

# Desempenho de Banda Ultralarga em um Sistema de Rede Corporal Sem Fio (UWB-WBAN) Sobre Canal de Ruído Gaussiano Branco Aditivo (AWGN)

Mohanad Abdulhamid

Al-hikma University, Iraq, email: moh1hamid@yahoo.com

Fecha de recepción: 13 de agosto, 2023 | Fecha de aprobación: 25 de julio, 2023

## Resumen

Las principales limitaciones en el diseño de la Red de Área Corporal Inalámbrica (WBAN) se pueden atribuir a la duración de la batería, la necesidad de servicios de alta velocidad de datos y la baja interferencia de los dispositivos que operan en las bandas Industrial, Científica y Médica (ISM). **Objetivo:** Para satisfacer la demanda de servicios de alta velocidad de datos y baja densidad espectral de potencia para evitar interferencias en la banda ISM, se propuso una tecnología basada en Banda Ultraancha (UWB). **Metodología:** Este artículo se centra en el diseño y la demostración de un módem UWB para ser utilizado en aplicaciones WBAN y la evaluación de su rendimiento en escenarios del mundo casi real afectados por la interferencia del Ruido Blanco Gaussiano Aditivo (AWGN). El módem se prueba con diferentes valores de Relación Señal-Ruido (SNR). **Resultados:** Los resultados muestran que el rendimiento del módem disminuye a medida que disminuye el valor SNR. **Discusión:** A partir de los resultados obtenidos, los gráficos de dispersión del tiempo y los diagramas de ojo muestran cuánto hay de interferencia de ruido. **Conclusión:** En conclusión, la simulación del módem mostró que es posible lograr una transmisión sin errores con una densidad espectral de potencia más baja y una velocidad de datos muy alta.

Palabras clave: Tecnología inalámbrica; Tecnología Biomédica; Salud conectada; Telemonitoreo.

## Abstract

Performance of UWB-WBAN over AWGN channel *em inglês.*

The major constraints in the design of Wireless Body Area Network (WBAN) can be attributed to the battery autonomy, need for high data rate services and low interference from the devices operating within the industrial, scientific and medical (ISM) bands. **Objective:** To meet the demand for high data rate services and low power spectral density to avoid ISM band interference, an ultra-wide band (UWB) system-based technology has been proposed. **Methodology:** This paper focuses on the design and demonstration of an UWB modem to be used in the WBAN applications and the evaluation of its performance in a near-real world scenarios affected by Additive White Gaussian Noise (AWGN) interference. The modem is tested with different values of signal to noise ratio (SNR). **Results:** Results show that the performance of the modem degrades as the value of SNR decreases. **Conclusion:** In conclusion, the modem simulation showed that it can achieve an error free transmission at a lower power spectral density and at a very high data rate.

Key-words: Wireless Technology; Biomedical Technology; Telemedicine; Telemonitoring.

## Resumo

Desempenho de UWB-WBAN sobre o canal AWGN.

As principais restrições no projeto de Rede Sem Fio de Área Corporal (WBAN) podem ser atribuídas à autonomia da bateria, à necessidade de serviços de alta taxa de dados e à baixa interferência dos dispositivos operando nas bandas Industriais, Científicas e Médicas (ISM). **Objetivo:** Para atender à demanda por serviços de alta taxa de dados e densidade espectral de baixa potência para evitar interferência na banda ISM, foi proposta uma tecnologia baseada em Banda UltraLarga (UWB). **Metodologia:** Este artigo concentra-se no projeto e demonstração de um modem UWB para ser usado em aplicações WBAN e na avaliação de seu desempenho em cenários do mundo quase real afetados pela interferência de Ruído Gaussiano Branco Aditivo (AWGN). O modem é testado com diferentes valores de Relação Sinal-Ruído (SNR). **Resultados:** Os resultados mostram que o desempenho do modem diminui à medida que o valor do SNR diminui. **Discussão:** A partir dos resultados obtidos, os gráficos de dispersão do tempo e os diagramas de olho mostram o quanto há de interferência de ruído. **Conclusão:** Em conclusão, a simulação do modem mostrou que é possível obter uma transmissão livre de erros com uma densidade espectral de potência mais baixa e com uma taxa de dados muito alta.

Palabras-clave: Tecnologia sem fio; Tecnologia Biomédica; Salud conectada; Telemonitoramento.

## INTRODUCCIÓN

La red de área corporal (BAN-*Body area network*), también conocida como red inalámbrica de área corporal (WBAN-*wireless body area network*), red de sensores corporales (BSN-*body sensor network*) o red médica de área corporal (MBAN-*medical body area network*), es una red inalámbrica de dispositivos informáticos portátiles. Los dispositivos BAN pueden estar incorporados dentro del cuerpo, implantes pueden montarse en la superficie del cuerpo en una tecnología portátil de forma fija o pueden ir acompañados de dispositivos que los humanos pueden llevar en diferentes posiciones, en los bolsillos de la ropa, en la mano o en varios bolsos. Si bien existe una tendencia hacia la miniaturización de los dispositivos, en particular, las redes constan de varias unidades de sensores corporales (BSU) miniaturizadas junto con una única unidad central corporal (BCU). Los dispositivos inteligentes de mayor decímetro (pestaña y teclado), acompañados de dispositivos, siguen desempeñando un papel importante en términos de actuar como centro de datos, puerta de enlace de datos y proporcionar una interfaz de usuario para ver y administrar aplicaciones BAN, in situ.

El desarrollo de la tecnología WBAN comenzó alrededor de 1995 con la idea de utilizar tecnologías de redes de área personal inalámbricas (WPAN-*wireless personal area network*) para implementar comunicaciones en, cerca y alrededor del cuerpo humano. Aproximadamente seis años después, el término "BAN" pasó a referirse a sistemas en los que la comunicación se realiza exclusivamente dentro, sobre y en la proximidad inmediata de un cuerpo humano. Un sistema WBAN puede utilizar tecnologías inalámbricas WPAN como puertas de enlace para alcances más largos. A través de dispositivos de puerta de enlace, es posible conectar los dispositivos portátiles del cuerpo humano a Internet. De esta manera, los profesionales médicos pueden acceder a los datos de los pacientes en línea utilizando Internet, independientemente de la ubicación del paciente.

Una WBAN típica requiere sensores de monitoreo de signos vitales, detectores de movimiento (a través de acelerómetros) para ayudar a identificar la ubicación del individuo monitoreado y alguna forma de comunicación, para transmitir lecturas de signos vitales y movimiento a los médicos o cuidadores. Un kit de red de área corporal típico constará de sensores, un procesador, un transceptor (módem) y una batería. Se espera que las aplicaciones iniciales de WBAN aparezcan principalmente en el ámbito de la atención sanitaria, especialmente para la monitorización continua y el registro de parámetros vitales de pacientes que padecen enfermedades crónicas. Otras aplicaciones de esta tecnología incluyen el deporte, el ejército o la seguridad<sup>1,2,3</sup>.

Debido a las realizaciones de hardware bastante simples y a la eficiencia energética, la comunicación de banda ultraancha (UWB-*ultra-wideband*) se ha convertido en una tecnología

prometedora para su uso en WBAN. La tecnología UWB proporciona una alta tasa de transmisión de datos debido a su banda ancha de transmisión relativamente grande. UWB abarca un rango de frecuencia de 3,1 GHz a 10,6 GHz con una banda ancha de transmisión de más del 20% de su frecuencia central, es decir, más de 500 MHz. Con base en esta banda ancha de transmisión, se puede ver que la capacidad del canal gaussiano blanco de un sistema UWB es grande para una SNR determinada según la ley de Hartley Shannon. Algunos trabajos relacionados con el uso del sistema UWB en aplicaciones WBAN se encuentran en algunos estudios<sup>4,5,6,7</sup>.

Por lo tanto, con base en lo anterior, el objetivo de este artículo es proponer una tecnología basada en sistemas de banda ultra ancha (UWB) que satisfaga la demanda de servicios de alta velocidad de datos y baja densidad espectral de potencia para evitar interferencias en la banda ISM.

## MÉTODO

Dado que los sensores WBAN tienen chips de procesamiento de señal integrados, la entrada al transceptor es en forma digital, por lo que no es necesario incluir codificación de fuente como parte del diseño del transceptor. La simulación física del diseño del transceptor UWB que se realiza en Matlab simulink incluye:

1. Generador binario aleatorio
2. Códigos concatenados
3. Modulador/demodulador QPSK
4. Transceptor OFDM.
5. Canal

### Generador binario aleatorio

El generador binario de Bernoulli se utiliza para generar dígitos binarios aleatorios utilizando la distribución de Bernoulli. Produce un bit cero (0) con una probabilidad de  $p$  y un bit (1) con una probabilidad de  $1-p$ .

En este caso se simula una situación equiprobable donde tanto '0' como '1' se producen con una probabilidad de 0,5. La salida de este generador se basa en cuadros y tiene 256 bits por cuadro a una velocidad de muestreo de 1/528MHz.

### Códigos concatenados

En las comunicaciones inalámbricas, se producen errores de ráfaga debido al reflejo de los símbolos en grandes superficies como edificios, árboles, colinas, etc. Además, también se producen errores aleatorios debido al ruido térmico generado en los circuitos electrónicos. Esto requiere un esquema de codificación con una longitud de palabra de código grande. Una concatenación en serie de códigos es la más utilizada para sistemas con energía limitada.

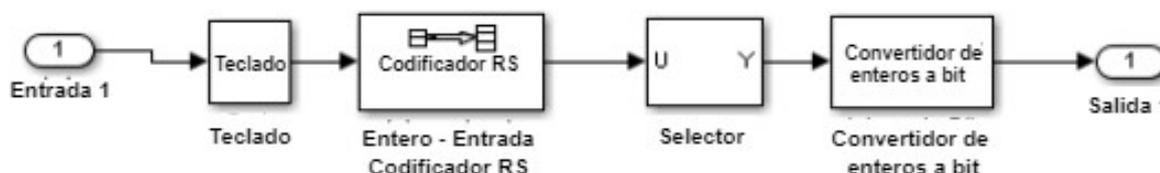
En este caso, se utilizó un código (48, 32, 8) Reed-Solomon (RS) (código externo) con símbolos sobre GF (28) y un código de convolución (2, 1) de longitud de restricción 7.

**Codificación/decodificación de Reed Solomon**

Se obtuvo un código RS (48, 32, 8) sobre GF (28) mediante un esquema de acortamiento de código de punción (relleno cero) como se muestra en la figura 1 en un modelo simulink de Matlab. Este código corrige hasta 8 errores de símbolos de los 48 símbolos.

Dado que el codificador RS es un esquema de codificación no binario, la estructura de 256 bits del generador Bernoulli se convierte a números enteros utilizando un convertidor de 8 bits a entero, lo que da como resultado 32 bytes, que es la secuencia de entrada al subsistema del codificador RS.

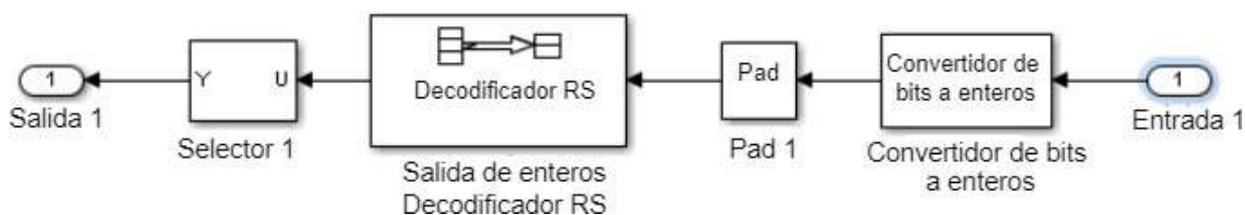
**Figura1** Codificador RS



La secuencia de 32 bytes se rellena con ceros hasta 239 bytes de mensaje que luego se envía al codificador RS de entrada de números enteros. Este bloque agrega 16 bytes de verificación de paridad para dar una longitud de 255 palabras de código. Dado que estamos interesados en las 48 palabras de código, las 255 palabras de código rellenas con ceros se pasan a través de un selector para obtener las 48 palabras de código, por lo tanto, un código RS (48, 32, 8) obtenido a partir del código RS (255, 239,8). Los 48 bytes se vuelven a convertir a binarios para obtener 384 bits que se pasan al codificador de convolución.

En el decodificador que se muestra en la Figura 2, los 384 bits se convierten en bytes, se rellenan con ceros y se envían al decodificador que decodifica el mensaje, es decir, corrige cualquier error introducido durante la transmisión y elimina los bits de verificación de paridad. Los 239 dígitos del mensaje rellenos con ceros del decodificador se pasan a través de un selector para obtener los 32 dígitos del mensaje original que luego se convierten nuevamente a binario.

**Figura 2** Decodificador RS



**Codificación de convolución/decodificación de Viterbi**

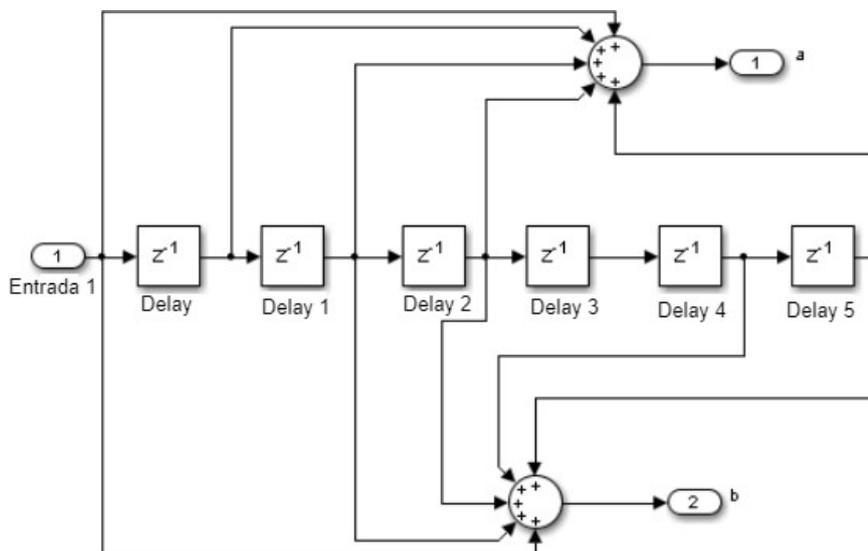
Este código de convolución tiene una tasa de información de 1/2 y una longitud de restricción de 7. Utiliza la función poltrellis (7, [171 133]) para crear un enrejado usando la longitud de restricción, el generador de código (octal) y la conexión de retroalimentación (octal). Como se puede ver en la Figura 3,

$$\text{Salida } [a, b] = \text{input } [x_1, x_2]$$

$$\text{Donde } x_1 = (1111001) = (171)_8$$

$$x_2 = (1011011) = (133)_8$$

Figura 3 Estructura politrellis (7[171,133])



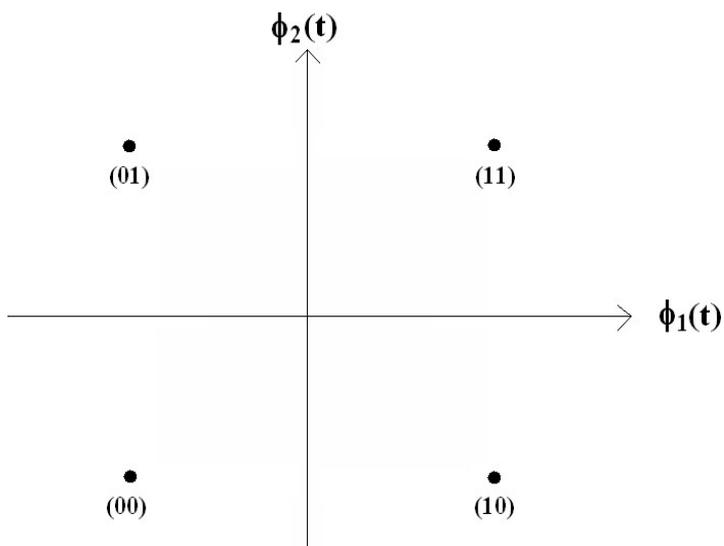
El decodificador Viterbi también utiliza la misma función politrellis al decodificar la información transmitida. Dado que la tasa de información es  $\frac{1}{2}$ , esto implica que, por cada bit, se producen dos palabras de código, por lo que la salida del codificador de convolución es de 768 bits. El decodificador Viterbi detecta y corrige los errores aleatorios y elimina los bits de verificación de paridad, por lo que su salida es de 384 bits.

**Modulador/demodulador QPSK**

El modulador de desplazamiento de fase en cuadratura (QPSK) asigna los dígitos binarios de la secuencia de información a fases discretas de la portadora, como se muestra en la Figura 4.

Los 768 bits del mensaje se convierten en números enteros y luego se introducen en el modulador QPSK que asigna los 384 enteros a 384 enteros complejos. El demodulador QPSK realiza una operación inversa al modulador QPSK.

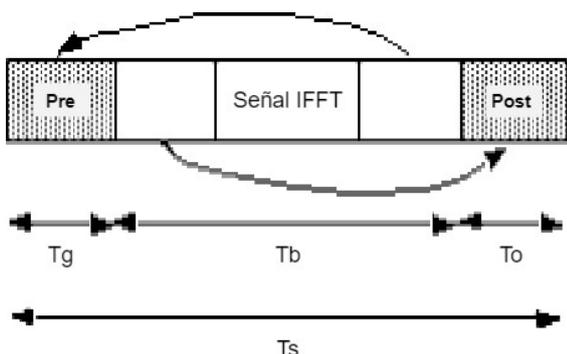
Figura 4 Constelación QPSK mapping



**Transceptor OFDM**

El símbolo de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (OFDM) consta de los portadores de datos, las subportadoras de protección y el prefijo cíclico, con duraciones de tiempo como se muestra en la Figura 5. En este diseño se utilizan 128 subportadoras, de las cuales 96 son portadoras de datos, 12 pilotos y 20 nulos para guardia. Se añade un prefijo cíclico de 32 subportadoras.

**Figura 5** símbolo OFDM



Los 384 enteros complejos se reorganizan para formar una matriz de 96x4. La matriz se reagrupa como:

{1,[2:10],[11:19],[20:28],[29:37],[38:46],[47:50],[51:54],[55:62],[63:70],[71:78],[79:86],[87:96]} para permitir la inserción de los pilotos. Los pilotos se insertan en las posiciones (2, 12, 22, 32, 42, 52, 61, 70, 79, 88, 97, 108). Luego se colocan las protecciones al principio y al final de los soportes de datos. El símbolo pasa a través de la transformada rápida inversa de Fourier (IFFT) para crear las señales ortogonales.

Se agrega un prefijo cíclico reorganizando y reordenando la secuencia como [97:128 1:128]. Este comando repite las últimas 32 portadoras al comienzo del símbolo OFDM.

Luego, el símbolo OFDM se escala en potencia y se transmite a través del canal AWGN. El transmisor OFDM está diseñado como se muestra en la Figura 6.

At the OFDM receiver shown in Fig.7, the received symbol is down scaled, and the cyclic prefix is removed by selecting the message portion. The received message is then transformed by fast Fourier transform (FTT) to remove the orthogonality. The guards are then removed and subsequently the pilots. The remaining data stream is then rearranged back to the 384 constellation points and then demodulated using QPSK demodulator.

**Figura 6** Transmisor OFDM

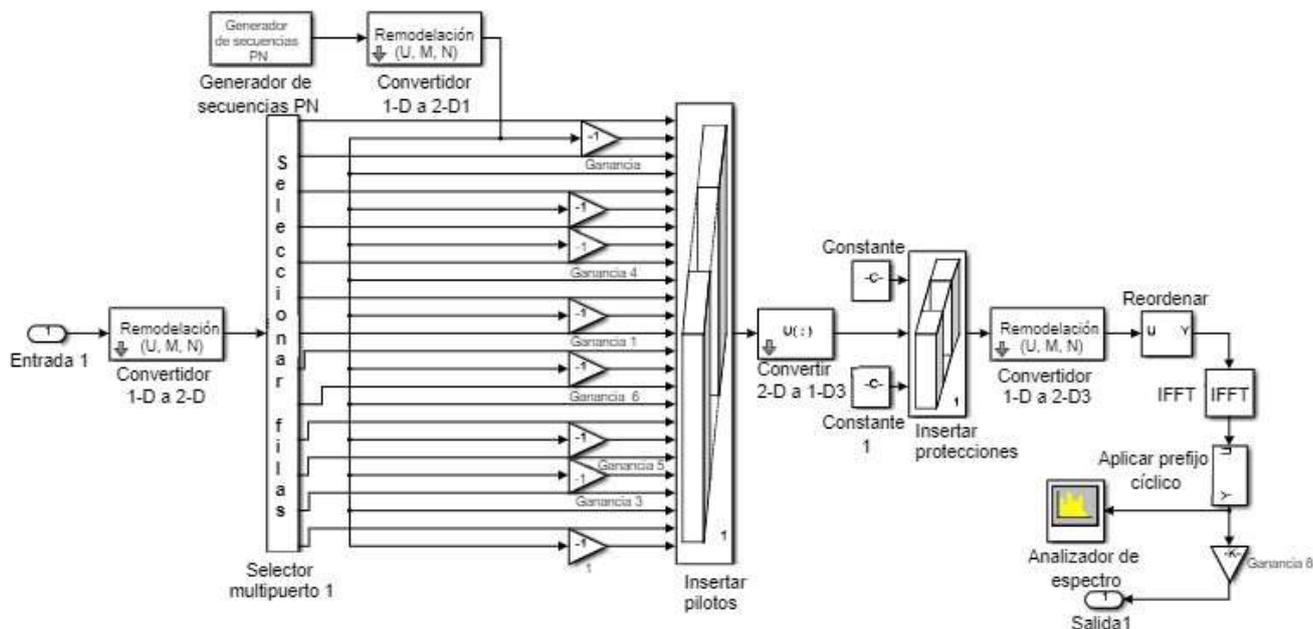
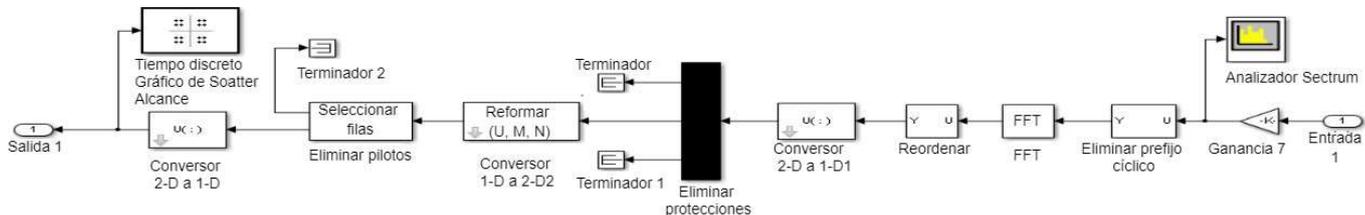


Figura 7 Receptor OFDM



En el receptor OFDM que se muestra en la figura 7, el símbolo recibido se reduce y el prefijo cíclico se elimina seleccionando la parte del mensaje. Luego, el mensaje recibido se transforma mediante transformada rápida de Fourier (FTT) para eliminar la ortogonalidad. Luego se retiran los guardias y posteriormente los pilotos. El flujo de datos restante luego se reorganiza en los 384 puntos de la constelación y luego se demodula utilizando un demodulador QPSK.

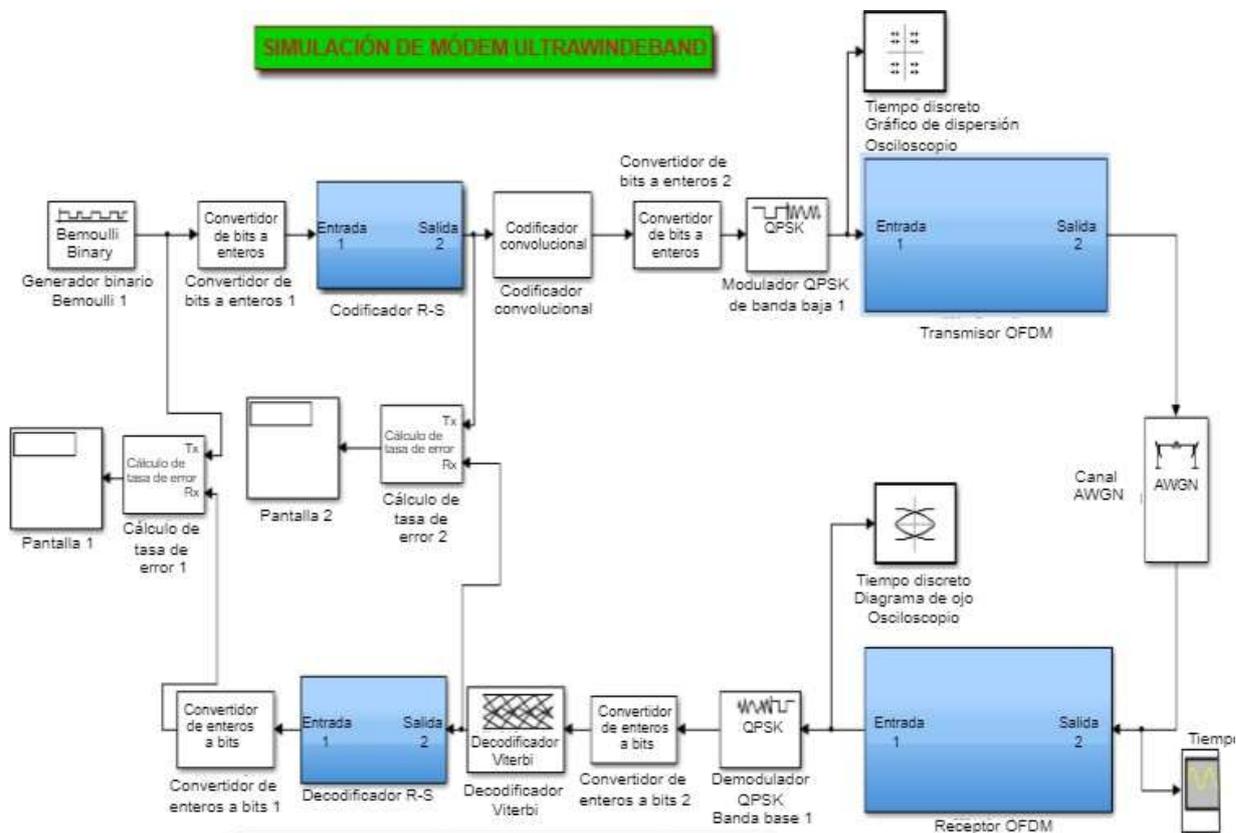
**El canal**

El tipo de canal utilizado aquí es el canal AWGN. Este canal añade ruido blanco gaussiano a la señal de entrada. Se simulan las SNR de 10 dB y 20 dB y se muestran los resultados.

**Diagrama de diseño general**

El diseño general se muestra en la Figura 8.

Figura 8 Diseño general



## Simulación

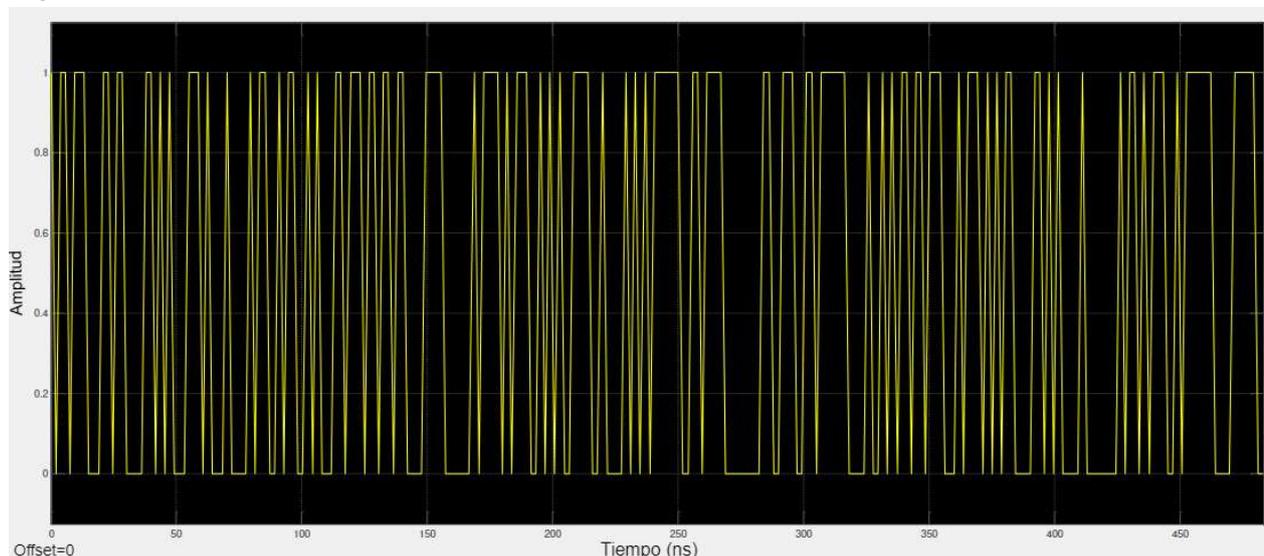
El conjunto de antenas se diseñó utilizando el software Ansoft HFSS 13.0. HFSS es un simulador de campo electromagnético de onda completa en 3D. Utiliza el método de elementos finitos junto con mallado adaptativo para resolver las ecuaciones de onda. Si se ha creado un modelo 3D, HFSS configura la malla automáticamente. HFSS calcula parámetros S, puede calcular y trazar la radiación del campo cercano y lejano y calcular parámetros importantes de la antena, como la ganancia y la eficiencia de la radiación. Este software se utilizó para variar los tamaños de los parches, las líneas de alimentación de microstrip y el plano de tierra para obtener los resultados deseados. La figura 4 ilustra el modelo de antena HFSS y la disposición de su placa de circuito impreso (PCB) se muestra en la figura 5.

## RESULTADOS

### Resultados para SNR=10dB

Las figuras 9 a 12 muestran la señal transmitida, la señal recibida, el cálculo de la tasa de error y el espectro de la señal, respectivamente, para SNR = 10 dB. La Figura 11 muestra que el cálculo de la tasa de error es 0,4102. Al comparar la señal transmitida (Figura 9) y la señal recibida (Figura 10), se puede concluir que existe alguna diferencia entre ellas debido al efecto del ruido.

**Figura 9** Señal transmitida



**Figura 10** Señal recibida

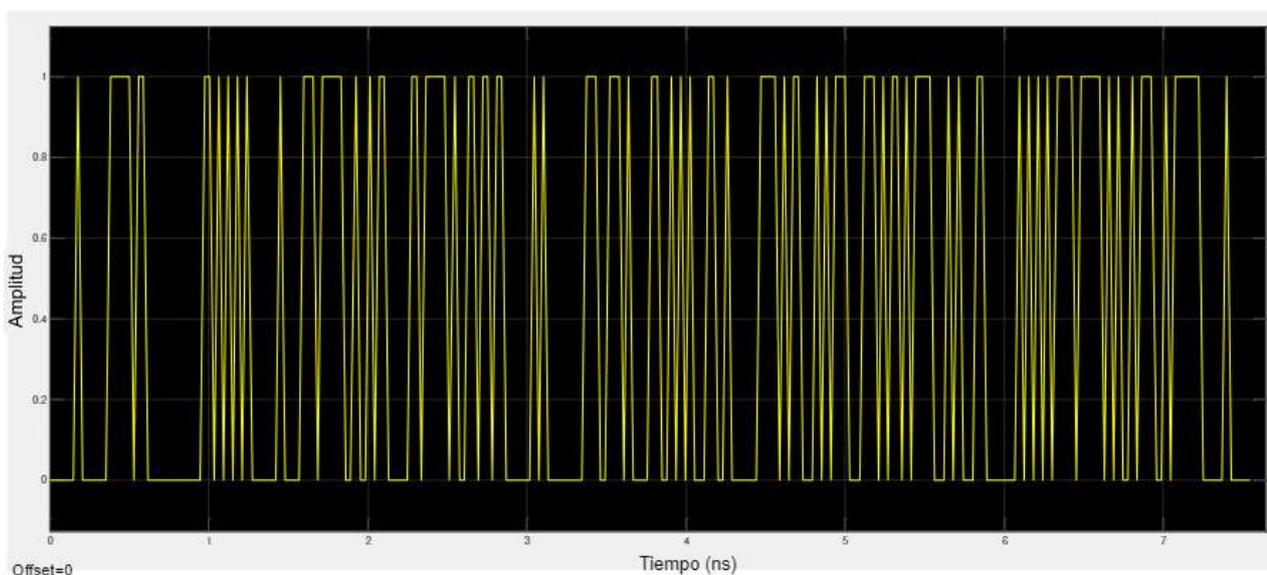


Figura 11 Cálculo de tasa de error

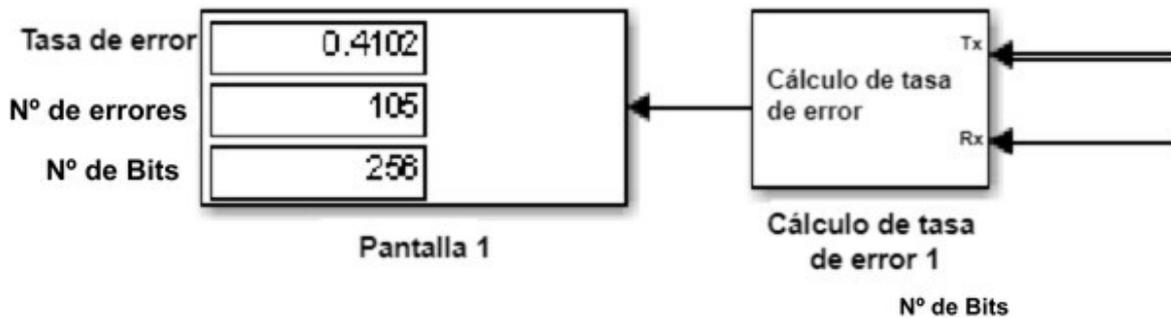


Figura 12 El espectro de señales

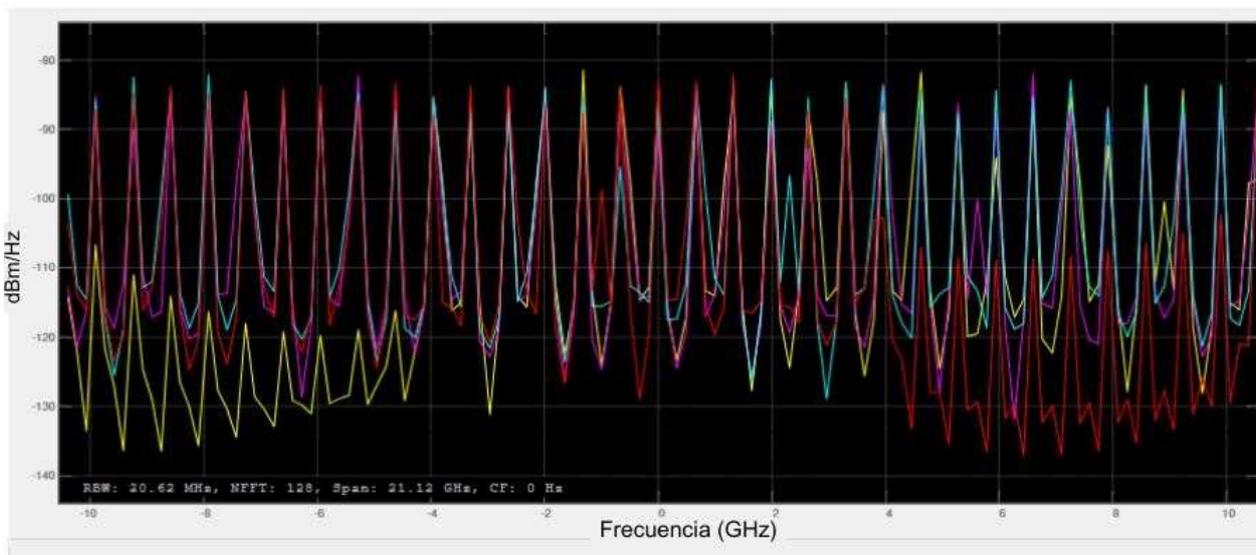
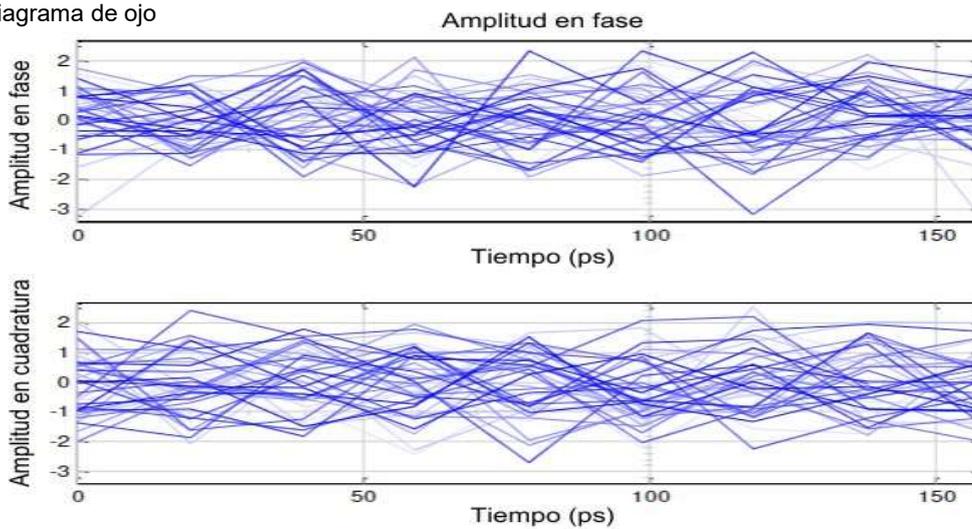
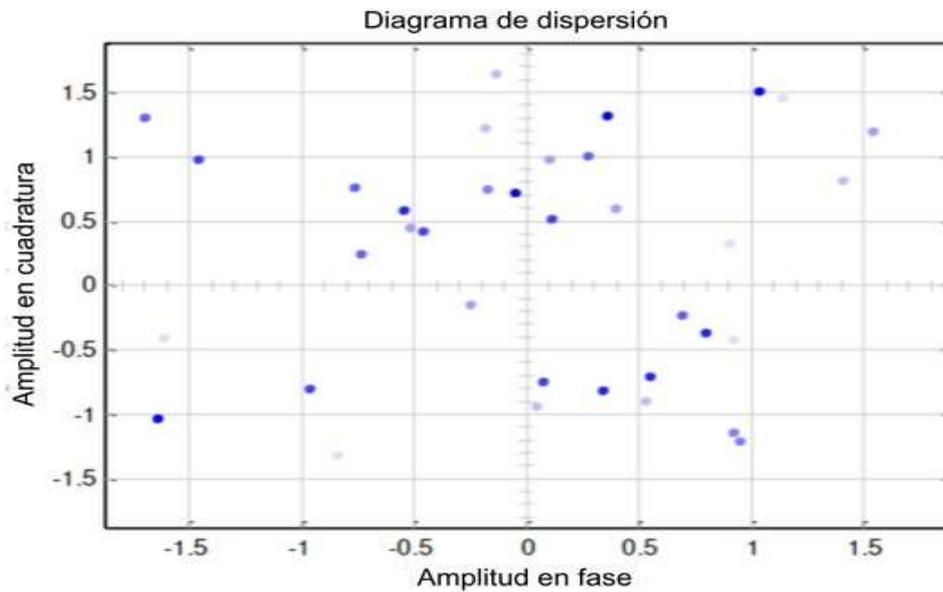


Fig.13 and Fig.14 show the eye diagram and time scatter plot for SNR=10dB. It seems from the two figures that there is distortion due to noise interference.

Figura 13 Diagrama de ojo



**Figura 14** Diagrama de dispersión temporal



**Resultados para SNR=20dB**

Las figuras 15 a 18 muestran la señal transmitida, la señal recibida, el cálculo de la tasa de error y el espectro de la señal, respectivamente, para SNR = 20 dB. En la figura 17, el cálculo de la tasa de error es cero debido a la alta SNR. Al comparar la señal transmitida y la señal recibida, se puede concluir que las dos señales son idénticas debido a que no contienen errores.

**Figura 15** Señal transmitida

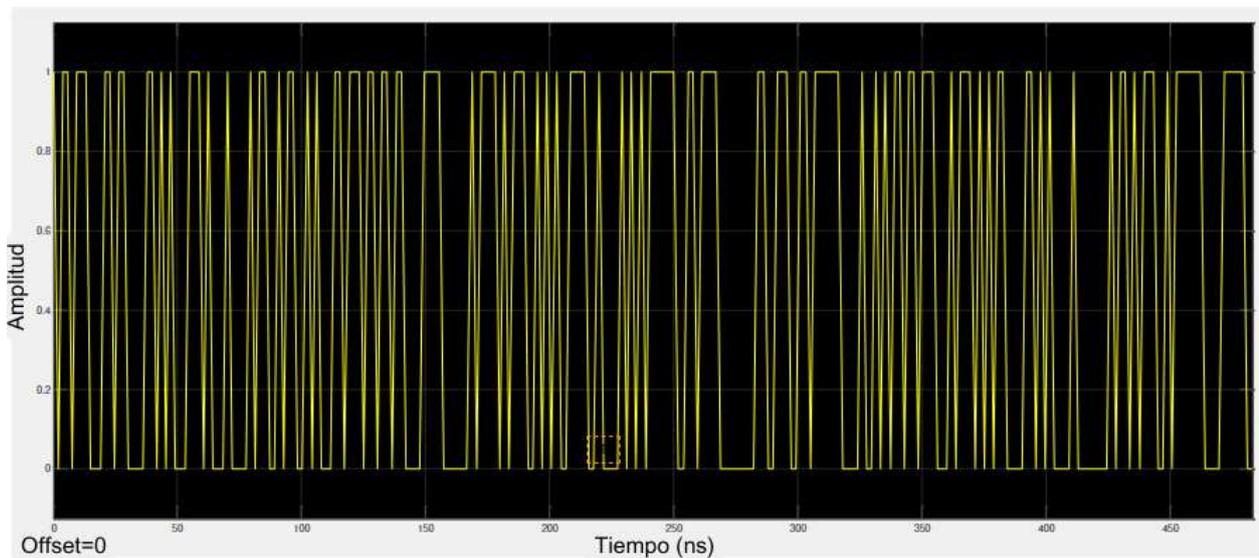


Figura 16 Señal recibida

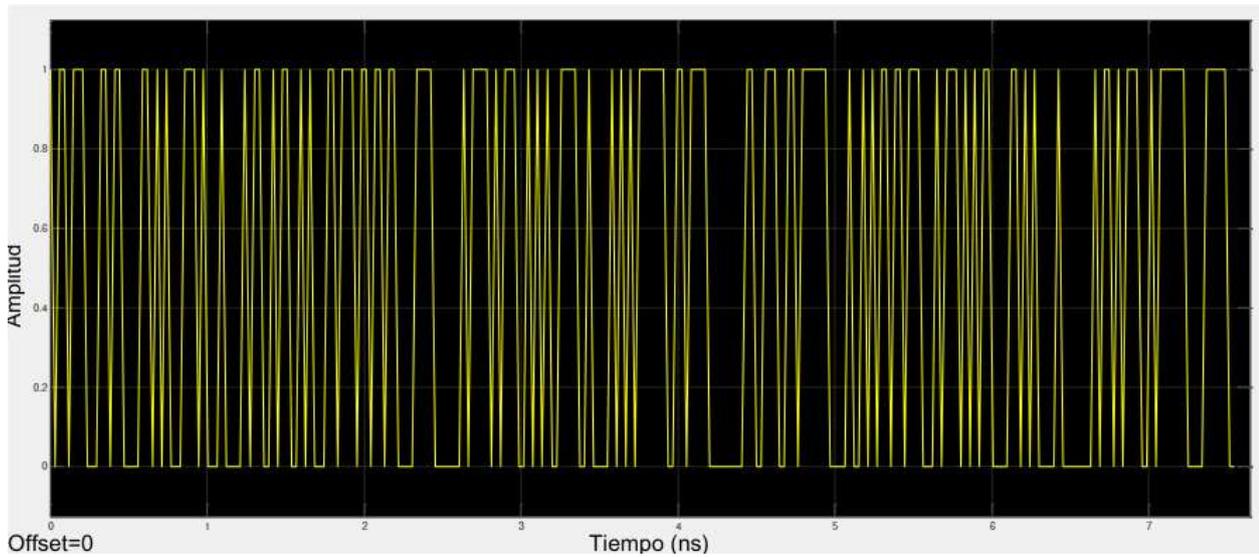


Figura 17 Cálculo de la tasa de error

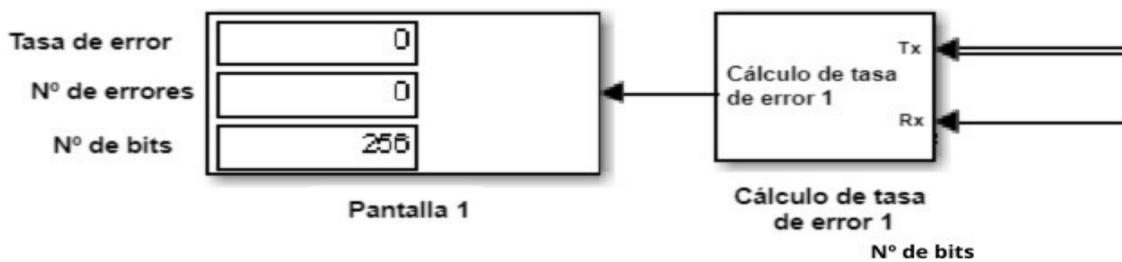


Figura 18 Espectro de señal

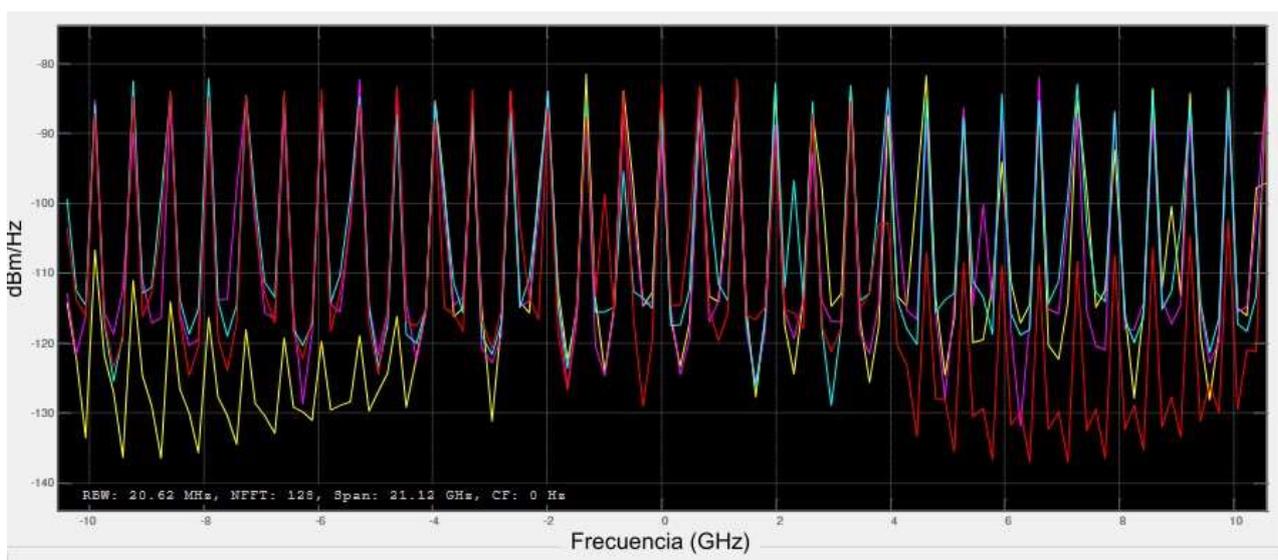


Figura 19 Diagrama de ojo

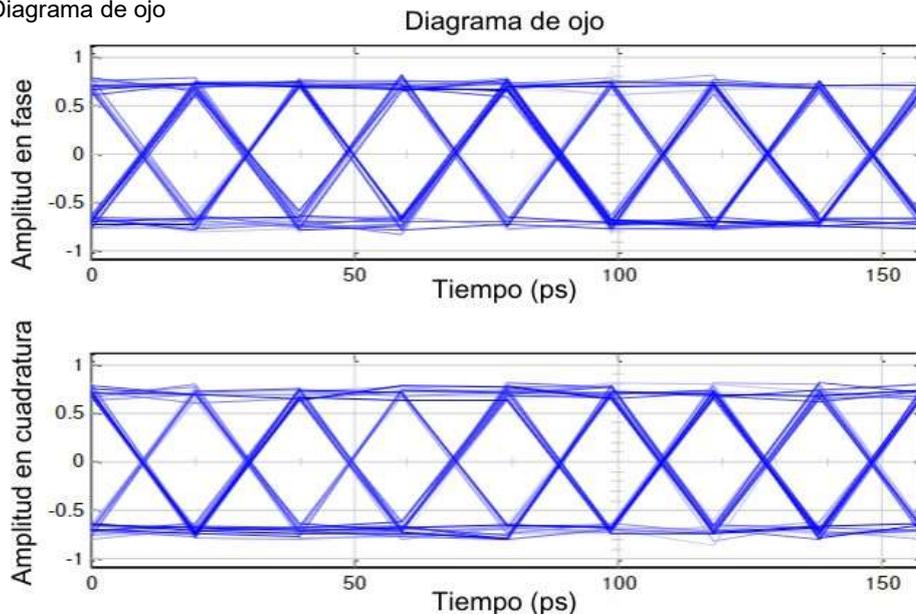
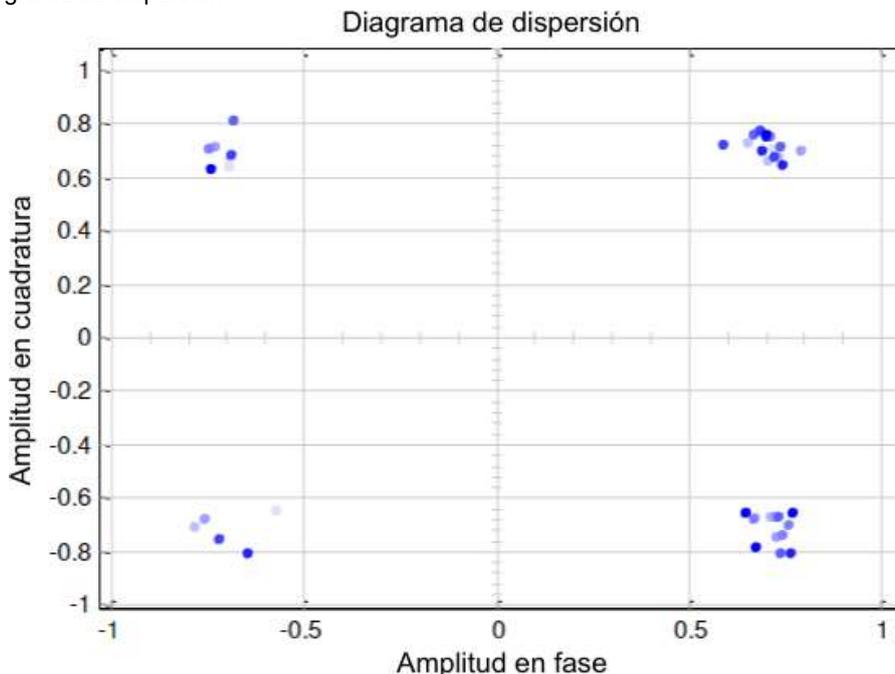


Figura 20 Diagrama de dispersión



## DISCUSIÓN

A partir de los resultados obtenidos, los diagramas de dispersión temporal y los diagramas de ojo muestran la interferencia de ruido. Cuanto más amplio sea el ojo, menor será la interferencia de ruido. Esto se demuestra aún más al observar los diagramas de dispersión: si los diagramas se distribuyen aleatoriamente, entonces la potencia del ruido es mayor que la potencia de la señal. Este análisis más los resultados muestran que para una banda ancha de transmisión determinada, el rendimiento del sistema mejora a medida que aumenta la SNR. Los cálculos de error realizados demuestran además que, efectivamente,

a medida que aumenta la SNR, es posible una transmisión sin errores

## CONCLUSIÓN

Este artículo estudió tanto los sistemas de comunicación inalámbrica UWB como las aplicaciones WBAN y luego diseñó y demostró un módem para usar en esas aplicaciones. La simulación del módem demostró que puede lograr una transmisión sin errores con una densidad espectral de potencia más baja y una velocidad de datos muy alta.

## REFERENCIAS

1. G. Crosby, et. al. , "Wireless body area networks for healthcare: A survey", International Journal of Ad hoc, Sensor & Ubiquitous Computing, Vol.3, No.3, 2012.
2. M. Samaneh, et. al.," Wireless body area networks: A survey", IEEE Communications Surveys and Tutorials,Vol.16, Issue 3, 2014.
3. G. Ragesh, and K. Baskaran , "An overview of applications, standards and challenges in futuristic wireless body area networks", International Journal of Computer Science Issues,Vol.9, Issue 1, No.2, 2012.
4. M. Abdulhamid, and O. Ben Sewe, " On the performance of UWB-WBAN modem", Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty, Vol.18, Issue 2, 2018.
5. E. Hamza, and R. Majeed,"MAC Protocol for UWB wireless body area networks", American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences, Vol.38,No.1, 2017.
6. M. Ali," Low power FM-UWB transmitter for wireless body area networks", Ph.D. thesis, Electronics Research Institute, Egypt, 2017.
7. O. Ben Sewe,"Ultra-wideband modem for wireless body area network applications", Graduation Project, Nairobi University, Kenya, 2014.

**Indicación de responsabilidad:** Declaro que todos los autores han participado en la construcción y elaboración del trabajo y se detallan las responsabilidades de cada autor en la realización del artículo.

**Financiación:** No hay financiación.

**Conflicto de interés:** Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en relación con esta investigación, autoría o publicación de este artículo.

**Cómo citar esse artículo:** Abdulhamid M.. Desempenho de Banda Ultralarga em um Sistema de Rede Corporal Sem Fio (UWB-WBAN) Sobre Canal de Ruído Gaussiano Branco Aditivo (AWGN). Latin American Journal of Telehealth Latin Am J telehealth, Belo Horizonte, 2022; 9 (3): 340 — 351. ISSN: 2175\_2990.