

Laboratorio 4: BER en señalización de banda base

Felipe Ulloa 1, felipe.ulloa1@mail.udp.cl
 Alex Parada 2, alex.parada@mail.udp.cl
 Fernando Vergara 3, fernando.vergara1@mail.udp.cl
 Escuela de Informática y Telecomunicaciones
 Universidad Diego Portales

I. INTRODUCCIÓN

La experiencia consistió en realizar un transmisor que nos permita analizar el Bit Error Rate de diferentes modulaciones, y como este concepto llega a influir en dichas modulaciones, además del como esta relacionada esta métrica con la probabilidad de error.

Es importante definir el concepto de BER, el cual se entiende como una tasa de error que permite medir el promedio de errores que se abarquen en una transmisión estos errores pueden afectar directamente la integridad del sistema con el cual se trabaje, por ende nos permite caracterizar el rendimiento de diversos canales de datos, en contra parte a otras formas de medir rendimiento, esta tasa de medida nos permite hacer una evaluación completa. [1]

La ecuación que se emplea para poder calcular la tasa de error se rige bajo la siguiente formula.

$$BER = \frac{N_{deerrores}}{TotaldeBits} \quad (1)$$

Por otra parte la probabilidad de error, es una estimación teórica de un sistema a que abarque una cantidad de errores, este concepto esta determinado a partir del promedio de la energía de cada bit con la densidad de la potencia que abarca el ruido y la cantidad de condiciones que abarcan las codificaciones . [3]

En donde, la formula que se rige la densidad de potencia de ruido es la siguiente.

$$N_0 = \frac{N}{B} \left(\frac{W}{Hz} \right) \quad (2)$$

Donde los parámetros significan lo siguiente.

- N_0 : Densidad de potencia de ruido
- N : Potencia de ruido.
- B : Ancho de banda.

II. METODOLOGÍA

A. Actividad previa

La experiencia comienza realizando lo correspondiente a la actividad previa, que preliminarmente consiste en definir las siguientes funciones y componentes, que nos permitirán posteriormente realizar la actividad presencial y comprenderla de mejor medida para analizar los resultados.

Correspondiente a los componentes, las definiciones que se implementaran son en base a lo que entendemos de tal en base a la documentación proporcionada por GNURADIO.

- Byte pack: Empaqueta N bits, a partir de tomar el bit menos significativo de N bytes (El ultimo de izquierda a derecha). Los N bits van en la parte mas significativa (Los primeros índices del byte), y se rellena con un padding de 8 - N ceros.
- Byte unpack: Desempaqueta N bits, a partir de los N bits menos significativos de un Byte. Obs: Dado que no existen bits en GNU radio, se representan como un byte con solo un 0 o un 1, en el bits menos significativo del byte y el resto 0's.
- Random source: El bloque "Random Source" permite crear una cantidad de muestras de valores pseudo aleatorios, en un rango especificado, si el usuario desea, estas muestras se pueden repetir.
- Chunks to symbol: El bloque tiene como argumento una tabla de símbolos. El bloque relaciona un Chunk de entrada, con un símbolo de la tabla.
- Noise to source: El bloque "Noise to source" permite crear una señal de ruido utilizando la distribución de probabilidad denominada gaussiana, este bloque utiliza la siguiente ecuación.
- Constellation Decoder: Permite decodificar los puntos de una constelación de espacio complejo a bits.
- BER: El bloque "BER" permite medir la tasa de error entre dos datos empaquetados, contando los bits erróneos mediante el flujo de estos datos.
- QT GUI Number Sink: El bloque "QT GUI Number Sinks" muestra a través de un gráfico el flujo de datos en números proveniente de bloques anteriores, esta gráfica se hace a partir en función al tiempo, siempre y cuando no se haya calculado el promedio de dicho flujo. Cabe destacar que este bloque no permite números enteros, ya que solo toma valores del tipo "float" y "short"

En los bloques mencionados, se usa el termino "constelación", este termino se refiere a una representación gráfica de los símbolos digitales recibidos en un periodo de tiempo. [2]

Por otra parte las definiciones presentadas a continuación, son en base a lo que entendemos de tal en base a la documentación proporcionada por GNURADIO.

- Arity: Retorna el atributo protegido d_{arity} , de la clase

constelación digital. En las matemáticas, la aridad de un operador es el número que indica cuantos argumentos se requieren para realizar la operación.

- **Points:** Retorna el conjunto de puntos de la constelación que se está generando.
- **Base:** Retorna una llamada de función `shared_from_this()`, que es un estándar de C++, que genera un puntero de control del objeto en cuestión, compartido, cosa de cuando un puntero dese eliminar la instancia controlado vía el puntero, elimine todos los bloques de control que utilizaban este puntero compartido.
- **Bits per symbol:** La función bits per symbol retorna el mayor entero que sea igual a x , mediante la operación de dividir el tamaño de la constelación que se está trabajando con la dimensión de esta. Otra forma de calcular la operación bits per symbol es multiplicar la potencia de modulación 2 por la corrección de errores.

B. Actividad presencial

Con los bloques descritos en la actividad anterior, se procede a construir el transmisor que nos permitirá relacionar la cantidad de errores de las siguientes modulaciones, esto a través de la relación $\frac{EB}{NO}$, cuyos parámetros especificados son los siguientes.

- **EB:** Representa la cantidad de energía por bit.
- **NO:** Es el ruido de densidad espectral.

Esta relación nos permite realizar una comparación en términos de velocidad de transmisión, de dos modulaciones o técnicas de codificación. [4]

El transmisor creado a partir del software GNURADIO, queda de la siguiente manera.

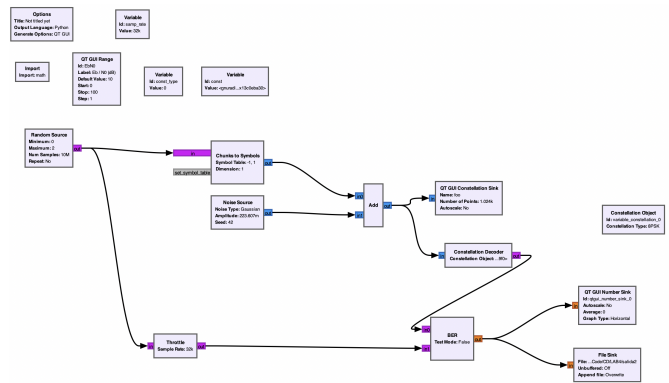


Fig. 1: Transmisor creado con los bloques definidos

Ya definida la relación y el transmisor, es necesario esclarecer que significan las modulaciones o esquemas de codificación, con las cuales se trabajaran.

- **BPSK:** Modulación por desplazamiento de fase binaria, permite desplazar 2 símbolos en 1 bit.
- **QPSK:** Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura, esta modulación usa el término de la multi-

plexación de polarización entre dos señales, ocasionando una mayor eficiencia espectral.

- **8-PSK:** Modulación variante de PSK, que permite codificar en ocho fase distintas en donde cada grupo de bits que va usando esta modulación, este conformado de 3 bits.

Finalmente se procede a realizar los gráficos correspondientes a cada modulación, esto con valores de 0-10 que permiten ver como se conforma el BER para cada una de las modulaciones al modificar la relación $\frac{EB}{NO}$.

III. RESULTADOS

En las siguientes tablas se muestran el resultado de probar el transmisor con valores de 0 a 10 db.

EB/NO	8PSK	EB/NO	QPSK	EB/NO	BPSK
0	-1,633546	0	-5,091949	0	-2,54712
1	-1,765867	1	-6,046192	1	-2,811111
2	-1,925083	2	-7,192320	2	-3,129851
3	-2,117018	3	0	3	-3,527039
4	-2,35017	4	0	4	-4,016113
5	-2,63724	5	0	5	-4,633132
6	-2,989254	6	0	6	-5,376742
7	-3,427143	7	0	7	-6,347222
8	-3,966597	8	0	8	-7,414168
9	-4,624823	9	0	9	0
10	-5,451957	10	0	10	0

A. BPSK

En la modulación BPSK, se observa en las imágenes de la sección "V-A" esta representado en un diagrama de constelación asociado a 2 puntos o niveles, estos en una fase correspondiente a 180 grados(entre cada valor) esto debido a que solo usa 2 niveles o puntos como tal, además se infiere a partir de las imágenes asociadas al resultado de BPSK que, a medida que el valor de E_b/N_o tiende a ser mayor, estos niveles se van compactando a diferencia de los valores más lejanos de estos.

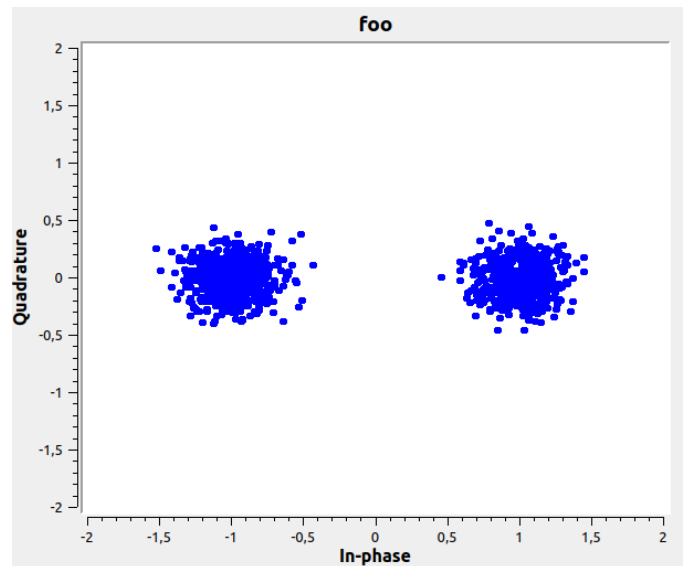


Fig. 2: Gráfico BPSK con valor 10

B. QPSK

Se muestran en las imágenes ilustradas en la sección “V-B” que la modulación de desplazamiento en cuadratura, esta representada por el diagrama de constelación, sin embargo se cumple que esta asociado a 4 puntos o niveles equidistantes, en donde sus fases corresponden o se asimilan a las de la modulación de PSK, las cuales equivalen a 0, 90, 180 y 270 grados respectivamente. A pesar de esto se observa que, al mismo caso que en los resultados de BPSK, los símbolos se van compactando a medida que el E_b/N_0 aumenta.

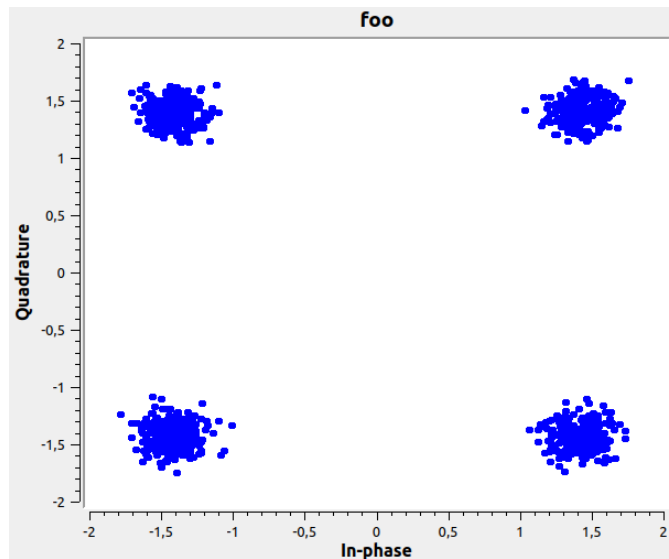


Fig. 3: Gráfico QPSK con valor 10

C. 8-PSK

Se muestran en las imágenes ilustradas en la sección “V-C” donde muestran que la modulación 8-PSK, esta representada por 8 fases, a diferencia de las modulaciones anteriores, en 8-PSK codifica a través de grupos de 3 bits, sin embargo se observa el mismo caso para modulaciones anteriores que, a mayor valor de E_b/N_0 , los niveles se van compactando.

D. Gráfico

Al graficar las modulaciones con respecto a los datos obtenidos de las tablas adjuntas anteriormente, se obtiene los siguientes resultados.

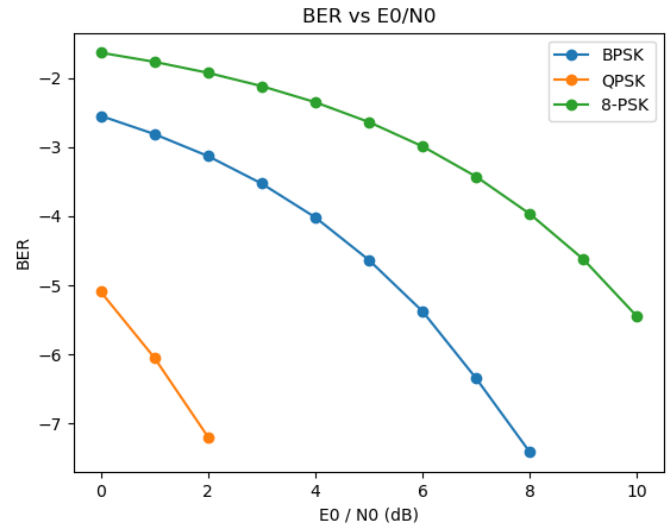


Fig. 4: Gráfico Ber vs Eb/N0 , experimental

Por otra parte se adjunta, el gráfico pero de referencia teórica, en donde se muestra que para las modulaciones con referencia al BER generado, se obtuvo resultados similares.

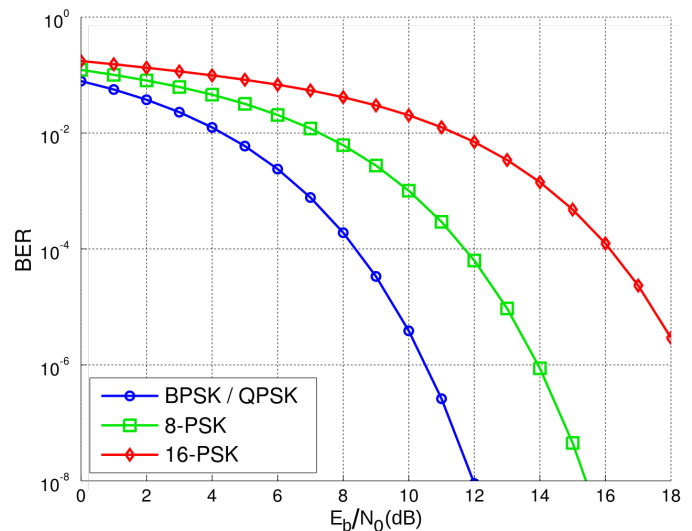


Fig. 5: Gráfico Ber vs Eb/N0 , teórico

IV. CONCLUSIONES

El Bit Error Rate es la métrica de deterioro referente a una comunicación digital, bajo los resultados obtenidos se concluye que a partir del aumento de la relación E_b/N_0 , la probabilidad de error tiende a bajar, sin embargo para cada modulación el BER será diferente por términos de eficiencia de cada modulación, además se observa que el BER cambia a medida que se aumenta la cantidad de niveles que se usan en la modulación, obteniendo mayor cantidad de BER, esto hace referencia a los resultados obtenidos en QPSK Y BPSK que al presentar menos niveles con respecto a 8-PSK, poseen una menor tasa de error. Cabe destacar que si se compara BPSK con QPSK, la ultima posee una mayor eficiencia en tema de tasa de bits a modular, siendo QPSK el doble que BPSK.

Por otra parte para cada modulación, a medida que se va aumentado E_b/N_0 influye por otra parte a la compactación de los símbolos de cada modulación, quedando cada fase mas compacta en comparación a valores bajos de la relación E_b/N_0 .

V. ANEXOS

A. BPSK

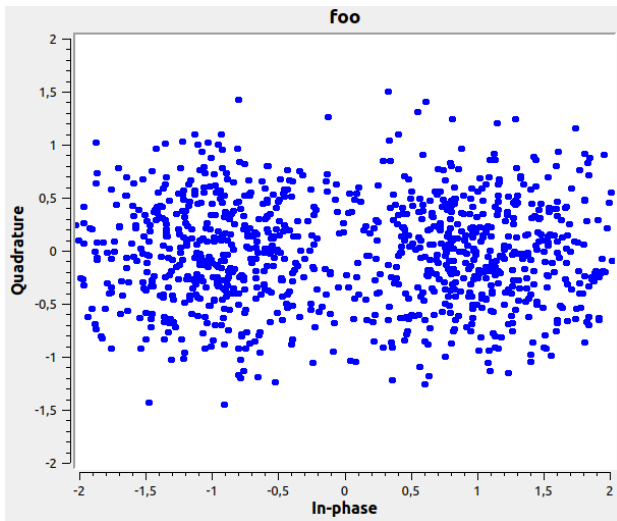


Fig. 6: Gráfico BPSK con valor 0

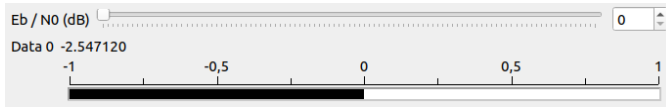


Fig. 7: Resultado del valor 0 en BPSK

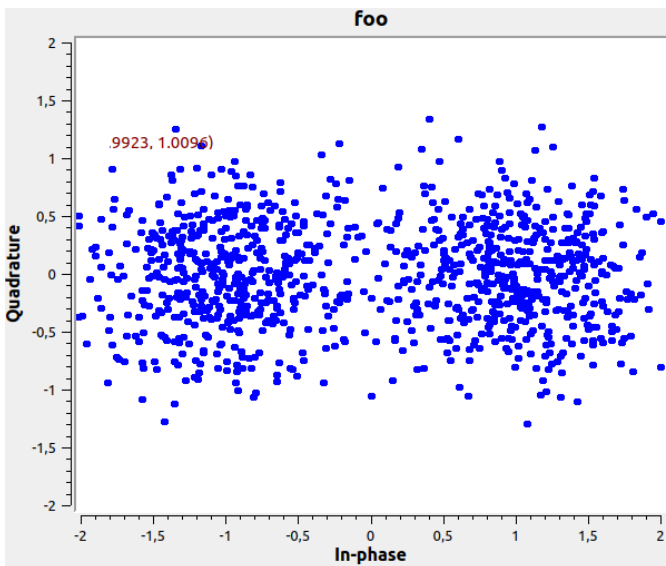


Fig. 8: Gráfico BPSK con valor 0

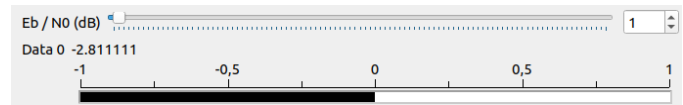


Fig. 9: Resultado del valor 1 en BPSK

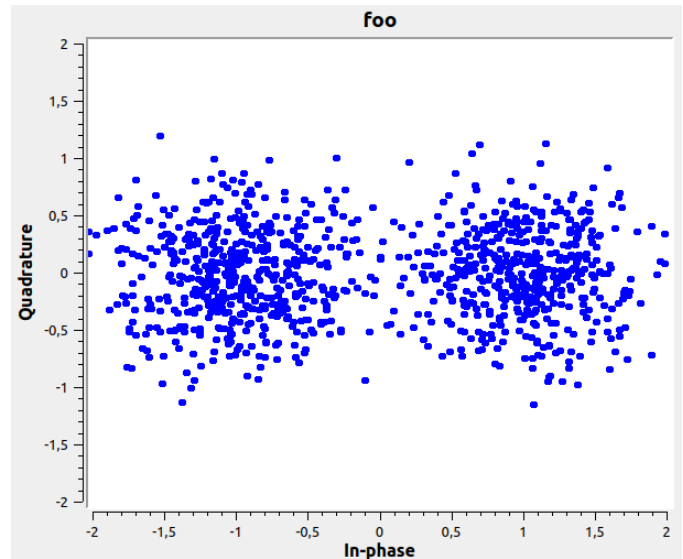


Fig. 10: Gráfico BPSK con valor 0

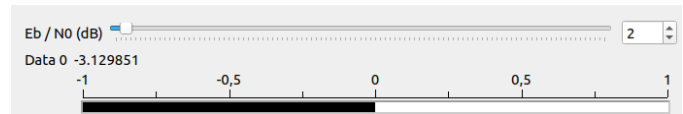


Fig. 11: Resultado del valor 2 en BPSK

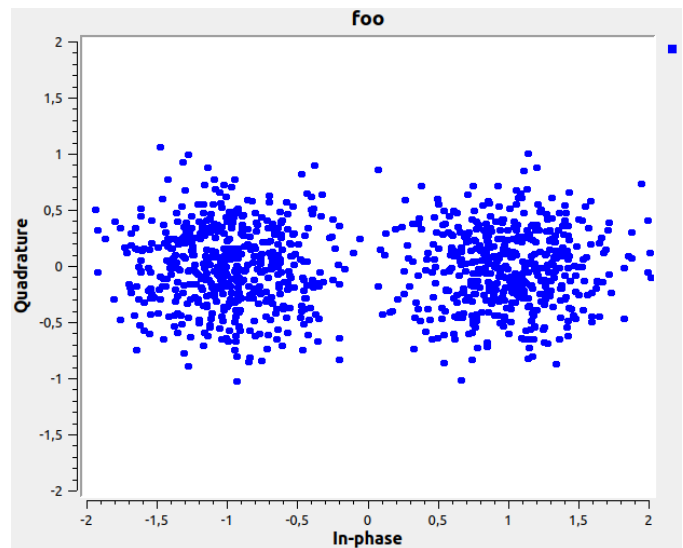


Fig. 12: Gráfico BPSK con valor 0

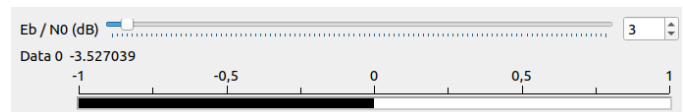


Fig. 13: Resultado del valor 3 en BPSK

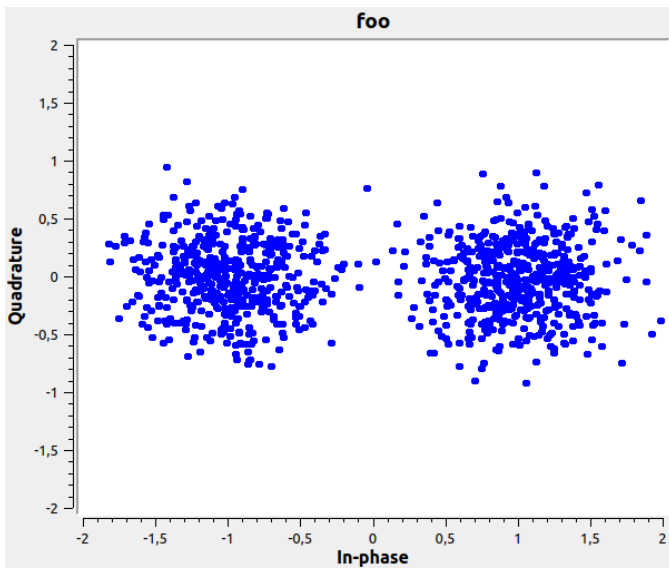


Fig. 14: Gráfico BPSK con valor 0

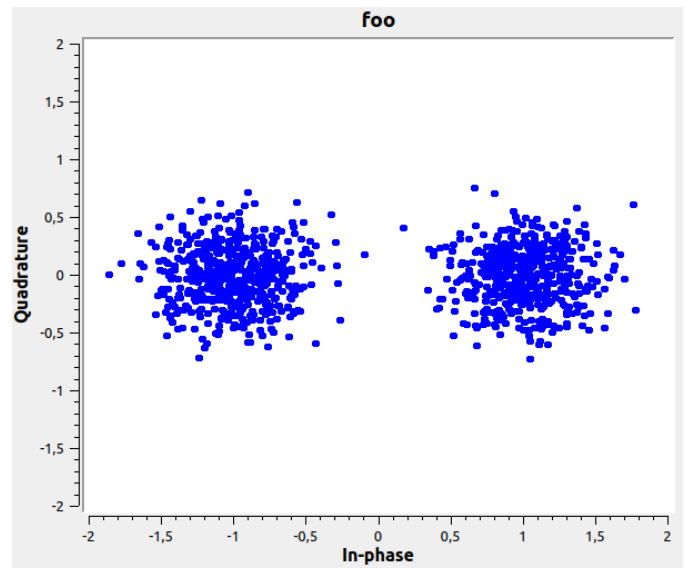


Fig. 18: Gráfico BPSK con valor 0

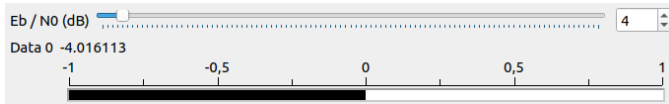


Fig. 15: Resultado del valor 4 en BPSK



Fig. 19: Resultado del valor 6 en BPSK

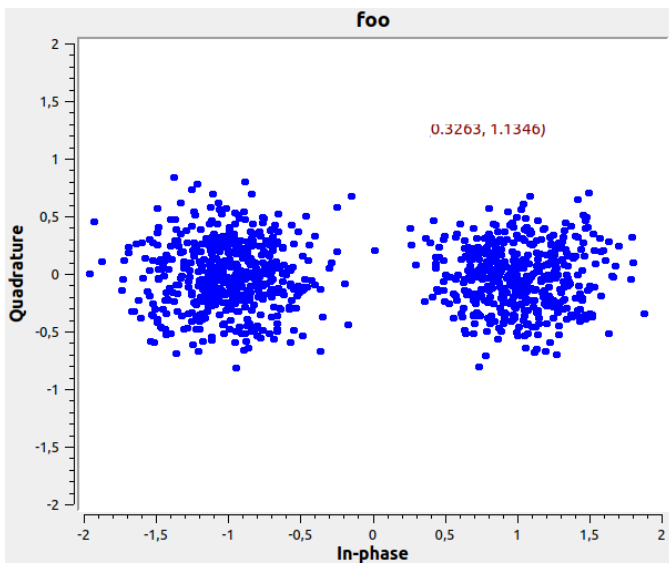


Fig. 16: Gráfico BPSK con valor 0

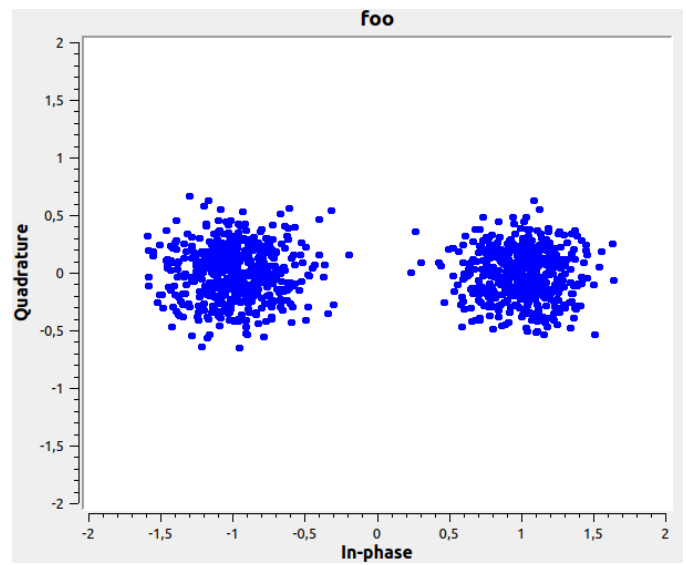


Fig. 20: Gráfico BPSK con valor 0

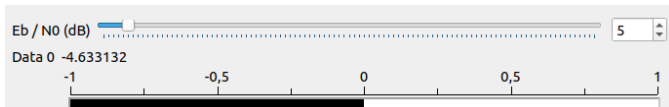


Fig. 17: Resultado del valor 5 en BPSK

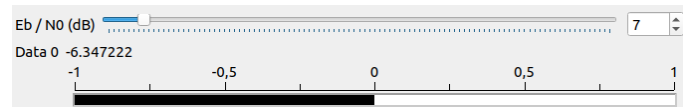


Fig. 21: Resultado del valor 7 en BPSK

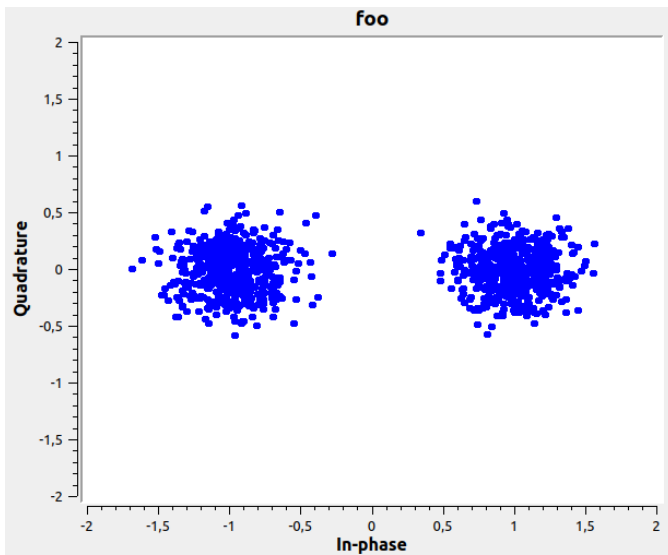


Fig. 22: Gráfico BPSK con valor 0

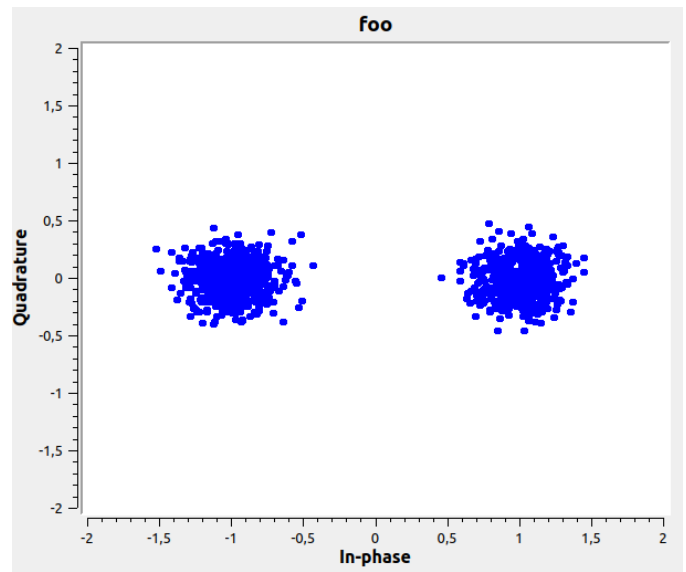


Fig. 26: Gráfico BPSK con valor 10

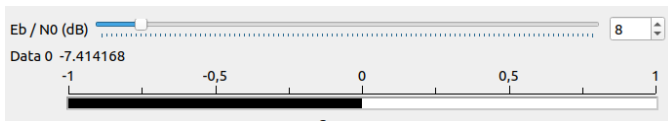


Fig. 23: Resultado del valor 8 en BPSK

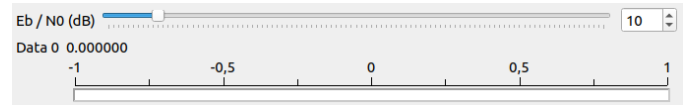


Fig. 27: Resultado del valor 10 en BPSK

B. QPSK

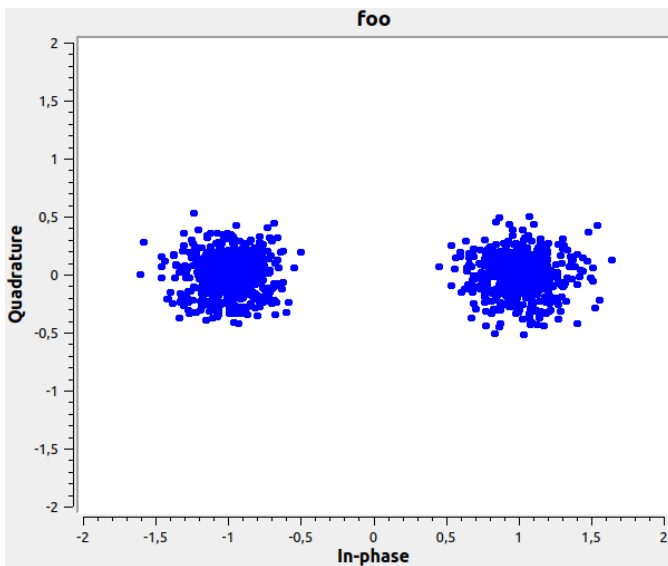


Fig. 24: Gráfico BPSK con valor 0

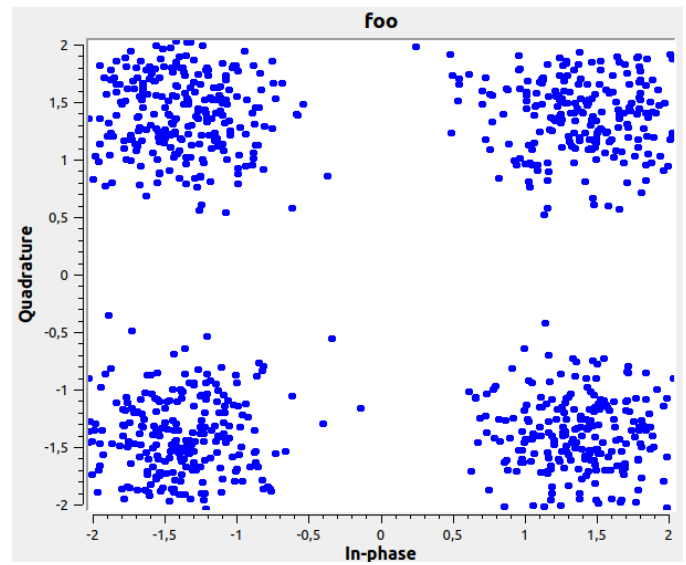


Fig. 28: Gráfico QPSK con valor 0

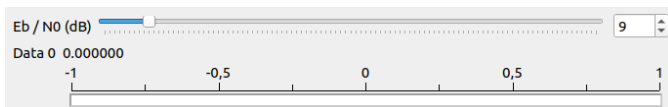


Fig. 25: Resultado del valor 9 en BPSK



Fig. 29: Resultado del valor 0 en QPSK

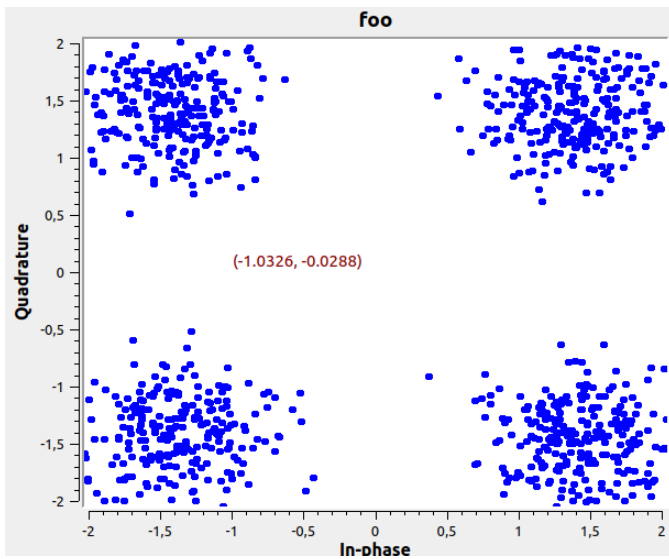


Fig. 30: Gráfico QPSK con valor 1

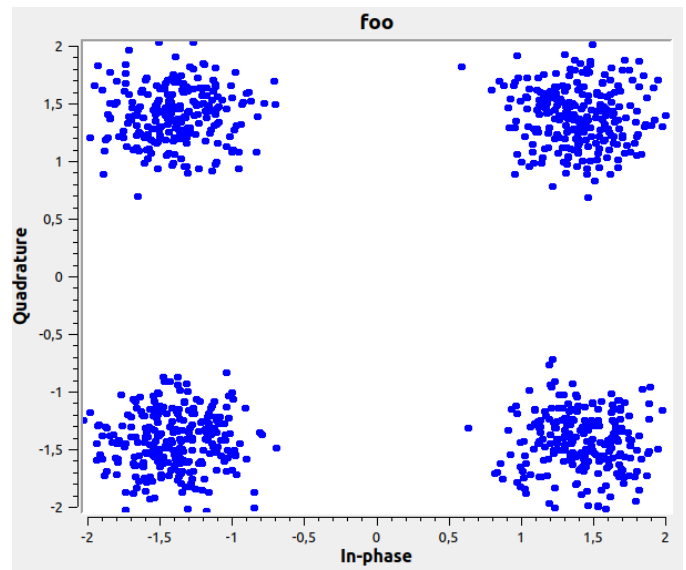


Fig. 34: Gráfico QPSK con valor 3

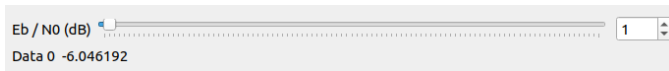


Fig. 31: Resultado del valor 1 en QPSK

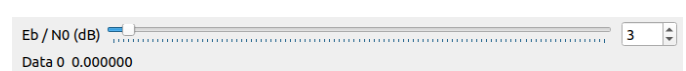


Fig. 35: Resultado del valor 3 en QPSK

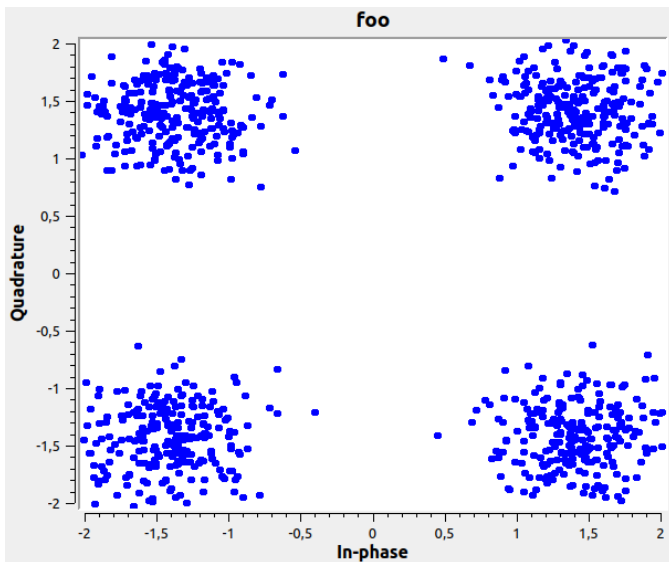


Fig. 32: Gráfico QPSK con valor 2

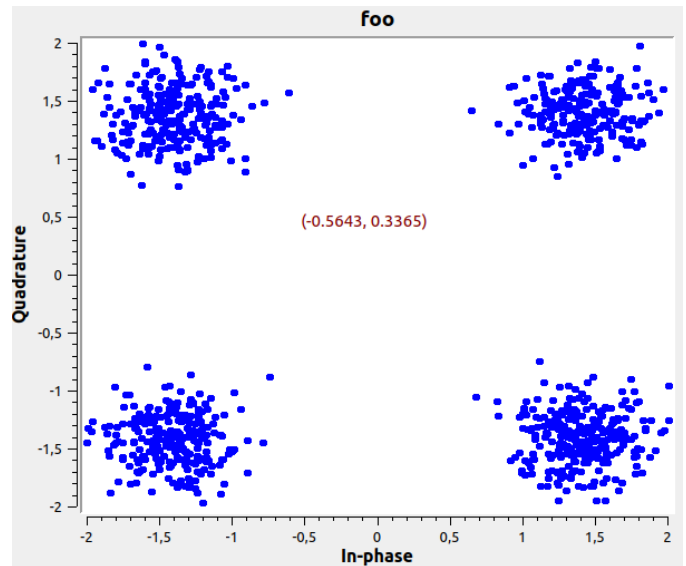


Fig. 36: Gráfico QPSK con valor 4

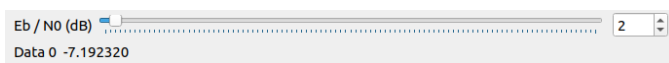


Fig. 33: Resultado del valor 2 en QPSK

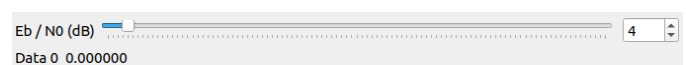


Fig. 37: Resultado del valor 4 en QPSK

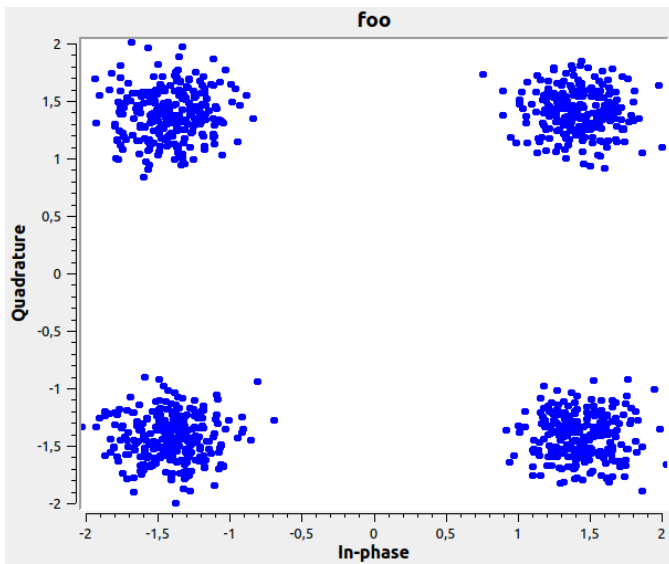


Fig. 38: Gráfico QPSK con valor 5

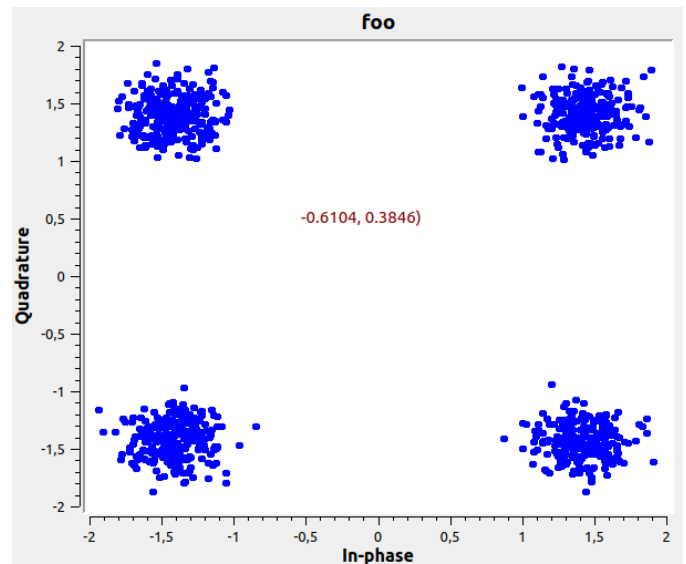


Fig. 42: Gráfico QPSK con valor 7

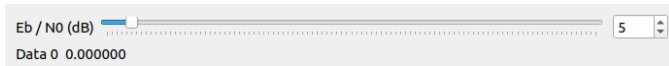


Fig. 39: Resultado del valor 5 en QPSK



Fig. 43: Resultado del valor 7 en QPSK

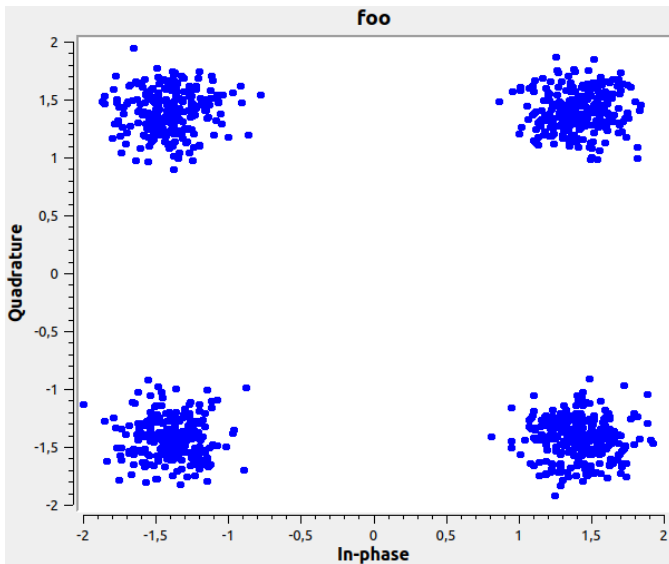


Fig. 40: Gráfico QPSK con valor 6

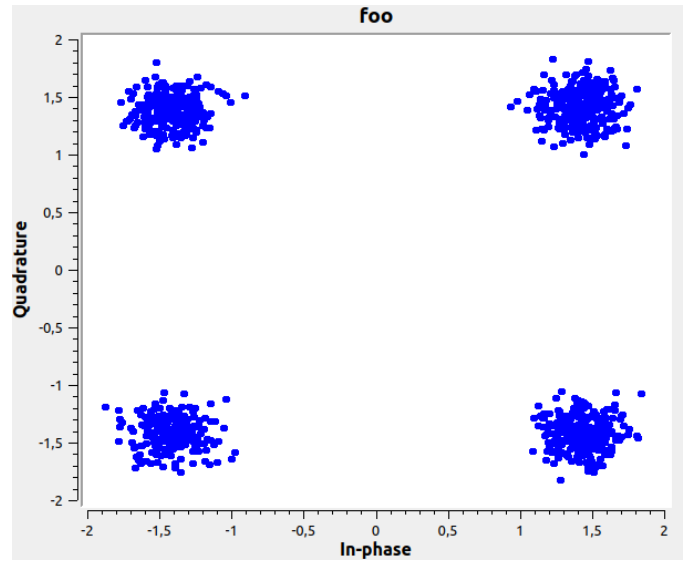


Fig. 44: Gráfico QPSK con valor 8

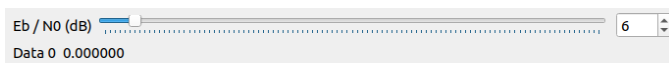


Fig. 41: Resultado del valor 6 en QPSK

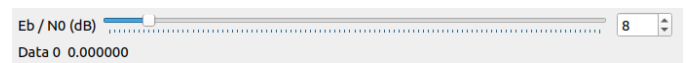


Fig. 45: Resultado del valor 8 en QPSK

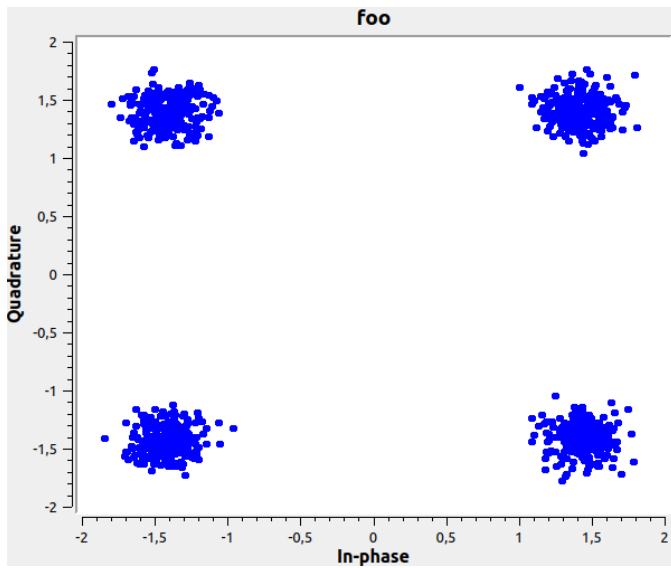


Fig. 46: Gráfico QPSK con valor 9

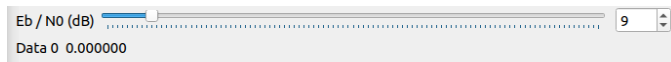


Fig. 47: Resultado del valor 9 en QPSK

C. 8psk

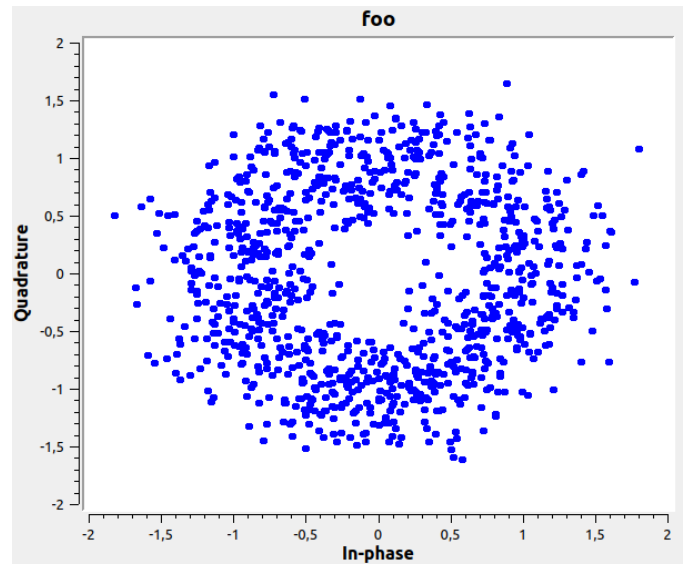


Fig. 50: Gráfico 8PSK con valor 0

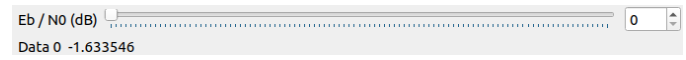


Fig. 51: Resultado del valor 0 en 8PSK

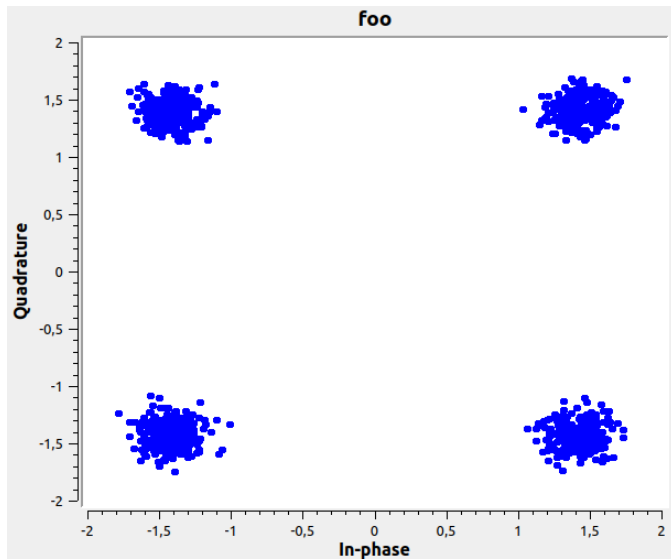


Fig. 48: Gráfico QPSK con valor 10

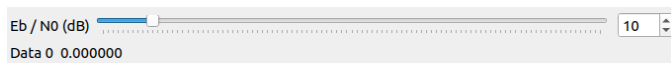


Fig. 49: Resultado del valor 10 en QPSK

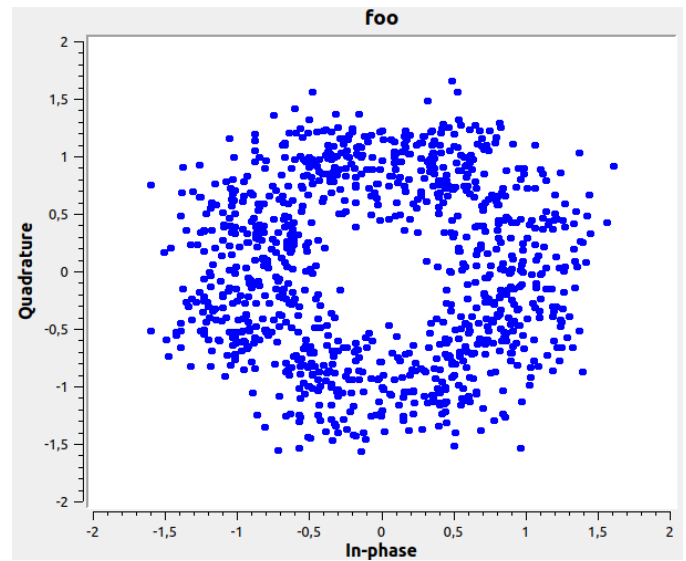


Fig. 52: Gráfico 8PSK con valor 1

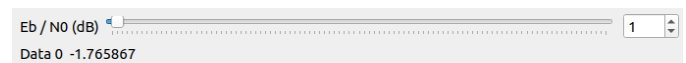


Fig. 53: Resultado del valor 1 en 8PSK

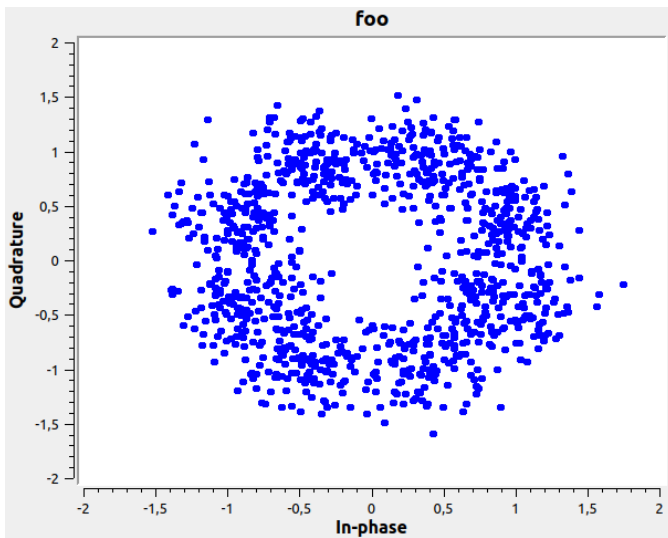


Fig. 54: Gráfico 8PSK con valor 2

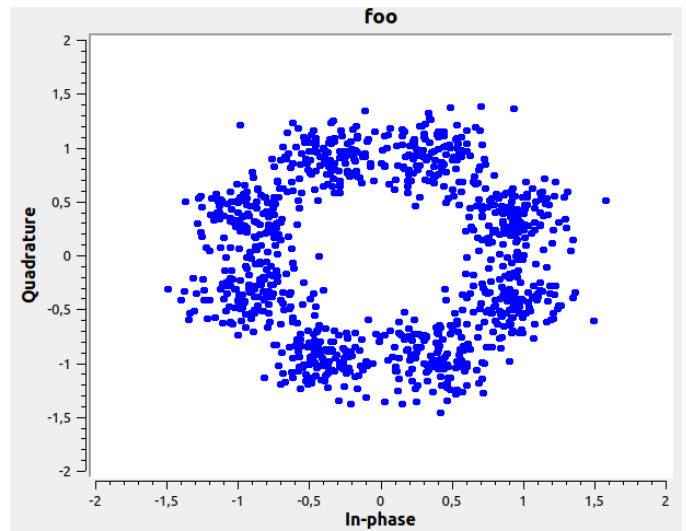


Fig. 58: Gráfico 8PSK con valor 4

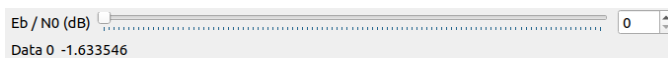


Fig. 55: Resultado del valor 2 en 8PSK

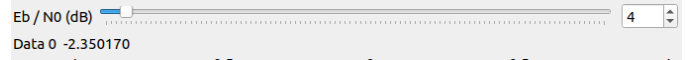


Fig. 59: Resultado del valor 4 en 8PSK

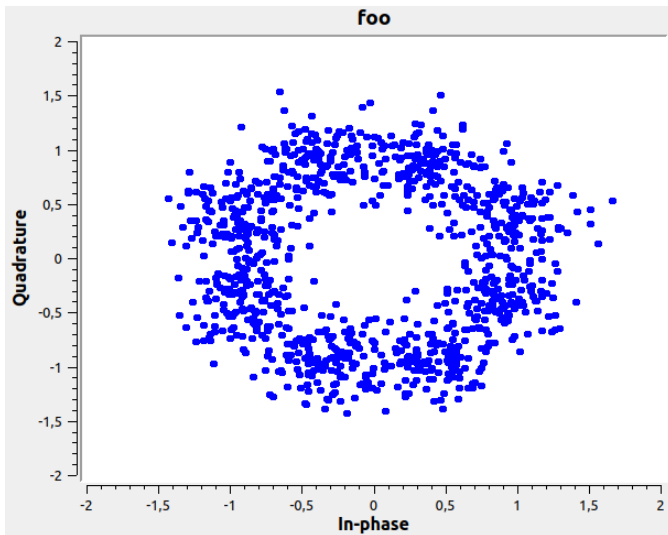


Fig. 56: Gráfico 8PSK con valor 3

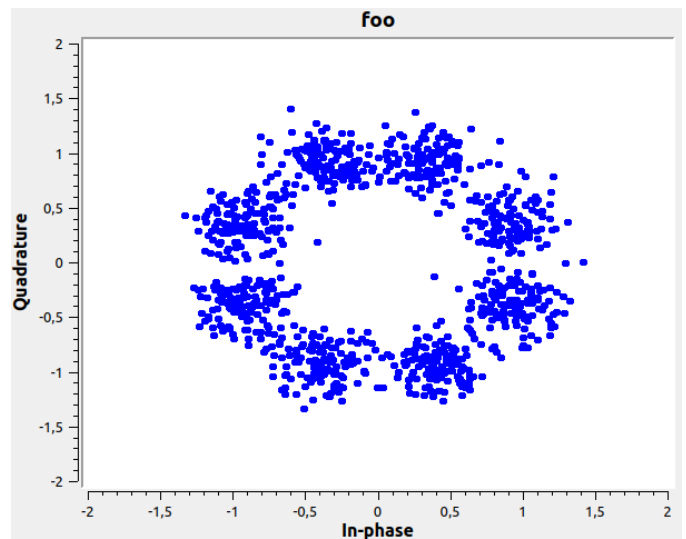


Fig. 60: Gráfico 8PSK con valor 5

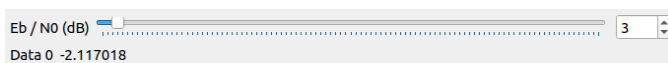


Fig. 57: Resultado del valor 3 en 8PSK

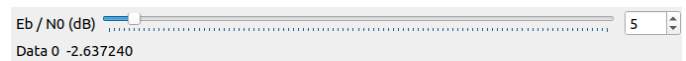


Fig. 61: Resultado del valor 5 en 8PSK

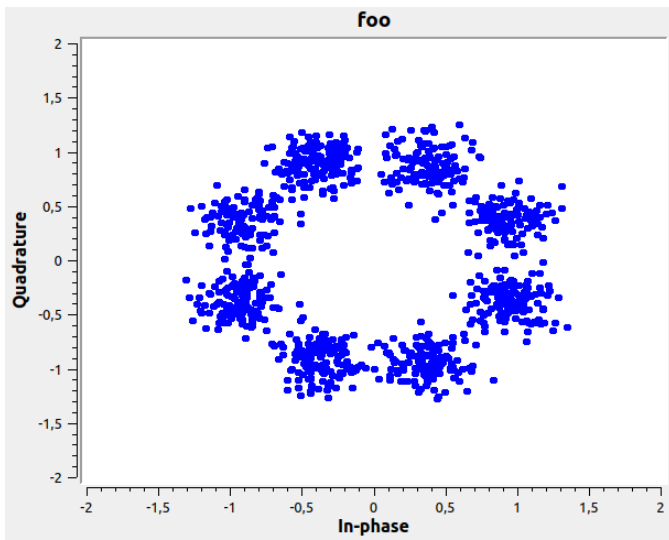


Fig. 62: Gráfico 8PSK con valor 6

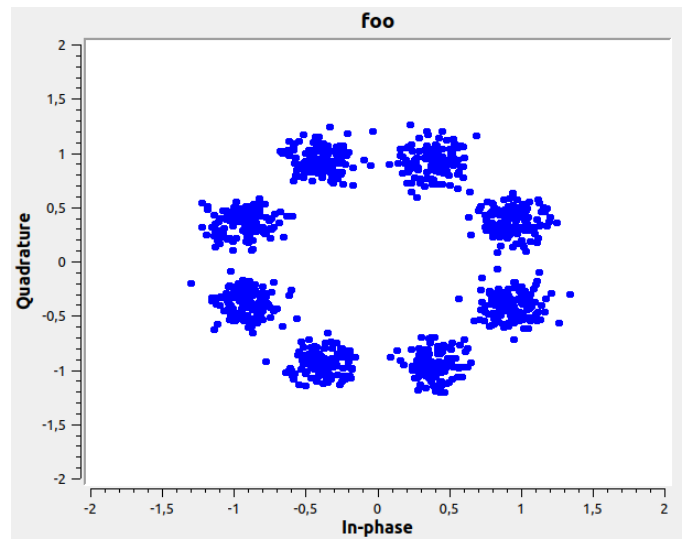


Fig. 66: Gráfico 8PSK con valor 8

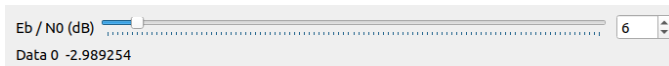


Fig. 63: Resultado del valor 6 en 8PSK



Fig. 67: Resultado del valor 8 en 8PSK

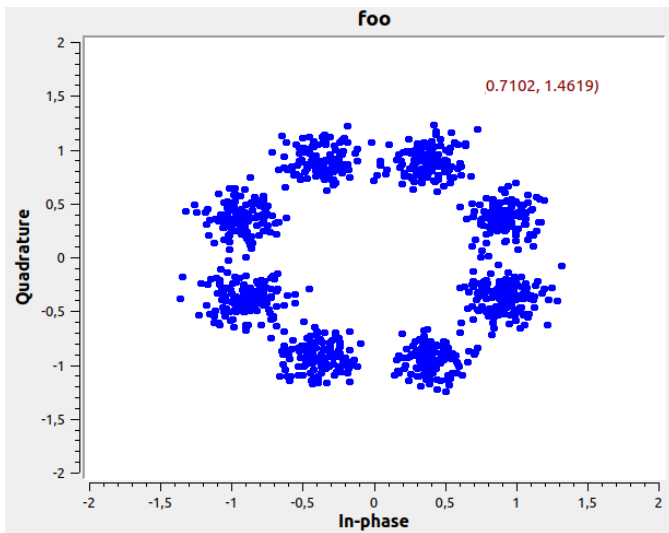


Fig. 64: Gráfico 8PSK con valor 7

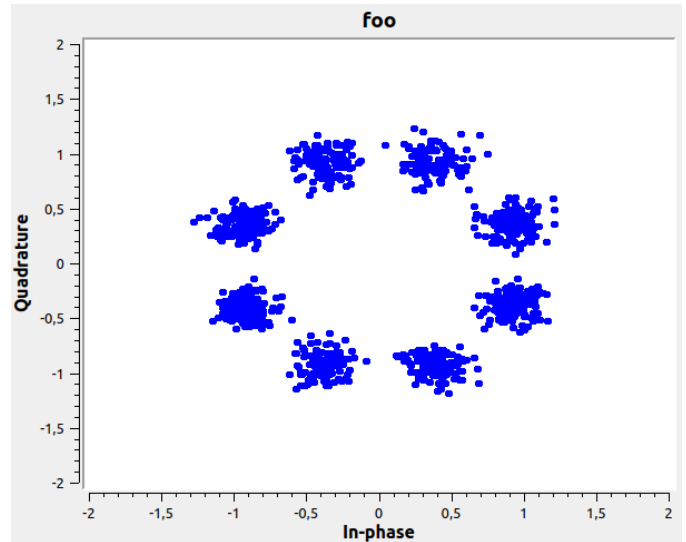


Fig. 68: Gráfico 8PSK con valor 9

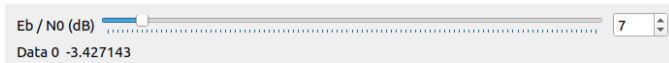


Fig. 65: Resultado del valor 7 en 8PSK

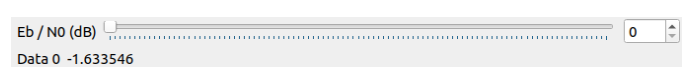


Fig. 69: Resultado del valor 9 en 8PSK

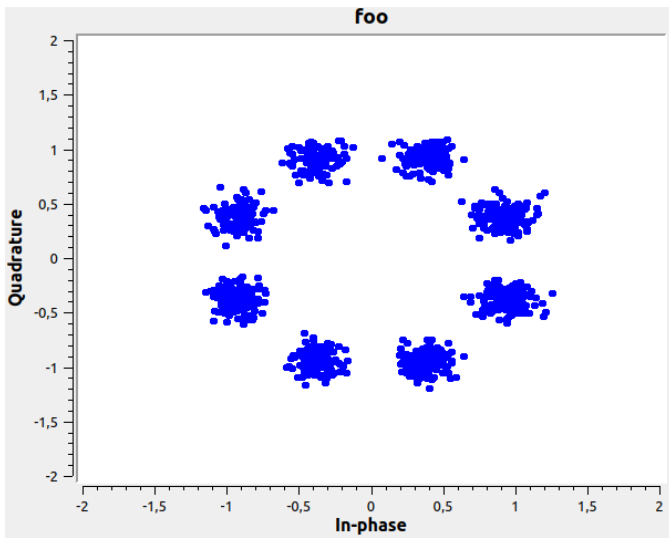


Fig. 70: Gráfico 8PSK con valor 10

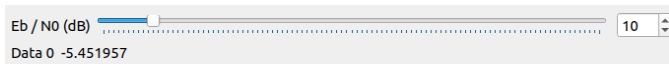


Fig. 71: Resultado del valor 10 en 8PSK

REFERENCES

- [1] Definicion ber. <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/bit-error-rate-ber/what-is-ber-definition-tutorial.php>.
- [2] Diagrama de constelación. <https://www.promax.es/esp/noticias/516/diagrama-de-constelacion/>.
- [3] Probabilidad de error. https://www.geocities.ws/rosa_virgen_sm/Comunicaciones/Com_Dig/Apuntes/Prob_de_error_2.pdf.
- [4] Señal ruido. https://aulavirtual.fio.unam.edu.ar/pluginfile.php/59849/mod_resource/content/0/Ejercicios%20%20Ejemplos%20Eb-N0%20SNR.pdf.
- [5] H. Kopka and P. W. Daly. A Guide to \LaTeX , 3rd ed. Harlow. England: Addison-Wesley, 1999.