

COMPONENTE PARA DISPONIBILIDAD REMOTA DE DATOS BASADO EN MICROCONTROLADOR ESP32 E INTERFAZ INALÁMBRICA Y PROTOCOLO HTTP

David Alejandro Chentes Ramos¹, Thaily Blanco Baro², Fidel Ernesto Hernández Montero³

^{1,2}Universidad de Pinar del Río, calle Martí 270, Pinar del Río, Cuba.

³Universidad Tecnológica de la Habana, calle 114 entre Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.

³e-mail: fernandez@tele.cujae.edu.cu

RESUMEN

En este trabajo se desarrolló y validó un componente de disponibilidad remota de datos como parte de un sistema fijo de monitoreo y diagnóstico industrial. Este sistema está diseñado para implementarse en la industria nacional y apoyar estrategias de mantenimiento predictivo. La solución se basa en una plataforma que utiliza el microcontrolador ESP32 para la captura, almacenamiento y transmisión de datos vía Wifi a un servidor. En dicho servidor, se ejecuta el software escrito en Python para la gestión de la información y cuentas de usuarios, así como un servidor web para dar accesibilidad al software a través de internet, y un servidor DNS para enmascarar el IP y entregarle un nombre de dominio. El sistema desarrollado se sometió a pruebas exhaustivas, que incluyeron la verificación de la gestión remota de datos sensados, la administración de cuentas de usuario y la adaptación a diferentes tipos de pantallas. Las pruebas confirmaron que el sistema cumple con los requisitos de funcionalidad, accesibilidad y adaptabilidad. Los resultados obtenidos validan la efectividad del sistema para su uso en aplicaciones industriales, demostrando su capacidad para manejar datos de manera remota y asegurar su correcto almacenamiento y visualización.

PALABRAS CLAVES: Disponibilidad remota de datos, Monitoreo y diagnóstico industrial, ESP32, red de sensores.

COMPONENT FOR REMOTE DATA AVAILABILITY BASED ON THE ESP32 MICROCONTROLLER, A WIRELESS INTERFACE AND THE HTTP PROTOCOL

ABSTRACT

In this work, a remote data availability component was developed and validated as part of a fixed system for industrial monitoring and diagnostics. This system is designed to be implemented in the national industry and support predictive maintenance strategies. The solution is based on a platform that utilizes the ESP32 microcontroller for data capture, storage, and transmission via Wi-Fi to a server. On this server, software written in Python manages information and user accounts, while a web server provides internet access to the software, and a DNS server masks the IP address and assigns a domain name. The developed system underwent extensive testing, including verification of remote management of sensed data, user account administration, and adaptation to different screen types. The tests confirmed that the system meets the requirements for functionality, accessibility, and adaptability. The results validate the effectiveness of the system for industrial applications, demonstrating its capability to handle data remotely and ensure proper storage and visualization.

INDEX TERMS: Remote data availability, Industrial monitoring and diagnostics, ESP32, Sensor network.

1. INTRODUCCIÓN

La sociedad contemporánea en general, la disponibilidad de imprescindibles servicios (como: los relacionados con la salud, la educación, las telecomunicaciones, etc.) y producciones de bienes de consumo, se encuentran íntimamente vinculadas con la disponibilidad energética. La cual por el agudo impacto del cambio climático y el cercano agotamiento de los combustibles fósiles, requiere un uso más eficiente [1].

El monitoreo de la condición en máquinas de producción es una tarea de suma importancia en los programas de mantenimiento modernos para asegurar la máxima productividad [2]. El accionar y la logística, para minimizar los

costos asociados a una máquina productiva detenida, requieren de sistemas informáticos que respondan adecuadamente a los cambios en la condición del activo. En muchos casos, lecturas de nivel y tendencias son consideradas suficientes para que la maquinaria trabaje en zonas seguras y se pueda evitar la rotura intempestiva de alguno de sus componentes. En este contexto, representa importancia trascendental el aseguramiento de elevados niveles de confiabilidad de la tecnología industrial instalada, ya no solo para el uso más eficiente de los portadores energéticos, sino también para el aumento de la productividad y la seguridad operacional, y la reducción del impacto ambiental. La estrategia más sintonizada con esta cuestión lo constituye el mantenimiento basado en la condición, para lo cual se requiere monitorear regularmente la condición de los sistemas [3] para tomar decisiones en función de la desviación de su funcionamiento en relación con su comportamiento esperado; es una estrategia de mantenimiento predictivo.

Existen diferentes opciones de sistemas de monitoreo por condición (CMS) disponibles en el mercado, algunas de las cuales pueden ser sistemas integrados a la maquinaria a monitorear o sistemas independientes vendidos por otras compañías [4]. Los enfoques más generalizados de CMS del tipo online se pueden encontrar siguiendo dos formas:

- Sistema de monitoreo continuo (fijo).
- Sistema de monitoreo no continuo (portable).

De las cuales los equipos fijos, como su nombre lo indica, se refieren sistemas de monitoreo y diagnóstico dedicados a la tarea a tiempo completo, caracterizados por utilizar un gran número de sensores (que pueden ser de diversos tipos) para monitorear maquinarias críticas que requieren una vigilancia constante de su condición [5]. Por su importancia esta investigación se centrará en este tipo de sistema.

En general, los sistemas CMS fijos son fabricados por países tecnológicamente desarrollados y se venden a precios relativamente elevados [6], al punto de que la generalización de su empleo a lo largo de nuestro país se hace muy limitada. Por otra parte, comprar a un fabricante específico significa depender por entero de este: los servicios de postventa, la continuidad o actualización de las líneas de equipos adquiridas, etc., llevan consigo obligatoriamente el intercambio con los especialistas foráneos y el encarecimiento de los servicios que correspondan. Existen ejemplos de empresas cubanas, como centrales termoeléctricas, EMCE, centrales azucareros, entre otros, que han aplicado de manera limitada tecnología foránea moderna de monitoreo y diagnóstico, adquirida a precios apreciablemente elevados [7], que no se encuentra adaptada a las características propias del contexto industrial nacional. Por otro lado, también existen muchas empresas, por ejemplo, del MINAL, del SIME, del MINEM, que no están utilizando la tecnología más actualizada. A este contexto se suma el hecho de que los fabricantes de los sistemas que se encuentran en uso en el país, por ejemplo, PRUFTECHNIK y SCHENK, o han sido asimilados por firmas estadounidenses, o han decidido romper lazos con nuestro país. Por tanto, se puede decir categóricamente que los sistemas introducidos han perdido sus contactos con sus proveedores [8], sin poder acceder a los necesarios servicios de postventa, mantenimientos, entre otros.

Esta situación ha llevado a que exista una indisponibilidad general de sistemas de monitoreo y diagnóstico industrial en nuestro país para la implementación de mantenimiento basado en la condición, convirtiéndose en el problema que motiva la presente investigación. Para resolverlo se ha decidido desarrollar, de manera endógena, en el marco de un proyecto asociado a un Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, una propuesta de sistema fijo de monitoreo y diagnóstico industrial, lo cual involucraría el desarrollo de una serie de componentes y la actividad de un equipo multidisciplinario. En particular, el trabajo que se presenta se dirige a diseñar y validar el componente de disponibilidad remota de datos en el marco de dicho proyecto.

2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL COMPONENTE DE DISPONIBILIDAD REMOTA DE DATOS

El diseño del componente se ha concebido teniendo en cuenta los siguientes requerimientos primordiales:

1. Transmisión de datos vía inalámbrica, hacia un equipo remoto.
2. Interfaz intuitiva, visual, en computadora o teléfono móvil.
3. Ciberseguridad.

A continuación, se presentará la arquitectura en bloques del hardware propuesto y se proporcionan especificaciones detalladas sobre el firmware desarrollado para la plataforma ESP32.

ARQUITECTURA DEL SISTEMA

La propuesta del componente de disponibilidad remota de datos se basa en operar varios módulos a modo de rack, a cada uno de los cuales se le conectará un único sensor (acelerómetro piezoeléctrico de un eje) mediante un cable. Luego, cada módulo transmitiría los datos hacia un servidor vía WiFi, el cual los haría disponible a cualquier computadora o móvil a través de un servicio Web.

El componente incluye tres bloques principales, como se puede ver en la Fig. 1. A la izquierda se pueden apreciar los módulos de adquisición de datos, en el centro la computadora que actuará como servidor y a la derecha, los dispositivos con acceso remoto al software vía internet. Los módulos de adquisición de datos representan los dispositivos encargados de capturar los datos provenientes del sensor para su almacenamiento. En la computadora se implementarán tanto el software web, como los programas encargados de brindar acceso remoto a la información que proviene de los módulos para la adquisición. Un tercer bloque representa los dispositivos con acceso remoto al software web mediante el navegador Web.

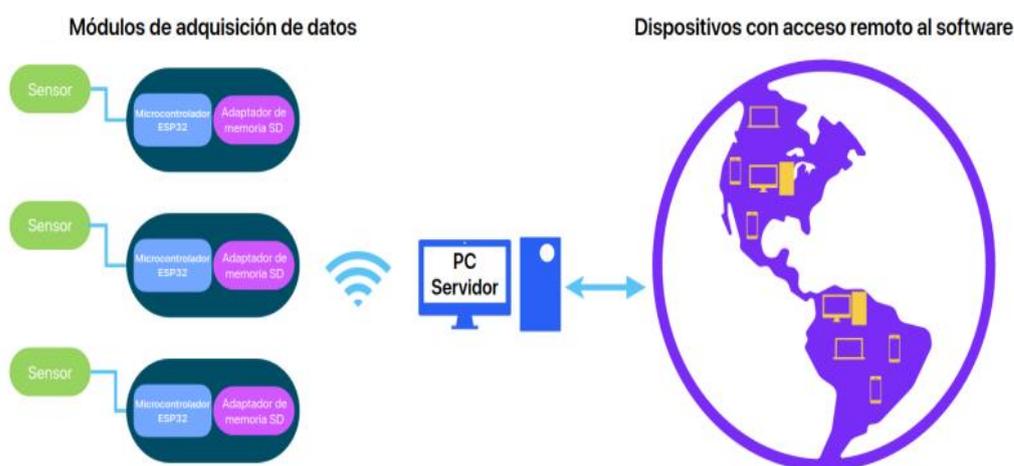


Figura 1. Diagrama del sistema propuesto.

INTERFAZ DE MICROCONTROLADOR PARA LA DISPONIBILIDAD REMOTA DE DATOS DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS

El módulo de adquisición se ha constituido de forma tal que esté encargado de obtener los datos (muestras de un sensor) y almacenarlos en una memoria SD. Como parte del componente de disponibilidad remota de datos, la información almacenada en la memoria SD se enviaría a una computadora servidor cuando sea requerido. Se ha propuesto que el corazón de la interfaz del módulo de adquisición que permitiría su conexión con la red de datos será un microcontrolador ESP32. Se eligió trabajar con un microcontrolador ESP32 por ser un microcontrolador de alto rendimiento, con capacidad para manejar múltiples tareas simultáneamente, presenta conectividad inalámbrica integrada (Wi-Fi y Bluetooth) y elevada capacidad de procesamiento [9].

El módulo de adquisición tiene tres tareas fundamentales: adquirir los datos del sensor, almacenarlo en la memoria SD y transmitir los datos al servidor. El diagrama de flujo del funcionamiento del sistema se muestra en la Fig. 2. El *firmware* se divide en dos flujos de trabajo de manera simultánea e independientes el uno del otro. El primero es encargado de recolectar los datos del sensor y almacenarlos en la memoria SD, mientras que el segundo se encarga de transmitir los datos vía WiFi mediante el protocolo HTTP a la computadora que funciona como servidor. El proceso de ejecución parte por asignar las variables utilizadas globalmente en el sistema siguiendo con la inicialización, tanto del módulo para la lectura de la memoria SD, como del adaptador WiFi (ver recuadro superior de la Fig. 2). Posteriormente el sistema ejecuta dos funciones diferentes: el muestreo y almacenamiento de la información recopilada a través del sensor, y la trasmisión y recepción de datos vía WiFi mediante el protocolo HTTP.

La secuencia encargada del muestreo y almacenamiento de la información es la representada en la rama izquierda de la Fig. 2. Parte por la lectura del contenido del fichero de configuración, llamado "data_config.txt", el cual contiene los valores que se asignarán a las variables utilizadas en el firmware para captura de datos. Dicho fichero es introducido en la memoria SD manualmente solo una vez en el momento de ensamblado del dispositivo; seguido de eso, su contenido, actualización y modificación es manejado por el propio ESP32. Una vez que se ha tomado la cantidad de muestras definidas en el fichero de configuración, se realiza una consulta HTTP al servidor para obtener la fecha y hora en formato JSON (JavaScript Object Notation). La consulta consiste en un formato de texto ligero para el intercambio de datos fácil de leer y escribir, además de interpretar y generar para las máquinas. Con estos datos y los resultados del muestreo se procede a guardar los datos del sensor en un fichero de texto (.txt). Este fichero se nombra utilizando el formato "fecha_hora_cantidad-de-muestras_intervalode-muestreo". Para finalizar el ciclo, se espera el tiempo especificado en la variable "intervalo de muestreo" antes de reiniciar el proceso. Este reinicio implica una nueva lectura del contenido del fichero de configuración, para obtener los valores de las variables y ejecutar una nueva lectura.

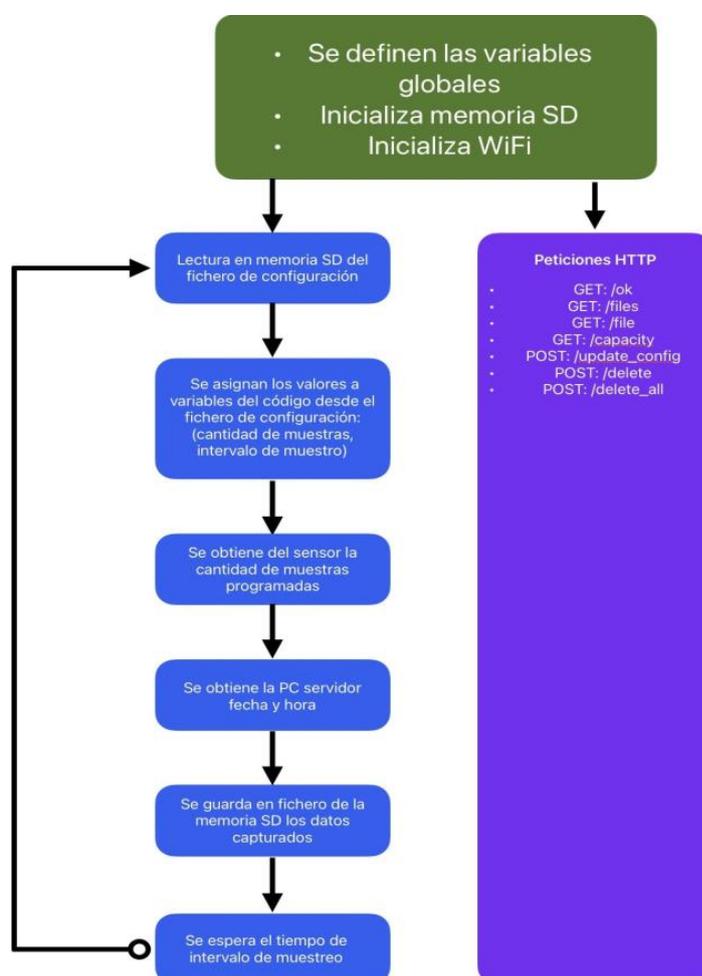


Figura 2. Diagrama de flujo de funcionamiento del *firmware*.

La secuencia encargada de la transmisión y recepción de datos vía WiFi (ver Fig. 2) tiene como objetivo la comunicación con el servidor mediante peticiones HTTP en formato JSON, bien sea para enviarle información, como para recibirla. A continuación, se muestra cada una de estas peticiones y su funcionamiento:

- Peticiones para el envío de datos al servidor:
 - o GET a (nombre_DNS_del_dispositivo/ok): Su objetivo es devolver un código de estado 200 para indicar al servidor que está activo a la espera de otras peticiones HTTP.

- o GET a (nombre_DNS_del_dispositivo/files): El objetivo de esta petición es devolver una lista con los nombres de los ficheros almacenados en la memoria SD.
- o GET a (nombre_DNS_del_dispositivo/file?file="nombre del fichero"): Su objetivo es devolver la información almacenada dentro de un fichero en específico. Esta petición requiere que se le añada como parámetro el nombre del fichero del cual se desea conocer su contenido para ser visualizado.
- o GET a (nombre_DNS_del_dispositivo/capacity): tiene como objetivo devolver tanto la capacidad total de la memoria SD, como su espacio en uso y su espacio libre.
- Peticiones para recepción y manejo de datos:
 - o POST a (nombre_DNS_del_dispositivo/update_config?samples="cantidad de muestras"&interval="intervalo de muestreo"): esta petición tiene como objetivo la modificación del fichero de configuración mediante los parámetros samples e Interval. Se encargará de la recepción de los valores para la cantidad de muestras que debe tomar el dispositivo en cada muestreo y del intervalo de tiempo que debe esperar antes de realizar el siguiente muestreo.
 - o POST a (nombre_DNS_del_dispositivo/delete?delete="nombre del fichero"): la petición tiene como objetivo eliminar de la memoria SD el fichero que lleve por nombre lo que reciba por el parámetro delete.
 - o POST a (nombre_DNS_del_dispositivo/delete_all): al realizar esta petición se eliminarán todos los ficheros de datos almacenados en la memoria SD.

Cabe resaltar que estas peticiones tienen procesos independientes unas de otras, lo que hace que se puedan ejecutar en cualquier orden y momento.

COMPUTADORA EN FUNCIÓN DE SERVIDOR

En el caso del segundo bloque del sistema presentado en la Fig. 1, el cual se orienta a la gestión y manejo de datos provenientes del primer bloque a través de un software que se implementará en la computadora servidor, este estará compuesto por cuatro componentes principales:

1. Software para manejo de datos provenientes de los módulos para la adquisición: Este componente será responsable de recibir, procesar y analizar los datos provenientes de los diferentes módulos de adquisición. Su función esencial será asegurar la integridad y la calidad de los datos, así como facilitar su posterior utilización en otros procesos. El software fue desarrollado en Python versión 3.10, el cual cuenta con una gran cantidad de herramientas y librerías que la hacen ideal para el desarrollo de software [10]. El *Framework* de Python elegido fue Django [11], mientras que el software desarrollado contó con dos sesiones principales, las cuales asumen funciones específicas e interfaces diferentes para poder llevar al usuario cliente un desarrollo atractivo:
 - a) Panel de administración: en este panel se crearán los nuevos usuarios, grupos de usuarios; se podrán agregar nuevos módulos de adquisición, o incluso leer el historial de operaciones. A este panel solo tienen acceso los usuarios con permiso especiales. Además, cuenta con una serie de funciones adicionales como historiales cronológicos y configuraciones adicionales.
 - b) Panel de operaciones: en este se notificará la salida de servicio de alguno de los dispositivos registrados en el software, además de poder acceder a su información o configurar los parámetros de captura de los dispositivos.
2. Base de datos para el almacenamiento de cuentas de usuarios: La base de datos diseñada para este propósito garantizará la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información relacionada con los usuarios autorizados a acceder al sistema. Se trabajó con una base de datos MySQL, pues es un sistema de gestión de bases de datos relacional de código abierto muy popular, que destaca por su rendimiento, confiabilidad y facilidad de uso, además de ser ampliamente utilizado en aplicaciones web y empresariales [12].
3. Servidor WEB: Esencial para proporcionar acceso a contenido web a través de Internet, procesando solicitudes de clientes y sirviendo aplicaciones o páginas web de manera eficiente y segura mediante un navegador web. El servidor web elegido fue Apache HTTP Server, conocido por su fiabilidad y versatilidad como un servidor web de código abierto y multiplataforma [13].
4. Servidor DNS para dar acceso desde navegadores al software: Este componente permitirá que los usuarios accedan al software a través de navegadores web de forma segura y eficiente. El servidor DNS traducirá los nombres de dominio en direcciones IP, facilitando así la conexión de los usuarios al servidor donde reside la aplicación. Se escogió el servidor DNSMASQ pues destaca por su simplicidad, eficiencia y versatilidad, siendo ideal para redes domésticas y pequeñas empresas. Además, al integrarse con servidores web como

Apache, mejora la eficiencia de las resoluciones DNS necesarias para servir páginas web mediante la rápida resolución de nombres de dominio locales [14].

3. VALIDACIÓN DEL COMPONENTE DE DISPONIBILIDAD REMOTA DE DATOS

MÓDULO DE ADQUISICIÓN DE DATOS CONSTRUIDO PARA LA VALIDACIÓN

Como se comentó en la Sección 2, el módulo de adquisición se encarga de extraer los datos de un sensor y hacer disponibles los mismos cuando sea requerido; se debe recordar que estos son almacenados en una memoria SD. En el marco del proyecto al cual tributa esta investigación, el sensor propuesto a utilizar es el acelerómetro piezoeléctrico modelo 786B-10. Sin embargo, al momento del desarrollo de este trabajo investigativo no se contaba con el mismo, así que, en aras de poder proceder con la validación del componente de disponibilidad remota de datos, se decidió trabajar con otro tipo de sensor mientras se mantenía el resto del sistema en correspondencia con el objetivo propuesto. En tal sentido, se decidió trabajar con el sensor ultrasónico HC-SR04.35, el cual es un sensor de distancia de bajo costo que utiliza ultrasonido para determinar la distancia de un objeto en un rango de 0.02 m a 4.50 m [15].

El sensor HC-SR04 posee dos transductores: un emisor y un receptor, además de la electrónica necesaria para su operación. Trabaja controlando dos pines: uno para indicarle al transmisor ultrasónico que transmita y otro que se activará cuando se reciba lo transmitido. Esos pines se conectan a un microcontrolador, el cual determinará la distancia en función del tiempo transcurrido entre la orden de transmisión y la recepción del frente de onda.

De esta forma, el módulo de adquisición de datos a construir estaría compuesto por el sensor ultrasónico, el microcontrolador ESP32 y la memoria SD, cuya conexión se muestra en la Fig. 3. El adaptador de memoria SD fue conectado al ESP32 utilizando el protocolo SPI (Serial Peripheral Interface) [16]. Este protocolo es ampliamente utilizado para la comunicación con dispositivos de almacenamiento debido a su alta velocidad y simplicidad en la configuración. El sensor ultrasónico fue conectado al microcontrolador ESP32 a través de los siguientes pines:

- Trig (Trigger): Conectado al pin GPIO D2 del ESP32. Este pin se utiliza para enviar un pulso de activación al sensor, iniciando la emisión de una señal ultrasónica.
- Echo: Conectado al pin GPIO D4 del ESP32. Este pin recibe la señal reflejada por el objeto y la duración del pulso medido indica la distancia entre el sensor y el objeto.

El kit del microcontrolador ESP32 cuenta con la antena para la comunicación vía WiFi [17].

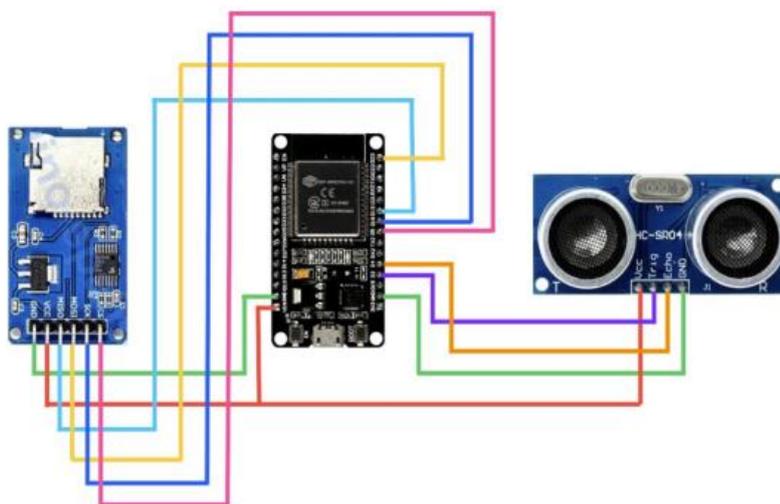


Figura 3. Conexiones del módulo de adquisición.

El módulo de adquisición de datos construido se puede observar en la Fig. 4. Claramente se aprecian el ESP32, el sensor ultrasónico y la memoria SD para el almacenamiento. Este módulo, como parte de un sistema de monitoreo y

diagnóstico industrial, estaría acoplado a un rack, conectado a la línea de AC, al cual se podrían acoplar tantos módulos de este tipo, como sensores que se requieran utilizar.



Figura 4. Módulo de adquisición de datos construido.

PRUEBAS DE VALIDACIÓN A REALIZAR

Para evaluar la capacidad del sistema de recibir y mostrar correctamente la información capturada por el módulo de adquisición de datos, garantizando así la precisión y confiabilidad del sistema en su conjunto, se propuso la realización de las siguientes pruebas:

- **Monitoreo de Módulo de Adquisición de Datos:** Esta prueba se realizó para verificar el funcionamiento general del sistema, en particular lo relativo a la disponibilidad remota de los datos sensados. La verificación, consistió en dos acciones: la primera, orientada a comprobar que la gestión de los módulos de adquisición de datos que estuvieran conectados se realiza de manera efectiva; y la segunda, dirigida a chequear que se logra obtener los datos sensados, de manera correcta, en un dispositivo de cómputo remoto. En el caso de la primera acción, se configura el sistema como si fuera a manejar tres módulos de adquisición de datos, cuando en realidad solo existe físicamente uno. Para la segunda acción, después de haberse ejecutado remotamente varias mediciones del sensor utilizado, se estaría verificando de manera remota también la información disponible.
- **Gestión de Cuentas de Usuario:** Esta prueba se desarrolló con el propósito de evaluar la funcionalidad del software escrito en Python con respecto a la gestión de las cuentas de usuarios. La prueba consistió en la realización de diferentes acciones relacionadas con la administración de las cuentas de usuario: añadir cuentas, mostrar cuentas y comprobar la seguridad del proceso (se trata de acceder a procesos en el entorno de un usuario que no tiene los privilegios para ello).
- **Adaptación a diferentes tipos de pantalla:** Esta prueba se realizó con el objetivo de verificar si la aplicación web desarrollada se adapta correctamente a todo tipo de pantallas, incluyendo las de dispositivos móviles; de este modo se verifica si el diseño y la funcionalidad del mismo se mantienen efectivos y accesibles en pantallas de diferentes tamaños y resoluciones.

4. RESULTADOS

En primer lugar, se realizó la prueba de Monitoreo de Módulos de Adquisición de Datos, en particular la acción correspondiente a comprobar la gestión de los módulos de adquisición de datos que estuvieran conectados. Como se comentó, se parte de haber configurado el sistema como que manejaría tres módulos de adquisición de datos, cuando en realidad solo existe físicamente uno. Desde un navegador web, en computadora remota, estando habilitada la entrada al sistema, se solicitó visualizar los módulos realmente conectados al sistema. En la Fig. 5 se puede observar el resultado. En ella aparecen los módulos detectados por el sistema como “Dispositivos en funcionamiento”, en este caso, uno solo, mientras que los no detectados aparecen como “Dispositivos fuera de servicio”, en este caso, dos

módulos. En la ventana que se genera aparece información adicional sobre los módulos, los cuales previamente deben ser insertados en el sistema como parte de su configuración.

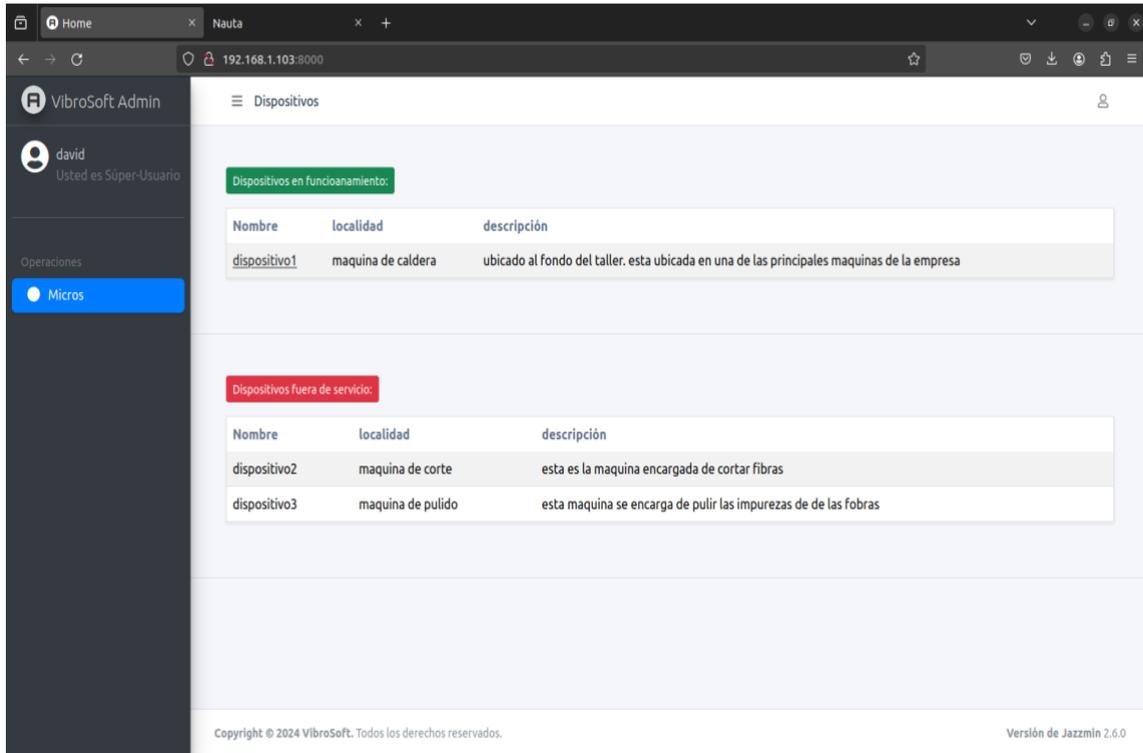


Figura 5. Panel de Monitoreo de Dispositivos de Adquisición.

Un ejemplo de la información almacenada, como resultado de la obtención de los datos sensados de manera efectiva en un dispositivo remoto, puede apreciarse en la Fig. 6. En esta figura se aprecian los ficheros de los datos del sensor guardados en la memoria SD, donde el nombre de los mismos deja explícito que se tomaron X muestras, en una fecha y hora determinada. En esta figura se aprecia que la ventana brinda información sobre el almacenamiento total, el espacio libre y el espacio en uso de la memoria SD del módulo; además de botones que permiten eliminar, configurar un módulo y descargar todos los ficheros. La información se almacena en ficheros de texto. De esta manera se demuestra que los módulos de adquisición de datos pueden ser gestionables de manera remota.

La segunda prueba realizada tuvo que ver con la gestión de cuentas de usuario. En la Fig.8 se muestra el formulario de registro que permite la creación de cuentas de usuario. En la Fig. 9 se puede observar cómo aparecen relacionadas las cuentas de usuario creadas, con la información asociada. Para poder acceder al sistema, previamente se debe contar con una cuenta de usuario, y a partir de los permisos que se hayan otorgado, se tendrá acceso a determinadas funcionalidades del sistema.

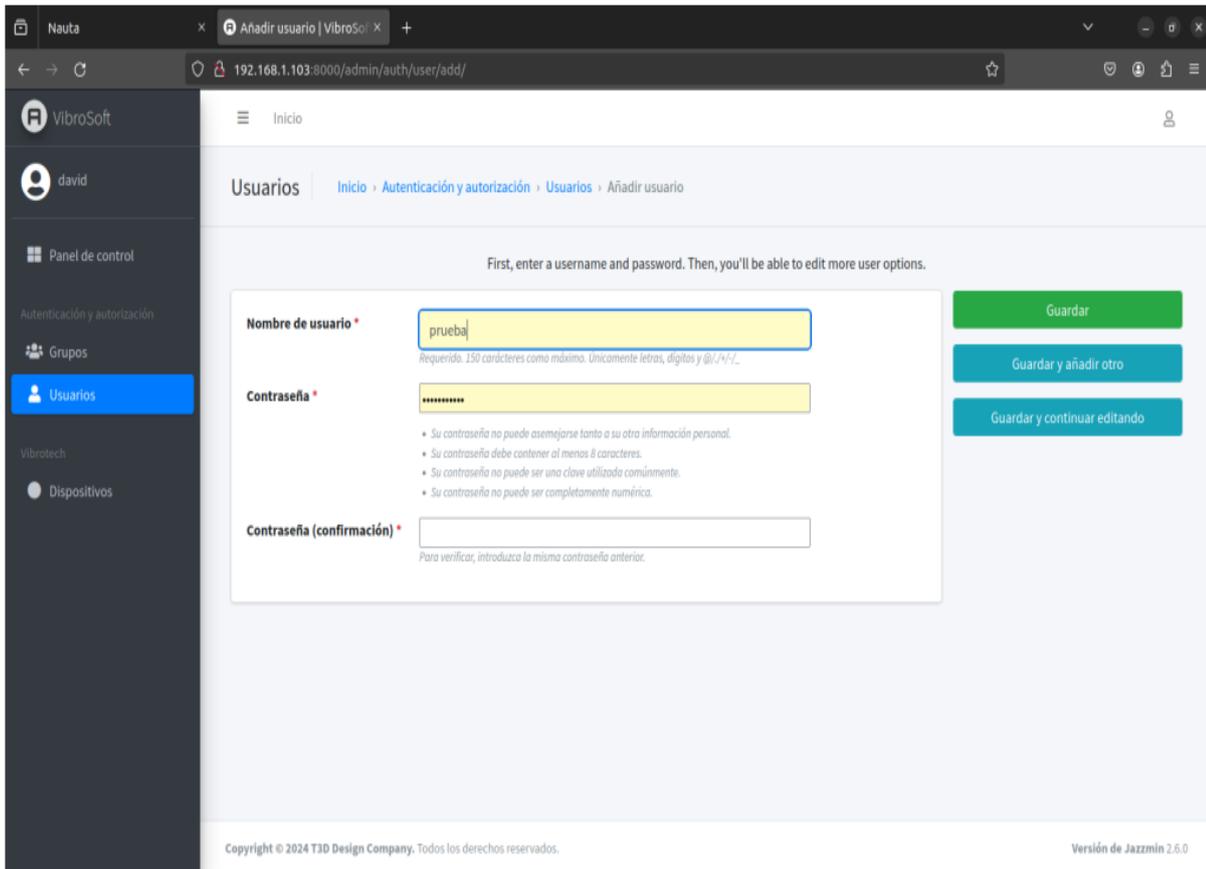


Figura 8. Formulario de creación de cuentas.

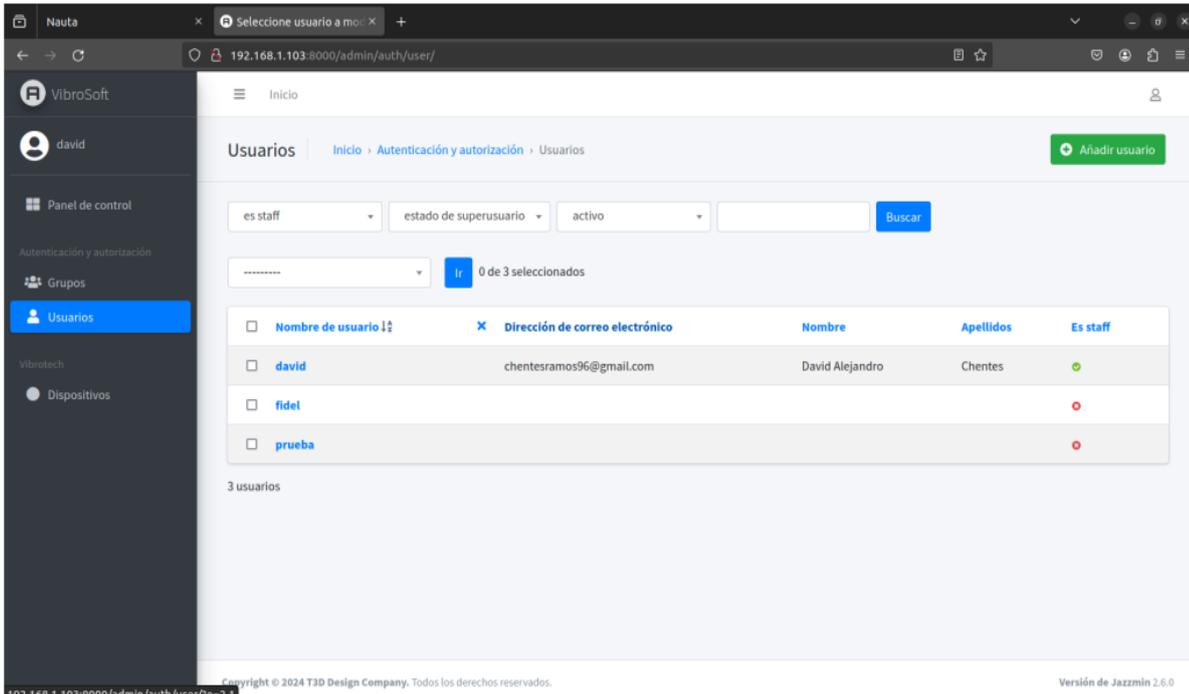


Figura 9. Registro de cuentas creadas.

La tercera prueba se orientó a la comprobación de que la información contenida en la ventana de interfaz con el usuario se mantiene adecuadamente disponible de manera visual, independientemente del tamaño de la pantalla de visualización, o de la ventana de interfaz de usuario, como tal. Esto queda verificado en la Fig. 10, donde se muestra, en un tamaño de ventana diferente, desde un dispositivo móvil, la misma información que se muestra en la Fig. 5.



Figura 10. Panel de Monitoreo de Dispositivos de Adquisición visualizado desde un dispositivo móvil.

5. CONCLUSIONES

A través del trabajo realizado se logró obtener el componente de disponibilidad remota de datos para una propuesta de sistema fijo de monitoreo y diagnóstico industrial a desarrollar en el país, que permita ponerlo a disposición de la industria nacional en general para la implementación de estrategias predictivas de mantenimiento. Este resultado se logró a partir de la implementación de una plataforma basada en el microcontrolador ESP32 y un servicio de conexión y flujo de datos remoto a través del protocolo HTTP. El trabajo fue validado a través de pruebas que permitieron verificar el cumplimiento de requisitos de funcionalidad, accesibilidad y adaptabilidad.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por OGFPI, proyecto con referencia PN211LH005-037.

REFERENCIAS

- [1] A. Bárcena, S. Joseluis, W. Peres, J. E. Alatorre, «La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe. ¿Seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?», Libros de la CEPAL, N° 160, Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020.
- [2] A. D. Hope, R. B. Randall, «Condition Monitoring of Machinery in NonStationary Operations», 2nd ed., Springer, 2017.
- [3] F. E. Hernández, C. Anías, M. L. Barrios, «El camino hacia la implementación del mantenimiento predictivo 4.0 en Cuba». Ingeniería Industrial, vol. 44, n. 3, pp. 17-28, 2023.
- [4] F. E. Hernández, M. L. Ruiz, J. R. Rodríguez, M. E. Iglesias, J. Pino, V. Atxa, E. Palomino, J. C. Gómez, Y. Prieto, A. Rodríguez, J. Hernández, M. Hernández, I. Domínguez, «Contribución al desarrollo nacional de tecnología de monitoreo y diagnóstico industrial». Anales de la Academia de Ciencias de Cuba, vol. 13, n. 2, 2023.
- [5] R. Klein, Condition Monitoring of Large Machinery in Non-Stationary Operations, 1st ed., Springer, 2015.
- [6] B. Carter, Data Acquisition Systems: From Fundamentals to Applied Design, 1st ed., Oxford, UK: Wiley, 2016.
- [7] M. J. Rebecchi; G. Leshem; E. G. Lecha, "Data Acquisition and Signal Conditioning," Journal of Industrial Electronics, vol. 12, no. 3, pp. 45-58, Mar. 2020.
- [8] J. G. Proakis; D. G. Manolakis, Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications, 4th ed., Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2007.
- [9] Espressif Systems, ESP32 Series Datasheet, Version 3.9, 2021. [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf
- [10] M. Lutz, Learning Python, 6th ed., O'Reilly Media, 2022.
- [11] J. D. Gosselin, Django for Professionals: Production-Ready Code for Your Django Apps, 1st ed., Self-published, 2020.
- [12] M. K. Gardner, MySQL Essentials, 1st ed., Packt Publishing, 2019.
- [13] M. T. Owens, Apache: The Definitive Guide, 4th ed., O'Reilly Media, 2021.
- [14] J. Hall, DNSMASQ: A Guide for Administrators, 1st ed., Self-published, 2020.
- [15] S. Kumar; P. Kumar, Implementation of ultrasonic sensor HC-SR04 for object detection and distance measurement using microcontroller, 1st ed., International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering, 2022.
- [16] A. C. Reis; L. G. de Oliveira; R. S. Sampaio, Efficient SPI communication for SD card data logging with ESP32, 1st ed., Proceedings of the International Conference on Embedded Systems and Applications, 2022.
- [17] M. H. Mahmud; A. S. Ahmed, Performance analysis of the ESP32 microcontroller for IoT applications, 1st ed., IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2022.

SOBRE LOS AUTORES

David Alejandro Chentes Ramos Estudiante en Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica e Investigador. Universidad de Pinar del Río, MES. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4962-741X>

Thaily Blanco Baro Estudiante en Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica e Investigador. Universidad de Pinar del Río, MES. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6308-2340>

Fidel Ernesto Hernández Montero Ingeniero en Telecomunicaciones y Electrónica. Categoría ocupacional Profesor Titular Universitario. Categoría Científica Dr. C. Investigador, Grupo de Aplicaciones de Procesamiento de Señales. Centro de trabajo Cujae, MES. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5003-2807>

CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses de los autores, ni de las instituciones en relación al contenido del artículo aquí reflejado.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- **Autor 1:** Diseño y desarrollo del componente.
- **Autor 2:** Programación. Revisión crítica de cada una de las versiones del artículo y aprobación de la versión final a publicar
- **Autor 3:** Conceptualización y contribución a la idea del artículo. Preparación, creación y desarrollo del artículo. Contribución a la idea y organización del artículo.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

