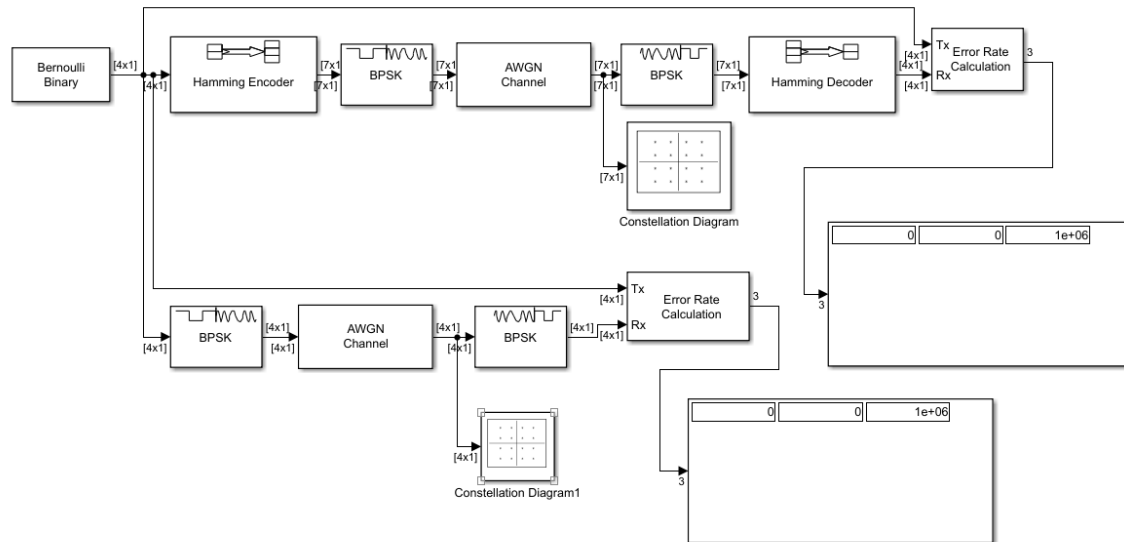


Simulación de sistema de comunicación digital empleando Simulink.

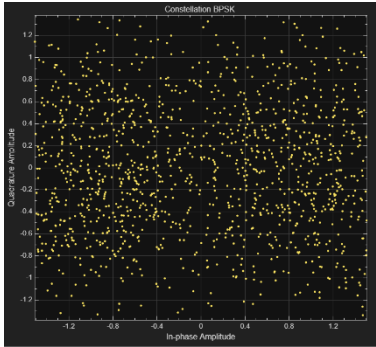
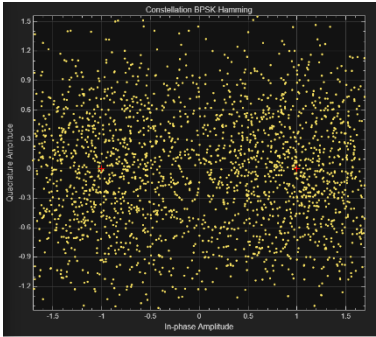
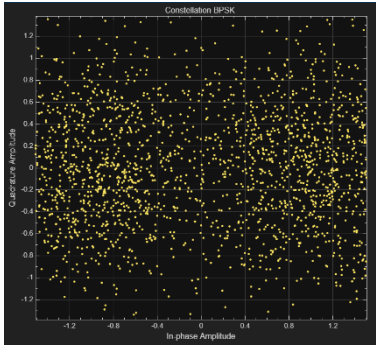
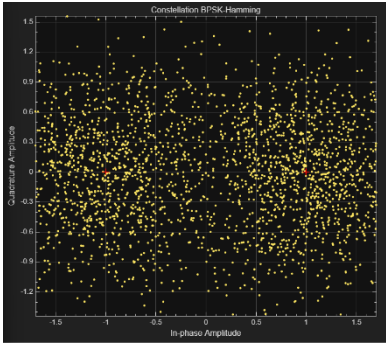
Belky Valentina Giron Lopez
est.belky.giron@unimilitar.edu.co
 Docente: José De Jesús Rúgeles

Actividad 1. Simulación de sistema de comunicación empleando modulación BPSK.

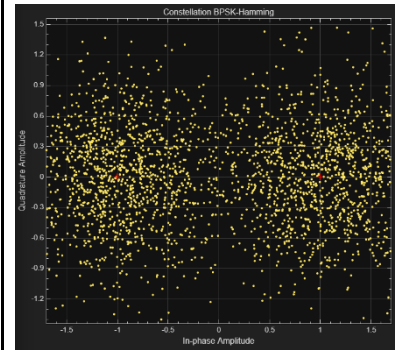
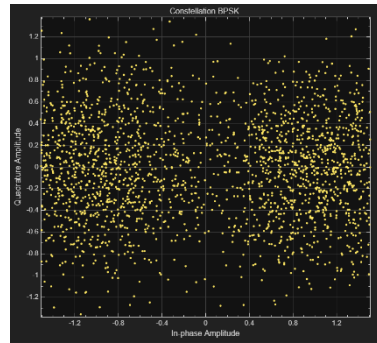


SNR (dB)	BPSK			BPSK - Hamming Encoder		
	BER	Errores	Símbolos	BER	Errores	Símbolos
1	0.06173	100	1620	0,0321	52	1620
2	0.04425	100	2260	0,009292	21	2260
3	0.02468	100	4052	0,003208	13	4052
4	0.01235	100	8096	0,001112	9	8096
5	0.00606	101	1.667e4	0,00012	2	1.667e4
6	0.002104	100	4.752e4	2,104e-5	1	4.752e4
7	0.0007149	100	1.399e5	2,145e-5	3	1.399e5

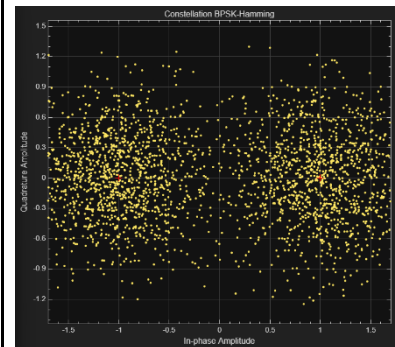
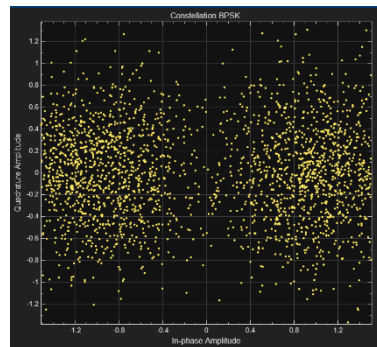
8	0.0002082	100	4.804e5	0	0	4.804e5
9	3.7e-5	37	1e6	0	0	1e6
10	8e-6	8	1e6	0	0	1e6
11	0	0	1e6	0	0	1e6
12	0	0	1e6	0	0	1e6

SNR (dB)	Constelación sin codificación	Constelación con Codificación
1		
2		

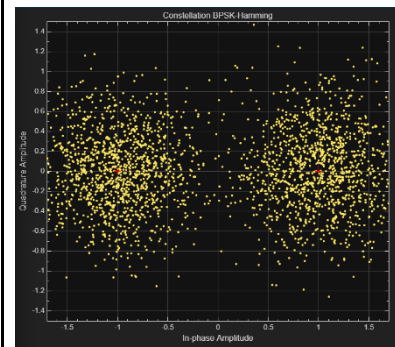
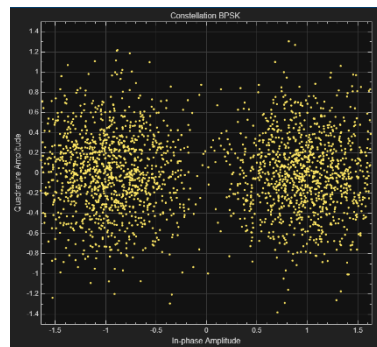
3



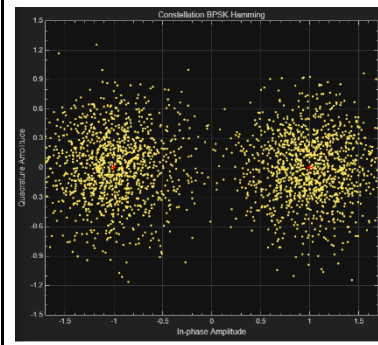
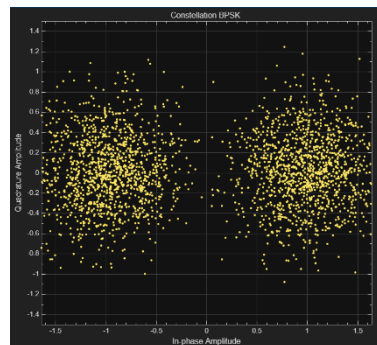
4



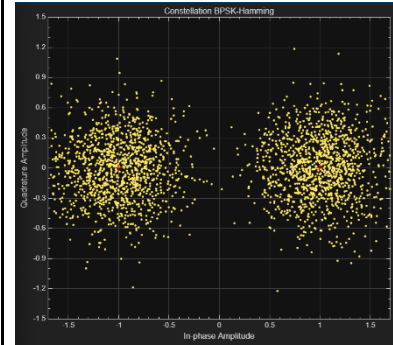
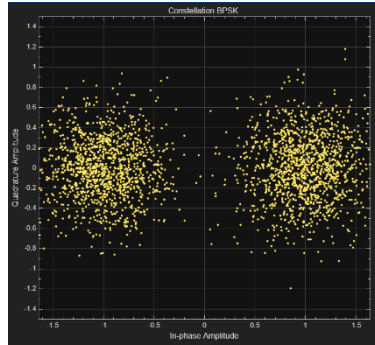
5



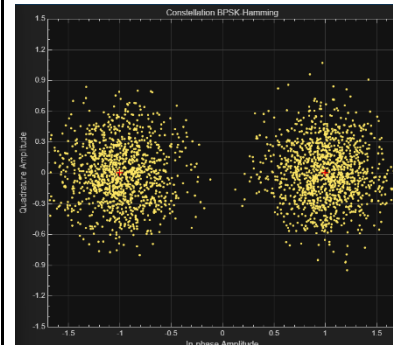
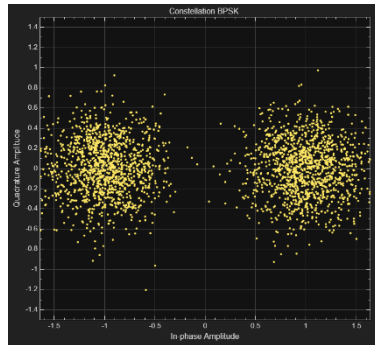
6



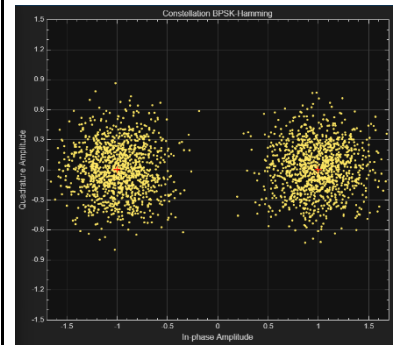
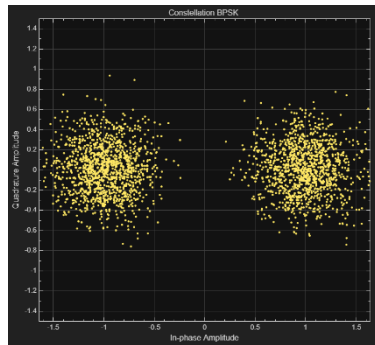
7



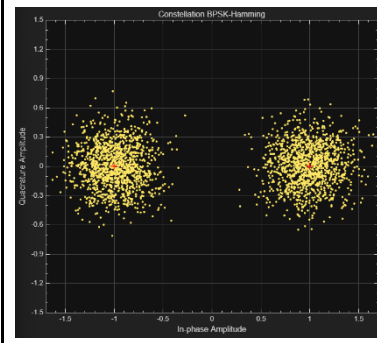
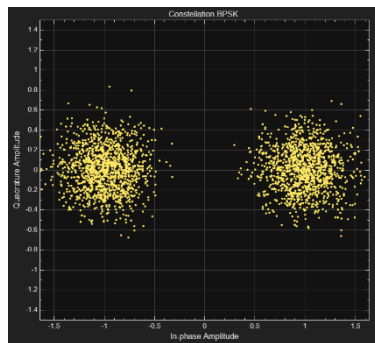
8

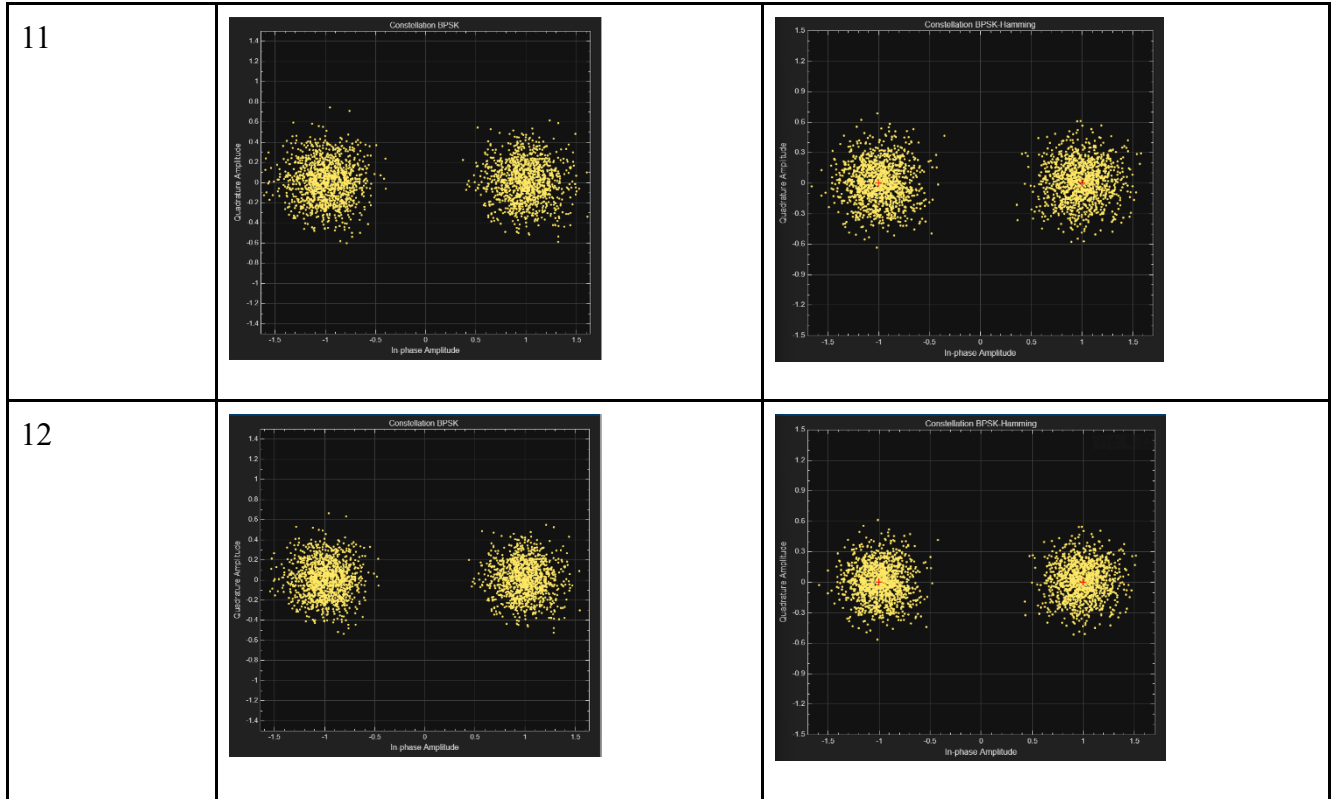


9

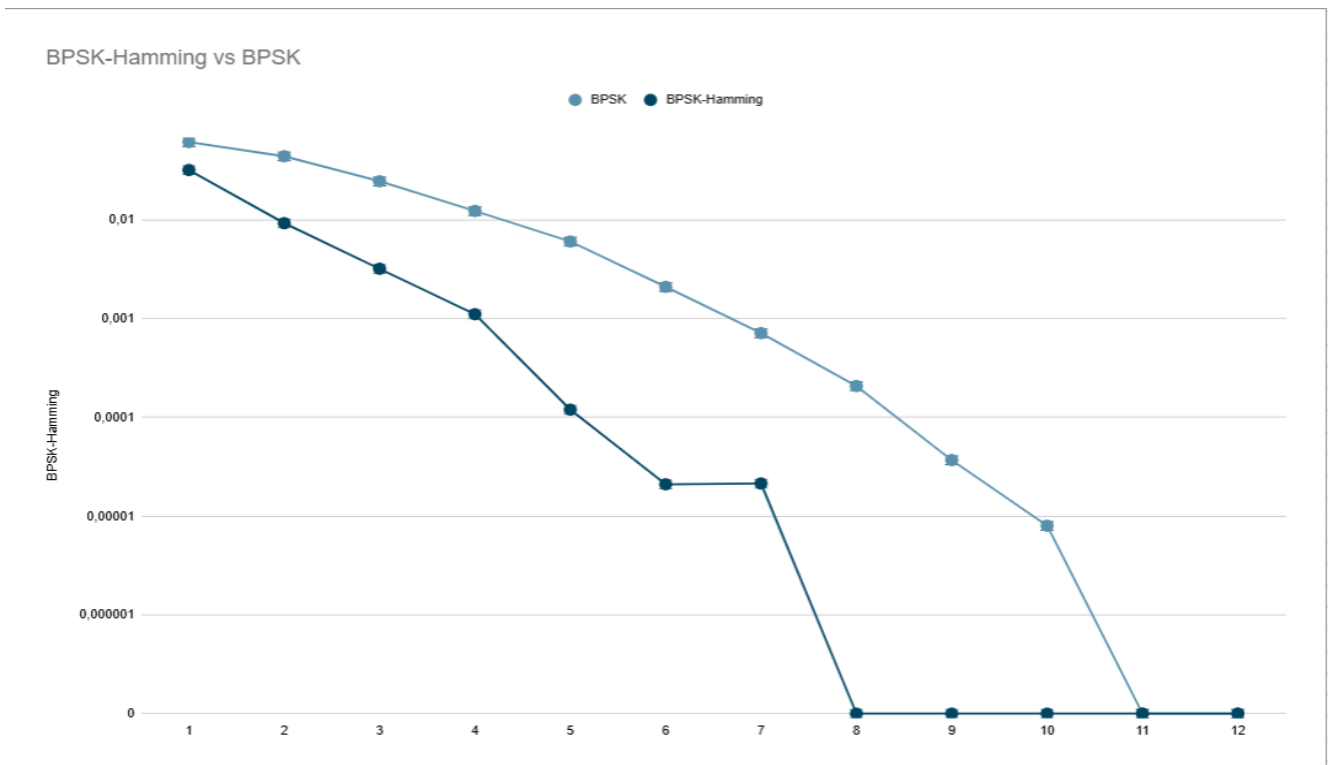


10

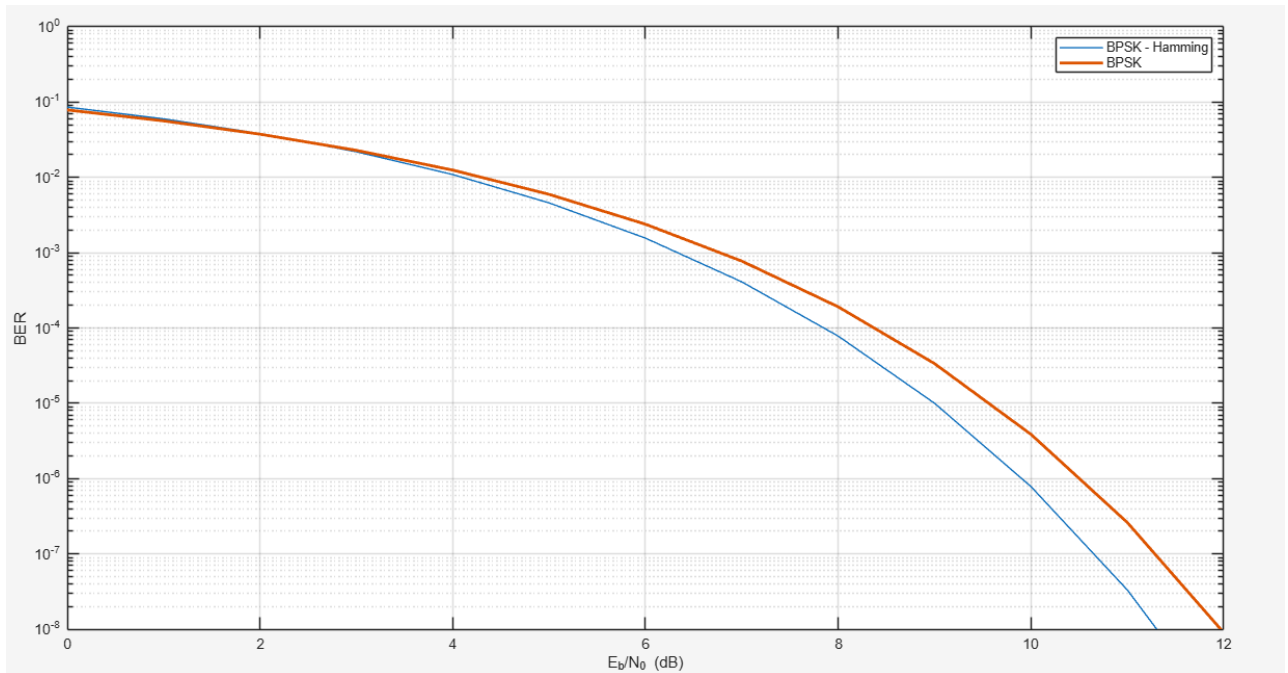




Gráfica de SNR en función de BER para BPSK con y sin codificación.



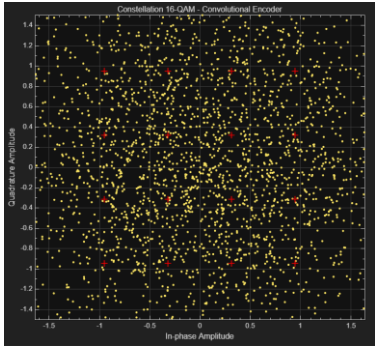
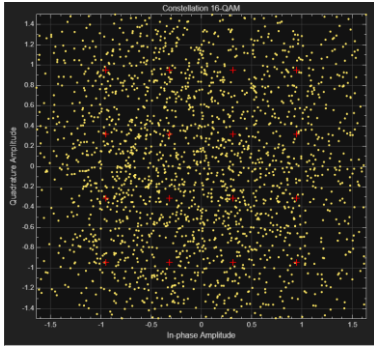
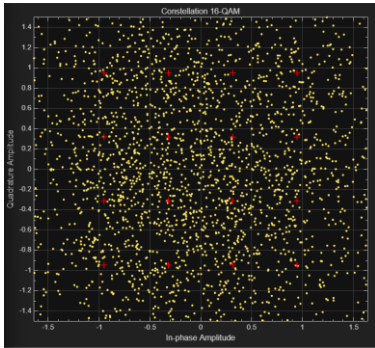
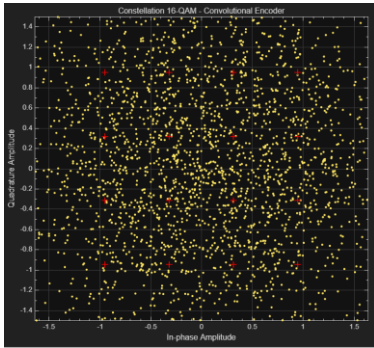
Gráfica de SNR en función de BER para BPSK con y sin codificación empleando “bertool”.

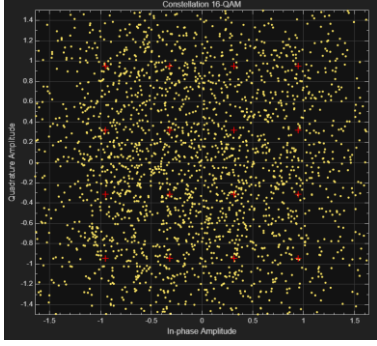
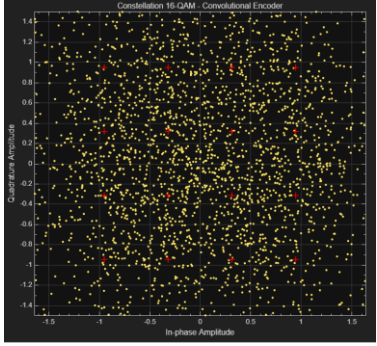
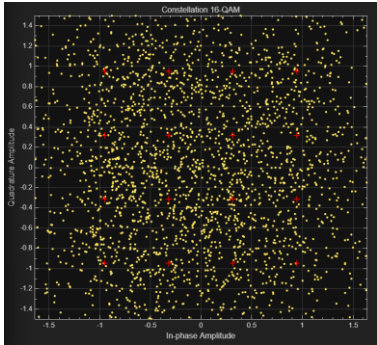
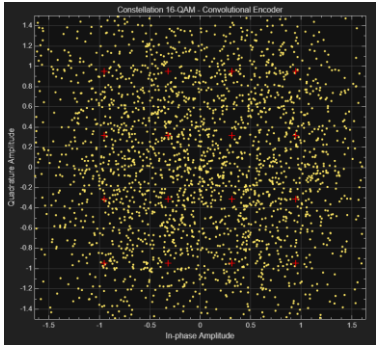
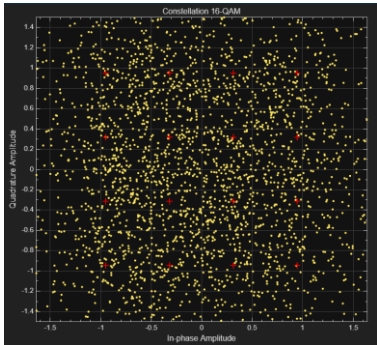
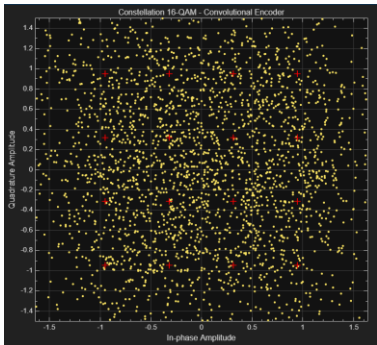
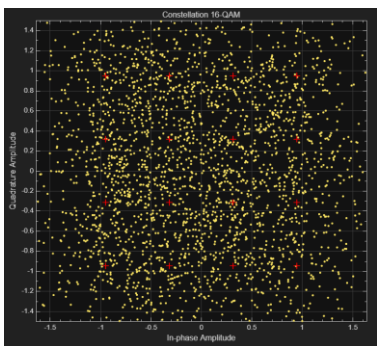
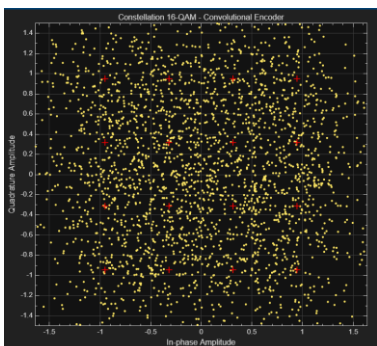


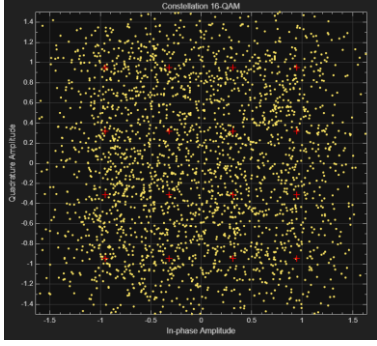
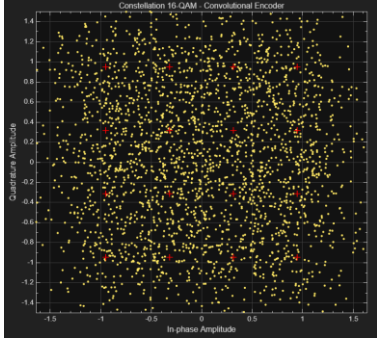
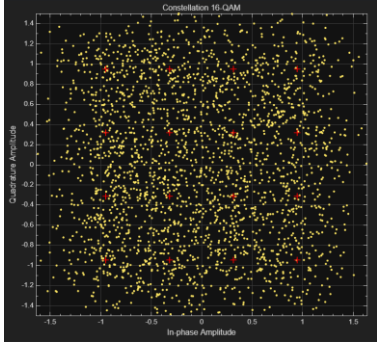
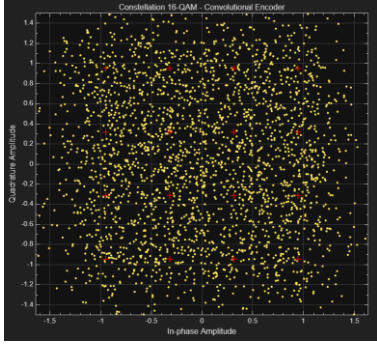
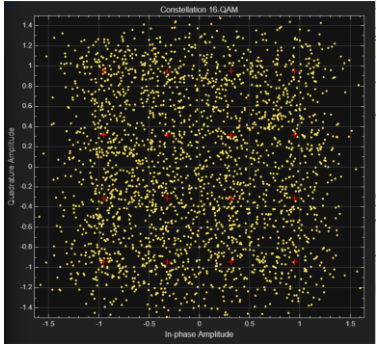
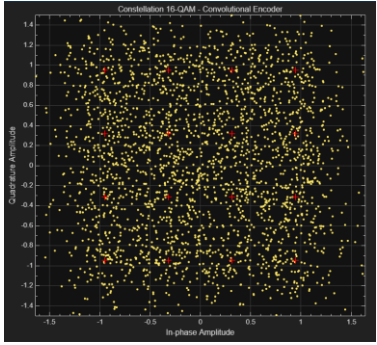
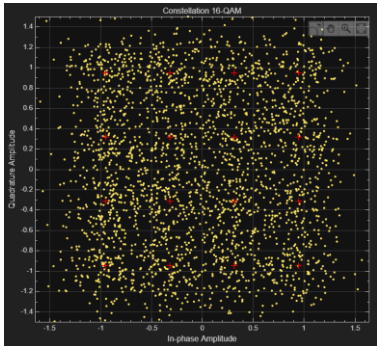
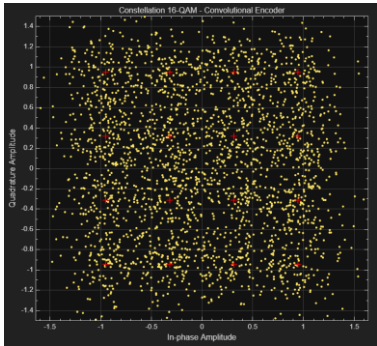
Actividad 2. Simulación de sistema de comunicación empleando modulación QAM.

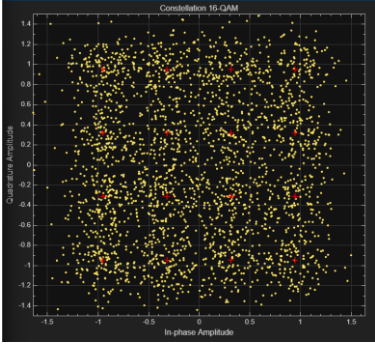
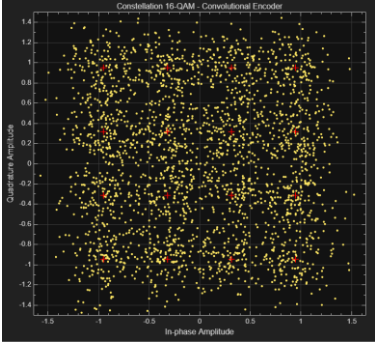
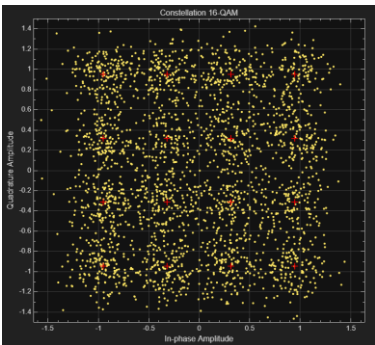
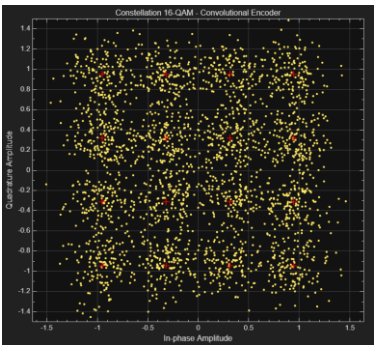
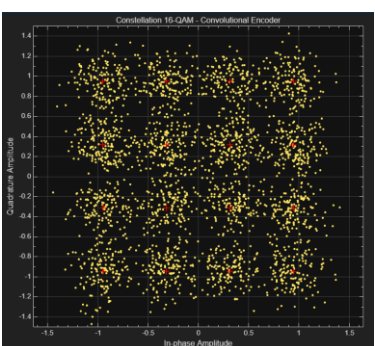
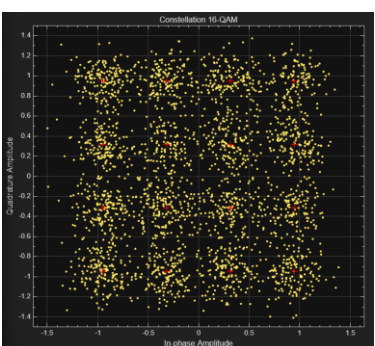
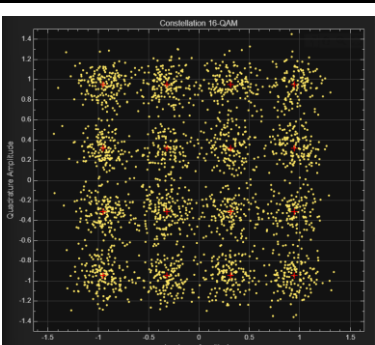
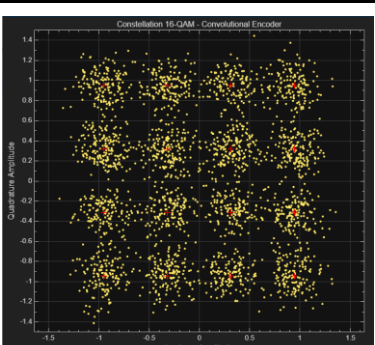
dB	16-QAM			16-QAM - Convolutional Encoder		
	BER	errores	Símbolos	BER	errores	Símbolos
1	0,2617	1,309e5	5,002e5	0,4952	2,477e5	5,002e5
2	0,237	1,185e5	5,002e5	0,4902	2,452e5	5,002e5
3	0,2116	1,058e5	5,002e5	0,4802	2,402e5	5,002e5
4	0,1869	9,351e4	5,002e5	0,4576	2,289e5	5,002e5
5	0,1635	8,177e4	5,002e5	0,411	2,056e5	5,002e5
6	0,1408	7,042e4	5,002e5	0,322	1,61e5	5,002e5

7	0,1192	5,962e4	5,002e5	0,2048	1,024e5	5,002e5
8	0,09785	4,894e4	5,002e5	0,09201	4,692e4	5,002e5
9	0,07763	3,883e4	5,002e5	0,02731	1,366e4	5,002e5
10	0,05887	2,945e4	5,002e5	0,00492	2461	5,002e5
11	0,04204	2,103e4	5,002e5	0,0007117	356	5,002e5
12	0,02827	1,414e4	5,002e5	0,000124	62	5,002e5
13	0,01698	8492	5,002e5	1,2e-5	6	5,002e5
14	0,009392	4698	5,002e5	0	0	5,002e5

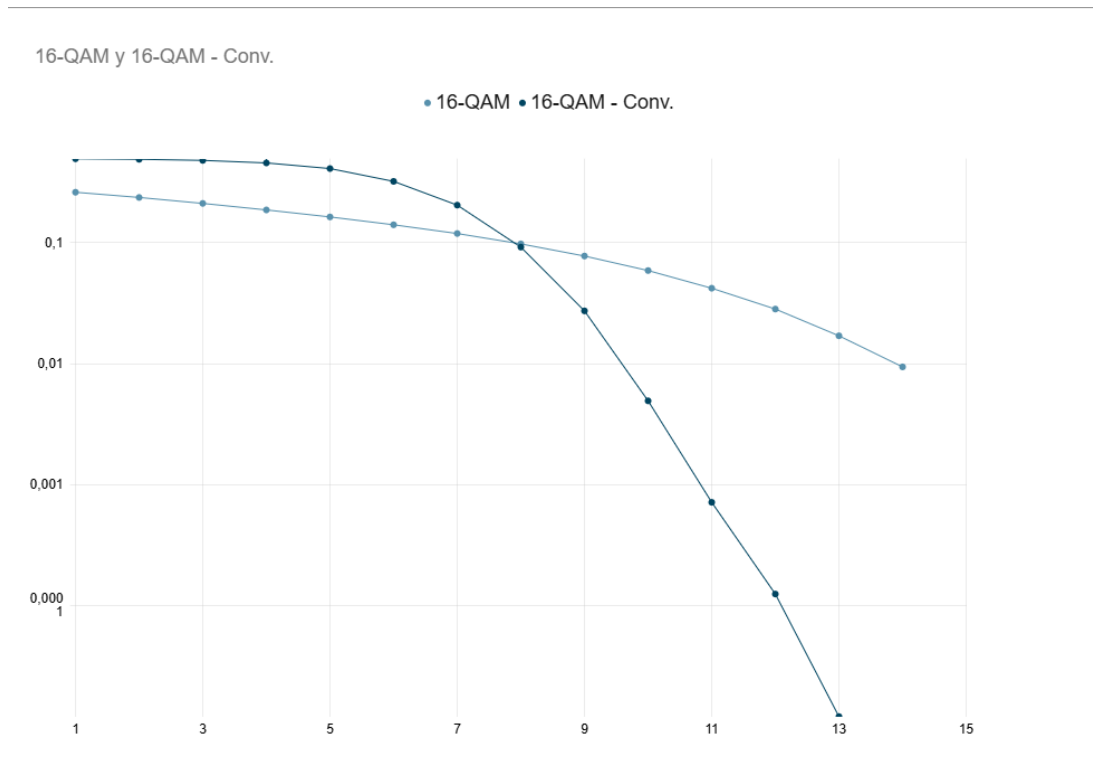
dB	16-QAM	16-QAM - Convolutional
1		
2		

3	 <p>Constellation 16-QAM</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM. The x-axis is labeled 'In phase Amplitude' and ranges from -1.5 to 1.5. The y-axis is labeled 'Quadrature Amplitude' and ranges from -1.4 to 1.4. The points are distributed in a grid-like pattern, with a higher density of points in the center and fewer points towards the edges.</p>	 <p>Constellation 16-QAM - Convolutional Encoder</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM after passing through a convolutional encoder. The axes and overall distribution are similar to the 16-QAM plot, but the points appear slightly more spread out, indicating the effect of the encoding process.</p>
4	 <p>Constellation 16-QAM</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM. The x-axis is labeled 'In phase Amplitude' and ranges from -1.5 to 1.5. The y-axis is labeled 'Quadrature Amplitude' and ranges from -1.4 to 1.4. The points are distributed in a grid-like pattern, with a higher density of points in the center and fewer points towards the edges.</p>	 <p>Constellation 16-QAM - Convolutional Encoder</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM after passing through a convolutional encoder. The axes and overall distribution are similar to the 16-QAM plot, but the points appear slightly more spread out, indicating the effect of the encoding process.</p>
5	 <p>Constellation 16-QAM</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM. The x-axis is labeled 'In phase Amplitude' and ranges from -1.5 to 1.5. The y-axis is labeled 'Quadrature Amplitude' and ranges from -1.4 to 1.4. The points are distributed in a grid-like pattern, with a higher density of points in the center and fewer points towards the edges.</p>	 <p>Constellation 16-QAM - Convolutional Encoder</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM after passing through a convolutional encoder. The axes and overall distribution are similar to the 16-QAM plot, but the points appear slightly more spread out, indicating the effect of the encoding process.</p>
6	 <p>Constellation 16-QAM</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM. The x-axis is labeled 'In phase Amplitude' and ranges from -1.5 to 1.5. The y-axis is labeled 'Quadrature Amplitude' and ranges from -1.4 to 1.4. The points are distributed in a grid-like pattern, with a higher density of points in the center and fewer points towards the edges.</p>	 <p>Constellation 16-QAM - Convolutional Encoder</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM after passing through a convolutional encoder. The axes and overall distribution are similar to the 16-QAM plot, but the points appear slightly more spread out, indicating the effect of the encoding process.</p>

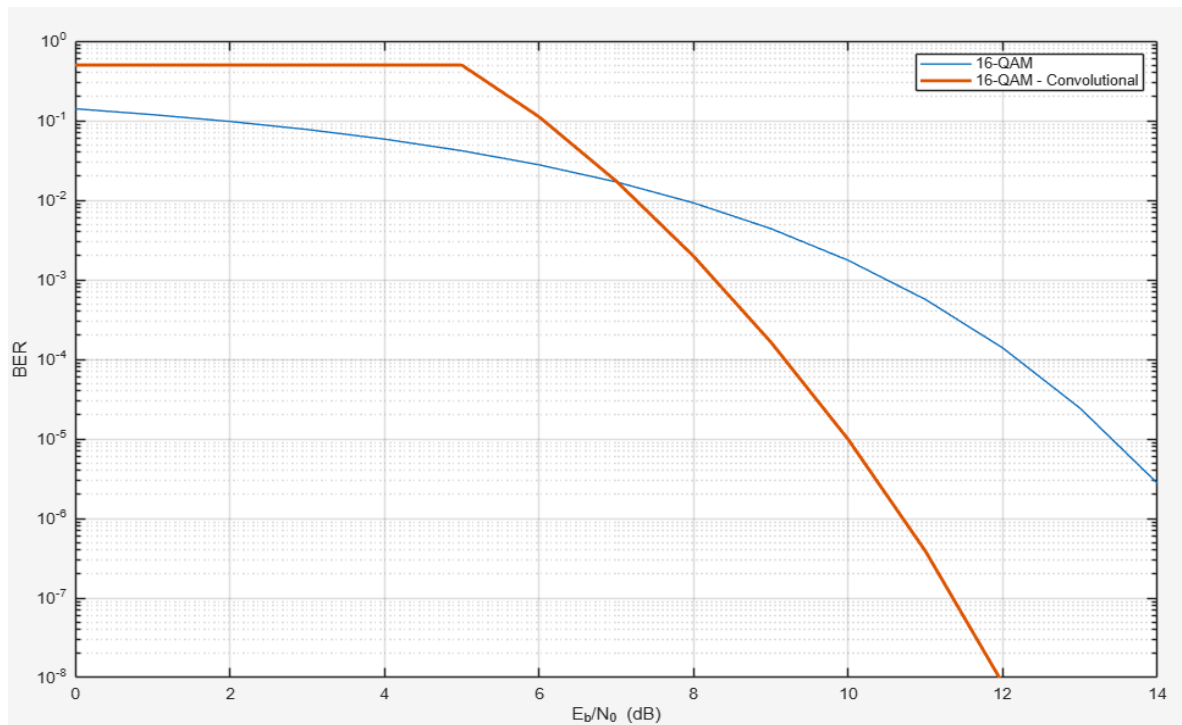
7	 <p>Constellation 16-QAM</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM. The x-axis is labeled 'In phase Amplitude' and ranges from -1.5 to 1.5. The y-axis is labeled 'Quadrature Amplitude' and ranges from -1.4 to 1.4. The points are distributed in a square grid pattern, with a few red points highlighted.</p>	 <p>Constellation 16-QAM - Convolutional Encoder</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM after convolutional encoding. The axes and grid pattern are similar to the 16-QAM plot, but the points are more dispersed, indicating the effect of the encoding process.</p>
8	 <p>Constellation 16-QAM</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM. The x-axis is labeled 'In phase Amplitude' and ranges from -1.5 to 1.5. The y-axis is labeled 'Quadrature Amplitude' and ranges from -1.4 to 1.4. The points are distributed in a square grid pattern, with a few red points highlighted.</p>	 <p>Constellation 16-QAM - Convolutional Encoder</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM after convolutional encoding. The axes and grid pattern are similar to the 16-QAM plot, but the points are more dispersed, indicating the effect of the encoding process.</p>
9	 <p>Constellation 16-QAM</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM. The x-axis is labeled 'In phase Amplitude' and ranges from -1.5 to 1.5. The y-axis is labeled 'Quadrature Amplitude' and ranges from -1.4 to 1.4. The points are distributed in a square grid pattern, with a few red points highlighted.</p>	 <p>Constellation 16-QAM - Convolutional Encoder</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM after convolutional encoding. The axes and grid pattern are similar to the 16-QAM plot, but the points are more dispersed, indicating the effect of the encoding process.</p>
10	 <p>Constellation 16-QAM</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM. The x-axis is labeled 'In phase Amplitude' and ranges from -1.5 to 1.5. The y-axis is labeled 'Quadrature Amplitude' and ranges from -1.4 to 1.4. The points are distributed in a square grid pattern, with a few red points highlighted.</p>	 <p>Constellation 16-QAM - Convolutional Encoder</p> <p>This plot shows the constellation points for 16-QAM after convolutional encoding. The axes and grid pattern are similar to the 16-QAM plot, but the points are more dispersed, indicating the effect of the encoding process.</p>

11	 <p>Constellation 16-QAM</p> <p>This plot shows a dense, uniform distribution of yellow points in a square region from -1.5 to 1.5 on both axes. The axes are labeled 'In phase Amplitude' (x) and 'Quadrature Amplitude' (y).</p>	 <p>Constellation 16-QAM - Convolutional Encoder</p> <p>This plot shows a dense, uniform distribution of yellow points, similar to the 16-QAM plot, with a few red points scattered throughout. The axes are labeled 'In phase Amplitude' (x) and 'Quadrature Amplitude' (y).</p>
12	 <p>Constellation 16-QAM</p> <p>This plot shows a dense, uniform distribution of yellow points, similar to the 16-QAM plot, with a few red points scattered throughout. The axes are labeled 'In phase Amplitude' (x) and 'Quadrature Amplitude' (y).</p>	 <p>Constellation 16-QAM - Convolutional Encoder</p> <p>This plot shows a dense, uniform distribution of yellow points, similar to the 16-QAM plot, with a few red points scattered throughout. The axes are labeled 'In phase Amplitude' (x) and 'Quadrature Amplitude' (y).</p>
13	 <p>Constellation 16-QAM - Convolutional Encoder</p> <p>This plot shows a dense, uniform distribution of yellow points, similar to the 16-QAM plot, with a few red points scattered throughout. The axes are labeled 'In phase Amplitude' (x) and 'Quadrature Amplitude' (y).</p>	 <p>Constellation 16-QAM</p> <p>This plot shows a dense, uniform distribution of yellow points, similar to the 16-QAM plot, with a few red points scattered throughout. The axes are labeled 'In phase Amplitude' (x) and 'Quadrature Amplitude' (y).</p>
14	 <p>Constellation 16-QAM</p> <p>This plot shows a dense, uniform distribution of yellow points, similar to the 16-QAM plot, with a few red points scattered throughout. The axes are labeled 'In phase Amplitude' (x) and 'Quadrature Amplitude' (y).</p>	 <p>Constellation 16-QAM - Convolutional Encoder</p> <p>This plot shows a dense, uniform distribution of yellow points, similar to the 16-QAM plot, with a few red points scattered throughout. The axes are labeled 'In phase Amplitude' (x) and 'Quadrature Amplitude' (y).</p>

Gráfica de SNR en función de BER para QAM con y sin codificación.



Gráfica de SNR en función de BER para QAM con y sin codificación, empleando “bertool”



Trabajo Complementario

- a. **¿Qué tipos de codificadores de canal existen, como se clasifican? Defina: Códigos de bloque, distancia mínima de código, códigos cíclicos y códigos polinomiales**

La codificación de canal es una técnica que permite mejorar la confiabilidad en la transmisión de datos digitales. Su función principal es mapear una secuencia de bits de entrada en otra secuencia que viajará por el canal, agregando redundancia controlada mediante bits de paridad.

En el receptor, el decodificador de canal realiza el proceso inverso, utilizando esa redundancia para detectar y corregir errores producidos por el ruido o las imperfecciones del canal de comunicación.

Existen tres grandes tipos de codificación de canal:

1. **Detección de errores:** permite identificar errores en la transmisión (por ejemplo, los sistemas ARQ que solicitan la retransmisión del mensaje).
2. **Corrección directa de errores (FEC):** permite corregir errores sin necesidad de retransmisión.
3. **Códigos híbridos:** combinan ambos métodos para lograr un equilibrio entre eficiencia y confiabilidad.

Defina:

- **Códigos de bloque:** Estos códigos agrupan la información en conjuntos llamados *bloques*. Un código de bloque (n, k) toma (k) símbolos de información y les agrega $(n - k)$ símbolos adicionales (de redundancia) que se calculan de forma matemática. Así, se obtiene una palabra de código de longitud (n) . Su función principal es proteger los datos frente a errores en la transmisión, y por eso se usan mucho en comunicaciones digitales y almacenamiento.
- **Distancia mínima de Código:** Es una medida que indica qué tan capaz es un código de detectar y corregir errores. Se define como la menor distancia de Hamming entre dos palabras de código diferentes, es decir, el número mínimo de bits que varían entre una palabra y otra. Cuanto mayor sea esta distancia, más errores puede detectar y corregir el sistema.
- **Códigos cíclicos:** Son un tipo especial de código por bloques en el que, si se hace una rotación circular de los bits de una palabra de código, se obtiene otra palabra válida. Ejemplos conocidos son los códigos Hamming, BCH y Golay. Se usan porque son fáciles de implementar y ofrecen buena protección contra errores.
- **Códigos polinomiales:** En este tipo de codificación, las palabras de código se representan como polinomios algebraicos. Esto permite realizar operaciones

matemáticas para generar, detectar o corregir errores mediante cálculos modulares. Son muy comunes en los códigos cíclicos y en sistemas donde se necesita una codificación eficiente.

b. ¿Cómo funcionan los códigos Hamming y los códigos Convolucionales? Consulte varias fuentes para resolver esta pregunta, busque ejemplos.

- **Códigos Hamming:** Estos códigos añaden bits de paridad en posiciones específicas de la palabra de código. Cada bit de paridad controla un conjunto distinto de bits de datos, lo que permite detectar y corregir un error de un solo bit e identificar exactamente su posición.
Por ejemplo, un código Hamming (7,4) toma 4 bits de información y agrega 3 bits de paridad, resultando en una palabra de 7 bits. Son muy usados en memorias y sistemas digitales por su bajo costo y alta fiabilidad.
- **Códigos convolucionales:** A diferencia de los códigos por bloques, los códigos convolucionales procesan los bits de manera continua, teniendo en cuenta no solo los bits actuales sino también los anteriores. El funcionamiento se asemeja a una *convolución discreta* entre la señal de entrada y la respuesta del codificador. Estos códigos son muy usados en comunicaciones inalámbricas, satelitales y en telefonía móvil (como LTE y 5G) porque ofrecen una excelente relación entre complejidad y capacidad de corrección de errores.

c. Consulte acerca de los códigos LDPC (Low Density Parity Check) y sus aplicaciones en los sistemas modernos de comunicación.

Los LDPC son códigos lineales por bloques que utilizan una matriz de paridad muy dispersa (con pocos unos). Esta característica permite que el proceso de decodificación sea muy eficiente y que puedan corregir errores incluso en canales con mucho ruido. Fueron desarrollados por Robert en 1963, aunque su aplicación masiva llegó décadas después gracias al aumento de la potencia computacional. Actualmente, los LDPC se usan en sistemas de comunicación modernos como Wi-Fi, WiMAX, DVB-S2, LTE y 5G, donde son clave para lograr transmisiones rápidas, estables y con bajo consumo energético.

d. ¿Qué es la ganancia de Codificación? Encuentre la ganancia de codificación empleando las mediciones realizadas durante los ejercicios desarrollados en la práctica.

La ganancia de codificación representa la ventaja que se obtiene al usar un sistema con codificación de canal.

Indica cuánta menos energía o potencia se necesita para mantener una tasa de error de bits (BER) determinada cuando se emplea codificación, en comparación con un sistema sin codificación.

Durante las prácticas de laboratorio, esta ganancia se puede calcular comparando los valores de E_b/N_0 (energía por bit sobre la densidad espectral de ruido) entre los dos casos: con y sin codificación.

Una mayor ganancia significa que el sistema puede transmitir la misma información con mejor calidad o usando menos potencia.