

## Medidor de Caudal Inteligente Aplicando Tecnologías del Internet de las Cosas (IOT)

Stephany Navarro Silva<sup>1</sup>, Salomón Flores García<sup>1</sup>, Guillermo Tapia Tinoco<sup>1</sup>, Noé Saldaña Robles<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Agrícola, División de ciencias de la vida (DICIVA). Universidad de Guanajuato. Campus Irapuato-Salamanca. Ex Hacienda El Copal, Carretera Irapuato-Silao Km. 9, Irapuato, Gto. 36500 Mexico.

[s.navarrosilva@ugto.mx](mailto:s.navarrosilva@ugto.mx)<sup>1</sup>, [s.flores.garcia@ugto.mx](mailto:s.flores.garcia@ugto.mx)<sup>1</sup>, [g.tapia@ugto.mx](mailto:g.tapia@ugto.mx)<sup>1</sup>, [saldanar@ugto.mx](mailto:saldanar@ugto.mx)<sup>1</sup>

### Resumen

Este artículo describe el diseño e implementación de un medidor caudal inteligente basado en tecnologías del internet de las cosas (IOT). El sistema incorpora un caudalímetro para medir el flujo de agua y una válvula de bola que se acciona mediante un servomotor, acoplado mecánicamente a la válvula. El prototipo funciona en dos modos de operación. En el modo local, se controla la válvula con un potenciómetro y se visualiza el caudal en una pantalla OLED. En el modo remoto, aplicando protocolos de comunicación de internet de las cosas (IoT), se puede controlar la válvula y monitorear el flujo a través de una interfaz gráfica creada con el software Node-RED. Esta interfaz permite al usuario abrir o cerrar válvulas y monitorear el caudal de forma remota. El microcontrolador ESP32 es el núcleo del prototipo realizando tareas de monitoreo, control, conexión a internet y la implementación de protocolos MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). El artículo detalla los elementos principales del sistema implementado, los algoritmos utilizados para el funcionamiento del prototipo, así como los resultados y pruebas que validan su efectividad y versatilidad.

**Palabras clave:** Control, Internet de las cosas (IOT), ESP32, MQTT.

### Introducción

Actualmente, la escasez de agua potable en los diferentes continentes de nuestro planeta crece progresivamente debido a los significativos aumentos en la demanda de agua de la agricultura, de la industria, y del sector doméstico, por consiguiente, la gestión eficiente de los recursos hídricos existentes constituye un gran reto para los científicos, académicos, políticos, así como para la sociedad en general (Hernández y Rivas, 2020). Las Redes de tuberías representan una forma económica para transportar fluidos. Sin embargo, una fuga en la tubería puede causar la pérdida del producto, así como daños ambientales que deben evitarse mediante un control estricto (Internet 1). Por esta razón es importante mejorar aspectos como el monitoreo y control para aumentar la eficiencia en sistemas de tuberías, prevenir daños y reducir pérdidas. De acuerdo con las investigaciones realizadas, durante el proyecto se observó que los sistemas de control de flujo en las redes de tuberías actuales carecen de eficiencia (Internet 2). Debido a su retraso en la cuestión tecnológica, los sistemas de control que existen se operan de forma manual, haciendo que se retrase su tiempo de operación; y al carecer de nuevas tecnologías, se dificulta en mayor medida localizar problemas de transporte como fugas o bloqueos dentro de la tubería. Un fallo en el sistema hidráulico puede traer amplias consecuencias (Internet 3). Las principales son la pérdida de eficiencias y efectividad, además existen otras fallas como fugas o derrames del líquido, así como el desgaste de los componentes, e incluso comprometer la seguridad de las personas (Sparrow, 2009).

El prototipo que se desarrolla y presenta en este trabajo, es un sistema que permite el control del caudal dentro de una tubería, al mismo tiempo que realiza la lectura del caudal que pasa a través de ella. Unido a esto, como ya se ha mencionado, dicho sistema se puede operar de dos modos: por control local y por control remoto. Para lograrlo, se ha utilizado el microcontrolador ESP32 que, con el programa adecuado, puede controlar el sistema de los dos modos requeridos, para darle el funcionamiento apropiado. El funcionamiento correcto del sistema depende del uso de componentes como el caudalímetro, que registra la información y la válvula de bola, accionada por el servomotor mediante un sistema mecánico. Para poder controlar la válvula se han utilizado, por una parte, en el modo local un potenciómetro, y por otra parte, en el modo remoto, el software de Node-RED por medio de una interfaz gráfica.

La finalidad del prototipo es tener un control eficiente en las redes hidráulicas. Al tener un monitoreo en L/min en tiempo real y contar con dos modos de operación, se logran ventajas; ya que se pueden monitorear y accionar las válvulas desde cualquier parte del mundo en modo remoto, y de ser necesario, activar el modo local, lo que hace que su funcionamiento sea más práctico y eficiente.

## Sistemas de monitoreo y control

La Figura 1 muestra los componentes del prototipo: El ESP32 es el cerebro del sistema, este recibe todas las señales de entrada y salida de los demás componentes, las procesa y actúa para que el prototipo funcione correctamente, además, este puede conectarse a internet para la ejecución de los dos modos (local y remoto). Para la lectura del caudal se ha utilizado un caudalímetro (YF-S201), este mide el caudal a partir de una señal PWM que envía pulsos al GPIO35 con una frecuencia que depende de la velocidad del líquido. Para poder visualizar el caudal, se utilizó una pantalla OLED, esta se comunica con la ESP32 con dos pines definidos como SCL y SDA. El servomotor que es quien acciona la válvula por medio del acoplamiento mecánico y este recibe la señal de control por medio del GPIO19 del ESP32. Para accionarlo se hace uso del potenciómetro que envía una señal analógica al ESP32 por el pin GPIO32. Por su parte, el interruptor (switch) controla el modo de funcionamiento del prototipo enviando una señal digital al pin GPIO33. Al trabajar estos componentes en conjunto se logra el objetivo de monitorear y controlar el caudal de la tubería.

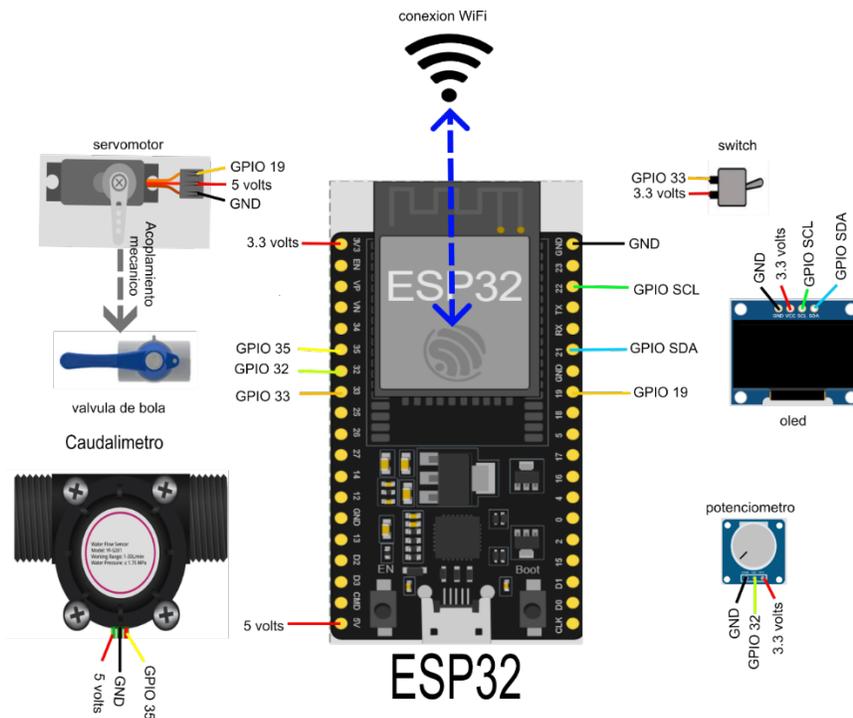


Figura 1. Conexiones entre ESP32 y sus componentes en el circuito.

En la Figura 2 se aprecia la relación que existe entre el bróker con el ESP32 y la plataforma Node-Red. Un broker MQTT es un intermediario entre dispositivos y es el encargado de gestionar la información entre dispositivos mediante servicios de suscripción y publicación. Al estar conectado al WiFi el ESP32 puede comunicarse con el bróker, esto lo hace para que pueda publicar (enviar datos al bróker) o suscribirse (recibir datos de bróker). Los datos intercambiados son variables en formatos de número o texto que se envían y reciben. Para que pueda haber un control, los usuarios como el ESP32 y Node-RED trabajan con dos tópicos; un tópico se usa para publicar y otro tópico se usa para suscribirse. Los tópicos actúan como un filtro de mensajes, ya que el que publica enviará la información solo a los tópicos suscritos a él.

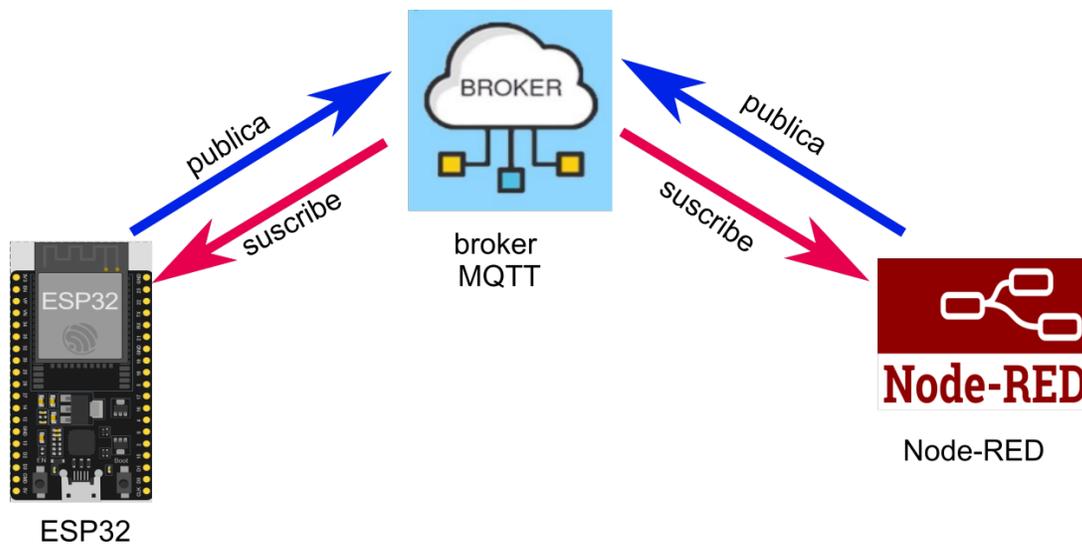


Figura 2. Relación entre el ESP32 el bróker y Node-RED.

## Diseño del programa de monitoreo y control del sistema

La Figura 3 muestra el diagrama de flujo principal del programa embebido en el ESP32. El programa comienza con la declaración de las librerías, inicialización de variables, inicialización de banderas y declaración de interrupciones que se utilizarán en el programa. Por su parte, en el lazo principal se realiza la gestión de cuatro interrupciones activadas por tiempo y una señal externa que determina el modo de operación. Las dos primeras interrupciones se ejecutan cuando se opera en modo remoto, mientras que las últimas dos se encargan del modo local. La primera interrupción se utiliza para visualizar en NODE-RED los datos del sensor de flujo y su actualización está dada por el temporizador 2 (1 segundo), este tiempo se le asignó debido al funcionamiento del caudalímetro, ya que mide los pulsos enviados por segundo entre el factor de conversión así obteniendo el caudal en L/min. La segunda condicional se utiliza para controlar el servomotor desde NODE-RED y la actualización de los datos está dada por el temporizador 3 (0.1 segundos), cada que entra esta interrupción se observa el movimiento del servomotor, el tiempo que se le asignó es para que se efectúe más rápido y así controlar el motor con una mayor precisión. La tercera interrupción es actualizada mediante el temporizador 1 (0.1 segundos) y se utiliza para controlar el servomotor de forma local mediante el potenciómetro, ya que se utiliza para controlar el servo de modo local el tiempo es reducido para una mayor precisión con el servomotor. La cuarta y última interrupción se actualiza mediante el temporizador 0 (1 segundo) y tiene como propósito enviar las lecturas del sensor a la pantalla OLED.

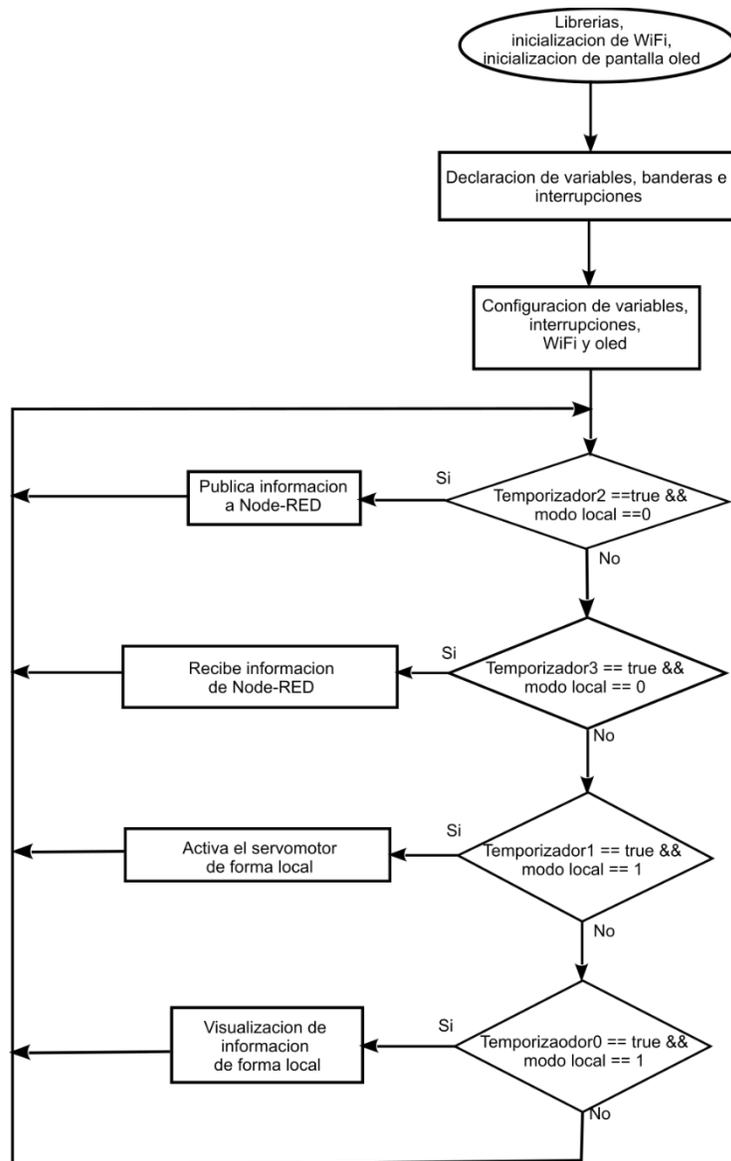


Figura 3. Diagrama de flujo sobre el programa principal.

La Figura 4 muestra las cuatro interrupciones y las tareas que ejecuta. La interrupción de la Figura 4(a) muestra el diagrama de flujo para ejecutar a tarea de publicar la lectura del sensor de flujo en Node-RED. La tarea consiste en conectarse a la red WiFi, registrar la información dada por el caudalímetro, convertir el valor en un *string* y finalmente publicarlo para enviarlo a Node-RED para su visualización. La Figura 4(b) muestra el diagrama de flujo para recibir información de Node-RED. En esta interrupción se controla el servomotor y en consecuencia la posición de la válvula. La Figura 4(c) corresponde al control local del servomotor. Inicialmente se lee el valor de la señal analógica proporcionada por el potenciómetro. Posteriormente se escala el valor recibido en el rango de 0 a 180 grados y se envía la acción de control al servomotor. La Figura 4(d) muestra el diagrama de flujo asociado con la interrupción encargada de desplegar la lectura de caudalímetro en la pantalla OLED. Inicialmente, se limpia y se activa la pantalla OLED, después recibe la información del caudalímetro y la muestra en L/ min. La información en la pantalla es actualizada cada segundo que entra la interrupción controlada por el temporizador 0.

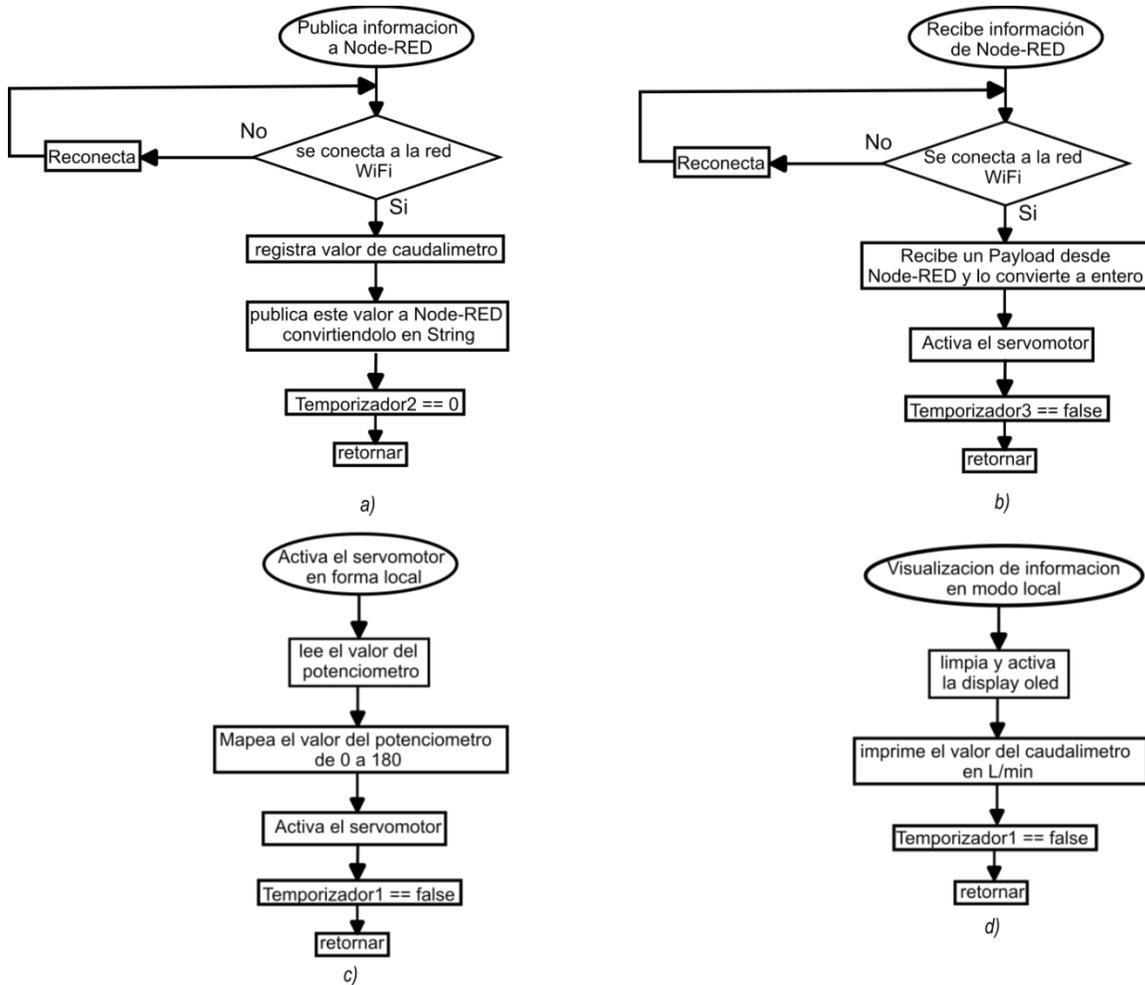


Figura 4. Diagramas de flujo de condicionales: a) primera condicional, b) segunda condicional, c) tercera condicional, d) cuarta condicional.

## Diseño de la interfaz gráfica desde Node-RED

Node-RED ofrece un editor de flujo basado en navegador que facilita la interconexión de flujos mediante la amplia gama de nodos de la paleta. La Figura 5 muestra los flujos implementados en Node-RED que tiene como objetivo intercambiar la información con el microcontrolador ESP32 a través del Bróker. El flujo contiene nodos de instrumento o *dashboard*, también se encuentran los nodos de red, los cuales son de entrada y salida MQTT, que es el protocolo a través del cual se hace la comunicación. Los nodos MQTT son los que permiten suscribir y publicar información al bróker y distribuirla a los dispositivos que estén suscritos a estos tópicos. En la Figura 5 se puede observar, primeramente, el nodo de entrada conectado a un nodo *gauge*. Por medio de la suscripción a este tópico se recibe información del caudalímetro conectado al ESP32, la cual es visualizada en una interfaz gráfica que se muestra en la Figura 6. La Figura 5 también muestra un nodo *slider* conectado al nodo de salida MQTT. Este nodo manda la información que recibe del *slider* al tópico de publicación a que esta suscrito el ESP32. Cuando el ESP32 recibe este tópico acciona el servomotor. En la Figura 6 se puede observar en la interfaz gráfica el *gauge*, así como el *slider*, aquí el usuario puede visualizar el caudal y controlar el servomotor. Ambas figuras muestran los nodos y sus nombres, así como los tópicos a los cuales están suscritos.

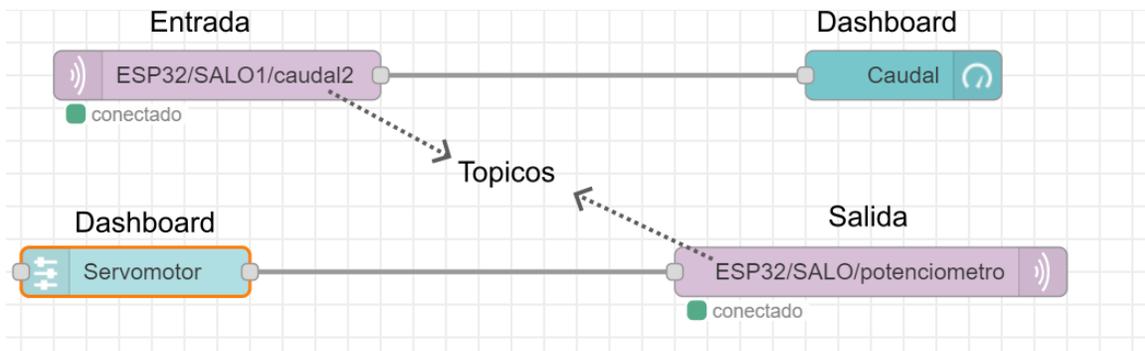


Figura 5. Nodos de Node-RED.

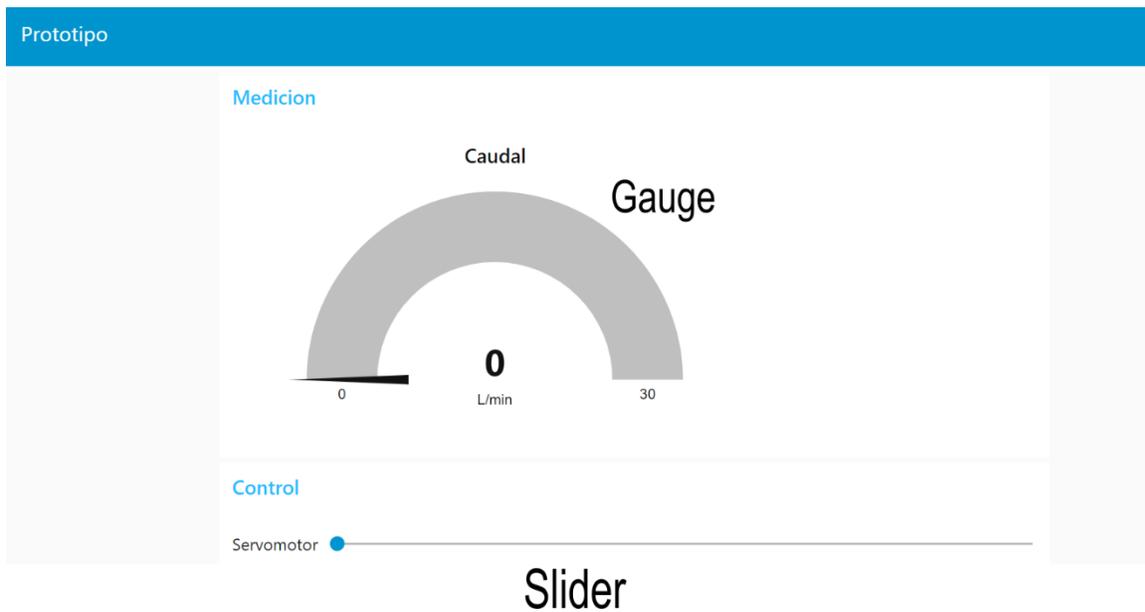


Figura 6. Interfaz Gráfica.

## Resultados y Discusión

En este apartado se muestran los resultados que se obtienen tras la construcción del prototipo y su funcionalidad. En la Figura 7 se puede observar el prototipo, así como los componentes que la integran: pantalla OLED, potenciómetro y switch. Se pueden apreciar las terminales las cuales se conectan al caudalímetro y al servomotor, también se visualiza el cable que alimenta la ESP32 y a todo el circuito, este es un alimentador de 5 volts que hace funcionar a todo el sistema.

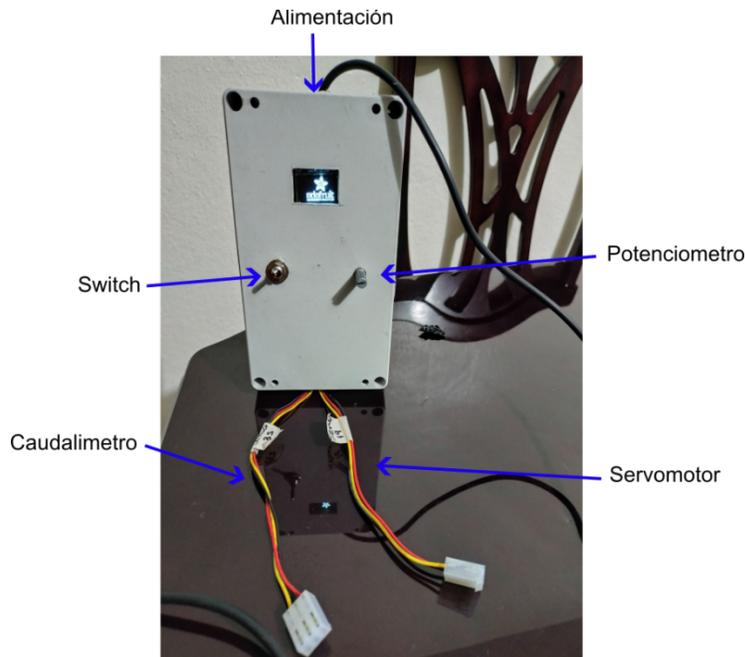
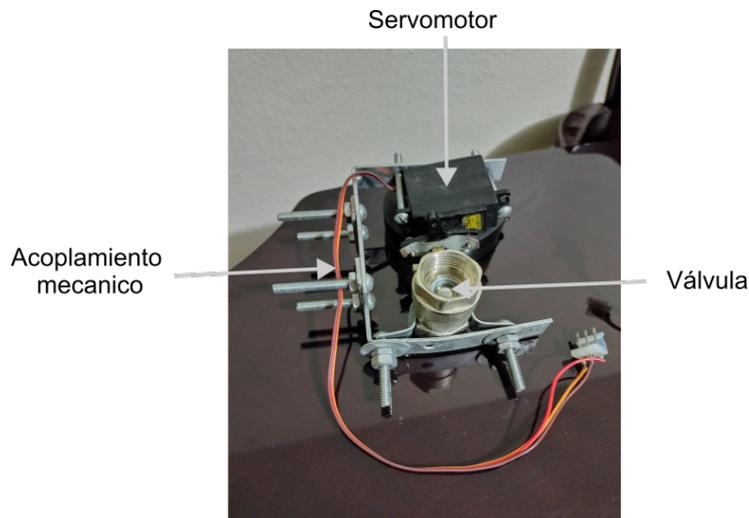


Figura 7. Prototipo

En la Figura 8 se observa el acoplamiento mecánico entre el servomotor con la válvula de bola. El acoplamiento está diseñado para que la válvula se pueda abrir y cerrar de acuerdo con el accionamiento del servomotor. Así al activar el servomotor hace que la bola que contiene la válvula dentro, gira en conjunto con el servomotor.



Figurac8. Válvula

La Figura 9 muestra la válvula y el caudalímetro conectado a la tubería, junto con el prototipo. Se muestra diferentes usos que se le puede dar al prototipo. La Figura 9 (a) muestra el control del fluido en una red de tuberías del laboratorio; mientras la Figura 9 (b) muestra al prototipo en el uso doméstico controlando un sistema de riego de jardín. En la imagen se puede apreciar el prototipo, el servomotor y el caudalímetro, así como la interfaz gráfica configurada desde Node-RED para el control remoto del sistema.

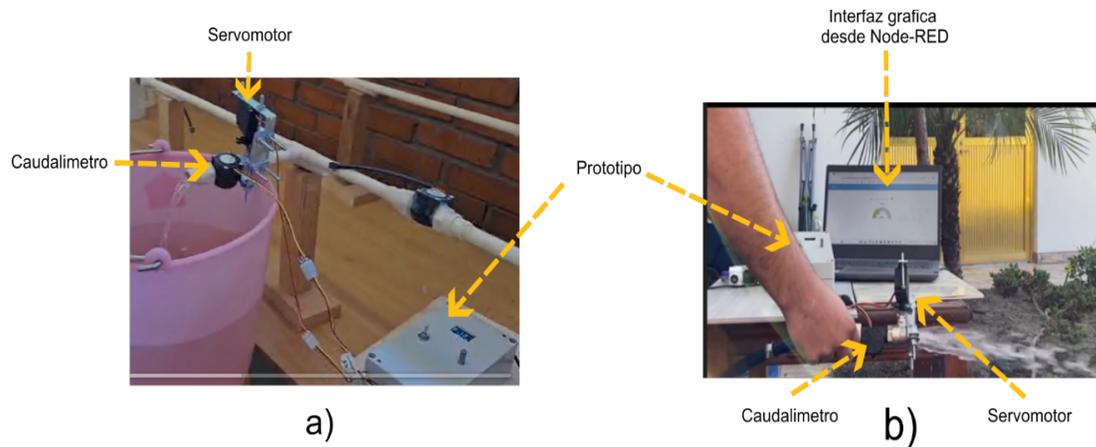
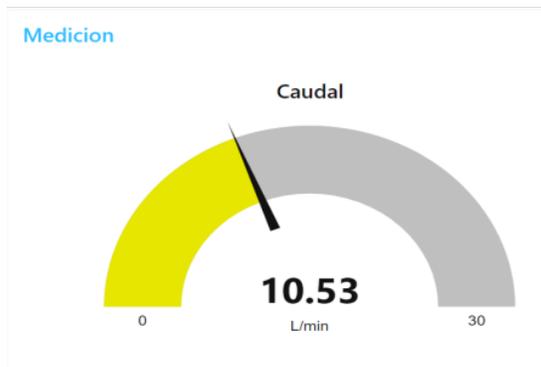


Figura 9. Prototipo instalado (a) Laboratorio (de Mecánica Aplicada) (b) Uso doméstico (Riego de jardín)

En la Figura 10 Se observan los dos modos en los que se puede visualizar el caudal. En la interfaz gráfica se visualiza como el *gauge* está marcando en valor numérico y en forma de aguja, el caudal que arroja el sensor (caudalímetro). En el modo local, entra el funcionamiento la pantalla OLED, esta solo muestra el valor numérico en L/min del caudal que pasa por la tubería.



Interfaz garfica

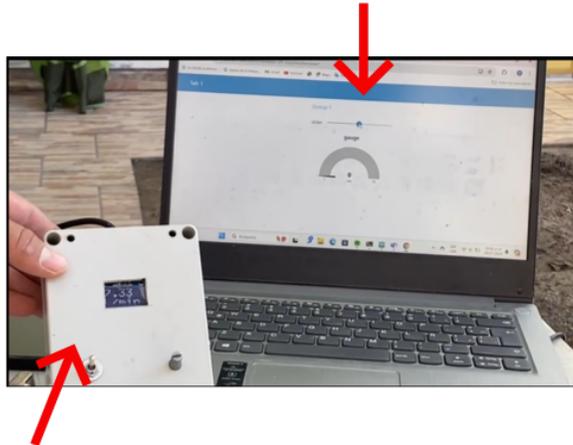


Pantalla oled

Figura 10. Modos de visualización de la caudal

La Figura 11 solo demuestra que cuando el prototipo dependiendo del modo en el que se encuentre (remoto o local) va a mostrar el valor del caudal. En la Figura 11 se puede ver que el prototipo está en funcionamiento de forma local, por esta razón arroja el caudal sobre la pantalla OLED, mientras la interfaz gráfica como no recibe información se mantiene estable en 0. Esto pasa por el diseño del programa que se implementó en el sistema.

### Interfaz Gráfica



### Prototipo

Figura 11. Muestra de resultados dependiendo del modo (remoto o local).

## Conclusiones

En conclusión, el diseño de este sistema ha demostrado ser una posible solución para aumentar la eficiencia y productividad al momento de operar con sistemas hidráulicos. La implementación adecuada del prototipo en sistemas de tuberías podría tener un impacto favorable en la sociedad, así se podría llevar a cabo un registro de los caudales que corren a través los tubos, al mismo tiempo que se controlan las válvulas, al tener los dos modos de operación hace que el prototipo sea más intuitivo facilita su manejo. El internet de las cosas es una tecnología que está revolucionando al mundo, al estar presente en estos sistemas de control, además de ayudar a reducir pérdidas, se podrían obtener otras ventajas que ayudaran a conservar la energía, reducir daños, reducir costos y al cuidar el agua está cuidando el medioambiente.

## Bibliografía/Referencias

- Internet 1 *Desafíos y tendencias actuales en la gestión del agua.* (s.f.). revistas.eleconomista.es. <https://revistas.eleconomista.es/agua/2022/noviembre/desafios-y-tendencias-actuales-en-la-gestion-del-agua-DD12440542>
- López, Y. H., Pérez, R. R., & Battle, V. F. (2020). Control automático de la distribución de agua en sistemas de riego: revisión y retos. *Revista Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones* ISSN: 1815-5928, 41(2), 80-97. <http://scielo.sld.cu/pdf/eac/v41n2/1815-5928-eac-41-02-80.pdf>
- Internet 2 *Sistemas de diagnóstico para tuberías.* (s.f.). Instituto de Ingeniería, UNAM. <http://www2.iingen.unam.mx/es-mx/Publicaciones/GacetaElectronica/Marzo-Abril-2018/Paginas/Sistemasdediagnosticoparatuberias.aspx>
- Internet 3 *¿Qué pasa si falla el sistema hidráulico? | Orientanet.* (s. f.). <https://www.orientanet.es/que-pasa-si-falla-el-sistema-hidraulico/>
- Sparrow, Alamo (2009). *Flujo en tuberías.* Curso: Macabica de Fluidos II. [http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/clases\\_flujo\\_ii\\_tuberias.pdf](http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/clases_flujo_ii_tuberias.pdf).