

# Laboratorio 5: QAM y Tasa de error de bit

**Docente:** Cristian Guarnizo-Lemus.

**Asignatura:** Sistemas de Comunicaciones, Grupo 2, 2019-2. Instituto Tecnológico Metropolitano.

**Descripción:** En esta práctica el estudiante diseñará un sistema de modulación 8-QAM y caracterizará su desempeño ante el ruido utilizando la tasa de error de bits (BER – *Bit error rate*). Finalmente se encuentra la curva de BER vs  $E_b/N_0$  que caracteriza al sistema de comunicación digital.

**Fecha de Entrega Max.:** Nov. 22 hora 6pm.

## Diseño de modulador QAM

El objetivo de esta sección es diseñar un modulador QAM y evaluar su sensibilidad al ruido a partir de la relación  $E_b/N_0$ . Para esto, se requiere definir de manera vectorial las componentes reales y complejas de cada punto de la constelación 8QAM mostrada en la figura 1.1.

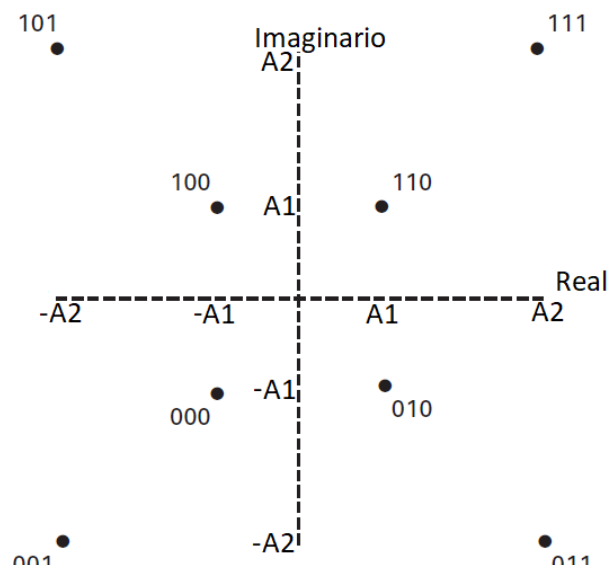


Figura 1. Diagrama de constelación para 8QAM.

Se asume que se tienen 2 amplitudes diferentes (A1 y A2) desplegadas en 4 fases diferentes ( $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $-45^\circ$  y  $-135^\circ$ ), las cuales se describen a partir de la siguiente tabla:

Tabla 1. Representación de la constelación 8QAM en binario

Entero	Código Binario	Real	Imag
0	000	-A1	-A1
1	001	-A2	-A2
2	010	A1	-A1
3	011	A2	-A2
4	100	-A1	A1
5	101	-A2	A2
6	110	A1	A1
7	111	A2	A2

Se asumen las amplitudes dadas en clase,  $A_2 = 1.307$  y  $A_1 = 0.541$ . El flujograma de la práctica se encuentra descrito en la figura 2.

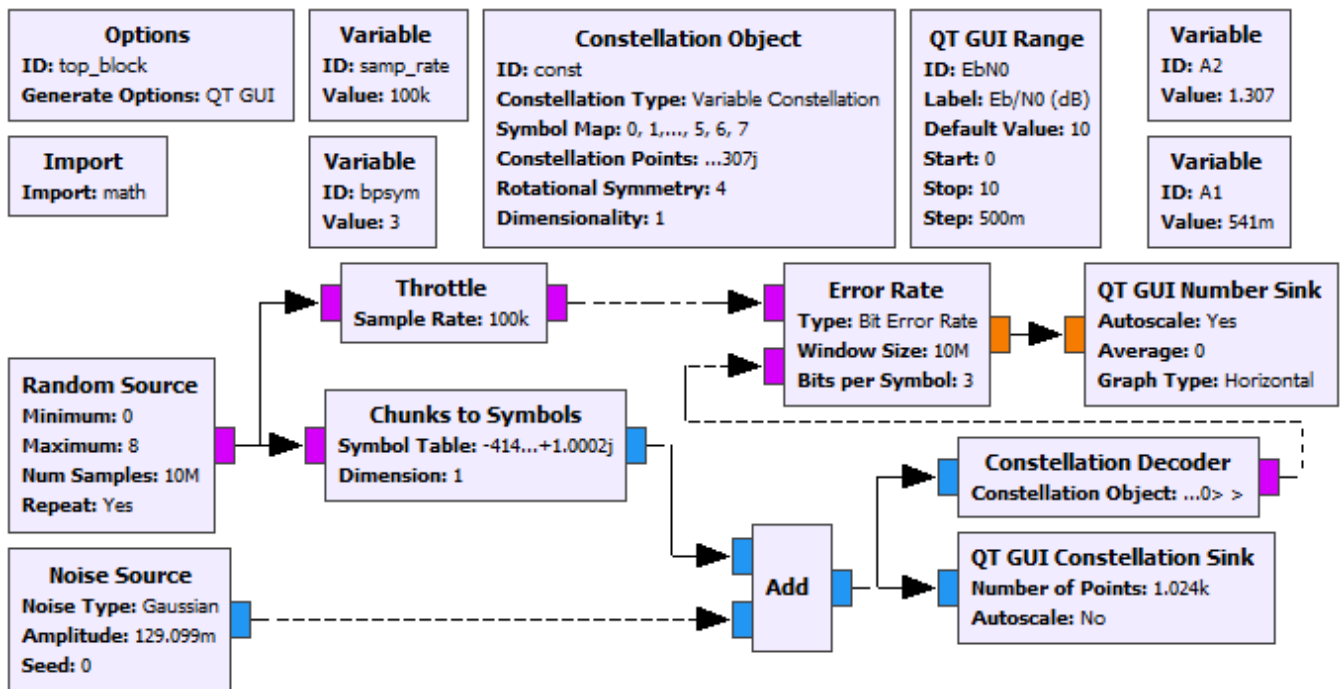


Figura 2. Flujograma para 8QAM y cálculo de BER.

**Pasos de Configuración:**

Diagramar el flujograma presentado en la figura 2 con los valores presentados en la figura. Tener en cuenta lo siguiente para la configuración específica de los bloques.

**Configuración del Objeto Constelación**

Para el objeto constelación, se definen un vector de símbolos (valores enteros) y un vector de constelaciones (valores complejos), como se muestra en la figura 3.

General	
ID	const
Constellation Type	Variable Constellation
Symbol Map	[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]
Constellation Points	[A1*(-1-1j), A2*(-1-1j), A1*(1-1j), A2*(1-1j), A1*(-1+1j), A2*(-1+1j), A1*(1+1j), A2*(1+1j)]
Rotational Symmetry	4
Dimensionality	1
Soft Decisions Precision	8
Soft Decisions LUT	None

Figura 3. Configuración bloque Constelación.

El vector completo de Constelaciones es:

$[A1*(-1-1j), A2*(-1-1j), A1*(1-1j), A2*(1-1j), A1*(-1+1j), A2*(-1+1j), A1*(1+1j), A2*(1+1j)]$

### Configuración general del flujograma

Configurar un bloque “Variable” para que la variable *samp\_rate* tenga una frecuencia de muestreo de 100k [Hz].

Configurar un bloque “Variable” para que la variable *bpsym* (bits por símbolo) tenga un valor de `const.bits_per_symbol()`.

Configurar un bloque “Import” para que podamos usar comandos matemáticos de Python, entonces en configura el campo import: `import math`.

### Configuración de Fuentes

El bloque “Random Source” se configura como se muestra en la figura 4.

General	Advanced	Documentation
ID	analog_random_source_x_0	
Output Type	Byte ▼	
Minimum	0	
Maximum	const.arity()	
Num Samples	int(10e6)	
Repeat	Yes ▼	

Figura 4. Configuración bloque “Random Source”.

El bloque “Noise Source” se configura como se muestra en la figura 5.

General	Advanced	Documentation
ID	analog_noise_source_x_0	
Output Type	Complex ▼	
Noise Type	Gaussian ▼	
Amplitude	$1.0/\text{math.sqrt}(2.0*\text{bpsym}*10^{**}(\text{EbN0}/10))$	
Seed	0	

Figura 5. Configuración bloque “Noise Source”.

### Configuración de Bloques Codificadores y Decodificadores

Para el bloque “Chunks to Symbols” se asocia al campo Symbol Table, el vector de constelación almacenado en la variable `const.points()`. Esta configuración se muestra en la figura 6.

General		Advanced	Documentation
ID	digital_chunks_to_symbols_xx_0		
Input Type	Byte ▼		
Output Type	Complex ▼		
Symbol Table	const.points()		
Dimension	1		
Num Ports	1		

Figura 6. Configuración bloque “Chunks to Symbols”.

Para el bloque “Constellation Decoder” se asocia al campo Constellation Object, la variable base del objeto const. Esta configuración se muestra en la figura 7.

General		Advanced	Documentation
ID	digital_constellation_decoder_cb_0		
Constellation Object	const.base()		

Figura 7. Configuración bloque “Constellation Decoder”.

### Configuración del bloque Error Rate

Para el bloque “Error Rate” se asocia al campo Bits per Symbol la variable bpsym, y al campo Window Size el valor 10M. Esta configuración se muestra en la figura 8.

General		Advanced	Documentation
ID	blks2_error_rate_0		
Type	Bit Error Rate ▼		
Window Size	int(10e6)		
Bits per Symbol	bpsym		

Figura 8. Configuración bloque “Error Rate”.

### Análisis de la práctica:

Para esta práctica se tomarán los valores de BER para diferentes valores de la relación  $E_b/N_0$  (dB). Se empieza en  $E_b/N_0=10$  hasta  $E_b/N_0=0$ . Para cada valor de  $E_b/N_0$  se debe tomar el valor de BER estable, cuando no se incremente más.

Realizar la gráfica de BER vs  $E_b/N_0$ . Los valores de BER se deben graficar en escala logarítmica.