



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

PROYECTO DE TITULACIÓN:

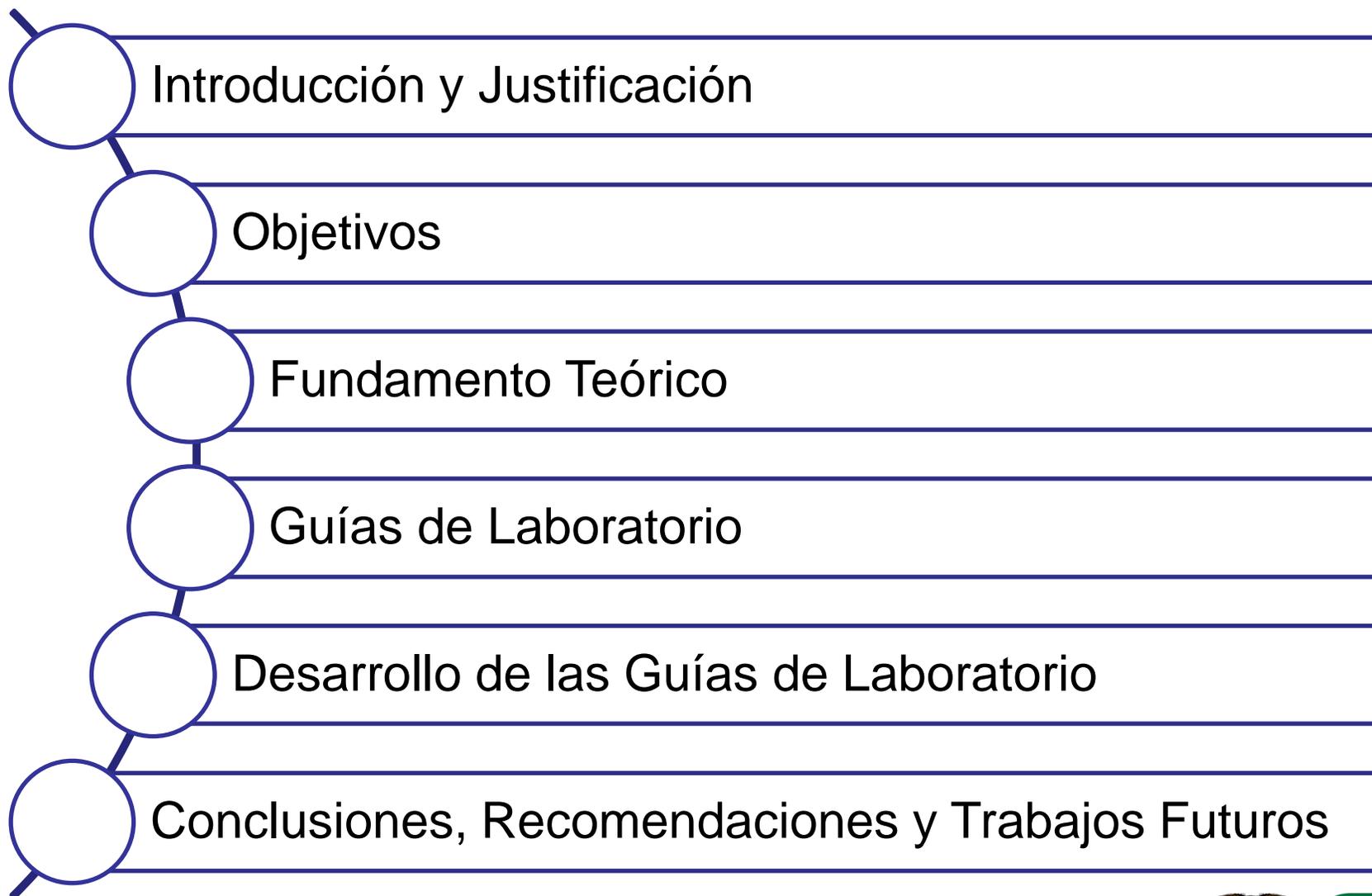
**“Diseño de un sistema de entrenamiento para un esquema de
Comunicación Digital con base a la tecnología de Radio Definido
por Software SDR”**

Autora: Torres Terán Valeria Nicole

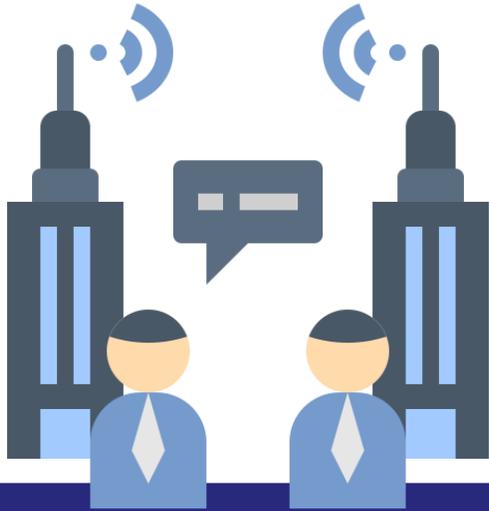
Director del Proyecto: Ing. Gonzalo Olmedo Cifuentes

Sangolquí, marzo 2024

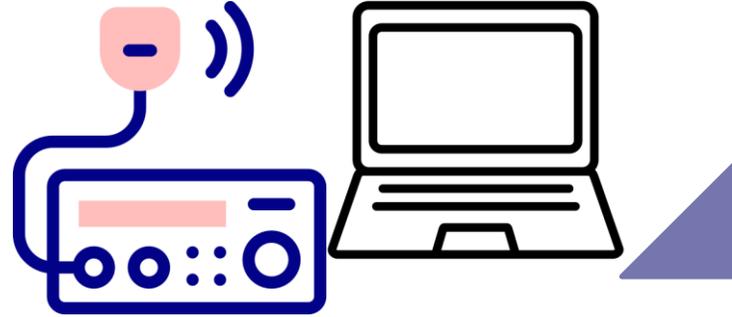




Introducción y Justificación



La evolución de las telecomunicaciones con la creación de estándares y protocolos han generado problemas de interoperabilidad.



Solución: Radio Definida por Software SDR

Gracias a la modificación de parámetros de comunicación en un software de control.



La SDR tiene aplicaciones en el campo académico en la enseñanza de asignaturas de Telecomunicaciones.



Objetivo General

Diseñar un sistema de entrenamiento para un esquema de Comunicación Digital utilizando Radio Definido por Software.

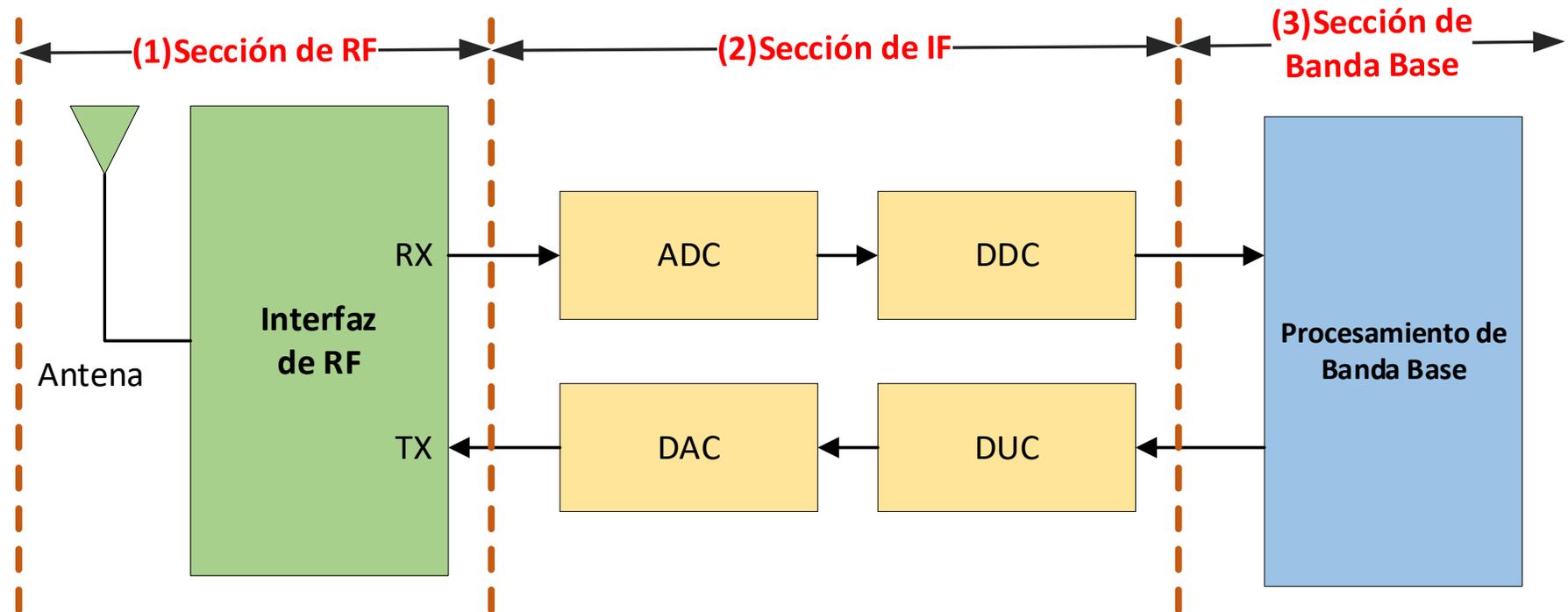
Objetivos Específicos

- ✓ Analizar las características de la tecnología SDR.
- ✓ Analizar los fundamentos teóricos de la materia Comunicación Digital.
- ✓ Diseñar las propuestas de ensayos de laboratorio de Comunicación Digital.
- ✓ Implementar los ensayos de laboratorio.
- ✓ Documentar y analizar los resultados.

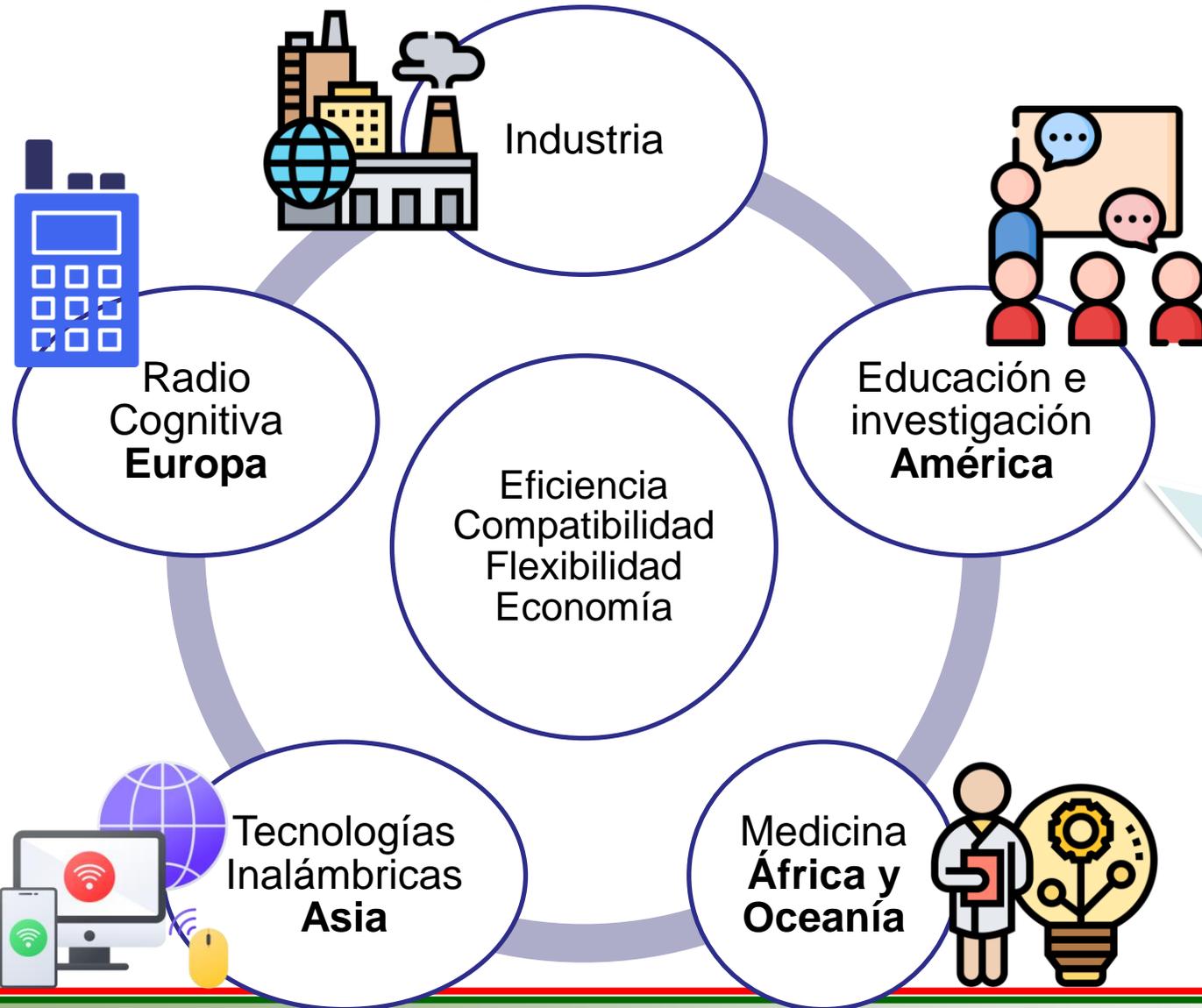


Radio Definido por Software SDR

Dispositivo de radio reprogramable, cuyos parámetros vinculados con la capa física se configuran a través del software.



Características y Aplicaciones de SDR



SDR

Es una herramienta con gran potencial para el desarrollo, investigación y enseñanza de prototipos de sistemas de comunicación y redes inalámbricas.

Requerimientos para maximizar la experiencia educativa:

- Módulos SDR accesibles
- Entornos de desarrollo de código libre
- Software potente
- Planificación curricular



Hardware y Software para SDR



Fundamentos de Comunicación Digital

La asignatura de Comunicación Digital corresponde al séptimo semestre de la carrera de Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas. Comprende temas imprescindibles en la formación académica de los estudiantes de ingeniería.

Unidad 1

Canal de comunicaciones
Modulaciones digitales
Conmutación y Multiplexación

Unidad 2

Codificación de canal
Sincronización sobre canales invariantes en el tiempo

Unidad 3

Sistemas de múltiple acceso



1

Canal AWGN

2

Evaluación de desempeño de modulaciones PAM en canales AWGN

3

Evaluación de desempeño de modulaciones M-QAM en canales AWGN

4

Evaluación de desempeño de modulaciones digitales en canales AWGN y desvanecimiento

5

Evaluación de códigos convolucionales

6

Simulación y evaluación de OFDM

7

Evaluación de desempeño de códigos de canal RS



8

Evaluación de desempeño de códigos de canal Turbo

9

Evaluación de desempeño de códigos LDPC

10

Evaluación de desempeño de modulación codificada

11

Algoritmos de sincronización por verosimilitud

12

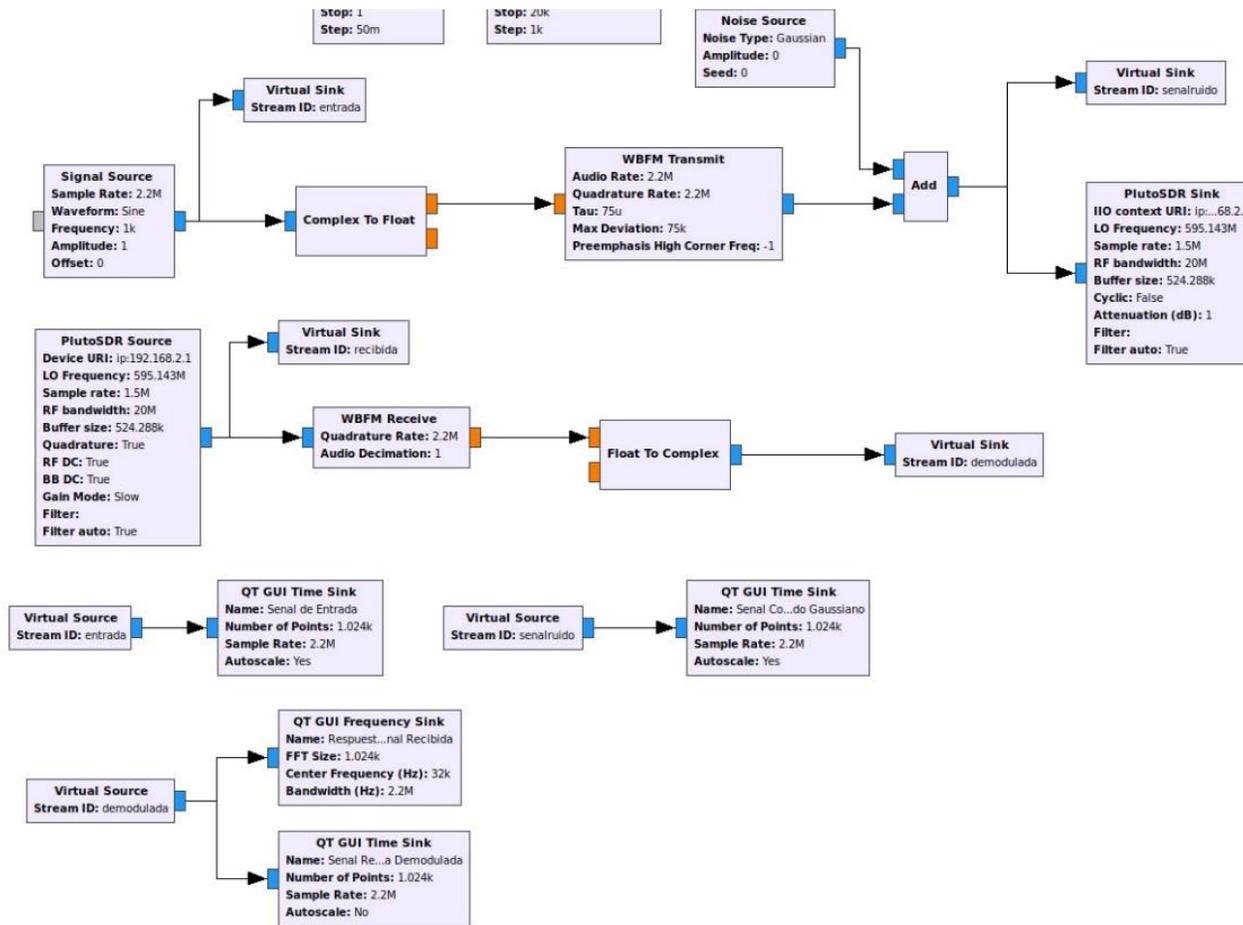
Evaluación de desempeño de CDMA

13

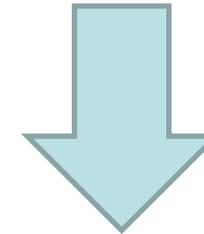
Evaluación de desempeño de OFDMA



Desarrollo de las Guías de Laboratorio



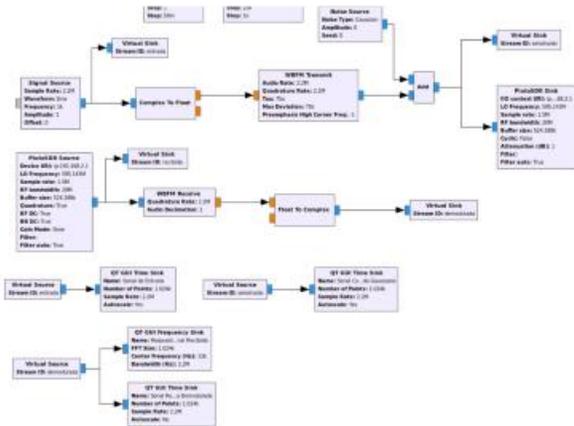
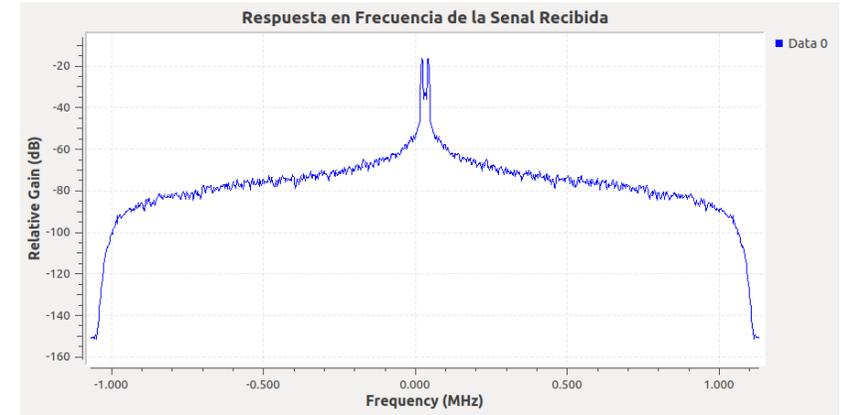
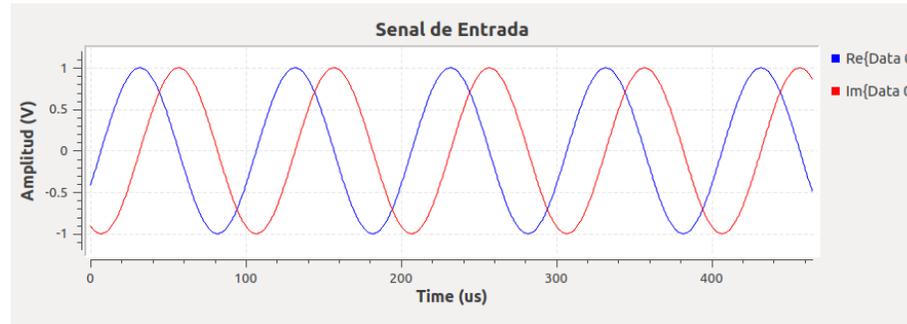
- Modulaciones
- Códigos de canal
- Tipos de canal
- Algoritmos de sincronización
- Sistemas de múltiple acceso



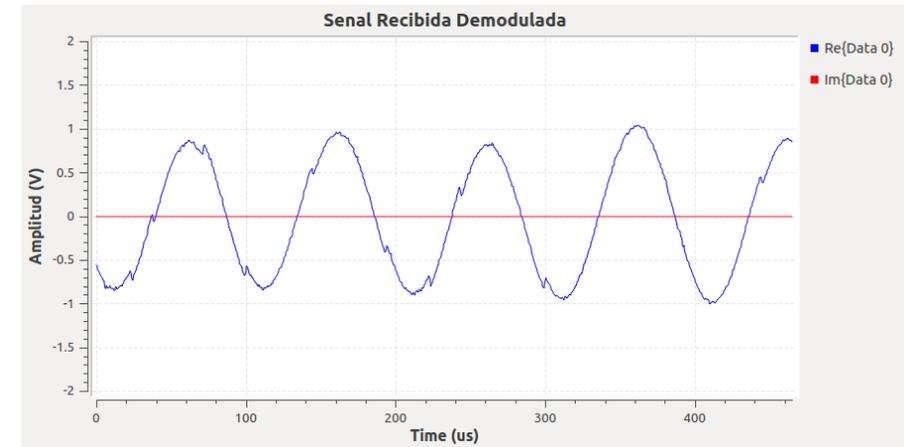
- BER
- Características frecuenciales
- Diagramas de constelación



Canal AWGN



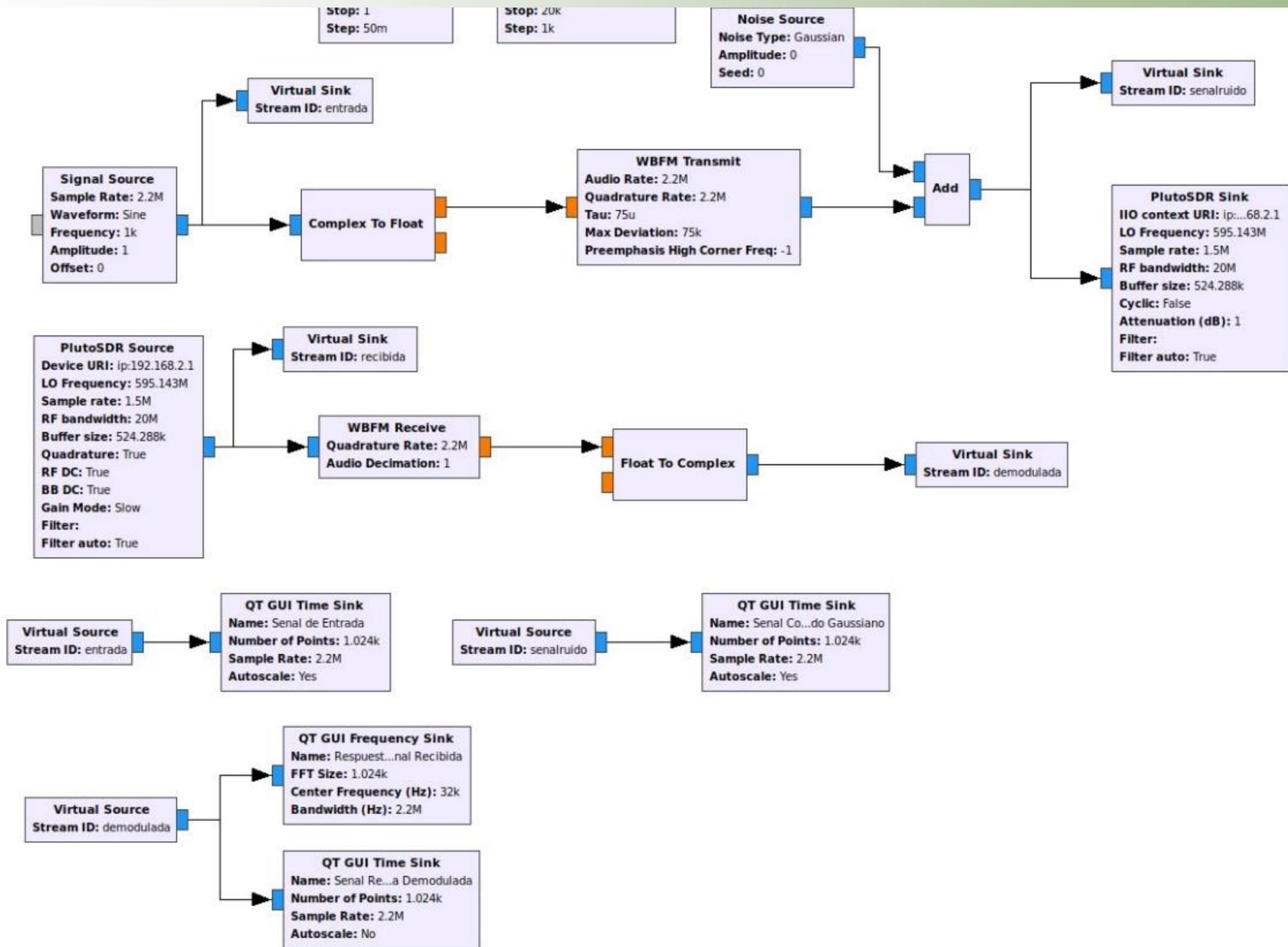
BER	
Porcentaje	Probabilidad
0,55%	0,0055



Actividades

- Variar frecuencia
- Distinta fuente de señal
- Channel Model

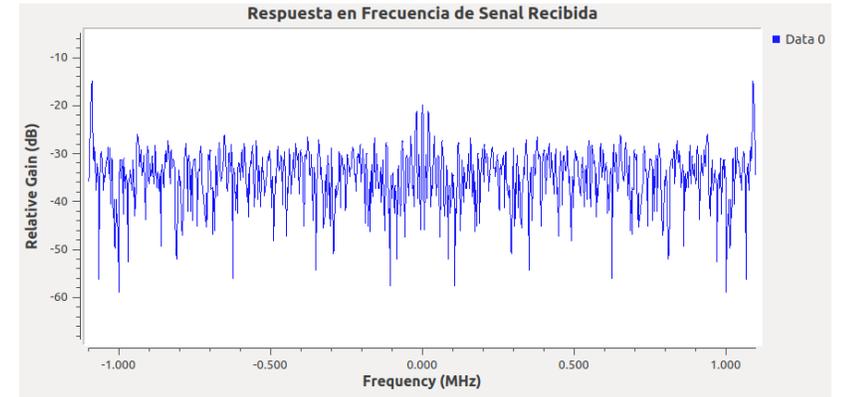
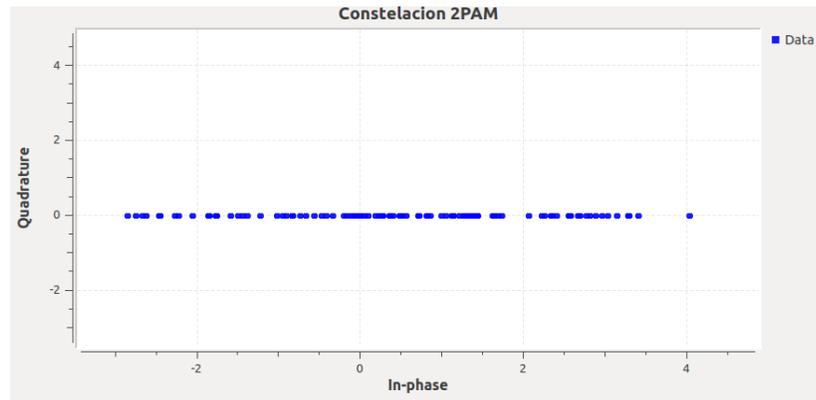
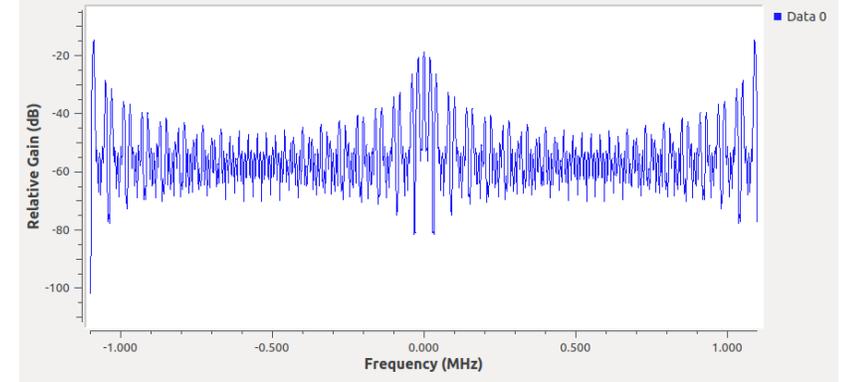
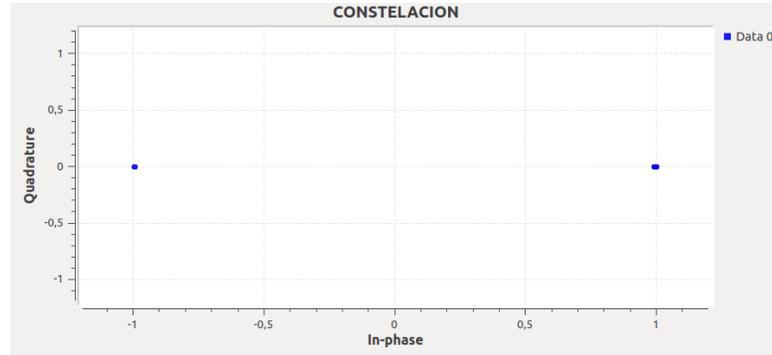
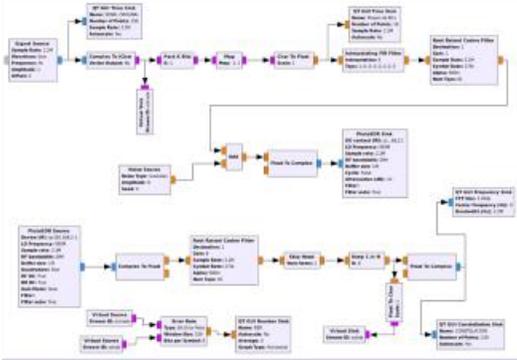




Desarrollo de las Guías de Laboratorio

2

Evaluación de desempeño de modulaciones PAM en canales AWGN



BER

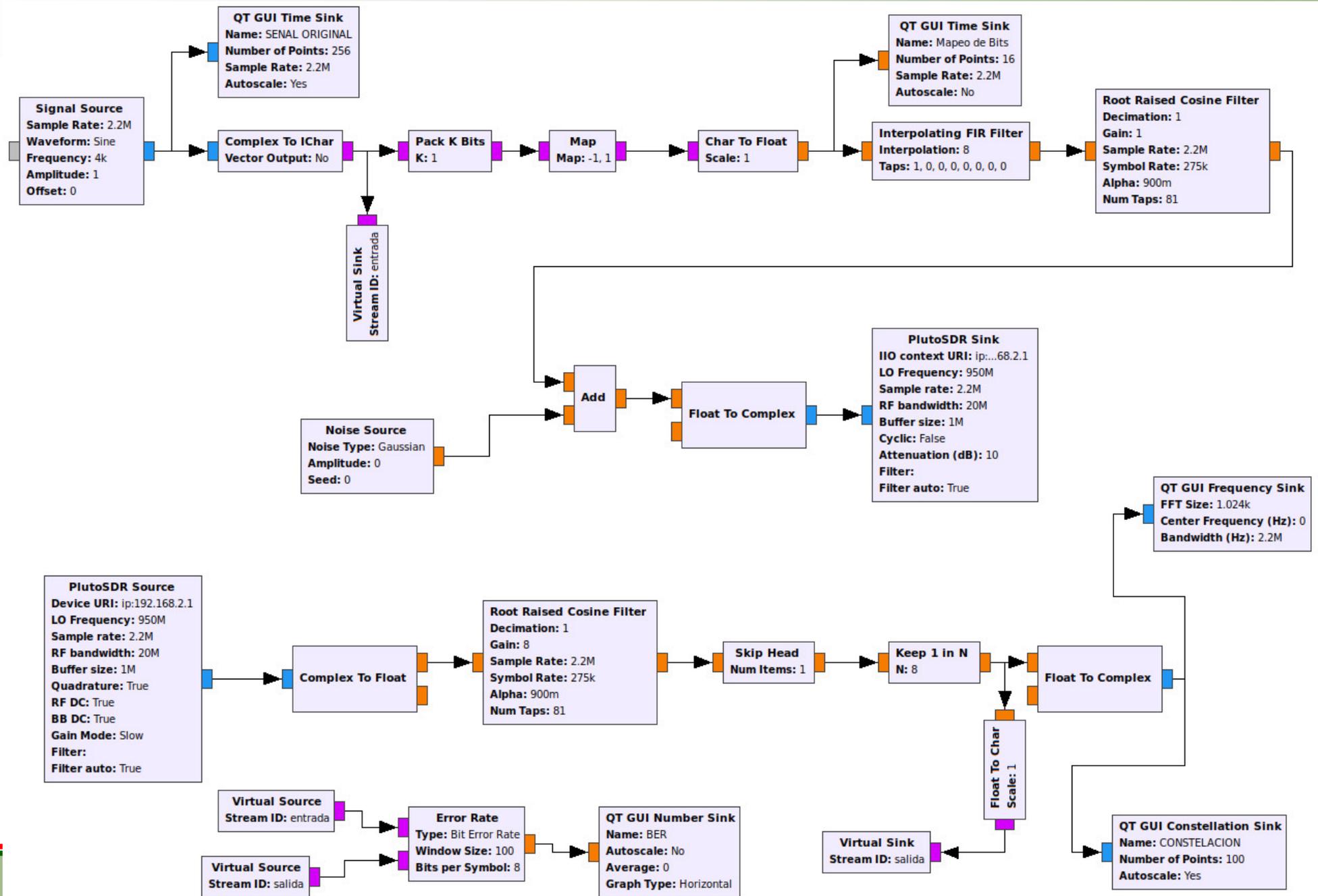
Porcentaje	Probabilidad
0,77%	0,0077

Actividades

- Variar modulación 4PAM
- Distinta fuente de señal



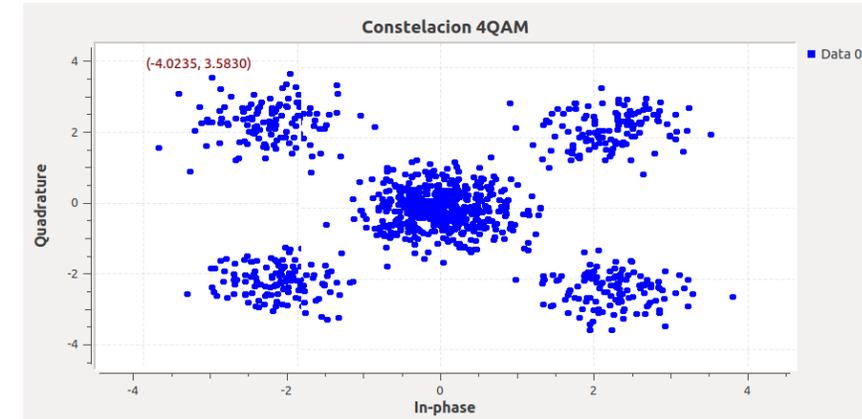
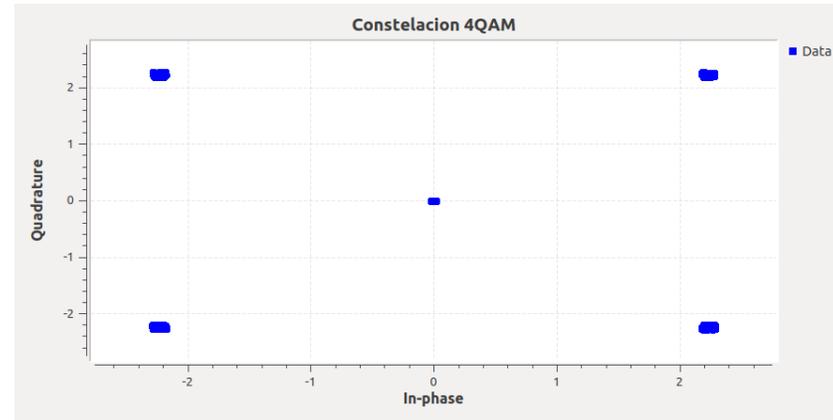
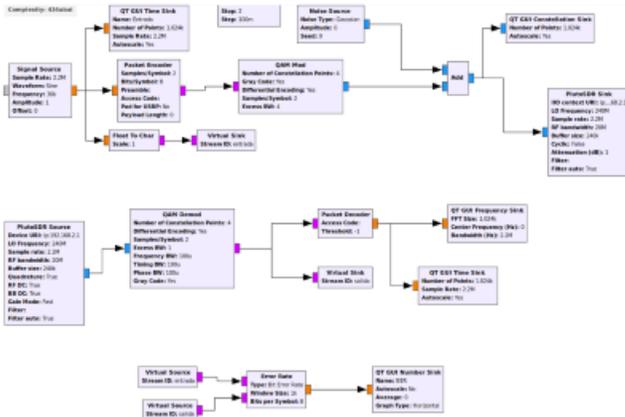
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Desarrollo de las Guías de Laboratorio

3

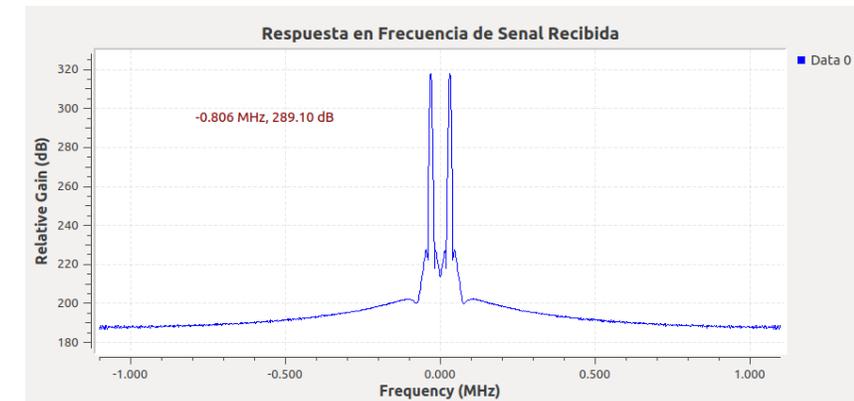
Evaluación de desempeño de modulaciones M-QAM en canales AWGN



BER	
Porcentaje	Probabilidad
0,42%	0,0042

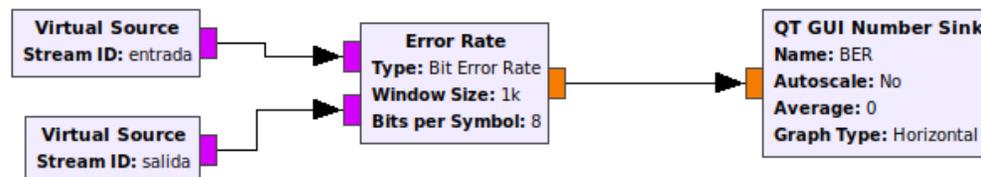
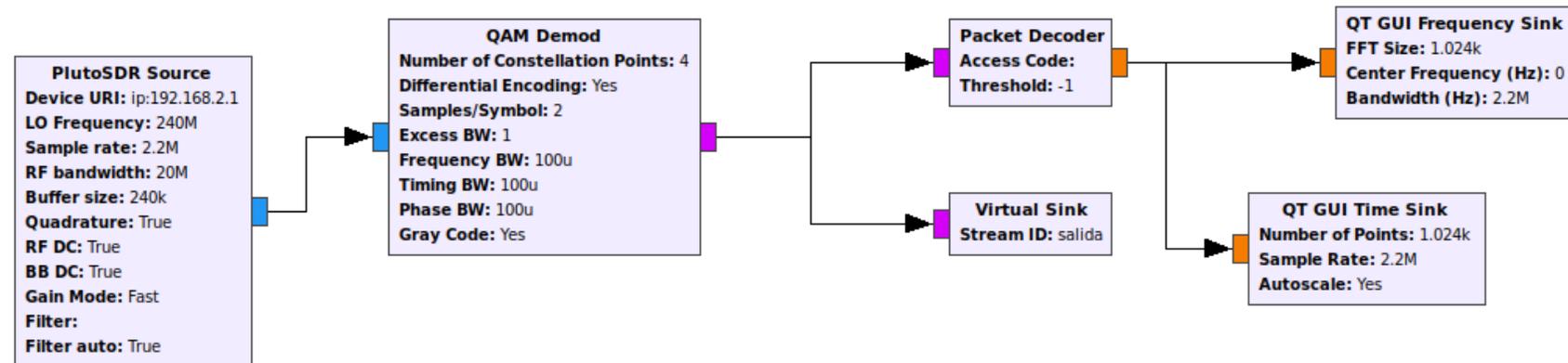
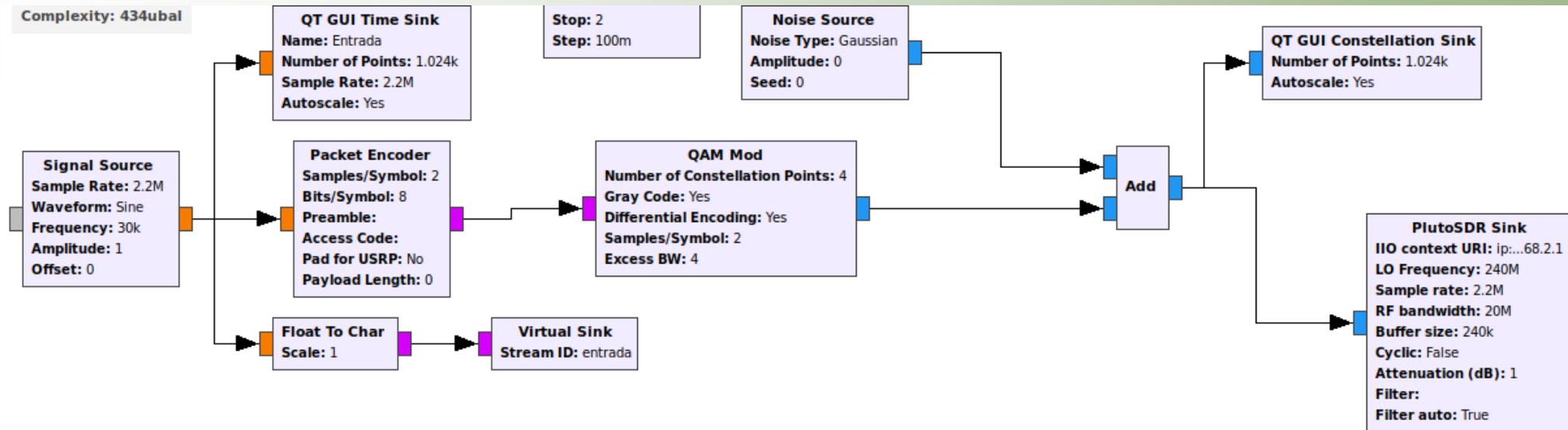
Actividades

- Variar modulación 16QAM
- Distinta señal de entrada

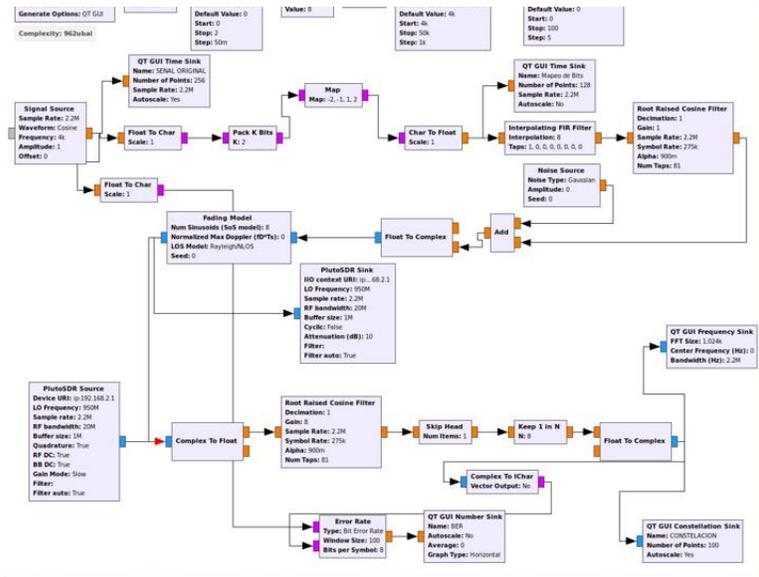


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Complexity: 434ubal



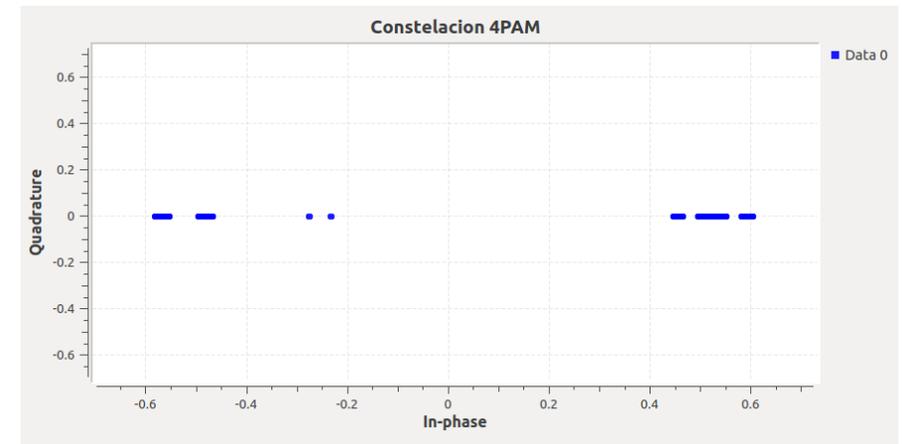
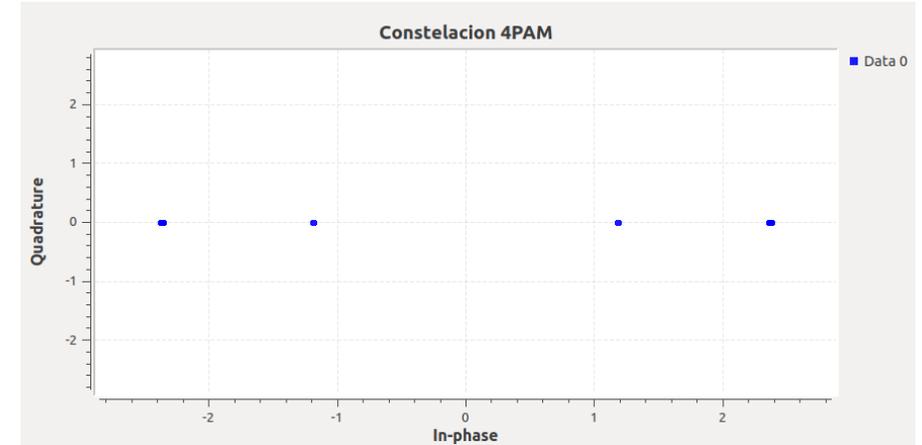
Evaluación de desempeño de modulaciones digitales en canales AWGN y desvanecimiento

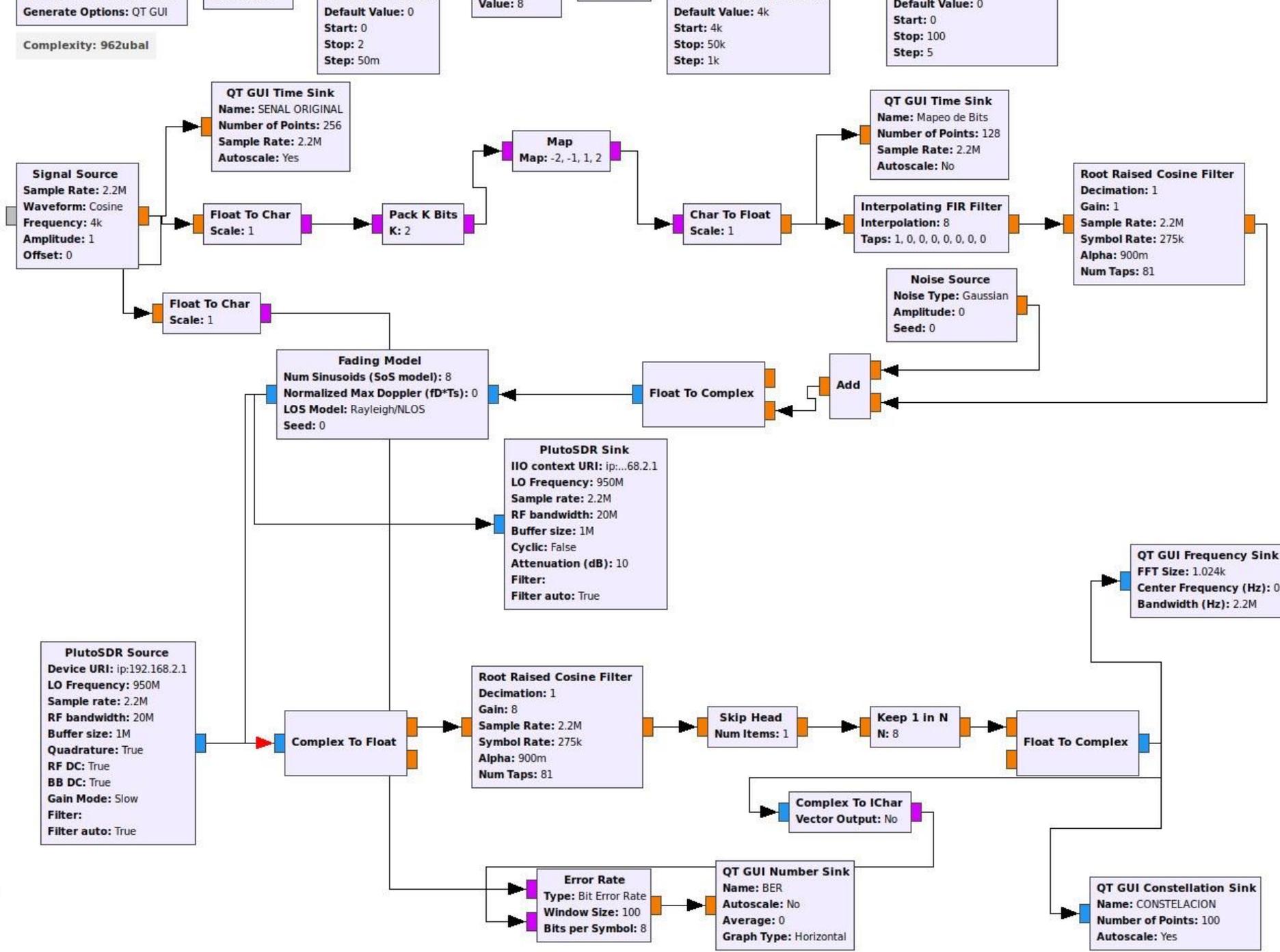


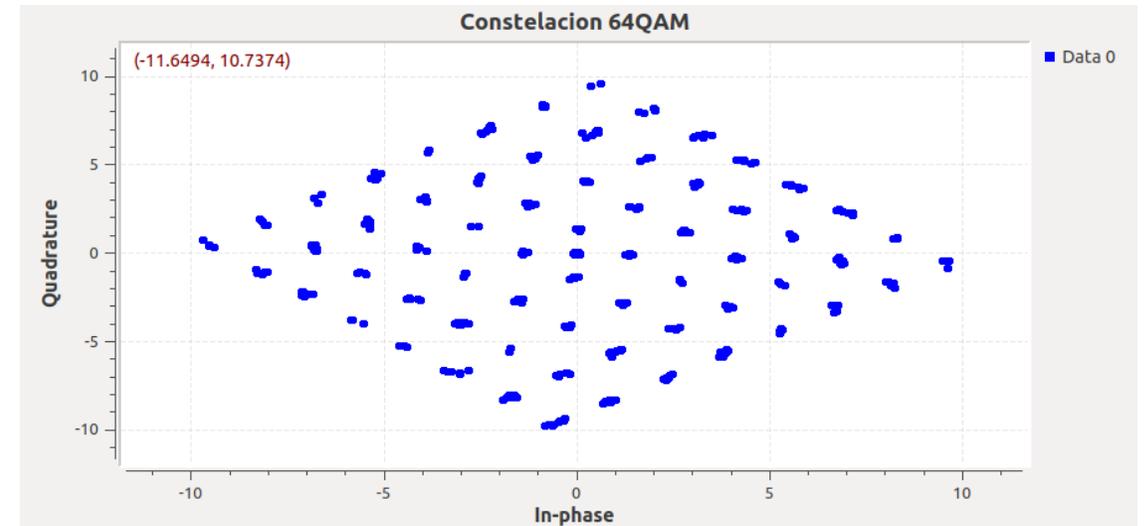
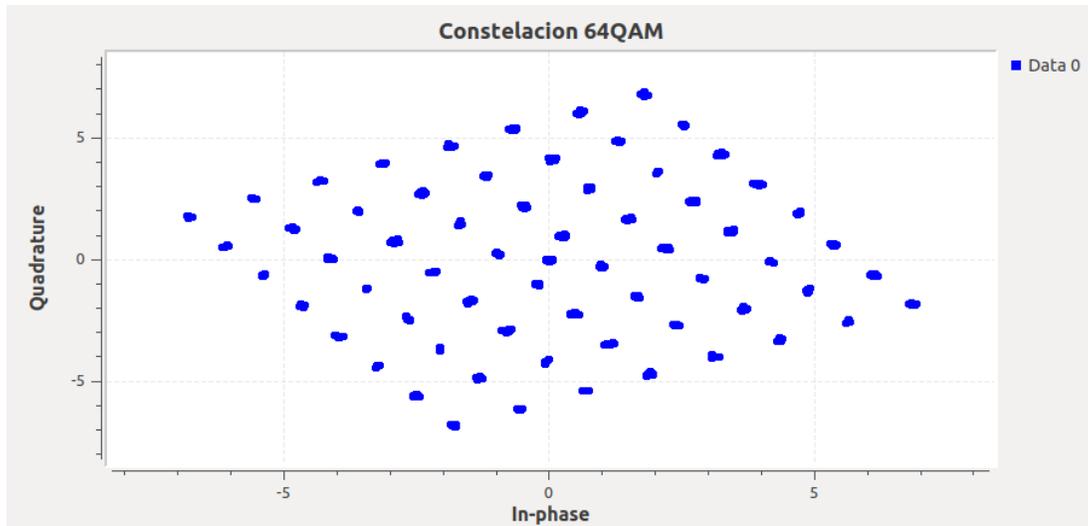
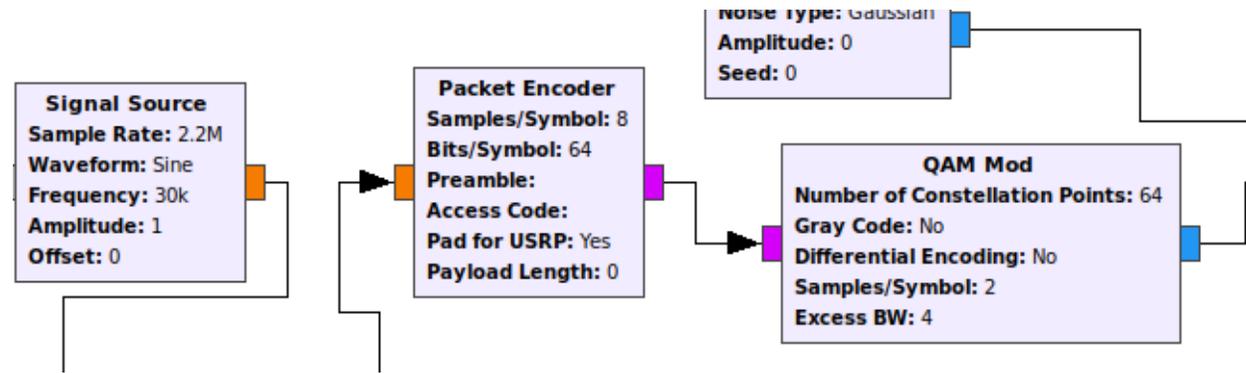
BER	
Porcentaje	Probabilidad
0,46%	0,0046

Actividades

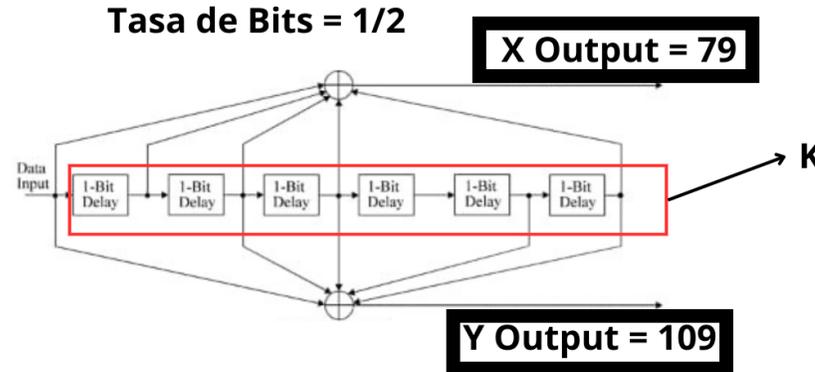
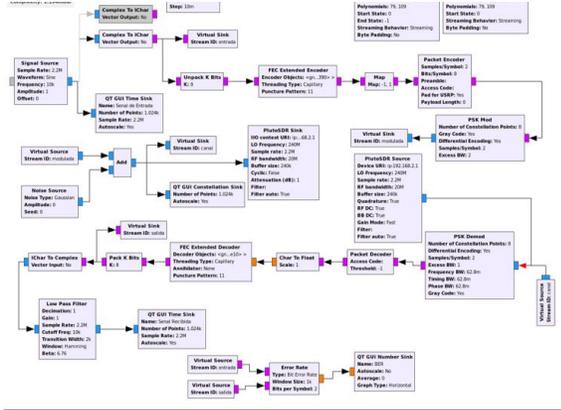
- Variar modulación 16QAM
- Distinta señal de entrada
- Análisis de resultados







5 Evaluación de códigos convolucionales



Polinomios de Voyager :

$$1 + x^2 + x^3 + x^5 + x^6$$

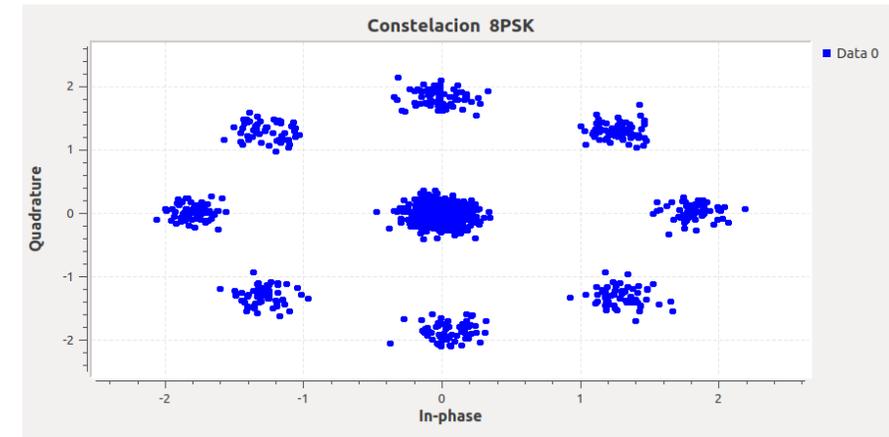
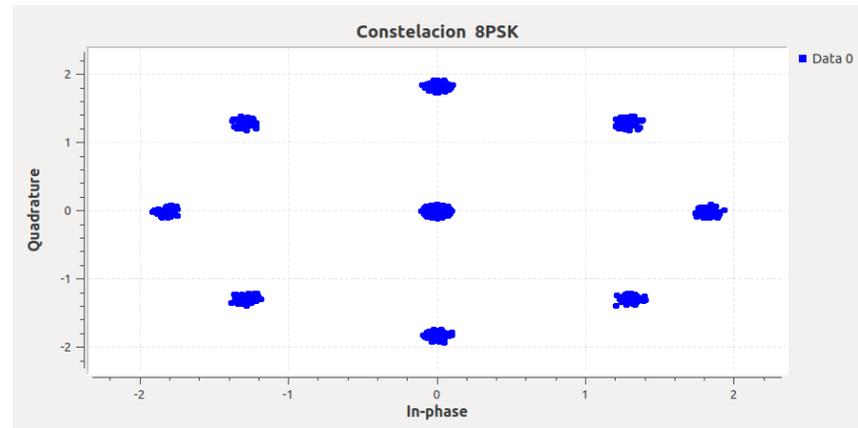
$$1 + x + x^2 + x^3 + x^6$$

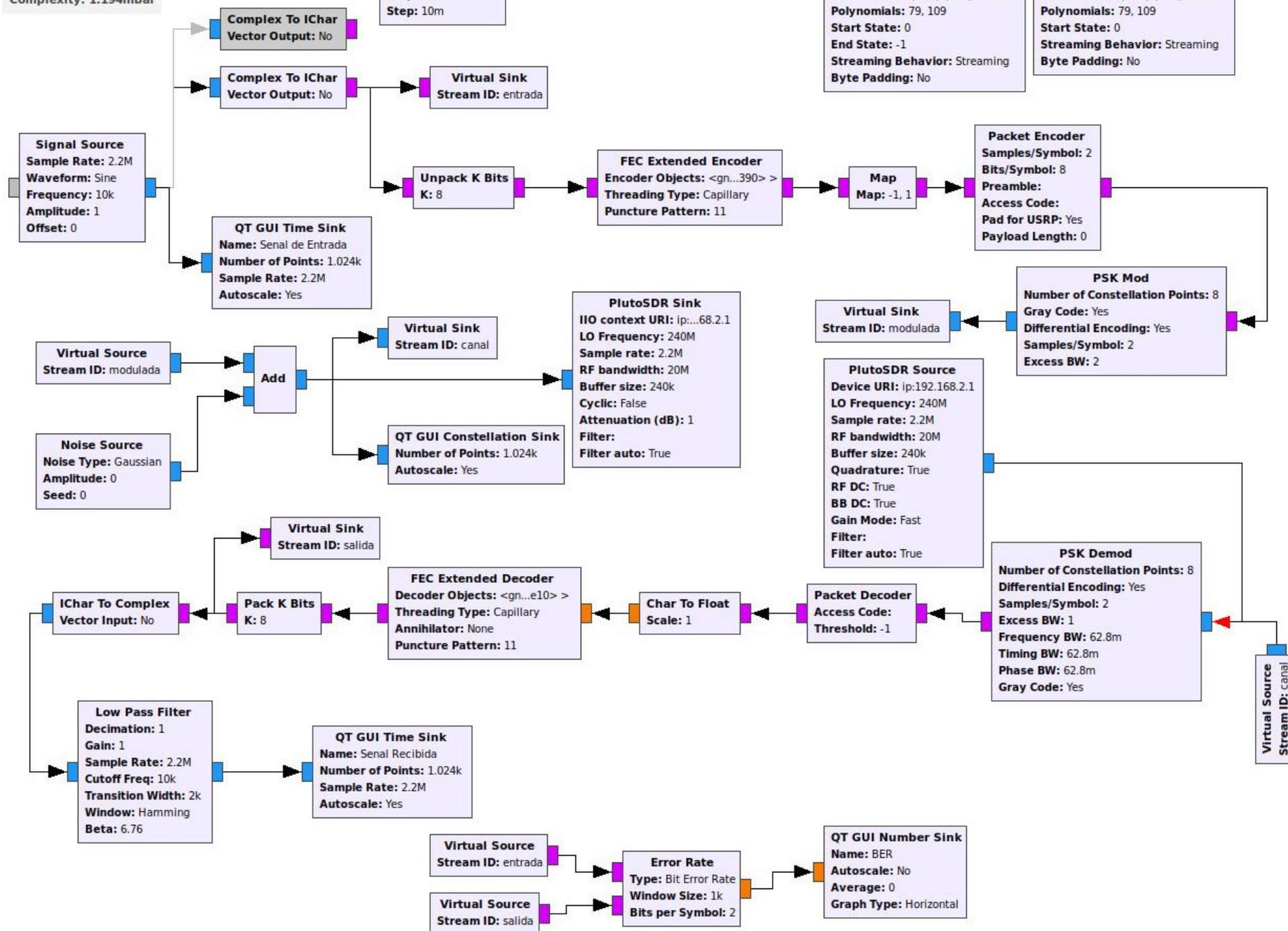
BER

Porcentaje	Probabilidad
0,61%	0,0061

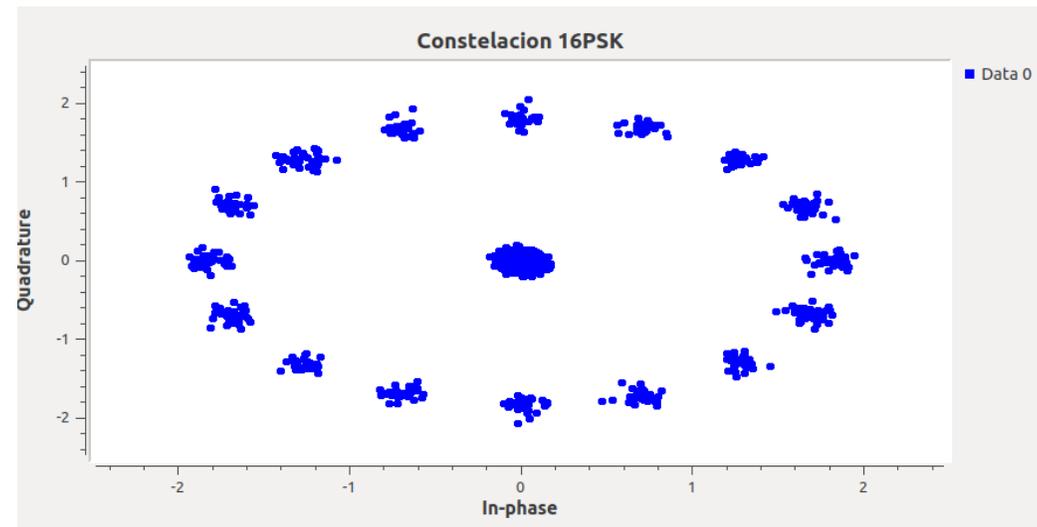
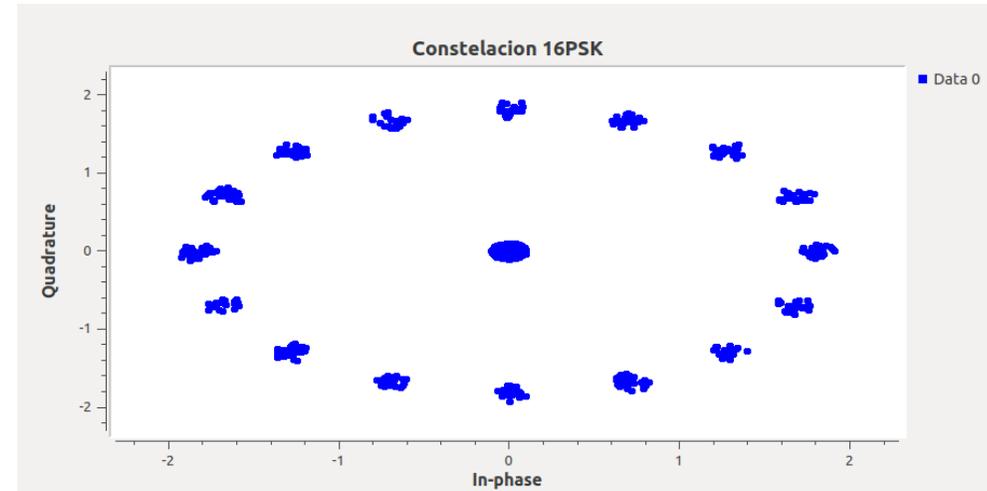
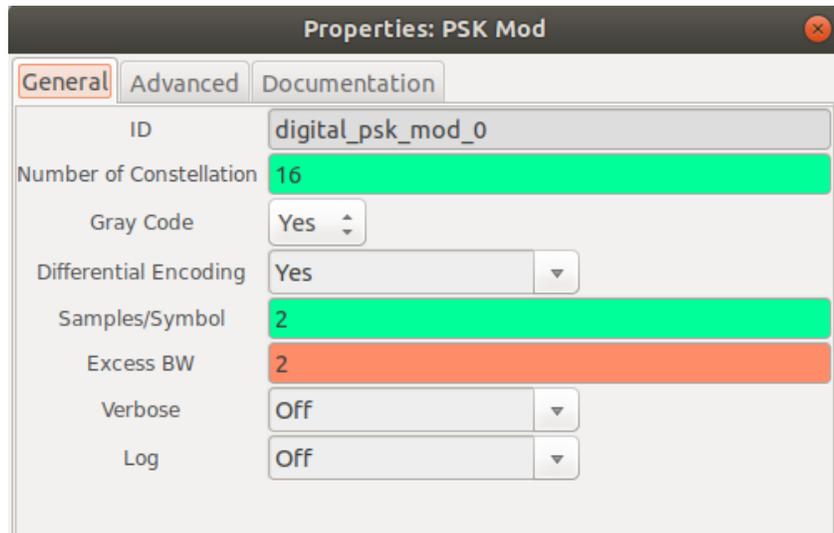
Actividades

- Variar modulación 16PSK
- Distinta señal de entrada
- Variar nivel de ruido

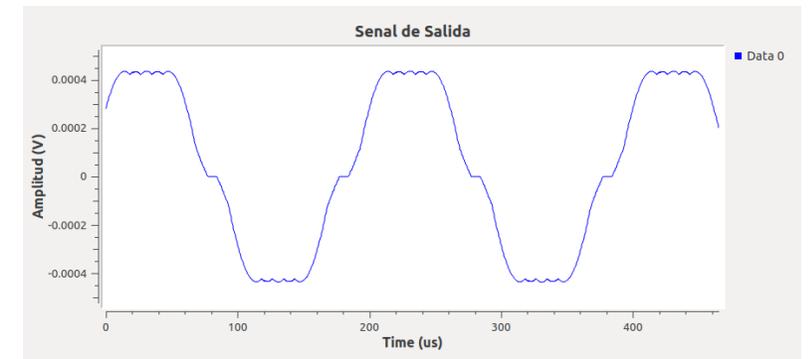
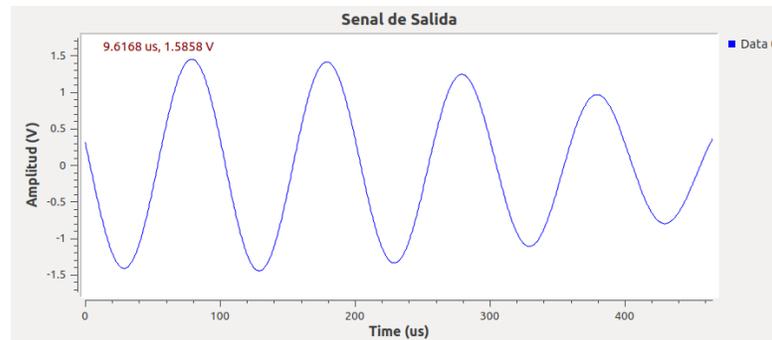
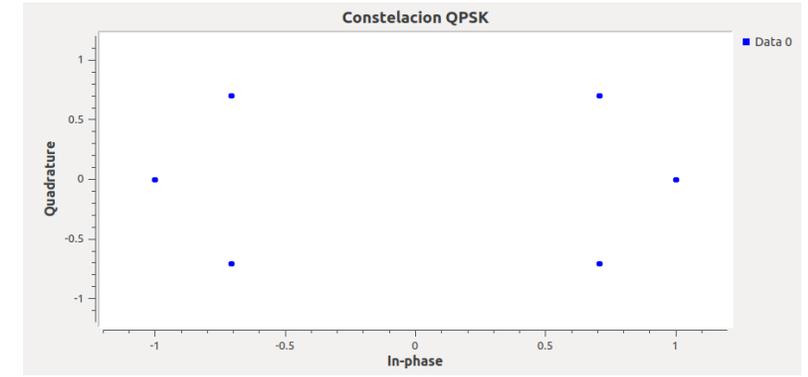
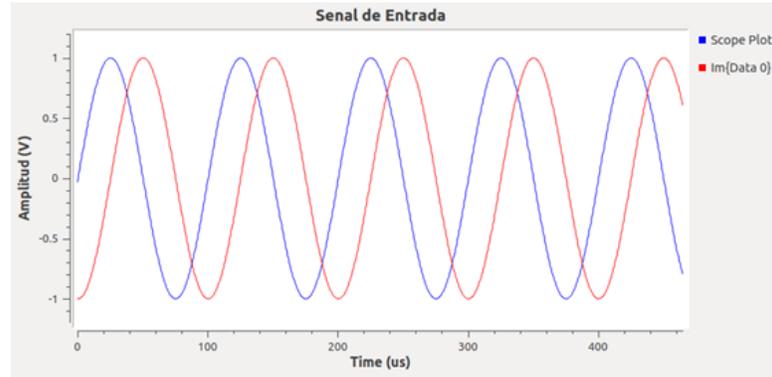
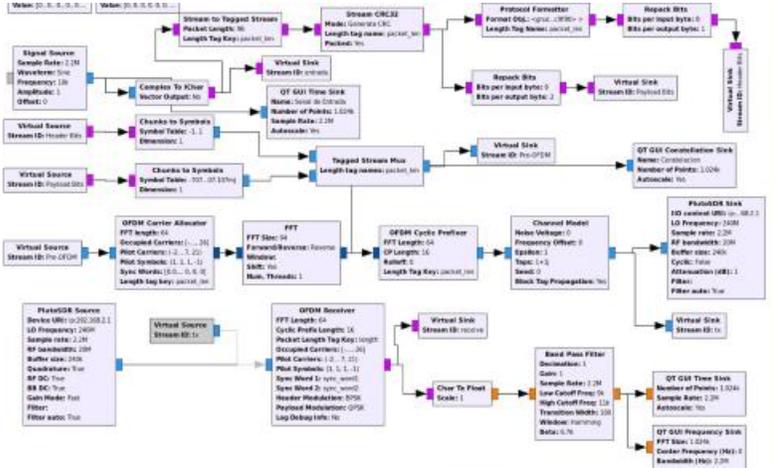




5 Evaluación de códigos convolucionales



6 Simulación y evaluación de OFDM



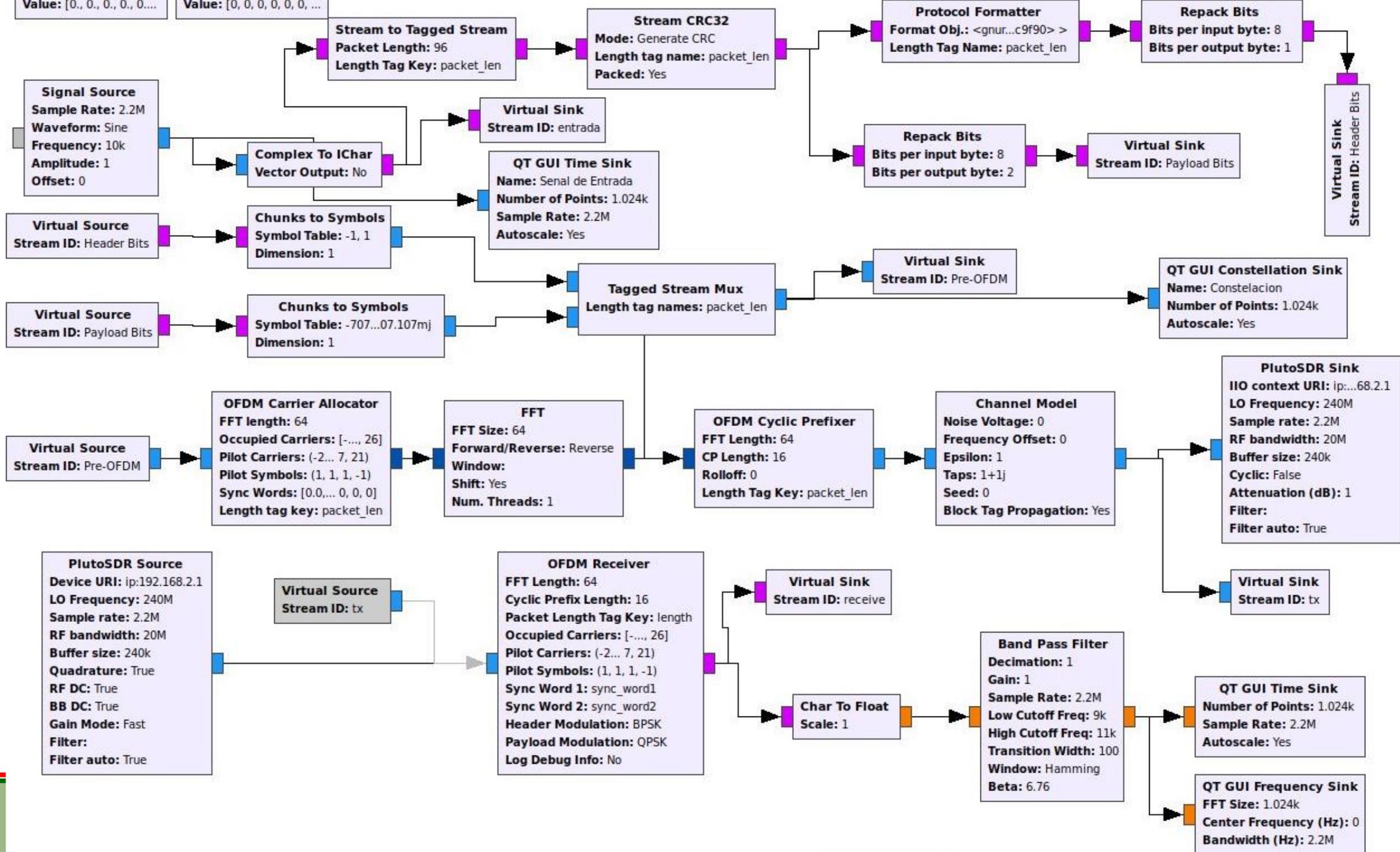
BER

Porcentaje	Probabilidad
2,02%	0,0202

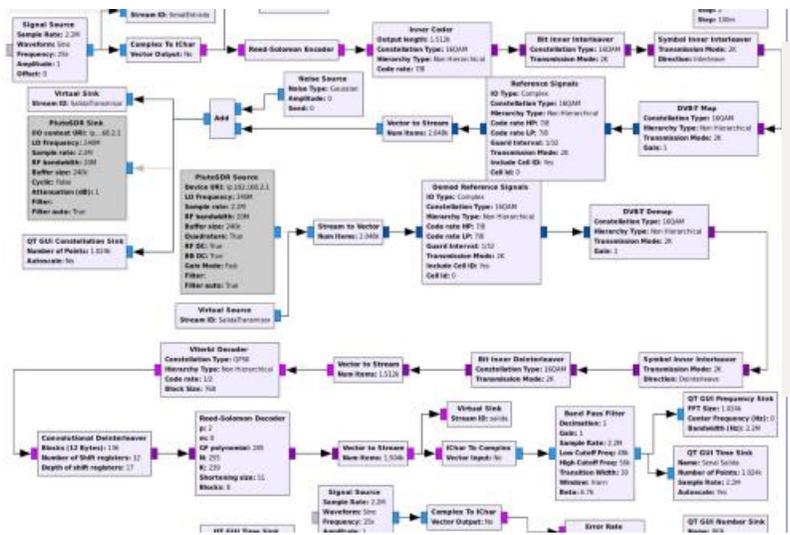
Actividades

- Distinta señal de entrada
- Variar nivel de ruido
- Analizar resultados





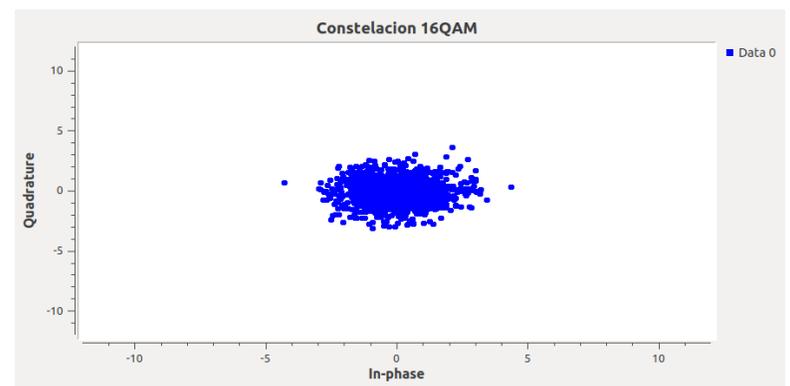
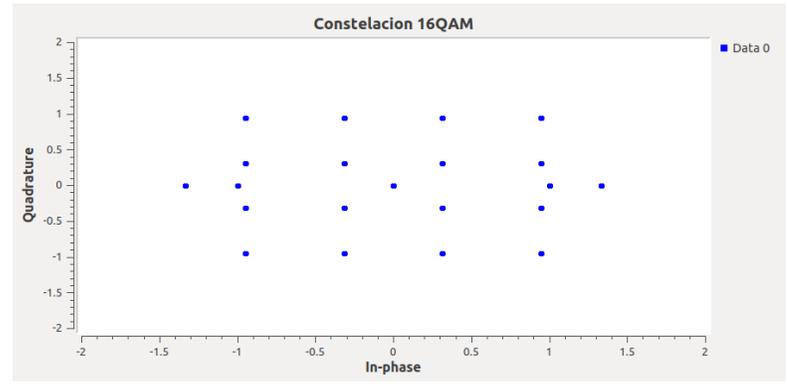
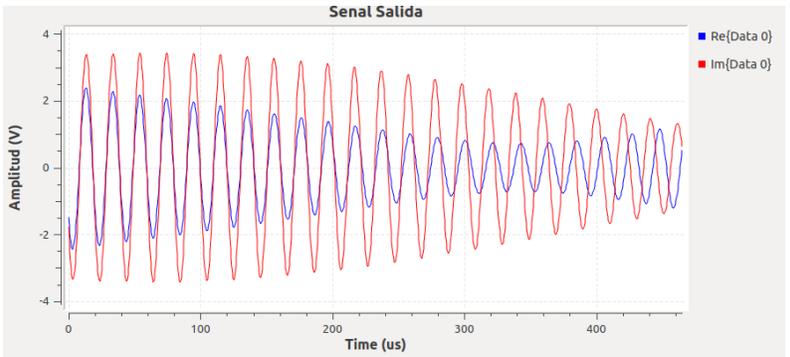
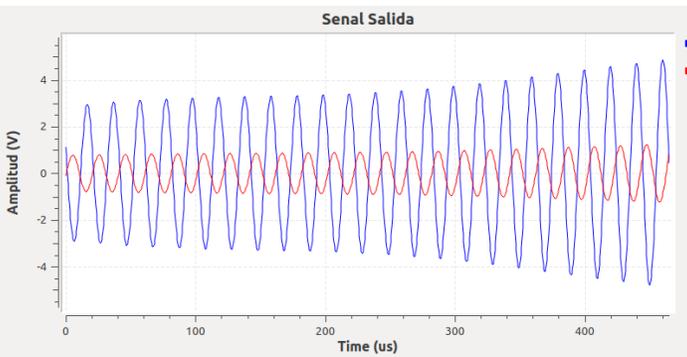
7 Evaluación de desempeño de códigos de canal RS



RS(255,239)

Polinomio generador :

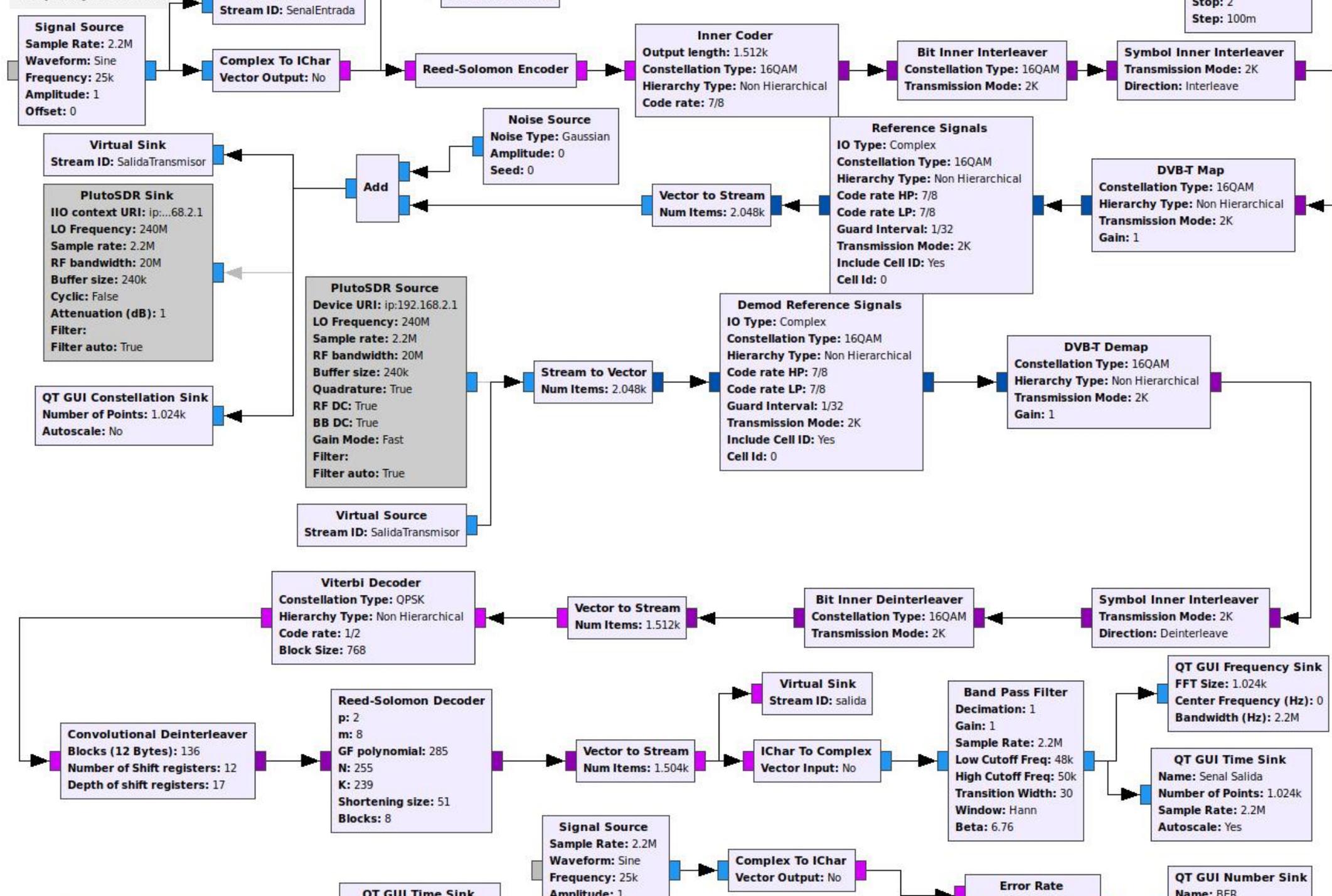
$$g(x) = x^{16} + 118x^{15} + 52x^{14} + 103x^{13} + 31x^{12} + 104x^{11} + 126x^{10} + 187x^9 + 232x^8 + 17x^7 + 56x^6 + 183x^5 + 49x^4 + 100x^3 + 81x^2 + 44x + 79$$



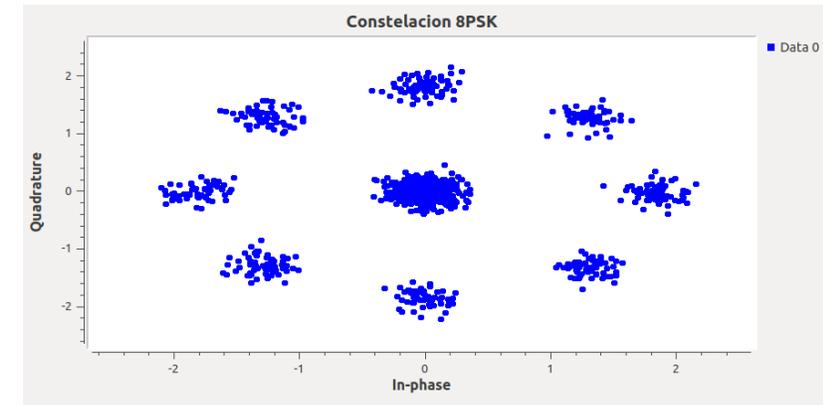
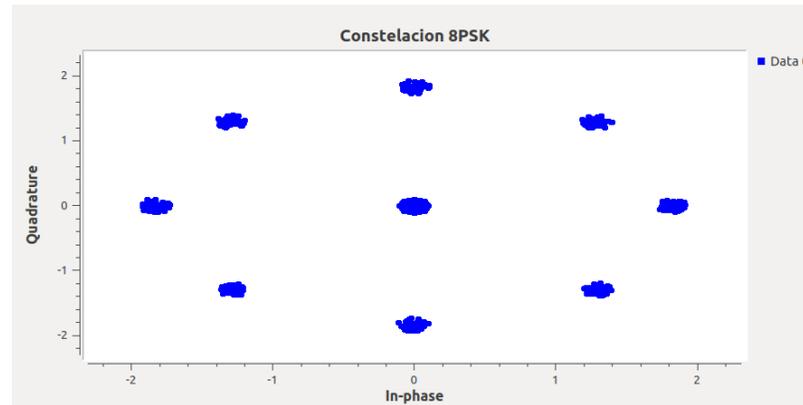
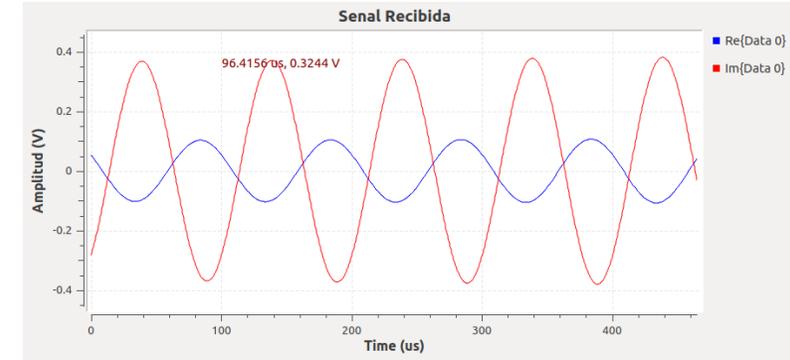
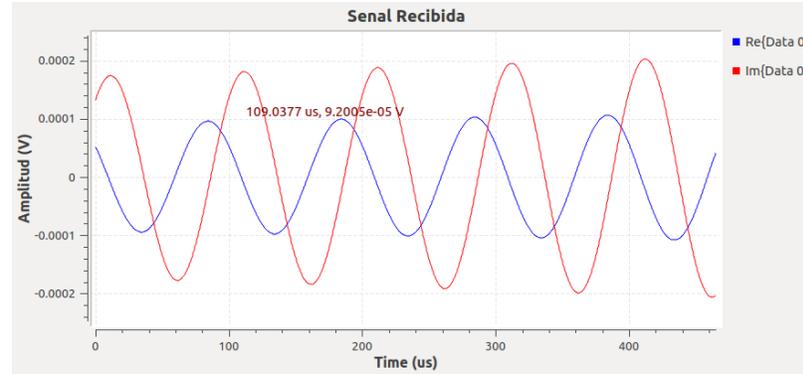
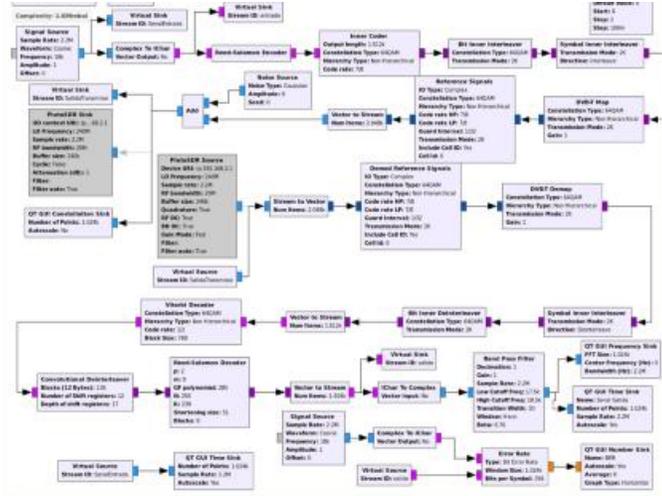
BER	
Porcentaje	Probabilidad
0,078%	0,0078

Actividades

- Modulación 64QAM
- Distinta señal de entrada



8 Evaluación de desempeño de códigos de canal Turbo



$$1 + x$$

$$1 + x^2 + x^4 + x^5$$

$$1 + x + x^2 + x^3 + x^5 + x^6$$

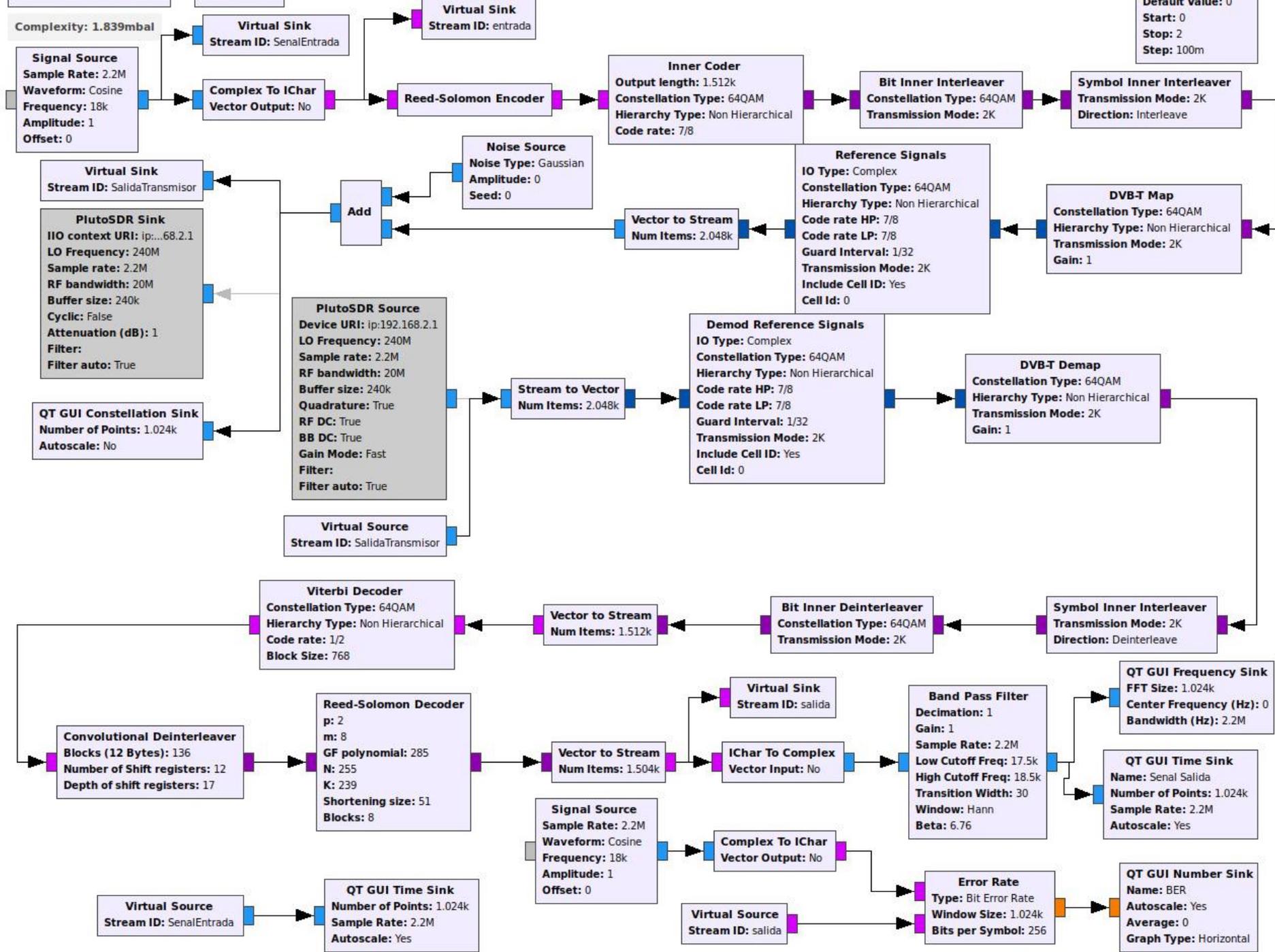
$$1 + x^2 + x^6 + x^7$$

BER	
Porcentaje	Probabilidad
0,03%	0,003

Actividades

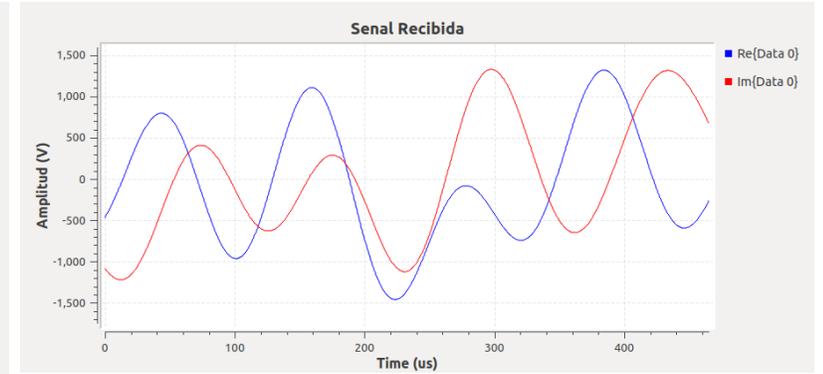
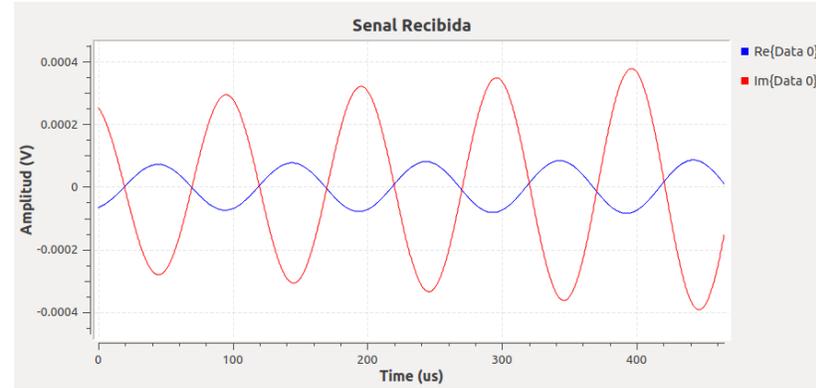
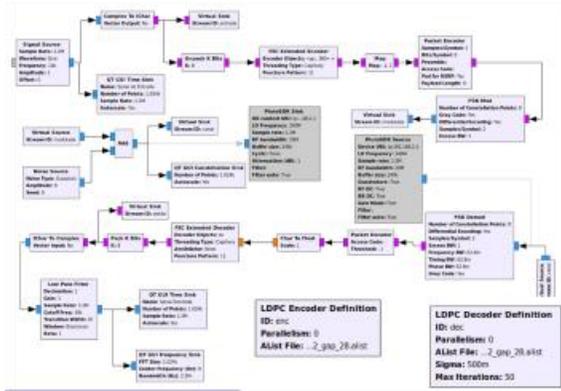
- Modulación 16PSK
- Distinta señal de entrada



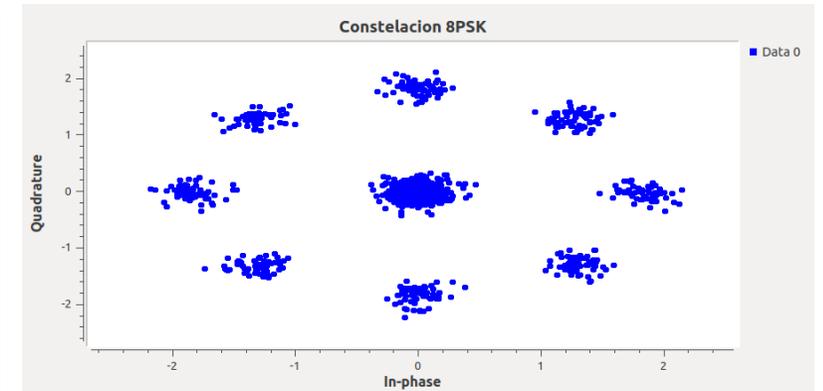
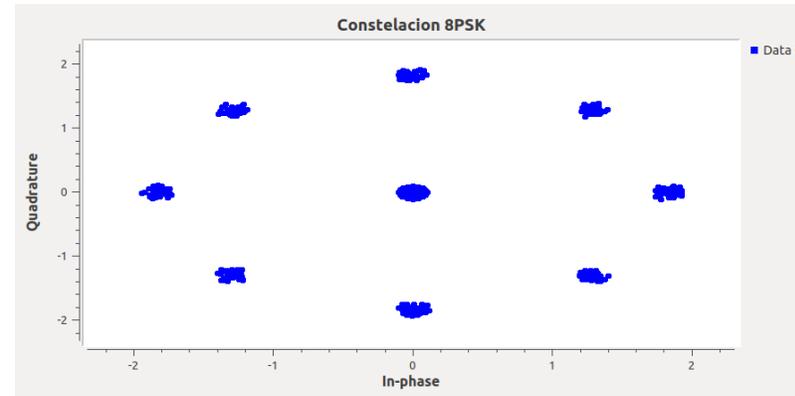


Desarrollo de las Guías de Laboratorio

9 Evaluación de desempeño de códigos LDPC



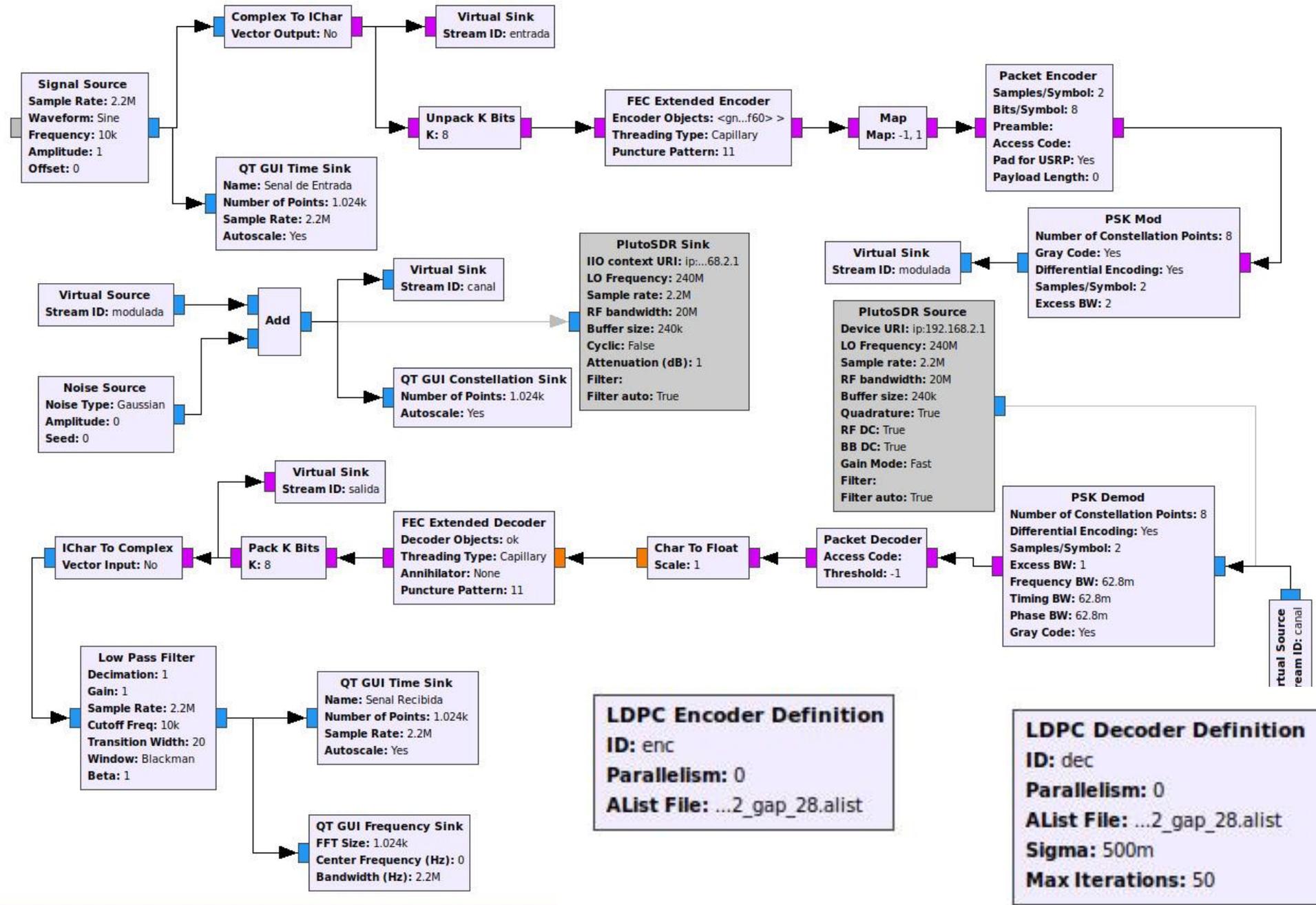
BER	
Porcentaje	Probabilidad
0,64%	0,064

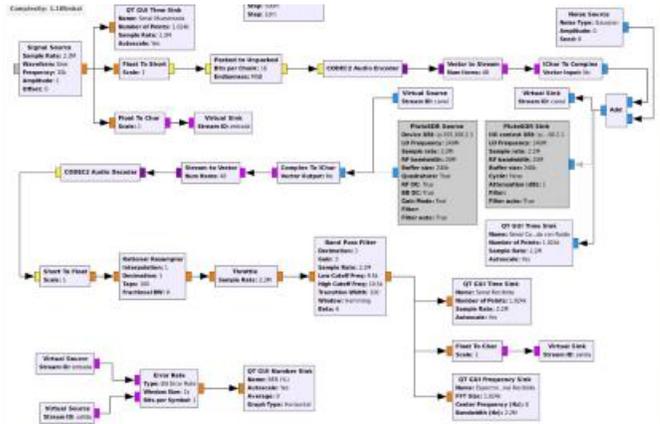


Actividades

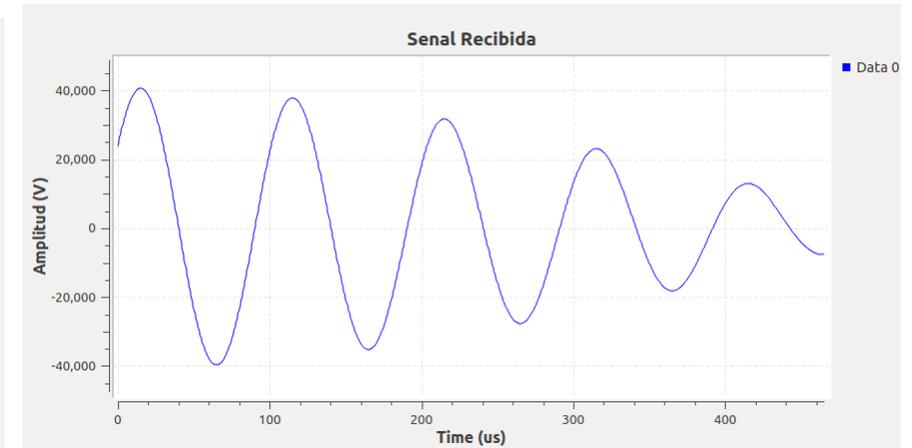
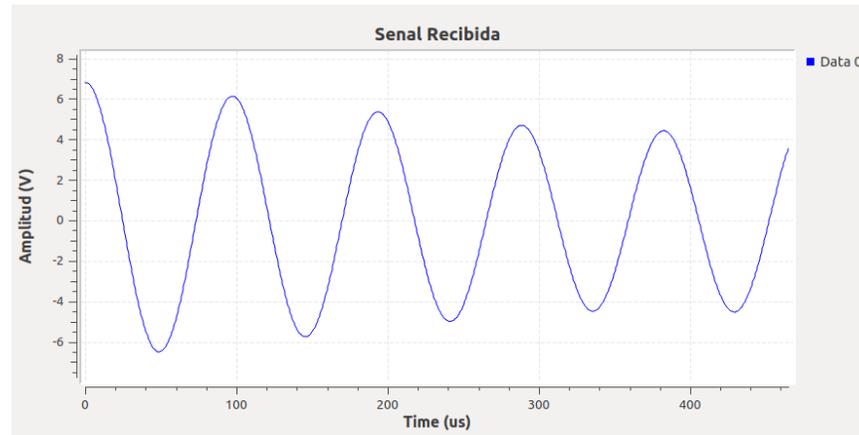
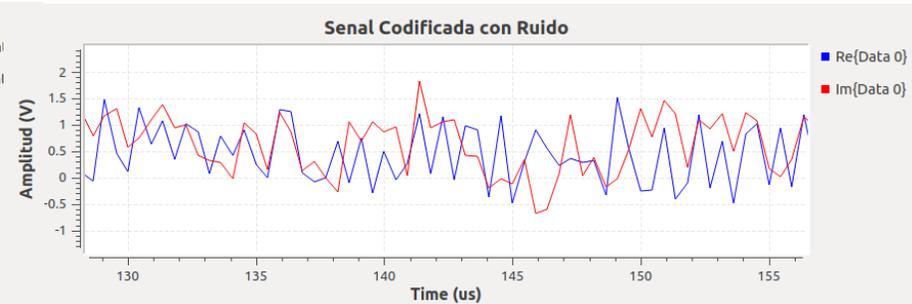
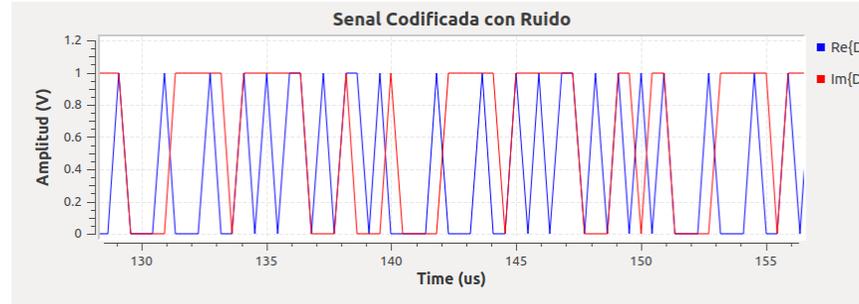
- Modulación 16PSK
- Variar nivel de ruido
- Analizar resultados







BER	
Porcentaje	Probabilidad
0,48%	0,048

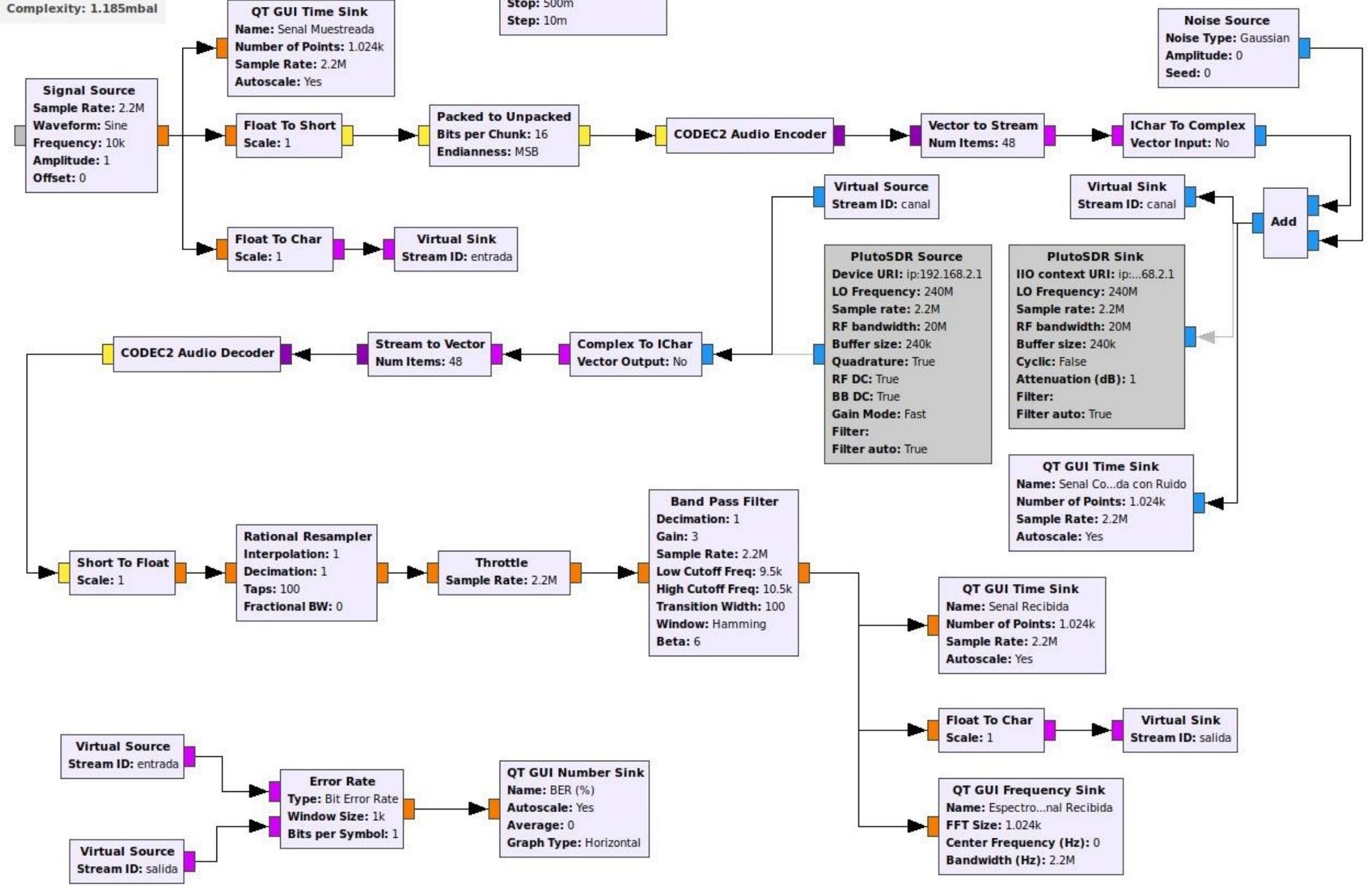


Actividades

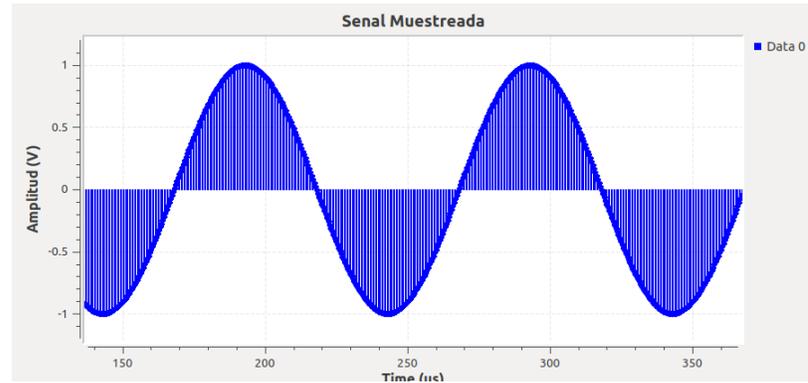
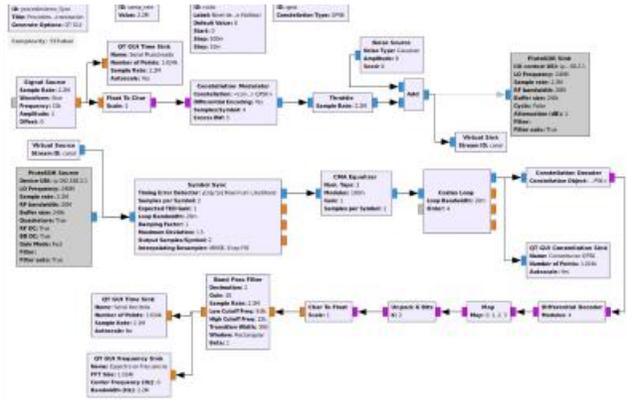
- Variar frecuencia
- Distinta señal de entrada
- Analizar resultados



Complexity: 1.185mbal

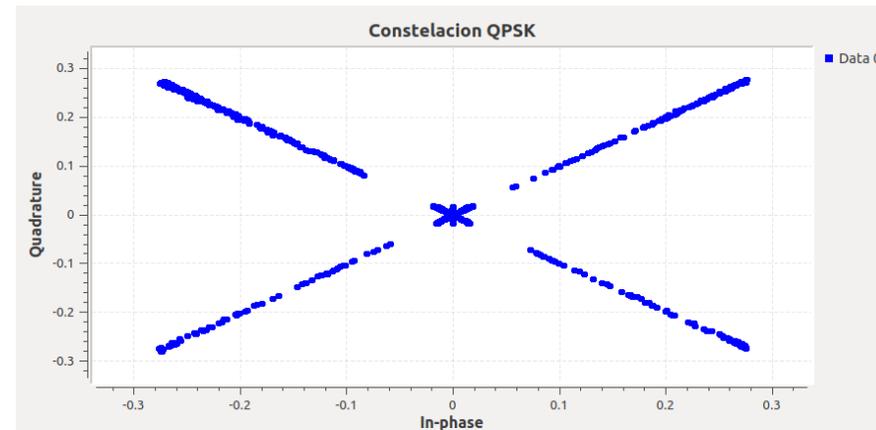
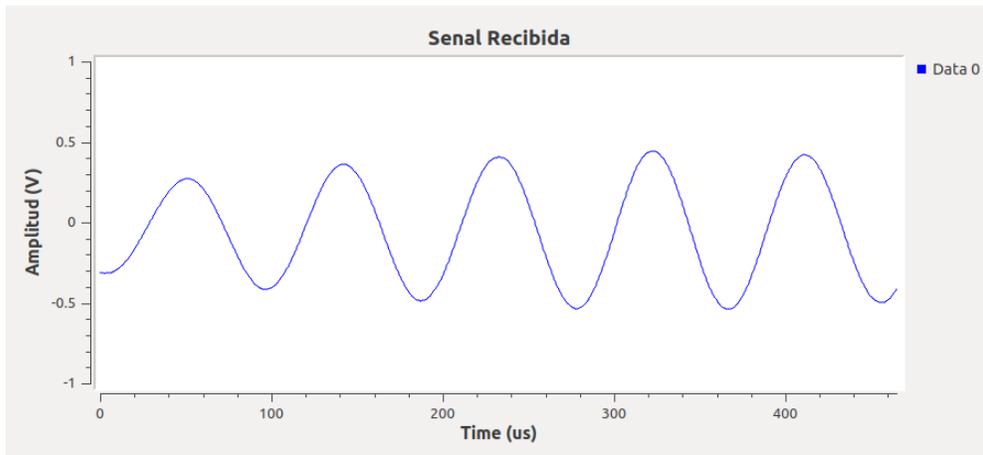


11 Algoritmos de sincronización por verosimilitud



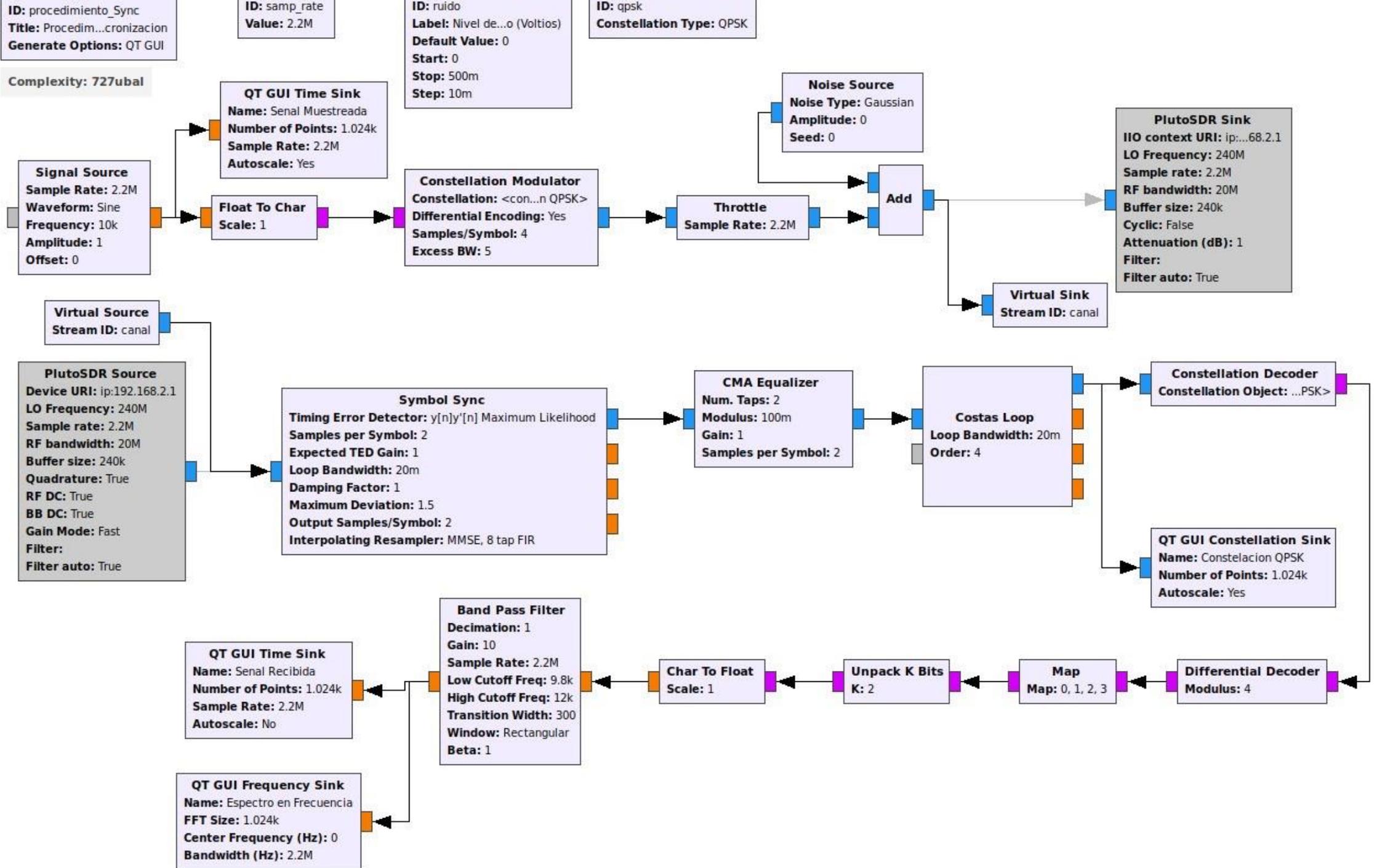
Actividades

- Variar algoritmo de sincronización
- Distinta señal de entrada
- Analizar resultados

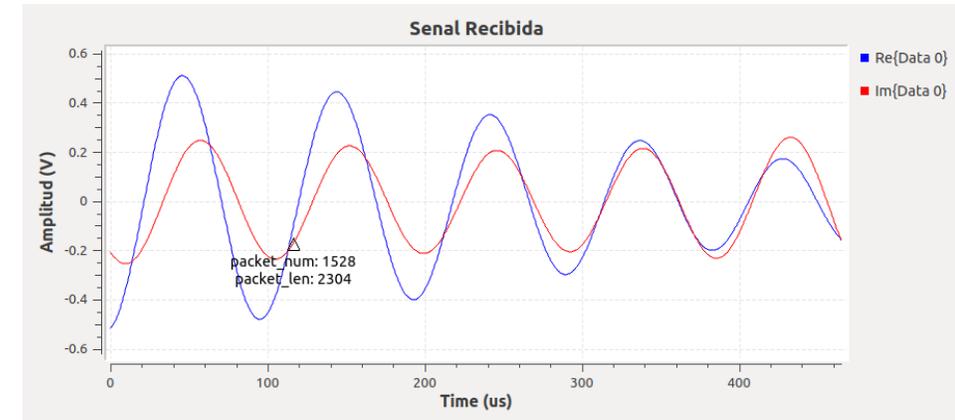
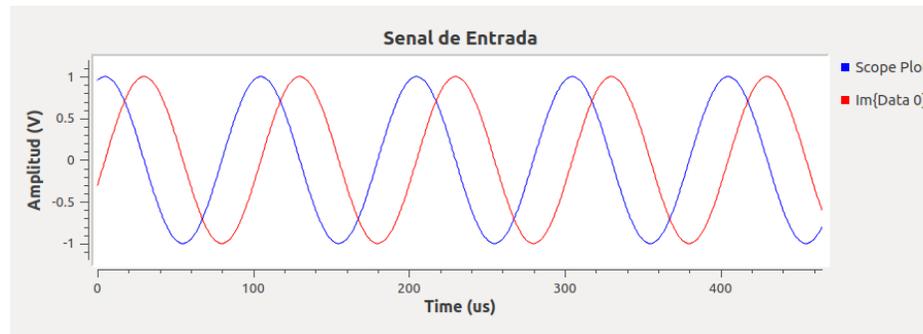
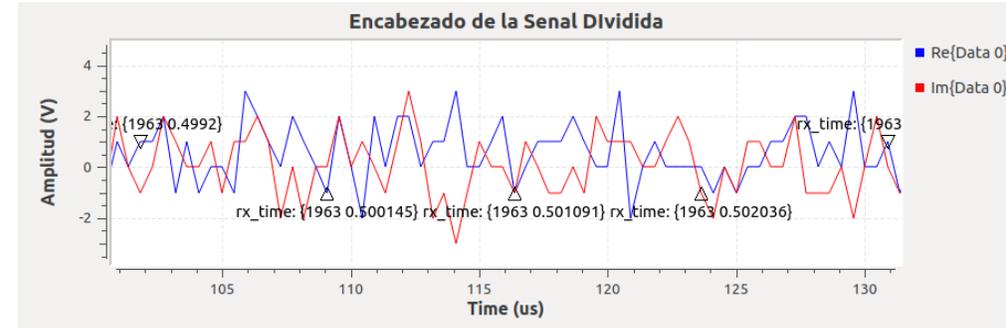
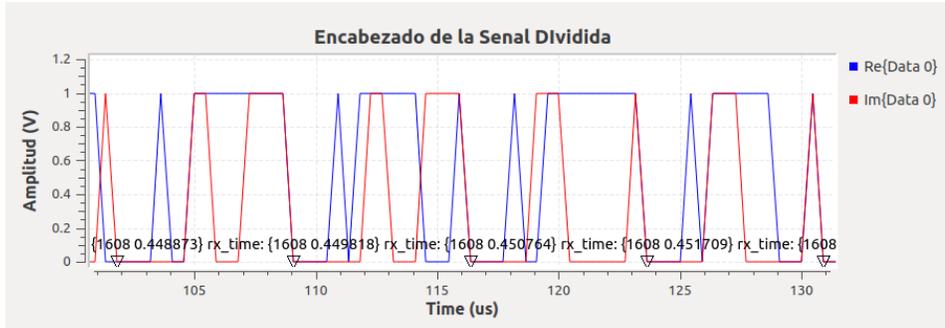
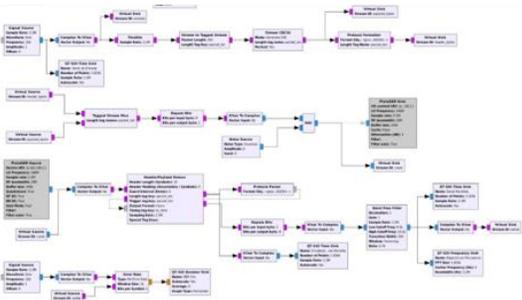


ID: procedimiento_Sync
Title: Procedim...cronizacion
Generate Options: QT GUI

Complexity: 727ubal



12 Evaluación de desempeño de CDMA

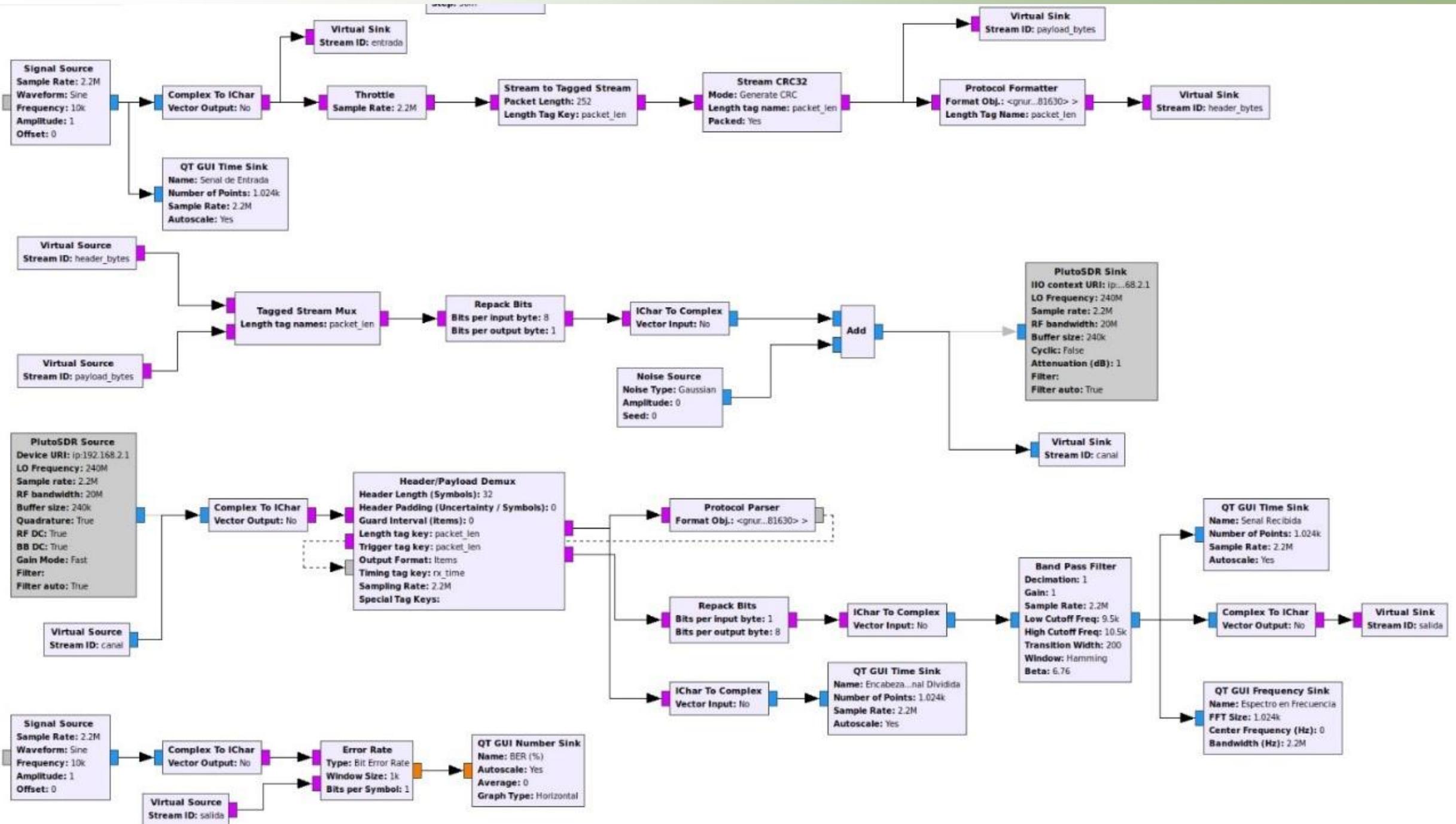


Actividades

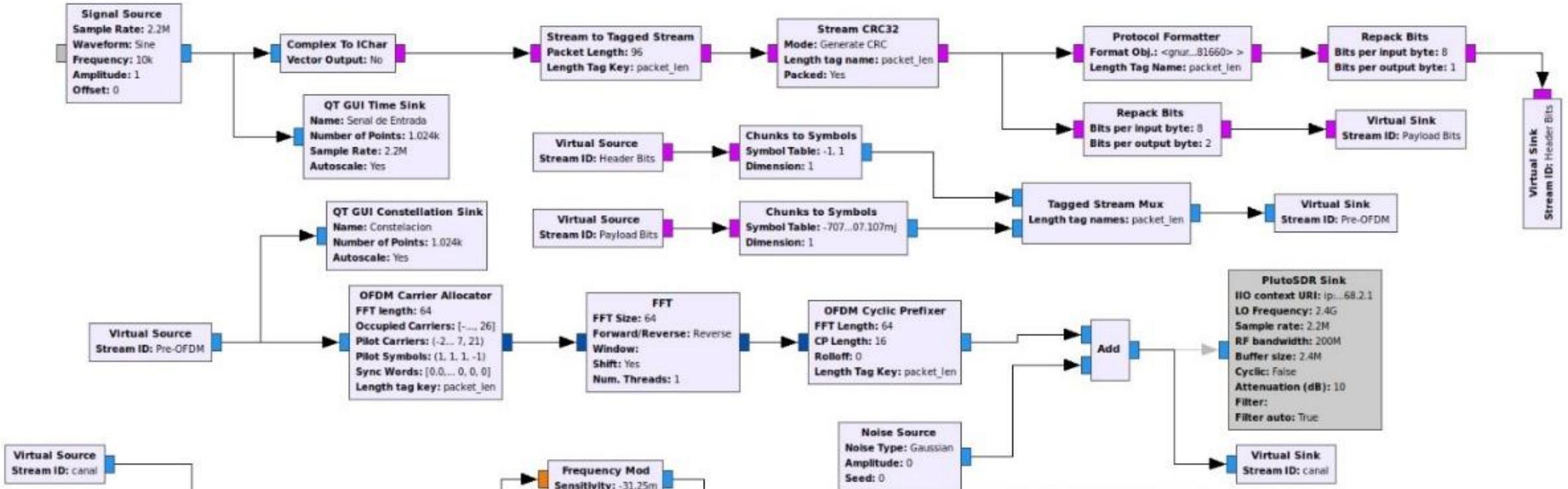
- Distinta señal de entrada
- Variar nivel de ruido
- Analizar resultados

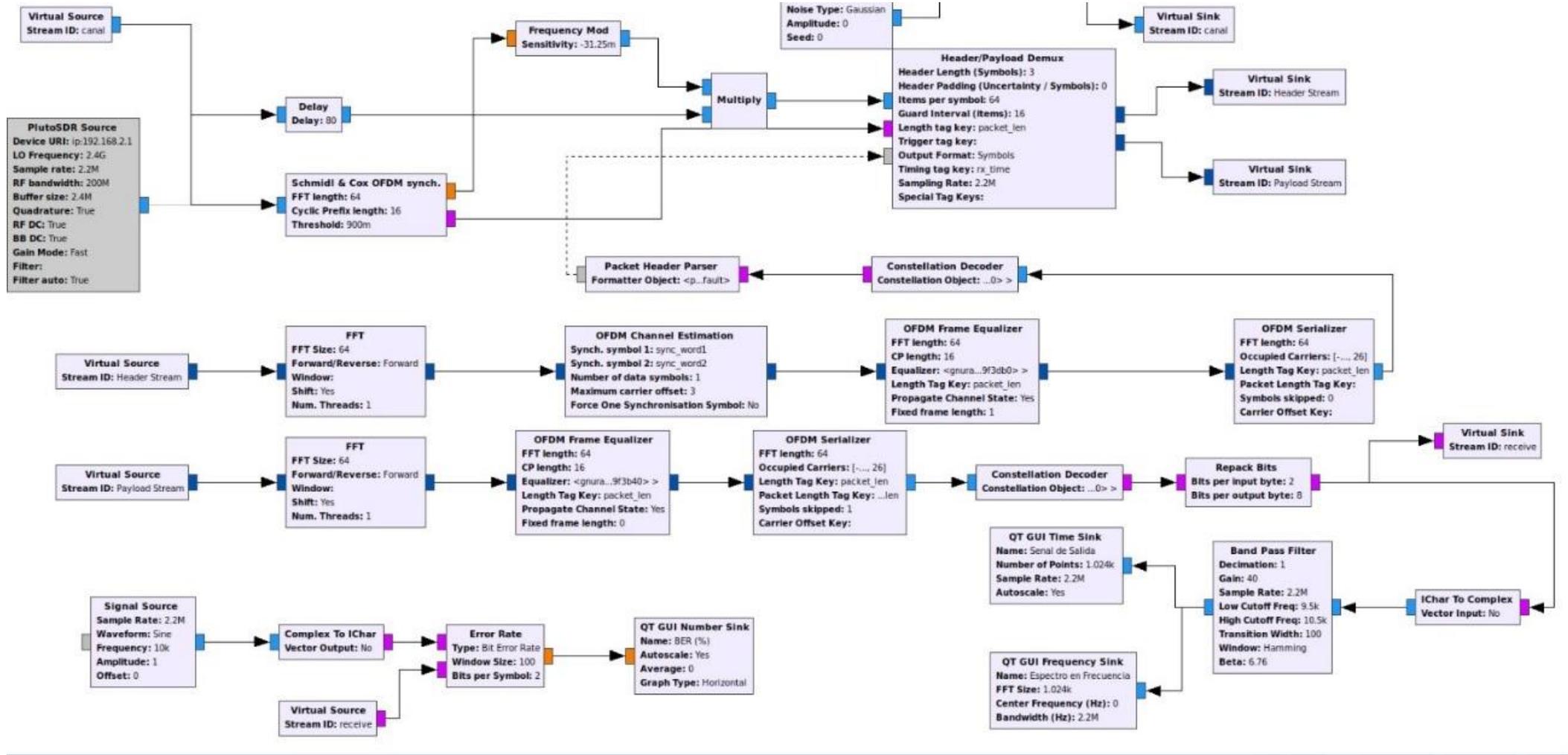
BER	
Porcentaje	Probabilidad
0,44%	0,044





13 Evaluación de desempeño de OFDMA

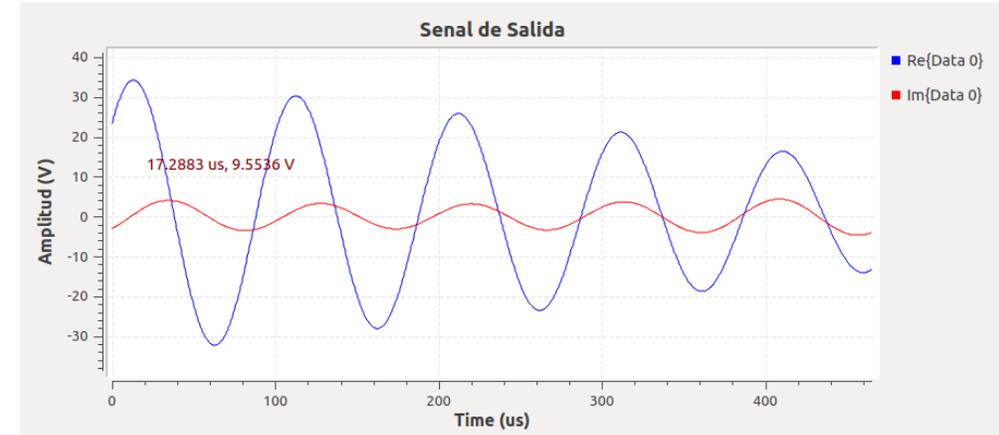
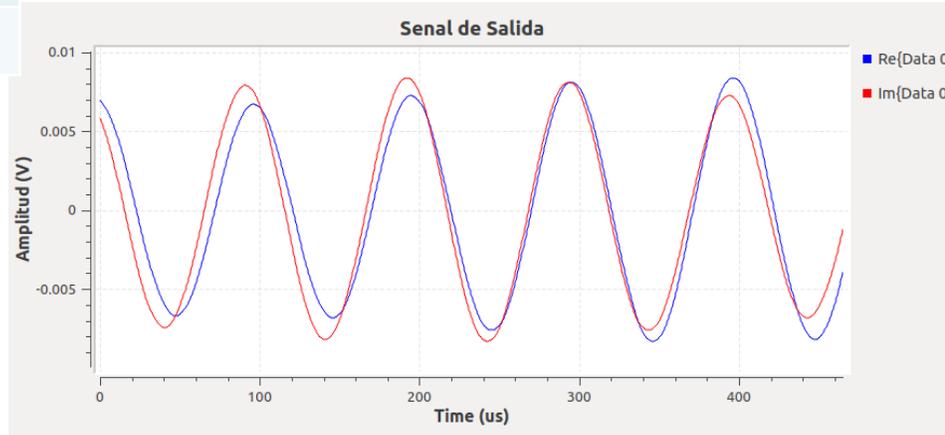
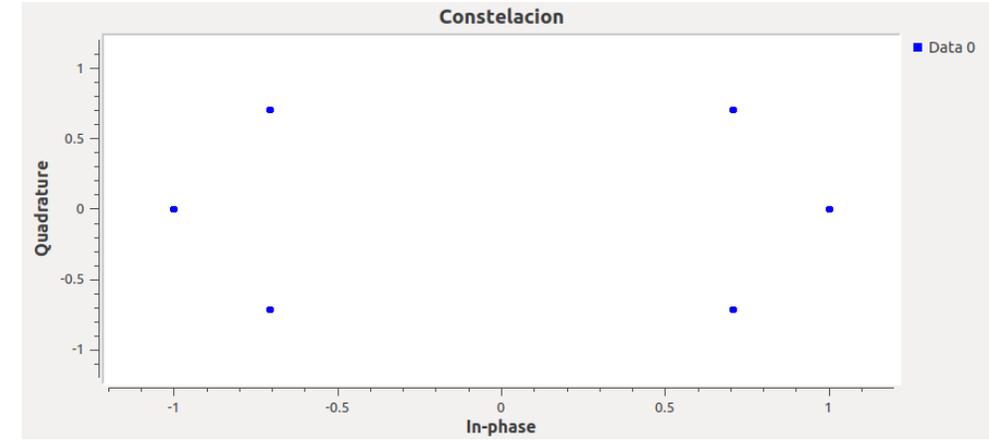
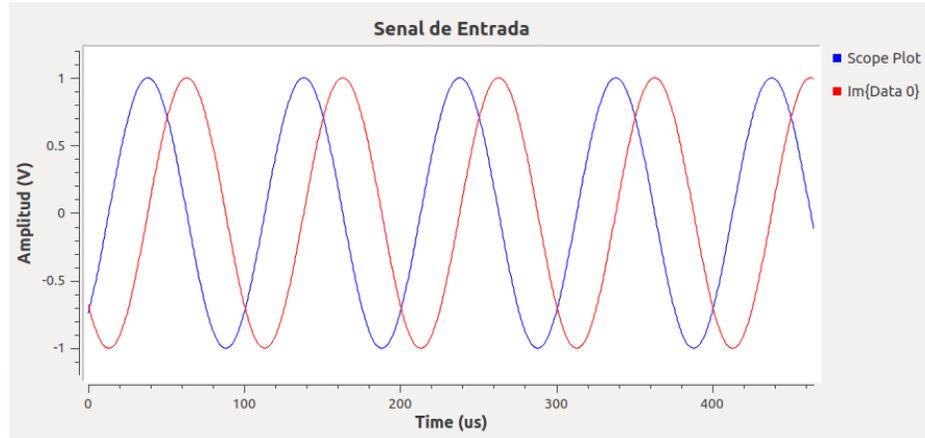




13 Evaluación de desempeño de OFDMA

BER

Porcentaje	Probabilidad
0,57%	0,0057



- ✓ Desarrollo de un conjunto de trece prácticas de laboratorio de Comunicación Digital de la carrera de Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- ✓ Versatilidad de la SDR para adaptarse a nuevos estándares de comunicación gracias al diseño de su arquitectura.
- ✓ Uso del módulo SDR ADALM Pluto y el software gratuito GNU Radio sobre el sistema operativo Ubuntu versión 18.04.
- ✓ Las guías se componen de: Tema, Objetivos, Equipos y Materiales, Procedimiento y Actividades del Estudiante
- ✓ El sistema de entrenamiento desarrollado es una herramienta eficaz para la enseñanza de modulaciones digitales, codificación de canal, modulación codificada, algoritmos de sincronización y sistemas de acceso múltiple



- Aprovechar las herramientas disponibles al máximo en beneficio de sus estudiantes y nuevos profesionales de la sociedad.
- Contar con módulos SDR asequibles para sus estudiantes, equipos computacionales potentes, software libre y una planificación curricular adecuada.
- Estudiar y analizar el fundamento teórico para poder plasmarlo de forma práctica.
- Revisar la documentación disponible e interactuar con wiki GNU para potenciar las habilidades del programador/estudiante.



- Desarrollo de un sistema de comunicación con códigos de canal BCH.
- Evaluación de desempeño de receptores con diversidad espacio – temporal.
- Optimización de sistemas de comunicación digital mediante la implementación de algoritmos de sincronización.
- Diseño de un sistema de entrenamiento para la asignatura de Comunicaciones Inalámbricas de la carrera de Telecomunicaciones de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.



Gracias por su gentil
atención



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA