

Detección y monitoreo de elementos en espacios interiores basados en tecnología ZigBee

Reyna-García Belmont, María del Consuelo-Puente Pérez, Erika Concepción-Calderón García, Eric-Castillo Hernández, Miguel Ángel-Díaz Medina.

^a Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, reyna.gb@tlalnepantla.tecnm.mx, Tlalnepantla de Baz, Edo. De México, México.

^b Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, maria.pp@tlalnepantla.tecnm.mx, Tlalnepantla de Baz, Edo. De México, México.

^c Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, erika.cg@tlalnepantla.tecnm.mx, Tlalnepantla de Baz, Edo. De México, México.

^d Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, eric.hc@tlalnepantla.tecnm.mx, Tlalnepantla de Baz, Edo. De México, México.

^e Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, madiaz0819@gmail.com, Tlalnepantla de Baz, Edo. De México, México.

Resumen

Las funcionalidades de los sistemas de localización en interiores han sido un objeto de estudio durante varios años, sin embargo, no han alcanzado el éxito como los sistemas empleados en exteriores como es el caso del GPS, Galileo y GLONASS. Los motivos generalmente han sido técnicos debido a que la mayor parte de los proyectos utilizan gran cantidad de infraestructuras fijas que involucran sensores, puntos de control, conexiones, dispositivos, etc., lo que afecta de manera significativa el costo, sin embargo, este tipo de sistemas cobran cada día más importancia. Por lo que el presente proyecto propone diseñar el prototipo de un sistema de localización interna basado en la tecnología ZigBee, al establecer una red de dispositivos para la detección y monitoreo en tiempo real de elementos en movimiento en espacios interiores, buscando un bajo costo, mayor precisión y cobertura.

El desarrollo del prototipo es importante ya que permite identificar la mejor forma de probar e identificar posibles errores en el diseño de un sistema de localización incorporando tecnología ZigBee la cual puede ser aplicada a diversos proyectos no sin antes garantizar la comunicación y correcto funcionamiento entre componentes, dando la posibilidad de construir escenarios donde el monitoreo de objetos o personas sea necesario, tales como guarderías, escuelas, centros comerciales o industrias, con el fin de analizar su comportamiento y orientar su uso para la toma de decisiones, además de aprovechar las ventajas de esta tecnología en materia de seguridad, optimización y administración.

Palabras clave— Monitoreo, Sistemas de posicionamiento local, Tecnologías inalámbricas, Zigbee.

Abstract

The functionalities of indoor location systems have been an object of study for several years; however, they have not

achieved success as the systems used outdoors such as GPS, Galileo and GLONASS. The reasons have generally been technical because most of the projects use many fixed infrastructures involving sensors, control points, connections, devices, etc., which significantly affects the cost, however, this type of systems become increasingly important. Therefore, this project proposes to design the prototype of an internal location system based on ZigBee technology, by establishing a network of devices for the detection and real-time monitoring of moving elements in indoor spaces, seeking low cost, greater accuracy and coverage.

The development of the prototype is important since it allows to identify the best way to test and identify possible errors in the design of a location system incorporating ZigBee technology which can be applied to various projects not if before guaranteeing communication and correct operation between components, giving the possibility of building scenarios where the monitoring of objects or people is necessary, such as nurseries, schools, shopping centers or industries, in order to analyze their behavior and guide their use for decision making, in addition to taking advantage of this technology in terms of security, optimization and administration.

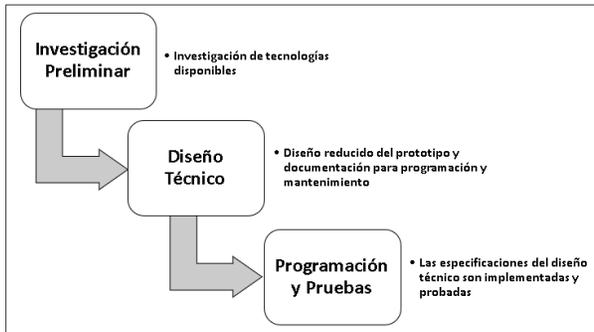
Keywords— Monitoring, Local Positioning Systems, Wireless Technologies, Zigbee.

1. INTRODUCCIÓN

El avance de la tecnología moderna ha hecho sencilla la localización de objetos o personas a través del surgimiento de diversas aplicaciones que permiten conocer su ubicación exacta con el fin de mejorar servicios en diversos sectores como en la agricultura, topografía, robótica, exploración, entre otras. Para la implementación de este tipo de sistemas es necesario considerar el modelo de negocio, ideas, metodologías y/o tecnologías innovadoras en busca de espacios de mercado.

En particular el uso de los sistemas de localización se realiza en espacios abiertos y cerrados; sin embargo, en los sistemas interiores requieren de una inversión mayor en comparación de uno de espacios abiertos, debido al tipo de tecnología a emplear. La finalidad de este trabajo consiste en el diseño de un prototipo de una red de sensores para la detección y monitoreo de elementos en movimiento en espacios interiores realizada a través de una placa de control Arduino [1] y el protocolo de comunicación ZigBee [2], buscando la creación de un prototipo de bajo costo que se pueda implementar en lugares que demanden el monitoreo, tales como guarderías, escuelas, hospitales y desde luego en la industria. Para el desarrollo de este trabajo se consideró la metodología "Desarrollo orientado a prototipos" [3] modificada para un producto hardware-software, como se indica en la figura 1.

Fig. 1. Desarrollo Orientado a Prototipos.



Fuente: Elaboración propia a partir de [3].

Con respecto a la figura 1 las fases contempladas para el desarrollo del prototipo son:

- Investigación preliminar
- Diseño técnico
- Programación y pruebas

La fase que se considera más relevante corresponde a la definición de requerimientos, la cual es un proceso que busca aproximar la idea que se tiene a un producto que cubra las expectativas.

2. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

La finalidad de construir un prototipo es que a través de su diseño y construcción se pueda testear, medir y mejorar una idea [4] con la finalidad de hacer énfasis en lo que se desea obtener y, sobre todo, identificar el contexto.

2.1 Sistemas de Posicionamiento

Los sistemas de posicionamiento hoy día se emplean para diversas tareas de diferentes ámbitos en la economía, estos sistemas apoyan a determinar la ubicación y desplazamiento de objetos o personas, el empleo de un tipo de posicionamiento depende del interés en particular de la actividad y de los objetivos que se persiguen en concreto. Los sistemas de posicionamiento han logrado desarrollar diversos tipos de aplicaciones y herramientas para empresas de todos los sectores profesionales, incluso existen empresas dedicadas a este tipo de soluciones tecnológicas como proveedoras a otras empresas que utilizan la localización en sus productos y servicios [5]. Los tipos de tecnologías de posicionamiento se pueden clasificar básicamente en dos tipos como se muestra en la Tabla 1.

Los sistemas de posicionamiento global (GNSS) se basan en el empleo de tecnologías de satélite. Las coordenadas, la velocidad y la dirección del movimiento se determinan mediante GPS, GLONASS o satélites de otros sistemas de navegación (Galileo, Beidou) [6]. En este tipo de aplicaciones se requiere de equipar las instalaciones con dispositivos de

seguimiento e implantar el hardware de control en las empresas.

Tabla 1. Tipos de Sistemas de Posicionamiento.

Tipo de Posicionamiento	Precisión	Tecnología Empleada	Ventajas
Global (GNSS)	de 2 a 6 metros	GPS, GLONASS, o satélites de otros sistemas de navegación (Galileo, Beidou)	Eficaz solo en zonas descubiertas con una recepción segura de la señal. No requiere de crear infraestructuras adicionales.
Local (RTLS)	Zonal de hasta 20 metros con una precisión de 0.1 a 3 metros	Wi-Fi, Bluetooth, RFID, ZigBee, nanoLOC, UWB, así como las infrarrojas, ultrasónicas, ópticas entre otros	Permite localizar objetos en el interior de instalaciones, debajo de la tierra y en zonas donde es imposible el uso de sistemas de posicionamiento global.

Fuente: Elaboración propia a partir de [5].

Los sistemas de posicionamiento local (RTLS) están diseñados para estimar la posición de objetos o personas en entornos de límites fijos que deriva información de posicionamiento que es clave para proveer servicios en la industria, entretenimiento, monitorización de personas mayores [5]. Los tipos de sistemas implementados son de inversiones mayores en comparación de los sistemas de posicionamiento global, debido a que requieren de infraestructuras necesarias (redes alámbricas, etiquetas, puntos de acceso, antenas, etc.).

2.2 Sistemas de Posicionamiento Local

Los Sistemas de posicionamiento local son una alternativa diseñada para funcionar en espacios cerrados y dentro de las posibilidades que se disponen actualmente, se basan en señales sensoriales como Radio Frecuencia (RF) e Infrarrojo (IR) que pueden ser utilizadas como balizas, las cuales se comportan como satélites de interior, de igual forma la tecnología ultrasónica ha contribuido en significantes logros, como su bajo costo y precisión dejando con ello un exponencial desarrollo de crecimiento [7]. Existe una taxonomía de los diversos sistemas, con varias posibilidades en el diseño, las cuales se basan en aspectos como: la tecnología física que los sustenta, la privacidad del usuario, la precisión obtenible y los métodos matemáticos de estimación. Dado lo anterior se realizó una investigación de diferentes tecnologías con el fin de evaluar sus características [7]. Las herramientas consideradas fueron las siguientes:

- WiFi. Wireless Fidelity, esta tecnología inalámbrica es utilizada para la transmisión de datos a través de internet basada en ondas de radio. Las frecuencias que se utilizan son de 2.4 GHz y 5 GHz. Este modo de detección se basa en el registro de Media Access Control Identifier (MAC ID). A través del tiempo WiFi ha ido evolucionando y

actualmente WiFi 6 ofrece una mayor velocidad (pasando por una velocidad máxima de 6933 Mbit/s del WiFi 5 o 802.11), mejor rendimiento, mayor capacidad para tener varios dispositivos conectados y una mejor eficiencia energética [8].

- b) Bluetooth. Es una tecnología de transferencia de voz y datos que hace posible conectar varios dispositivos y que intercambien información entre ellos de manera cómoda y sencilla, opera en un ambiente multi-usuario. Dado que cada enlace es codificado y protegido contra interferencia y pérdida de enlace, Bluetooth puede considerarse como una red inalámbrica de corto alcance muy segura [9].
- c) ZigBee. Es un protocolo de comunicación inalámbrico que hace uso de ondas de radio de baja energía para permitir que ciertos dispositivos se comuniquen entre sí de tal manera que es posible crear una pequeña red inalámbrica con dispositivos que se conectan entre sí a través de una red en malla. Utilizan un lenguaje de comunicación común entre ellos sin necesidad de que cada uno esté conectado al router de manera individual. Para ello, es necesario el uso de un puente o hub, un dispositivo que será el que se conecte a Internet y el encargado de repartir la señal entre el resto de los dispositivos conectados a él [9]. El análisis de las tecnologías propuestas se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparativa de Tecnologías

Tecnología	WiFi	Bluetooth	Zigbee
Estándares	WiFi 802.11 ax	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Tasa de transmisión	54 Mbps	1Mbps	250 kbps
Frecuencia	2,4GHz y 5GHz	2,4GHz	2,4GHz
Consumo de energía	40 ma transmitiendo 20 ma en reposo	40 ma transmitiendo 0.2 ma en reposo	30 ma transmitiendo 3 ma en reposo
Interferencia	Baja	Media	Baja
Alcance Máximo	50 m	50-150 m	100 m
Costo	Alto	Bajo	Bajo
Ventaja Principal	Gran ancho de banda	Interoperatividad, sustituto del cable	Batería de larga duración, bajo costo
Desventaja Principal	No garantiza calidad y seguridad de servicio	El indicador de fuerza de la señal recibida no es preciso por lo que no se puede estimar el grado de cercanía.	La señal fluctúa conforme cambian las condiciones del área
Principales Aplicaciones	Navegar por internet, redes de ordenadores, transferencia de archivos	Wireless, USB, móviles, informática casera	Control remoto, productos dependientes de la batería, juguetería

Fuente: Elaboración propia a partir de [10].

Al analizar las características de las tecnologías mencionadas Zigbee es una alternativa viable para el diseño de un prototipo

debido a que cuenta con las características necesarias para competir por el mercado de tecnologías utilizadas para la localización en tiempo real en interiores gracias a que posee un amplio radio de alcance. Zigbee maneja la comunicación a través de una red de sensores o actuadores, estas comunicaciones se realizan con pequeños paquetes de datos para enviar información de un sensor o simplemente para controlar el estado de los sensores, lo que permite que los dispositivos se mantengan en un estado de reposo y activarse al detectar algo [10]. Las principales características de los sensores que trabaja Zigbee son:

- Consumo de potencia bajo
- La posibilidad de estar en reposo durante grandes periodos de tiempo
- Bajo costo

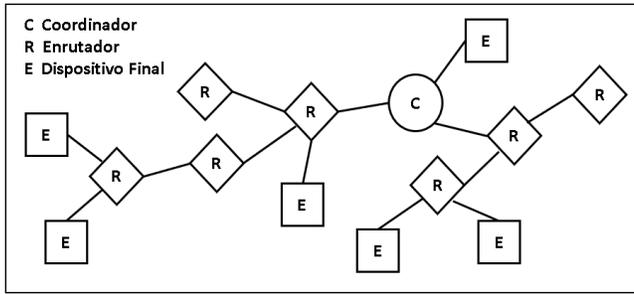
Con respecto a las otras tecnologías, Zigbee en una buena opción para realizar el monitoreo de elementos en espacios cerrados con un bajo costo de conexión inalámbrica y que sobre todo permite la recolección de información para su posterior análisis.

3. DISEÑO TÉCNICO

El objetivo de esta etapa es obtener un prototipo inicial, por lo que el interés radica en la funcionalidad de este, sin embargo, se trabaja con el rediseño tratando de mejorar esa funcionalidad y documentar el proceso para ayudar a las mantenencias futuras [3]. Para el diseño del prototipo de posicionamiento en espacios cerrados, existe una taxonomía de diversos sistemas, es decir, muchas posibilidades en el diseño, las cuales se basan en aspectos como: la tecnología física que los sustenta, la privacidad del usuario, la precisión obtenible y métodos matemáticos de estimación.

ZigBee describe un protocolo inalámbrico normalizado para la conexión de una Red de Área Personal Inalámbrica (WPAN) sustentado en el estándar IEEE 802.15.4, el cual proporciona flexibilidad de la red, bajo costo y bajo consumo de energía; este estándar se puede utilizar para muchas aplicaciones domóticas e industriales, donde se requiere una baja tasa de transmisión de datos. La capa red se construye sobre las características de la capa MAC del estándar IEEE 802.15.4, para permitir una mayor cobertura, por lo que nuevas redes podrán ser adicionadas para consolidarse o dividirse según se requiera, llegando a constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos, con la posible alternativa de utilizar diferentes topologías como malla, árbol y estrella [11]. Los elementos que componen una red ZigBee se muestran en la figura 2.

Fig. 2. Estructura de una red Zigbee.



Fuente: Imagen tomada de [11].

Donde:

- El coordinador gestiona el conjunto de la red siendo el responsable de esta, proporciona seguridad al almacenar y distribuir las claves de la red, además como parte de su función elige el canal que utilizarán los dispositivos para comunicarse y otorgará los permisos entre ellos. Este elemento necesita ser alimentado de manera constante [12].
- El enrutador actúa como nodo intermedio entre el coordinador y los dispositivos finales, siendo su tarea principal redirigir el tráfico, así como retransmitir y recibir datos al igual que los controladores, estos dispositivos deben estar siempre activos y alimentados de manera constante [11].
- Los dispositivos finales son generalmente elementos que existen dentro de la red, normalmente son dispositivos de baja potencia y alimentados por batería como los sensores. Estos dispositivos solo cuentan con la capacidad de poder comunicarse en la red a través de los enrutadores. A diferencia de los otros dos tipos de elementos éstos pueden permanecer dormidos la mayor parte del tiempo lo que permite el ahorro de energía [11].

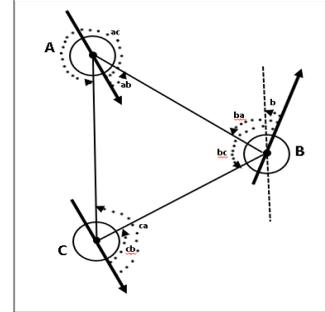
Considerando los elementos para establecer el canal de comunicaciones y el PAN ID (identificador de red) para la red se consideró lo siguiente:

- Placas Arduino Mega [13].
- Sensores XBee final.
- Sensor XBee coordinador.
- Construcción de la Baliza

Para el diseño existen diversas técnicas que estructuran los principios de funcionamiento y establecen la estimación de la ubicación entre un nodo de destino y una red de nodos de referencia. Entre esas técnicas están ToA (Tiempo de Llegada), TDoA (Diferencia en Tiempo de llegada) y AoA (Ángulo de Llegada), los cuales comprenden tanto las coordenadas de referencia como las de destino y un rango de estimación de error que se reduce con base en la cantidad de nodos de acuerdo con la topología de la red [14]. Para efectos de este trabajo se consideró el método AoA [14].

La estimación de Ángulo de Llegada (Angle of Arrival - AoA) ofrece una estimación de la localización con tres estaciones base (antenas) [14], cada una compuesta de un arreglo de células o pequeñas antenas dispuestas de tal forma que cubran los 360° de visión, esto mediante el cruce de las líneas rectas de posición, como se puede observar en la figura 3.

Fig. 3. Estructura de una red Zigbee.



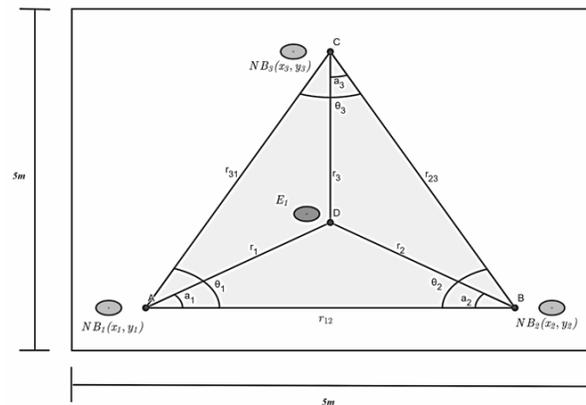
Fuente: Imagen tomada de [15].

Cuando un dispositivo se encuentra cerca de una de las antenas, se captura la señal del objeto que quiere ser ubicado, la antena se encarga de determinar la dirección de donde proviene la señal, es decir, mide el ángulo con el que llega y traza la línea en la cual se encuentra el dispositivo con otra antena cercana, se trazará una segunda línea, finalmente la posición del dispositivo se fijará en el punto de intersección de ambas, esto se determina por medio de cálculos trigonométricos y geométricos, principalmente con el uso del teorema del coseno indicada en la ecuación 1.

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos(A) \quad [1]$$

Las tres balizas del prototipo se encuentran uniformemente distribuidas en el área de prueba con una distancia de 5 metros entre ellas, la posición de cada baliza está definido por $NB_j(x,y)$ mostrado en la figura 4.

Fig. 4. Distribución de balizas



Elaboración propia a partir de [16].

Dada dicha distribución se obtuvieron datos, mismos que se representan en las tablas 3, 4, 5 y 6.

Tabla 3. Posición de las balizas

Posición de los nodos	NB1	NB2	NB3
Eje X	0	0	2.5
Eje Y	0	5	5

Tabla 4. Distancia entre nodos

Distancia entre Nodos	Nodos 1-2	Nodos 2-3	Nodos 3-1
Distancias (metros)	$r_{12}=5$	$r_{23}=5.59$	$r_{31}=5.59$

Tabla 5. Determinación de ángulos

Angulo entre distancias	Θ_1	Θ_2	Θ_3
Ángulos (metros)	84.36	54.46	41.17

Tabla 6. Cálculo datos

Datos	NB1	NB2	NB3
Distancias (metros)	$r_1=3.2$	$r_2=3.2$	$r_3=4$
Ángulos (grados)	$a_1=38.7$	$a_2=38.7$	$a_3=22.6$

Aplicando el algoritmo WCL (Weighted Centroid Localization) que está dado por la ecuación 2 [16].

$$P_i(x, y) = \frac{\sum_{j=1}^n (w_{ij} \cdot B_j(x, y))}{\sum_{i=1}^n w_{ij}} \quad [2]$$

Donde w_{ij} depende de la distancia y las características de los receptores del nodo, las distancias más cortas son más ponderadas que las distancias altas por lo que w_{ij} y d_{ij} son inversamente proporcionales y la correlación es equivalente a la ecuación 3 donde la distancia entre la baliza B_j y el nodo P_i , se eleva a una potencia mayor del grado (g) [16].

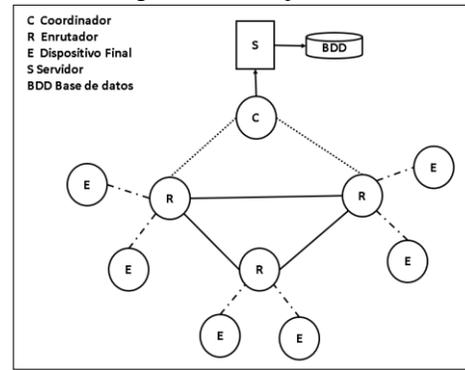
$$w_{ij} = \frac{1}{(d_{ij})^g} \quad [3]$$

La triangulación permite encontrar la posición de un elemento, basada en el conocimiento de los ángulos NB1, NB2, y el NB3, e identificando la intersección de los puntos de referencia y ángulos conocidos [15] en el punto E(2,2.5).

Finalmente, el diseño del prototipo se muestra en la figura 5, cabe señalar que para estimar la distancia entre nodos se realiza a partir del parámetro RSSI (Received Signal Strength Indicator) que es un indicador de la potencia percibida en la antena del dispositivo determinado a través de X-CTU, desarrollado por Digi para módulos Xbee, el cual incluye una herramienta llamada "Range Test", la cual facilita la lectura de los parámetros RSSI [17]. Cada baliza fija envía su posición al coordinador el cual será capaz de estimar su posición dentro del área cerrada.

Posteriormente al controlador se le asignará la función de recibir los datos para su posterior medición y análisis.

Fig. 5. Red de dispositivos



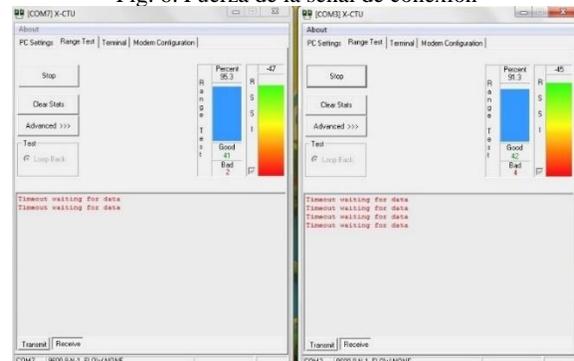
Fuente: Elaboración propia a partir de [11].

4. PROGRAMACIÓN Y PRUEBAS

En esta etapa las pruebas de ubicación del objeto mediante el mini sistema Arduino-XBee se describen de manera general, las pruebas unitarias simples a los sensores consisten en probar la comunicación con todos los diferentes pares implicados. Sin embargo, las pruebas de mayor importancia han sido realizadas desde la interfaz Arduino-XBee con toda la red de sensores dentro de un aula para su monitoreo y seguimiento en tiempo real.

En la realización de las pruebas se observó una pérdida parcial de cobertura con los dispositivos XBee y comprobado que la utilización de la pantalla de estado del sistema presenta una reducción de velocidad de hasta 75%, en algunas ocasiones; esta reducción el sistema no deja de funcionar, siempre y cuando no se elimine totalmente la adquisición de datos. Este comportamiento anómalo desaparece cuando se acercan el emisor y receptor y surge puntualmente cuando están a una distancia superior a 16 metros. Debido a que el rango de estos dispositivos es de 100 metros, se puede considerar que este comportamiento se produce por una fuente de ruido externa ya que en el mismo manual del dispositivo indica que el rango es más reducido para las ciudades por el ruido. En la figura 6 se observa la fuerza de la señal de conexión.

Fig. 6. Fuerza de la señal de conexión



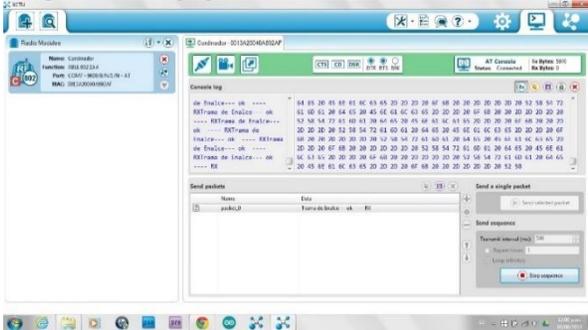
Fuente: Elaboración propia generada con X-CTU.

De manera gráfica son dos sensores intercomunicados, del lado izquierdo se observa el sensor coordinador, y del lado

derecho se encuentra el dispositivo final. El dispositivo final transmite información al coordinador, a través del enrutador, la función del coordinador se encuentra activa y hace la interpretación y análisis de la información recibida. Como se puede observar, el porcentaje de comunicación es alto, por un lado, se comprueba una disponibilidad del 95.3% por parte del coordinador y en el otro dispositivo un 91.3% de enlace de comunicación efectiva.

Las pruebas con baterías y nodos se iniciaron con la comprobación del funcionamiento del modo sleep en los nodos, validando si los parámetros teóricos (tiempo despierto y dormido) coinciden con los reales, especificando cuánto consume cada módulo utilizado en el nodo; finalmente, se realiza la puesta en escena de la red de sensores para detectar cuáles son las condiciones reales de los nodos para calcular la posición de un elemento. En la figura 7 se muestra la transferencia de comunicación de los módulos como prueba de enlace inalámbrico.

Fig. 7 Envío de paquete de datos entre los módulos XBee

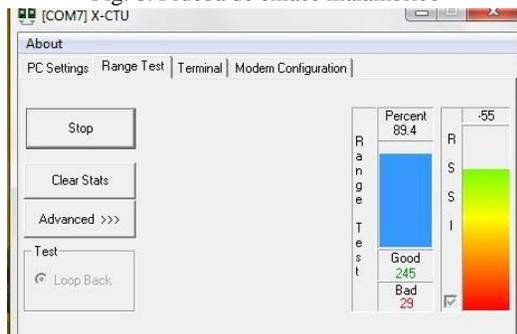


Elaboración propia generada con X-CTU.

En la terminal de frecuencia, se observa la comunicación que existe entre la red de tres sensores y el coordinador, los cuales se encuentran enlazados para el monitoreo de su movimiento en tiempo real, obteniendo un resultado de comunicación eficaz de envío y recepción de paquetes.

En la figura 8 se observa que la conexión entre los sensores de la red tiene una comunicación fiable del 89.4% para poder determinar su localización en tiempo real, se tiene un rango de prueba aprobatorio, permitiendo la sincronización exitosa entre los dispositivos finales y el dispositivo coordinador.

Fig. 8. Prueba de enlace inalámbrico



Fuente: Elaboración propia generada con X-CTU.

La transmisión de paquetes a través de los sensores ZigBee mediante el software grafico X-CTU [18] resulta de gran utilidad, para comprobar la comunicación y el comportamiento de los sensores al momento de recibir y/o enviar información mediante la conexión inalámbrica entre balizas. Sí el transmisor ejecuta un envío de paquetes de comunicación a un host y no es accesible para los receptores, el software X-CTU muestra de manera gráfica el error de conexión y comunicación. Puede variar el motivo de la falla, puede ser que el sensor se encuentre apagado, que el dispositivo final se encuentre fuera del rango de comunicación establecido o que existan factores que ocasionen interferencia para llevar a cabo la conexión entre los dispositivos.

La operación del prototipo estuvo activa 720 horas continuas, durante este tiempo se sometió a un uso intensivo la aplicación Arduino-XBee con tres dispositivos conectados de forma simultánea e intercalando periódicamente al menos uno de los dispositivos conectados.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo se basó en el manejo de la tecnología Zigbee para determinar la posición de elementos en tiempo real y con base a los resultados obtenidos, se determinó que el posicionamiento interno en tiempo real es posible con esta tecnología, ya que se evaluó la calidad de enlace y comunicación, dónde del dispositivo coordinador fue capaz de estimar su posición dentro de un área cerrada y las características técnicas permitieron crear un prototipo al 100% en poco tiempo y con un costo relativamente bajo en comparación con tecnologías evaluadas, así mismo existe la posibilidad de ampliar la red de acuerdo a las necesidades y brindar una cobertura adecuada ya que posee la característica de ser sencillo de instalar y configurar.

El prototipo desarrollado se adapta a la interferencia del área, debido a que se derivan trayectorias secundarias de los componentes multitrayecto de radiación en las direcciones de fuentes de interferencia, la cual se puede suprimir a través de la baliza ya que estas cuentan con un protocolo CSMA-CA definido por IEEE 802.15.4, el cual reduce la probabilidad de interferir con otros usuarios además de incluir mediciones de energía para que los dispositivos se comuniquen al nivel de energía exacto, lo que reduce la interferencia entre los nodos y limita la actividad de radio, sin embargo, no siempre se cuenta con una precisión exacta ya que existe factores como el ruido y componentes que pueden afectar dicha precisión.

Zigbee permite un ahorro significativo de energía y que gracias a su flexibilidad y al poco espacio que ocupa una red de este tipo, existe la intercomunicación de una gran cantidad de dispositivos electrónicos para abarcar y extender un gran sin fin de aplicaciones. Este proyecto puede ser utilizado como la base para llevar a cabo la implementación de una red y aprovechar todas sus características en diversas áreas.

En la realización del trabajo se identificaron aspectos que permiten explotar la funcionalidad del prototipo, para una futura implementación, como extender la funcionalidad de este a través de un sistema de adquisición de datos, que permita identificar los elementos localizados a través del reconocimiento de imágenes y evaluar su precisión y margen de error, el análisis de la información obtenida a través de históricos y gráficas, además de incluir perfiles de usuarios con el fin de integrar el aspecto de seguridad.

4. REFERENCIAS

- [1] Arduino.cl, «Arduino.cl.» [En línea]. Available: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>. [Último acceso: 8 Marzo 2023].
- [2] Digi International Inc., «DIGI.» [En línea]. Available: https://es.digi.com/resources/library/data-sheets/ds_xbee_zigbee. [Último acceso: 08 Marzo 2023].
- [3] «Ingeniería en Sistemas 2009 UNL,» Universidad Nacional de Loja, Julio 2009. [En línea]. Available: <https://sistemas2009unl.wordpress.com/prototipos-informaticos/>. [Último acceso: 30 Enero 2022].
- [4] A. A. João Sarraipa y H. P. Jiménez Castro, «Acacia.red,» Julio 2019. [En línea]. Available: <https://acacia.red/wp-content/uploads/2019/07/Gu%C3%ADa-Metodologi%C3%A1a-de-evaluaci%C3%B3n-de-prototipo-innovador.pdf>. [Último acceso: 05 Marzo 2022].
- [5] RealTrac Technologies, «RealTrac,» 25 09 2019. [En línea]. Available: <https://real-trac.com/es/company/blog/the-types-of-position-objects-what-applies-each-of-the-positioning-technologies/>. [Último acceso: 28 Enero 2022].
- [6] L. Díaz-Ambrona Tabernilla y F. Pérez Costoya, «Archivo Digital UPM,» Biblioteca de la Universidad Politécnica de Madrid, 23 Abril 2008. [En línea]. Available: <https://oa.upm.es/947/>. [Último acceso: 28 Enero 2022].
- [7] T. Aguilera Beniytez, «GISS Grupo de Investigación en Sistemas Sensoriales,» 19 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://giss.unex.es/es/2018/04/19/introduccion-a-los-sistemas-de-posicionamiento-local/>. [Último acceso: 20 Febrero 2022].
- [8] ElevenSoftware, «ElevenSoftware.com,» Eleven, 9 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://blog.elevensoftware.com/how-mac-address-randomization-can-affect-the-wifi-experience>. [Último acceso: 17 Febrero 2022].
- [9] R. Adeva, «AZ adsk zone,» AZ adsk zone, 14 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/estandares-conexion-inalambrica/>. [Último acceso: 22 Febrero 2022].
- [10] «www.domodesk.com,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.domodesk.com/216-a-fondo-zigbee.html>. [Último acceso: 7 Marzo 2022].
- [11] M. Á. Cazalla Barranco, J. López Vicario y X. Vilajosana Guillen, «openaccess.uoc.edu,» Junio 2019. [En línea]. Available: <https://openaccess.uoc.edu/bitstream/10609/95166/6/mcazallabTFM0619memoria.pdf>. [Último acceso: 15 Marzo 2022].
- [12] Digi International Inc., «DIGI.COM,» DIGI, [En línea]. Available: [https://hub.digi.com/dp/path=/marketing/asset/zigbee-vs-digimesh-white-paper#:~:text=Long%2Drange%20options%20and%20frequency,ranges%20\(40%2B%20miles\)..](https://hub.digi.com/dp/path=/marketing/asset/zigbee-vs-digimesh-white-paper#:~:text=Long%2Drange%20options%20and%20frequency,ranges%20(40%2B%20miles)..) [Último acceso: 13 Marzo 2022].
- [13] Arduino.CC, «Arduino.CC,» [En línea]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>. [Último acceso: 08 Marzo 2023].
- [14] A. Felipe García, C. Gómez, T. Sánchez, A. D. Redondo, L. Betancurt y R. Hincapié, «Algoritmos de Radiolocalización basados en ToA, TDoA y AoA,» *Ingeniería y Región*, n° 14, pp. 9-22, 2015.
- [15] . D. Niculescu y N. Badri , «technolifeandmore.blogspot.com,» DATAMAN Lab Rutgers University, 21 Mayo 2013. [En línea]. Available: <http://technolifeandmore.blogspot.com/2013/05/resument-ad-hoc-posicionamiento-usando.html>. [Último acceso: 12 Abril 2022].
- [16] R. Grossmann, J. Blumenthal, F. Golatowski y D. Timmermann, *Localization in Zigbee-based Sensor Networks*, IEEE, Ed., Alcalá de Henares, 2007.
- [17] N. Vara, G. A. Poletto, M. Cáceres y A. J. Busso, «Cálculo de distancia entre los nodos de una Red Inalámbrica Zigbee en función del parámetro RSSI,» *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, vol. 2, n° 2, pp. 8-13, 2015.
- [18] Digi International Inc., «DIGI,» DIGI, [En línea]. Available: <https://www.digi.com/products/embedded-systems/digi-xbee/digi-xbee-tools/xctu>. [Último acceso: 9 Marzo 2023].
- [19] Tecnología para los negocios, «Cámara Valencia,» Cámara Valencia, Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://ticnegocios.camaravalencia.com/servicios/tendencias/tecnologias-de-localizacion-una-oportunidad-para-las-pymes/>. [Último acceso: 28 Enero 2022].