

Sistema de medición con dos conexiones Modbus vinculado a través de un enlace MQTT/TLS a un servidor remoto: detalles internos y primeros resultados

A measurement system with dual Modbus connections linked through MQTT/TLS to a remote server: internal details and first operation results

Esp.Ing. Marcelo Castello^{†1}, Esp.Ing. Rafael B. Oliva^{*2}

[†]*Observatorio de Energía y Sustentabilidad (OES), UTN FRRO
 Zeballos 1341 - Rosario - Santa Fe (Argentina)*

¹*mcastello@frro.utn.edu.ar*

^{*}*Area Energías Alternativas / Instituto de Tecnología Aplicada - UNPA y L&R Ingeniería
 Avda Gregores y Lero Rivera - Río Gallegos - Santa Cruz (Argentina)*

²*roliva@uarg.unpa.edu.ar*

Recibido: 20/03/22; Aceptado: 23/08/22

Resumen—Este trabajo presenta un sistema de medición para equipamiento de energías renovables que incorpora dos conexiones basadas en el protocolo abierto Modbus (RTU/Serial hacia módulos internos, TCP hacia el exterior) y logra la vinculación entre el módulo datalogger y un dashboard centralizado remoto. La instalación y puesta en marcha reciente de instrumentos de alta calidad hacen posible reunir información confiable y a la vez contar con un monitoreo y persistencia remota de los datos. El conjunto toma información de viento utilizando sensores Thies instalados en la misma torre de un aerogenerador e información de corriente y tensión producida por un conjunto de paneles fotovoltaicos y aerogenerador que cargan un banco de baterías y suministra energía a un invernadero. A su vez, se construyó y programó un módulo auxiliar externo para medición de temperatura y humedad en el invernadero, comunicado por RS485 y protocolo Modbus RTU con el datalogger principal. El datalogger envía los datos a través de Modbus/TCP a una Raspberry Pi 4B que convierte este protocolo a MQTT/TLS para dar seguridad a la transmisión de los datos, ya que el servidor con el dashboard se encuentra fuera de la red de campo. El análisis de performance del sistema híbrido eólico-solar de baja potencia es posible debido a la disponibilidad y persistencia de los datos en el servidor remoto y localmente en la tarjeta CF del datalogger.

Palabras clave : sistema de monitoreo, protocolo MQTT/TLS, protocolo Modbus, energía renovable

Abstract— This work presents a renewable energy measurement system with two Modbus protocol connections (RTU/Serial to internal modules, TCP to external units) and achieves a TLS-encrypted link between the datalogger module and a centralized remote dashboard application. Recent installation and commissioning of high quality instruments allow for reliable information to be collected, and the system offers remote monitoring and data persistence. The logger acquires wind data using Thies sensors installed on the wind turbine tower, and current and voltage from both the wind turbine and an array of photovoltaic panels. Energy is stored in a battery bank and is used to supply electric power to a greenhouse. In this nearby building, an additional module to measure temperature and humidity of the plant-growing

environment was developed and programmed. The module communicates via RS485 using Modbus RTU with the main datalogger, which also uses an internal network connection through Modbus TCP to a Raspberry Pi4B board. The Pi board converts the readings to MQTT/TLS, an added security feature before sending data to the remote server which runs the dashboard application. A continuous performance analysis of the renewable energy unit is possible due to the availability and persistence of real-time data on the server and also on the CF card of the datalogger.

Keywords: Monitoring system, Modbus protocol, MQTT/TLS protocol, renewable energy

I. INTRODUCCIÓN

El uso de sistemas de registro basados en dataloggers de tipo industrial ha sido una necesidad desde las primeras instalaciones híbridas de energía renovable, por ejemplo [1] en sistemas remotos de comunicaciones que requieren una elevada confiabilidad de datos. Algunos de los equipos programables de mayor prestigio tienen una larga trayectoria en el sector [2], lo cual los convierte en sistemas de referencia. La difusión creciente del acceso a Internet en ambientes rurales ha incentivado el interés por emplear sistemas de registro que incorporen conectividad estable, que la misma cumpla con los requerimientos básicos de ciberseguridad, sumando a todo esto la persistencia de datos. Si bien existen alternativas comerciales que implementan este tipo de sistemas (ej. Schneider Insight - Conext / Xanbus [3]) en general su diseño es cerrado y utilizan protocolos propietarios.

El presente trabajo describe internamente un sistema de este tipo denominado SISMED/RG24 que es utilizado para el monitoreo de un sistema eólico-fotovoltaico de uso didáctico [7] instalado en el Campus de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral. El sistema en su conjunto,

está destinado a abastecer los consumos eléctricos de un invernadero de tipo educativo. El SISMED/RG24 posee un datalogger que concentra datos de temperatura, humedad, velocidad y dirección de viento y datos eléctricos del banco de baterías, provenientes de los sensores de campo. Un ordenador Raspberry Pi [9] instalado en la red interna, interroga al subsistema datalogger utilizando el protocolo abierto Modbus TCP [4]. A su vez, el datalogger implementa una consulta independiente Modbus RTU/Serial (via RS485) hacia un módulo interno de temperatura/humedad, almacenando localmente promedios en una tarjeta de memoria del tipo CF industrial. El ordenador luego envía el conjunto de las mediciones a un servidor remoto donde se produce la persistencia, análisis y visualización. Para cumplir con requerimientos de ciberseguridad, el ordenador utiliza el protocolo MQTT [5] con capa de seguridad TLS [6]. Tras haber completado seis meses de operación se muestran algunos resultados obtenidos.

El equipo de registro se basa en un datalogger comercial CR1000 [8] acoplado a una interfaz NL115 (Ethernet + almacenamiento CF) del mismo fabricante, un módulo Raspberry Pi4B y un módulo auxiliar vinculado por RS485 para medición de temperatura y humedad en el interior del invernadero. Dado que en las cercanías del Campus se encuentra una antena difusora de WiFi, se instaló un equipo Ubiquiti NSM5 [10] con alimentación PoE que conecta el conjunto a Internet. La visualización y almacenamiento de los datos se realiza a través de un dashboard remoto implementado con Thingsboard CE [11].

II. HARDWARE

A. Evolución y Características

Una versión preliminar del SISMED/RG24 se instaló en 2019, y su desarrollo estaba basado en experiencias conjuntas con dataloggers Campbell realizadas en CERE/UMAG desde 2013 [12]. Esta versión utilizaba el teclado-display existente CR1000-KD, el almacenamiento de promedios de lecturas en tarjetas CF (Compact Flash) industrial, y la funcionalidad interna de un servidor HTTP programable en el datalogger, a través de una conexión directa a Internet. Una descripción de esta configuración en gráficos y código fuente puede encontrarse en [13]. Dicho servidor no contaba con los requisitos mínimos de ciberseguridad, además de resultar de una funcionalidad limitada por su escasa performance y su salida exclusivamente en forma de tablas de texto. Sin embargo, operó satisfactoriamente y sirvió de base para el desarrollo de la versión descrita en el presente trabajo.

La versión actual instalada durante 2021 se concibió como una ampliación de la instalada en 2019, incorporando nuevos elementos a los ya existentes. En setiembre se instalaron los nuevos sensores de viento Thies (Figura 1 - ver [21]) sobre un soporte de la torre siguiendo los lineamientos de la normativa IEC 61400-12-1 Anexo H [14] para pequeños aerogeneradores, y se modificó el código fuente del CR1000 para incorporar las nuevas constantes de calibración.

B. Hardware nueva versión

Los requerimientos crecientes de seguridad y funcionalidad impulsaron el desarrollo de la versión ampliada durante 2021. Se decidió el agregado de una unidad Raspberry Pi,



Fig. 1. Instalación de Sensores Thies 09/2021.

que se instala en el interior del gabinete original junto con un router encargado de gestionar una red interna (LAN). Para acceder al módulo dedicado externo para medición de temperatura y humedad dentro del invernadero se instaló un adaptador DIN-RS485 [16] con habilitación automática. En la Figura 2 se muestra una fotografía del conjunto principal armado en un gabinete.

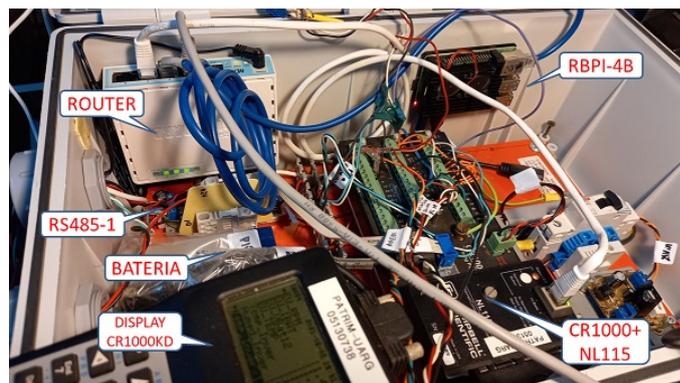


Fig. 2. Vista del Módulo Principal en ensayo.

El diagrama desde el punto de vista de funcionalidades de esta nueva versión se muestra en la Figura 3.

C. Hardware del Módulo principal y vinculación externa

Como se indicó en la parte introductoria, el desarrollo requirió adaptar el hardware para que el datalogger CR1000 funcione en su lazo de control principal como maestro/cliente Modbus RTU (sobre el puerto serie a 19200 baud) para la lectura de los valores de temperatura, humedad y estado provistos por el módulo auxiliar del invernadero, y a la vez como servidor/esclavo Modbus TCP para la comunicación externa. El trabajo original en AEA sobre dicho protocolo fue desarrollado por la becaria Cecilia Fuentes desde 2016 [17]. El datalogger se conecta a uno de los puertos del router vía su módulo NL115. La placa Raspberry Pi4B se conecta a otro puerto del router, mientras que el módulo inalámbrico que provee acceso a Internet se conecta al puerto homónimo del router. El sistema se configura como una red local, y desde el mismo router se administra el acceso externo a determinados puertos, coordinados con el Area de Sistemas de la Universidad. Esta

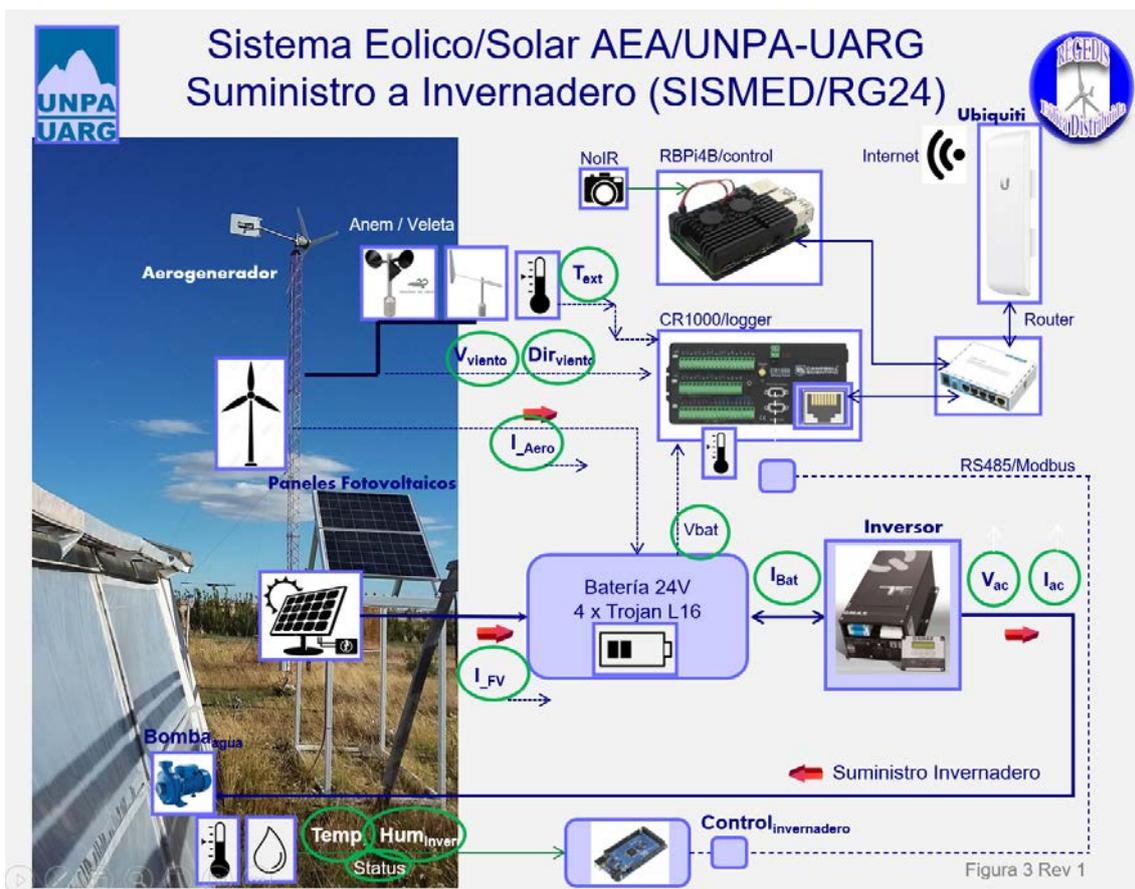


Fig. 3. SISMED/RG24 Esquema de la nueva versión 2021

red, gestionada por el router provee funcionalidades como firewall, redirección de puertos y servicios de NAT, todos necesarios para dar seguridad a conexiones entrantes desde la red pública Internet.

D. Hardware del Módulo auxiliar

El módulo externo auxiliar se implementó utilizando una placa Arduino Mega256, conectada a un sensor DHT22 con interfaz OneWire de temperatura y humedad, y se vincula con un segundo módulo DIN-RS485 de habilitación automática idéntico al del módulo principal, a través de un cableado FTP que además oficia de suministro de tensión de 12 Vcc de alimentación. El módulo auxiliar operando se muestra en Figura 6.

III. MODELO E INTEGRACIÓN DEL SOFTWARE

A continuación se describe el diagrama en bloques principal y su distribución, como así también los componentes de software.

A. Descripción del sistema y diagramas

En la Figura 4 se aprecia un diagrama de la configuración ensayada y sus bloques principales.

El datalogger principal se programa en CRBasic, un compilador que permite ejecutar secuencias y lazos genéricos de medición para los equipos de la línea CSI [8], utilizando funciones de alto nivel. En el lazo principal se debió integrar y actualizar una tabla maestra que para reunir datos de temperatura, humedad y status del invernadero con los de

viento, tensión y potencia del sistema de energía renovable. Dicha tabla se actualiza con el datalogger actuando simultáneamente como esclavo/servidor Modbus TCP en el puerto 502 convencional. Dichos datos son leídos por un script en Python a intervalos regulares dentro de la Raspberry Pi y se publican vía MQTT/TLS a un servidor remoto con la herramienta de visualización y almacenamiento Thingsboard. El código fuente del datalogger CR1000 y el script de Python que corre en la RBPI4 se encuentran disponibles en [18]. Para que la transmisión con capa de seguridad TLS sea posible, se crearon los certificados correspondientes. Los certificados TLS fueron creados utilizando la herramienta *keytool* [23] para sistemas operativos GNU/Linux. Se configuró adecuadamente Thingsboard (versión *Community edition*) en el servidor remoto, que utiliza la base de datos PostgreSQL [21] instalada en el mismo hardware.

El módulo externo mencionado se instala en el interior del invernadero y se comunica con el datalogger principal. Utiliza la biblioteca ArduinoModbus estandar [19] y su función `ModbusRTUserver()`, comportándose como esclavo/servidor del datalogger principal CR1000. El sketch de Arduino por simplicidad se programó en Arduino IDE v1.8.13 [20], y se encuentra disponible también en [18]. Los datos del sensor de temperatura/humedad, y su estado son leídos una vez cada 2 segundos.

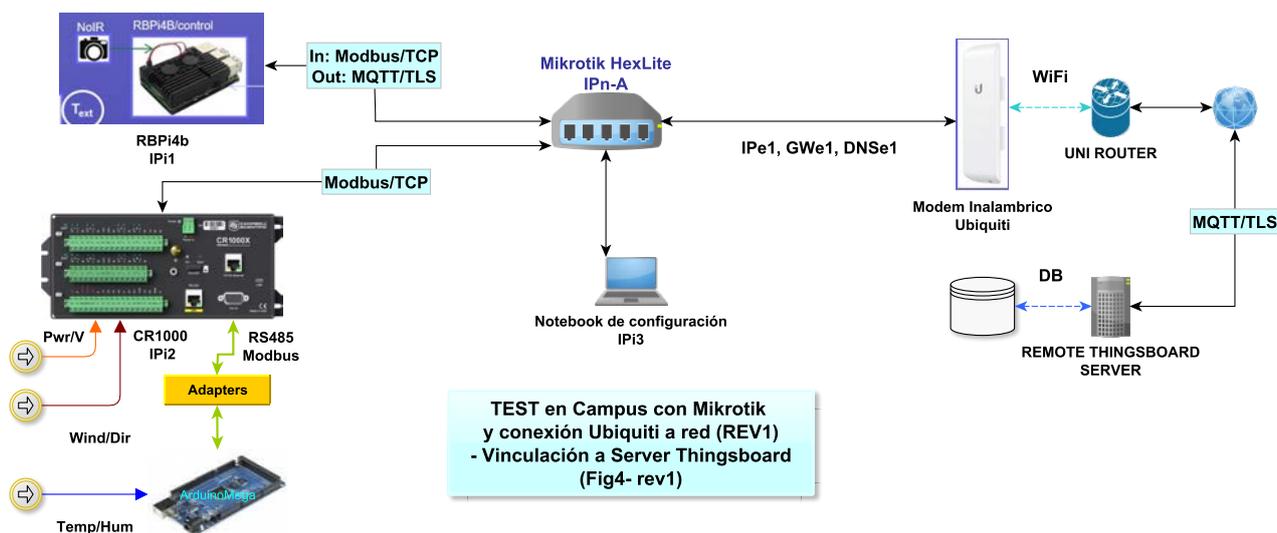


Fig. 4. Diagrama de bloques del Sistema.



Fig. 5. Interfaz Thingsboard y verificación mediciones

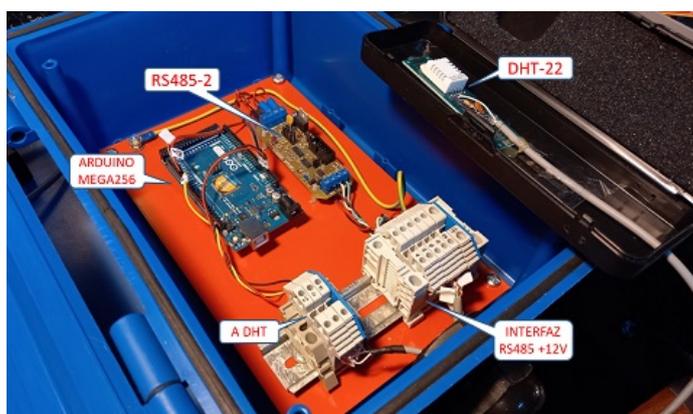


Fig. 6. Modulo auxiliar con sensor T/H en funcionamiento.

B. Interfaz con el usuario

La interfaz con el usuario se logra a través de una página web donde se encuentra el dashboard (Figura 5). Para este

caso de uso se instaló Thingsboard que es una plataforma de IoT de código abierto que permite la gestión de las comunicaciones, el almacenamiento y la visualización de los datos que provienen de los sensores u otros dispositivos que formen parte del sistema. Sus características más importantes son:

- visualización de datos a través de paneles configurables.
- activación de alarmas por procesamiento de eventos.
- diálogo con los dispositivos remotos conectados.
- arquitectura basada en microservicios.
- posibilidad de utilizar cadenas de reglas para implementar características propias.
- bibliotecas de widgets disponibles.

Al poseer Thingsboard una arquitectura orientada a microservicios, dispone de múltiples escenarios de despliegue. Dada la sencillez de esta aplicación se optó por un escenario con un único servidor y base de datos integrada en el mismo hardware. Esta configuración, es adecuada hasta para 300.000 dispositivos enviando hasta 10.000 mensajes por

segundo. En la parte final del dashboard, Figura 7 se incorporan los datos obtenidos del modulo externo via RS485 a 19200 baud, que escribe periódicamente tres "holding registers" (temperatura, humedad y status) en una tabla interna, que es accedida por el datalogger CR1000.

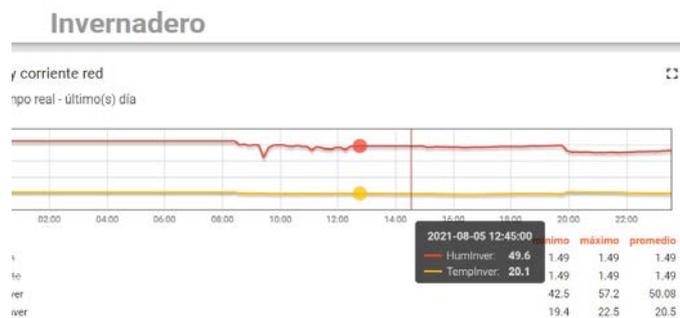


Fig. 7. Captura de Thingsboard con datos de sensores de T/H.

El sistema provee una valiosa función auxiliar para el mantenimiento, como se muestra en la Figura 8 en que se pudo resolver un problema de alimentación de la fuente de la Raspberry Pi4 (las adquiridas originalmente resultaron ser poco confiables).

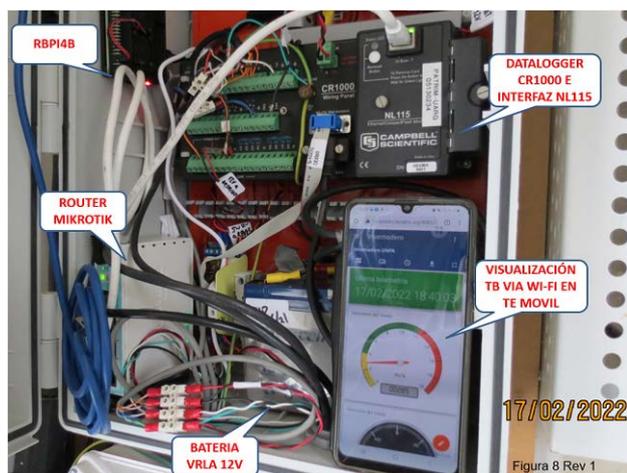


Fig. 8. Monitoreo del Tablero y a través del Dashboard TB.

IV. ENSAYOS Y APLICACIÓN DEL MONITOREO REMOTO

A. Instalaciones y mediciones realizadas

Los ensayos preliminares se realizaron a inicios de 2021 con sensores de viento anemométricos de pulsos FST200 y Veleta FR (Firstrate), y luego de la instalación se han adaptado las constantes de calibración en el programa principal del datalogger CR1000, reemplazando valores por las constantes de los Thies [21] adquiridos (Figuras 1,10). Además, se han incorporado las lecturas de temperatura y humedad del módulo externo, que se instaló en el interior del invernadero junto con los sistemas de bombeo (Figura 9). Los equipos externos instalados (aerogenerador y sensores), el tablero con el Inverter Qmax de 1.7 kW y el tablero anexo del conjunto datalogger se muestra en la Figura 10.

En la instalación definitiva de equipamiento a fines de setiembre 2021, se inició además del monitoreo remoto el registro de los datos promedio cada 1 minuto (según

recomendación IEC [14] Anexo H) con persistencia local en la tarjeta CF, lo cual brinda datos de utilidad para el estudio de performance del sistema.

En la Figura 13 se muestra via una captura de pantalla de panel Thingsboard la evolución de viento y dirección (izq) y de temperatura y humedad del invernadero, a las 8:22 del 24/10/21. En la Figura 14 se compara con los promedios por minuto registrados en un intervalo similar en la CF, visualizados con Windographer Académico v4.12 [24], licencia adquirida por UNPA. En lo que se refiere al viento, en las secuencias anteriores se observa el comportamiento típico del sur patagónico con una caída de intensidad de viento durante la noche y un aumento importante hacia el mediodía y tarde. El aumento de la humedad durante la noche y la reducción de temperatura se relacionan con la falta de incidencia del sol.

B. Aplicación del monitoreo remoto para mantenimiento

El monitoreo y registro de datos permite también resolver problemas de optimización de recursos y prevención de fallas. Esto se pudo aprovechar para el caso del particular ajuste realizado por el operador de riego para encender la bomba durante 7 minutos, aproximadamente a las 4 AM y luego a las 8 AM, como queda registrado (Figura 15) en los "bajones" de promedio de tensión de batería de tensión nominal 24 V (que suministra la corriente continua de operación al inversor, que alimenta a su vez la bomba de 1/2 HP a 220 V / 50 Hz). En ajustes posteriores, se modificó dicho horario para los momentos de mayor incidencia solar durante el día, que se observan también en la Figura 15 (Corriente de paneles FV, eje izquierdo arriba EU_IFV_In_Avg) y que permiten que las baterías recuperen carga y no se produzcan descargas profundas del banco. En otros casos, se libera el aerogenerador manualmente cuando se producen estas condiciones de baja tensión de batería y los paneles solares no alcanzan a realizar la recarga, como en las Figuras 11 y 12.

V. CONCLUSIONES

Se ha avanzado en la implementación de un sistema de registro que vincula un datalogger comercial a través de MQTT/TLS con un servidor remoto Thingsboard, logrando monitoreo y persistencia de datos para medición del recurso eólico y el relevamiento de la performance de un sistema híbrido eólico-solar de baja potencia en un campus universitario. Se espera que los resultados contribuyan a la implementación de este tipo de sistemas en instalaciones educativas similares.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la UNPA (Instituto de Tecnología Aplicada - UARG), al CIT-Santa Cruz (CONICET) y al OES (Observatorio de Energía y Sustentabilidad) de la Universidad Tecnológica Nacional - FRRO (Facultad Regional Rosario). La vinculación de ambos grupos OES y AEA/UNPA se lleva adelante en el marco de la red REGEDIS/CYTED (718RT0565).

REFERENCES

- [1] J. Akerlund and J. Ottosson, "A Datalogger and Remote Control for Hybrid Power Systems," INTELEC '87 - The Ninth International Telecommunications Energy Conference, 1987, pp. 443-449, doi: 10.1109/INTLEC.1987.4794595.
- [2] Campbell Data Loggers 40 Years On (2014): <https://www.instrumentation.co.uk/campbell-data-loggers-40-years-on/>
- [3] Schneider Solar - Insight Home / Facility & Conext: <https://solar.schneider-electric.com/product/insighthome-and-insightfacility-edge-devices/>
- [4] The Modbus Organization: <https://modbus.org/>
- [5] MQTT: The Standard for IoT Messaging <https://mqtt.org/>
- [6] Transport Layer Security (TLS) v1.3 (2018) <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8446>
- [7] AEA-UNPA <https://www.energiasalternativas-unpa.net/investigacion-y-desarrollo>
- [8] Datalogger CR1000 - Campbell Scientific CSI - <https://www.campbellsci.com/cr1000>
- [9] Raspberry Pi 4B (2020) <https://www.raspberrypi.org/products/raspberrypi-4-model-b/>
- [10] Ubiquiti NanoStation (2019) <https://www.ui.com/airmax/nanostationm/>
- [11] Thingsboard Community Edition (2021) <https://thingsboard.io/>
- [12] Data Acquisition at CERE/UMAG <https://github.com/rafaeloliva/CERE-DataAcq>
- [13] AEA SISMED/RG24 v1-2019 <https://github.com/rafaeloliva/AEA-DataAcq/tree/master/SISMEDRG24/v2019-CR1000>
- [14] IEC Standard (2017) IEC 61400-12-1 Power performance measurements of electricity producing wind turbines. <https://webstore.iec.ch/publication/26603>
- [15] Mikrotik HexLite Routers (2021) <https://mikrotik.com/product/RB750r2>
- [16] DIN-RS485 Adaptors User Guide LyR Ing. (2021) https://www.lyringenieria.com.ar/wp-content/uploads/2021/08/UserGuide_DINRS485board_v1den.pdf
- [17] Fuentes, C. - Informe de beca WE: MPPT y Protocolo Modbus(2016) <https://github.com/rafaeloliva/AEA-DataAcq/tree/master/SISMEDRG24/v2021-CR1000-RBpi4-ArduinoMegaModbus/BecaCFuentesModbus>
- [18] v2021 CR1000/RBpi4/Mega Source and diagrams: <https://github.com/rafaeloliva/AEA-DataAcq/tree/master/SISMEDRG24>
- [19] Arduino Modbus Standard Library (2019) <https://www.arduino.cc/en/ArduinoModbus/ArduinoModbus>
- [20] Arduino IDE <https://www.arduino.cc/en/software>
- [21] Thies FirstClass Wind Sensors (2021) <https://www.thiesclima.com/en/Products/Wind-First-Class/>
- [22] PostgreSQL Open Source Database (2021) <https://www.postgresql.org>
- [23] KeyTool - Oracle Java Platform Tools Reference (2021) <https://docs.oracle.com/javase/8/docs/technotes/tools/windows/keytool.html>
- [24] Windographer: <https://www.ul.com/resources/apps/windographer>



Fig. 9. Instalaciones Modulo T/H y bombeo de agua Invernadero

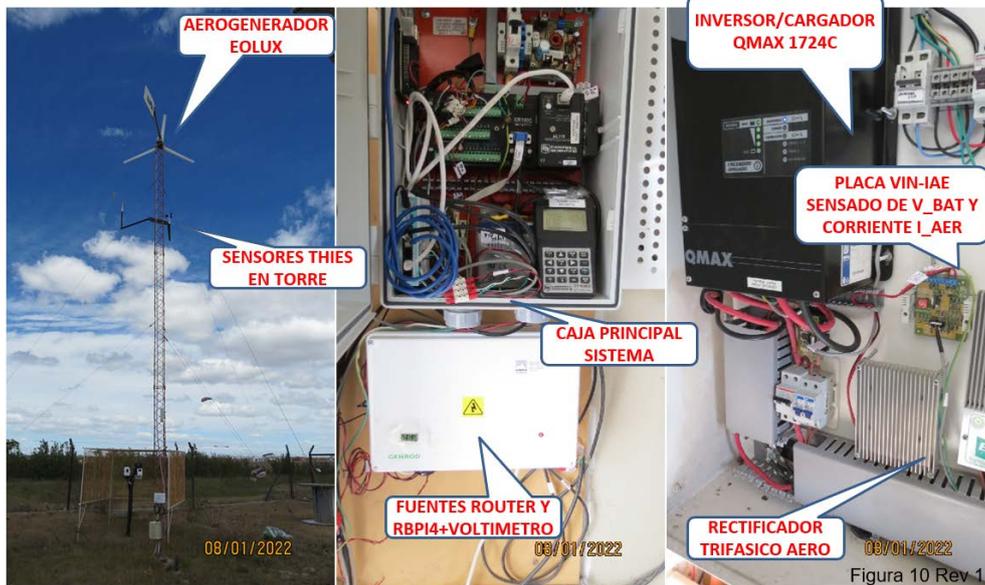


Figura 10 Rev 1

Fig. 10. Aerogenerador con sensores, Tablero Inverter y Datalogger



Figura 11 Rev 1

Fig. 11. Pantalla Thingsboard, bajas por bomba y conexión aerogenerador.

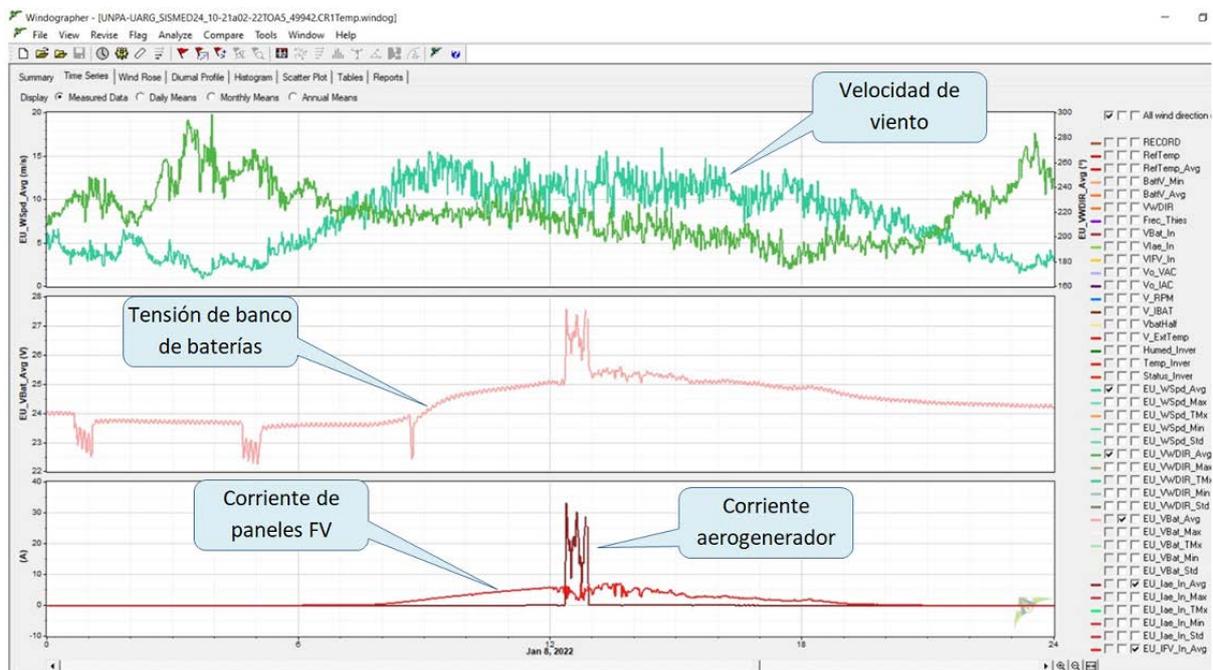
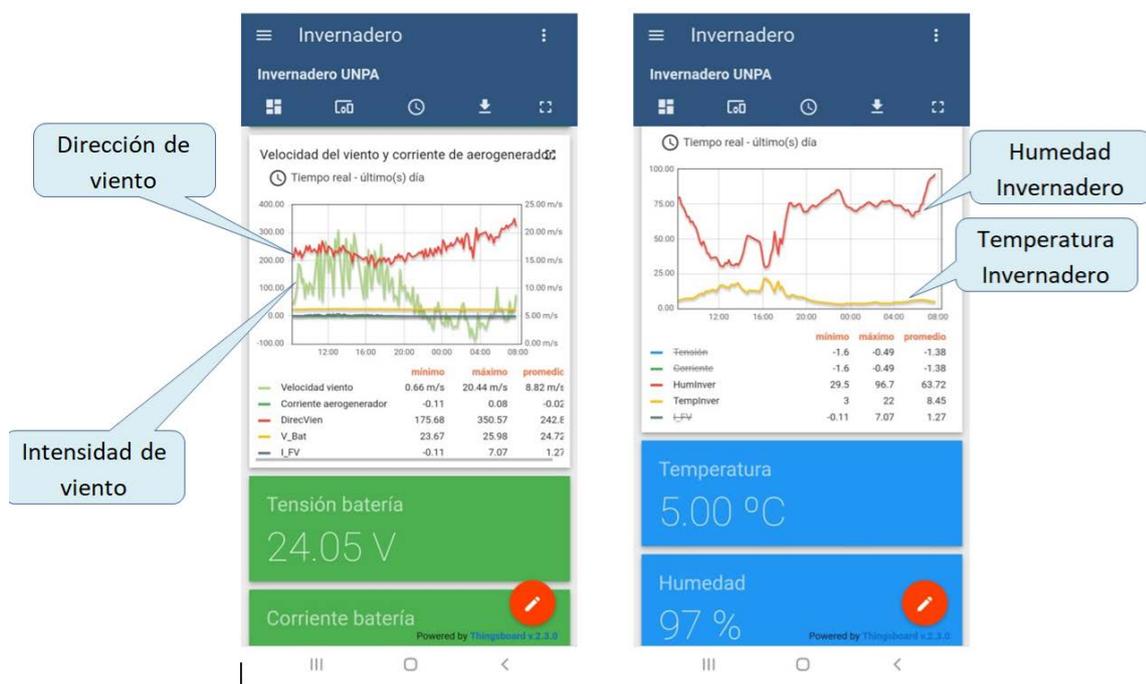
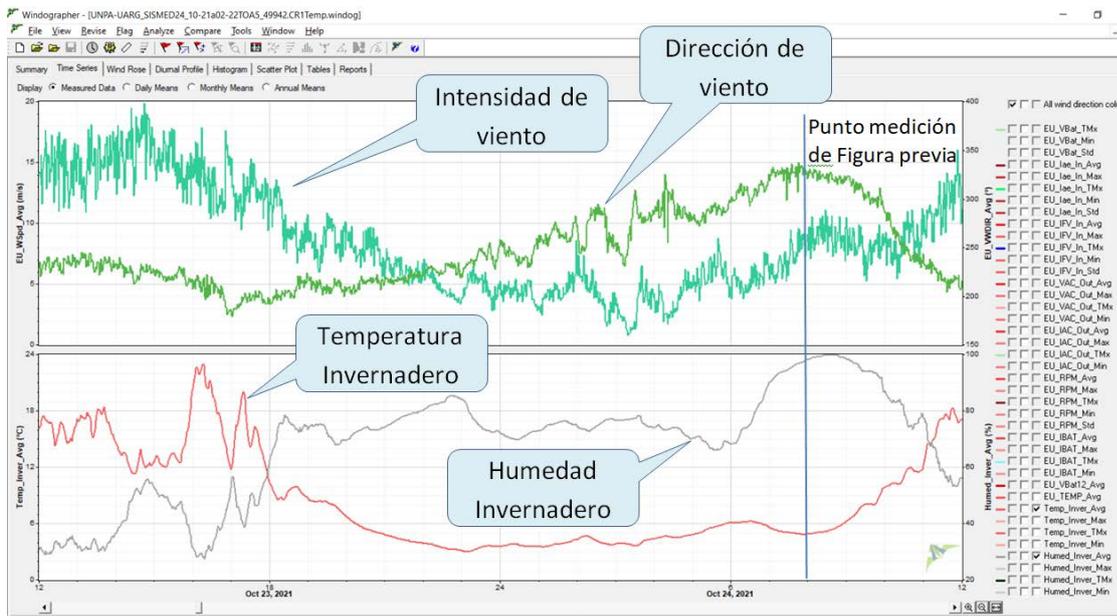


Fig. 12. Registro de tensión Batería / Encendidos bomba + Aerogenerador 08/01/22



Capturas de pantalla – móvil de Thingsboard 24/10/21 – IZq Viento y Dirección, derecha temperatura y humedad (historial hasta las 8:00hs del 23/10/21)

Fig. 13. Registros instantáneos 24/10/21 Thingsboard



Gráficas de promedios cada 1 minuto del 23 al 24/10/21 – Arriba Viento y Dirección, abajo temperatura y humedad

Fig. 14. Registros CF promedios 1 minuto 24/10/21

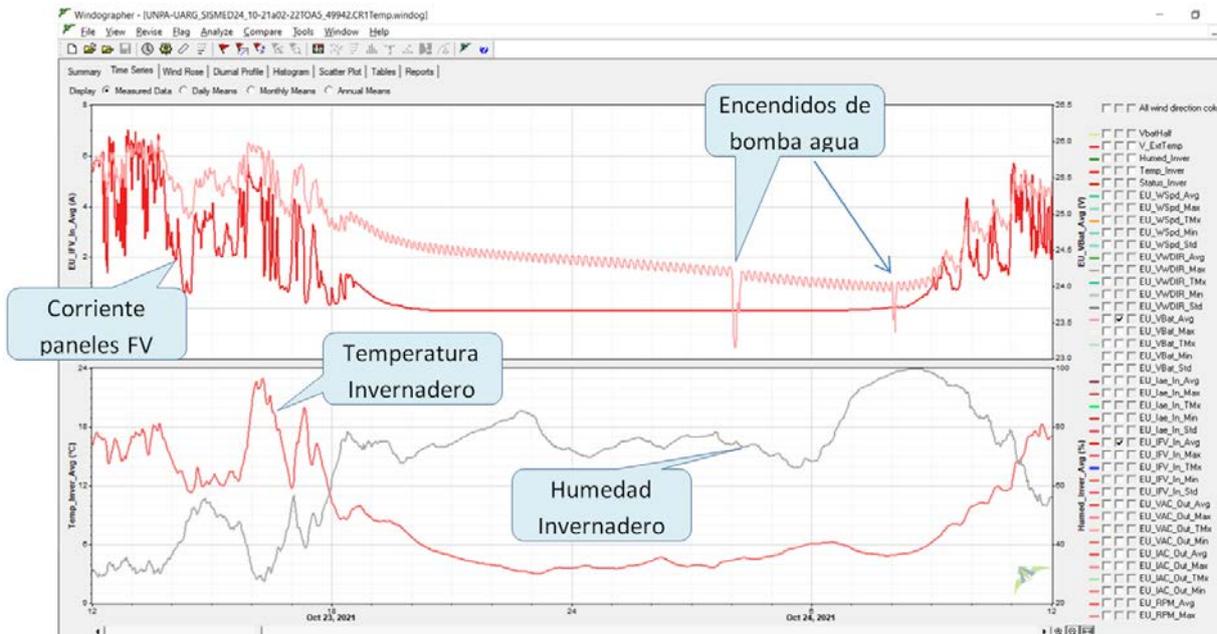


Fig. 15. Registro de tensión Batería / Encendidos bomba 24/10/21