

IoT prototypes based on LPWAN networks for geolocation and security for the Smart Campus Zacatenco

Ciro Andrés Martínez García Moreno, PhD¹, Federico Felipe-Duran, Eng², and Miguel Sanchez M, MsC²

^{1,3}, Instituto Politécnico Nacional, CITEDI, cmartinez@ipn.mx

² Instituto Politécnico Nacional, ESIME Zacatenco, México, ffelipe@ipn.mx, mmeraz@ipn.mx

Abstract– In this work, two prototypes of the Internet of Things (IoT) for the Smart Campus Zacatenco are presented. The first prototype is a panic button built with an Arduino MKR WAN 1310 small board computer that already includes communication to the LoRa TTN platform. The second prototype is also built with the same Arduino model, but communication is done with the Sigfox IoT platform and is designed to be installed in vehicles for real-time monitoring. Both prototypes have a GPS to perform geolocation in real time. Both were tested at the Smart Campus with satisfactory results.

Keywords– IoT, LPWAN, LoRa, Sigfox, Smart Campus Zacatenco.

IoT prototypes based on LPWAN networks for geolocation and security for the Smart Campus Zacatenco

Ciro Andrés Martínez García Moreno, PhD¹, Federico Felipe-Duran, Eng², and Miguel Sánchez M, MsC²

¹, Instituto Politécnico Nacional, CITEDI, cmartinez@ipn.mx

² Instituto Politécnico Nacional, ESIME Zacatenco, México, ffelipe@ipn.mx, mmeraz@ipn.mx

Abstract– In this work, two prototypes of the Internet of Things (IoT) for the Smart Campus Zacatenco are presented. The first prototype is a panic button built with an Arduino MKR WAN 1310 small board computer that already includes communication to the LoRa TTN platform. The second prototype is also built with the same Arduino model, but communication is done with the Sigfox IoT platform and is designed to be installed in vehicles for real-time monitoring. Both prototypes have a GPS to perform geolocation in real time. Both were tested at the Smart Campus with satisfactory results.

Keywords– IoT, LPWAN, LoRa, Sigfox, Smart Campus Zacatenco.

Resumen– En este trabajo se presentan dos prototipos de Internet de las Cosas (IoT) para el Smart Campus Zacatenco. El primer prototipo es un botón de pánico construido con una computadora de placa reducida Arduino MKR WAN 1310 que ya incluye la comunicación a la plataforma TTN de LoRa. El segundo prototipo también está construido con el mismo modelo de Arduino, pero la comunicación se hace con la plataforma IoT de Sigfox y está diseñado para ser instalado en vehículos para realizar su monitoreo en tiempo real. Ambos prototipos cuentan con un GPS para realizar la geolocalización en tiempo real. Ambos fueron probados en el Smart Campus con resultado satisfactorios.

Palabras clave—IoT, LPWAN, LoRa, Sigfox, Smart Campus Zacatenco

I. INTRODUCCION

Los primeros antecedentes de comunicación inalámbrica se tuvieron entre los años 1890 y 1902 en Europa, varios ingenieros como Guillermo Marconi, Nikola Tesla, Chandra Bose, Alexander Popov entre otros desarrollaron este tipo de telecomunicación. Estos experimentos dieron como resultados comerciales la radio comercial, la telefonía y telegrafía inalámbrica [1].

Para la segunda mitad del siglo pasado el desarrollo de computadoras digitales proporcionó una herramienta de procesamiento de información muy poderosa y varios investigadores previeron las ventajas de conectarlas entre sí para lograr mayor capacidad de cómputo y para compartir información. El proyecto ARPANET fue desarrollado en varias Universidades de los Estados Unidos, la Universidad de

California en la Ángeles, el Instituto Tecnológico de Massachussets, la Universidad de Utah, la Universidad de Stanford. Para el año de mil novecientos sesenta y nueve se pasó del concepto y diseño a la primera red operativa con cuatro nodos funcionando [2]

Durante la década de los años ochenta del siglo XX se desarrollaron varios proyectos y estándares para redes de computadoras de área local (Local Area Network) como Token Ring y Ethernet, finalmente ésta última terminó convirtiéndose en el estándar más utilizado para redes de computadoras. El estándar fue liberado por el Instituto de Ingenieros Electrónico y Electricistas en el año de mil novecientos ochenta y tres, aunque comercialmente se tuvo disponible desde mil novecientos ochenta [3].

Hasta mediados de los años noventa las redes de computadoras utilizaban cables para conectarse, esto implicaba modificar edificios ya construidos para realizar el cableado y que las nuevas construcciones que se hicieran contemplaran las futuras conexiones para una red, esto incluía hasta los hogares de las personas, sin embargo existía la posibilidad de usar comunicación inalámbrica para las redes de computadoras. Para el año de mil novecientos noventa y siete la IEEE y su comité de estándares liberaron la norma IEEE 802.11 que definió la reglas para las redes de computadoras de área local. Este estándar tiene un dispositivo llamado Punto de Acceso (Access Point) que se encarga de enlazar a las computadoras, y hoy en día a una serie de dispositivos que van desde teléfonos celulares, televisiones o dispositivos móviles. La Figura 1 muestra uno de esos Puntos de Acceso [4].



Fig. 1 Access Point comercial

Las redes inalámbricas para redes de computadoras han seguido evolucionando porque tienen un bajo costo de instalación, porque pueden llegar a prácticamente cualquier lugar, además de que su eficiencia y confiabilidad ha quedado demostrada en los últimos veinte años.

Hoy en día los sistemas de redes inalámbricas para telecomunicaciones se han extendido por todo el mundo y millones de empresas, hogares, personas o bien Universidades hace uso de ellas en todo el mundo. Existen redes inalámbricas para telefonía celular, redes metropolitanas de computadoras, redes regionales de computadoras, redes de sensores en zonas ganaderas o zonas selváticas. Algunos ejemplos son las redes 5G, LORA, SigFox entre otras.

El Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés) tiene una historia ya bastante larga, desde que se empezaron a usar computadoras que controlaban diferentes dispositivos, primero en la industria de la manufactura, pero hoy en día ha evolucionado y conjugándose con otras tecnologías tiene un desarrollo futuro muy prometedor. Un nodo IoT se compone de sensores que son controlados por una computadora y que por medio de una red de telecomunicaciones, ya sea cableada o inalámbrica se comunica con otra u otras computadoras, tanto para compartir información como para controlar algún dispositivo.

En este trabajo se presenta un dispositivo de geolocalización basado en la tecnología inalámbrica Sigfox para un campus universitario que sigue la premisa de Ciudad Inteligente.

II. CONCEPTOS TEÓRICOS

El Internet de las Cosas o mejor dicho un elemento o nodo de IoT está conformado por un dispositivo o máquina, un

conjunto de sensores que toman datos del dispositivo, una computadora de bajo costo y de placa reducida que se encarga de monitorear y en su caso controlar al nodo IoT, un medio de comunicación hacia un servidor de datos y control ubicado ya sea en la nube o en una red de computadoras del propietario o administrador del nodo. La Figura 2 muestra de forma esquemática nodos IoT en una ciudad actual [5].

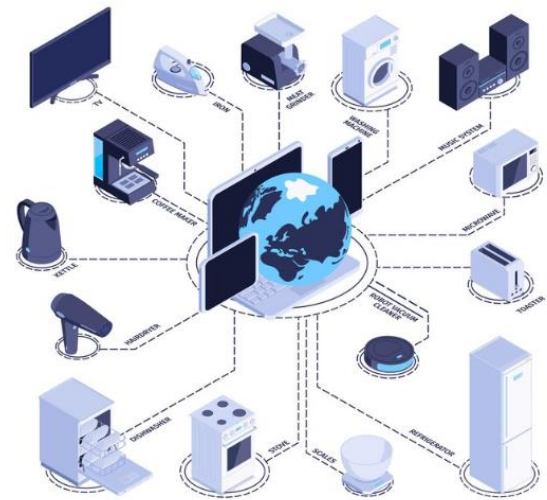


Fig. 2 Ejemplo de nodos IoT

Los sensores conectados al nodo o máquina toman diversa información del nodo, en un principio fueron variables como temperatura, humedad, presencia, pero han ido evolucionando y en muchos casos se suma información como posición GPS, datos de producción si se trata de máquinas industriales, en otros casos el nodo se coloca en personas y además de reportar variables del cuerpo también se pueden transmitir datos como nombres o datos de enfermedades.

La reducción en costo y tamaño de microcontroladores ha devenido en las llamadas computadoras de placa reducida, que son computadoras de un tamaño que va desde 4 X 2 centímetros a placas de 9 X 6. Estas computadoras ya cuentan con puerto seriales, USB de varios tipos, ethernet o bien ya tienen antenas para redes LORAWAN. Cuentan con interfases de desarrollo de programación y amplias bibliotecas de funciones para manejar los puertos y las comunicaciones de las computadoras. La Figura 3 muestra una computadora Arduino [6][7].



Fig. 3 Computadora Arduino

Si bien Internet fue la primera opción para comunicar nodos IoT, éste presenta muchas características que limitan su potencial para un sistema IoT, entre otras se tiene que Internet transmite diferentes tipos de aplicaciones, por ejemplo, música, vídeos, correos electrónicos, aplicaciones Web entre otros. Pero cuando el dispositivo en donde se instala la tecnología IoT es móvil la situación cambia porque en muchos lugares el acceso a Internet no es sencillo o bien se vuelve caro y complicado pagar algún medio que permanentemente esté conectado a tal red. Por estas razones se han desarrollado redes inalámbricas que proporcionan varias ventajas sobre las redes Internet para proporcionar una plataforma de telecomunicaciones más eficientes, en muchos aspectos.

Por esa razón se han especificado las redes inalámbricas Low Power Wide Area Network (LPWAN), entre sus principales objetivos el envío de datos, en bajos volúmenes, a distancias de entre diez y veinte kilómetros de distancia, dependiendo de la línea de vista entre nodos conectados. Ejemplos de estas redes son LORA, LORAWAN, Sigfox, NB-IOT y LTE-M. Estos tipos de redes tienen quince años o menos que han sido propuestas y desarrolladas, por lo que se les considera relativamente tecnologías nuevas [8].

Sigfox es una red para dispositivos IoT que trabaja en bandas de uso libre como las ISM, tiene entre sus principales características las siguientes:

- Diseñada para conectividad M2M (Máquina a Máquina)
- Bajo costo de operación
- Bajo consumo de energía
- Largo alcance
- Manejo de usuarios en la nube, incluyendo API's
- Trabaja en la frecuencia de 860 MHz

El consorcio dueño de Sigfox tiene infraestructura en caso toda Europa y Japón se está extendiendo en los Estados

Unidos, México, Brasil y Argentina. La red Sigfox tiene un costo, poco más bajo que otras redes y tiene casos de éxito en SMRT Grid, transporte, logística, Ciudades Inteligentes y Alarmas [9].

Las redes LORA son otra solución de red inalámbrica también enfocada en sistemas IoT, el proyecto nació en Francia en el año 2009 cuando Nicolas Sornin y Oliver Seller desarrollaron una tecnología de largo alcance y de bajo consumo, inicialmente estaban enfocados en el monitoreo y medición de electricidad, agua y gas a distancia. Actualmente se tienen dos versiones, una enfocada en la transmisión punto a punto que es LORA (LONge RANge) para comunicar un dispositivo con otro, la versión LORAWAN está diseñada para comunicar los nodos IoT con servidores con acceso a Internet o bien se suben los datos a la nube donde se pueden desarrollar diversas aplicaciones.

Si bien los sistemas IoT, máquinas o dispositivos conectadas a una computadora, los sistemas PLC son un claro ejemplo de esta aplicación, tienen más de cuarenta años desarrollándose, el concepto y la implementación de Ciudades Inteligentes da un auge al Internet de las Cosas. Los gobiernos del mundo, ya sean nacionales, de estados o locales, se están enfocando en hacer las ciudades de hoy en día más cómodas, más limpias y optimizar el uso de los recursos que se consumen en ellas. Varias organizaciones mundiales, internacionales o nacionales también despliegan esfuerzos en sus respectivos ámbitos con esos objetivos. Algunos ejemplos de esas organizaciones son la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la Organización Internacional de Estándares o el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

No existe un concepto unificado para una Ciudad Inteligente, pero existe consenso con respecto al cuidado del medio ambiente, esto es calidad del aire y del agua, movilidad urbana, que abarca el transporte público y privado, así como la infraestructura para los desplazamientos como avenidas y sistemas de transporte masivo como metro, trolebuses, tranvías, trenes suburbanos y autobuses. También se considera la seguridad de las personas y de sus bienes, los servicios digitales de los gobiernos para los trámites de los ciudadanos y en algunos casos los servicios de salud [10].

Para soportar en un mundo moderno estos proyectos y servicios en una Ciudad Inteligente se requiere que haya una infraestructura de telecomunicaciones muy eficiente y moderna, se les conoce como Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones (TIC's) y en este punto el Internet de las Cosas realiza aportaciones muy valiosas e importantes, por ejemplo, un nodo IoT puede estar monitoreando un sistema de riego automatizado, si el nodo detecta lluvia puede desactivar el riego automatizado y así economizar agua [11] [12].

Por último, en esta sección, se aborda el manejo de la información de un sistema IoT, si se utiliza un nodo IoT para monitorear y controlar el consumo eléctrico de una casa, se pueden tener los datos de la misma, pero utilizando un servidor y la comunicación por Internet se puede agregar la información de miles de casas o bien de secciones habitacionales a las que se les da la energía por medio de una subestación. Se tiene la opción de analizar los datos agregados de la sección por series de tiempo para predecir los consumos de esa sección y así tomar mejores decisiones de producción y consumo de energía eléctrica.



Fig. 4 Ejemplo de nodos IoT en una subestación eléctrica

Actualmente se tienen las opciones de almacenar los datos generados por sistemas IoT en la nube, Amazon proporciona una plataforma conocida como AWS (Amazon Web Services) que proporciona servicios de almacenamiento, analítica de datos, Machine Learning, Seguridad, creación de interfases de usuario entre otros. También Sigfox tiene una plataforma en la nube para administrar y controlar los nodos IoT que comercializa. Desde luego un equipo de desarrollo de un sistema IoT puede optar por tener servidores propios para almacenar y procesar la información de los nodos del sistema, también para tener un servidor de aplicaciones Web o bien aplicaciones móviles. En ese caso debe hacerse un balance entre costos, privacidad de la información de una opción comercial en la nube o bien optar por tener y mantener su propia infraestructura de servidores [13].

III. ANÁLISIS

La revisión de trabajos previos mostró que la tecnología LORAWAN ha sido utilizada en varios proyectos. En uno de ellos se hace un estudio comparativo de comunicación vehículo a vehículo (V2V) utilizando las tecnologías LORAWAN y Light Fidelity (LiFi) con la finalidad de evitar accidentes. La comparación se realiza en tres apartados, rango de comunicación, tasa de transmisión de datos y consumo de

energía, si bien cada tecnología tiene ciertas ventajas, LORAWAN permite mayores distancias de comunicación y bajo consumo de energía [14].

Otro trabajo interesante está enfocado en abrir corredores “verdes” para vehículos de emergencia, esto se logra con el apoyo de LORAWAN como tecnología de comunicaciones en nodos IoT montados en el vehículo y un GPS, el nodo se comunica con la plataforma TTN de LORAWAN y con los semáforos que se van presentado en su rutade esta forma se puede rastrearlo y que las autoridades responsables del tráfico puedan abrir el corredor de forma que el tiempo de desplazamiento sea menor, tanto para la llegada al punto de emergencia como, en su caso, llegar al hospital u lugar donde se atiende la emergencia. Para implementar el nodo IoT se utilizó un módulo LoPy que puede establecer comunicación ya sea LoRa, WiFi, Bluetooth y SigFox [15].

LORAWAN ha despertado el interés de investigadores y desarrolladores para utilizarse con vehículos en movimiento, en un trabajo desarrollado en Italia se realizaron pruebas con vehículos en movimiento y se realizaron pruebas para analizar el rendimiento de esta tecnología en el contexto de redes vehiculares, el escenario de las pruebas de rendimiento se hizo con Gateway LORAWAN en un el centro de una pista elíptica, los vehículos se probaron a diferentes velocidades entre 20 y 90 km/h, los parámetros a evaluarse fueron un Indicador de Intensidad de Señal recibida y Relación Señal a Ruido. Al realizarse las pruebas se encontraron pequeñas degradaciones de la señal a velocidades mayores, pero sin que estas fueran significativas. [16]

El Instituto Politécnico Nacional de México es un una Institución educativa que proporciona educación y realiza actividades de investigación en caso todas las áreas de conocimiento. Atiende alrededor de ciento veinte mil alumnos, por medio de veinte escuelas de bachillerato, treinta y dos Unidades de Educación Superior y veinte Unidades de Investigación Científica y Tecnológica. Existen dos Campus Universitarios, uno llamado Santo Tomas y otro llamado Zacatenco. La mayoría de Unidades de Educación Superior y cinco Centros de Investigación, así como prácticamente toda la administración y cuerpo directivo se encuentran en Zacatenco [17].

El Campus Zacatenco es una pequeña ciudad con avenidas, servicios internos de autobuses y a ella llegan cada día alrededor de cincuenta mil estudiantes, cinco mil profesores y mil quinientos empleados de apoyo a la educación, las problemáticas de una Ciudad Inteligente se replican en el Campus, transporte, seguridad, Contaminación, manejo de residuos urbanos y las soluciones que se han encontrado anteriormente para Ciudades también se pueden

aplicar en esta pequeña Ciudad, en la Figura 5 se puede observar el Smart Campus Zacatenco.



Fig. 5 Imagen aérea del Smart Campus Zacatenco

Se puede considerar que está inmersa en un área cuadrada de 2.5 kilómetros por lado para fines de análisis y pruebas. Algunas Unidades Académicas y Administrativas no están ubicadas de forma continua dentro de esa área, como puede verse en la Figura. Internamente la atraviesan tres avenidas, una del oriente hacia el poniente y dos avenidas de norte a sur, Por los límites del polígono donde se encuentra el Campus corren cinco avenidas, estas avenidas pertenecen, y están bajo la supervisión del gobierno de la Ciudad de México.

Por dos de las avenidas internas circula una línea de trolebuses, también circula por tres de las avenidas externas y los estudiantes tienen la opción de llegar a la estación del metro de la Ciudad de México Politécnico. Por las mismas avenidas internas circulan camiones de pasajeros, también salen del Campus y conectan a sus usuarios con la estación del metro dieciocho de marzo. Para ambos medios de transporte no existe un sistema de supervisión y seguimiento. Si bien el índice de delitos al interior del Campus es reducido, estos han sucedido, siendo el robo a personas o a bienes de ellos y al patrimonio del Instituto el más frecuente [18].

Por otra parte el Instituto cuenta con infraestructura propia de tecnologías de la información y las comunicaciones, una red de Internet propia, con backbones de fibra óptica, cableado estructurado, sobre todo a los laboratorios de computadoras de las Unidades de Académicas del campus y en menor medida acceso inalámbrico WiFi, si bien en casi todos los edificios se tiene este servicio, en áreas abiertas, como los campos deportivos, avenidas o jardines es ineficiente y en

muchos casos no se tiene la señal disponible. Esto implica que tener nodos IoT en lugares sin cableado estructurado o acceso WiFi inalámbrico no es posible y en el mejor de los casos su comunicación es muy pobre donde la señal es débil.

Los prototipos construidos utilizaron las redes LPWAN, LoRA en un caso y Sigfox en otro. El primer prototipo tiene como principal uso un botón de pánico y un programa para comunicarse con un servidor. El otro prototipo es similar, pero se comunica, de forma continua, con el servicio en la nube de Sigfox para registrar su posición, su principal aportación sería para la trazabilidad de vehículos en el Campus Zacatenco.

IV. DESARROLLO Y PRUEBAS

El prototipo de botón de pánico se construyó con la placa MKR WAN 1300, la placa es de código abierto y tiene las opciones de a la nube de Arduino IoT, redes LoRa privadas, por medio de una puerta de enlace de LoRa e incluso conexiones punto a punto. Para desarrollar aplicaciones para esta placa se utiliza el entorno de desarrollo de Arduino que ya cuenta con API's para conectarse a las redes LoRa, para este prototipo se utilizó la red TTN que es la red LoRaWAN propia de Arduino.

Al prototipo se le incorporó un GPS, se usó el MKR GPS Shield, éste se puede conectar directamente a la placa Arduino con el formato MKR, pero tiene un conector Esloy y se puede conectar a placas de otro tipo, pero que cuenten con tal interfase por medio de un cable. El GPS es versátil, está diseñado para operar con diferentes servicios de posicionamiento global como GPS, GLONASS y Galileo.

Con la IDE de Arduino se configuraron el GPS, la conexión LoRa, para el botón de pánico se utilizó un puerto serial utilizando I2C, el botón de pánico se implementó con un push-button que será activado cuando el usuario del prototipo se encuentre en una situación de riesgo o peligro.

El otro prototipo, diseñado para ser utilizado en vehículos como camiones, trolebuses, autos e incluso bicicletas y moocicletas, fue desarrollado con el kit de Sigfox DEV KIT 2.0, este kit se conecta a un módulo GPS GEEKSTORY GT-U7, para administrar y manejar estos dos circuitos se utiliza la computadora de placa reducida Arduino, para programar todo el sistema se utiliza la IDE respectiva en su versión Uno, es necesario instalar las bibliotecas para el módulo DEV KIT, y el GPS. Los principales módulos del programa de manejo del sistema son para la configuración del GPS, que trabaja a 9600 bauds, la transmisión y recepción para la comunicación con la plataforma de Sigfox se realiza con comandos AT, un módulo para el manejo de errores, otro módulo para cargar la información que se transmite por el DEV KIT a la plataforma

Sigfox. Una vez que se tienen esos programas se debe conectar a la plataforma. La figura 6 presenta el proceso en bloques.

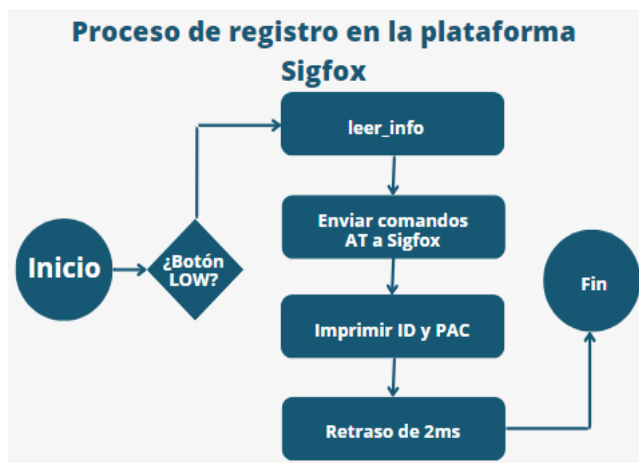


Fig. 6 Registro en SigFox

EL funcionamiento de ambos prototipos se fue refinando hasta tener una versión estable para las pruebas en campo. Para el prototipo de botón de pánico se tuvieron dos versiones, en la primera el prototipo iniciaba la comunicación, sólo cuando se presionaba el botón, la segunda versión el prototipo transmitía la comunicación en ventanas de tiempo predefinidas, esto último con la finalidad de hacer recorridos por el campus para determinar la continuidad de la comunicación con la plataforma TTN.

IV. PRUEBAS

El escenario para las pruebas fue el Campus Zacatenco del IPN. El prototipo de botón de pánico se probó en las zonas donde más personas se reúnen y transitan en el Campus, se probó de dos formas, en la primera se presionaba el push-button y se consultaba la plataforma de LoRa TTN para comprobar su funcionamiento, la latencia en la respuesta de la plataforma siempre fue eficiente, menos de cinco segundos y con diferencias de posición de máximo diez metros.

Para el segundo caso se modificó el prototipo para que su comunicación con la plataforma TTN fuera continua, en otras palabras, se retiró el push-button del botón de pánico y el prototipo siempre estaba transmitiendo y se hicieron diferentes recorridos por el campus Zacatenco. Uno de tales recorridos fue por los conocidos senderos seguros del campus, estos corredores por donde la mayoría de la comunidad de profesores, alumnos y visitantes se desplazan a pie y donde la vigilancia del Instituto coloca a policías y cámaras de seguridad. En otros casos se recorrieron otros corredores peatonales poco frecuentados, áreas deportivas donde existe poca afluencia de la comunidad, incluso jardines y áreas verdes poco frecuentadas. En todos los casos la comunicación

con la plataforma TTN siguió siendo eficiente para las necesidades que el prototipo fue diseñado.

El segundo prototipo, el desarrollado para utilizar la red Sigfox también fue probado en varios lugares del Smart Campus Zacatenco, primero en las avenidas internas en donde circulan trolebuses y autobuses de transporte público, ya que su principal aplicación será para rastrear y monitorear tales vehículos. El Campus Zacatenco está rodeado por seis avenidas en donde también circula transporte público, también en tales avenidas se probó el prototipo y los resultados fueron similares, esto es baja latencia para registrar el desplazamiento en la plataforma TTN y máximo diez metros de la posición GPS. Estas pruebas fueron realizadas llevando el prototipo en un automóvil particular.

Otras pruebas realizadas fueron para probar la cobertura de la red inalámbrica, se colocó el prototipo en varios lugares del Campus y se puede afirmar que la cobertura es completa en el campus. Por último, se probó en una trayectoria desde el campus hasta la alcaldía Iztacalco de la Ciudad de México y se obtuvieron los mismo resultados.

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este trabajo se han presentado la construcción de dos prototipos de IoT conectados a dos redes LPWAN, LoRa y Sigfox, e, l primero para implementar un botón de pánico y el otro para ser usado en la geolocalización de vehículo. En las pruebas realizadas en el Smart Campus Zacatenco ambos prototipos tuvieron resultados de latencia y geolocalización dentro de los parámetros adecuados para su posterior uso.

Los trabajos futuros son varios: Pasar de la primera versión de prototipo a uno montado en una placa desarrollada específicamente para los prototipos, con su respectiva carcasa y displays que reporten al usuario el estatus de funcionamiento; realizar pruebas exhaustivas de cobertura en el Campus Zacatenco para ambas redes inalámbricas; otra tarea futura es extraer datos de posicionamiento y llevarlos a un servidor propio, no las plataformas TTN y LoRa, y de ahí registrarlos para desarrollar aplicaciones y servicios, la aplicación más valiosa sería un app que reporte el desplazamiento de los trolebuses para que los usuarios del mismo planifiquen sus desplazamientos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan en esta sección la colaboración brindada por los estudiantes Luis Franco, Fátima Santillán, Isidro Garrido, Oscar Gómez e Itzel Solís quienes implementaron la aplicación como parte de su proceso de titulación en la ESIME Zacatenco. También a los Sistemas de Becas por Exclusividad de la Comisión Organizadora de Fomento a las Actividades Académicas, al Sistema de Estímulo al Desempeño Docente de la Secretaría Académica y

al Sistema de Estímulos a la Investigación de la Secretaría de Investigación y Postgrado, ambos Sistemas soportados por el Instituto Politécnico Nacional de México. También a la Secretaría de Investigación y Postgrado porque este trabajo se deriva de las actividades del proyecto de investigación “Gestión de movilidad en un Campus Inteligente”, clave 20220602.

REFERENCIAS

- [1] Unión Internacional de Telecomunicaciones, “Breve historia de la UIT”, Suiza, consultado 20 de enero del 2024. <https://www.itu.int/es/history/Pages/ITUsHistory.aspx>
- [2] Internet Society, “Una breve historia de Internet”, Consultado 20 de enero del 2024, <https://www.internetsociety.org/es/internet/history-internet/brief-history-internet/>.
- [3] NETWORKWORLD, “What is Ethernet? History, evolution and roadmap”, Consultado 20 de enero del 2024. <https://www.networkworld.com/article/970970/what-is-ethernet.html>
- [4] Institute of Electrical and Electronic Engineers, “The Evolution of Wi-Fi Technology and Standards”, Spectrum, February 2024, consultado 20 de enero del 2024, <https://spectrum.ieee.org/whats-next-after-25-years-of-wifi>.
- [5] A. Rayes, S. Salam, “Internet of Things From Hype to Reality”, Second Edition, 2019, Springer Natures, Switzerland, pp 2-22.
- [6] S. Monk, “Programming Arduino Getting Started with Sketches”, 2nd Edition, Union Kingdom, 2016.
- [7] S. Monk, “Programming the Raspberry Pi: Getting Started with Python”, 1st Edition, Union Kingdom, 2013.
- [8] Montagny S., “LoRa- LoRaWAN and Internet of Things for beginners”, Université Savoie NMot Blanc, France, 2022.
- [9] WND México, “Sigfox WND regional stronger & faster”, consultado 10 de julio del 2023, <https://partners.sigfox.com/companies/wnd-mexico>.
- [10] Institute of Electrical and Electronics Engineers, “What makes a city smart”, 25 July 2022, USA, 2022. https://smartcities.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_Smart_Cities-Flyer_Nov_2017.pdf.
- [11] A. Ermolaev, Ch. Lee, “Implementing ITU-T International Standards to Shape Smart Sustainable Cities”, ITU, 2019, pp 13-22.
- [12] International Telecommunication Union “Global information infrastructure, internet protocol aspects and next-generation networks, internet of things and smart cities”, Switzerland, 2016.
- [13] Amazon Web Services, “Computación en la nube con AWS”, Consultado 20 de enero del 2024. https://aws.amazon.com/es/what-is-aws/?nc1=f_cc
- [14] Raj Suriyan G, Rahul K, Rajesh S, Challa Dhanalakshmi, Udhayakumar G, “Prevention of Road Accidents by Interconnecting Vehicles using LiFi and LoRaWAN Technologies”, Proceedings of the International Conference on Sustainable Computing and Smart Systems (ICSCSS 2023)
- [15] Alokumar Rao, Bharat S. Chaudhari, Vishwanath Karad, “Development of LoRaWAN based Traffic Clearance System for Emergency Vehicles”, Proceedings of the Fourth International Conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC).
- [16] G. Renzone, S. Parrino, G. Peruzzi, A. Pozzebon, “LoRaWAN in Motion: Preliminary Tests for Real Time Low Power Data Gathering from Vehicles”, 2021 IEEE International Workshop on Metrology for Automotive (MetroAutomotive), Italy.
- [17] Instituto Politécnico Nacional Dirección de Información Institucional, “Agenda estadística 2021”, México, 2022.
- [18] Instituto Nacional de Geografía y Estadística, “Encuesta Nacional de Victimización y sobre Seguridad Pública”, México, 2022.