

# Sistema de medición de presión de flujo pulsante con adquisición remota vía WiFi

Pulsating flow pressure measurement system with remote acquisition via WiFi

Matias Herrera\*<sup>1</sup>, Gerardo Imbrioscia†\*<sup>2</sup>, Agustín Lacomí†<sup>3</sup> and Pablo Caron\*<sup>1</sup>

\*Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Haedo, Grupo de Mecánica de Fluidos (GMF)  
 París 532, B1706EAH Haedo, Buenos Aires, Argentina

<sup>1</sup>gmf-layf@frh.utn.edu.ar

†Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF),  
 División de Investigación y Desarrollo en Energías Renovables (DIDER)  
 Juan Bautista de la Salle 4397, B1603 Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina

Recibido: 30/09/24; Aceptado: 02/12/24

**Resumen**—Las bombas peristálticas son dispositivos que entregan caudal a través de la acción de rodillos que comprimen una tubería flexible interna, resultando un flujo pulsatorio a la salida. Para poder medir el caudal entregado por dicha bomba se utilizó un sistema de medición de tipo placa orificio, el cual relaciona la caída de presión medida antes y después de la placa con la cantidad de fluido. A fin de lograr una calibración del dispositivo, es necesario poder conocer la respuesta dinámica de los transductores de presión, por lo que se diseñó y construyó un sistema de medición y registro de valores de presión, el cual además puede controlar la velocidad de giro de la bomba. Este sistema tiene incorporado diferentes ensayos preseleccionados que el usuario puede seleccionar y ejecutarse de forma autónoma. Los valores registrados son enviados mediante un protocolo WiFi al módulo de almacenamiento de datos, lo cual le da versatilidad de manejo al equipo.

**Palabras clave:** Bomba peristáltica, transductor de presión, Arduino, VRFB, WiFi.

**Abstract**— Peristaltic pumps are devices that deliver flow through the action of rollers compressing an internal flexible tube, resulting in a pulsating flow at the outlet. To measure the flow delivered by such a pump, an orifice plate measurement system was used, which correlates the pressure drop measured before and after the plate with the amount of fluid. To achieve device calibration, it is necessary to understand the dynamic response of the pressure transducers. Therefore, a pressure measurement and recording system was designed and built, which can also control the pump's rotation speed. This system includes different preset tests that the user can select and execute autonomously. The recorded values are transmitted via a WiFi protocol to the data storage module, providing the equipment with operational versatility

**Keywords:** Peristaltic Pump, pressure transducer, Arduino, VRFB, WiFi

## I. INTRODUCCIÓN

Las bombas peristálticas son comúnmente utilizadas para proveer de electrolitos en sistemas de baterías de flujo de Vanadio (VRFB). Esta decisión se debe a múltiples factores como pueden ser la precisión, la resistencia ante líquidos corrosivos y bajo mantenimiento. Dentro de las contras se encuentra la necesidad de la calibración regular de todo el sistema y una entrega del flujo de forma pulsante [1].

Dado el desgaste natural de sus componentes, este tipo

de bombas deben ser sometidas a calibraciones de forma regular. Dicho proceso, en condiciones de laboratorio, suele realizarse de forma manual, a través de trasvasado de fluidos en depósitos calibrados y la posterior lectura manual [2]–[4]. Esto conlleva a posibles errores de operador a la hora de la operatoria, además de ser un proceso repetitivo.

Por otro lado, el envío de electrolito a la celda electroquímica de forma pulsante, afecta el desempeño de la misma negativamente [5] debiéndose emplear sistemas de amortiguamiento hidráulico [6], [7]. Estos sistemas deben ser calibrados para que puedan armonizar el tren de pulsos recibidos, el cual varía en frecuencia y amplitud a lo largo de la operatoria de la bomba y a su vez, son dependientes del tipo de pérdida de carga a la cual se conectan.

Para dar una respuesta a esta problemática se desarrolló un dispositivo de placa orificio para verificar el caudal en tiempo real. Este conjunto está compuesto por dos tuberías conectadas a través de una placa con un orificio calibrado. Antes y después de la placa se ubican sensores transductores de presión, los cuales registran la presión estática a través de venas de conexión a la tubería central, como se muestra en la Figura 1.

Para poder llevar un registro de los valores de presiones bajo distintos regímenes de operación, se diseñó y construyó un sistema de control electrónico el cual permite, a través de un menú de subcomandos, operar la bomba peristáltica y registrar las salidas de los sensores de presión.

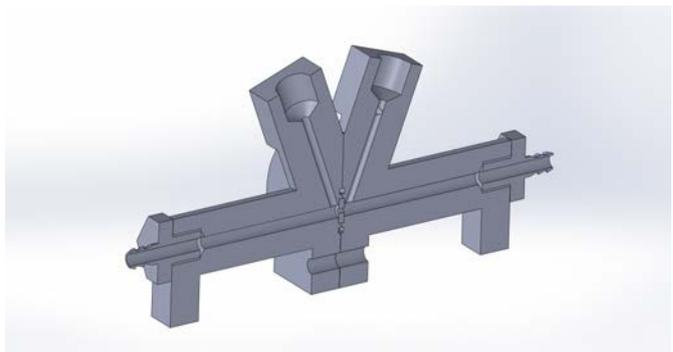


Fig. 1: Dispositivo placa-orificio

## II. DESCRIPCIÓN GENERAL

El objetivo general fue diseñar un dispositivo de control que permita medir las presiones de ambos sensores, las revoluciones de operación de la bomba y la fecha de ensayo, y guardar dicha información. A la vez, el sistema permite cambiar la velocidad de giro sin detener el registro de datos. La interacción con el usuario es lo más sencilla y clara posible, mostrando por pantalla en tiempo real los valores que se están grabando.

En vistas de la gran cantidad y variedad de sistemas de medición que existen en el Grupo de Mecánica de Fluidos (GMF), se decidió optar por realizar un sistema de almacenamiento de datos vía un servidor servidor local. De esta forma, se puede utilizar el dispositivo de medición en cualquier lugar del laboratorio y, al mismo tiempo, realizar el post procesado de la información medida. A fin de asegurar los datos en esta primera implementación, los datos registrados también se almacenan en una tarjeta de memoria tipo micro-SD.

Como módulo central de medición se utilizó un Arduino Mega 2560 [8], dado que cumple con la velocidad de registro de los fenómenos bajo estudio, sumado a la disponibilidad de entradas para sensores. En el caso del servidor, se utilizó un módulo RaspberryPi [9].

Un diagrama general de los componentes se observa en la Figura 2.

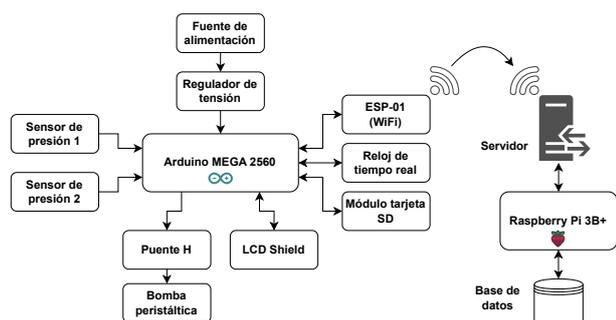


Fig. 2: Descripción general del sistema.

## III. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

### III-A. Bomba peristáltica

Es una bomba eléctrica de desplazamiento hidráulico positivo. La bomba seleccionada es de 12 V DC - 5000 revoluciones por minuto con corriente hasta 80 mA, cuyo esquema se muestra en la Figura 3. Este tipo de bombas son utilizadas como sistemas dosificadores para aplicaciones domésticas, siendo una opción de bajo costo para nuestro sistema.

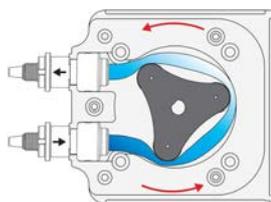


Fig. 3: Esquema de bomba peristáltica [10]

### III-B. Transductores de presión

Se utilizaron transductores de presión resistentes a líquidos. Estos sensores analógicos, toman los datos de presión y entregan una corriente proporcional entre 4-20 mA. Los mismos, de marca genérica, fueron adquiridos a través de la plataforma Ebay, no pudiendo contar una hoja de datos propia que brinde información específica. Es por ello que se realizó una calibración para cada uno, como se detalla en la sección IV-B.

### III-C. Arduino MEGA

El Arduino Mega 2560 es una placa de microcontrolador basada en el AT Mega25601. Es una placa de 8 bits con 54 pines digitales, 16 entradas analógicas y 4 puertos seriales. Su bajo precio y amplio alcance facilita la implementación del mismo en el control de todos los componentes utilizados. Es alimentada por una fuente con una tensión de salida de 19 V y con una entrega de corriente de 2,39 A, seguido de una fuente step-down que utiliza el regulador LM2596 (DC DC) [11]. Posee un preset de alta precisión para regular la tensión de salida. El módulo proporciona una corriente máxima de 3A.

### III-D. Módulo WiFi

Para poder conectar el dispositivo a la red WiFi y enviar los datos al servidor se utilizó el módulo ESP-01, el cual se observa en la Figura 4. El Arduino Mega se comunica con este dispositivo mediante una comunicación serie. Esto permite realizar los envíos del tipo HTTP POST con los datos de las mediciones junto con la fecha y hora, y almacenarlos en la base de datos.

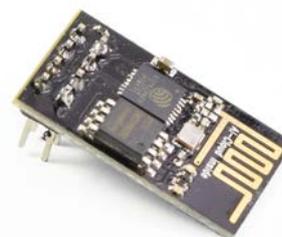


Fig. 4: Módulo para la comunicación WiFi.

### III-E. Interfaz de control – Datalogger

Otra de las opciones para poder guardar la información de cada ensayo es el módulo lector SD [12] y un módulo RTC DS3231 [13]. De esta forma, el sistema tiene la capacidad de almacenar datos de manera local cuando el dispositivo no se encuentre conectado al servidor o la red WiFi esté fuera de alcance.

Para la interfaz con el usuario, se incluyó el módulo LCD Keypad Shield [14]. Este dispositivo posee integrada una pantalla LCD 16x2, un botón de reset y otros 5 pulsadores para diferentes funciones. A través de la botonera el usuario puede editar las condiciones de ensayo, logrando un diseño global más compacto.

### III-F. Raspberry Pi 3B+

Esta placa es una pequeña computadora que combina un procesador de cuatro núcleos, 1 GB de RAM, conectividad Wi-Fi y Bluetooth, así como puertos USB y HDMI, como se ve en la Figura 5. Tiene un tamaño pequeño y bajo consumo energético. Se decidió usar este dispositivo para el servidor debido a su facilidad de uso, conectividad y versatilidad.



Fig. 5: Placa Raspberry utilizada.

### III-G. Servidor

Para la implementación del servidor se utilizó el sistema nativo Raspberry Pi OS, proporcionado por su fabricante. Se montó un servidor utilizando Apache [15], encargado de gestionar las solicitudes HTTP, servir las páginas web y redirigir las solicitudes a la aplicación Node.JS [16]. Node.JS maneja la parte lógica del backend recibiendo las solicitudes de otros dispositivos, procesa los datos y los guarda en la base de datos. La Figura 6 muestra un esquema del funcionamiento. Se utilizó MongoDB [17] como base de datos NoSQL para almacenar datos en formato de documentos. El servidor se desarrolló de manera local, por lo que es fundamental que todos los dispositivos que quieran enviar datos se encuentren conectados en la misma red.

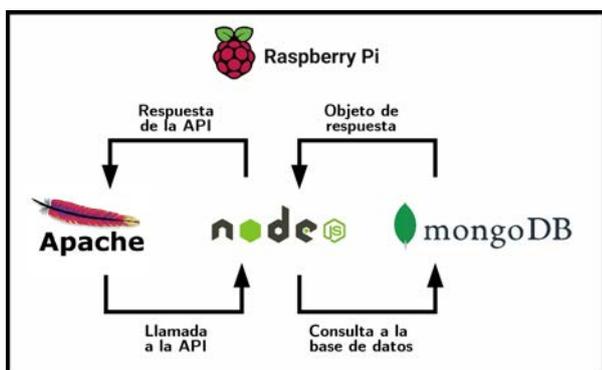


Fig. 6: Diagrama descriptivo del servidor

El procedimiento de conectividad es el siguiente:

- El dispositivo se conecta a la red WiFi donde se encuentra el servidor.
- Realiza un envío tipo HTTP POST al servidor.
- Apache recibe estas solicitudes y las redirige a la app de Node.JS que se ejecuta en un puerto específico.
- Node.JS recibe la solicitud y gestiona las peticiones.

- Node.JS se conecta con la base de datos MongoDB donde puede insertar, actualizar o consultar documentos.
- Luego de interactuar con la base de datos Node.JS envía una respuesta al dispositivo que realizó la solicitud, confirmando la recepción, devolviendo los datos solicitados o indicando que ocurrió un error.

## IV. CALIBRACIÓN DE COMPONENTES

### IV-A. Bomba peristáltica

A fin de que el usuario posea un valor referencial de caudal vía pantalla LCD, se realizó un ensayo de correlación entre revoluciones de la bomba y caudal. Dicho ensayo consistió en medir el tiempo empleado en trasvasar distintos volúmenes de agua a distintas revoluciones, como se muestra en la Tabla I.

Tabla I: Calibración de bomba peristáltica

rpm	tiempo s	volumen mL	caudal mL/s
150	184	150	0.815
170	175	190	1.086
190	142	200	1.408
200	125	200	1.600
210	116	200	1.724
220	105	200	1.905
230	97	200	2.062
240	83	200	2.410
255	68	200	2.941

### IV-B. Transductores de presión

Debido a la inexistente documentación de los sensores, se decidió realizar una calibración de los mismos utilizando gas nitrógeno. Para evitar errores de repetibilidad, se diseñó un colector que permite conectar ambos sensores a la vez a un circuito cerrado y presurizado, obteniendo las medidas de ambos sensores en simultáneo. El sistema se presurizó a partir de la presión ambiente y se incrementó la misma de a 20 kPa hasta un valor límite de 190 kPa. En cada incremento se dejó un minuto para estabilizar el valor, luego se registró el valor de voltaje. Este proceso se repitió tres veces y luego se realizó el promedio por cada punto de medición para obtener la curva de respuesta, como se observa en la Figura 7.

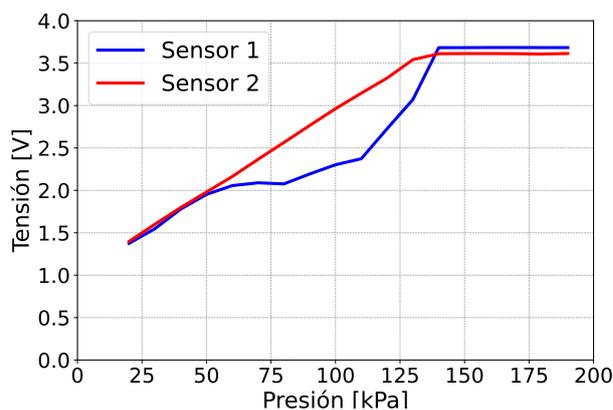


Fig. 7: Curva calibración transductores de presión

Como corolario de la sección, se observa en la Figura 8 el diagrama de conexión de los componentes del sistema.

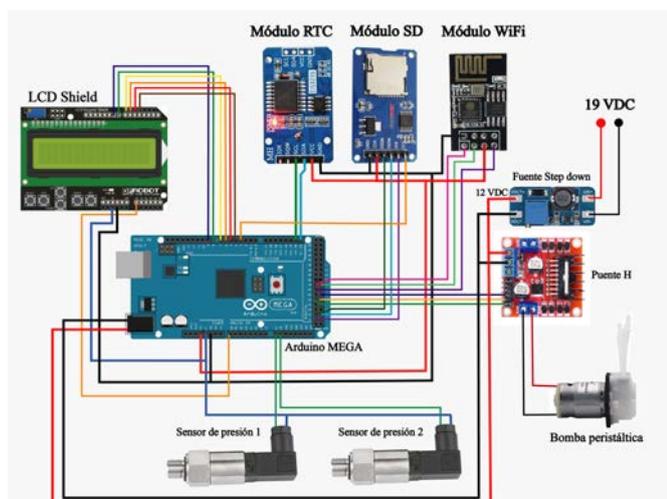


Fig. 8: Diagrama de conexión de componentes

## V. FIRMWARE

El firmware del dispositivo se diseñó en el entorno de Arduino y se divide en dos partes principales: revisión del sistema al iniciar y uso del dispositivo.

### V-A. Revisión inicial del sistema

Al encenderse el dispositivo se verifica la conexión de los sensores de presión. Si alguno de estos no se encuentra conectado, la pantalla lo indica y no inicia el sistema.

Cuando ambos transductores se encuentran correctamente conectados, la pantalla (o LCD SHIELD) muestra la fecha, hora y el estado de la tarjeta SD (conectada o desconectada). A continuación se muestra el estado de la conexión a la red WiFi y la dirección IP del dispositivo. Unos instantes más tarde pantalla desplegará un menú con cinco opciones: 'Mediciones', 'Iniciar Ensayo', 'Modo automático', 'Ajustar Fecha' y 'Conectividad'. Los botones "UP" y "DOWN" permiten desplazarse entre opciones permitiendo ver lo seleccionado mediante un cursor en la izquierda de la pantalla. Con el pulsador "SELECT" se ingresa en la selección apuntada.

En la opción de configuración de fecha, los valores (día, mes, año, hora y minutos) pueden modificarse a través de los botones "UP" y "DOWN". Presionando "RIGHT" se guarda ese valor y se pasa al siguiente. Finalmente, la nueva fecha y hora quedan configuradas y el dispositivo muestra la pantalla del menú general.

### V-B. Uso del dispositivo

El sistema ofrece las siguientes opciones en su menú de operación:

**V-B1. Mediciones:** No es necesario que una tarjeta SD esté insertada, que el dispositivo tenga conexión WiFi, como tampoco lo es tener configurada la fecha y hora en el dispositivo. Dicha sección está preparada para poder realizar pruebas de fácil ejecución: se pueden visualizar presiones obtenidas a través del display, variar el caudal de flujo que circula a través de la bomba, como también encender o apagar la misma.

En la pantalla se puede ver en primer lugar la presión de los sensores como "P1" y "P2" en kPa. En segundo lugar, con el carácter "q", el caudal de flujo en mL/s y por último el estado de la bomba peristáltica ("OFF" o "ON"). Con los botones "UP" y "DOWN" se modifica el caudal del fluido que circula y presionando "RIGHT" se controla el estado de la bomba. Si algún sensor de presión se desconecta durante el ensayo, en el display se muestra la leyenda "NO!".

**V-B2. Inicio de ensayo:** Este modo de trabajo hace circular el fluido a través de la acción de la bomba, el dispositivo mide los valores de las presiones y graba todos los datos recolectados en un archivo, asignando un patrón de nombre del tipo AAMDDHHMM (año-mes-día-hora-minuto) para almacenar en la tarjeta SD y en el servidor.

Para poder iniciar el ensayo es indispensable que la tarjeta SD esté conectada o que el dispositivo este conectado al servidor, ya que allí se grabarán los datos medidos. En caso de no ser así, se visualiza un aviso en pantalla, que indicará la falla proveniente y posteriormente enviará al menú principal al usuario.

**V-B3. Modo barrido automático:** En este modo se realiza un ensayo con los valores de caudal preestablecidos. El usuario debe configurar los valores de caudal mínimo, máximo e incremento. La bomba comienza a operar con el menor caudal, espera 1 minuto para estabilizar el sistema y se registran los valores de presión tres veces. Se realiza un promedio de los datos de presión para ese caudal. Luego se incrementa el valor del caudal y vuelve a repetirse el procedimiento hasta llegar al valor de caudal máximo. Una vez alcanzado el límite superior, se avisa en pantalla que finalizó el ensayo y se envían y almacenan los datos obtenidos. De esta manera el usuario conoce el comportamiento del dispositivo en todos los valores de caudal.

**V-B4. Conectividad:** En esta sección se mostrarán los datos de la red WiFi guardada, y el estado de la conexión. Si el dispositivo se encuentra conectado correctamente, mostrara la dirección IP asignada.

## VI. DISCUSIÓN

El desarrollo del sistema de adquisición de datos mediante comunicación Wi-Fi permitió dar el puntapié inicial a una modernización en la forma de acceso a la información y lectura de procesos de medición en el GMF. Este dispositivo está alineado con productos que ofrecen soluciones de conectividad similares, como la adquisidora T7 Pro de la empresa LabJack [18]. El costo asequible de este prototipo, la disponibilidad, variedad de tecnologías disponibles en el mercado para mejorar las prestaciones en materia de conectividad Wi-Fi y la capacidad de cobertura en materia de sistemas de medición en desarrollo adopten este protocolo como base.

## VII. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se diseñó y construyó un sistema de medición, grabación y control de un dispositivo de medición de caudal de placa orificio para bombas peristálticas. Además se construyó un servidor donde se almacenan los datos de los ensayos realizados. Este dispositivo resolvió una problemática puntual a la hora de estudiar el efecto de

los rangos de operación de bombas peristálticas en sistemas VRFB. Cabe aclarar que el servidor se utilizara también para el almacenamiento de datos de todos los dispositivos y sensores con conexión que que utilicen en el GMF, lo que muestra la polivalencia del desarrollo y su impacto positivo.

#### REFERENCIAS

- [1] Fluid-o-Tech. (2024) Technical support. [Online]. Available: <https://www.fluidotech.it/en/technical-support/technical-insights/peristaltic-pumps/>
- [2] Aurora Scientific. (2024) How to calibrate the flow rate of a peristaltic metering pump? [Online]. Available: <https://www.auroraprosci.com/how-to-calibrate-the-flow-rate-of-a-peristaltic-metering-pump?srsId=AfmBOopsY8CN3IK7ASv-lj0uG7SDIIVC2yTl20wZJxHfQS0zSkgz4rFg>
- [3] Lambda Scientific. (2024) Peristaltic pump flow calibration. [Online]. Available: <https://www.lambda-instruments.com/peristaltic-pumps/user-manual/3-peristaltic-pump-flow-calibration/>
- [4] WPI Scientific. (2024) How to calibrate the peri-star pro peristaltic pump. [Online]. Available: [https://www.wpiinc.com/blog/post/how-to-calibrate-the-peri-star-pro-peristaltic-pump?srsId=AfmBOops7-xX2n9SZGIExikrTZxpMhaAAuBw7WpMDRZKR3Sjy82R\\_p7n](https://www.wpiinc.com/blog/post/how-to-calibrate-the-peri-star-pro-peristaltic-pump?srsId=AfmBOops7-xX2n9SZGIExikrTZxpMhaAAuBw7WpMDRZKR3Sjy82R_p7n)
- [5] A. M. Pezeshki, R. L. Sacci, F. M. Delnick, D. S. Aaron, and M. M. Mench, "Elucidating effects of cell architecture, electrode material, and solution composition on overpotentials in redox flow batteries," *Electrochimica Acta*, vol. 229, pp. 261–270, 2017. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468617300567>
- [6] Aurora Scientific. (2024) Approaches to reduce flow pulsation on peristaltic pumps and principles. [Online]. Available: <https://www.auroraprosci.com/approaches-to-reduce-flow-pulsation-on-peristaltic-pumps-and-principles>
- [7] Fischer Scientific. (2024) Masterflex Polyethylene Pulse Dampener. [Online]. Available: <https://www.fishersci.dk/shop/products/masterflex-polyethylene-pulse-dampener/11705218>
- [8] Arduino. (2024) Technical reference. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560/>
- [9] (2024) Raspberry pi documentation. [Online]. Available: <https://www.raspberrypi.com/documentation/>
- [10] Pumps and systems. (2024) Applications. [Online]. Available: <https://www.pumpsandsystems.com/advantages-peristaltic-pumps-metering-applications>
- [11] Texas Instruments. (2023) LM2596 Data Sheet. [Online]. Available: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2596.pdf>
- [12] Component 101. (2024) User Sheet. [Online]. Available: [https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/Micro-SD-Card-Module-Datasheet.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/Micro-SD-Card-Module-Datasheet.pdf)
- [13] Analog Devices. (2024) DS3231 Data Sheet. [Online]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS3231.pdf>
- [14] DRF0009. (2024) User Sheet. [Online]. Available: <https://octopart.com/datasheet/dfr0009-dfrobot-21273091>
- [15] (2024) Apache HTTP Server Documentation. [Online]. Available: <https://httpd.apache.org/docs/>
- [16] (2024) Node.js v23.3.0 documentation. [Online]. Available: <https://nodejs.org/docs/latest/api/>
- [17] (2024) MongoDB Documentation. [Online]. Available: <https://www.mongodb.com/docs/>
- [18] LabJack. (2024) T7 Pro. [Online]. Available: <https://labjack.com/products/labjack-t7-pro?srsId=AfmBOqhD1LQ2nZTVwfITKb07Wa-imGXgN4-nmYamOLIN6NszNTnu9->