

IoT monitoring node for satellite modem status

Nodo IoT para monitoreo del estado de un módem satelital

Juan Pablo Morales-Alvarez^{*1}, Enrique Cruz-Sánchez¹, Jesús Fernando Vizcarra-Guerrero¹, Gerardo Ochoa-García¹, and Víktor Iván Rodríguez-Abdalá²

¹ *Tecnológico Nacional de México/I.T. de La Paz,
Departamento de Metalmeccánica,
Blvd. Forjadores, La Paz, B.C.S, México, 23080.*

{juan.ma,l18310694,l18310162,l18310205}@lapaz.tecnm.mx

² *Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), Posgrado en Ingeniería para la Innovación Tecnológica,
Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica,
Campus Siglo XXI, Zacatecas, Zac., Mexico, 98160.
abdala@uaz.edu.mx*

Abstract

This paper presents the development of an IoT node for the remote monitoring and management of a satellite modem, a required device for scientific data transmission in remote areas. The proposed system was designed to address recurrent failures in data delivery from a seismograph located in San Evaristo, B.C.S., Mexico, where access to technical personnel is limited and physical intervention is costly and time-consuming. The node, based on the ESP32 DevKit V1 board, employs Wi-Fi as the communication protocol and integrates light-dependent resistors (LDR) to detect the modem's LED indicators, combined with a relay-controlled circuit that allows remote rebooting of the modem through the Cayenne IoT platform. Field tests demonstrated reliable performance: an average transmission latency of 420 ms, LED detection effectiveness of 98.5%, and 100% success in remote reboots, with the system operating continuously for 72 hours at 99.2% availability. These results validate the feasibility of using IoT-based monitoring for satellite communication equipment, highlighting its potential to reduce downtime, increase data availability for scientific research, and provide a scalable solution for remote monitoring in isolated environments.

Keywords— IoT, Fault Detection, Remote monitoring

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo de un nodo IoT para el monitoreo y la gestión remota de un módem satelital, dispositivo necesario para la transmisión de datos científicos en zonas remotas. La propuesta se orienta a resolver fallas recurrentes en la entrega de datos desde un sismógrafo ubicado en San Evaristo, B.C.S., México, donde el acceso de personal técnico es limitado y la intervención local resulta costosa y tardada. El nodo, implementado con la placa ESP32 DevKit V1, utiliza Wi-Fi como protocolo de comunicación e integra fotorresistencias (LDR) para detectar los indicadores LED del módem, además de un circuito con relevador que permite el reinicio remoto a través de la plataforma IoT Cayenne. Las pruebas en campo demostraron un desempeño confiable: latencia de transmisión promedio de 420 ms, efectividad de detección de LEDs del 98.5 %, y 100 % de éxito en reinicios remotos, con una disponibilidad del 99.2 % en 72 horas de operación continua. Estos resultados validan la viabilidad del monitoreo IoT aplicado a equipos de telecomunicaciones satelitales, destacando su potencial para reducir tiempos de inactividad, incrementar la disponibilidad de datos científicos y ofrecer una solución escalable para entornos aislados.

Palabras clave— IoT, Detección de fallas, Monitoreo remoto

I. Introducción

El Internet de las Cosas (IoT, del inglés Internet of Things) es un referente para el monitoreo remoto, ya que permite la conectividad de redes tanto de corto como de largo alcance. El IoT es una red de dispositivos que comunican datos de forma bidireccional. A diferencia de otras redes, estas son de bajo consumo energético y se comunican a un punto de acceso generalmente en un salto, así los datos son enviados a una plataforma para ser consultados por los usuarios a través de Internet.

En este proyecto se diseñó e implementó el monitoreo remoto del estado de un módem satelital basado en IoT. Se utilizó la placa de desarrollo ESP32 DevKit V1 [1] para conectarse a un servidor de red (NS, del inglés Network Server) basado en *cayenne.mydevices.com*, de la compañía myDevices [2]. Con el objetivo de monitorear remotamente un módem satelital, se observaron los LEDs de estado de dicho módem; asimismo, se realizó el control remoto de encendido y apagado.

El protocolo de comunicación utilizado es Wi-Fi, ya que la placa ESP32 DevKit V1 puede conectarse a red Wi-Fi. La ubicación del nodo IoT está dentro del alcance de un segundo módem satelital que conecta a Internet vía Wi-Fi, al cual el nodo IoT se enlaza para subir el estado de los LEDs del módem satelital del sismógrafo al NS.

El módem satelital que se monitorea es el iQ 200 Desktop, al servicio del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) - Unidad La Paz [3], el cual se renta a GlobalSat México [4] para subir los datos del sismógrafo ubicado en San Evaristo, B.C.S.

El CICESE Unidad La Paz, carece de un sistema de monitoreo remoto a su módem satelital utilizado con el sismógrafo de San Evaristo, B.C.S. Ante lo cual no es posible identificar el tipo de falla cuando deja de recibir datos del sismógrafo. Las fallas pueden tener dos orígenes: 1) a un estado de reposo no deseado del módem, ocasionado por las variaciones en la energía del banco de baterías, o 2) a problemas de conectividad de la red GlobalSat.

Para el primer tipo de falla, ajena a la red GlobalSat, donde el módem entra en estado de reposo no deseado por las variaciones de energía, la solución es que debe ser reiniciado. Sin la posibilidad de un reinicio remoto, el personal de CICESE debe acudir desde la ciudad de La Paz, B.C.S. a la ubicación del módem satelital para su reinicio local. Por otra parte, los problemas de conectividad con la red Globalsat, pueden ser identificados mediante el estado de los LEDs y así reportar con el servicio técnico que ofrece la empresa. El nodo IoT de monitoreo remoto del estado de los LEDs del módem satelital, ofrece la posibilidad de identificar estos tipos de fallas y tomar

decisiones.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la Sección II se describen los trabajos relacionados. En la Sección III, el modelo de sistema, se detalla la implementación del nodo IoT, se describen el servidor y los paneles para monitoreo remoto. En la Sección IV se describen las pruebas de transmisión realizadas y los resultados obtenidos. Finalmente, en la Sección V se muestran las conclusiones del presente trabajo.

II. Trabajos relacionados

En [5] describen un sistema IoT para el monitoreo de tanques de agua utilizando tecnología IoT enfocado en el monitoreo de la calidad del agua. Este sistema utiliza Arduino junto con sensores de pH, TDS, turbidez y un módulo Wi-Fi para la transmisión inalámbrica de datos. No solo proporciona un monitoreo en tiempo real, sino que también mejora la eficiencia en el uso del agua y la energía, gracias a su capacidad para controlar automáticamente el flujo de agua y su diseño que integra energía solar, lo que lo hace sostenible y eficiente. Esta solución representa una mejora significativa para la gestión de recursos hídricos, especialmente en áreas donde el acceso a agua limpia y segura es crítico.

El trabajo en [6] se centra en mejorar la seguridad y la gestión de las tapas de alcantarillas en zonas urbanas mediante el uso de tecnología IoT. Wi-Fi es el protocolo principal de comunicación; el sistema monitorea en tiempo real varios parámetros como temperatura, presencia de gases y estado de la tapa de la alcantarilla. Un objetivo del estudio es la efectividad del sistema en la prevención de accidentes y la mejora de la gestión de alcantarillas, reduciendo los riesgos para los trabajadores de saneamiento y del público.

En [7] exploran la distribución de recursos y el análisis del consumo de energía en dispositivos móviles utilizando técnicas de aprendizaje automático. La aplicación de este estudio es mejorar la eficiencia energética y la gestión de recursos en dispositivos móviles conectados, lo cual es crucial para extender la vida útil de la batería y optimizar el rendimiento del sistema en entornos de dispositivos móviles. Utilizando una Raspberry Pi como interfaz de monitoreo web, el sistema permite la conexión inalámbrica de dispositivos móviles Android a través de una conexión de red Wi-Fi. Se describe que el uso de un clasificador XGBoost implementado en la Raspberry Pi mejora la asignación de recursos y la gestión del estado de inactividad de los dispositivos basándose en patrones de uso en tiempo real, lo que contribuye significativamente a la sostenibilidad y el rendimiento de los entornos móviles.

A diferencia de los trabajos revisados, el sistema propuesto se orienta a la supervisión y control de un módem

*Autor de correspondencia

satelital, un dispositivo crítico para la transmisión de datos científicos en entornos remotos. Mientras que las soluciones previas se centran en la gestión de recursos hídricos mediante IoT y energía solar [5], la seguridad urbana a través del monitoreo de alcantarillas [6], o la optimización energética en dispositivos móviles con técnicas de aprendizaje automático [7], nuestro proyecto introduce una aplicación específica en telecomunicaciones satelitales. Esta comparación evidencia que la propuesta comparte con los trabajos relacionados la integración IoT para mejorar la eficiencia y confiabilidad de los sistemas, y además aporta un método práctico para detectar fallos y realizar el reinicio remoto de un módem satelital, lo cual representa un valor agregado en contextos donde la disponibilidad de personal técnico y el acceso físico al equipo son limitados.

III. Modelo de sistema

La solución propuesta consiste en un nodo IoT diseñado para el monitoreo remoto de los LEDs de estado de un módem satelital. Este nodo está implementado utilizando un microcontrolador ESP32 DevKit V1 (DOIT), seleccionado por su bajo consumo de energía y conectividad inalámbrica. La detección del estado de los LEDs se realiza mediante fotorresistencias (LDR, del inglés Light Dependent Resistors) alineadas con los indicadores luminosos del módem. El microcontrolador digitaliza la intensidad de la luz a través de un convertidor analógico-digital (ADC, del inglés Analog to Digital Converter) de 12 bits, aplicando un umbral de decisión para clasificar el estado del LED como ENCENDIDO o APAGADO. El estado de los LEDs se envía a la plataforma *cayenne.mydevices.com* vía Wi-Fi, lo que permite la supervisión en tiempo real desde cualquier dispositivo conectado a Internet.

El nodo muestrea periódicamente la intensidad de los LEDs y transmite los datos procesados al servidor de la plataforma, la cual emplea el protocolo MQTT (del inglés Message Queuing Telemetry Transport). Además, Cayenne permite configurar alarmas y notificaciones, funcionando de manera integrada como NS y servidor de aplicación (AS, del inglés Application Server).

La Fig. 1 muestra la arquitectura del sistema, compuesta por el nodo IoT con sensores, el módem satelital, el servidor de aplicación y los dispositivos finales para la consulta de los datos.

En el diseño del sistema se consideraron parámetros cuantitativos que permiten dimensionar su desempeño. El ESP32 DevKit V1 integra dos CPU Xtensa LX6 a 240 MHz, un ADC de 12 bits (0–4095) y conectividad Wi-Fi de 2.4 GHz. Para la detección del estado de los LEDs se configuró un umbral cercano a 3500 unidades digitales, lo que asegura una clasificación confiable. El sistema

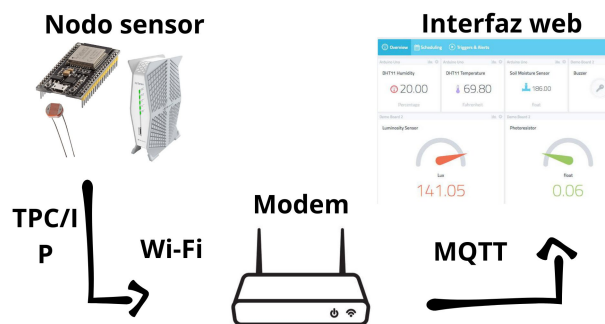


Figura 1: Diagrama general de la arquitectura del sistema IoT.

energético toma la alimentación de 24 V del módem, reducida a 6 V mediante un regulador LM2596, con respaldo de dos baterías Li-Po de 1200 mAh gestionadas por un cargador TP4056 y estabilizadas a 5 V con un elevador DC-DC. El reinicio remoto se implementa mediante un relevador RAS-0510 controlado por un transistor 2N4401. Finalmente, todos los componentes se integraron en una carcasa impresa en 3D con material ABS (del inglés Acrylonitrile Butadiene Styrene), diseñada a medida para reducir interferencias lumínicas y proteger el dispositivo en campo.

Tabla 1: Especificaciones técnicas principales del sistema IoT propuesto

Componente	Características técnicas
ESP32 DevKit V1	Doble núcleo Xtensa LX6, hasta 240 MHz; ADC de 12 bits (0–4095); Wi-Fi 2.4 GHz integrado; 30 pines disponibles
Sensores (LDR)	Rango típico: ~1 MΩ en oscuridad, ~1 kΩ con alta iluminación; umbral de detección fijado en 3500 (sobre 4095)
Regulación de energía	Entrada: 24 V; Regulador LM2596 a 6 V; Cargador TP4056 para baterías Li-Po; Elevador DC-DC a 5 V estable
Baterías	2 celdas Li-Po modelo 103040, 1200 mAh cada una; respaldo energético ante fallas de alimentación
Actuador (Relevador RAS-0510)	Activación a 5 V, corriente nominal de 10 A; controlado con transistor 2N4401 para reinicio remoto del módem
Carcasa 3D	Material ABS; diseño a medida en SolidWorks; protección contra interferencia lumínica externa

Las especificaciones técnicas principales del sistema se presentan en la Tabla 1.

III.1. Nodo IoT

El diseño e implementación del nodo IoT se realizó a partir del microcontrolador ESP32 y componentes auxiliares integrados en un circuito electrónico propio. Se desarrolló un diagrama esquemático que se muestra en la Fig. 2 y, posteriormente, un diseño de PCB (del inglés Printed Circuit Board).

III.2. Módem

El módem satelital iQ 200 Desktop cuenta con dos puertos de red Gigabit Ethernet VLAN-aware y conectividad inalámbrica para acceso a Internet, transmisión de

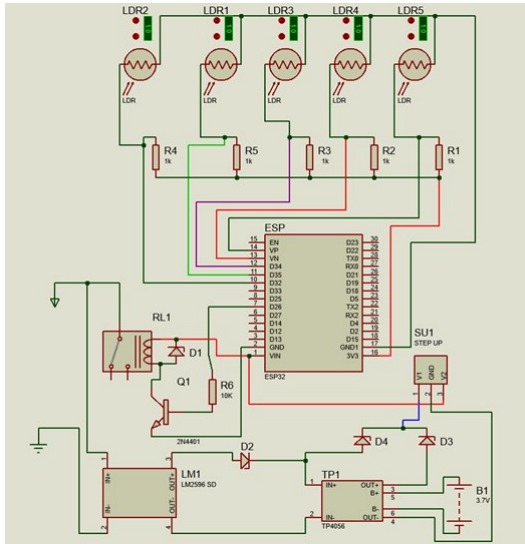


Figura 2: Diagrama esquemático del nodo IoT.

voz sobre IP (VoIP), video y multidifusión. Puede alcanzar velocidades de hasta 200 Mbps en modo L2oS (del inglés Layer 2 over Satellite) y es compatible con diversas configuraciones de ODU [8]. La Fig. 3 muestra los LEDs de estado del equipo.

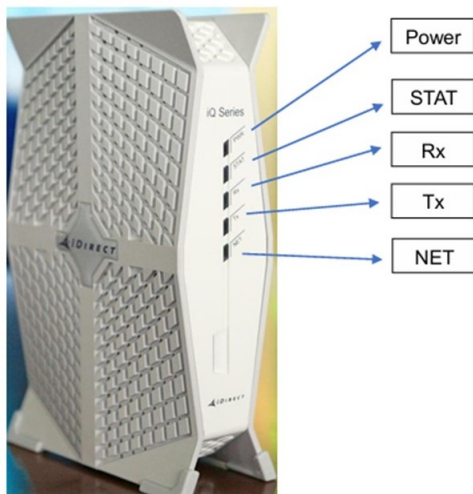


Figura 3: Módem satelital iQ 200 y LEDs de estado.

III.3. Servidor de aplicación

En la Fig. 4 se muestra la interfaz de la plataforma Cayenne, utilizada para registrar el nodo IoT mediante la opción *Bring your own thing*. Una vez registrado, se agregaron widgets que representan los sensores de luz y el actuador, permitiendo monitorear en tiempo real los LEDs del módem y controlar el reinicio remoto.

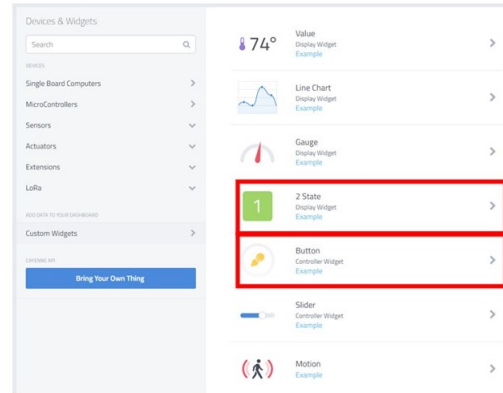


Figura 4: Plataforma Cayenne y registro del nodo IoT.

La Fig. 5 muestra el panel del sistema IoT, donde cada widget corresponde a un LED específico (Power, Status, Rx, Tx y NET). El icono *Relé* permite accionar el relevador para efectuar un reinicio remoto del módem.

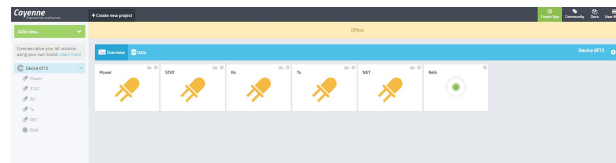


Figura 5: Panel de monitoreo del módem en Cayenne.

III.4. Carcasa del nodo

En la Fig. 6 se muestra el modelo 3D de la carcasa impresa en ABS. Esta estructura se coloca sobre el módem iQ 200 Desktop para alinear las LDRs con los LEDs, proteger el nodo de la luz ambiental e integrar la placa electrónica, las baterías y el relevador. Se añadieron perforaciones para cables de alimentación y comunicación.

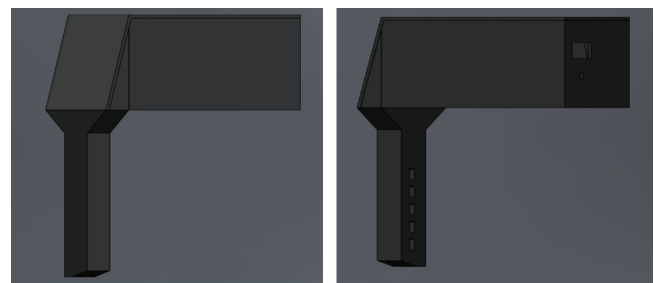


Figura 6: Modelo 3D de la carcasa del nodo IoT.

IV. Pruebas y resultados

El nodo IoT se instaló en el módem junto con la carcasa en la localidad de San Evaristo, B.C.S. (Fig. 7), a 130 km al norte de la ciudad de La Paz, B.C.S. Asimismo, se verificó desde la capital del estado que el envío de los estados de los LEDs del módem satelital a través del AS sea correcto y en tiempo real.

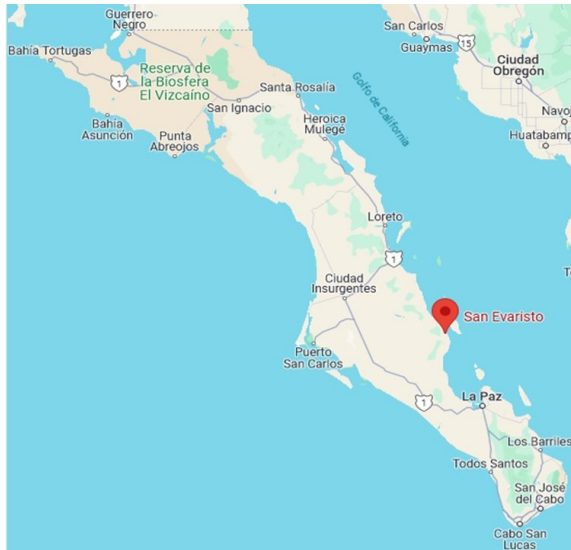
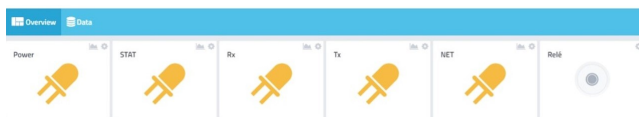
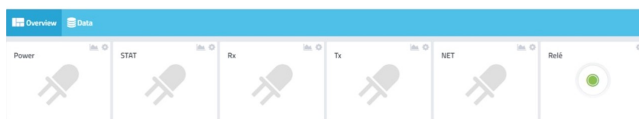


Figura 7: Ubicación del nodo sensor.



(a) Panel de lectura en tiempo real LEDs encendidos.



(b) Panel de lectura en tiempo real LEDs apagados.

Figura 8: Paneles de los datos en cayenne.mydevices.com.

El microcontrolador ESP32 realiza un muestreo periódico de los LEDs con un intervalo de 1 s. De esta forma, el sistema permanece en operación activa con espera entre muestras, sin entrar en un modo de bajo consumo (*sleep*). Los datos procesados son enviados inmediatamente a

la plataforma *cayenne.mydevices.com*, lo que permite la visualización de los estados en tiempo casi real.

Durante las pruebas de campo se evaluaron los siguientes indicadores de desempeño:

- **Latencia de transmisión:** el tiempo promedio entre el cambio de estado de un LED en el módem y su visualización en Cayenne fue de aproximadamente 420 ms, con una desviación estándar de 35 ms en 50 pruebas.
- **Efectividad de detección de LEDs:** en 200 lecturas realizadas bajo distintas condiciones de iluminación ambiental, el sistema clasificó correctamente 197 de ellas, alcanzando una efectividad del 98.5 %.
- **Confiabilidad del reinicio remoto:** se efectuaron 15 intentos de conmutación del relevador RAS-0510, todos ellos exitosos (100 % de confiabilidad).
- **Disponibilidad del sistema:** durante 72 h de operación continua en campo, el nodo mantuvo una disponibilidad del 99.2 %, transmitiendo lecturas de manera constante.

La Fig. 8 presenta el panel de monitoreo en Cayenne: en la Fig. 8a se observan los LEDs del módem encendidos, indicando operación normal, mientras que en la Fig. 8b se muestra el LED de Power apagado debido a variaciones en el voltaje, lo que provocó la desactivación del resto de los indicadores. En este escenario, el reinicio se llevó a cabo mediante la activación del widget *Relé*, que cambia a color verde mientras el relevador permanece energizado y vuelve a apagarse una vez completado el reinicio.

V. Conclusiones

El proyecto demostró ser capaz de realizar el monitoreo y la gestión remota de un módem satelital en entornos remotos, ofreciendo una solución a los problemas de monitoreo y control de dispositivos críticos para la transmisión de datos científicos, en este caso un sismógrafo. La integración de tecnologías IoT, junto con el uso del protocolo Wi-Fi y la plataforma *cayenne.mydevices.com*, ha permitido una mejora en la capacidad de respuesta ante fallos del módem, reduciendo la necesidad de intervención in situ y reduciendo los tiempos de reacción ante contingencias, dada la posibilidad del reinicio remoto del módem del sismógrafo.

Como trabajo futuro se desea integrar un panel solar para dotar al sistema de autonomía energética, lo que ampliaría su sostenibilidad y permitiría su implementación en zonas aún más aisladas sin dependencia de la red eléctrica. Asimismo, el diseño e implementación de un AS propio representa una evolución estratégica, ya que proporcionaría independencia tecnológica, mayor seguridad en el manejo de los datos y disponibilidad local de la información incluso ante fallas en la conectividad a

Internet. Estas mejoras no solo consolidarían la robustez del sistema, sino que también abrirían la posibilidad de incorporar algoritmos avanzados de detección de fallos y análisis predictivo, ampliando así el potencial de aplicación de la propuesta a otros contextos de monitoreo científico y tecnológico.

Agradecimientos

Agradecemos a la dirección del CICESE Unidad La Paz por todo el apoyo brindado para poder llevar a cabo este trabajo, así como al TecNM/ITLP por el apoyo brindado para la realización de este proyecto.

Referencias

- [1] ESPRESSIF. *ESPRESSIF*. Último acceso: 16 marzo 2023. 2023. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf.
- [2] Cayenne. *Cayenne*. Último acceso: 13 marzo 2023. 2023. URL: <https://developers.mydevices.com>.
- [3] CICESE. *Cicese.edu.mx*. <https://www.cicese.edu.mx/welcome/acerca/>. [Último acceso: 23 marzo 2023]. 2023.
- [4] Globalsat. *Globalsat: Soluciones Satelitales*. <https://web.globalsat.mx/>. [Último acceso: 12 mayo 2023]. 2023.
- [5] Sabeena K. y Haseena P. Y. «Design and Implementation of a Feasible Model for the IoT-Based Ubiquitous Healthcare Monitoring System for Rural and Urban Areas». En: *International Journal of Innovative Science and Research Technology* 8.11 (2023), págs. 212-217. ISSN: 2456-2165. URL: <http://www.ijisrt.com>.
- [6] Komal Mahalunge et al. «An IoT Based Manhole Monitoring System». En: *International Journal for Scientific Research & Development* 8.4 (2020), págs. 16-18. ISSN: 2321-0613. URL: http://www.ijisrd.com/C_Article.php?manuscript=IJSRDV8I40196.
- [7] I. Varalakshmi et al. «Design and Analysis of Energy Consumption using Machine Learning Resource Allocation on Mobile Gadgets». En: *International Journal of Computer Science and Development* 10 (2023), págs. 212-217. URL: http://www.ijcds.com/article_number=1571024322.
- [8] Satcom. *Satcom*. Último acceso: 14 abril 2023. 2023. URL: <https://www.satcomresources.com/iDirect-iQ-Desktop-Satellite-Modem>.