

Plataforma LoRaWAN para medición de variables analógicas y digitales con Gateway único.

LoRaWAN platform for analog and digital measuring with a single Gateway.

Presentación: 13 y 14 de septiembre de 2023

Sergio Felissia

Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional

sfelissia@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Gastón Peretti

Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional

gperetti@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Jorge Bossio

Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional

jbossio@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Diego Iguri

Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional

diguri@claro.com.ar

Daniel Musso

Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional

ingdanielmusso@gmail.com

Alejo Alesandria

Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional

alealesandria@gmail.com

Ignacio Galliano

Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional

nacho.galliano@hotmail.com

Resumen

El presente trabajo describe el desarrollo de una plataforma propia IoT, basada en el protocolo LoRaWAN en donde se propone no utilizar los servicios en la nube disponibles para estas aplicaciones (como *The Things Network*, *ChirpStack*, *Milesight IoT Cloud* y otras). En este caso se implementó un servidor MQTT en una máquina virtual dedicada al sistema, creada dentro de los servidores de la institución. Se utilizaron herramientas de software GNU, como EMQX y Node-RED. Se presenta la solución de bajo costo implementada, la estrategia elegida tanto para la administración remota del Gateway, tanto para la conectividad backhaul y el desarrollo de la plataforma para la recolección y almacenamiento de la información enviada por los nodos de medición. Se realizaron pruebas de conexión de los nodos bajo distintas condiciones. Particularmente, distancia al Gateway, configuraciones alternativas de parámetros de transmisión de LoRa como potencia y factor de expansión. Se concluyó que el sistema es adecuado para desplegar nodos de medición y recolección de información, utilizando la plataforma. Representa una herramienta muy importante para el análisis del comportamiento de los distintos componentes de la red y es adecuado para brindar servicios a la comunidad.

Palabras clave: LoRaWAN, Internet de las Cosas, Gateway, nodos LoRaWan.

Abstract

This paper describes the development of a proprietary IoT platform, based on the LoRaWAN protocol where it is proposed not to use the cloud services available for these applications (such as *The Things Network*, *ChirpStack*, *Milesight IoT Cloud* and others). In this case, an MQTT server was implemented in a virtual machine dedicated to the system, created within the institution's servers. GNU software tools such as EMQX and Node-RED were used. The low-cost solution implemented is presented, the strategy chosen both for the remote administration of the Gateway, both for backhaul connectivity and the development of the platform for the collection and storage of information sent by the measurement nodes. Node connection tests were performed under different conditions. Particularly, distance to the Gateway, alternative configurations of LoRa transmission parameters such as power and expansion factor. It was concluded that the system is adequate to deploy measurement nodes and information collection, using the platform. It represents a very important tool for analyzing the behavior of the different components of the network and is suitable for providing services to the community.

Keywords: LoRaWAN, Internet of the things, Gateway, LoRaWan nodes.

Introducción

Las tecnologías LPWAN (Low Power Wide Area Network) se encuentran muy desarrolladas en el mundo. LoRaWAN forma parte de este conjunto de recursos de hardware y software que interpretan las necesidades de comunicación de baja potencia, bajos requerimientos de velocidad de transmisión y amplio alcance. LoRa utiliza una técnica de modulación de espectro ensanchado derivada de la tecnología Chirp Spread Spectrum (CSS), que ofrece un compromiso entre sensibilidad y velocidad de datos, mientras opera en un canal de ancho de banda fijo de 125 KHz o 500 KHz (para canales de enlace ascendente), y 500 KHz (para canales de enlace descendente). Además, utiliza factores de dispersión ortogonales. Esto permite que la red conserve la duración de la batería de los nodos finales conectados al realizar optimizaciones adaptativas de los niveles de potencia y las velocidades de datos de un nodo final individual. Por ejemplo, un dispositivo final (nodo) ubicado cerca de un gateway puede transmitir datos con un factor de dispersión bajo, ya que se tiene requerimientos mínimos para el enlace. Sin

Spreading Factor (For UL at 125 KHz)	Bit Rate	Range	Time on Air (for 11 byte payload)
SF10	980 bps	8 km	371 ms
SF9	1760 bps	6 km	185 ms
SF8	3125 bps	4 km	103 ms
SF7	5470 bps	2 km	61 ms

Tabla 1: Bit rate, alcance y tiempo en el aire en función de los factores de expansión en LoRa (Semtech, "LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview").

embargo, un dispositivo final ubicado a varios kilómetros del gateway necesitará transmitir con un factor de dispersión mucho más alto (Almeida, N.C. et al.,2020:702-707). En términos de LoRa, la cantidad de código de dispersión aplicado a la señal de datos original se denomina factor de dispersión (SF). La Tabla 1 muestra cuatro factores de dispersión diferentes [SF7...SF10] que se pueden usar para mensajes de enlace ascendente (UL) en un canal de 125 KHz (Semtech, “LoRa and LoRaWAN: A Technical Overview”). Muestra la tasa de bits equivalente, así como el rango estimado (esto depende del terreno). También muestra los valores de tiempo de permanencia, o tiempo en el aire (TOA), para un payload de 11 bytes para cada uno de los cuatro factores de dispersión.

Las señales LoRa son robustas y muy resistentes a los mecanismos de interferencia dentro y fuera de banda. La modulación LoRa también ofrece inmunidad a la multitrayectoria y el desvanecimiento, lo que la hace ideal para su uso en entornos urbanos y suburbanos, donde dominan ambos mecanismos. Además, los desplazamientos Doppler provocan un pequeño desplazamiento de frecuencia en el eje temporal de la señal de banda base. Esta tolerancia de desplazamiento de frecuencia mitiga el requisito de fuentes de reloj de referencia de tolerancia estricta y, por lo tanto, hace que LoRa sea ideal para comunicaciones de datos desde dispositivos móviles (Semtech, AN1200.22 “LoRa Modulation Basics, Application Note”).

Para comprender completamente las redes LoRaWAN, comenzaremos con una mirada a la arquitectura de capas de IoT. LoRa es la capa física (PHY), es decir, la modulación inalámbrica utilizada para crear el enlace de comunicación de largo alcance. Un gateway LoRaWAN recibe mensajes modulados en LoRa desde cualquier dispositivo final en la distancia de audición y reenvía estos mensajes de datos al Network Server (NS), que está

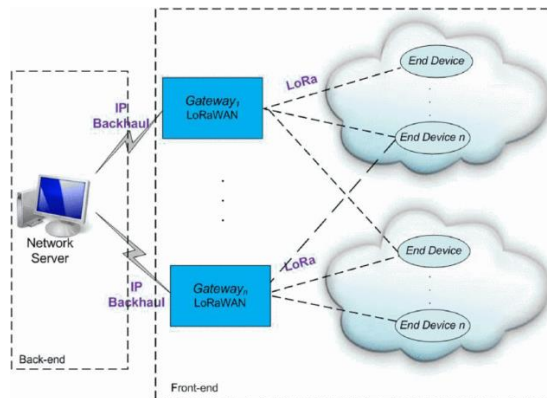


Figura 1: Topología básica de LoRaWAN (Lavric, A. et al. 2017: 1-4).

conectado a través de una red troncal IP. No existe una asociación fija entre un dispositivo final y gateway específico. En cambio, el mismo sensor puede ser atendido por múltiples gateways en el área. Con LoRaWAN, cada paquete de enlace ascendente enviado por el dispositivo final será recibido por todas las puertas de enlace a su alcance, como se ilustra en la Figura 1. Esta disposición reduce significativamente la tasa de errores de paquetes (ya que las posibilidades de que al menos una puerta de enlace reciba el mensaje son muy altas), reduce significativamente la sobrecarga de la batería para sensores móviles y permite la geolocalización de bajo costo (suponiendo que las puertas de enlace en cuestión tengan capacidad de geolocalización) (Lavric, A. et al. 2017: 1-4). El tráfico IP desde un gateway al Network Server de la red se puede reenviar a través de WiFi, Ethernet cableado o mediante una conexión celular. Los gateways funcionan completamente en la capa física y, en esencia, no son más que reenviadores de mensajes. Ver Figura 1.

Desarrollo

Se implementó una red LoRaWAN experimental utilizando un único Gateway ubicado en un lugar estratégico y a una altura suficiente para disponer de trayectoria de vista para la transmisión de los nodos en un radio de cobertura de 15 km aproximadamente.

Se dispuso de un Gateway marca Milesight, modelo UG65, para interiores de 8 canales. Este dispositivo adopta el chip SX1302 LoRa de Semtech con una CPU de cuatro núcleos de alto rendimiento, admite la conexión con más de 2000 nodos. El modelo UG65, admite dos sistemas de conectividad backhaul con Ethernet y Wi-Fi. Tiene un Network Server (NS) incorporado, así como también puede ser integrado a NS en plataformas en la nube (como *The Things Network*, *ChirpStack*, *Milesight IoT Cloud* y otras).

Dado que el Gateway no admite su uso en exteriores, se dispuso dentro de un gabinete estanco IP68, junto a los elementos necesarios para la conectividad backhaul y para la administración remota. Para esta última funcionalidad se dispuso de una CPU Raspberry Pi 400, que se conecta al Gateway a través de conexión por cable Ethernet. Tanto el Gateway como la CPU Raspberry Pi 400 se conectan a Internet a través de un enlace interno WiFi dentro del gabinete, a través de un router y modem 4G el cuál accede a la red celular desde un servicio contratado a una de las empresas telefónicas (Tabla 2). En la Figura 2, se puede observar un diagrama en bloques del sistema implementado y en la Figura 3, una imagen del gabinete exterior con todos sus componentes.

La administración del Gateway se realiza ingresando de forma remota al escritorio de la CPU Raspberry Pi, utilizando la aplicación VNC VIEWER.

Conectividad	Modalidad	Frecuencia	Banda Licenciada	Descripción
WiFi	Inalámbrica	2.4 GHz	No	Conexión router a Gateway (back haul) y Raspberry PI-400
4G LTE	Inalámbrica	800-900 MHz	Si	Conexión a Internet de los equipos.
LoRa	Inalámbrica	915-928 MHz	No	Conexión de Nodos con sensores.
Ethernet	Cable	-	No	Conexión Raspberry Pi-400 a Gateway para administración.

Tabla 2: Tipos de conectividad utilizados en los equipos instalados en el gabinete exterior.

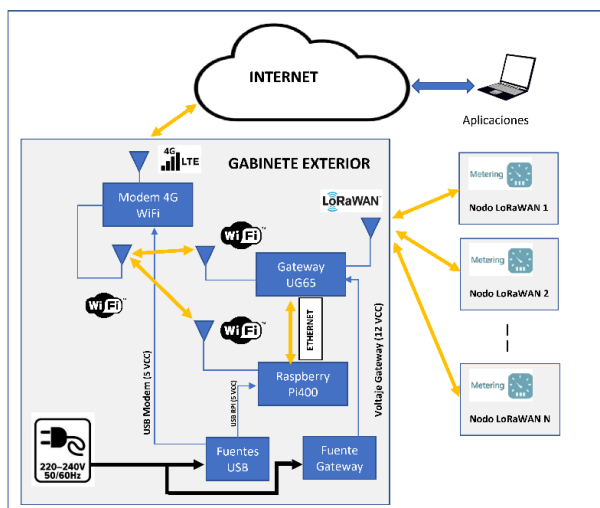


Figura 2. Diagrama en bloques del sistema.



Figura 3. Vista del gabinete exterior con la antena, instalado en un edificio céntrico.

Configuración del Gateway:

Se configuró el Gateway para utilizar el Network Server integrado. Se seleccionó el protocolo MQTT como el modo de transmisión de backhaul hacia la nube de la información recibida desde los nodos. Los datos son enviados en un formato de texto tipo JSON (JSON.ORG, Página web: "Introducing JSON"). La clave "data" contiene el dato enviado por el nodo identificado a través de las claves "devEUI" y "deviceName". El dato es codificado por el Gateway en Base64. Además del dato enviado por el nodo, el Gateway envía otra información relacionada con parámetros de recepción de la radio LoRa, como nivel de señal (RSSI), relación señal ruido (LoRaSNR), frecuencia (frequency) y factor de expansión (spreadFactor).

Plataforma IoT implementada:

Se dispuso de una máquina virtual instalada en la nube a través de un proveedor (ISP) donde se encuentra instalado un servidor de protocolo MQTT. El protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) es un protocolo PubSub de Message Service que actúa sobre TCP. Destaca por ser ligero, sencillo de implementar. Está optimizado para el routing activo de un gran número de clientes conectados de forma simultánea. MQTT es un servicio de mensajería con patrón publicador/suscriptor (pub-sub). En este tipo de infraestructuras los clientes se conectan con un servidor central denominado broker. Los paquetes de software instalados (Figura 4) en la máquina virtual que actúa como servidor son: EMQX (Servidor de MQTT), Node-Red (Entorno de programación basado en el framework de Node.JS) para realizar aplicaciones ejecutables en navegador (Node-RED, Página web:

“Node-Red Cookbook”), XAMPP: paquete del servidor web Apache que incluye servidor de base de datos SQL(MariaDB) y phpMyAdmin (Felissia, S.F. et al, 2022: 2-4).

Se configura Node-Red para que se ejecute como servicio, en segundo plano, de modo que permanentemente realice las tareas de conexión al servidor MQTT, obtenga el paquete de datos enviado por el dispositivo, separe los valores de las variables leídas, guarde en una base de datos esos valores. Para esta última función se creó una

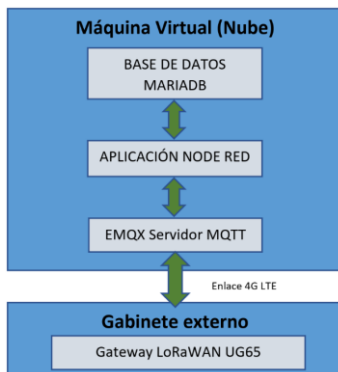


Figura 4. Esquema de los componentes de software.

base de datos en MARIADB (SQL) a través del entorno phpmyadmin. Se creó un flujo en NODE-RED (Figura 5) para recibir el payload desde el Gateway, extraer los distintos campos del objeto JSON e insertar datos en la base de datos creada.

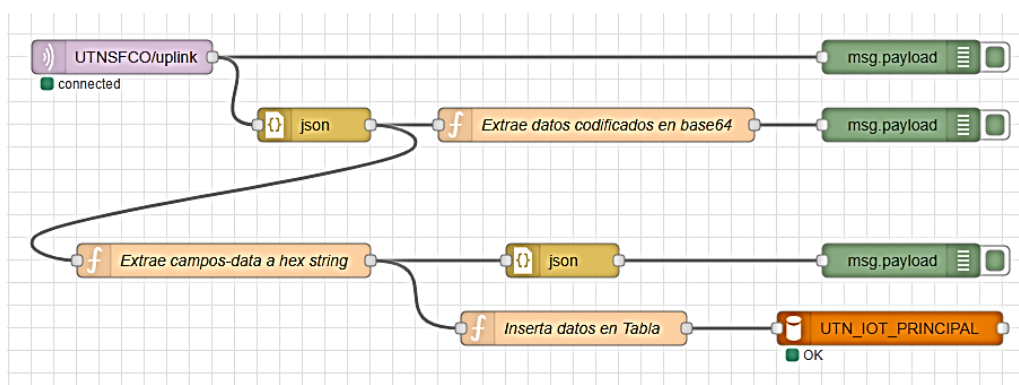


Figura 5: Flujos NodeRED para recibir el payload MQTT desde el gateway, separar e insertar datos en la tabla de la base de datos UTN_IOT_PRINCIPAL.

Dispositivo	Distancia	SNR[dB]	RSSI[dBm]
EM300-TH	1 Km	4.0	-104
	3 Km	2.2	-106
	8 Km	-7.2	-113
	14 Km	-14.5	-116
LoRa32U4	1 Km	12.0	-83
	3 Km	7.0	-100
	8 Km	-1.8	-110
	14 Km	-9.5	-112

Tabla 3: Mediciones de nivel de señal recibida y relación señal/ruido en el Gateway para distintas distancias.

Resultados:

Con el sistema implementado se aprovechó en una etapa inicial para realizar un relevamiento del área de cobertura del gateway (Tabla 3) tomando lectura de los datos de recepción de las emisiones de los nodos en el gateway, relación señal/ruido (SNR) y nivel de señal en la entrada. Estos datos se leyeron de los registros en la base de datos, donde se almacenan los paquetes enviados por los nodos. La metodología implementada para la obtención de datos a campo fue la de recorrer el área, deteniéndose en posiciones específicas, permanecer al menos un minuto en el punto, registrando en una planilla los datos de identificación del dispositivo, devEUI y

deviceName, fecha, hora y geolocalización, para luego verificar en los registros de la base de datos. Las mediciones tomadas a través de esta metodología se muestran en la Tabla 3.

Conclusiones

Se han realizado las pruebas con 4 nodos, 2 comerciales y 2 implementados en las placas con radio LoRa embebida y stack LMIC. Los nodos EM300 disponen de una antena integrada en la placa de circuito impreso y el nodo LoRa32u4 II dispone de una antena externa. Los resultados han mostrado que el Gateway recibe datos de los nodos hasta con niveles de recepción de hasta -120 dBm. Este nivel de recepción ocurre cuando los nodos se encuentran a aproximadamente a 16 km, con vista despejada de la antena. Otra conclusión que se puede realizar es que la señal es fuertemente afectada por los obstáculos, principalmente árboles, paredes de hormigón, techos de chapas metálicas. Esto resulta un problema en un escenario de un único Gateway. Por lo cual, resultaría ventajoso la multiplicidad de gateways ya que, se ha demostrado a través de otros trabajos la robustez de la modulación LoRa, en entornos urbanos obstaculizados con múltiples trayectorias de las ondas.

Los objetivos planteados al inicio de este trabajo, que prioritariamente eran los de construir una plataforma IoT basada en LoRAWAN, que nos permitiera, sentar las bases para otros trabajos futuros, analizando el desempeño de la red en muchos escenarios distintos, fue cumplido. Se pudo implementar una plataforma propia en la nube, de bajo costo, sin necesidad de recurrir a servicios de terceros. A partir de disponer de esta herramienta son múltiples las propuestas de análisis de los comportamientos de los componentes de hardware y software de la red LoRAWAN que se pueden realizar y que serán motivación para futuros trabajos. Aspectos como respuesta del sistema ante multiplicidad de nodos, pérdidas de paquetes, tiempo en el aire y consumo de energía de los nodos, funcionamiento en las distintas clases de dispositivos LoRAWAN, interferencias, colisiones, son alguno de los temas a considerar para posteriores investigaciones.

Referencias

Almeida, N.C.; R. P. Rolle, R. P.; Godoy, E.P.; Ferrari, P. and Sisinni, E., "Proposal of a Hybrid LoRa Mesh / LoRAWAN Network," 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT, Roma, Italy, 2020, pp. 702-707, doi:10.1109/MetroInd4.0IoT48571.2020.9138206.

Felissia, S.F., Bossio, J.A., Peretti G.C., Podadera, R., Previoetto, S. "Desarrollo e implementación de una red de medición de parámetros ambientales en recintos de una organización aplicando tecnologías IoT". Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica (GIDE), Departamento de Ingeniería Electrónica, Facultad Regional San Francisco, Universidad Tecnológica Nacional. IDETEC 2022. Villa María. Córdoba. <http://idetec.frvm.utn.edu.ar/api/pub/i/tf/10/27>.

JSON.ORG, Página web: "Introducing JSON". Disponible en: <https://www.json.org/json-en.html>

Lavric, A; Popa, V. "Internet of Things and LoRa Low-Power Wide Area Networks Challenges", 2017. ECAI 2017 - International Conference - 9th Edition Electronics, Computers and Artificial Intelligence 29 June -01 July, 2017, Targoviste, Rumania. pp. 1-4, doi: 10.1109/ECAI.2017.8166405.

MCCI Catena, "Arduino LoRAWAN MAC in C (LMIC)", Página web: "MCCI Arduino LoRAWAN Library. Disponible en: <https://github.com/mcci-catena/arduino-lmic/blob/master/doc/LMIC-v4.1.0.pdf>

Node-RED, Página web: "Node-Red Cookbook". Disponible en: <https://cookbook.nodered.org/#mqtt>

Semtech, "LoRa and LoRAWAN: A Technical Overview". Disponible en: <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/>

Semtech, AN1200.22 "LoRa Modulation Basics, Application Note". Recuperado de AN1200.22.pdf. Disponible en: <https://semtech.my.salesforce.com/>.