

## Transmisión de datos con Xbee Pro de impedancia eléctrica obtenidos con Arduino

Yessica Joselin Palacios-Mogica, Melesio Reyes-Pérez,  
María Guadalupe Jiménez-Serrano, Juan Prado-Olivarez,  
Javier Díaz-Carmona, José Alfredo Padilla-Medina,  
Mauricio Saavedra-Magueyal, Alejandro Israel Barranco-Gutiérrez

Tecnológico Nacional de México en Celaya,  
México

{israel.barranco,m2303054,m2303055,  
m2303056}@itcelaya.edu.mx

**Resumen.** La principal materia prima de la inteligencia artificial y redes neuronales son los datos que debe procesar. Este artículo pone a prueba el sistema de comunicación inalámbrica ZigBee con el apoyo de Arduino Mega. Con el fin de cuantificar las ventajas y desventajas del uso de esta tecnología muy poco utilizada en general. Esta tecnología se aplicó para transmitir la impedancia medida por un microcontrolador Arduino Uno, siendo el Xbee el único encargado de la comunicación inalámbrica. El sistema fue sometido a diferentes experimentos con distintas condiciones para revisar su alcance real y sus posibles limitaciones. Por ejemplo, se utilizaron diferentes entornos de prueba con y sin obstáculos a diferentes distancias. Esto permitió observar experimentalmente sus ventajas e inconvenientes. Se observó que la mejor velocidad de transmisión de este protocolo es de 115200 bps, debido a que al utilizar diferentes frecuencias la comunicación tendía a fallar, en forma de ruido, falsos positivos, o información cortada.

**Palabras clave:** Comunicación inalámbrica, impedancia, zigbee, xbee.

### Data Transmission with Xbee Pro of Electrical Impedance Obtained with Arduino

**Abstract.** The main raw material of artificial intelligence and neural networks is the data it must process. This article evaluates the ZigBee wireless communication system with the support of Arduino Mega. In order to quantify the advantages and disadvantages of using this technology, truly little is used in general. This technology was applied to transmit the impedance measured by an Arduino Uno microcontroller, being the Xbee the only one in charge of the wireless communication. The system was subjected to different experiments with different conditions to review its actual range and possible limitations. For example, different test environments with and without obstacles at different distances were used. This allowed us to experimentally observe its advantages and disadvantages. It was observed that the best transmission speed of this

protocol is 115200 bps, because when using different frequencies, the communication tended to fail, in the form of noise, false positives, or cut information.

**Keywords:** Wireless communication, impedance, ZigBee, XBee.

## 1. Introducción

La Inteligencia Artificial (IA) se basa principalmente en datos o información para funcionar de manera efectiva. Muchos de los algoritmos de IA requieren grandes cantidades de datos para aprender patrones, hacer predicciones o tomar decisiones. Los datos se utilizan para entrenar modelos de IA a través de técnicas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo. Cuanta más cantidad y calidad de datos se proporcionen a un algoritmo de IA, generalmente mejor será su rendimiento [1].

Es importante destacar que la calidad de los datos y la forma en que se recopilan, procesan, transmiten y utilizan también son aspectos cruciales en el desarrollo de sistemas de IA efectivos [2]. Por lo que la gestión adecuada de los datos es fundamental en el desarrollo y la implementación de soluciones de IA [3].

Por otra parte, la comunicación inalámbrica ha incrementado su relevancia en los últimos años debido a la gran cantidad de sensores y actuadores electrónicos que utilizamos los seres humanos para la vida diaria [4]. Desde aplicaciones médicas, industriales y en el hogar [5, 6]. Esto debido a que permite la transmisión de datos y energía sin la necesidad de cables, lo que puede simplificar la instalación y reducir costos en aplicaciones donde los cables son inconvenientes o imprácticos [7,8,9].

En medicina, la transmisión inalámbrica de impedancia eléctrica se utiliza en técnicas como la tomografía por impedancia eléctrica (TIE), que permite construir imágenes en tiempo real de la distribución de la conductividad eléctrica en tejidos biológicos del cuerpo humano [10]. Esto es útil para la monitorización de la función pulmonar, la detección de cáncer y/o la monitorización de la deshidratación.

También en el ámbito industrial, la medición de la impedancia eléctrica inalámbrica puede ser útil para el monitoreo y control de procesos, como la detección de niveles de líquidos en tanques, la calidad de los cables utilizados en coches y electrodomésticos, la monitorización de la calidad del suelo en la agricultura o la inspección de materiales [11]. En el hogar, la transmisión inalámbrica de impedancia eléctrica puede usarse en dispositivos como cepillos de dientes eléctricos, ritmo cardíaco, oxigenación, nivel de hidratación en sistema de bajo costo [12].

El trabajo presentado en este artículo reporta la adquisición de datos y transmisión inalámbrica de los mismos para que en una etapa posterior del proyecto se construya un sistema de inteligencia artificial (IA) que analice los mismos. Aquí mostramos como Arduino obtiene la impedancia de dispositivos de valores conocidos y las transmite inalámbricamente con una confiabilidad alta en los rangos que se explican posteriormente.

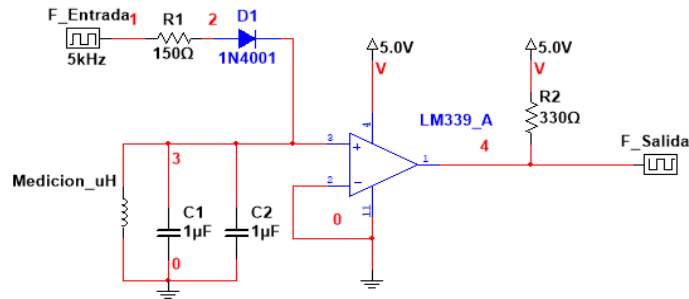


Fig. 1. Diagrama eléctrico que muestra las entradas y salidas del comparador.

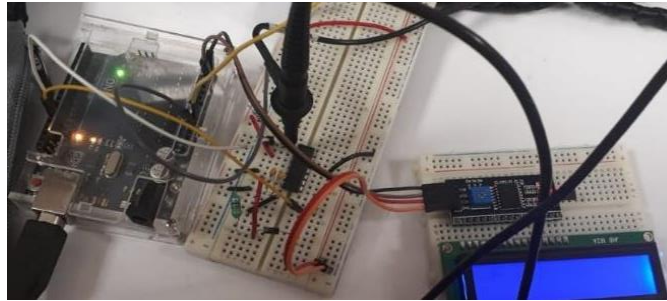


Fig. 2. Circuito armado en Arduino.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Medición de impedancia eléctrica con Arduino

Para medir la impedancia eléctrica, el microcontrolador Arduino inyecta una señal de pulsos cuadrados de 5 volts a 5 KHz al comparador LM339, la salida del comparador crea un pulso cuadrado con periodo relacionado con la impedancia del elemento a medir como se aprecia en la Fig. 1. En la Fig. 2 podemos observar el circuito comparador instalado en el protoboard, la pantalla LCD y su interfaz conectado al Arduino. Estos elementos se enlistan en la tabla 1 para mayor detalle.

Los cálculos mencionados anteriormente se basan en la ecuación (2) que surge de la relación de resonancia de un circuito LC indicado en ecuación (1). La frecuencia en nuestro caso es de 5 KHz y la capacitancia es de 2 microfaradios:

$$F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (1)$$

$$L = \frac{1}{4\pi^2 F_R^2 C}, \quad (2)$$

En la fig.3 se puede observar la zona donde se realizaron los experimentos de comunicación, el lugar donde se realizaron fue en el instituto tecnológico de Celaya. El

**Tabla 1.** Lista de elementos utilizados para construir el circuito medidor de impedancia.

Placa de desarrollo	Arduino Uno
Circuito integrado	Comparador LM339
Capacitor no polarizado	microfaradios
Resistores	150 ohmios y 330 ohmios
Diodo semiconductor	1N4001
Pantalla LCD	I2C
XBee	2 XBee pro

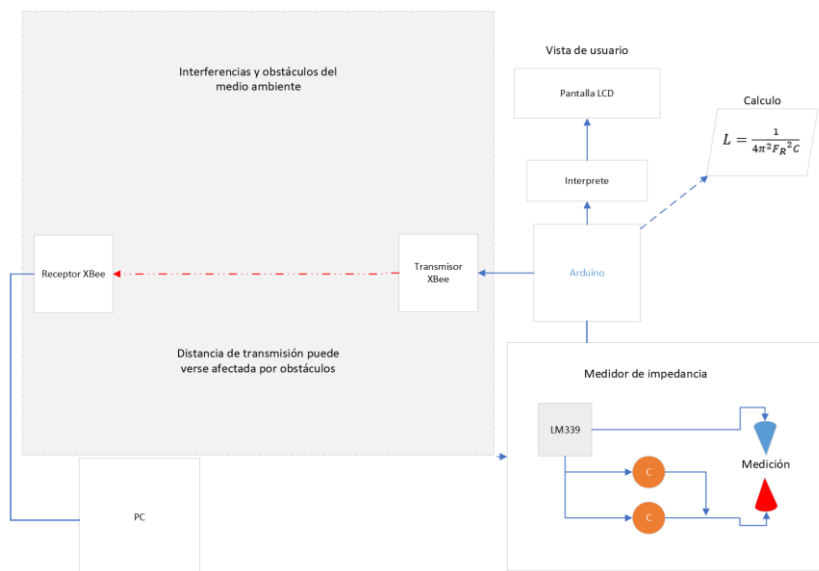


**Fig. 3.** Lugar de experimentos en vista satelital, en amarillo la distancia entre el receptor y transmisor de los experimentos.

primer experimento se realizó en la cancha de fútbol principal desde la entrada hasta la zona de árboles. El segundo experimento se realizó en el edificio de salones llamados 10 y el último experimento se realizó entre los salones del edificio en forma de H (diagonal al segundo experimento).

## 2.2 Comunicación ZigBee (Módulo XBee)

La comunicación ZigBee tiene varios beneficios como: alcance, confiabilidad, configuraciones de red, enlaces dedicados. En comparación con otros protocolos de comunicación como WIFI, por lo que es conveniente utilizar esta tecnología. También compatibilidad de su protocolo serial con Arduino proporciona facilidad de uso ya que se presenta con una interfaz simple y con sencillez de integración a múltiples proyectos. Respecto al consumo energético se considera que cuenta con bajo consumo de potencia



**Fig. 4.** Diagrama del circuito de transmisión de la medición de impedancia.

eléctrica, alrededor de 6.73 mW [13]. Otro aspecto realmente positivo que considerar es la fiabilidad de los datos transmitidos [9, 14]. En el diagrama de la Fig. 2 podemos observar como el circuito está integrado por los módulos de comunicación XBee para establecer la comunicación inalámbrica, el medio ambiente, el medidor de impedancia, la pantalla LCD y el microcontrolador central que conecta a todos los elementos.

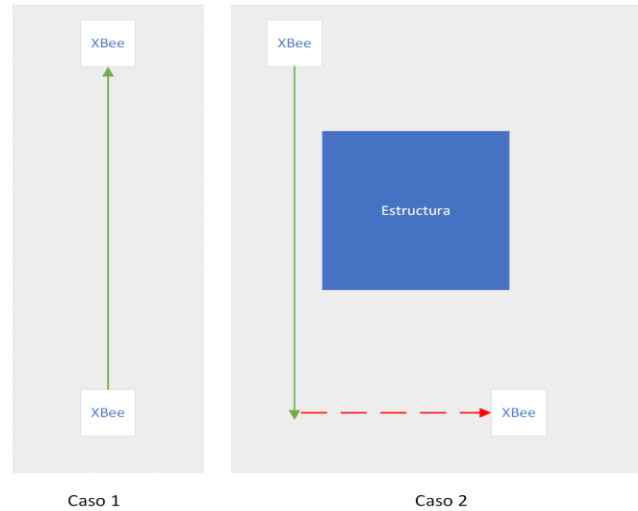
En la Fig. 4 ilustra como dos electrodos miden la impedancia de un inductor o un capacitor y como el Arduino uno inyecta una señal oscilatoria cuadrada al amplificador operacional con la finalidad de medir los tiempos entre la señal de entrada y la señal de salida con base en esta información en el Arduino se calcula la impedancia y estos datos son transmitidos inalámbricamente utilizando los Xbee pro para visualizarlos a distancia en una computadora conectada al Xbee receptor. Para verificar que la información sea correcta se colocó una pantalla LCD a Arduino uno.

En la Fig.5 se muestran los tres tipos de experimentos que se realizaron para poner a prueba la comunicación con los Xbee. En el primer caso tenemos al receptor y al transmisor con línea de vista directa, es decir sin obstáculos entre ellos. En el segundo caso con obstáculos entre transmisor y receptor.

### 3. Resultados

En la tabla 2, podemos observar diferentes experimentos realizados con los módulos Xbee pro. Se cambiaron las condiciones de los experimentos para observar la calidad de la comunicación.

En la última columna se tiene la evaluación de la comunicación, para esto se utilizó la transmisión de un bit el cual encendía un led, donde se comprobó que por medio de la comunicación a través del teléfono celular de persona a persona era verídico; es decir,



**Fig. 5.** Diagrama del circuito de transmisión de la medición de impedancia.

cuando el transmisor informaba que había enviado un uno lógico digital el receptor se encargaba de confirmar que coincidiera la información con un led conectado al Xbee pro, si coincide la información se consideraba la calidad de comunicación buena, de lo contrario se consideraba mala.

#### 4. Discusión

Un aspecto peculiar de este proyecto es la medición rápida de la impedancia. Debido a que la medición se realiza cíclicamente en microsegundos la comunicación forzosamente debe darse en los mismos tiempos, es decir, la comunicación debe ser muy rápida porque sucedió que cuando apenas se estaba enviando un dato por los xbee, el Arduino ya tenía varias mediciones en espera de enviarse. Esto impedía el buen funcionamiento del sistema. Por lo que tuvimos que utilizar la velocidad mayor en el experimento. En distancias cortas menores a 90 metros podemos garantizar que el sistema completo funciona correctamente a pesar de que existan obstáculos como edificios, personas y árboles. Respecto a la medición de impedancias, solamente se probó con inductores en un rango de 1 micro Henrio hasta 1 mili Henrio.

#### 5. Conclusiones

Se obtuvo un sistema inalámbrico de medición de impedancia eléctrica funcional, probado con inductores a diferentes inductancias y se transmitieron los datos a diferentes distancias con y sin obstáculos. Probando así la eficiencia del protocolo de comunicación Zigbee en condiciones de baja densidad de datos. Se recomienda aplicar para velocidades en el orden de los milisegundos hasta los microsegundos. Se halló que la velocidad de generación de datos es alta y por tanto la velocidad de transmisión de

**Tabla 2.** Comparativa de calidad de la comunicación inalámbrica con Xbee pro en diferentes condiciones.

Velocidad de comunicación	Distancia entre módulos Xbee	Obstáculos	Calidad de la comunicación
115200 bps	hasta 90 metros	sin obstáculos	Buena
115200 bps	hasta 50 metros	sin obstáculos	Buena
115200 bps	hasta 15 metros	sin obstáculos	Buena
115200 bps	hasta 10 metros	con obstáculos	Buena
57600 bps	No Aplica	No aplica	Mala

datos también lo debe ser. En un futuro próximo este trabajo se utilizará para hacer mediciones de bioimpedancia para detectar cáncer de mama.

## Referencias

- Lázaro-Mata, D., Morales-Viscaya, J.A., Peralta-Lopez, J.E., Gomez-Cortes, J.C., Padilla-Medina, J.A., Martínez-Nolasco, J.J., Barranco-Gutiérrez, A.I.: Neural Network for Improve ORB-SLAM2 on XZ plane. In: 2023 IEEE 14th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference, pp. 0380–0386 (2023). DOI: 10.1109/UEMCON59035.2023.10316049.
- Ponce-Cruz, P.: Inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería, Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México (2010)
- Habib, F., Shirazi, S.H., Aurangzeb, K., Khan, A., Bhushan, B., Alhussein, M.: Deep Neural Networks for Enhanced Security: Detecting Metamorphic Malware in IoT Devices. IEEE, vol. 12, pp. 48570–48582 (2024). DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3383831.
- Singandhupe, A., Manh La, H., Feil-Seifer, D.: Reliable Security Algorithm for Drones Using Individual Characteristics from an EEG Signal, IEEE Access, Vol. 6 (2018). DOI: 10.1109/ACCESS.2018.2827362.
- Halder, T., Roy, B.: Design of a Weather Adoptive and Traffic Adoptive Wireless LED Street Light Control Scheme. In: 2024 IEEE 3rd International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication, pp. 186–191 (2024). DOI: 10.1109/CIEC 59440.2024.10468073.
- Boikanyo, K., Zungeru, A.M., Sigweni, B., Yahya, A., Lebekwe, C.: Remote Patient Monitoring Systems: Applications, Architecture, and Challenges. Scientific African, Vol. 20, pp. e01638 (2023). DOI: 10.1016/j.sciaf.2023.e01638.
- Méndez-Gurrola, I.I., Ramírez-Reyes, A., Barranco-Gutiérrez, A.I.: A Review and Perspective on the Main Machine Learning Methods Applied to Physical Sciences. Acta Polytechnica Hungarica, vol. 19, no. 10, pp. 205–220 (2022)
- Morales-Viscaya, J.A., Alonso-Ramírez, A.A., Castro-Liera, M.A., Gómez-Cortés, J.C., Lazaro-Mata, D., Peralta-López, J.E., Barranco-Gutiérrez, A.I.: Fuzzy Model Parameter and Structure Optimization Using Analytic, Numerical and Heuristic Approaches. Symmetry, vol. 15, no. 7, pp. 1417 (2023). DOI: 10.3390/sym15071417.
- Khan, M.A., Jha, A.K.: Comparative Analysis of ZigBee and Xbee Wireless Sensor Networks. In: 2016 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA), pp. 996–1000 (2016)
- Gutiérrez-Lopez, M., Prado-Olivarez, J., Matheus-Troconis, C., Padilla-Medina, A., Barranco-Gutiérrez, A.I., Espinosa-Calderon, A., Díaz-Carmona, J.: A Case Study in Breast Density Evaluation Using Bioimpedance Measurements. Sensors, vol. 22, no. 7, pp. 2747 (2022). DOI: 10.3390/s22072747.

11. Chandra, S., Mahto, A.: Performance Analysis of ZigBee PRO and XBee PRO S2B Radios for Different Topologies in Wireless Sensor Networks. In: 2014 International Conference on Computing for Sustainable Global Development, (INDIACom), pp. 120–125 (2014)
12. Chou, J.C., Chen, J.T., Liao, Y.H., Lai, C.H., Chen, R.T., Tsai, Y.L., Chou, H.T.: Wireless Sensing System for Flexible Arrayed Potentiometric Sensor based on XBEE Module. *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 14, pp. 5588–5595 (2016). DOI: 10.1109/JSEN.2016.2570285.
13. Horvat, G., Sostaric, D., Žagar, D.: Response Surface Methodology based Power Consumption and RF Propagation Analysis and Optimization on XBee WSN Module. *Telecommunication Systems*, vol. 59, pp. 437–452 (2015). DOI: 10.1007/s11235-014-9904-5.
14. Calvo, I., Abrahams, S., Barambones, O., Chouza, A., Velasco, J., Sáez de Ocáři, I., Quesada, J.: A Comparison of Wired and Wireless Technologies for Control Applications. *Actas de las XXXIX Jornadas de Automática, Área de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Extremadura*, pp. 538–545 (2018). DOI: 10.17979/spudc.9788497497565.0538.