

## **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE DISPOSITIVOS MAESTRO/ESCLAVOS MODBUS RTU PARA EL MONITOREO DE REDES DE SENsoRES MEDIANTE LORAWAN**

**Roberto F. Farfán<sup>1</sup>, Carlos A. Cadena<sup>2</sup>, Cesar Prieb<sup>3</sup>, Héctor Rizo<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Nacional de Salta, Facultas de Ingeniería

<sup>2</sup>Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Exactas, INENCO (CONICET)

<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, LABSOL

e-mail: [farfan.roberto.f@gmail.com](mailto:farfan.roberto.f@gmail.com)

**RESUMEN:** En este trabajo se presenta el desarrollo de dispositivos electrónicos que se diseñan para monitorear una red de sensores, utilizando el protocolo de comunicación Modbus RTU y una red inalámbrica LoRaWAN. Los dispositivos desarrollados se denominan, medidor de magnitudes meteorológicas y medidor de energía, ambos desarrollados para que respondan a una comunicación Modbus RTU. El maestro de la red se encarga de pedir información a los esclavos y subir la información de los sensores a los servidores LoRaWAN de The Things Network. Para visualizar la información del servidor se utiliza el software Node-RED, el que se encarga de bajar los datos y almacenar los mismos en una base de datos. El sistema desarrollado se concibe con la finalidad de proporcionar información en una Smart Grid. Los ensayos realizados muestran la flexibilidad y calidad de los equipos que se emplearon.

**Palabras clave:** Modbus RTU, LoRaWAN, IoT y Smart Grid.

### **INTRODUCCIÓN**

A nivel mundial las redes eléctricas están evolucionando a un sistema que involucramás tecnología, generación descentralizada y un uso más eficiente de la energía. Las Smart Grids (SG) o redes eléctricas inteligentes, se definen como una red eléctrica capaz de integrar de forma inteligente el comportamiento y las acciones de los usuarios conectados en ella, ya sea que estén generando electricidad, consumiendo o realizando ambas acciones. Este enfoque tiene como objetivo proporcionar un suministro de electricidad seguro, económico y sostenible. Las SG incorporan sistemas que generan energía a través de fuentes renovables, conocidos como recursos energéticos distribuidos (DER), que inyectan energía en la red de distribución. La implementación de estos DER puede complicar el control de la red eléctrica, especialmente si su influencia es significativa, ya que puede dar lugar a inestabilidades (Dimitriou et al., 2012). Por tal motivo es relevante el uso de tecnología para el monitoreo de la red eléctrica.

A nivel mundial existen numerosos proyectos que se están desarrollando en referencias a la implementación de las Smart Grids (SG). Un estudio publicado por el Banco Mundial (Gaba, 2017) menciona que las redes inteligentes tienen una estructura compleja con relación a su infraestructura y funcionamiento, dado que el sistema se compone de un gran número de elementos interconectados. Una forma simplificada de visualizar una SG es dividir la misma en cuatro capas: infraestructura, telecomunicación, datos y aplicaciones (Gaba, 2017) .En Argentina se observan diferentes iniciativas relacionadas con las capas mencionadas, como la incorporación de las energías renovables (Energía Estratégica, 2016; Energía Estratégica, 2017; Energía Estratégica, 2023; Energía Estratégica, 2024), incorporación de tecnología para modernizarla red eléctrica (Energía Estratégica, 2017; Energía Estratégica, 2024) e implementación de SG concretas (Energía Estratégica, 2015; Infobae, 2018).

Si bien se observan importantes avances en algunos proyectos, en este trabajo se realiza un desarrollo que pone el foco en las tecnologías de comunicación que podrían incorporarse a una SG. A nivel mundial existen diferentes proyectos que incorporan tecnología a la red eléctrica, con importantes inversiones y con el objetivo de descarbonizar la economía, por medio de la innovación digital como herramienta para una exitosa transición energética. Entre los proyectos que se están implementando se encuentran: Proyecto Star (Iberdrola, 2023), Proyecto Price (Redeia, 2015), Proyecto Bidelek (ClusterEnergia, 2016), Proyecto Monica (e distribución, 2024), entre otros.

Para este trabajo, se desarrolló e implementaron dispositivos que responden a una comunicación Modbus RTU para el monitoreo de redes de sensores mediante LoRaWAN, para utilizarse en SG.

## METODOLOGÍA

### *El sistema implementado*

En la Figura 1 se observa un esquema del sistema implementado para los ensayos de los esclavos Modbus RTU.

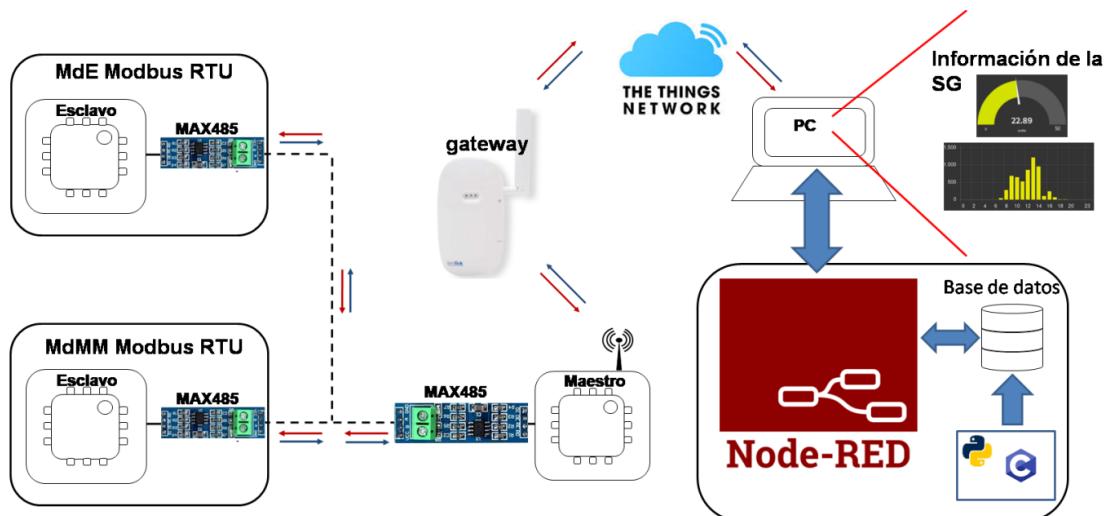


Figura 1: Esquema general del sistema desarrollado.

En el trabajo se desarrollaron dos dispositivos electrónicos: un medidor de magnitudes meteorológicas (MdMM) y un medidor de energía (MdE), diseñados para que respondan a una comunicación Modbus RTU. Los dispositivos esclavos se conectan a un maestro que trabaja como puente entre la red Modbus y la comunicación inalámbrica LoRa. Los datos por medio del Gateway se suben a la plataforma de internet de las cosas (IoT) TheThings Network (TTN), diseñada para implementar redes inalámbricas con tecnología LoRa. Para bajar la información de TTN, se empleó una aplicación diseñada por medio de Node-RED.

### *Microcontroladores utilizados en el desarrollo del sistema*

En este trabajo se utilizaron diferentes microcontroladores; una placa de desarrollo denominada LOPY utilizada como maestro de la red Modbus RTU y un conjunto de microchips PIC1F877A utilizados como esclavos.

La placa de desarrollo denominada LOPY está formada por un microcontrolador ESP32 de la empresa Espressif e incorpora el hardware necesario para conectarse y hacer uso de la tecnología LoRa, Wi-Fi o Bluetooth. Esta placa internamente conecta el ESP32 a un módulo LoRa SX1272 de la empresa Semtech, de esta forma el microcontrolador incorpora comunicación inalámbrica de largo alcance, con alta inmunidad al ruido y mínimo consumo de corriente. En la Figura 3 se observan las características de la placa mencionada.

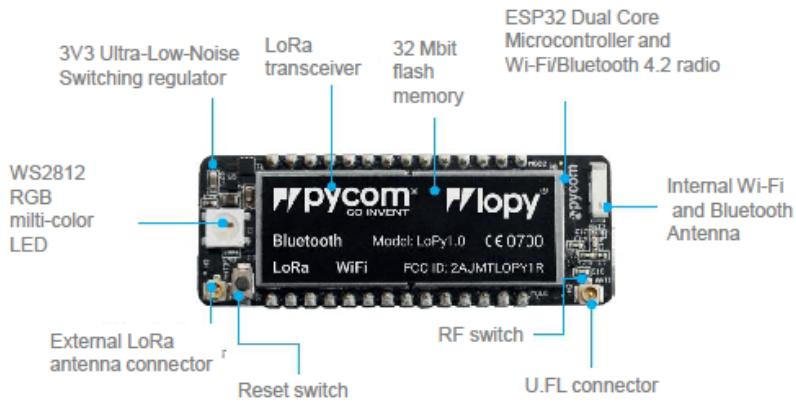


Figura 2: Placa de desarrollo LOPY.

Para el desarrollo de los esclavos se utilizó el PIC16F877A de la empresa Microchip, cuyo diagrama se observa en la Figura 3.

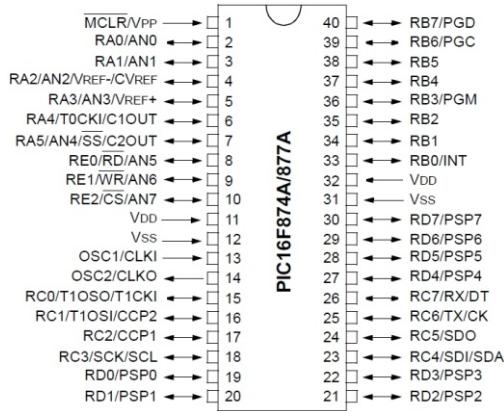


Figura 3: Microcontrolador PIC16F877A.

Este microcontrolador de 8bits cuenta con 256 bytes de memoria EEPROM, un conversor analógico-digital (ADC) de 10 bits conectado a 8 entradas multiplexadas, dos comparadores/PWM, puerto serie síncrono de 3 hilos SPI, bus de 2 hilos I2C y el bus transmisor receptor asincrónico-síncrono universal (USART). Para el PIC16F877A se desarrollaron placas de circuito impresos (PCB) con el objeto de realizar una conexión eléctrica segura entre el microcontrolador y los sensores implementados.

### Tecnología para el transporte de datos, el protocolo de comunicación Modbus

Modbus es un protocolo de comunicación que está formado por una arquitectura maestro/esclavo (RTU) o cliente/servidor (TCP/IP). El estándar se diseñó en 1979 para controladores lógicos programables (PLCs) de la empresa Modicon. Este protocolo de comunicación se consolidó en la industria y actualmente se considera un estándar de facto, que permite que millones de dispositivos diseñados para la automatización se comuniquen (modbus.org, 2017).

En una red Modbus como la que se observa en la Figura 4, el nodo maestro emite comandos explícitos a los nodos esclavos, estos últimos procesan la información y realizan la acción requerida. Los nodos esclavos normalmente no transmiten datos sin una solicitud del nodo maestro, y no se comunican con otros esclavos (modbus.org, 2017). A nivel físico, en una red Modbus RTU se puede utilizar diferentes interfaces; RS485 o RS232. La interfaz de dos cables TIA/EIA-485 (RS485) es la más común. En este trabajo se utiliza una placa de desarrollo LOPY para que opere como maestro de la red Modbus RTU.

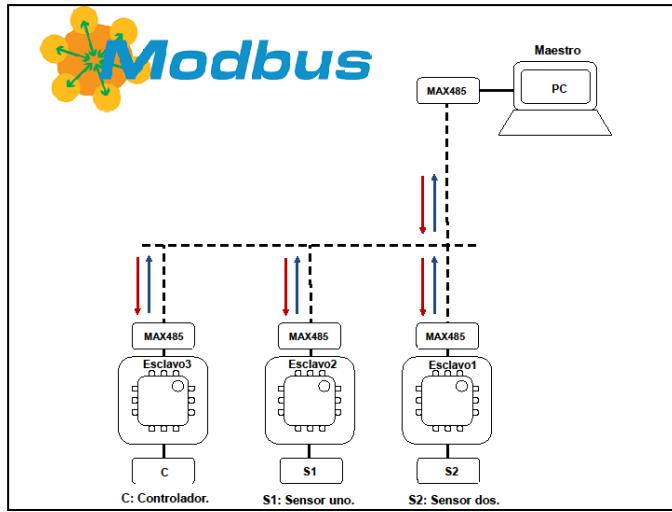


Figura 4: Esquema de una red Modbus RTU.

### Características de una red LoRaWAN

Las frecuencias de las señales inalámbricas en una comunicación LoRa se encuentran dentro de la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical), bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética para el área industrial, científica y médica. LoRaWAN especifica cómo gestionar el uso de los canales, el ancho de banda y el cifrado de los datos. Respecto a las frecuencias, LoRaWAN las organiza en sub-bandas y canales, las cuales se encuentran definidas según la región. De acuerdo a los parámetros regionales asignados, la banda utilizada en la Argentina es AU915\_928. Esto implica que las frecuencias para transmitir información se encuentran dentro de la banda de 915 MHz a 928 MHz.

En una red LoRaWAN, el nodo codifica la información de los sensores y la envían a los gateway, como se observa en la Figura 5. Estos gateway suben la información por medio de internet a los servidores, donde se procesa la información y se decodifica nuevamente. Una vez terminado este proceso, los datos pueden bajarse a las aplicaciones del sistema.

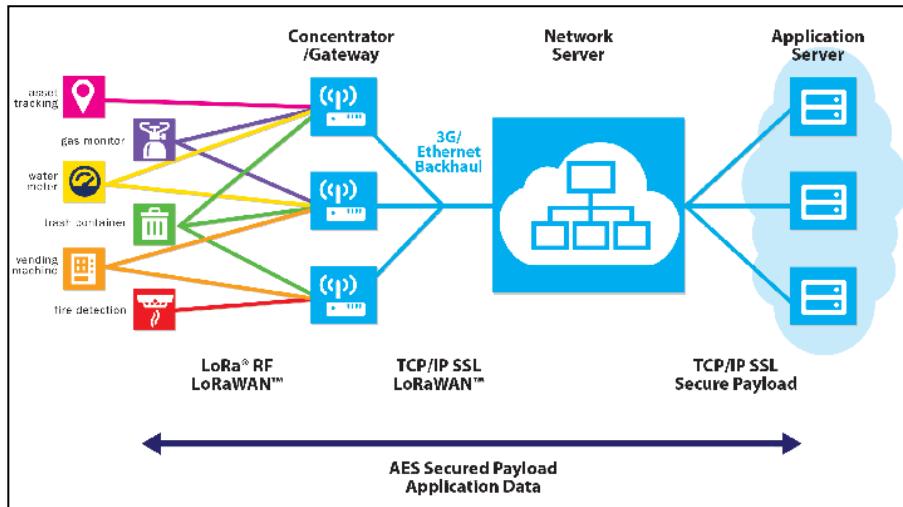


Figura 5: Esquema de una red LoRaWAN.

### Node red

Es una herramienta de programación visual que permite comunicar hardware y servicios, de una forma rápida y sencilla. El sistema corre en un navegador web y en él se puede añadir, eliminar y conectar nodos. Los nodos se utilizan para realizar tareas específicas dentro de una aplicación. De acuerdo a las

características mencionadas, Node-RED se utilizó para el desarrollo del software encargado de bajar los datos del servidor TTN, procesar información y realizar gráficos con la información recolectada.

## IMPLEMENTACIÓN

### Medidor de magnitudes meteorológicas Modbus RTU

En este trabajo se utilizó un PIC16F877A para que registre magnitudes meteorológicas y responda como esclavo a una comunicación Modbus RTU. El dispositivo puede configurarse con las siguientes características: medir temperatura y humedad relativa por medio del sensor SHT10, medir temperatura por medio de una PT100 o medir irradiancia por medio de una celda fotovoltaica. En la Figura 6 se observa un esquema del dispositivo.

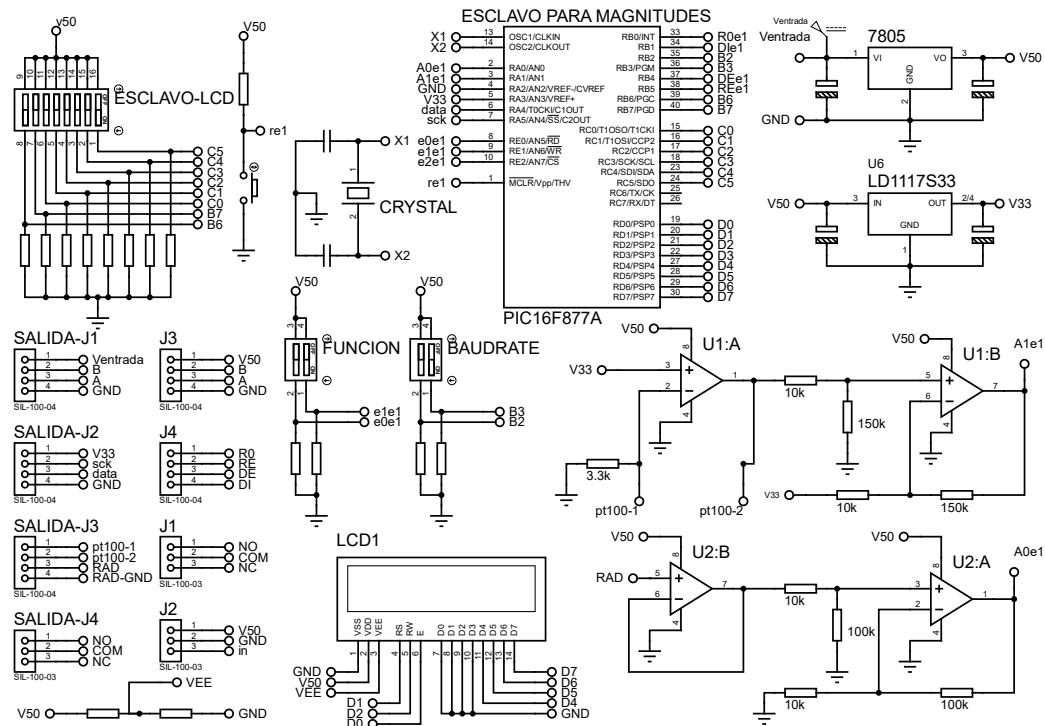


Figura 6: Circuito electrónico del MdMM Modbus RTU.

Los circuitos analógicos de la Figura 6 se utilizan para adaptar las señales de la celda fotovoltaica y la PT100, al ADC del microcontrolador. El firmware del microcontrolador se desarrolló para que el esclavo utilice la función holding “register” del protocolo Modbus, para almacenar la información de los sensores. En el registro 0 se obtiene versión del firmware, en el 1 el baud-rate, en el 2 el número de esclavo, en el 3 el registro de la humedad, en el cuatro el registro de la temperatura, en el cinco el registro de la irradiancia y en el seis el registro de la PT100.

Por otro lado, por medio del dip switch FUNCION se selecciona la tarea que debe realizar el MdMM, si utiliza el sensor SHT10, la celda fotovoltaica o la PT100. Para este diseño también se utilizó un dip switch denominado BADURATE, para seleccionar la velocidad de comunicación. Como se observa en la Figura 6, el circuito cuenta con un dip switch de 8 posiciones denominado ESCLAVO-LCD. Estas llaves se utilizan para seleccionar la dirección del esclavo dentro de la red Modbus y elegir una función que indica si el dispositivo utilizará o no, un LCD de 2x16. Las primeras 7 posiciones permiten elegir una dirección del esclavo y la última, habilita la lectura de las magnitudes físicas en el LCD. Es importante remarcar que esta última función puede anularse y que los valores que devuelve el esclavo en la comunicación Modbus, son los obtenidos de los diferentes ADC, los que finalmente se manipulan en los servicios de backend.

## Medidor de energía Modbus RTU

Para este trabajo se modificó un MdE comercial de bajo costo, para que responda como esclavo en una red Modbus RTU. Los cambios consisten en adaptar un PIC16F877A al MdE MC10, para que tome las señales vinculadas a la potencia, tensión y corriente de una carga, y envíe dichos parámetros cuando un dispositivo maestro lo requiera. A pesar de que el MC10 se diseñó para registrar consumos en un rango acotado, su implementación brinda una idea acabada del funcionamiento de los MdE Modbus RTU. En la Figura 7 se observa un esquema del circuito electrónico que se adaptó al MC10 para convertirlo en un MdE Modbus RTU.

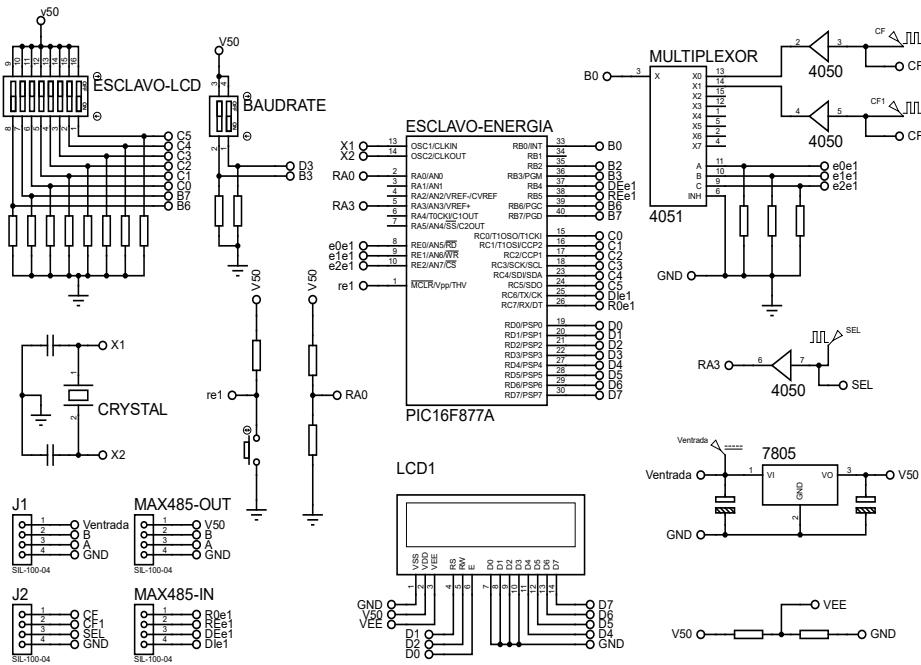


Figura 7: Circuito electrónico para el MdE Modbus RTU.

El MdE MC10 contiene un circuito integrado denominado BL0937. Este chip entrega dos señales, cuya frecuencia es proporcional a la tensión eficaz, corriente eficaz y potencia activa de una carga. El microcontrolador 16f877A se acopla al MC10 para que determine las frecuencias de estas señales y determine las magnitudes mencionadas. Las magnitudes se guardan en registros internos del microcontrolador junto a la energía y el factor de potencia, variables que se determinan de manera indirecta. Para la comunicación Modbus RTU se utilizó un módulo Max485 y dos dip switch de 8 y 2 posiciones, como se observa en la Figura 7. El primero utiliza 7 conectores para seleccionar el número de esclavo que se le asigna al MdE dentro de la red Modbus y el último, para indicar si el PIC16F877A utiliza el LCD de 2x16 o no. El dip switch de 2 conectores permite seleccionar la velocidad de comunicación. El MdE Modbus RTU se diseñó para que utilice la función “holding register” y responda a las consultas realizadas por el maestro de la red. En estos registros se guarda la potencia en vatios (W) multiplicada por diez, la tensión eficaz en volt (V) multiplicada por diez, la corriente en ampere (A) multiplicada por cien y la energía, en los registros desde el 3 al 7 respectivamente, estos dos últimos corresponden a la energía.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con el propósito de realizar una prueba final de integración y funcionamiento para los esclavos dentro del sistema propuesto, se realizan los ensayos “end-to-end”. En la prueba se utilizan todos los dispositivos descriptos en la Figura 1. El software Node-RED se encarga de recuperar los datos del servidor. Esta configuración permite que la información baje a una PC donde corre Node-RED y se

almacene en una base de datos, para realizar gráficos con información proveniente de la red de sensores que podría contener una SG.

La información que proviene de los ensayos end to end se observa en la aplicación diseñada para procesar y mostrar información de la SG. La aplicación posee una pantalla, tal como se observa en la Figura 8.

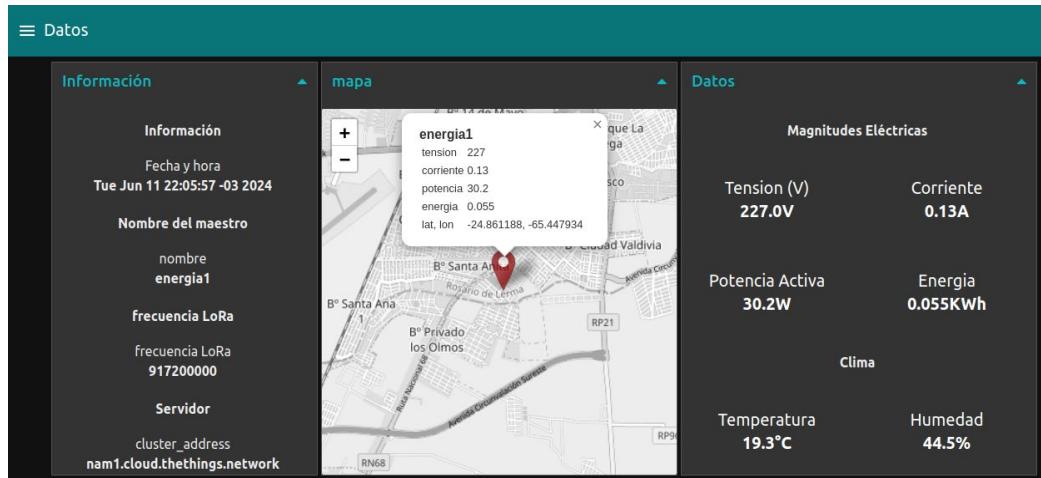


Figura 8: Pantalla principal del sistema de monitoreo y gestión de energía.

La pantalla se divide en tres partes: información, mapa y datos. En “información” se observan datos relacionados con la red LoRaWAN, como el servidor al que se conecta el maestro, la frecuencia que se utiliza en la comunicación inalámbrica, la fecha y hora. En el mapa se despliega un planisferio donde se encuentra la ubicación de los diferentes maestros distribuidos en la red eléctrica. En datos se imprimen las medidas actuales que el maestro sube a los servidores.

En el trabajo también se desarrollaron PCBs para los esclavos de la red Modbus RTU, como se observa en la Figura 9.

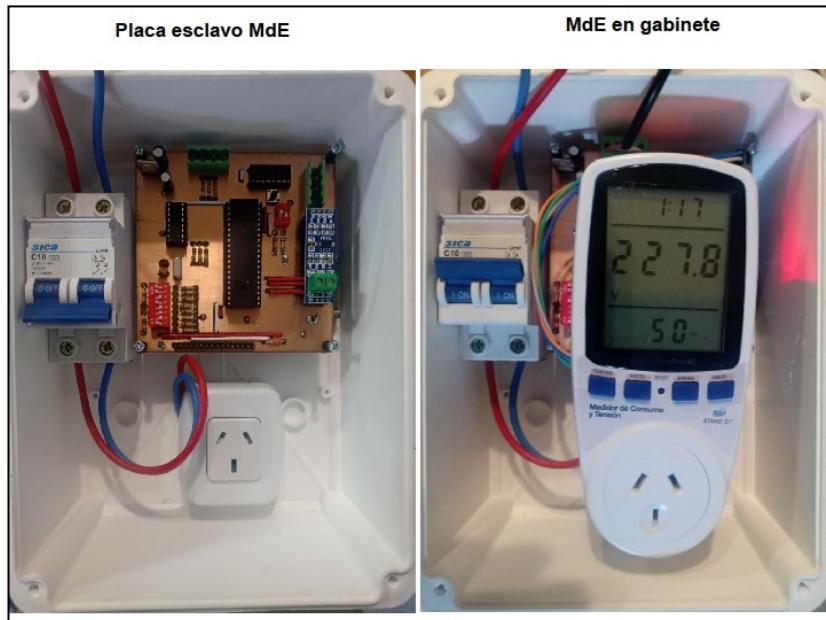


Figura 9: Gabinete con placas desarrolladas para el MdE Modbus RTU.

Para los PCBs se diseñaron pistas, que junto a la implementación de los planos de tierra permite que los circuitos no sean susceptibles a interferencias o ruido eléctrico. Para su construcción se utilizaron

placas de cobre de 10 cm x 10 cm. Durante el desarrollo del trabajo, los PCBs se modificaron con el objetivo de plantear mejoras.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se desarrollaron e implementaron dispositivos que permiten el monitoreo de energía y magnitudes meteorológicas mediante LoRaWAN. La comunicación entre los dispositivos del sistema responde a una arquitectura maestro/esclavo. Por tal motivo se desarrollaron circuitos que operan como esclavos en una red Modbus RTU y pueden medir: temperatura y humedad promedio del sensor SHT10, irradiancia por medio de una celda fotovoltaica y temperatura promedio de una PT100. También se adaptaron medidores de energía comerciales para que respondan al mismo protocolo de comunicación y registren: tensión eficaz, corriente eficaz, potencia activa, factor de potencia y energía. Si bien los MdE pueden medir en un rango acotado de potencia, su implementación brinda una idea acabada en cuanto al funcionamiento de medidores que respondan a una comunicación Modbus RTU. Para el maestro se utilizó una placa de desarrollo LOPY, que le otorga al microcontrolador conexión a una red LoRaWAN. Este microcontrolador se comunica con los esclavos por medio del protocolo Modbus RTU y sube la información de la red a los servidores de The Things Network. La arquitectura del sistema permite que la red Modbus pueda ampliarse al incorporar esclavos que respondan a nuevos requerimientos por parte de los usuarios. En el trabajo se utilizaron los recursos del servidor The Things Network, ya que se manipula con herramientas de la plataforma la información que llega desde los gateways. Para los servicios de backend se implementó Node-RED. Con este software se recuperaron los datos de los servidores de The Things Network y se almacenaron en una base de datos.

## REFERENCIAS

- Dimitriou P. Faschang M. Mosshammer R. Stifter M. Andren F. Kupzog F. (2012). Co Simulation of Power and Communication Networks for Low Voltage Smart Grid Control. In Proceedings of the 1st D-A-CH Energieinformatik.
- Gaba K.M. Madrigal M. Uluski R. (2017). Practical Guidance for Defining a Smart Grid Modernization Strategy The Case of Distribution. The World Bank Group. ISBN: 978-1-4648-1055-8.
- Energía Estratégica [en línea] Generación distribuida: Neuquén instala más de 5.000 medidores inteligentes. Dirección URL: <<https://www.energiaestrategica.com/neuqueninstala-mas-5-000-medidores-inteligentes-la-provincia/>> [consulta: 1 junio de 2024]. Nov. de 2017.
- Energía Estratégica [en línea] GoodWe y Sistemas Energéticos avanzan en Argentina en una asociación estratégica. Dirección URL: <<https://www.energiaestrategica.com/goodwe-y-sistemas-energeticosavanzan-en-argentina-en-una-asociacion-estrategica/>> [consulta: 1 junio de 2024]. Mar. de 2024.
- Energía Estratégica [en línea] Secretaría de Energía de Argentina convoca manifestaciones de interés para almacenamiento. Dirección URL: <<https://www.energiaestrategica.com/secretaria-de-energia-de-argentinaconvocara-manifestaciones-de-interes-para-almacenamiento/>> [consulta: 1 junio de 2024]. Oct. de 2023.
- Energía Estratégica [en línea] Schneider Electric y sus proyectos de energía renovable en Argentina. Dirección URL: <<https://www.energiaestrategica.com/schneider-electric-y-susproyectos-de-energia-renovable-en-argentina/>> [consulta: 1 junio de 2024]. Jul. de 2016.
- Energía Estratégica [en línea] San Juan ensaya experiencias de inyección de energía renovable a la red domiciliaria. Dirección URL: <<https://www.energiaestrategica.com/san-juan-ensaya-experienciasinyeccion-energia-renovable-la-red-electrica-domiciliaria/>> [consulta: 1 junio de 2024]. Feb. de 2017.
- Energía Estratégica [en línea] Proyecto piloto en Argentina con la primera aplicación del software Venios.NET. Dirección URL: <<https://www.energiaestrategica.com/proyectopiloto-en-argentina-con-la-primera-aplicacion-del-software-venios-net/>> [consulta: 1 junio de 2024]. Abr. de 2024.
- Energía Estratégica [en línea] Salta se prepara para comenzar con las licitaciones del proyecto de redes inteligentes. Dirección URL: <<https://www.energiaestrategica.com/salta-se-prepara-para-comenzarcon-las-licitaciones-del-proyecto-de-redes-inteligentes/>> [consulta: 1 junio de 2024]. Mar. de 2015.

Infobae [en línea] Cómo funciona la primera red eléctrica inteligente de Argentina? Dirección URL: <<https://www.infobae.com/def/desarrollo/2018/07/14/como-funcionala-primerared-electrica-inteligente-de-argentina/>> [consulta: 1 junio de 2024]. Jul. de 2018.

Iberdrola [en línea] Proyecto Star. Dirección URL: <<https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestraactividad/smart-grids/proyecto-star>> [consulta: 1 junio de 2024].

Redeia [en línea] Proyecto Price. Dirección URL: <<https://www.ree.es/es/red21/idi/proyectos-idi/proyecto-price>> [consulta: 1 junio de 2024].

Cluster Energia [en línea] Proyecto Bidelek Sareak. Dirección URL: <<https://www.clusterenergia.com/proyecto-bidelek-sareak>> [consulta: 1 junio de 2024].

e distribución [en línea] Proyecto MONICA. Dirección URL: <<https://www.edistribucion.com/es/innovacion-nuevas-tecnologias/proyecto-monica-red-distribucion.html>> [consulta: 1 junio de 2024].

modbus.org [en línea] MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATIONV1.1b3. Dirección URL: <[https://modbus.org/docs/Modbus\\_Application\\_Protocol\\_V1\\_1b3.pdf](https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf)> [consulta: 1 junio de 2024]

## **DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MODBUS RTU MASTER/SLAVE DEVICES FOR MONITORING SENSOR NETWORKS USING**

**ABSTRACT** This paper presents the development of electronic devices designed to monitor a sensor network, using the Modbus RTU communication protocol and a LoRaWAN wireless network to collect information. The devices developed are called meteorological magnitude meter and energy meter, both developed to respond to Modbus RTU communication. The network master is responsible for requesting information from the slaves and uploading the information from the sensors to the LoRaWAN servers of The Things Network. To view the information from the server, the Node-RED software is used, which is responsible for downloading the data and storing it in a database. The developed system is conceived with the purpose of providing information in a Smart Grid.

**Keywords:** Modbus RTU, LoRaWAN, IoT and Smart Grid.