

Modelado de un sistema RF con corrección y detección de errores para una aplicación médica mediante un SoC nRF52832 Nordic Semiconductor

Iliak Flores Barrantes , iliak@estudiantec.cr

Brian Cordero Matamoros , gang8hn1@estudiantec.cr

Iran Medina Aguilar , iranmedina@estudiantec.cr

Ricardo Sánchez Calderón , ricardo052000@estudiantec.cr

Resumen—En este informe se describe el procesamiento de los datos de una prueba de esfuerzo para la cual se acondiciona la señal para su transmisión a través de un canal AWGN. Esto se realiza convirtiendo la señal analógica a una señal digital, agregando bits de codificación. El receptor es capaz de corregir los errores para finalmente presentar los datos obtenidos por el receptor y evaluar su fiabilidad con respecto a lo enviado.

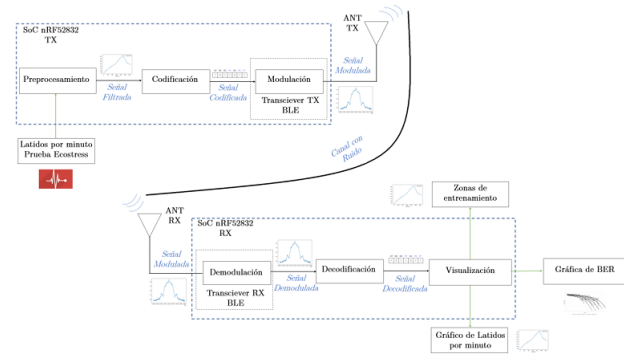


Fig. 1: Sistema de Radio Frecuencia a nivel general.[1]

I. INTRODUCCIÓN

La comunicación ha adquirido una relevancia vital en la actualidad, especialmente en campos como el de la salud, donde la presión de los dispositivos es de suma importancia. En el ámbito de la salud cualquier error en el proceso puede llegar a un mal diagnóstico, lo que puede llegar a ser fatal, por lo que el desarrollo de estos sistemas debe cumplir con estándares exigentes y que funcione de manera óptima. Por lo tanto, es fundamental que cada etapa se lleve a cabo con precisión y eficiencia para garantizar la integridad de cada individuo. En este sentido, la adquisición y análisis de datos son de suma importancia, al igual que el adecuado pre-procesamiento y la eliminación de ruido, así como la codificación correcta para detectar y corregir errores de transmisión en etapas posteriores.

II. METODOLOGÍA DE DESARROLLO

Para su modelado se toma una muestra de datos proveniente de una prueba Ecstress la cual consiste en someter al individuo a un esfuerzo físico y mediante una configuración de 12 electrodos y un monitor de ritmo cardiaco se visualizan diferentes datos. En este caso se realizó un modelado de un sistema prototipo RF como el que se observa en la Figura 1.

Dados los datos que se obtienen en la prueba Ecstress se lleva a cabo un análisis de datos para poder realizar el filtrado del ruido proveniente de la conexión alámbrica entre el monitor cardiaco y TX, posteriormente se codifica y se modula para poder realizar la transmisión.

II-A. Análisis de Datos

Para el análisis de datos se realizó un test de Anderson Darling, esto para determinar la desviación y el promedio de los datos obtenidos en la prueba Ecstress.

Además se realizó un histograma para poder visualizar la tendencia de los datos y comparar con lo obtenido en el test Anderson Darling.

Finalmente para el análisis de datos se realiza un test Grubbs para determinar si existen valores atípicos dentro del conjunto de datos, junto con un diagrama de caja para visualizar los valores atípicos en caso de que existan.

II-B. Preprocesamiento

En cuanto al preprocesamiento de datos se determinó que el método "The Simple Moving Average" es el más factible a implementar debido a su aplicación es el método que mejor se adapta.

II-C. Codificación

Para poder realizar la transmisión de la información por medio del canal, se hará con datos en una secuencia de bits. Estos bits representarán de forma de cada valor de BPM

en cadenas de 8 bits. Una vez hecho la conversión, se realiza la codificación tipo Hamming y que seguidamente se puedan ser enviados los datos al modulador. Para esto se toma en cuenta el Hamming (7,4) y el Hamming(15,11), para determinar el menor tiempo promedio.

II-D. Modulación

Con los datos ya codificados deben pasar por un bloque de modulación el cual permite la transmisión de los datos empleando tecnología BLE. Al ser bluetooth, emplea la modulación GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*) como se observa en la Figura 2. En este caso se realiza la modulación por medio del software *Matlab*.

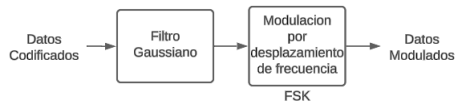


Fig. 2: Modulación GFSK.

II-E. Antena

Para el diseño de la antena se implementa un diseño de antena Meander, teniendo esta las características mas óptimas para el desarrollo del proyecto, con un diseño en zigzag que ayuda a disminuir su tamaño físico sin afectar en gran medida su desempeño. Se distinguen por su capacidad de ajustar la frecuencia de resonancia, tener una impedancia fija de 50 ohmios y generar polarización lineal, aunque también es posible diseñarlas para tener polarización circular.

II-F. Canal

Para el caso del bloque de canal, su función principal es el modelado de una manera aproximada a un canal de comunicación real, esto agregándole ruido AGWN, haciendo uso del software *Python* con una herramienta llamada *Komm* utilizando este paquete.

II-G. Demodulación

Con los datos ya recibidos del canal, deben pasar por un bloque demodulador el cual permite la correcta demodulación de las señal transmitida. Por lo que se emplea un demodulador GFSK (*Gaussian Frequency Shift Keying*). En este caso se realiza el demodulador por medio del software *Matlab*.

II-H. Decodificación

En esta sección se obtiene información del canal para realizar un análisis de los errores en el mensaje transmitido, con el objetivo de aplicar una decodificación y una corrección de errores haciendo uso de un código de *Python*. Para esto, nuevamente se toma en cuenta el Hamming (7,4) y el Hamming(15,11), dependiendo de cual se haya elegido en la codificación, para poder recibir los bits de forma correcta.

II-I. Visualización

En esta etapa se visualiza el análisis de los datos de la prueba ecostress junto con los resultados de la transmisión y recepción de la señal. Además, se genera un gráfico de BER para la codificación utilizada, finalmente se realiza la comparacion de dos curva en un mismo gráfico utilizando métricas como RMSE y el Pbias, que determina el porcentaje de error entre ambas señales.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

III-A. Análisis de Datos

De la prueba Ecotress se obtiene un set de datos de 1260 muestras de pulsaciones por minuto, las cuales fueron tomadas cada 10 segundos. Para estos datos se agregó ruido con el objetivo de modelar la conexión alámbrica entre el monitor de ritmo cardiaco y TX. Para el análisis de datos se utiliza para estadísticas para determinar métricas tales como valores promedio, desviación estándar y cantidad de muestras de los datos recopilados. Para esto se realizó un test de Anderson Darling como se muestra en la Figura 3, esto para obtener la información acerca la distribución específica de los datos.[2]

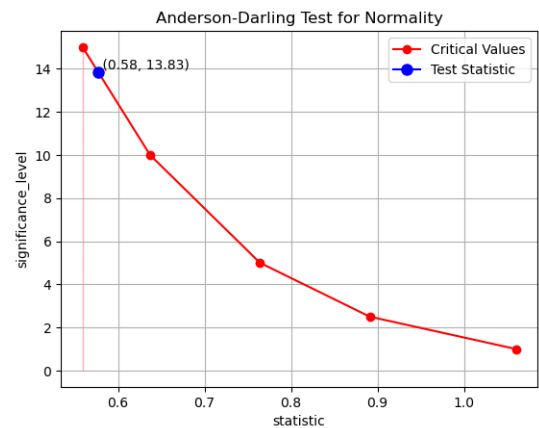


Fig. 3: Anderson-Darling, distribución normal.

Para lo que se obtuvo:

| | |
|---------------------|---------------------|
| P_{value} | =13,82617384324461 |
| Desviación Estándar | =19,649260779008685 |
| Media | =129,15458577437957 |

Ya que la media, la desviación estándar y el valor p están dentro de los aceptados, la media concuerda con los valores vistos desde la gráfica, además, su desviación estándar presenta una distribución normal respaldada por la prueba de Anderson, por lo que se determina que los valores son correctos para ser usados, ya que el valor p es mayor que el nivel de significancia. El valor p de la prueba es 0.58, que es mayor que el nivel de significancia del 5%. Esto significa que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula de que los datos son normales además el gráfico no muestra ninguna tendencia significativa en los valores del estadístico de prueba. Esto indica que los datos no se desvían significativamente de la normalidad en ningún punto específico.

En el histograma de los datos, se muestra en la Figura 4 de esta forma se puede visualizar la tendencia de los datos.

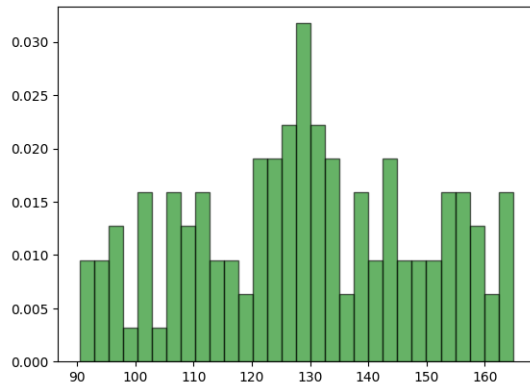


Fig. 4: Histograma de los datos recopilados.

Dado que los datos presentan una distribución normal al analizar el histograma se espera una tendencia a una curva gaussiana lo cual se ve reflejado en la figura, pero al presentar una varianza alta se presenta una cola a la derecha la cual indica la presencia significativamente mayor de valores por encima de la mediana.

Finalmente, para el análisis de datos se determina la existencia de valores atípicos mediante el test de Grubbs y se observó su el diagrama de caja de la Figura 5.

Para lo que se obtuvo:

| | |
|-----------------------|---------------------|
| Estadística de Grubbs | =1,9704916580841614 |
| Valor Critico | =3,463693519739313 |
| Outlier | =False |

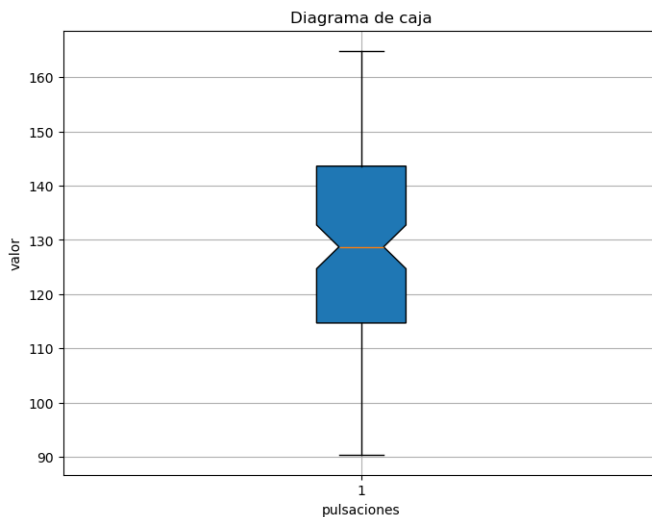


Fig. 5: Diagrama de caja.

Visto desde el diagrama de caja no se encuentran outlier ya que los valores son normales, la desviación estándar no es demasiado grande por lo cual la probabilidad de un outlier es muy baja, como lo demuestra el diagrama de caja hecho con el conjunto de datos obtenido, la línea roja indica que el valor de la media es mayor a la mediana lo cual indica que la mayoría de

valores están por encima de las 129 ppm, los bigotes presentan un IQR de 20 y la no presencia de datos dentro de esa franja indica que los datos presentan una desviación estándar baja.

III-B. Preprocesamiento

Al aplicar el filtro *Moving Average* obtenemos el resultado de la señal filtrada, como se observa en la Figura 6.

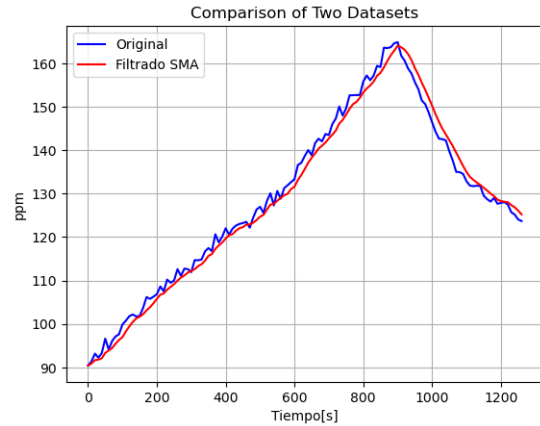


Fig. 6: Señal filtrada.

Dada la gráfica se observa que la curva de ajuste con ese método es apegada a la gráfica original, pero eliminando el ruido lo cual es una ventaja al hacer el análisis de datos, el filtro es efectivo ya que conserva las características de la onda pero eliminando los picos y sin atenuar de manera significativa la amplitud ni retrasar la onda.

III-C. Codificación

Para la codificación se reciben los datos con la señal ya filtrada, convierte el dato recibido en valor entero y además lo convierte en un número binario de 8 bits, para este caso se pondrá un ejemplo que obtiene un valor de 25.38394, este dato se redondea a 25, convertido en binario de 8 bits tenemos que 25 es 00011001, seguidamente se realiza la codificación de Hamming, en el primer caso realizamos la codificación Hamming (7,4) en este caso sería para el 000110001, añadiendo los bits de paridad obtenemos un resultado de 1101001 0011001, separando cada 4 bits del mensaje original, ahora para la codificación Hamming (15,11) obtenemos como resultado en este caso 010000101001000[3]. En el caso de los datos sobre la prueba de Ecotress ya con la señal filtrada y haciendo al menos 200 ejecuciones del script para tener el tiempo promedio de la ejecución se obtuvo:

| | |
|--------------------------------------|-----------------------|
| Tiempo promedio para Hamming (7,4) | =0,00212955117225647 |
| Tiempo promedio para Hamming (15,11) | =0,001289280652999878 |

Por lo que podemos afirmar que se obtuvo un mejor tiempo promedio de ejecución a la hora de realizar la codificación Hamming (15,11).

III-D. Modulación

En el caso de la modulación como se explico anteriormente se realiza con una modulación GFSK debido a que es un sistema con tecnología BLE. Se realiza la modulación con la herramienta de *Matlab*[4], haciendo uso de la función:

$$gfskMod = comm.CPMModulator(...$$

Para lo cual obtenemos la modulación de la señal codificada por Hamming (15,11), de esta manera ya pueden ser transmitidos los datos por el canal. El tiempo promedio de modulación es de 0.0027 segundos.

III-E. Antena

El elemento MM8130-2600 corresponde a una base receptora de cable de antena o un conector de cable coaxial, el cual es usado en muchos proyectos ya que presenta una solución fácil y rápida para adaptar antenas a las placas, eliminando la necesidad de una antena en el circuito integrado o en la placa, como referencia la figura 7, además esta presente en una versión smd lo cual representa una gran ayuda para el diseño de la placa, dicho componente presenta una impedancia característica de 50Ω para evitar reflexión de la onda hacia el generador, presenta sujeción del cable de la antena mediante presión lo cual a largo plazo puede generar fallas pero ya que dicho componente no se ve sujeto a movimientos fuertes no afecta su funcionamiento.

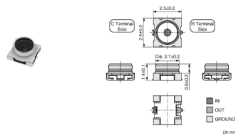


Fig. 7: Conector de cable coaxial MM8130-2600

Implementación de antena: dada la topología de la implementación se concederán las antena plana de tipo I y la topología plana de tipo meander de las cuales ambas se adaptan a la frecuencia del canal a la cual se requiere trabajar, además de presentar patrones de radiación similares con la diferencia de la potencia y la atenuación que sufre la misma y dado que el sistema busca ser implementado en paliaciones médicas se escoge la topología de tipo meander la cual ofrece mejores características para dicha aplicación, como se demuestra en el siguiente cuadro:

| Característica | Antena L | Antena Meander |
|-------------------------|----------------------------|--|
| Patrón de radiación | Dona | Dona |
| Frecuencia | 2.45MHz | 2.45MHz |
| Características | Menor tamaño Menos área | Mayor ancho de banda menor atenuación |
| Respuesta en frecuencia | Muesca mas fina | Muesca mas amplia |

Para la antena escogida se presenta un factor de radiación de dona, el cual se presenta en la siguiente figura 8 en la cual dada la forma en la que se tomo la captura no se aprecia la forma del mismo, dicha figura fue tomada usando el software HFSS program el cual es un simulador de campos de ondas electromagnéticas el cual también provee los parámetros S_{1-1}

de la antena 9, las cuales se ven afectadas por la puesta a tierra de en el plano top lo cual ayuda a que la antena tenga mejor eficiencia ya que refleja las ondas que reincident en la antena y baja la impedancia, aumenta la directividad de la antena, reduce el ruido y facilita la fabricación. El uso de un sustrato flexible tiene varios cambios en la antena ya que presenta una disminución de la directividad, aumentando el lóbulo lateral de la antena y así cambiando su frecuencia de resonancia e inestabilizando el patrón de radiación de antena, por lo cual los cambios resultan ser negativos la aplicación requerida. El uso de Rogers Materials presenta una mejor adaptación ya presenta mejor respuesta en altas frecuencias, presenta mayor flexibilidad y tiene un mejor rendimiento general ya que FO-4 se ve afectado a altas frecuencias, tiene mayor permisividad y perdidas dieléctricas mas altas, por otro lado el Rogers Materials presenta mayor complejidad de fabricación pero mejores características eléctricas.

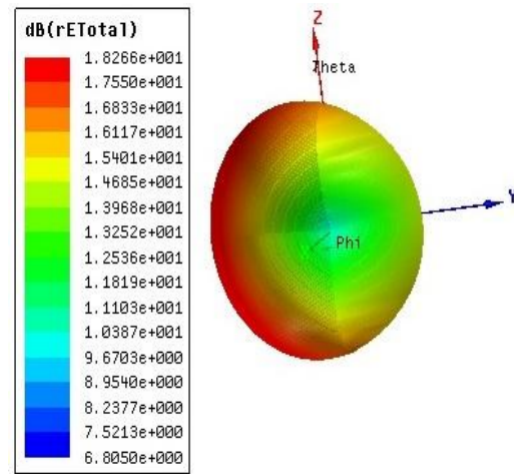


Fig. 8: Patrón de radiación para la antena meander

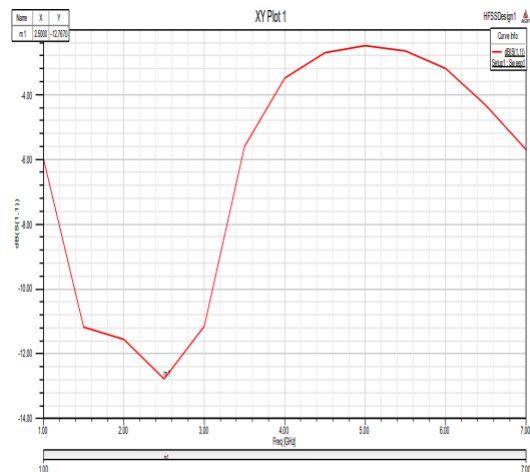


Fig. 9: Parámetros S_{1-1}

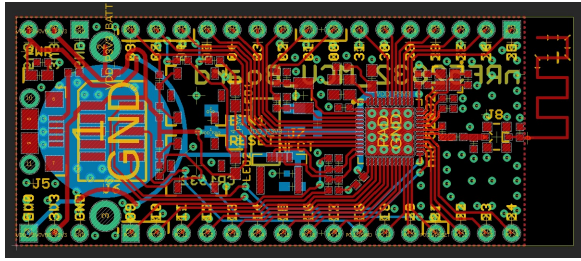


Fig. 10: Diseño PCB con antena en software Eagle.

III-F. Canal

Para el canal se agrego ruido AWGN para realizar el modelado de un canal de comunicación, de esta manera se puede modelar el *Fading*[5] el cual en este caso que utiliza tecnología BLE, se puede presentar como interferencia de otros dispositivos, obstáculos en el ambiente de uso, como también lo puede ser el cuerpo humano. Además, el modelado de la señal ante el efecto *Multipath* que puede llegar a atenuar la señal y presentar *fast fading* y *slow fading*.

III-G. Demodulación

En el caso del demodulador similar a la modulación, se realiza con un demodulador GFSK al ser de tecnología BLE. Se realiza el demodulador con la herramienta de *Matlab*[4], haciendo uso de la función:

`gfskDemod = comm.CPMDemodulator(...`

Para lo cual obtenemos la demodulación de la señal recibida del canal. El tiempo promedio del demodulador de ejecución del código es de 0.0809 segundos.

III-H. Decodificación

Para el bloque decodificador se obtienen los valores del BER, como se puede observar en la en la Fig. 11 esto para el decodificador Hamming seleccionado.

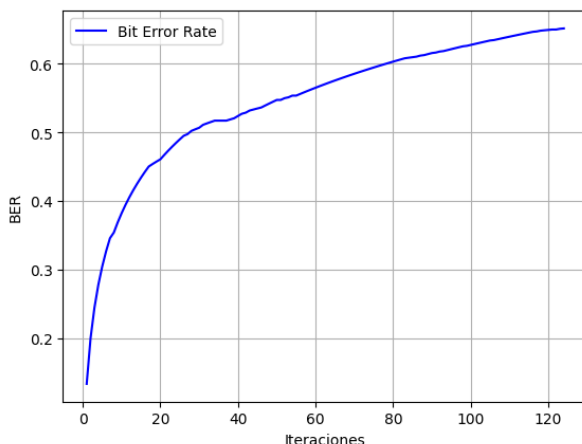


Fig. 11: Gráfica del BER.

III-I. Visualización

Al realizar la visualización, se obtiene la tabla de las zonas de entrenamiento, además se obtiene la gráfica de los datos recuperados de la señal como se observa en la Fig. 12 en la cual se puede comparar con los datos enviados en los cuales son muy similares. Además en esta simulación se obtuvo un tiempo de script de 0.2746s.

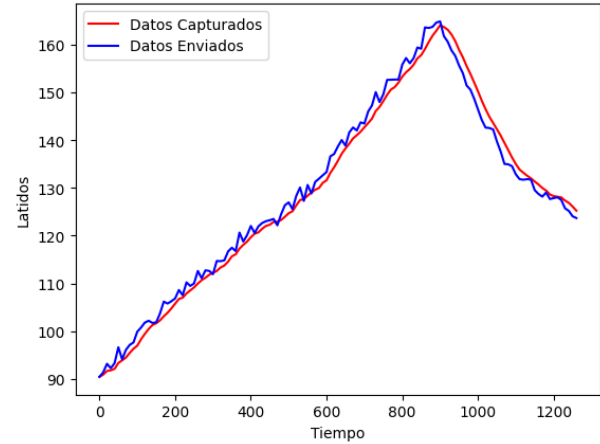


Fig. 12: Latidos por Minuto de datos recuperados.

IV. CONCLUSIONES

Se puede apreciar el buen funcionamiento del canal ya que logra simular las condiciones más generales de un canal real, demostrando su eficacia. Además, se logra recuperar los datos de la mejor manera, teniendo un buen desempeño en la aplicación, logrando desarrollar un modelado casi real de un sistema de radiofrecuencia utilizado en el campo de la medicina. La efectividad del sistema fue confirmada por la simulación del canal, su modulación, codificación y la recuperación de datos, resaltando además su utilidad en contextos de salud. Este proyecto demuestra que el modelado y la simulación pueden ser herramientas efectivas para avanzar en tecnologías de salud, mejorando la planificación y optimización de sistemas de comunicación en aplicaciones médicas críticas.

V. RECOMENDACIONES

- Realizar simulaciones de la antena para validar su correcto funcionamiento con el diseño seleccionado.
- Optar por un SNR de gran magnitud puede asegurar una buena detección de los errores y realizar su debida corrección.
- Seleccionar el método de codificación y decodificación que asegure una mayor corrección de errores, debido a la aplicación tan precisa que se necesita.

REFERENCIAS

- [1] Arriola. S. Navarro. F. *Proyecto Final: Modelado de un sistema RF con corrección y detección de errores para una aplicación médica mediante un SoC nRF52832 Nordic Semiconductor*, 2024 [En línea]. URL: https://tecdigital.tec.ac.cr/dotlrn/classes/E/EL5522/S-1-2024.CA.EL5522.1/file-storage/view/semanas%2Fsemana-7-y-8%2FProyecto_TCE_2024.pdf

- [2] Minitab, LLC. *Interpretar todos los estadísticos y gráficas para Prueba de normalidad*, 2024 [En línea]. URL: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/normality-test/interpret-the-results/all-statistics-and-graphs/>
- [3] Tervo, R. University of New Brunswick. *Error Correction and the Hamming Code*, 2016 [En línea]. URL: <https://www.ece.unb.ca/tervo/ece4253/hamming.shtml>
- [4] The MathWorks, Inc. *Modulate signal using CPM method*, 2024 [En línea]. URL: <https://ww2.mathworks.cn/help/comm/ref/comm.cpmmodulator-system-object.html>
- [5] The MathWorks, Inc. *Fading Channels*, 2024 [En línea]. URL: <https://la.mathworks.com/help/comm/ug/fading-channels.html>