bloques en GNU radio mediante Python y se analizan los procesos que deben ser realizados para tratar un flujo de información en formato stream.

- Practicar la programación de sistemas de tiempo real y los promedios de tiempo

**3. REVISIÓN PRELIMINAR**

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:

- 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](https://github.com/hortegab/comdig_su_software_libro3.8.git)

1. Realización de tutoriales prácticos de la página oficial de GNU radio haciendo énfasis en la programación del bloque denominado Python block y en el tratamiento de estructuras de datos tipo stream:

<https://wiki.gnuradio.org/index.php?title=Tutorials>

Defina que es una variable tipo stream, cuáles son sus ventajas y desventajas e identifique las características esenciales del bloque Python block. Este punto es opcional.

2. Investigue e identifique las operaciones que deben ser realizadas para encontrar la media cuadrática, el valor RMS, la potencia promedio y la desviación estándar de una señal. Use el libro de la E3T.

**4. ACTIVIDADES Y PROCEDIMIENTOS**

3. Genere tres señales diferentes (seno, ruido, vector repetitivo) y visualícelas en el dominio del tiempo. Utilice los parámetros que crea convenientes.
4. Cree un bloque con programación Python, usando un Python Block que permita entregar al mismo tiempo varios promedios de tiempo como: la media, la media cuadrática, el valor RMS, la potencia promedio, la desviación estándar. Los siguientes son requerimientos:  
El bloque tiene una entrada y 5 salidas, una para cada parámetro: la media, la media cuadrática, el valor RMS, la potencia promedio, la desviación estándar  
Todo el código se implementa dentro de un solo Python Block  
Ten en cuenta que, si hay 5 salidas, la variable `output_items`, puede verse como:  

```
y0=output_items[0]  
y1=output_items[1]  
y2=output_items[2]  
y3=output_items[3]  
y4=output_items[4]
```
5. Demuestra el funcionamiento del bloque, mediante un flujograma que calcule los diferentes parámetros para las tres señales implementadas en el punto 2. Analizar los parámetros de la señal y visualizarlos en tiempo real.
6. ¿Los valores obtenidos son los esperados?
7. Conectar el USRP, la antena y el cable Ethernet al computador con la finalidad de adquirir una señal en la banda de operación de la antena, seleccione un canal o frecuencia de su elección y realice mediciones de la potencia normalizada, valor RMS y desviación estándar con el bloque implementado en Python considerando tres valores distintos de frecuencia de muestreo. Analizar los resultados obtenidos.
8. Elija un valor fijo de frecuencia de muestreo que permita escuchar la señal de referencia en su totalidad y cambie los valores del amplificador de RX (LNA) del USRP en cuatro valores distintos, documente los resultados obtenidos en términos de potencia normalizada, valor RMS y desviación estándar. Analizar los resultados obtenidos.

## 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

1) Variables de tipo stream: Es una secuencia serial de datos en un formato específico.

Ventaja: Nos permite mayor claridad al momento de ver el muestreo de la señal debido a que la representación punto a punto mantiene una visualización más fluida y “real”.

Desventaja: Se debe esperar hasta llenar una ventana para poder analizar los datos.

2) Las operaciones descritas están dadas por:

$$\text{Media:} \quad X_m = \langle x(n) \rangle = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(n)$$

$$\text{Media cuadrática:} \quad X_c = \langle x^2(n) \rangle$$

$$\text{Varianza:} \quad \sigma_x^2 = \langle [x(n) - X_m]^2 \rangle$$

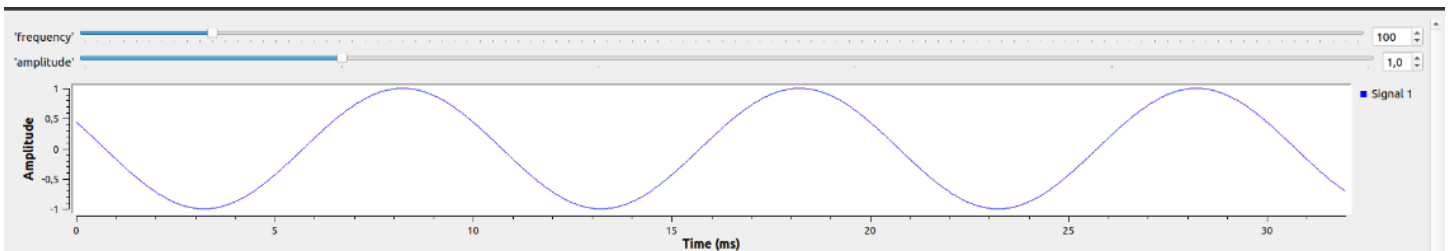
$$\text{Desvío:} \quad \sigma_x = \sqrt{\langle [x(n) - X_m]^2 \rangle}$$

$$\text{Potencia promedio:} \quad P_x = \langle |x(n)|^2 \rangle = X_{RMS}^2$$

$$\text{Valor RMS:} \quad X_{RMS} = \sqrt{\langle |x(n)|^2 \rangle}$$

3) Visualización de señales generadas:

Seno:



*Figura 1 Señal SENO creada en GNU Radio*

Ruido:

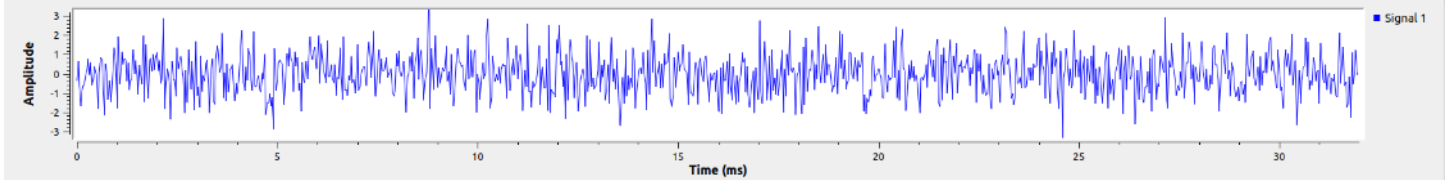


Figura 2: Señal de RUIDO creada en GNU Radio

Vector:

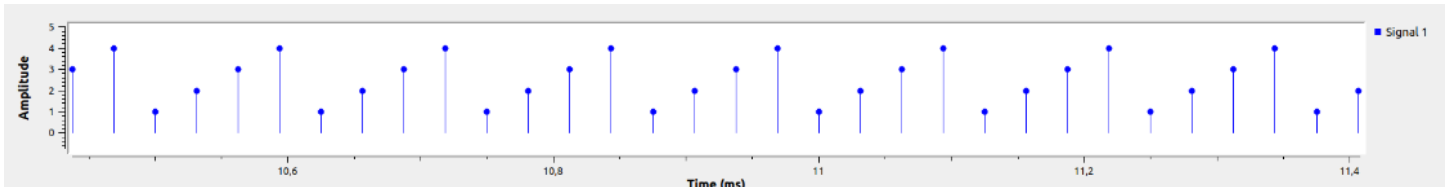


Figura 3: Señal VECTOR creada en GNU Radio

4)El bloque finalizado se ve de la siguiente manera:

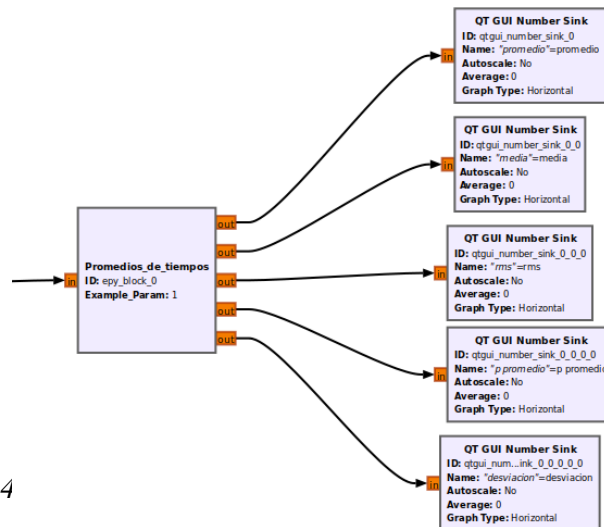


Figura 4

bles en Python.

## 5) Flujoograma de las distintas señales:

Senoidal, ruido y vector repetitivo.

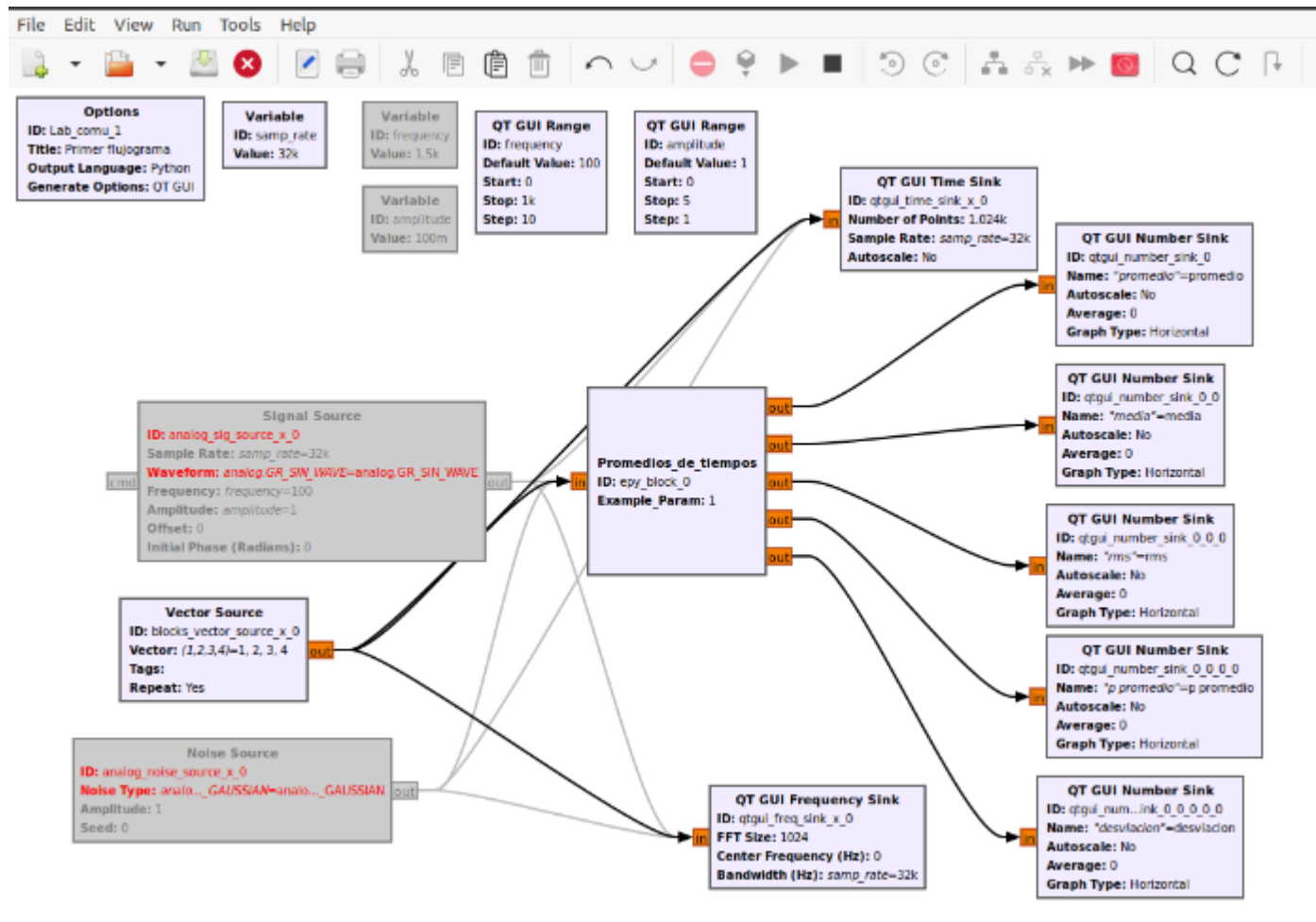


Figura 5: flujoograma creado en GNU Radio para el laboratorio 1

De lo cual se obtuvo, para la señal seno, los siguientes parámetros visualizados en tiempo real:

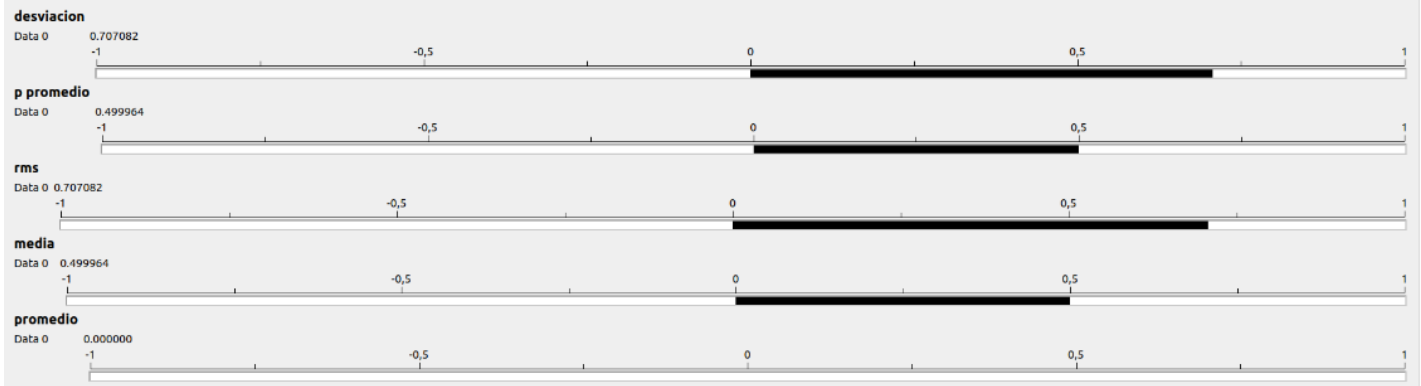


Figura 6: parámetros promedios en tiempo de la señal Seno.

Teóricamente sabemos que la potencia promedio de una señal seno es:

$$P_{prom} = \frac{A^2}{2}$$

Para este caso como se puede observar en la figura 1 la amplitud de nuestra señal es 1 resultando un valor de la potencia promedio teórica de 0.5 W y utilizando la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje error: } \varepsilon = \left| \frac{\text{Valor teórico} - \text{Valor obtenido}}{\text{Valor teórico}} \right| \times 100\%$$

Se realiza una comparación con la obtenida en la figura 6 se obtiene un error del 0,0072 %

Utilizando la fórmula del promedio a la señal seno da un valor de 0 justo como se obtuvo en la figura 6.

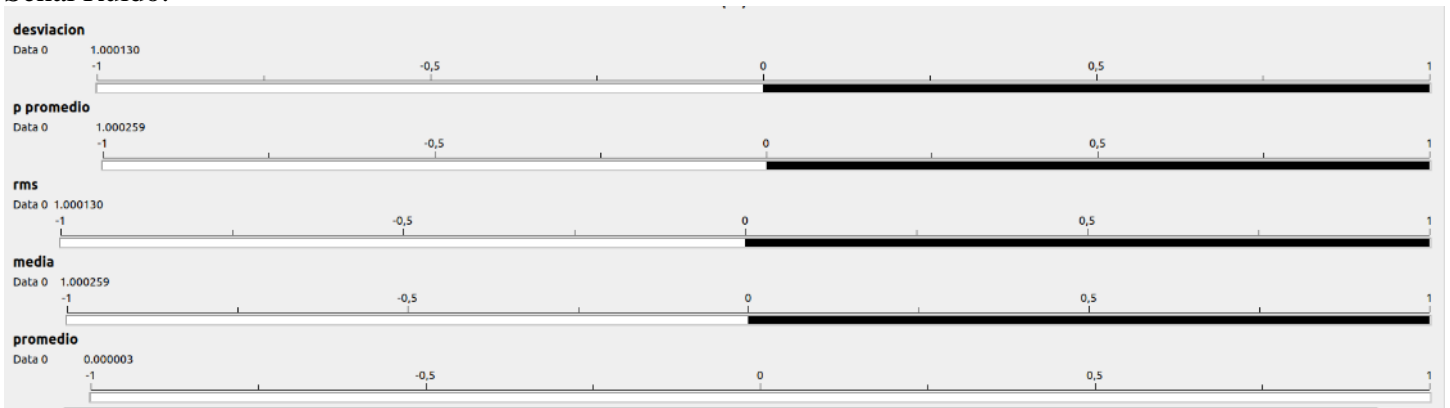
Para la media de una señal seno es igual a su potencia promedio, que como ya se había calculado se obtiene un resultado de 0.5 y comparando este resultado con el obtenido en la figura 6 se tiene un error del 0,0072%.

Utilizando la formula del valor RMS de una señal obtenemos lo siguiente:

$$X_{RMS} = \sqrt{\langle |x(n)|^2 \rangle} = 0.707$$

Comparando este resultado con el obtenido en la figura 6 se tiene un error del 0.0116% y, finalmente para el caso de la desviación recordar que este valor para la señal seno pura es igual al valor RMS obteniendo el mismo porcentaje de error ya descrito.

### Señal Ruido:



*Figura 7: parámetros promedios en tiempo de la señal Ruido.*

Danizio (2020) señala que el planteo de Nyquist, para la obtención de la potencia de ruido, se basó en la consideración de una línea de transmisión sin pérdidas, con impedancias de carga en sus extremos iguales a la impedancia característica  $Z_0$

La potencia media de ruido  $N$ , proveniente de cada resistencia viaja durante un tiempo

$$t = \frac{L}{v}$$

La energía que sale de cada resistor es:

$$E = 2 \cdot N \cdot t = 2N \frac{L}{v}$$

Reemplazando

$$E = N \frac{\Delta m}{B}$$

También es sabido que en un resonador armónico que trabaja en equilibrio térmico a la temperatura  $T$  tiene modos de oscilación cuyo valor en cada uno vale  $K \cdot T$ , donde  $K$  es la constante de Boltzmann. Por lo tanto, para los  $\Delta m$  modos de oscilación la energía se expresa como:

$$E = K \cdot T \cdot \Delta m$$

Reemplazando

$$K \cdot T \cdot \Delta m = N \frac{\Delta m}{B}$$

De donde

$$N = K \cdot T \cdot B$$

Dejando el valor cuadrático del ruido medio de la tensión:

$$V_n^2 = 4KTBR$$

Y si se divide ambos términos por  $R$ , la potencia generada es:

$$P_{max} = 4 \cdot K \cdot T \cdot B$$

Siguiendo un estudio para todos los demás parámetros observados en la figura 7 y comparándolo con los resultados de varios autores de comunicaciones se tiene una similitud y coherencia con los datos obtenidos.

Señal vector

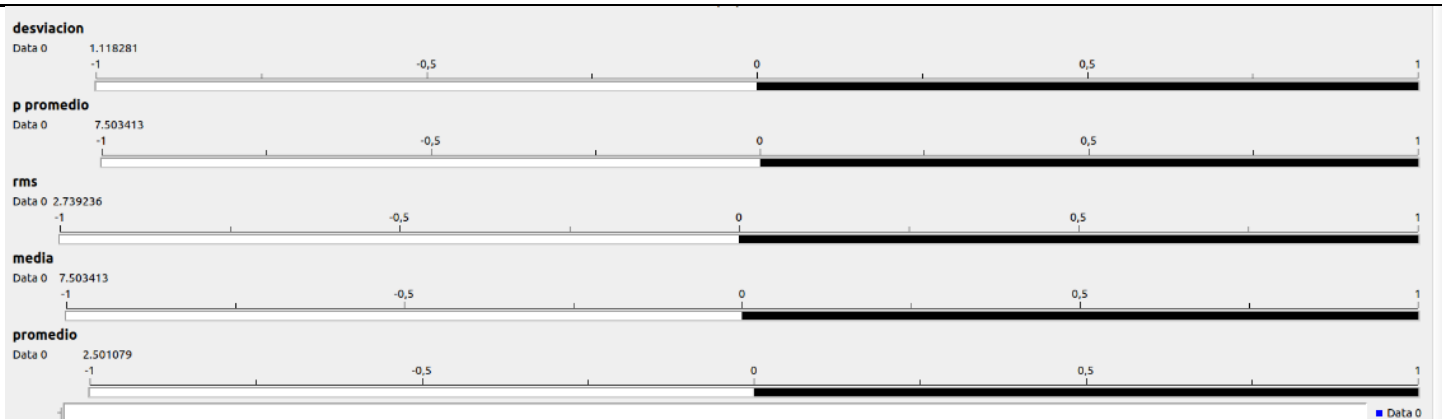


Figura 8: parámetros promedios en tiempo de la señal Vector.

Teóricamente sabemos que la potencia promedio de una señal vector es:

$$P_{prom} = \langle |x(n)|^2 \rangle = X_{RMS}^2$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x(n)$$

$$\frac{1}{4} \sum_{n=1}^4 |x(n)|^2 = \frac{1 + 2 + 3 + 4}{4} = 7.5$$

Para este caso como se puede observar en la figura 3, el valor de la potencia promedio teórica de 7.5 W y utilizando la siguiente formula:

$$\text{Porcentaje error: } \varepsilon = \left| \frac{\text{Valor teórico} - \text{Valor obtenido}}{\text{Valor teórico}} \right| \times 100\%$$

Se realiza una comparación con la obtenida en la figura 8 se obtiene un error del 0,045 %

El porcentaje de error es pequeño, con los demás parámetros de interés, reafirmando que los resultados de la figura 8 son coherentes con la teoría. 0,045 %

#### 6) Comparación de los valores de las distintas señales

Para las señales seno, de ruido y vector los resultados obtenidos por simulación y los resultados obtenidos teóricamente fueron acorde a las expresiones matemática de potencia promedio, y, el porcentaje de error dio practicante cero en todos los casos.

Se concluye que el programa permite representar señales continuas en un entorno discreto acorde a los valores reales en tiempo y frecuencia teóricos.



7) Recepción de una señal utilizando el USRP e implementando el bloque en Python.  
Configurando una frecuencia de muestreo de 6.25 MHz obtenemos:

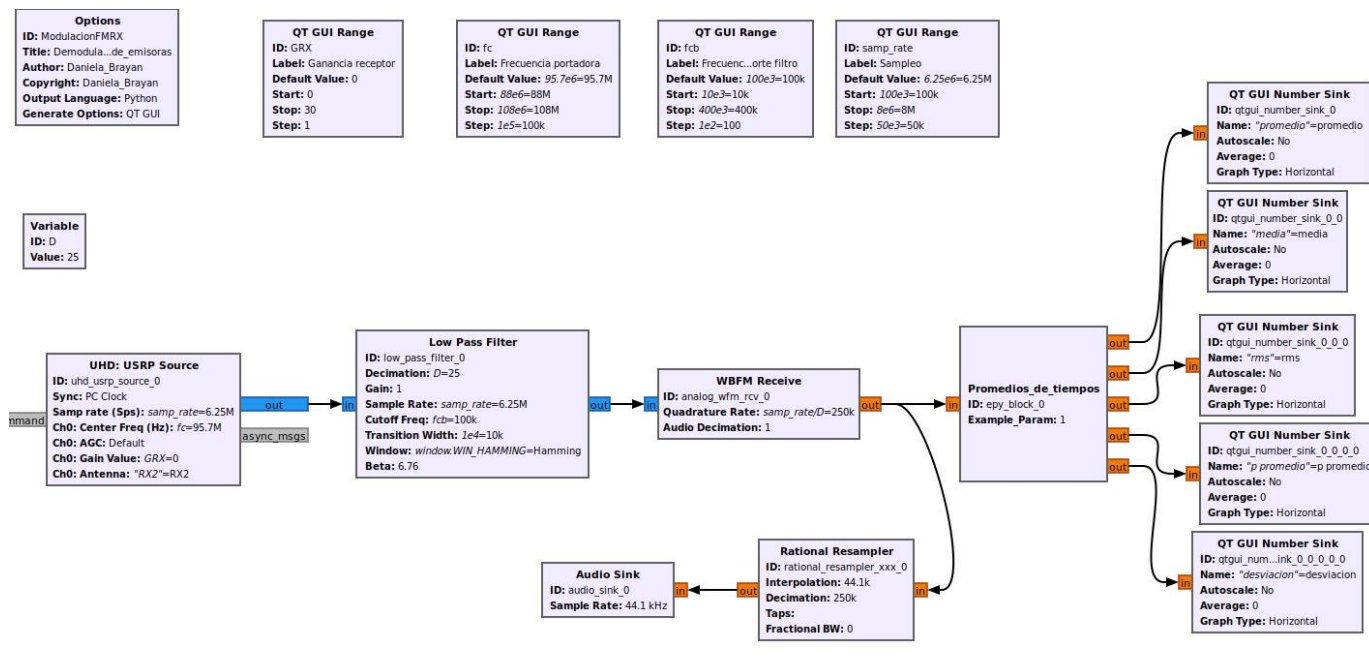
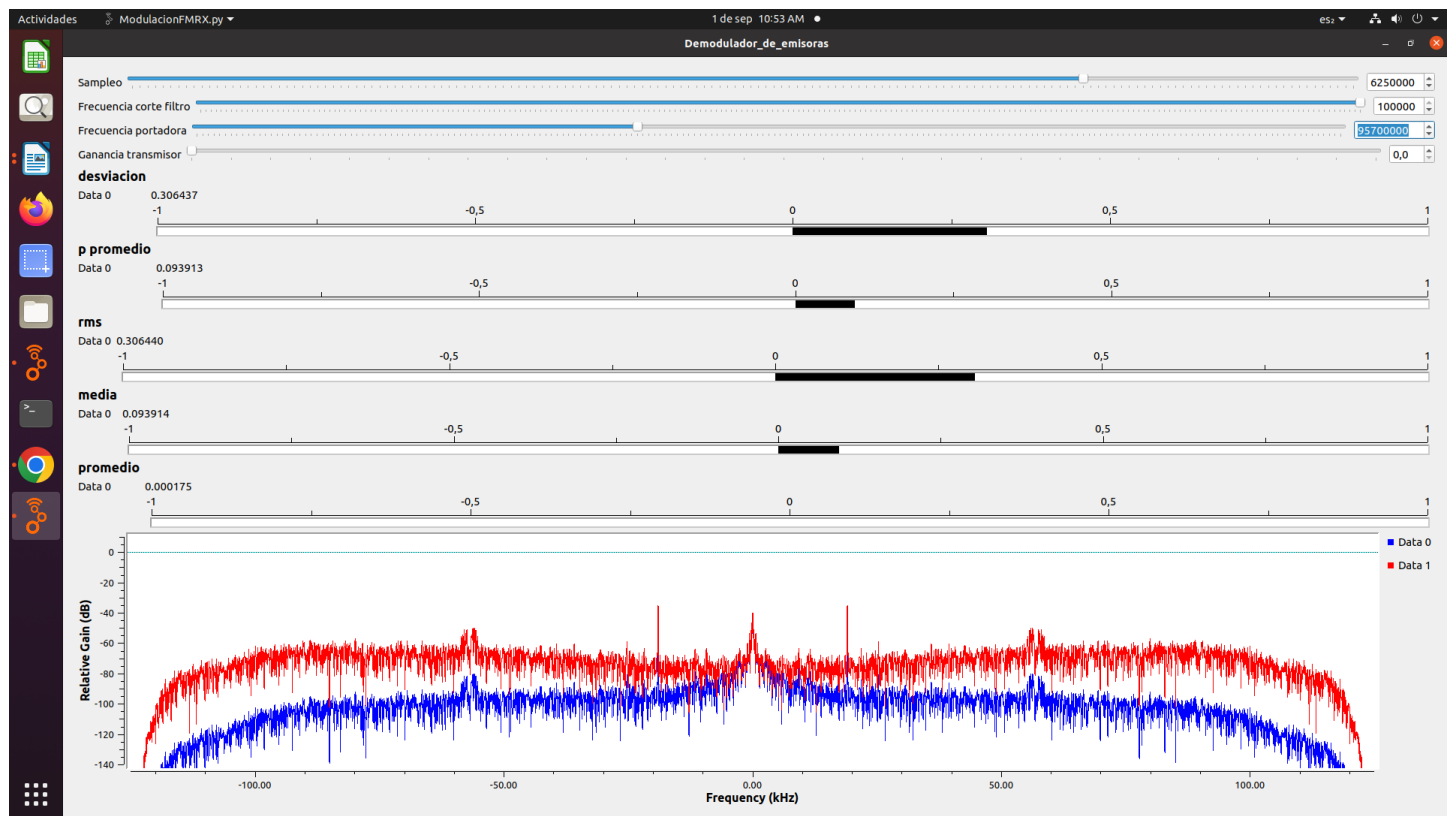
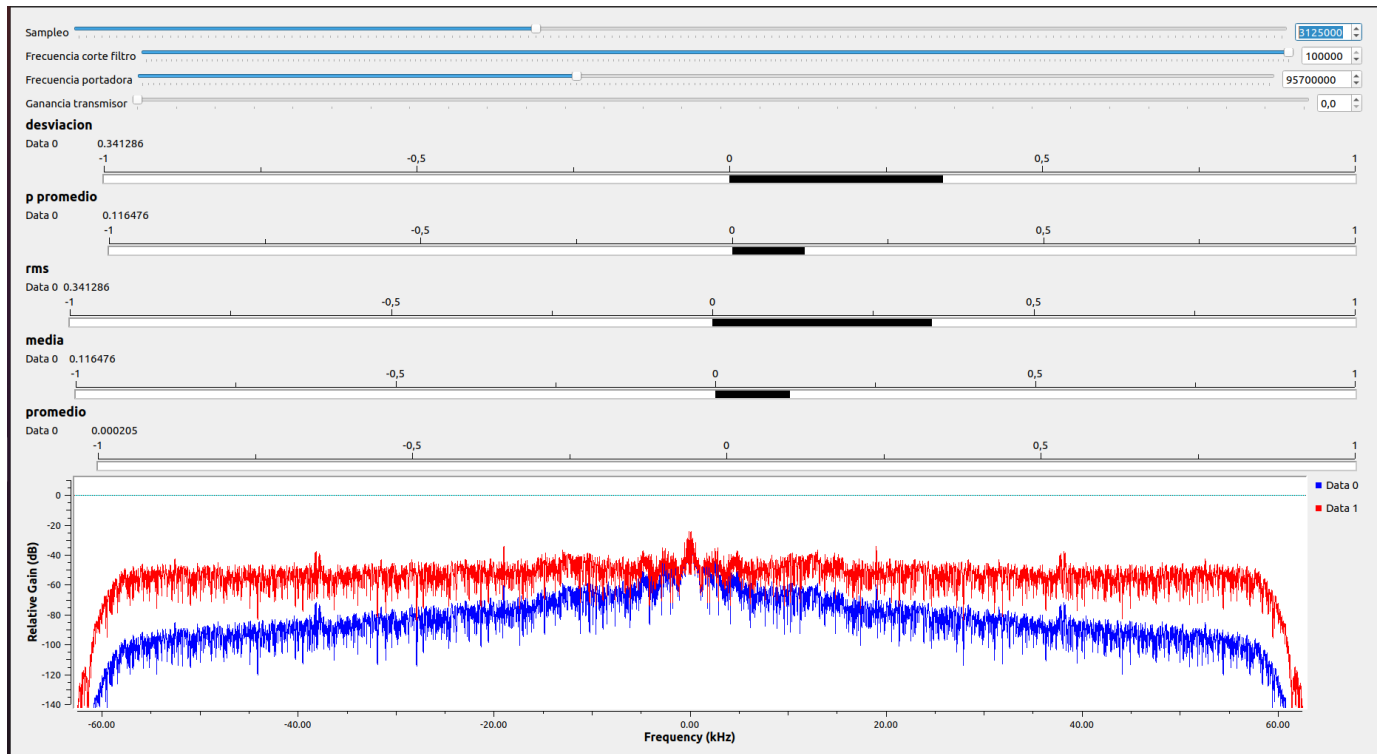


Figura 9: Diagrama de bloques de la señal de radio.



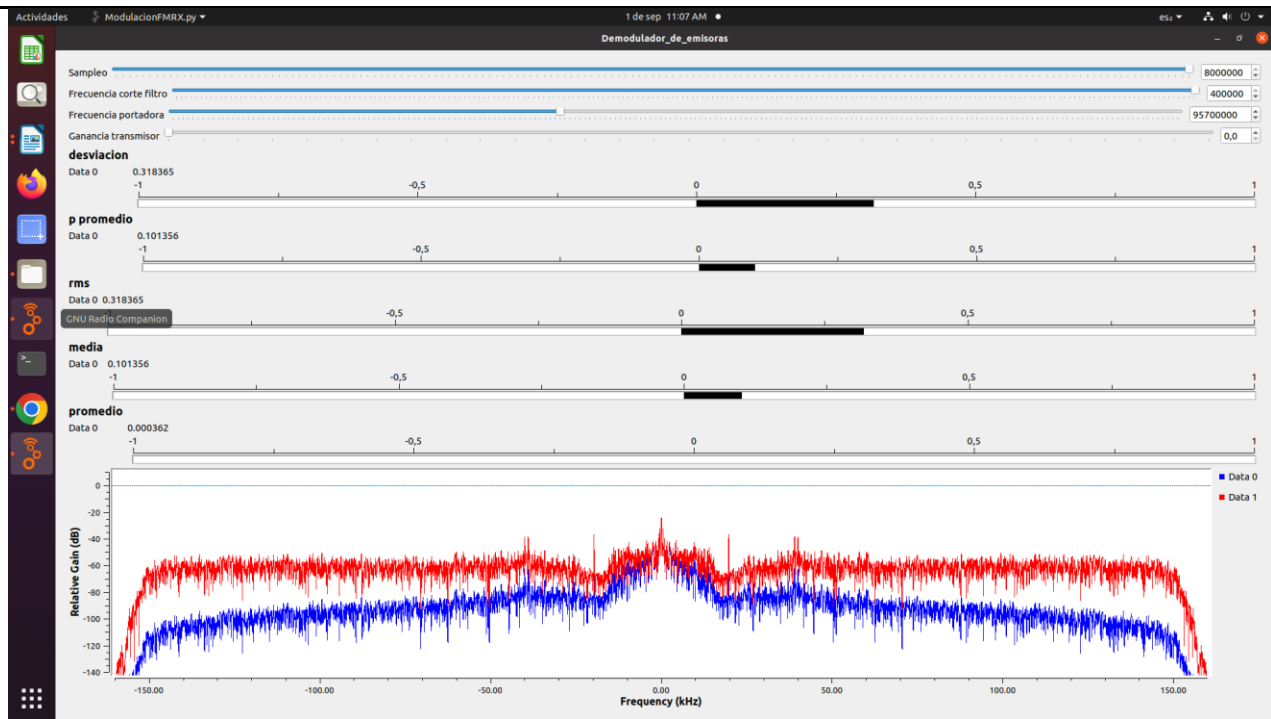
*Figura 10: Adquisición y parámetros de una señal con frecuencia de muestreo de 6.25 MHz*

Para una frecuencia de muestreo de 3.125 MHz obtenemos:



*Figura 11: Adquisición y parámetros de una señal con frecuencia de muestreo de 3.125 MHz*

Y, por último, para una frecuencia de muestreo de 8 MHz:

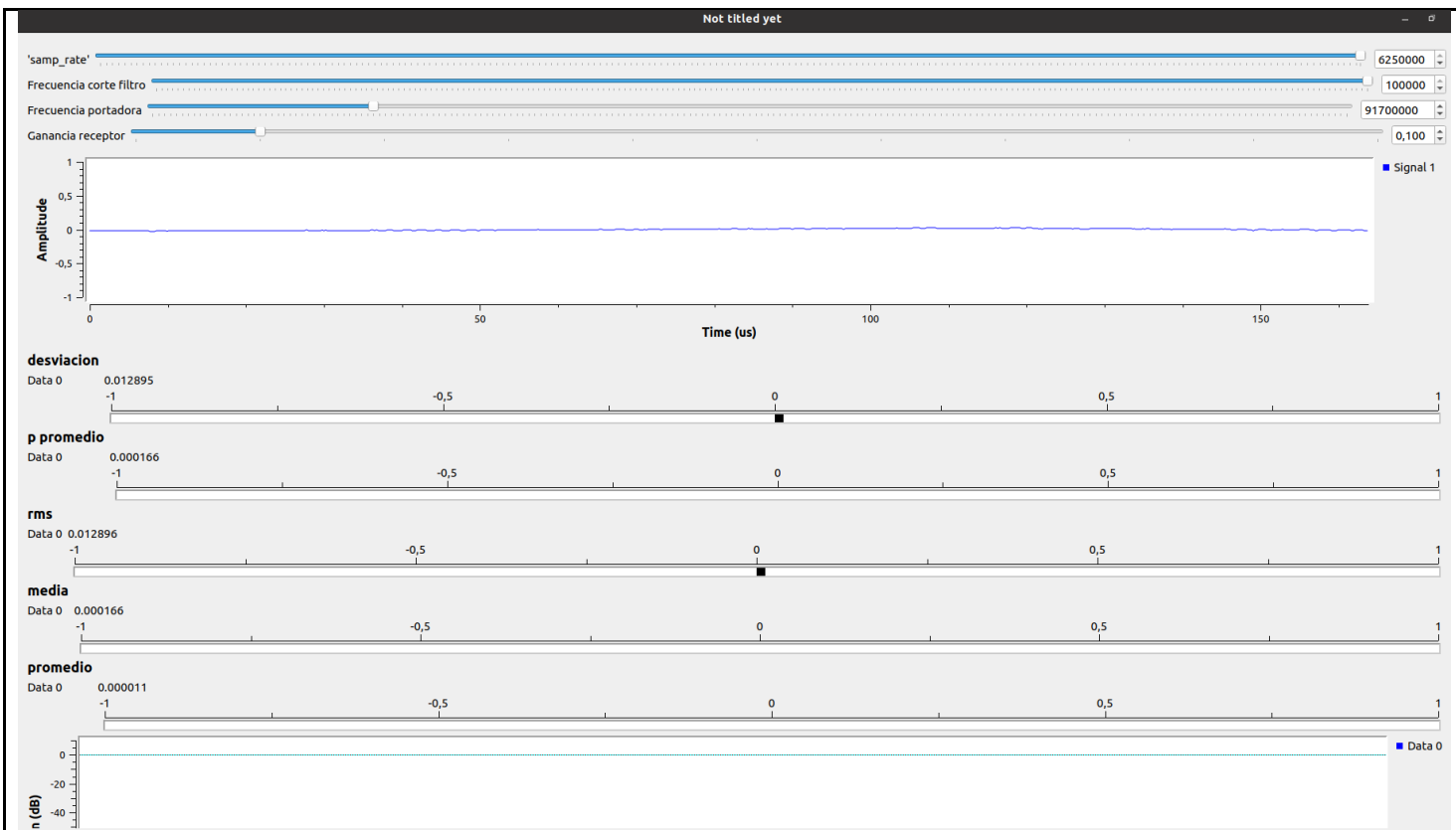


*Figura 12: Adquisición y parámetros de una señal con frecuencia de muestreo de 8 MHz*

Para nuestro caso y la topología de bloques usada se aprecia que los valores oscilan levemente, por lo que se corresponden las diferentes mediciones (teniendo en cuenta la naturaleza cambiante de una emisora por su programación habitual). Como la estructura del programa lo permitía, se accedía al audio demodulado de la emisora, al variar la frecuencia de muestreo el cambio principal percibido, es que la emisora sonaba entre cortado dando a entender que se estaban perdiendo muchas muestras en la continuidad de la información conforme se disminuía la frecuencia de muestreo. Como nota adicional se explica que el alto valor (de orden de los MHz) en la fs es debido a que como se usaba el bloque (WBFM receive) para demodular se necesitaba la mayor cantidad de muestras posibles para intentar recuperar de la mejor forma el audio de estudio (el de la emisora).

#### 8) Variando los valores del amplificador de RX (LNA) del USRP

Al variar la ganancia del amplificador en términos de la potencia normalizada obtuvimos los siguientes resultados:



*Figura 13: Variación del amplificador en 0,1*

Analizando los datos se aprecia que la topología utilizada para recibir señales FM no depende de la ganancia del receptor (RX) del radio, pues al variar esta, no se notaron cambios representativos en la potencia que calculada con el bloque de potencia, la explicación de esto la encontramos en los bloques Low Pass Filter y WBFM receive, el primero de estos recibe la señal proveniente del radio y modifica la amplitud de la entrada en función de su parámetro de ganancia, además de acotar el ancho de banda; el segundo recibe la señal de FM compleja y hace la demodulación a audio, este bloque nuevamente por medio de su ganancia interna acota la nuevamente la potencia de la señal entrante y a partir de ese punto se hace la medición.

## Bibliografía

Danizio, P. E. (2020). Teoría de las comunicaciones. Jorge Sarmiento Editor - Universitas. <https://elibro-net.bibliotecavirtual.uis.edu.co/es/lc/uis/titulos/175134>

## 7. REJILLA DE EVALUACIÓN

### 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"> <li>• Coherencia con los objetivos</li> <li>• Tienen Comentarios de análisis pertinentes</li> <li>• Están en su totalidad (tiempo, frecuencia u otros solicitados)</li> </ul>				
3	Calidad del informe: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es organizado de inicio a fin</li> <li>• Etiqueta imágenes y las cita en el texto</li> <li>• Tiene ortografía</li> <li>• La escrita es clara y concisa</li> <li>• No repite informaciones</li> </ul>				
4	Tiene al menos una conclusión que sea resultado directo de la ejecución del laboratorio				
<b>Total</b>					