

DISEÑO E IMPLÉMENTACIÓN DE UN SISTEMA EMBEBIDO PARA REDES NARROWBAN PARA LA GESTIÓN DE ALARMAS EN LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

Guzmán-González Wendy Janett, Guzmán-González Cynthia Liliana, Pallares-Rubio Sonia Lisbeth, Portillo-Payán Norma Mireya, Valenzuela-Segura Lucrecia Guadalupe, Nevárez-Burgueño Catalina Irene
 Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Chihuahua
 Av. Tecnológico No. 2909, Chihuahua, Chih, México. C.P. 31310. Tel. +52 (614) 2-01-2000
wendy.gg@chihuahua.tecnm.mx, cynthia.gg@chihuahua.tecnm.mx, sonia.pr@chihuahua.tecnm.mx,
norma.pp@chihuahua.tecnm.mx, lucrecia.vs@chihuahua.tecnm.mx, irene.nb@chihuahua.tecnm.mx

RESUMEN.

En el presente artículo, se aborda el desafío del monitoreo continuo de las radio bases en los sistemas de telecomunicaciones, una tarea crítica para garantizar la operatividad y calidad del servicio. Los dispositivos NB-IoT (Internet de las Cosas - Narrowband) emergen como una solución prometedora debido a su eficiencia en la transmisión de datos a través de redes de baja potencia. Se propone una solución automatizada para la gestión de alarmas utilizando redes Narrowband, enfocándose en el diseño de un sistema embebido. Esta propuesta busca optimizar el monitoreo y respuesta ante fallos, mejorando la eficiencia y confiabilidad del sistema de telecomunicaciones al integrar capacidades de alerta y gestión en tiempo real. La implementación del sistema embebido evita la supervisión continua, reduciendo la necesidad de intervención manual y asegurando una rápida reacción a posibles incidencias.

Palabras Clave: sistema embebido, Internet de las cosas, Narrowban, radiobase.

ABSTRACT.

This paper addresses the challenge of continuous monitoring of radio bases in telecommunication systems, a critical task to ensure the operability and quality of service. IoT-NB (Internet of Things - Narrowband) devices emerge as a promising solution due to their efficiency in data transmission over low power networks. An automated solution for alarm management using Narrowband networks is proposed, focusing on the design of an embedded system. This proposal seeks to optimize the monitoring and response to failures, improving the efficiency and reliability of the telecommunications system by integrating real-time alerting and management capabilities. The implementation of the embedded system avoids continuous monitoring, reducing the need for manual intervention and ensuring a quick reaction to possible incidents.

Keywords: embedded system, Internet of Things, Narrowban, radio base.

1. INTRODUCCIÓN

En el mundo moderno de las comunicaciones, los repetidores de microondas juegan un papel crucial en la transmisión de datos a larga distancia, garantizando la conectividad en redes de

telecomunicaciones, servicios de televisión por satélite y otras aplicaciones. Estos dispositivos, que amplifican y retransmiten señales de microondas, son esenciales para mantener la calidad y estabilidad de las comunicaciones. Sin embargo, el acceso a estos repetidores presenta desafíos significativos que van más allá de la simple operación y mantenimiento.

Una de las empresas más destacadas en telecomunicaciones en México enfrenta un problema significativo en la gestión de su infraestructura de radio bases, el cual se revela crítico para mantener la calidad y fiabilidad de sus servicios. Debido a razones de confidencialidad, el nombre de la empresa no será mencionada, pero su situación ilustra desafíos comunes en el sector de telecomunicaciones.

Una de las principales problemáticas que enfrenta esta empresa es la identificación oportuna de alarmas en las radio bases. Existen algunas estaciones que no están equipadas con tecnología adecuada para la detección temprana de fallas. Esto significa que las alarmas que podrían alertar sobre problemas inminentes, como fallos en el suministro de energía, mal funcionamiento de componentes o interrupciones en la señal, no se activan o no se detectan de manera eficiente. La falta de equipos de detección avanzados en estas radio bases provoca que los problemas se identifiquen solo cuando ya han afectado significativamente la operación, generando tiempos de inactividad prolongados y un impacto negativo en la calidad del servicio.

Por otro lado, en aquellas radio bases que sí están equipadas con sistemas de detección de alarmas, se presenta otro desafío: la necesidad de monitoreo constante. Estos equipos avanzados generan un volumen significativo de datos y alertas que deben ser gestionadas de manera continua. La empresa requiere un monitoreo de 24 horas al día los 365 días del año para revisar y analizar la generación de alarmas, lo cual demanda un considerable esfuerzo de personal y recursos. La sobrecarga de información y la necesidad de una vigilancia ininterrumpida

pueden llevar a una gestión ineficiente de las alarmas, así como a un mayor riesgo de que alertas críticas se pasen por alto o no se prioricen adecuadamente.

El problema se agrava al considerar que la detección y respuesta rápida a las alarmas son esenciales para minimizar el impacto de cualquier fallo en la red. Los retrasos en la identificación de problemas o la sobrecarga de alarmas pueden resultar en una degradación del servicio, pérdidas financieras y una reducción en la satisfacción del cliente. En este contexto, la empresa enfrenta la necesidad urgente de optimizar su capacidad de detección y respuesta a fallos para mantener la integridad de su red y la calidad de sus servicios.

Para abordar estos desafíos, se sugiere considerar la implementación de tecnologías de vanguardia que optimicen la eficiencia en la identificación y gestión de alarmas. Una de las soluciones más prometedoras incluye la adopción de sistemas de monitoreo automatizados dotados de comunicación eficiente, de largo alcance y con un consumo energético reducido.

Por otra parte, con el avance de los sistemas IoT (Internet of Things), han emergido nuevas tecnologías de comunicación inalámbrica que facilitan la conexión de numerosos dispositivos. Estas tecnologías, conocidas como LPWAN (Low-Power Wide Area Network), permiten la transmisión de pequeños paquetes de datos a largas distancias, destacándose por su bajo costo y su reducido consumo de energía [1], actualmente una de estas tecnologías son las redes Narrowband (NB) [2] [3].

Es importante destacar que las tecnologías de comunicación inalámbrica 3G y 4G, diseñadas para proporcionar Internet de alta velocidad, requieren recursos de red significativos y un alto consumo de energía. Sin embargo, la mayoría de los dispositivos de Internet de las cosas conectados a una red no necesitan alta velocidad de Internet, ya que suelen operar enviando y recibiendo comandos desde un servidor. NB-IoT emplea frecuencias estrechas, generalmente en el rango de 900 MHz, lo que permite el uso de dispositivos económicos que pueden operar tanto en interiores como en áreas extensas [4].

En el presente artículo, se propone un diseño e implementación de sistema embebido para NB-IoT para el monitoreo de alarmas, con el objetivo de ofrecer una solución más efectiva que las utilizadas en la actualidad. Este sistema no solo optimiza la detección y transmisión de alertas, sino que también incluye una plataforma web para la gestión eficiente de la información recopilada y el envío de alertas a los usuarios responsables de atender los fallos a equipos. La combinación de la tecnología NB-IoT con esta plataforma web permite un monitoreo más preciso y una administración centralizada de los datos,

mejorando la respuesta y el control en tiempo real de los eventos monitoreados.

2. DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA IOT-NB

En la arquitectura de sistemas NB-IoT, la comunicación eficiente entre los dispositivos IoT, el servidor y la interfaz de usuario (UI) es esencial para la operación efectiva y la gestión de datos. A continuación, se describe el esquema de comunicación del sistema implementado, ver Figura 1.

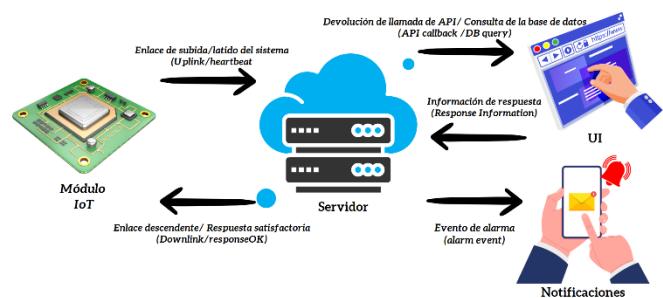


Figura 1. Comunicación del sistema NB-IoT

1. El módulo IoT se comunica con el servidor a través de dos mecanismos: uplink y heartbeat. El uplink es el proceso por el cual el dispositivo envía datos al servidor. Estos datos son una cadena de caracteres en formato hexadecimal que contiene la lectura de los sensores, fecha y hora. La comunicación a través del uplink es crucial para la recolección de datos y la monitorización en tiempo real.

El heartbeat es una señal periódica que el dispositivo envía al servidor para confirmar su operatividad y conectividad. Cada mensaje de heartbeat actúa como un chequeo regular que asegura que servidor y los dispositivos IoT estén activos y en comunicación. Si el servidor no recibe el heartbeat en el intervalo esperado, puede indicar un problema de conectividad o una falla del dispositivo.

2. En respuesta a los datos recibidos a través del uplink, el servidor utiliza el mecanismo de downlink para enviar información o comandos de vuelta al módulo IoT. El downlink puede incluir comandos para modificar el comportamiento del dispositivo, actualizaciones de configuración o confirmaciones de recepción. Una respuesta de tipo "responseOK" asegura al dispositivo que los datos han sido recibidos y procesados correctamente, permitiendo la sincronización y la gestión continua de la comunicación.

3. La interfaz de usuario proporciona a los usuarios la capacidad de interactuar con el sistema a través de solicitudes al servidor. Estas solicitudes se realizan mediante API callbacks y consultas a la base de datos (DB queries).

Las solicitudes API permiten a la UI enviar comandos o consultas al servidor para obtener información específica o ejecutar acciones. Los callbacks de API facilitan la comunicación bidireccional entre la UI y el servidor, permitiendo la recepción de datos en tiempo real y la actualización dinámica de la interfaz.

Por otra parte, las consultas a la base de datos permiten a la UI solicitar información almacenada en el servidor. Estas consultas se utilizan para recuperar datos históricos, estadísticas y otra información relevante que puede ser presentada al usuario a través de la UI.

4. Una vez que el servidor recibe las solicitudes de la UI, procesa la información y responde con una respuesta de información. Esta respuesta incluye datos solicitados, confirmaciones de acciones realizadas o actualizaciones de estado. La información proporcionada permite a la UI presentar datos precisos y actualizados a los usuarios.

5. Finalmente, en el servidor se ha implementado una sección dedicada a la gestión de fallas, la cual está configurada para enviar notificaciones a los usuarios encargados de la atención oportuna de incidencias. Este proceso se lleva a cabo mediante el envío de correos electrónicos, en los que se informa detalladamente sobre la falla detectada en el equipo y la radio base correspondiente.

3. DISEÑO DEL DISPOSITIVO IOT

La estructura general del sistema NB-IoT está diseñada para integrar y gestionar diversos tipos de sensores mediante un dispositivo IoT. Este incorpora una tarjeta de circuito impreso (PCB) que actúa como el núcleo de la plataforma, conectando y coordinando múltiples sensores necesarios para la operación del sistema.

En primer lugar, incluye las conexiones para sensores destinados a la medición de la corriente eléctrica (tres fases), y la conexión al equipo principal de la radio base. Este componente es crucial para monitorear el funcionamiento de los equipos.

Además, el módulo está equipado con un sensor de radiación infrarroja, que permite la detección de movimiento en el entorno. Este sensor es fundamental para identificar la presencia de

personas no autorizadas, proporcionando una clapa adicional de funcionalidad y seguridad al sistema.

Otro componente importante es el sensor magnético, que se utiliza para monitorizar el estado de las puertas. Este sensor detecta si una puerta está abierta o cerrada mediante la interacción entre imanes ubicados en la puerta y el marco, enviando señales al dispositivo embebido para registrar cualquier cambio en el estado de la puerta.

El módulo IoT también incluye un sensor de temperatura. Este sensor está integrado en la PCB y permite la medición continua de la temperatura ambiente, lo que es esencial para aplicaciones que requieren el monitoreo de condiciones térmicas específicas.

Finalmente, la tarjeta no solo integra diversos sensores en su tarjeta de circuito impreso (PCB), sino que también está equipado con un módulo de comunicación SIM7070G y un microcontrolador ATMEGA328 para optimizar su funcionalidad. El SIM7070G es un módulo de comunicación que proporciona capacidades de transmisión de datos mediante redes móviles, permitiendo que el sistema envíe y reciba información de manera eficiente a través de la red celular. Esto facilita la conexión remota y la transferencia de datos en tiempo real. Por otro lado, el microcontrolador ATMEGA328 actúa como el cerebro del sistema, encargándose del procesamiento de las señales recibidas de los distintos sensores. Este microcontrolador coordina la adquisición y el análisis de datos, gestionando las respuestas del sistema y garantizando una operación precisa y eficiente. En conjunto, estos componentes permiten al sistema NB-IoT ofrecer una solución robusta en una única solución embebida, proporcionando un control integral y una vigilancia precisa de los equipos eléctricos, la actividad en el entorno, el estado de las puertas y las condiciones térmicas. Ver Figura 2.

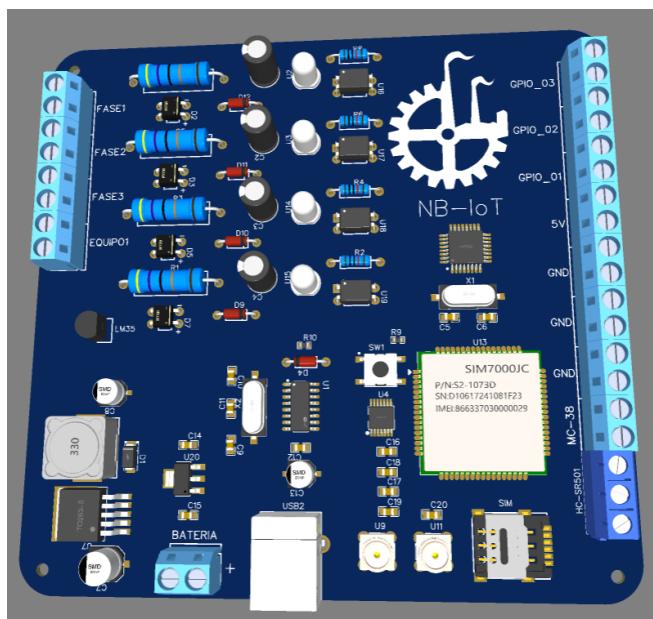


Figura 2. Diseño del Módulo IoT

4. FORMATO DE TRANSMISIÓN DE DATOS

El formato empleado para el envío de datos es hexadecimal (ver Tabla 1), ya que esta elección permite reducir significativamente la cantidad de caracteres o bytes transmitidos a través de la red. Este enfoque tiene como objetivo optimizar el uso del ancho de banda disponible y ahorrar en la cantidad de información permitida de acuerdo al plan de datos contratado para el Subscriber Identity Module (SIM). Adicionalmente, el SIM requiere de manera nativa el uso de formato de bytes para la transmisión de datos.

La estructura de los datos enviados por el dispositivo IoT se organiza de la siguiente manera:

- ID del dispositivo (IMEI módulo 17 dígitos + 0)
- Tipo de sensor (0A movimiento, 0B sensor magnético y 0C para temperatura)
- Datos sensados (1000 little endian)

IMEI del módulo o ID	Tipo de sensor	Datos del sensor
0x35,0x29,0x46,0x10,0x89,0x85,0x70,0x30	0x0C	0xFA

Tabla 1. Diseño del Módulo IoT

Por lo tanto, la cadena de caracteres enviada para el sensor de temperatura es: 35294610898570300CFA

5. COMUNICACIÓN ENTRE EL DISPOSITIVO IOT Y EL SERVIDOR

El módulo SIM7070G facilita la transmisión de datos hacia el servicio en la nube. Para configurar la transmisión de datos, se utilizan comandos AT que permiten ajustar los parámetros necesarios. En primer lugar, se debe seleccionar el tipo de red que se desea utilizar, posteriormente, se elige el protocolo de datos adecuado, en este caso UDP. Finalmente, se procede a enviar los datos deseados en formato hexadecimal. Esta secuencia de pasos asegura una configuración precisa y efectiva para la comunicación de datos a través del módulo SIM7070G.

6. ESQUEMA DEL SERVICIO EN LA NUBE

Para la implementación del servicio de cómputo en la nube, se sugiere utilizar Amazon Web Services (AWS). Este proveedor de servicios en la nube garantiza una alta estabilidad y seguridad en el sistema de computación [5]. La elección de AWS se fundamenta en su capacidad para ofrecer una infraestructura confiable y segura, lo que asegura que, siempre y cuando el software de procesamiento sea robusto, no se presentarán problemas en el almacenamiento, procesamiento y presentación de datos e información al usuario final. Esta solución permite una gestión eficiente y segura de los recursos informáticos, respaldando así la integridad y disponibilidad de la información a lo largo del tiempo [6].

Se procedió a crear una instancia de máquina virtual tipo t2.micro, al ser un servicio de VPS (Servidor Privado Virtual), la instancia proporciona la flexibilidad para utilizar cualquier tipo de software y lenguaje de programación que se requiera para alcanzar los objetivos del proyecto [7].

Con la configuración LAMP, se desarrolló una interfaz gráfica basada en tecnologías web, así como una API que facilitará la creación de callbacks para el desarrollo de aplicaciones externas. Esta funcionalidad será útil tanto para aplicaciones móviles como para el intercambio de información con otras plataformas [8].

Para la recepción de datos en el servidor, se empleó un socket User Datagram Protocol (UDP) en Java. A pesar de las limitaciones inherentes al protocolo UDP con respecto a Transmission Control Protocol (TCP), se ha seleccionado UDP debido a la baja cantidad de datos enviados al servidor y la ausencia de establecer una sesión de conexión entre el dispositivo y el servidor. UDP permite una transmisión en

tiempo real de la información mientras el socket permanece a la escucha de los datos entrantes [9].

Aunque no se establece una sesión de conexión, la estructura de los datos del dispositivo facilitará la recepción de la información. Esto permitirá que el software encargado de la recepción y almacenamiento de datos identifique el dispositivo dentro del sistema y gestione su propio hilo de escucha mientras el dispositivo completa el envío de los datos sensados.

7. RECEPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS EN EL SERVIDOR WEB

Para permitir la correcta interpretación de los datos en el servidor, se ha desarrolló un software backend utilizando el lenguaje de programación Java. Este software está diseñado para abrir un socket en un puerto específico, recibir los datos transmitidos, interpretarlos de acuerdo con el formato adecuado y gestionarlos eficientemente. Posteriormente, los datos son almacenados en una base de datos para su uso y análisis futuros.

El software se compone de tres fases principales:

1. Fase de escucha o apertura de conexión: cuyo propósito es estar a la espera de datos entrantes sin establecer una conexión previa con el dispositivo.
2. Fase de recepción e interpretación de datos: durante la cual el software se encarga de decodificar la cadena hexadecimal recibida y descomponerla en información comprensible.
3. Fase de administración y almacenamiento: la información decodificada se almacena en una base de datos junto con la cadena de datos en bruto, así como con la fecha y hora en que se realizó el almacenamiento.

A continuación, se muestra el pseudocódigo del software del lado del servidor:

Fase 1:

```
Socket = socket.server(puerto:20091)
Mientras sea verdad hacer:
    paqueteEntrante = paquete
    recibir(paqueteEntrante)
    obj datos = interpretacionDeDatos(paqueteEntrante)
    almacenar(datos)
```

Fase 2:

```
obj interpretacionDeDatos(paqueteEntrante):
    descomponerDatos[] = paqueteEntrante
    objetoDeDatos = convertirAObjeto(decomponerDatos)
    //objetoDeDatos.identificador
    //objetoDeDatos.tipoSensor
    //objetoDeDatos.informacionSensor
```

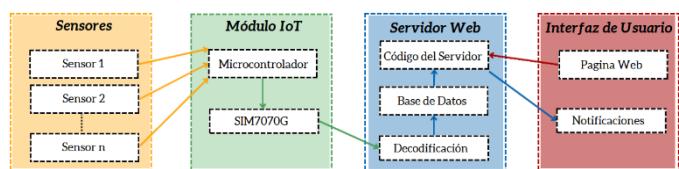
[Regresar objetoDeDatos](#)

Fase 3:

```
Vacio almacenar(obj datos):
    accionesABaseDeDatos(datos)
```

8. INTERFAZ DE USUARIO

Se utilizó AdminLTE como interfaz gráfica para la estructura básica de un panel de administración de los dispositivos [10], AdminLTE está basado en tecnologías JavaScript, HTML y CSS BootStrap, esto ayuda a enfocar el trabajo en el desarrollo pleno de la gestión de los datos, facilitando la presentación de la información al usuario final, también se usó Google Charts como librería para la creación de gráficos interactivos de la



información que se está sintetizando.

A través de PHP, se accede a la misma base de datos utilizada por el backend en Java para el almacenamiento de datos. Sin embargo, en este caso, PHP se empleará exclusivamente para realizar consultas de lectura y no para operaciones de escritura. PHP actuará como un intermediario entre la base de datos y la interfaz gráfica AdminLTE, facilitando la integración y presentación de los datos almacenados en la interfaz de usuario.

La implementación en el servicio de AWS se realiza utilizando el stack LAMP, en este contexto, se requiere únicamente abrir el puerto correspondiente al servicio web para permitir el acceso y la funcionalidad del sistema.

En la figura 3 presenta la interfaz gráfica destinada al usuario final como una alternativa de monitoreo, aunque cabe mencionar que no es requerida, ya que el sistema genera de manera automática emails de alarmas para los usuarios responsables de atender dichas solicitudes.



Figura 3. Interfaz gráfica de usuario

9. INTERCONEXION ENTRE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA

Como se expuso en los apartados anteriores, se ha proporcionado una descripción detallada del funcionamiento de cada uno de los módulos del sistema. En la Figura 4 se ilustra de manera general la forma en que estos módulos interactúan entre sí para cumplir con el funcionamiento previamente descrito. La figura ofrece una visión esquemática que representa las interacciones y la comunicación entre los módulos, facilitando la comprensión de su integración y el flujo de información dentro del sistema.

Figura 4. Interacción entre los módulos del sistema NB-IoT

10. EXPERIMENTACIÓN

Se procedió a la instalación de uno de los módulos de IoT, desarrollados con conforme al diseño previamente descrito, en una radio base situada en las proximidades de la ciudad de Hidalgo del Parral. El objetivo de esta instalación fue identificar posibles errores y áreas de mejora en el sistema. Para llevar a cabo esta evaluación, se conectaron los sensores MC-38 y HC-SR501, así como uno de los equipos de prueba y las tres fases del sistema de alimentación eléctrica disponibles en la radio base.

En el transcurso de la experimentación, se utilizaron los servicios LTE-CAT NB1/NB2 y LTE-CAT M1, comprobando el extraordinario bajo consumo energético. Además se observó que la información se transmitía correctamente al servidor. No obstante, se decidió implementar un proceso de filtrado para discriminar la información no relevante antes de su transferencia al servidor. Esta medida es crucial para optimizar el consumo de

batería del sistema embebido y asegurar la transmisión oportuna y precisa de las alertas.

Adicionalmente, se verificó el correcto almacenamiento de los datos en la base de datos y su adecuada representación en la interfaz de usuario (UI). Asimismo, se llevaron a cabo pruebas de fallo para asegurar que la tarjeta electrónica realizará la commutación correctamente y emitiera la señal de alarma al servidor, el cual a su vez notificaba al usuario sobre la presencia de una falla.

11. CONCLUSIONES

La tecnología NarrowBand LTE presenta una eficiencia superior en el consumo de batería en comparación con LTE CAT-M1, así como una tasa de latencia reducida y una capacidad de penetración más robusta. Estas características favorecen una transmisión de datos en tiempo real más eficaz y permiten su implementación en entornos con numerosos obstáculos sólidos. A pesar de las prometedoras ventajas que ofrece la tecnología NarrowBand, no todas las compañías de telecomunicaciones en México la brindan actualmente. En el caso específico de Telcel, si bien la cobertura es adecuada en muchas áreas, existen regiones donde la estabilidad del servicio aún no es completamente satisfactoria. No obstante, es innegable que estas tecnologías están destinadas a tener un uso más amplio en el futuro, y se espera que los servicios se establezcan de manera suficiente para su implementación en todas las localidades con cobertura disponible.

En relación con la gestión de alarmas en la empresa de telecomunicaciones, se ha observado que esta constituye una alternativa altamente efectiva para identificar de manera oportuna posibles fallos en los equipos de las radio bases. La solución propuesta ha demostrado ser robusta y completa frente a los desafíos que enfrenta la empresa, ofreciendo la ventaja adicional de eliminar la necesidad de personal para el monitoreo constante. Además, se ha logrado una reducción significativa en los tiempos de notificación al personal encargado de atender las fallas.

Finalmente se observó que si se gestiona de manera adecuada la transmisión de datos se puede lograr autonomía de los dispositivos durante períodos prolongados. Dependiendo del desarrollo óptimo del mismo, estas tecnologías pueden proporcionar una duración de operación que varía entre 3 y 10 años.

12. REFERENCIAS

- [1] Yi-Bing-Lin, "NB-IoTtalk: A Service Platform for Fast Development of NB-IoT Applications," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 928 - 939, 2019.
- [2] R. S. Sinha, "A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT," *LoRa and NB-IoT. ICT Express*, pp. 14-21, 2017.
- [3] B. Martinez, "Exploring the Performance Boundaries of NB-IoT," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 3, pp. 5702 - 5712, 2019.
- [4] W. Manatarinat, "Narrowband-Internet of Things (NB-IoT) System for Elderly Healthcare Services," *2019 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST)*, pp. 1-4, 2019.
- [5] A. W. S. L. America, "¿Qué es AWS?," 2021. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=x2vrg7HuM6g>. [Accessed 2024].
- [6] C. E. E. Ortiz, "Using AWS Educate for a Network Security Virtual Lab," *Revista electrónica sobre tecnología, educación y sociedad*, vol. 9, no. 18, 2022.
- [7] A. W. Services, "¿Qué es la capa gratuita de AWS y cómo se utiliza?," [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=3ad5SPdUgbM>. [Accessed 2024].
- [8] A. W. Services, "¿Qué es una pila LAMP?," 2023. [Online]. Available: <https://aws.amazon.com/es/what-is/lamp-stack/>. [Accessed 2024].
- [9] I. F. B. Peña, "Estudio de desempeño del protocolo SCTP y análisis comparativo con los protocolos TCP Y UDP," Lima, Perú, 2011.
- [10] i. framework, "Admin LTE," [Online]. Available: <http://developer.igniaframework.com/page.aspx?28,~spa>. [Accessed 2024].