

Diseño e implementación de data logger open hardware para estación meteorológica

Design and implementation of open hardware data logger for weather station

Lázaro Andrés O’Farrill Nuñez^{†1}, Alex Manuel Rivera Rivera^{†2} y Amanda Martí Coll^{†3}

[†]Facultad de Automática y Biomédica
 Universidad Tecnológica de La Habana CUJAE
 La Habana

¹Estudiante de pregrado de Ingeniería Biomédica

²Estudiante de pregrado de Ingeniería Automática

³Ingeniera en Automática

¹lazaro.on@automatica.cujae.edu.cu

²alex.rr@automatica.cujae.edu.cu

³amanda.mc@automatica.cujae.edu.cu

Recibido: 02/11/22; Aceptado: 02/03/23

Abstract—This work describes the design and implementation of the hardware and software of a data acquisition and processing system for a meteorological station. The system hardware is based on the ESP32 from Espressif Systems and a series of low-cost commercial modules to supply the RTC (real time clock) functionalities, Ethernet connection, internal storage and RS485 connection. Taking advantage of the availability of Wi-Fi embedded in the ESP32, the system communicates with a personal computer, where a custom-made software allows to make adjustments to the system and to graphically visualize the data. The results obtained allowed to put into operation the meteorological station WS501-UMB of the Lufft company, which lacked the data logger; at present, the system is being used by the Cuban Agricultural Engineering Institute (Instituto de Ingeniería Agrícola de Cuba, IAgriC).

Keywords: data acquisition system; weather station; ESP32; data logger.

Resumen— El presente trabajo describe el diseño e implementación del hardware y software de un sistema de adquisición y procesamiento de datos de una estación meteorológica. El hardware del sistema está basado en el ESP32 de Espressif Systems y una serie de módulos comerciales de bajo costo para suplir las funcionalidades de RTC (real time clock), la conexión vía ethernet, el almacenamiento interno y la conexión vía RS485. Aprovechando la disponibilidad de Wi-Fi embebida en el ESP32, el sistema se comunica con una computadora personal, donde un software hecho a medida permite realizar ajustes al sistema y visualizar gráficamente los datos. Los resultados obtenidos permitieron poner en funcionamiento la estación meteorológica WS501-UMB de la empresa Lufft que carecía del data logger, en la actualidad el sistema está siendo utilizado por el Instituto de Ingeniería Agrícola de Cuba.

Palabras clave: sistema de adquisición de datos; estación meteorológica; ESP32; data logger.

I. INTRODUCCIÓN

Hay muchos factores ambientales como el aire, las precipitaciones, la temperatura, la humedad, entre otros; que siguen cambiando de manera alarmante e impredecible [1]. El monitoreo de los parámetros ambientales es de vital

importancia en una gran cantidad de aplicaciones y procesos tanto industriales como no industriales. Las condiciones climáticas afectan las decisiones sobre las diferentes actividades como navegación, transporte, partidos deportivos, agricultura, etc. Tener información del clima es sin duda imprescindible para marineros y pilotos que trabajan en actividades de transporte [2]. Un sistema de monitoreo del clima se ocupa de detectar y recopilar varios parámetros del clima en diferentes lugares para que puedan ser analizados o utilizados para el pronóstico del tiempo [3]. Un adecuado sistema de monitoreo ayuda en cualquier planificación que pueda ser necesaria en caso de mal tiempo. Cabe mencionar que, con estas predicciones, también se pueden reportar inmediatamente los posibles eventos de desastre y advertir a las personas que tomen las precauciones necesarias para enfrentarlos [2]. Hace unas décadas, los sistemas de monitoreo del clima eran instrumentos mecánicos y electromecánicos con errores asociados a la necesidad de intervención humana, el paralaje y durabilidad del equipo.

Con la llegada de la automatización a esta rama, los equipos se hicieron más compactos, seguros y económicos; sin embargo, la mayoría de este tipo de equipos carecen de un sistema embebido para registro, persistencia y procesamiento de datos. Los data loggers (como se conocen estos sistemas de registro de datos) son dispositivos electrónicos que registran, escanean y recuperan automáticamente los datos con alta velocidad y eficiencia durante una prueba o medición [4]. El usuario, normalmente, es el que determina el tipo de información registrada; por lo tanto, puede medir automáticamente la salida eléctrica de cualquier tipo de transductor y registrar el valor. Con la capacidad de trabajar sin restricciones temporales, los data loggers permiten obtener datos válidos, completos y comprensibles a los que se puede acceder en tiempo real [5].

El avance de la tecnología satelital, la aceleración de las comunicaciones y el incremento del poder computacional [6], ha posibilitado el establecimiento de sistemas de comunicación de forma sencilla y eficaz. El Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgriC) cubano se

dedica a la investigación y el desarrollo de la actividad de la ingeniería agrícola. Para poder desarrollar investigaciones sobre la agricultura de precisión, dicho instituto necesitaba un sistema de monitoreo climático. Debido a esto se adquirió la estación meteorológica WS501-UMB de la empresa Lufft, sin embargo, como ya hemos planteado que suele suceder, esta última sólo permite el censado de los datos, o sea, no cuenta con la posibilidad de darles persistencia ni de procesarlos. Se precisaba entonces de un sistema que permitiese: adquirir los datos desde la estación, almacenarlos en algún tipo de soporte y ponerlos a disposición de los investigadores para su posterior procesamiento.

El objetivo de este trabajo es exponer el sistema diseñado y desarrollado para darle solución a esta situación problema. Las siguientes secciones del trabajo son: II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA, donde comentamos algunos trabajos de los últimos 5 años relacionados con el monitoreo ambiental; III. MATERIALES Y MÉTODOS, en el cual se presentan algunas de las características de la estación meteorológica y se describen de forma genérica las tareas realizadas por el data logger desarrollado; IV. HARDWARE, recoge las características fundamentales de los dispositivos utilizados, con la función que los mismos realizan dentro de nuestra solución; V. SOFTWARE, donde se exponen las tareas (desde el punto de vista funcional) realizadas por el Data Logger y se presenta la aplicación que sirve como interfaz entre las personas y el sistema de monitoreo; por último, se encuentran las VI. CONCLUSIONES y las REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS de nuestra investigación.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

No han sido pocos los estudios dedicados al monitoreo ambiental, lo que resulta lógico a partir de la ya mencionada importancia que se deriva de esto. En [7] se enfocan en el diseño e implementación de un data logger para la recopilación y el análisis de datos ambientales en un edificio inteligente. Según lo expuesto en su trabajo, los datos del clima van a ser continuamente censados, almacenados y procesados. Esto permitirá que el sistema sea capaz no solo de llevar un registro de las condiciones ambientales, sino también de controlar el ambiente de trabajo en la instalación. Lo anterior al dejar abierta la posibilidad de que los usuarios puedan modificar algunos parámetros ambientales, a fin de asegurar su confort.

El sistema se basó en un microcontrolador PIC18F45K22 y cuenta con un servidor web al que se suben los datos para facilitar el acceso a los mismos. Otros sistemas de monitoreo de clima se han basado en Raspberry Pi, como es el caso de [8]. En este trabajo el acceso a los datos se realiza desde una intranet, pero permiten que, en caso de que estos se deseen hacer públicos, puedan subirse a una nube o algún otro lugar que se desee en Internet. La interfaz web fue diseñada usando HTML, CSS y JavaScript para la generación de los reportes de los sensores en archivos JSON y CSV. El móvil principal de esta investigación fue el análisis de las condiciones medioambientales en países como Tailandia, donde la calidad de vida de las personas producto a estas condiciones se ve severamente afectada. Por otro lado, [1] aplica el monitoreo ambiental en la agricultura. El objetivo en ese caso fue construir un dispositivo que

podiera monitorear la condición del clima en tiempo real. Un servidor web en Internet se dispuso para su acceso desde una aplicación Android para llevar a cabo esta tarea.

El sistema propuesto aumentará la productividad de los agricultores, asegurando que puedan realizar las tareas agrícolas de forma eficiente en el período óptimo para sus cultivos. En [9] también se aplica el monitoreo ambiental a la industria agraria. Su principal objetivo fue diseñar e implementar un sistema de monitoreo eficiente a través del cual los parámetros requeridos se controlen de forma remota a través de Internet y los datos recopilados de los sensores se almacenen en la nube, para proyectar la tendencia estimada en el navegador web. De esta forma se puede saber en qué zonas resulta más adecuada la siembra de los cultivos con los que cuentan los agricultores, mejorando así la planificación de su producción. El sistema se basó en el microcontrolador NodeMCU y el análisis de los datos se llevó a cabo mediante Matlab de MathWorks gracias al soporte que brinda Thing Speak.

Otro artículo en este sector es [10], en el cual presentan lo que denominan “Smart agro farm”. El mismo consiste en un sistema de monitoreo de clima y suelo, alimentado por energía solar y de bajo costo, que analiza las diferentes propiedades del suelo y las condiciones climáticas. Por lo tanto, desarrollan una granja inteligente de alta tecnología configurada para agricultores. Este sistema consta de tres módulos principales denominados: módulo Internet de las Cosas (IoT) que se compone de interconexiones de circuitos y varios sensores para realizar las mediciones; módulo de minería de datos que se ocupa de extraer la información de todos los valores de datos anteriores; y módulo de la aplicación móvil para Android que asiste a los agricultores en la toma de decisiones respecto a sus cultivos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar las mediciones de las variables meteorológicas se emplea la estación meteorológica WS501-UMB (ver Figura 1).



Fig. 1. Estación Meteorológica WS501-UMB.

Este equipo proviene de la familia de productos WS de transductores de medición inteligentes profesionales, con interfaz digital para aplicaciones ambientales. El mismo cuenta con un diseño integrado con protección radiológica ventilada. En la Tabla I aparecen las variables registradas por el dispositivo.

Tabla I
PARÁMETROS METEOROLÓGICOS REGISTRADOS CON EL DISPOSITIVO.

Variable medida	Unidad de medida
Temperatura	°C
Humedad	%
Velocidad del viento	m/s
Dirección del viento	°
Presión atmosférica	hPa
Precipitaciones	mm
Radiación	W/m ²

Entre las características más destacadas de este dispositivo mencionadas por su fabricante en [11] se encuentran:

- Detección de viento con construcción a prueba de pájaros.
- Estructura compacta (todo en uno), bajo consumo, calefactor, pantalla de radiación aspirada, funcionamiento sin mantenimiento.
- Protocolo de comunicación abierto con interfaz RS485 y soporte para UMB-Binary, UMB-ASCII, Modbus-RTU, Modbus-ASCII, XDR y SDI-12.

La parte central de nuestro sistema de monitoreo es el data logger. Como se plantea en [5], el funcionamiento de estos inicia con la adquisición de datos del proceso para el cual se ha diseñado, lo cual se realiza a partir de sensores o módulos. Dicha lectura pasa por un proceso de conversión en el cual se lleva del mundo analógico al mundo digital, para poder ser procesado en un sistema de cómputo. Esto se debe a que la mayoría de los data loggers existentes en mercado, al igual que el descrito en este trabajo, se basan en microcontroladores. A continuación, los datos pueden ser directamente procesados y almacenados junto a sus resultados de procesamiento; simplemente almacenados o incluso ser enviados a un servidor desde el cual puedan ser utilizados para su posterior análisis. Los componentes básicos de un data logger se muestran en la Figura 2.

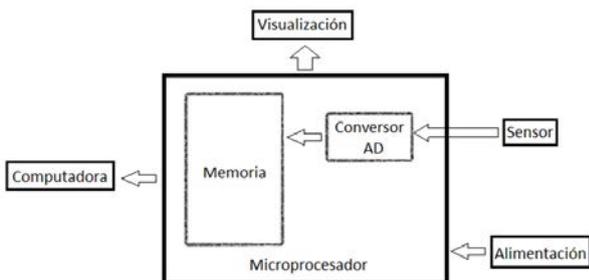


Fig. 2. Diagrama conceptual de un data logger. Adaptado de [4].

El microcontrolador es la parte fundamental del sistema, pero también la más costosa. En nuestro caso, el sistema está basado en ESP32, que se dedica a encuestar los distintos sensores cada un período de tiempo configurable desde el ordenador. La forma de encuestar los datos es mediante el protocolo serial, el cual expone la estación meteorológica a través de una interfaz RS485. Una vez adquirida la lectura, se realiza un procesamiento mínimo y pasa a ser almacenada en la MicroSD. Debido al tamaño tan pequeño de los datos, el dispositivo puede estar almacenando durante toda la vida útil del equipo (estimada en al menos 10 años de uso ininterrumpido) en cualquier memoria con más de 128 MB

de almacenamiento. Lo que resta es el acceso a los datos por parte de los usuarios del sistema. Cada vez que estos lo decidan simplemente tienen que dirigirse a la aplicación para computadora desarrollada y solicitar la información que desean. Esto se logra accediendo a una intranet dentro de la red de comunicación establecida con el data logger que envía bajo demanda los datos que tiene en la ya mencionada memoria de almacenamiento.

IV. HARDWARE

En la tabla II se describen los componentes utilizados.

Nombre	Función
DOIT ESP32 DEVKIT V1	Microprocesador
Módulo SD de Arduino	Almacenamiento de datos
Tiny RTC	Reloj de tiempo real
Conversor MAX485	Comunicación con la estación meteorológica
Módulo ENC28J60	Comunicación con el PC vía ethernet

Tabla II
PRINCIPALES COMPONENTES DEL DISPOSITIVO.

Como se ha descrito anteriormente el data logger diseñado gira en torno al microcontrolador ESP32 (ver Figura 3). El mismo consiste en un único chip combinado de Wi-Fi y Bluetooth de 2,4 GHz diseñado para lograr el mejor rendimiento de potencia y RF (radio frecuencia), mostrando robustez, versatilidad y confiabilidad en una amplia variedad de aplicaciones y escenarios de energía. ESP32 está diseñado para aplicaciones móviles, dispositivos electrónicos portátiles e IoT; cuenta con todas las características de vanguardia de los chips de bajo consumo, que incluyen desde múltiples modos de alimentación y potencia dinámica, hasta escenarios de aplicación específica, con concentración de sensores IoT de baja potencia activándose periódicamente cuando detecta condiciones específicas. Este dispositivo es capaz de funcionar de forma fiable incluso en entornos industriales, con una temperatura de funcionamiento que oscila entre -40 °C y +125 °C.



Fig. 3. Placa de desarrollo DOIT ESP32 DEVKIT V1.

Para la persistencia de los datos se utiliza una memoria MicroSD de 4GB. La comunicación con la estación meteorológica se realiza vía RS485 utilizando el protocolo de

comunicación serial. Por otra parte, para la comunicación con el software de la PC el data logger hace uso de la tecnología Wi-Fi del microcontrolador. El Tiny RTC (Real Time Clock) mostrado en la Figura 4, cuenta con el integrado DS1307, capaz de almacenar y llevar la cuenta de la fecha y hora de manera autónoma. Esta característica lo vuelve una parte fundamental del sistema, pues garantiza los elementos temporales necesarios para almacenar los datos de forma ordenada y analizable.



Fig. 4. Dispositivo Tiny RTC.

El siguiente elemento mostrado en la Tabla 1 es el convertor MAX485 (ver Figura 5) para la comunicación con la estación meteorológica, seleccionado en base a su bajo costo. Este chip integrado es un transceptor semidúplex que cumple con las especificaciones de RS485 y RS422 hasta 5Mbps. Al adoptar la comunicación. El diseño del mismo permite que opere a baja potencia sin la necesidad de sacrificar su desempeño.

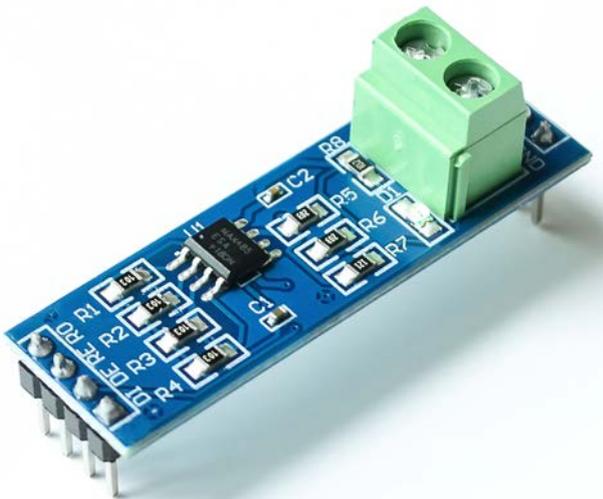


Fig. 5. Dispositivo MAX485.

Entre las vías de conexión entre el PC y el dispositivo tenemos la Wi-Fi, embebida en el microcontrolador y gestionada por este; pero además el sistema cuenta con la posibilidad de conexión por ethernet con el ya mencionado módulo ENC28J60 (ver Figura 6). Este elemento, expone [12], es un controlador de ethernet diseñado para sistemas embebidos fabricado por Microchip Technology

Inc. El mismo se controla a través del bus SPI, operando a 3.3 V (aunque también es tolerante a señales de 5 V), por lo que su integración a nuestro sistema resulta realmente sencilla. Además, soporta velocidades de 10Mbps/s y los modos dúplex y semidúplex con detección y corrección automática de la polaridad, cumpliendo con las especificaciones de la IEEE 802.3 10BASE-T. Este componente incorpora acceso directo a memoria (DMA) para facilitar el flujo de datos, hardware específico para el cálculo de las sumas de control (IP checksums), filtrado de paquetes y más. También elegido por su bajo costo, es una solución adecuada para nuestro sistema en comparación con otras alternativas como el W5100.



Fig. 6. Dispositivo ENC28J60.

En la Figura 7 se muestra un diagrama de la configuración descrita.

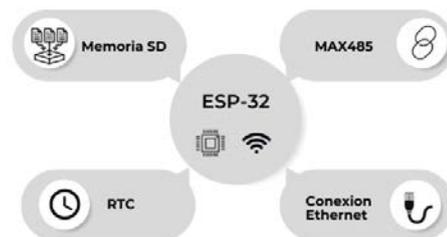


Fig. 7. Relación entre los módulos descritos.

Finalmente, el circuito es alimentado con una fuente de 5 Vdc. En la Figura 8 podemos ver una vista 3D generada en Proteus de todo el circuito.

V. SOFTWARE

Hay tres procesos fundamentales en el uso del data logger: la recolección de los datos, la distribución y su posterior



Fig. 8. Relación entre los módulos descritos.

visualización. En las Figuras 9 y 10 aparece reflejado este proceso.



Fig. 9. Relación entre los módulos descritos.

A. Recolección de datos

La recolección de datos de la estación ocurre capturando la información de la estación a intervalos preconfigurados utilizando el protocolo de comunicación serial contenido por la misma. Estos datos son almacenados en la memoria del dispositivo de manera secuencial, registrando el valor de cada variable medida junto con el momento exacto de la medición.

B. Distribución de datos

El data logger integra capacidades de comunicación inalámbrica al estar provisto de un servidor web, mediante el cual es posible alterar su configuración y obtener los datos registrados. La comunicación inicial ocurre utilizando WebSockets. Esta es una conexión de baja latencia que permite mantener la comunicación abierta de manera indefinida y la comunicación bidireccional entre dispositivos. Este protocolo provee una forma estándar para que el servidor envíe el contenido al cliente sin que este lo solicite [13]. El acceso al data logger está restringido a un usuario y la autenticación a los servicios de este se realiza mediante un token generado de manera aleatoria y con fecha de caducidad. Dados los requerimientos del dispositivo no se consideró necesario implementar métodos más complejos de autenticación como JWT. El cliente consiste en una aplicación web autónoma con su propia base de datos SQLite. SQLite es una base de datos embebida que no requiere de un servidor ni de dependencias externas [14]. El servidor fue implementado utilizando Nest.js 8.0.1.

C. Visualización de datos

La interfaz de usuario de la aplicación fue desarrollada utilizando el micro-framework web progresivo Vue.js 2 y Quasar V1. En la Figura 11 se muestra la interfaz principal de la aplicación.

La aplicación permite la gestión simultánea de distintos data loggers e identifica de manera individual las lecturas de cada uno. Mientras la conexión con el dispositivo permanece abierta se actualiza en tiempo real la información en el terminal del cliente. Haciendo uso de la biblioteca

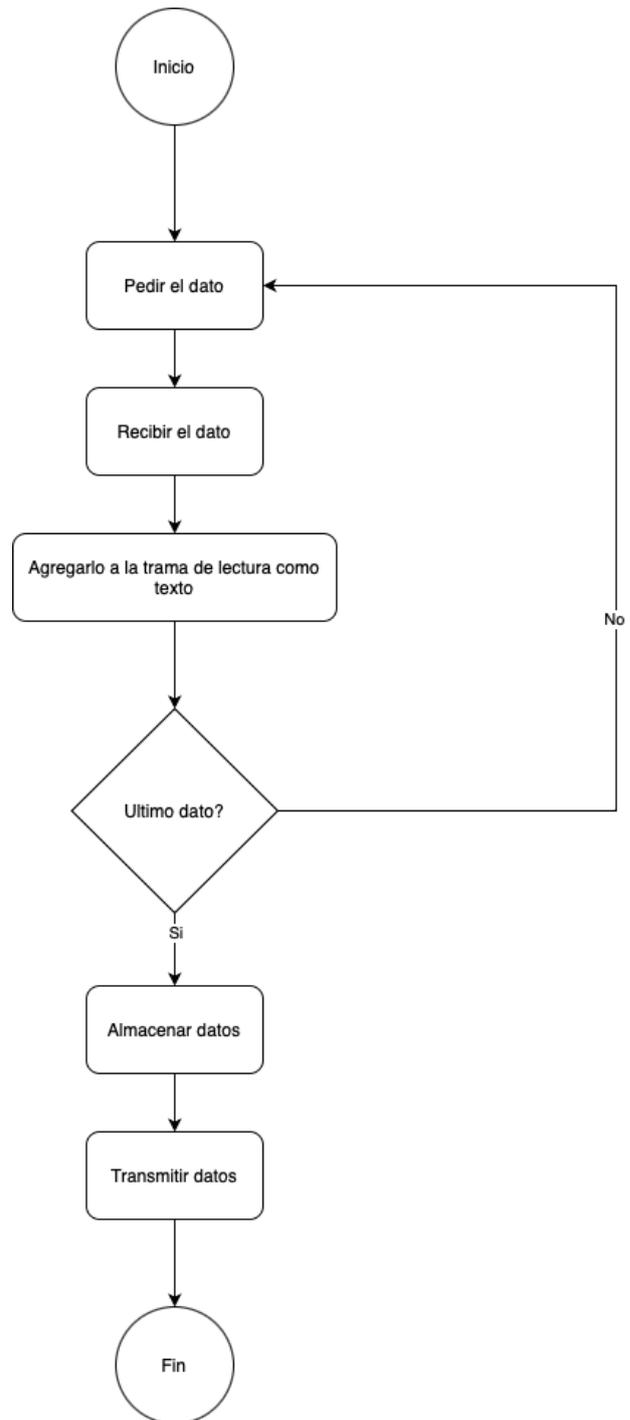


Fig. 10. Relación entre los módulos descritos.

ApexCharts 3.28.3 se muestra la información almacenada en el cliente. ApexCharts es una biblioteca de JavaScript para gráficos moderna, gratuita y de código abierto, que ayuda a los desarrolladores a crear visualizaciones interactivas de datos para las páginas web con una API sencilla [15]. En nuestra aplicación es posible seleccionar rangos específicos de tiempo en el que se desea visualizar una muestra. Además, se provee la posibilidad de descargar los datos en el formato estándar CSV.



Fig. 11. Interfaz del cliente del data logger.

VI. CONCLUSIONES

Como resultado final de este proyecto obtuvimos exitosamente un sistema completo para la adquisición, almacenamiento y envío de datos al ordenador, el cual está listo y en su aplicación final, sirviendo como data logger en el Instituto de Ingeniería Agrícola de Cuba (IAgriC), como se aprecia en la Figura 12. El sistema implementado tiene características esenciales que le permiten ser muy competitivo en el mercado, entre estas se destacan: • Bajo costo • Simpleza y confiabilidad • Tamaño y peso reducido • Capacidad de ser portátil • Uso de tecnologías abiertas • Capacidad de almacenamiento • Servidor web. Todos los componentes del equipo fueron seleccionados según costo y su disponibilidad en el mercado internacional, garantizando así una fácil reproducción.



Fig. 12. Interfaz del cliente del data logger mostrando valores de dirección y velocidad del viento.

REFERENCES

[1] Ashfaqul Haq et al. "IoT Based Air Quality and Weather Monitoring System with Android Application". In: 2022 International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISSET). 2022 International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISSET). Feb. 2022, pp. 24–28. DOI: 10.1109/ICISSET54810.2022.9775870.

[2] Dhya Azi. "Webserver Based Smart Monitoring System Using ESP8266 Node MCU Module". In: International Journal of Scientific and Engineering Research 9 (June 16, 2018), p. 801.

[3] Mohit Tiwari et al. "WEATHER MONITORING SYSTEM USING IOT AND CLOUD COMPUTING". In: 29 (June 4, 2020), pp. 2473–2479.

[4] Data Logging. URL: <https://www.ni.com/en-us/solutions/industrial-machinery/data-logging.html> (visited on 11/01/2022).

[5] Joseph Dedy Irawan and Renaldi Primaswara Prasetya. "IoT Data Logger Using Blynk Framework". In: International Journal of Latest Engineering and Management Research (IJLEMR) 6.1 (Jan. 2021), pp. 17–23. ISSN: 24554847.

[6] Atul Kulkarni and Debajyoti Mukhopadhyay. "Internet of Things Based Weather Forecast Monitoring System". In: Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science 9 (Mar. 1, 2018), pp. 555–557. DOI: 10.11591/ijeecs.v9.i3.pp555-557.

[7] Milos Djordjevic et al. "A Smart Data Logger System Based on Sensor and Internet of Things Technology as Part of the Smart Faculty". In: Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments 12 (July 9, 2020), pp. 1–15. DOI: 10.3233/AIS-200569.

[8] Ferdin Joe John Joseph. "IoT Based Weather Monitoring System for Effective Analytics". In: International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) 8.4 (Apr. 2019), p. 5.

[9] R.Suresh Babu et al. "IoT Based Weather Monitoring System". In: Mar. 1, 2018.

[10] Devi Devapal. "Smart Agro Farm Solar Powered Soil and Weather Monitoring System for Farmers". In: Materials Today: Proceedings. International Multi-conference on Computing, Communication, Electrical & Nanotechnology, I2CN-2K19, 25th & 26th April 2019 24 (Jan. 1, 2020), pp. 1843–1854. ISSN: 2214-7853. DOI: 10.1016/j.matpr.2020.03.609. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320323907> (visited on 11/01/2022).

[11] Compact Weather Sensors - WS501-UMB Smart Weather Sensor. URL: <https://www.lufft.com/products/compact-weather-sensors-293/ws501-umb-smart-weather-sensor-1839/> (visited on 11/01/2022).

[12] Conectar Arduino a Internet con módulo Ethernet ENC28J60. Luis Llamas. URL: <https://www.luisllamas.es/arduino-ethernet-enc28j60/> (visited on 11/01/2022).

[13] Amr S. Abdelfattah, Tamer Abdelkader, and El-Sayed M. El-Horbaty. "RAMWS: Reliable Approach Using Middleware and WebSockets in Mobile Cloud Computing". In: Ain Shams Engineering Journal 11.4 (Dec. 1, 2020), pp. 1083–1092. ISSN: 2090-4479. DOI: 10.1016/j.asej.2020.04.002. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447920300861> (visited on 11/01/2022).

[14] Jihong Zhang and Xiaoquan Chen. "Research and Design of Embedded Wireless Meal Ordering System Based on SQLite". In: Physics Procedia. International Conference on Solid State Devices and Materials Science, April 1-2, 2012, Macao 25 (Jan. 1, 2012), pp. 583–587. ISSN: 1875-3892. DOI: 10.1016/j.phpro.2012.03.129. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389212005457> (visited on 11/01/2022).

[15] Rositsa Maksimova and Krassimir Kolev. "Information Graphers - COVID-19 MoniToR". In: 2020 International Conference Automatics and Informatics (ICAI). 2020 International Conference Automatics and Informatics (ICAI). Oct. 2020, pp. 1–4. DOI: 10.1109/ICAI50593.2020.9311326.