

**UNIVERSIDAD DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**



**SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS  
ADQUIRIDOS DEL PLUVIÓMETRO HOBO RG3  
BASADO EN LORA PARA ZONAS REMOTAS**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Para optar el grado de Bachiller en Ingeniería Electrónica

**AUTOR:**

Jhonatan David Macazana Huaranga 

**ASESOR:**

Jimmy Fernando Tarrillo Olano 

Lima - Perú

2021

# Índice general

	Pág.
<b>RESUMEN</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> . . . . .	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES</b>	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO 3 MARCO TEÓRICO</b>	<b>10</b>
3.1 Comunicación inalámbrica . . . . .	10
3.2 Low Power Wide Area Network . . . . .	10
3.3 Red inalámbrica de sensores . . . . .	10
3.4 Topologías de Red . . . . .	11
3.4.1 Topología estrella . . . . .	12
3.4.2 Topología malla . . . . .	12
3.5 Protocolos de Enrutamiento . . . . .	13
3.6 Modelo OSI . . . . .	14
3.7 Protocolo LoRa . . . . .	14
3.8 LoRaWAN . . . . .	15
3.9 Sistema Embebido . . . . .	15
3.10 Consumo energético . . . . .	16
<b>COMENTARIOS FINALES</b> . . . . .	<b>17</b>

# Índice de figuras

3.1	Esquema tradicional de una WSN. Los nodos sensores adquiere, procesa, y transmiten la información de manera inalámbrica a un controlador, el cual se comunica con internet para que un usuario pueda consumir los datos.	11
3.2	Distribución en una red con topología estrella. En esta red, todos los nodos de adquisición solo se pueden conectar hacia un Coordinador, el cual se encarga de manejar toda comunicación en la red. . . . .	12
3.3	Distribución en una red con topología malla. En esta topología, todos los nodos pueden comunicarse entre sí, lo que puede incrementar la capacidad de alcance y de datos repetidos en una red. . . . .	13
3.4	Distribución en una red LoRaWAN. Los dispositivos finales permiten monitorear parámetros de aplicaciones como la agricultura o ganadería para transmitirlos a concentradores a través del protocolo LoRa. Los concentradores permiten conectarse al servidor principal de LoraWAN a través del protocolo TCP/IP, el cual se encarga de derivar los datos a servidores de aplicaciones para que los usuarios finales puedan consumir la información. . . . .	15

3.5 Sistema embebido con aplicación en IoT. Los sistemas cuentan con un área de potencia, el cual permite energizar el dispositivo; un área de procesamiento, el cual generalmente utiliza microcontroladores; un área de periféricos, el cual contiene sensores o actuadores dependiendo de la aplicación; opcionalmente una memoria no volátil, la cual permite almacenar datos que perduren en el tiempo; y un área de comunicación, la cual permite transmitir la información a otro sistema. . . . . 16

## RESUMEN

Los desastres naturales pueden causar mucho daño a la población en zonas remotas si no hay un sistema de monitoreo que alarme a la población. Existen instituciones que estudian y monitorean el impacto de parámetros hidrometeorológicos, como la intensidad de la lluvia mediante pluviómetros en los desastres posteriores. Sin embargo, la transmisión de parámetros de lluvia en las zonas remotas de estudio no está diseñada para trabajar con redes de mediana o larga distancia, como redes móviles o satelitales. Es debido a esta razón que el presente trabajo de investigación muestra el desarrollo de un sistema de transmisión basado en LoRa enfocado al pluviómetro HOBO RG3 en zonas remotas, que recolecta datos del pluviómetro y los envía por el sistema hasta la nube, donde es posible revisar las mediciones de lluvia como información pública.

Este sistema utiliza técnicas de bajo consumo de energía y consta de 1 mota y 4 *routers*, cada uno construido con un microcontrolador de 32 bits, una interfaz de adquisición y un transceptor de radiofrecuencia, y un *gateway* basado en un microcontrolador ESP32.

**Palabras clave:**

desastres naturales; zonas remotas; pluviómetro; LoRa; IoT; bajo consumo energético;

## **ABSTRACT**

### **LORA-BASED TRANSMISSION SYSTEM OF ACQUIRED DATA FROM THE HOBO RG3 RAIN GAUGE FOR REMOTE AREAS**

Natural disasters can cause much damage to the people of remote areas if no monitoring system alarms people. Some institutions study and monitor the impact of hydrometeorological parameters, such as rain intensity using rain gauges, in subsequent disasters. However, the transmission of rainfall parameters in remote study areas is not designed to work with mobile, satellite, or Bluetooth networks. It is due to this reason that this research work shows the development of a transmission system based on LoRa focused on the HOBO RG3 rain gauge in remote areas, which collects data from the rain gauge and sends it through the system to the cloud, where it is possible to review rain measurements as public information.

This system uses low power consumption techniques and consists of 1 mote and 4 routers, each built with a 32-bit microcontroller, an acquisition interface and a radio frequency transceiver, and a gateway based on an ESP32 microcontroller.

**Keywords:**

natural disasters; remote areas; rain gauge; LoRa; IoT; low power consumption;

# Capítulo 1

## INTRODUCCIÓN

Loss desastres ambientales y el potencial de su impacto en el bienestar de las personas son monitoreados por instalaciones públicas y privadas, quienes también se encargan de validar y proporcionar información sobre fenómenos producidos en cualquier lugar del país. En el caso de detectar un comportamiento anormal, se puede establecer una alerta ante posibles eventos extremos y propiciar una buena toma de decisiones en gestión ambiental. Las estaciones destinadas al monitoreo se encargan de registrar parámetros hidrometeorológicos como la velocidad y dirección del viento, la variación de la intensidad de la precipitación, y la temperatura y humedad relativa [1].

En el año 2017, Perú sufrió de muchas pérdidas materiales y humanas a causa del fenómeno del Niño y las inundaciones que trajo consigo, siendo Ancash la región más afectada [2]. Por este tipo de situaciones nace la necesidad de desarrollar un sistema de monitoreo que permita estudiar la fluctuación de la precipitación y el impacto que tiene sobre los ríos, así como alertar sobre posibles excesos que puedan desencadenar en desastres. Es por ello que empresas privadas como el Centro de Investigación y Monitoreo del Agua ha empezado a instalar el pluviómetro de tipo balancín HOBO RG3 en zonas de difícil acceso para un monitoreo constante de la precipitación.

El dispositivo cuenta con la infraestructura tecnológica mínima para almacenar en una base de datos local o *datalogger* la información recolectada y una interfaz para la descarga de esta información a dispositivos de almacenamiento externo; pero no cuenta con un método de transmisión de información a distancia [3]. Como alternativa, otras estaciones que sí abordan la transmisión utilizan la comunicación por red celular, la comunicación satelital o la comunicación por Bluetooth de Bajo Consumo (BLE por sus siglas

en inglés). Sin embargo, la red celular presenta inestabilidad en algunas zonas alejadas de la ciudad e inexistencia en la mayor parte de zonas no pobladas [4]; por otro lado, la comunicación satelital se da mayormente con el satélite GOES-R, el cual incrementa los costos por punto de instalación y no es posible comunicar todos los puntos [5]; asimismo, la tecnología BLE cuenta con un alcance muy limitado, por lo que una implementación en lugares de difícil acceso no es posible [6]. Estos factores dificultan la recolección de información en las zonas de difícil acceso y presentan una cobertura limitada de la observación, que sumado a la necesidad de tener los datos en tiempo real, resulta imprescindible una solución que abarque el problema en su integridad. Por otro lado, el protocolo de comunicación inalámbrica LoRa permite establecer un largo alcance entre pares con una baja tasa de transmisión de datos y un consumo energético reducido. Estas características hacen ideal su aplicación en zonas de difícil acceso, pero su típica implementación en una topología estrella incrementa su vulnerabilidad a fallos; por lo que implementar este sistema con una configuración distinta tendría un gran impacto en la comunidad científica y en los pobladores de la zona.

El objetivo de este trabajo es diseñar e implementar un sistema basado en LoRa para la transmisión de los parámetros adquiridos del pluviómetro HOBO RG3 hacia un servidor remoto, utilizando técnicas de bajo consumo energético y redundancias en una red tipo malla. La integración de la red al pluviómetro permitirá establecer una conexión en tiempo real del mismo con cualquier punto con conexión a internet y, de esta manera, poder analizar la información de una manera más sencilla.

El sistema consta de un nodo de adquisición, quien se encarga del sensado de información del pluviómetro; nodos de comunicación, quienes mantienen la conexión de la red; y un nodo Gateway, para la transmisión hacia una base de datos en la nube. El desarrollo del trabajo está estructurado en etapas para alcanzar los siguientes objetivos específicos:



1. Diseñar el nodo de adquisición, el nodo de comunicación y el nodo Gateway para realizar tareas específicas.
2. Implementar la red de nodos de manera local para asegurar la transmisión efectiva de los datos.
3. Establecer la salida de información a internet a través del nodo Gateway para la comunicación con el servidor remoto.
4. Programar la interfaz gráfica para la visualización de los datos almacenados en el servidor.

La implementación de este sistema permitirá a empresas de servicios tecnológicos y empresas de monitoreo ambiental obtener una alternativa tecnológica para dar seguimiento a la precipitación en quebradas inactivas de posible alto impacto donde la cobertura de la red celular es precaria, asimismo para zonas que se ubiquen geográficamente fuera del alcance de alguna red celular. El acceso a la información proporcionada por el sistema permitirá ampliar la red de información que alimenta a los sistemas de alerta temprana ya existentes. El alcance de la tesis es la creación de un nodo de adquisición para la interfaz con el pluviómetro, cuatro nodos de comunicación para incrementar las redundancias a dos en todo el sistema, un nodo Gateway para la transmisión a internet y la interfaz gráfica para la visualización de los datos.

## Capítulo 2

### ANTECEDENTES

Los fenómenos ambientales generan daños materiales y pérdidas humanas en diferentes grados. Una de las áreas más afectadas se presenta en las quebradas con zonas pobladas, debido a la precariedad de los edificios y a la mala gestión y cultura popular. Ante este escenario, los organismos privados y estatales han propuesto el establecimiento de un sistema de alerta temprana (SAT) para advertir a la población y tomar una postura que permita mitigar la mayor cantidad de daños. La región de Uttarakhand, India realizó un estudio en [7] sobre la implementación de una red inalámbrica de sensores (WSN por sus siglas en inglés) como un sistema de monitoreo y prevención los desastres más frecuentes que surgen día a día en el Himalaya, entre los que se encontraban terremotos, inundaciones, deslizamientos e incendios forestales. En [8] se muestra el uso de una WSN para monitorear montañas y poder detectar avalanchas. La red constituye un monitoreo inteligente y robusto; este trabajo presenta como transmisor el módulo nRF9E5, el cual destaca por su bajo consumo y transmisión por radio frecuencia en las bandas de 433 MHz, 1868 MHz, frecuencias de uso libre no comercial.

De esta manera, se vienen desarrollando redes de monitoreo WSN con el uso de LoRa, quien se encarga de la transmisión y recepción de datos y opera en bandas de frecuencia sin licencia ISM, como muestra [9]. Los autores de [10] explican las ventajas y desventajas del uso de LoRa como transceptor sobre otras tecnologías, como GPRS, NB-IoT y SigFox en el criterio de la cobertura de  $7800 \text{ km}^2$ . Los autores de [11] definen la modulación de LoRa y el beneficio del desfase en tiempo y frecuencia que permiten reducir la complejidad por parte del receptor y obtener una mejor distribución energética.

Ahora, en una red existen diversas topologías para la distribución de los nodos. Entre las más comunes se encuentra la topología mesh y la topología estrella. En [12] se realiza la comparación a nivel energético para el despliegue de una red estrella y una red mesh con el transceptor LoRa. Se estudia a fondo la energía disipada por la transmisión y la recepción, así como en la distribución del área a cubrir junto a la relación de nodos a utilizar y se concluye que para una distancia promedio de 2.5 km la mejor configuración es una red de tipo malla con un *Spreading Factor* de 6 y una potencia de 11dBm en el transmisor.

A pesar del diseño original de LoRa propuesto por Semtech, que es una topología estrella, en [13] se diseñó una WSN con topología mesh basada en el transceptor LoRa para monitorear diversos sensores dentro de un campus universitario, con la finalidad de encargar tareas específicas a cada nodo y reducir su consumo energético. También se propone utilizar algunos nodos como enrutadores para mejorar el rendimiento de la tasa de paquetes enviados exitosamente, alcanzando un valor promedio del 98.9%. En [14] se menciona la participación de LoRa en una red mesh aplicado al monitoreo y protección de tuberías de agua en una planta de 2.3 km x 4.8 km. El algoritmo utilizado estaba basado en *Time-slotted event-driven system* (TEDS). El resultado de esta implementación muestra un incremento del alcance en la comunicación al utilizar una red mesh a comparación de una red estrella.

En [15] tratan sobre la recolección de parámetros ambientales basado en la comunicación LoRa. El uso de transceptor SX1272 a 868 MHz es presentado en una comunicación punto a punto desde *Indoor to Outdoor* (I2O) y *Outdoor to Outdoor* (O2O). El enfoque principal es la estabilidad de la comunicación de punto a punto, hasta un máximo de 2km. Los resultados concluyen en una mejor transmisión efectiva de datos mientras existe una línea de vista entre los dispositivos. Por otro lado, en [16] se muestra la implementación de una WSN aplicado al monitoreo de una plantación de Porang con un

algoritmo de enrutamiento modificado. Esta innovación con el transceptor LoRa les permitió obtener una tasa de transmisión efectiva del 94.07 % de un total de 1148 datos en un plazo de 3 meses. Los datos contenían la información de temperatura y humedad en el cultivo de Porang y se obtuvo un buen desempeño en toda la red.

Sin embargo, este no es el único uso que existe para el transceptor LoRa. La organización Lora Alliance es la comunidad más grande en el desarrollo de LoRaWAN, que consiste mayormente en una gran red gateways y nodos que establecen conectividad entre distintos países de manera sencilla. Los autores de [11] y [17] hablan sobre el uso de LoRa en redes LPWAN, así como una comparación de los diferentes modos de configuración para mejorar el escalamiento de la red.

En otros estudios, el autor de [18] describe algunas técnicas de enrutamiento para WSN. Estas técnicas son agrupadas de acuerdo a la estructura de la red y al tipo de operación. Realiza comparación destacando las ventajas y desventajas de cada uno de los protocolos. En [19] se observa un esquema para utilizar una arquitectura WSN como herramienta para operaciones de rescate en caso de algún desastre ocurrido. Esta propuesta es comparada con la técnica SENDROM. Los datos fueron simulados y se consideraron 50 nodos uniformemente distribuidos en un área de 160x160 metros, concluyendo en un mejor desempeño por parte de los nodos con la técnica propuesta.

Los autores de [20] y [21] tratan sobre algoritmos de enrutamiento para reducir el consumo en una red inalámbrica. En [20] presentan un nuevo algoritmo enfocado en la extensión de vida útil de una red inalámbrica de sensores. Este algoritmo de *clustering* basado en Fuzzy Logic presenta nuevas ventajas a comparación del protocolo de enrutamiento jerárquico más utilizado, el algoritmo Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy (LEACH). Los resultados fueron simulados en la herramienta NS-2 Simulator para comparar el desempeño de la comparación de ambos algoritmos entre 40 nodos distribuidos aleatoriamente en un área de 100 x 100 con la estación base en el centro del cuadrado y se obtuvo que el algoritmo propuesto era más estable y con un 20 % más de vida útil en

comparación al LEACH. Por otra parte, Luwei J. *et al.* en [21] desarrollaron una técnica basada en el protocolo SPIN para ahorrar energía. El entorno de simulación fue NS2 para la comparación de la versión original de SPIN y la modificada, en donde esta última muestra un menor consumo energético a costa de una transmisión más lenta.

## Capítulo 3

# MARCO TEÓRICO

### 3.1 Comunicación inalámbrica

La comunicación inalámbrica se da a través de ondas electromagnéticas, en las que no existe una unión alámbrica u óptica entre emisor y receptor. Por ejemplo, el WiFi y el Bluetooth presentan este tipo de enlace y destacan por su presencia en muchos de los dispositivos tecnológicos que utilizamos hoy en día.

### 3.2 Low Power Wide Area Network

Similar a internet, existe una amplia red denominada Low Power Wide Area Network (LPWAN por sus siglas en inglés), que permite la interconexión de dispositivos en un área amplia y con un bajo consumo energético, sirviendo como base para la implementación de Internet de las Cosas. Este tipo de comunicación se da en las bandas sin licencia ISM [9] y es típicamente implementado con una topología estrella. Los medios de comunicación más resaltantes son LoRa, SIGFOX e Ingenu; en este trabajo nos centraremos en LoRa debido a su versatilidad y especificaciones por parte de los fabricantes.

### 3.3 Red inalámbrica de sensores

Las redes inalámbricas de sensores (WSN por sus siglas en inglés) son agrupaciones de dispositivos pequeños que se encargan de adquirir, procesar y transmitir información de manera inalámbrica. Estos dispositivos o **nodos** dirigen los datos hacia una puerta de enlace o Gateway, para que este se encargue de la transmisión a internet [18].

Los componentes de esta red están basados en nodos que pueden tener funciones idénticas (*red plana*) o pueden tener roles para encargarse de diferentes tareas (*red jerárquica*) [18]. Estos cuentan con un bloque encargado de la adquisición y el procesamiento de datos para una aplicación específica, un bloque de transmisión que permita su interconectividad y un bloque de alimentación, que permite el funcionamiento de todos los componentes del nodo, como se muestra en la Figura 3.1.

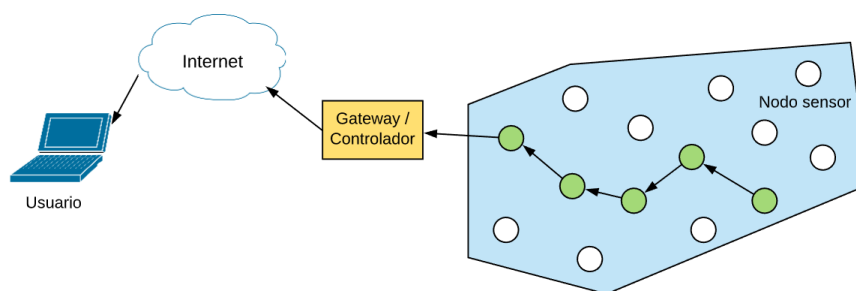


FIGURA 3.1: Esquema tradicional de una WSN. Los nodos sensores adquiere, procesa, y transmiten la información de manera inalámbrica a un controlador, el cual se comunica con internet para que un usuario pueda consumir los datos.

### 3.4 Topologías de Red

Una topología consiste en la distribución de los componentes de una red, incluyendo los nodos y sus líneas de conexión. Existen topologías físicas y lógicas: la topología física es la disposición de los cables, los dispositivos de red y los sistemas finales, esta describe la forma en que los dispositivos de red se interconectan físicamente; y la topología lógica es la ruta por la cual se transfieren los datos en una red, la cual describe cómo aparecen conectados los dispositivos de red a los usuarios finales. Entre las topologías de red más utilizadas se encuentran la topología de tipo estrella y la de tipo malla, las cuales se detallan a continuación.

### 3.4.1 Topología estrella

La topología estrella consiste de un coordinador encargado de transportar todo el tráfico generado por los nodos de adquisición [22]. Esta topología permite tener el control de toda la red en un solo punto y otorgarle independencia a todos los nodos conectados al coordinador, con la desventaja de que si este falla, toda la red pierde conexión. Este ejemplo se aprecia en la Figura 3.2.

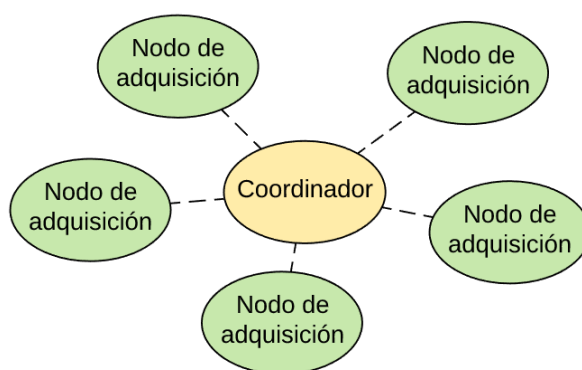


FIGURA 3.2: Distribución en una red con topología estrella. En esta red, todos los nodos de adquisición solo se pueden conectar hacia un Coordinador, el cual se encarga de manejar toda comunicación en la red.

### 3.4.2 Topología malla

La topología malla o *mesh* permite que la información se propague por todos los nodos hasta llegar a su destino, otorgando redundancias que refuerzan la seguridad de la conexión en la red como se aprecia en la Figura 3.3. Este tipo de red requiere de una tabla de rutas para establecer el camino a seguir para llegar a un nodo final, en donde la mejor distribución de rutas se ve afectada directamente por algoritmos de enrutamiento basados en métricas que involucran desde la distancia entre nodos, hasta el tipo de tecnología utilizada. Aunque esta topología es más segura y compleja que la previa, existe un incremento de energía en toda la red [12].



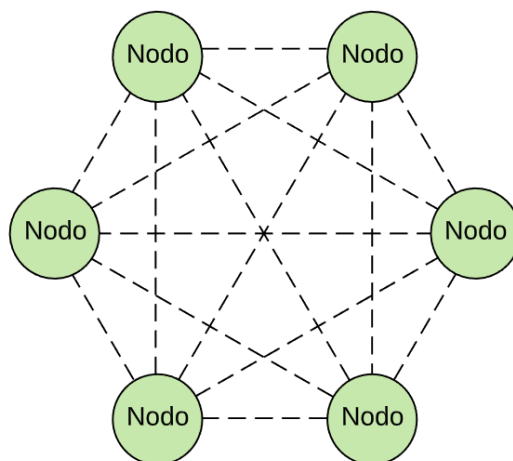


FIGURA 3.3: Distribución en una red con topología malla. En esta topología, todos los nodos pueden comunicarse entre sí, lo que puede incrementar la capacidad de alcance y de datos repetidos en una red.

### 3.5 Protocolos de Enrutamiento

Los protocolos de enrutamiento son técnicas estándares para establecer la comunicación en una red. Para establecer una red de comunicación entre sus pares, es necesario encontrar una ruta que permita dirigir la información desde cualquier punto de la red hacia un nodo destino, la cual puede conseguirse a través de diversos algoritmos. Esta información se almacena en una tabla de enrutamiento, que debe permitir encontrar la mejor ruta para reenviar un paquete. Los nodos tienen la tarea de entregar los paquetes a su debido tiempo. La efectividad de las comunicaciones en una red depende, en gran medida, de la capacidad de los nodos de reenviar paquetes de la manera más eficiente posible.

Los protocolos en una WSN pueden organizarse según el tipo de estructura de red o según el protocolo de operación. De acuerdo al tipo de estructura, existen tres grandes subdivisiones de enrutamiento: en una red plana, en una red jerárquica y en una red basada en locación. Entre los protocolos mencionados, se encuentran los basados en negociación, basados en consultas, basados en las rutas entre otros [18].

Por otro lado, existen algoritmos que son modificados de acuerdo a la necesidad como se plantea en [19]. Estos permiten incrementar características específicas en base a la distribución de la red, la cantidad de nodos presentes, la localización del nodo destino, entre otros.

### **3.6 Modelo OSI**

El modelo OSI es un modelo de referencia para los protocolos de red, creado en 1980 por la Organización Internacional de Normalización (ISO). Tiene como objetivo establecer un estándar para que la interconexión entre dispositivos sea posible en todo el mundo sin ningún tipo de impedimentos, la cual se estructura en 7 niveles: capa física, capa de enlace de datos, capa de red, capa de transporte, capa de sesión, capa de presentación y capa de aplicación [23].

### **3.7 Protocolo LoRa**

LoRa o *Long Range* es una tecnología “LPWAN” patentada por Semtech, el cual está basado en la modulación Chirp Spread Spectrum (CSS). La creación de este protocolo fue enfocada directamente al campo de internet de las cosas, pues el objetivo principal es la transmisión inalámbrica a largas distancias (más de 10 km en zonas rurales) y un bajo consumo energético a costa de bajas velocidades de transmisión. Utiliza bandas sin licencia como 433 MHz, 868MHz y 915 MHz. La tecnología cubre hasta la capa física de las 7 capas del modelo OSI, lo que permite su coexistencia con numerosas aplicaciones y arquitecturas de red propuestas [24].

### 3.8 LoRaWAN

LoRaWAN es un tipo de red LPWAN, diseñada específicamente para dispositivos de bajo consumo de alimentación, que operan en redes de alcance local, regional, nacionales o globales. Están vinculadas a internet de las cosas considerando comunicaciones bidireccional, seguridad punto a punto, movilidad y servicios de localización [25], como puede apreciarse en la Figura 3.4.

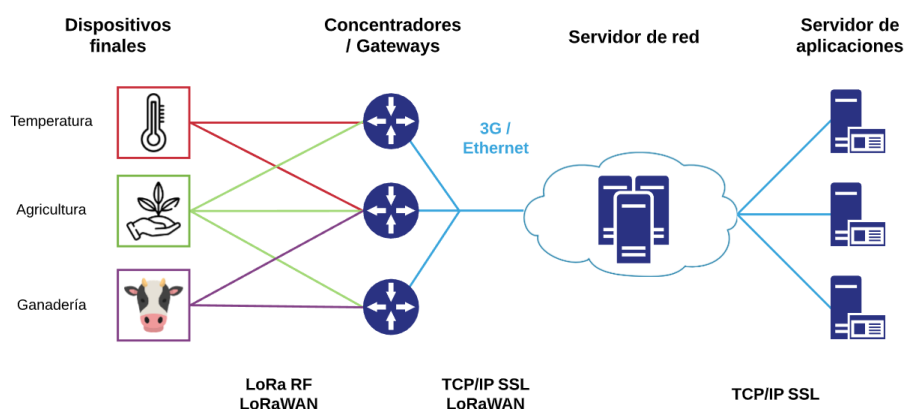


FIGURA 3.4: Distribución en una red LoRaWAN. Los dispositivos finales permiten monitorear parámetros de aplicaciones como la agricultura o ganadería para transmitirlos a concentradores a través del protocolo LoRa. Los concentradores permiten conectarse al servidor principal de LoraWAN a través del protocolo TCP/IP, el cual se encarga de derivar los datos a servidores de aplicaciones para que los usuarios finales puedan consumir la información.

### 3.9 Sistema Embebido

Un sistema embebido es un sistema de procesamiento diseñado para realizar funciones específicas. Las partes de un sistema embebido cuentan con un área de procesamiento, que utiliza un microprocesador o microcontrolador; un área periféricos, la cual incluye los sensores o actuadores que el sistema controlará; y un área de potencia, que disminuye con el consumo energético del circuito. En base a la tarea del circuito, este puede contar con un área de comunicación, la cual puede transmitir la información cruda

o procesada adquirida por el sistema; y con un área de memoria no volátil dedicada, la cual permite almacenar la información ante posibles fallos con el área de potencia [26].

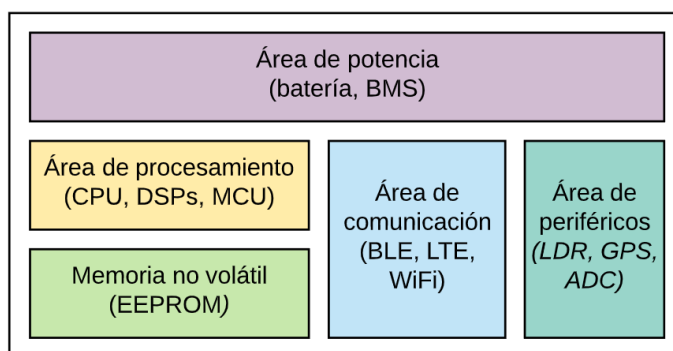


FIGURA 3.5: Sistema embebido con aplicación en IoT. Los sistemas cuentan con un área de potencia, el cual permite energizar el dispositivo; un área de procesamiento, el cual generalmente utiliza microcontroladores; un área de periféricos, el cual contiene sensores o actuadores dependiendo de la aplicación; opcionalmente una memoria no volátil, la cual permite almacenar datos que perduren en el tiempo; y un área de comunicación, la cual permite transmitir la información a otro sistema.

### 3.10 Consumo energético

El consumo energético en un sistema embebido es crítico para el propósito del mismo. Una de las aproximaciones más comunes es el enfoque en la potencia del sistema, el cual puede dividirse en dos: potencia estática y potencia dinámica. La potencia estática es aquella que los componentes físicos consumen por encontrarse operando constantemente y por las corrientes de fuga que pueda presentar el circuito. La potencia dinámica es la que ocurre con la frecuencia de carga y descarga de los condensadores del circuito y de la corriente de cortocircuito [27].

## **COMENTARIOS FINALES**

Con los conceptos descritos previamente, se espera alcanzar el desarrollo de una red de comunicación basada en el protocolo LoRa, que pueda ser utilizable en zonas rurales sin acceso a alguna cobertura de datos. La topología de la red, sumado a técnicas de bajo consumo energético en sistemas embebidos le dará la robustez necesaria para su desempeño en zonas remotas para monitorear parámetros adquiridos por pluviómetros.

# Bibliografía

- [1] R. Garreaud, M. Falvey, and A. Montecinos, “Orographic precipitation in coastal southern chile: Mean distribution, temporal variability, and linear contribution,” *Journal of Hydrometeorology*, vol. 17, no. 4, pp. 1185–1202, 2016.
- [2] K. Takahashi, V. Aliaga-Nestares, G. Avalos, M. Bouchon, A. Castro, L. Cruzado, B. Dewitte, D. Gutiérrez, W. Lavado-Casimiro, J. Marengo *et al.*, “The 2017 coastal el niño,” 2018.
- [3] *HOBO RG3 Data Logger*, ONSET, 470 MacArthur Boulevard, 2019, rev. 4.
- [4] L. E. B. Miranda, “Diseño de una red de comunicaciones móviles para la mejora de cobertura celular 3g y 4g en tienda por departamento,” 2017.
- [5] W. P. Menzel, F. C. Holt, T. J. Schmit, R. M. Aune, A. J. Schreiner, G. S. Wade, and D. G. Gray, “Application of goes-8/9 soundings to weather forecasting and nowcasting,” *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 79, no. 10, pp. 2059–2078, 1998.
- [6] J. Hughes, J. Yan, and K. Soga, “Development of wireless sensor network using bluetooth low energy (ble) for construction noise monitoring,” *International Journal of Smart Sensing and Intelligent Systems*, vol. 8, no. 2, pp. 1379–1405, 2015.

- [7] D. Pant, S. Verma, and P. Dhuliya, "A study on disaster detection and management using wsn in himalayan region of uttarakhand," in *2017 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication Automation (ICACCA) (Fall)*, Sep. 2017, pp. 1–6.
- [8] T. Vaidya, P. Swami, S. Rindhe, S. Kulkarni, and S. Patil, "Avalanche monitoring & early alert system using wireless sensor network," *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 1, p. 38, 2013.
- [9] M. Centenaro, L. Vangelista, A. Zanella, and M. Zorzi, "Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the iot and smart city scenarios," *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 5, pp. 60–67, October 2016.
- [10] M. Lauridsen, H. Nguyen, B. Vejlgard, I. Z. Kovacs, P. Mogensen, and M. Sorensen, "Coverage comparison of gprs, nb-iot, lora, and sigfox in a 7800 km<sup>2</sup> area," in *2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring)*, June 2017, pp. 1–5.
- [11] A. Lavric and V. Popa, "Internet of things and lora<sup>TM</sup> low-power wide-area networks: A survey," in *2017 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS)*, July 2017, pp. 1–5.
- [12] M. N. Ochoa, A. Guizar, M. Maman, and A. Duda, "Evaluating lora energy efficiency for adaptive networks: From star to mesh topologies," in *2017 IEEE 13th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, Oct 2017, pp. 1–8.
- [13] H. Lee and K. Ke, "Monitoring of large-area iot sensors using a lora wireless mesh network system: Design and evaluation," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 67, no. 9, pp. 2177–2187, Sep. 2018.
- [14] H. Huh and J. Y. Kim, "Lora-based mesh network for iot applications," in *2019 IEEE 5th World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, April 2019, pp. 524–527.

- [15] H. T. Reda, P. T. Daely, J. Kharel, and S. Y. Shin, "On the application of iot: Meteorological information display system based on lora wireless communication," *IETE Technical Review*, vol. 35, no. 3, pp. 256–265, 2018.
- [16] A. R. Muhammad, O. Setyawati, R. A. Setyawan, and A. Basuki, "Wsn based microclimate monitoring system on porang plantation," in *2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS)*, Oct 2018, pp. 142–145.
- [17] O. Georgiou and U. Raza, "Low power wide area network analysis: Can lora scale?" *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 6, no. 2, pp. 162–165, April 2017.
- [18] J. Al-Karaki and A. Kamal, "Routing techniques in wireless sensor networks: A survey," *Wireless Communications, IEEE*, vol. 11, pp. 6 – 28, 01 2005.
- [19] Suman Saha and Mitsuji Matsumoto, "A framework for disaster management system and wsn protocol for rescue operation," in *TENCON 2007 - 2007 IEEE Region 10 Conference*, Oct 2007, pp. 1–4.
- [20] P. Nayak and A. Devulapalli, "A fuzzy logic-based clustering algorithm for wsn to extend the network lifetime," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 1, pp. 137–144, Jan 2016.
- [21] Luwei Jing, Feng Liu, and Yuling Li, "Energy saving routing algorithm based on spin protocol in wsn," in *2011 International Conference on Image Analysis and Signal Processing*, Oct 2011, pp. 416–419.
- [22] M. Bazaraa, J. Jarvis, and H. Sherali, *Programación lineal y flujo en redes*, 2nd ed. Limusa, 2004.
- [23] G. Tolosa, "Protocolos y modelo osi," *Recuperado de <http://www.tyr.unlu.edu.ar/TYR-publica/02-Protocolosy-OSI.pdf>*, 2014.



- [24] *SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver*, SEMTECH, 3 2015, rev. 4.
- [25] L. A. T. M. Workgroup, “A technical overview of lora and lorawan,” Nov 2015.
- [26] F. Samie, L. Bauer, and J. Henkel, “Iot technologies for embedded computing: A survey,” in *Proceedings of the Eleventh IEEE/ACM/IFIP International Conference on Hardware/Software Codesign and System Synthesis*. ACM, 2016, p. 8.
- [27] A. Pötsch, A. Berger, and A. Springer, “Efficient analysis of power consumption behaviour of embedded wireless iot systems,” in *2017 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*. IEEE, 2017, pp. 1–6.