



## **Diseño de un protocolo para la transferencia de información en una red LoRaWAN-IOT**

*Fernando Ríos Cortés<sup>1</sup>, Fernando Bautista Hernández<sup>1</sup>, David Bertani Hernández<sup>1</sup>, Salomón Jorge Hernández Breton<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>TecNM Campus Orizaba

\*fernando.rc@orizaba.tecnm.mx

### **RESUMEN**

El presente documento se centra en el diseño de un protocolo que mejora la transferencia de información en una red LoRaWAN-IOT, optimizando aspectos clave como la eficiencia energética y la seguridad de los datos, lo que es esencial para el desarrollo exitoso de aplicaciones IoT en diversos campos de aplicación. El protocolo se desarrolló con el objetivo de mejorar la eficiencia y la confiabilidad de la comunicación en una red LoRaWAN-IOT, desde la transferencia de la información proveniente de los sensores por medio de los elementos primarios que son los radios digitales, hasta la llegar a la terminal del usuario que es la aplicación Web. Esto implica considerar factores como la gestión de la energía, la capacidad de la red y la seguridad de los datos transmitidos. El diseño de un protocolo busca minimizar el consumo de energía de los dispositivos IoT, maximizar la vida útil de las baterías y garantizar la integridad y la confidencialidad de los datos. Se abordan aspectos técnicos específicos del protocolo, como la estructura de los mensajes, la gestión de la red, la asignación de canales y la prevención de colisiones en la transmisión de datos. El objetivo es ofrecer una solución robusta y eficiente para la transferencia de información en redes LoRaWAN, que son fundamentales para la expansión de la IoT en diversas aplicaciones, como la monitorización remota de energía y agua potable, administración de ciudades inteligentes, sistemas para la automatización de la agricultura y la ganadería, entre otros.

**Palabras claves: monitoreo remoto, redes LoRaWAN, sistema IoT.**

### **ABSTRACT**

This paper focuses on the design of a protocol that improves information transfer in a LoRaWAN-IOT network, optimizing key aspects such as energy efficiency and data security, which is essential for the successful development of IoT applications in various applications. The protocol was developed with the objective of improving the efficiency

and reliability of communication in a LoRaWAN-IOT network, from the transfer of information by the sensors through the digital radios, to the Web application.

This involves considering factors such as power management, network capacity, and the security of transmitted data. The design of the protocol seeks to minimize the energy consumption of IoT devices, maximize battery usage and guarantee the integrity and confidentiality of the data. Specific technical aspects of the protocol are addressed, such as message structure, network management, channel assignment, and collision avoidance in data transmission. The objective is to offer a robust and efficient solution for the transfer of information in LoRaWAN networks, fundamental for the expansion of IoT in various applications, such as remote monitoring of energy and drinking water, management of smart cities, and systems for automation. agriculture and livestock, among others.

**Keywords: remote monitoring, LoRaWAN networks, IoT system.**

## **INTRODUCCIÓN**

La IoT ha revolucionado la forma en que interactuamos con el mundo que nos rodea, permitiendo la recopilación y transmisión de datos desde una variedad de sensores y dispositivos en tiempo real. Una de las tecnologías que ha emergido como una solución viable para la conectividad de dispositivos IoT en redes de largo alcance es LoRaWAN (Red de Área Amplia de Baja Potencia). LoRaWAN es un protocolo de comunicación inalámbrica diseñado específicamente para satisfacer las necesidades de la IoT, ofreciendo una combinación única de alcance extendido, bajo consumo de energía y capacidad de penetración en estructuras densas. Sin embargo, la eficacia de una red LoRaWAN-IOT depende en gran medida de la optimización de los protocolos de transferencia de información utilizados. Los retos de la administración de la energía, la capacidad de la red y la seguridad de los datos transmitidos requieren una atención especial en el diseño de estos protocolos. Es precisamente en este contexto que se enfoca el presente artículo.

El propósito de este trabajo es presentar el diseño de un protocolo que aborde de manera integral los desafíos asociados con la transferencia de información en una red LoRaWAN-IOT. Nuestro enfoque se centra en optimizar la eficiencia, la confiabilidad y la seguridad de la comunicación en este entorno, con el objetivo de maximizar la utilidad de la IoT en

diversas aplicaciones. A lo largo de este artículo, se detallarán los elementos clave de nuestro protocolo, desde la estructura de los mensajes hasta la gestión de la red y la seguridad de los datos.

## METODOLOGÍA

Para dar una idea básica que permita comprender el diseño e implantación del protocolo dentro de una red LoRaWAN con características IOT como parte de un sistema integral que permita el sensado, la transmisión de dos variables y la presentación de los resultados en una aplicación WEB se presenta el siguiente diagrama conceptual (figura 1) de este sistema.

Como puede observarse el diseño está basado en tres servicios o plataformas a nivel hardware-software, los cuales se describen a continuación:

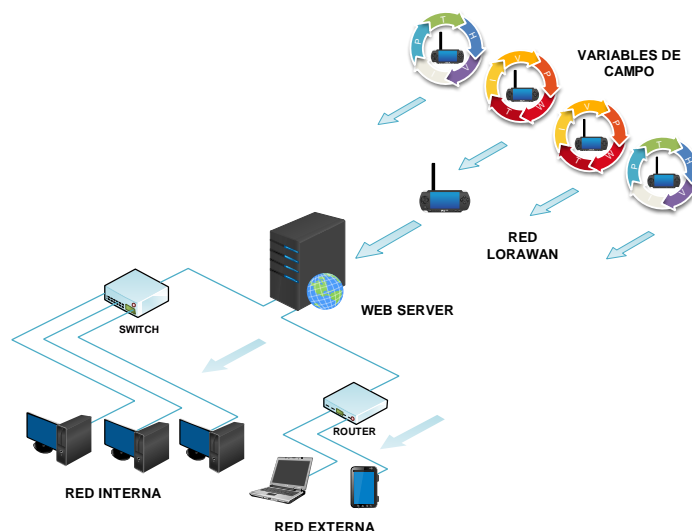


Figura 1. Diseño de la red LoRaWAN con aplicación IOT.

- **Plataforma primaria o de adquisición de datos:** la cual está conformada por los sensores. y la primera capa de la red LoRa la cual está conformada por los nodos de transmisión primarios y por los nodos concentradores, los cuales recaban, procesan y normalizan dicha información a cierto nivel. En este nivel se establece el primer protocolo de comunicación, al cual llamaremos **Protocolo Base o Protocolo de Red LoRa**
- **Plataforma secundaria o GATEWAY:** conformado por los dispositivos concentradores los cuales están interconectados en la red local de WIFI, desde

las terminales, pasando por los rúters, hasta los servidores los cuales conectaran a los servicios de la nube. Estos realizan la normalización de las variables (corriente y voltaje) y los transmiten al servidor dedicado. En este nivel se establece el segundo protocolo de comunicación, al cual llamaremos **Protocolo de Interfaz o Protocolo de Red LoRaWAN**

- **Plataforma final o de aplicación IOT:** es el conformado por los elementos finales de tipo Smart, los cuales están conectados a una red remota asociados a una dirección IP. En este nivel se establece el ultimo protocolo de comunicación, al cual llamaremos **Protocolo de aplicación, el cual está inmerso dentro del protocolo general TCP/IP**

Como puede observarse la topología de la res LoRaWAN es básica, esto debido a la limitante de radios digitales que se cantaba en ese momento para realizar las pruebas de comunicación. Los radios lora que se seleccionaron para la realización de las pruebas fueron los de capacidad de enlace a corto y mediano alcance a continuación se muestran algunas de sus características funcionales:

#### **LORA32 V 1.1. y V 2.1.**

- Tipo de modulación FSK&&CHIRP
- Potencia de transmisión: + 20dBm.
- Frecuencia de desviación: +/- 15 Khz.
- Sensibilidad de recepción por demanda de datos en transmisión bilateral abierta:
  - Límite inferior: -139dBm @ LoRa y 62.5Khz y SF = 12 y 146bps.
  - Límite superior: -118dBm @ LoRa y 125Khz y SF = 6 y 9380bps
- Núcleo de procesamiento ESP32 S2.
- Antena con ganancia promedio a 2Dbi e interfaz IPX / IPEX
- Interfaz para carga de baterías litio, corriente máxima de carga: 500 mA.

#### **Diagramas de flujo correspondiente a la operatividad y flujo de información.**

En esta sección se expondrán los diagramas de flujo correspondientes a la evolución y transmisión de la información por medio de la implementación de los protocolos y de los algoritmos creados para el adecuado tratamiento digital de la señal dentro del red LoRaWAN y al momento de que esta información sea transmitida al servidor

correspondiente para su diversificación en la nube por medio de la aplicación WEB, para conformar el perfil de un sistema IOT. La interpretación de cada uno de los diagramas de flujo se expone a continuación:

- **Diagrama de flujo 1. Figura 2. Diagrama de flujo del sistema emisor. Red LoRa.**

El emisor, después de haber obtenido (y calculado) el valor de la medición de la variable en cuestión inicia el proceso de creación de una trama:

Para crear la trama, encapsula (que podríamos definirlo como "agrega una parte a la trama", llámese encabezado o contenido, por ejemplo) los datos necesarios antes de enviarla. Esta "encapsulación" ocurre (casi en su totalidad) en la capa 2 del modelo OSI (que significa Interconexión de Sistemas Abiertos, que es, a grandes rasgos, un marco conceptual para la comunicación de datos).

El proceso inicia con encapsular el direccionamiento de la trama, que incluye la dirección (en este caso, hexadecimal) del remitente y receptor. Posteriormente, se anexa (o encapsulan, pero para no repetir tanto "encapsular") la información relacionada con el mensaje que se va a mandar: esto es la longitud del mensaje, un identificador (que, en este caso, es decimal, y es el número del mensaje que el emisor ha transmitido desde la última vez que se conectó) y el mensaje. Antes de terminar la trama, se aplica una técnica para detectar y corregir errores que puedan ocurrir durante la transmisión, que en este caso es el Código de Corrección de Errores hacia Adelante (FEC), que, pese a su nombre, solo detecta errores, por lo que requiere un método auxiliar para corregir cualquier desviación por lo que se eligió el algoritmo de Hamming. Este algoritmo agrega a la trama x número de bits de paridad (o redundantes, que son los que permiten al receptor darse cuenta de que si hay errores) este número dependerá del tamaño del mensaje. Por último, antes de su transmisión la información es encriptada.

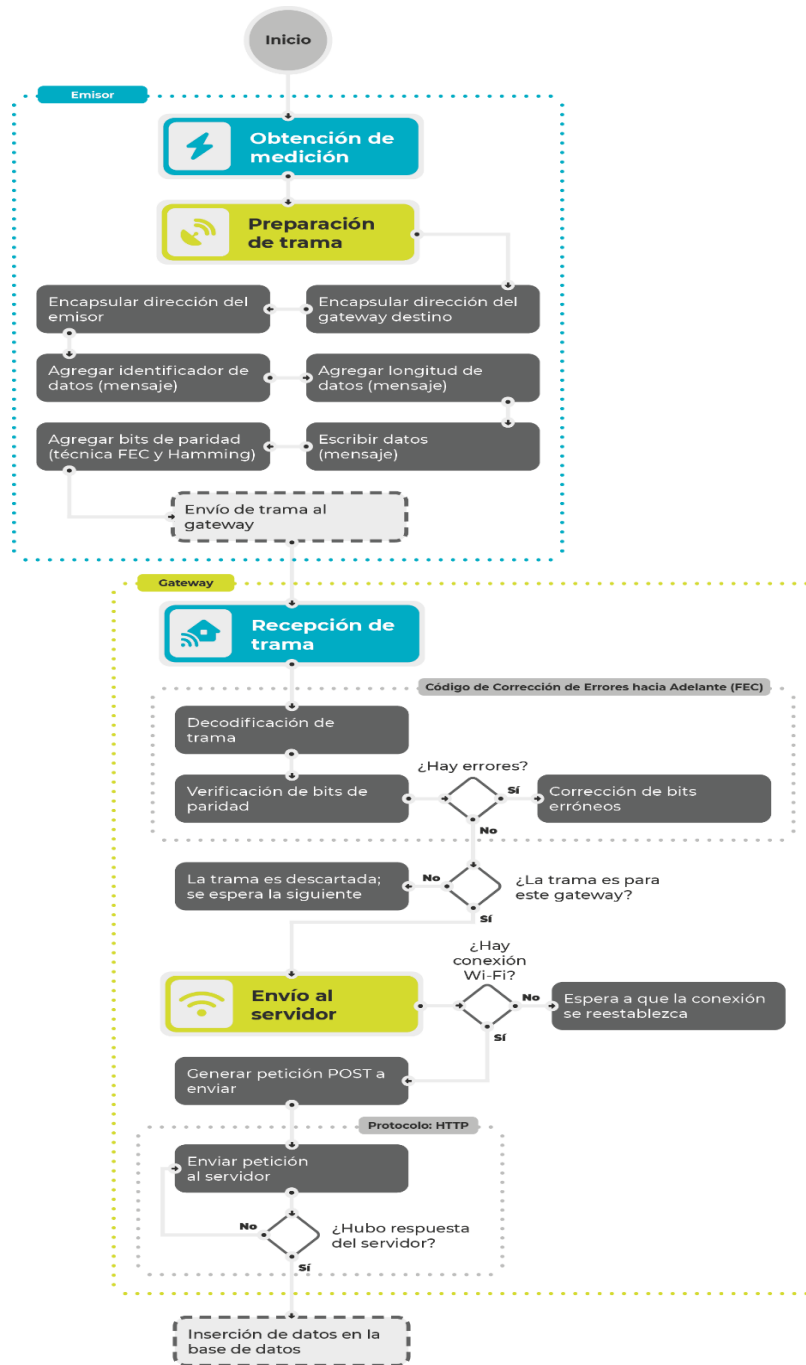


Figura 2. Diagrama de flujo del sistema emisor Red LoRa.

- Diagrama de flujo 2. Figura 3. Diagrama de flujo del sistema receptor. Red LoRa.

La trama es recibida por el receptor, ubicado en la misma red LoRa. Una vez que recibe la trama, el receptor la "descripta" y la desencapsula (concepto que

podríamos entender como "ir separando cada sección", es decir, separa el mensaje, la dirección de origen, de destino, etc.) se utiliza FEC y el código de Hamming para verificar la integridad de la trama. Suponiendo que la trama corresponde (se considera que existe conectividad a internet), entonces el sistema genera una petición POST, esta petición se enviará al servidor a través del protocolo HTTP (Protocolo de Transferencia de Hipertexto), quien se encargará de "darle forma" a la petición y la enviará al servidor. El servidor recibe la petición y la ejecuta. Si todo salió bien, enviará un código de respuesta 200; si algo sale mal, entonces mandará un código 40x (x es un número, puede ser 401, 402, etc). Este código de respuesta se regresará al gateway (igual por HTTP) para notificar el estado de la solicitud.

- **Diagrama de flujo 3. Figura 4. Diagrama de flujo de la base de datos.**

La página utiliza dos protocolos: HTTP y Postgres Wire Protocol (o Protocolo de PostgreSQL: "PostgreSQL", abreviado "Postgres", que es el gestor de la base de datos. A diferencia de la forma en que se envían los datos el emisor y el receptor (que es con tramas), HTTP usa peticiones (que ya lo había mencionado anteriormente). Las peticiones son más "abstractas", esto significa que lo que se envía es legible para los humanos, en contraposición con las tramas, que son enviadas en código binario. Profundizando en cómo funciona este protocolo, primero (desde el cliente) se debe establecer su tipo, que puede ser GET o). Independientemente de qué tipo sea, ambas peticiones llevan lo que quieren que el servidor haga. Una vez listo, se manda al servidor. El servidor recibe la petición y verifica si es GET o POST y se comunica con la base de datos para realizar lo que el cliente quiere que haga. Lo que obtiene será regresado al cliente, junto con un código de respuesta, que es un número que el servidor agrega a la petición para notificar "cómo salió todo", existen muchos códigos, pero como le decía, los más importantes son 200, 400 y -1 (que igual significa error). Después, la conexión con el servidor se termina.

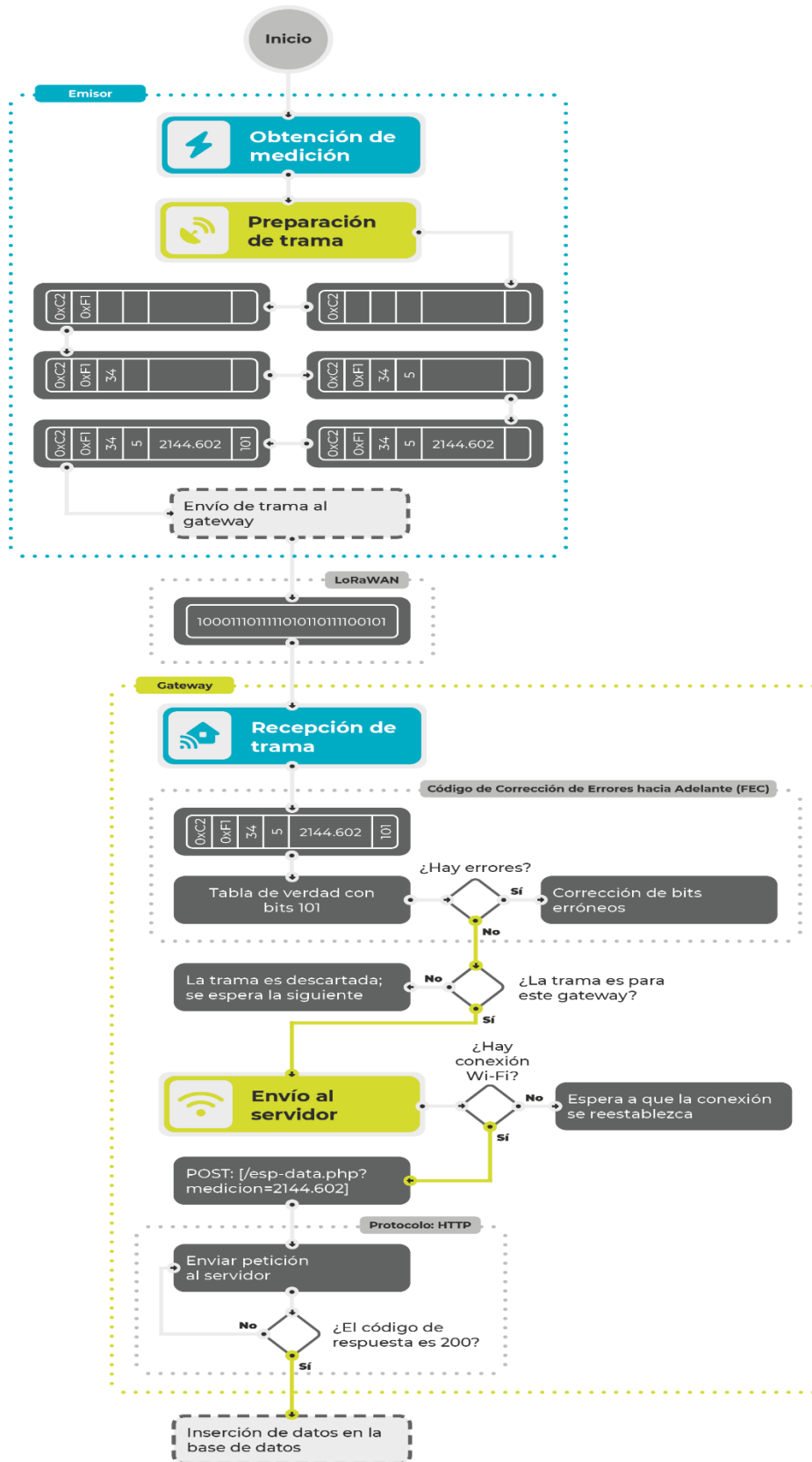


Figura 3. Diagrama de flujo del sistema receptor, con interpretación del protocolo.

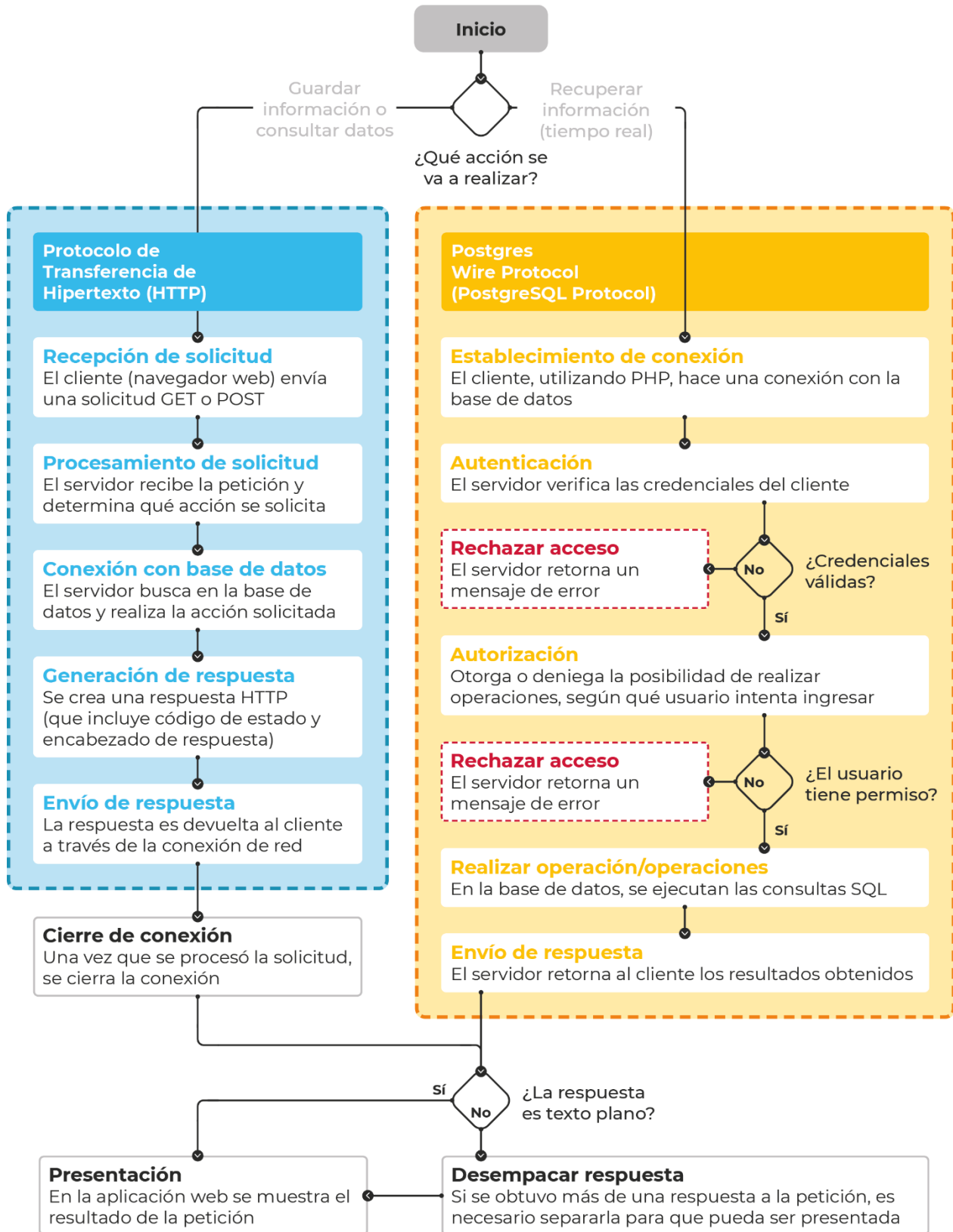


Figura 4. Diagrama de flujo de la base de datos.

## RESULTADOS

Para la presentación de los resultados de este trabajo se presentan la siguiente tabla donde puede observar el nivel de eficiencia de la red LoRa en el envío de tramas de protocolos. Los datos de esta tabla fueron obtenidos usando dos nodos primarios transmitiendo un valor constante hacia un receptor concentrador. Es importante notar que esta prueba se realizó a diferentes distancias pasando a través jardines, edificios administrativos bloques o secciones de edificios de aulas de dos plantas.

Tabla 1. Eficiencia de la transmisión de la tramas del protocolo.

Dispositivo	Distancia	$I_{Tx_{max}}$	RSSI (Promedio)	Eficiencia	Tramas perdidas
NODO TX 1	50m	500mA	-68dBm	47%	0%
NODO TX 1	100m	500mA	-86dBm	33%	0%
NODO TX 1	150m	500mA	-92dBm	29%	0%
NODO TX 1	200m	500mA	-108dBm	17%	20%
NODO TX 1	250m	500mA	-117dBm	10%	60%
Dispositivo	Distancia	$I_{Tx_{max}}$	RSSI (Promedio)	Eficiencia	Tramas perdidas
NODO TX 2	50m	1A	-37dBm	71%	0%
NODO TX 2	100m	1A	-61dBm	53%	0%
NODO TX 2	150m	1A	-78dBm	40%	0%
NODO TX 2	200m	1A	-86dBm	33%	0%
NODO TX 2	250m	1A	-101dBm	22%	10%
NODO TX 2	300m	1A	-112dBm	13%	40%

A continuación, se presenta la tabla 2, que contiene la información correspondiente a un nodo de transmisión ya inmerso en prueba de campo, es decir con todos los valores de transferencia de datos que se han ido obteniendo, como puede observarse se tiene una eficiencia global promedio del 80%, los valores de 5 volts y 2 amperes corresponde a los parámetros de alimentación no al tipo de trama de información enviada. Es importante hacer notar que esta prueba de campo fue llevada a cabo transmitiendo múltiples variables correspondientes a la corriente, voltaje y potencia generada por un panel fotovoltaico a diferentes distancias pasando a través jardines, edificios administrativos bloques o secciones de edificios de aulas de dos plantas.

Tabla 2. Obtención de parámetros de operación de un nodo primario en operación de campo.

Nodo	V <sub>Tx</sub>	I <sub>Tx</sub>	Potencia	B antena	RSSI promedio	TX mts.	Tiempo retardo	Datos perdidos
NODO TX 1	5V	2A	10W	2.5 dB	-96dBm	50m	262us	0
NODO TX 1	5V	2A	10W	2.5 dB	-92dBm	100m	262us	0
NODO TX 1	5V	2A	10W	2.5 dB	-107dBm	150m	260us	0
NODO TX 1	5V	2A	10W	2.5 dB	-113dBm	200m	295us	0
NODO TX 1	5V	2A	10W	2.5 dB	-118dBm	250m	294us	1
NODO TX 1	5V	2A	10W	2.5 dB	-119dBm	300m	295us	2
NODO TX 1	<b>5V</b>	<b>2A</b>	<b>10W</b>	<b>2.5 dB</b>	<b>-120dBm</b>	<b>350m</b>	<b>295us</b>	<b>5</b>

### De la interfaz de software para el sistema.

En esta sección como parte de los resultados obtenidos se presentan las capturas correspondientes al sistema de interfaz de software (figuras 5 y 6), en las cuales se muestra el resultado obtenido en el tratamiento de la información recabada por las tramas de protocolo

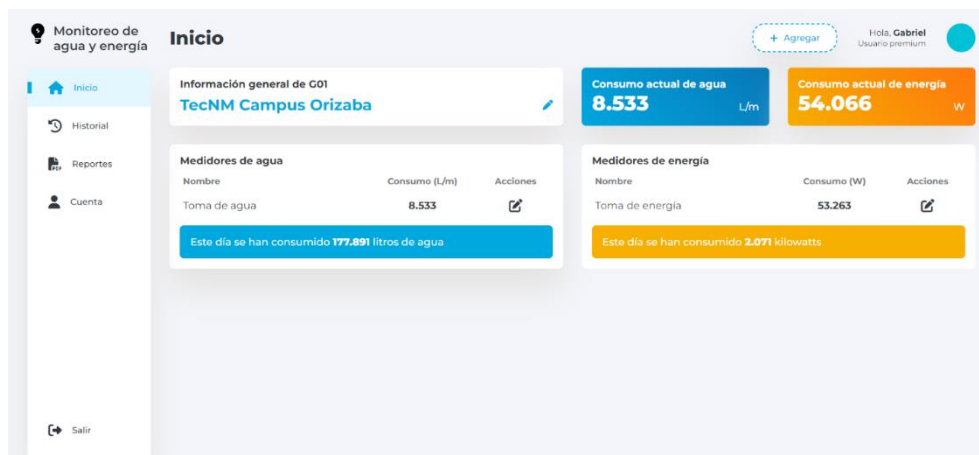


Figura 5. Interfaz IOT para la presentación de resultados obtenidos de la red LoRa.

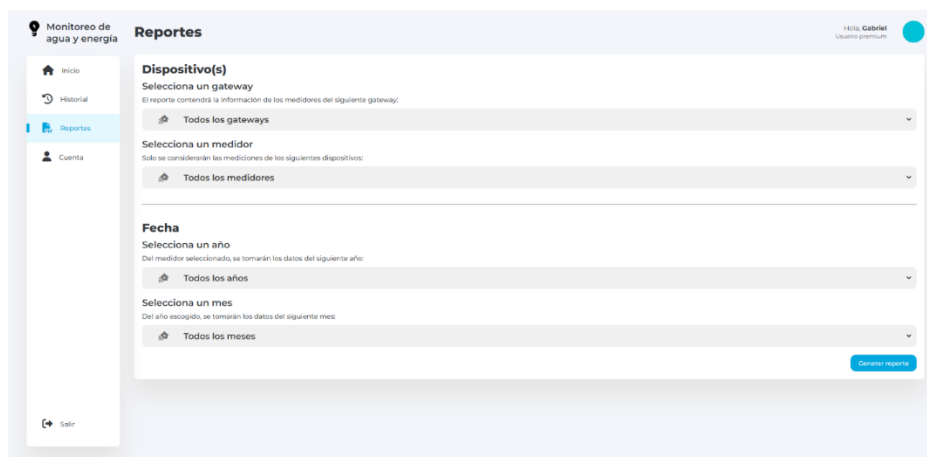


Figura 6. Interfaz IOT. Sección para la elaboración de los reportes del sistema

## DISCUSIÓN

Nuestro protocolo diseñado demostró ser efectivo en la transferencia de información en una red LoRaWAN-IoT. Logramos una mejora significativa en la eficiencia de la comunicación, hasta 250 mts con obstáculos, lo que se traduce en un menor consumo de energía y una mayor vida útil de la batería de los dispositivos IoT. Además, se observó una reducción notable en la latencia de la transmisión de datos, lo que es crítico en aplicaciones en tiempo real. Estos hallazgos respaldan la viabilidad y utilidad de nuestro protocolo en entornos LoRaWAN-IoT. Comparando nuestro protocolo con investigaciones previas, encontramos que supera las limitaciones identificadas en los protocolos existentes. A diferencia de algunos enfoques anteriores que sacrificaban la confiabilidad en aras de la eficiencia energética, nuestro protocolo logra un equilibrio óptimo entre eficiencia y confiabilidad siempre y cuando no se superen los 300 mts a línea de vista. Por otro lado, es importante reconocer que este estudio presenta algunas limitaciones. Por ejemplo, la investigación se centró en entornos con interferencias mínimas en lo que se refiere a la existencia de campos electromagnéticos parásitos, por lo que es necesario investigar más a fondo cómo se comporta el protocolo en entornos más hostiles. Además, la escalabilidad del protocolo a redes LoRaWAN de gran escala deberá evaluarse más a fondo. Se requerirá una investigación adicional para abordar estos desafíos.

## CONCLUSIONES

En este artículo, se presentó un protocolo diseñado para mejorar la transferencia de información en una red LoRaWAN-IoT. Nuestro enfoque se centró en optimizar la eficiencia de comunicación y la confiabilidad de los dispositivos IoT en este entorno, abordando una serie de desafíos significativos que enfrentan las redes de sensores de bajo consumo de energía. Los hallazgos de este estudio respaldan la efectividad y la relevancia de nuestro protocolo. Hemos demostrado que es posible lograr un equilibrio óptimo entre la eficiencia energética y la confiabilidad de la comunicación en dispositivos IoT, lo que se traduce en una mayor vida útil de la batería y una reducción de la latencia en la transmisión de datos. Estos resultados tienen implicaciones importantes para una amplia variedad de aplicaciones de IoT en las que la eficiencia y la confiabilidad son cruciales. Sin embargo, es importante reconocer que este estudio no está exento de limitaciones. Se requiere investigación adicional para evaluar el comportamiento del protocolo en entornos con interferencias electromagnéticas significativas, así como su escalabilidad en redes LoRaWAN de gran escala. Estas áreas representan desafíos importantes para futuras investigaciones.

En conclusión, este estudio representa una pequeña contribución hacia la mejora de las comunicaciones en redes LoRaWAN-IoT y muestra el potencial de nuestro protocolo en la industria y en la investigación académica. Nuestros resultados subrayan la importancia de diseñar protocolos eficientes y confiables para abordar los desafíos del IoT en entornos de baja potencia.

## **LITERATURA CITADA**

Mejías, D. 2021. Diseño de protocolos de redes Mesh basada en LoRa. Universidad Politécnica de Valencia. España.

Vera, L. 2022. Diseño de una red LPWAN basada en tecnología LoRa para las estaciones hidrometeorológicas. Escuela superior politécnica del litoral. Ecuador.

Gómez, G. 2017. Diseño y fabricación de capa de comunicaciones basada en LoRa para plataforma modular de redes de sensores inalámbricas. Universidad Politécnica de Madrid. España.

Delgado, F. 2021. Arquitectura LoRaWAN para entornos sin cobertura. Departamento de Teoría de la Señal, Telemática y Comunicaciones, Universidad de Granada.