



## Desarrollo de un sistema para el monitoreo de recursos hídricos en el hogar

### Development of a System For Monitoring Water Resources at Home

### Desenvolvimento de um sistema de monitoramento de recursos hídricos em casa

Jorge-Esteban Fonseca-Revelo<sup>1</sup>  ROR

Juan-Camilo Fonseca-Revelo<sup>2</sup>  ROR

Alexander Cerón-Correa<sup>3</sup>  ROR

**Recibido:** 27 noviembre 2023

**Aceptado:** 6 agosto de 2024

**Para citar este artículo:** Fonseca-Revelo, J. E., Fonseca-Revelo, J. C. y Cerón-Correa, A. (2024). Desarrollo de un sistema para el monitoreo de recursos hídricos en el hogar. *Revista Científica*, 50(2), 18-35. <https://doi.org/10.14483/23448350.21594>

### Resumen

La gestión eficiente de los recursos naturales como el agua es necesaria para asegurar la optimización de su uso. El agua es un recurso imprescindible para la vida y corre el riesgo de presentar escasez. Aunque las empresas prestadoras de servicios públicos entregan información acerca del consumo de una vivienda, esta resulta insuficiente para establecer y prevenir el consumo excesivo de cada persona. Por estas razones, el objetivo principal de este trabajo es proponer un sistema de monitoreo del consumo de agua en el hogar que utilice sensores de flujo y presentarlo al usuario de forma amigable y eficiente mediante una aplicación fundamentada en los avances del Internet de las Cosas. La información recopilada, presentada en un formato de fácil comprensión, es un recurso esclarecedor para los usuarios y los habilita para tomar decisiones fundamentadas, así como medidas en pro de la disminución de su huella ambiental.

**Palabras clave:** consumo eficiente; domótica; gestión responsable; Internet de las Cosas; recursos limitados; sistemas embebidos; sistemas inteligentes.

1. Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá-Distrito Capital, Colombia).

2. Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá-Distrito Capital, Colombia).

3. Ph. D. Universidad Militar Nueva Granada (Bogotá-Distrito Capital, Colombia). [alexander.ceron@unimilitar.edu.co](mailto:alexander.ceron@unimilitar.edu.co)

## Abstract

The efficient management of natural resources such as water is necessary to ensure an optimized use. Water is an indispensable resource for life, and it is at risk of becoming scarce. Although public utility companies provide information about a household's consumption, it is insufficient to identify and prevent each person's excessive consumption. Therefore, the main objective of this article is to propose a household water consumption monitoring system using flow sensors and to present it to the user in a friendly and efficient manner by means of an app based on the advances of the Internet of Things. The collected information, presented in a format that is easy to understand, is a clarifying resource for users and allows them to make informed decisions and take measures aimed at reducing their environmental footprint.

**Keywords:** efficient consumption; home automation; intelligent systems; Internet of Things; limited resources; responsible management.

## Resumo

A gestão eficiente dos recursos naturais como a água é necessária para garantir a otimização do seu uso. A água é um recurso essencial à vida e corre o risco de se tornar escassa. Embora os prestadores de serviços públicos forneçam informação sobre o consumo de uma habitação, esta é insuficiente para estabelecer e prevenir o consumo excessivo de cada pessoa. Por estes motivos, o objetivo principal deste trabalho é propor um sistema de monitoramento do consumo de água residencial que utilize sensores de vazão e apresentá-lo ao usuário de forma amigável e eficiente por meio de um aplicativo, baseado nos avanços da Internet das Coisas. A informação recolhida, apresentada num formato de fácil compreensão, é um recurso esclarecedor para os utilizadores e permite-lhes tomar decisões informadas, bem como medidas para reduzir a sua pegada ambiental.

**Palavras-chaves:** automação residencial; consumo eficiente; gestão responsável; Internet das Coisas; recursos limitados; sistemas embarcados; sistemas inteligentes.

---

## INTRODUCCIÓN

La gestión responsable de los recursos limitados de la Tierra es crucial para garantizar su preservación y uso eficiente. El mal uso de los recursos y el consumo ineficiente plantean desafíos significativos en la búsqueda del desarrollo sostenible (Cui & Li, 2018). El agua es un recurso imprescindible para la vida que presenta problemas como la contaminación, la alta demanda, el uso indiscriminado en procesos industriales, la falta de infraestructura y los fenómenos naturales (e.g., la variación de las precipitaciones), generando incertidumbre en su disponibilidad. Esto plantea desafíos en cuanto al manejo del recurso hídrico y el consumo eficiente. En este contexto, es fundamental desarrollar soluciones innovadoras para promover un uso más eficiente de los recursos naturales (Liu et al., 2023), en aras fortalecer el concepto de *hogar inteligente*, que se utiliza cada vez más, pues se ha convertido en una tendencia de modernización y reducción de costos, generando productos que se conectan a otros de diferentes características y marcas. Esto, gracias al IoT (Internet of Things) (Stergiou et al., 2018), combinado las tecnologías de MCC (Mobile Cloud Computing), permitiendo a los dispositivos móviles hacer cálculos con miles de variables para brindar un resultado comprensible al usuario (Domb, 2019).

En el trabajo de Park et al. (2018), se sugiere que el hogar inteligente está evolucionando hacia un espacio inteligente, un paradigma que resuelve potenciales problemas personales y sociales y proporciona

un nuevo valor al mundo. La investigación en el campo de los sistemas inteligentes ha despertado interés, propiciando avances en las tecnologías cotidianas e impulsando los modelos de negocio y las plataformas de servicio.

Otro estudio propone un marco de investigación holístico para hogares inteligentes que integra las capas de infraestructura, de tecnologías de la comunicación, de análisis de datos y de servicio al usuario ([Sun & Li, 2021](#)). Adicionalmente, se presenta la implementación de un sistema de hogar inteligente basado en tecnologías del IoT para abordar el desafío de la gestión responsable de los recursos limitados. El sistema propuesto utiliza sensores conectados para recopilar datos precisos sobre el consumo de recursos en el hogar, lo que permite identificar patrones de consumo ineficiente o de mal uso ([Khan et al., 2018](#)). Estos datos se procesan mediante modelos computacionales para proporcionar información comprensible y práctica a los usuarios, permitiéndoles tomar decisiones informadas y adoptar medidas para reducir su impacto ambiental ([Salih et al., 2019](#)).

EL IoT ofrece una plataforma sólida para la implementación de este sistema de hogar inteligente. Al conectar dispositivos y sensores a través de redes inalámbricas, se puede recopilar información en tiempo real sobre el consumo de recursos como agua, electricidad y gas ([Al-Ali et al., 2017](#); [Adu-Manu et al., 2017](#)). Para el monitoreo de líquidos, se han empleado sensores de flujo ([Lalnunthari & Thanga, 2017](#)). Los datos que se pueden obtener mediante sensores brindan una visión detallada del consumo y permiten identificar áreas de mejora, lo que contribuye a una gestión más eficiente de los recursos en el hogar ([Ajitha et al., 2024](#); [Heav et al., 2024](#)).

El objetivo de este trabajo fue implementar un sistema para el monitoreo de recursos hídricos que informara sobre el consumo de agua.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el desarrollo de este proyecto se optó por la metodología Kanban a modo de elección estratégica. Esta metodología, conocida por su enfoque en la agilidad y la adaptabilidad ([Arango et al., 2015](#)), se aplicó de manera efectiva para guiar el proceso de desarrollo.

Esta metodología se estudió, en el contexto de la ingeniería de *software*, sobre una cantidad representativa de fuentes documentales primarias, encontrando múltiples beneficios, entre ellos el hecho de que permite una planificación dinámica y agiliza diferentes procesos gracias a su visibilidad del trabajo. Adicionalmente, la flexibilidad inherente de la metodología permite a los equipos de desarrollo que la usan ajustar las prioridades en las tareas a realizar, respondiendo a desafíos cambiantes y oportunidades emergentes de manera eficiente ([dos Santos et al., 2018](#)). Por tanto, se consideró adecuada para un proyecto que implicaba la creación de una aplicación *web* con múltiples componentes interconectados.

Además, Kanban promueve la colaboración interdisciplinaria y la comunicación constante, lo que facilitó la integración efectiva de los aspectos técnicos y de diseño del proyecto.

## Materiales

En este trabajo se utilizó un microcontrolador ESP32 de la empresa Espressif Systems, fabricado por Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC). Este es un microcontrolador muy usado en la actualidad gracias a su tamaño reducido (5.5 x 2.7 cm), su bajo costo (5 USD) y sus 32 bits operando a 240 MHz. Como características destacables, tiene dos núcleos de procesamiento y

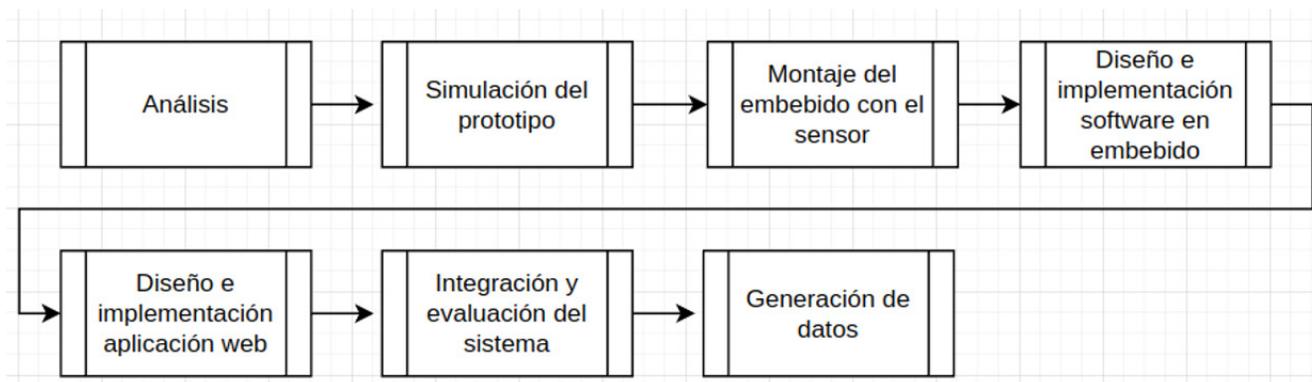
conexiones mediante Bluetooth o Wi-Fi, muy útiles para la domótica. Su conversor análogo-digital (ADC) cuenta con una resolución de 12 bits y de hasta 18 canales, que funciona en un rango de 2.55 a 3.6 V. Por lo tanto, el microcontrolador ostenta un bajo consumo de energía y una capacidad de procesamiento suficiente para el sistema de monitoreo planteado. Además, ya ha sido usado para cumplir la función de plataforma central para la recopilación y procesamiento de datos en tiempo real ([Babiuch et al., 2019](#)).

Como sensor de recursos hídricos, se usó el YF-S201, producido por Yueqing Furuide Electric Co. Ltd., que cuenta con una precisión del 10 %, un voltaje de operación de 5 a 24 V y una corriente de operación menor a 15 mA. Este sensor, utilizado para medir el caudal de agua, se basa en el efecto Hall para detectar el flujo y proporciona una salida de pulso proporcional al caudal. El sensor de flujo se conectó al microcontrolador ESP32 para capturar y registrar los datos. Todo el montaje era alimentado por una batería que podía ser recargada del mismo modo que un celular. Se utilizaron acoples personalizados para adaptar el sensor de flujo YF-S201 a diferentes diámetros de tuberías. Estos acoples aseguraron una conexión segura y hermética del sensor en cada tubo, permitiendo mediciones precisas en diferentes puntos de consumo.

En este proyecto se utilizó un computador para el desarrollo del *software* y la visualización de los datos adquiridos, así como para programar el microcontrolador ESP32 mediante el entorno Arduino IDE y establecer conexión con el servidor *online*, que utilizaba PHPMyAdmin ([Satoto et al., 2016](#)) para almacenar y administrar los datos recopilados por el sistema. La función principal de este servidor era almacenar los datos de consumo de agua.

## Metodología

El proyecto se llevó a cabo en tres fases, subdivididas en seis etapas, que permitieron comprender el problema y buscar la mejor solución para el mismo ([Figura 1](#)).



**Figura 1.** Metodología

Estas fases se alinearon con la metodología Kanban, que consiste en un tablero donde el equipo de trabajo define objetivos y puede visualizar tanto la carga como el flujo del trabajo que se está realizando ([Gaete et al., 2021](#)). Las fases fueron las siguientes:

## Fase 1

**Análisis del problema.** Se definieron las entradas y salidas del sistema y se establecieron los componentes principales a utilizar. En este caso, las entradas del sistema eran tanto la salida del sensor de flujo como los comandos del usuario en la aplicación de monitoreo.

**Simulación del prototipo inicial.** Posteriormente, se simuló un prototipo virtual que representaba el funcionamiento del sensor conectado a un Arduino Uno, recibiendo datos simulados de flujo mediante el *software* Proteus. Luego se procedió a la implementación de un prototipo real que constaba de un Arduino Uno y un sensor YF201 para la adquisición de datos de flujo reales, lo que brindó una visión clara del proyecto, abarcando los aspectos técnicos y operativos desde las fases iniciales.

## Fase 2

**Montaje del sistema embebido ESP32 comunicado con un sensor de flujo YF-S201.** En esta etapa se trabajó en la integración del sistema embebido, utilizando el módulo ESP32 y estableciendo comunicación con el sensor de flujo YF-S201. Esto se hizo de manera incremental y siguiendo el flujo de trabajo establecido en el tablero Kanban.

**Diagramas y diseños.** Se crearon diagramas y diseños que proporcionaban una visión clara de la estructura del aplicativo y la base de datos. Estas herramientas ayudaron a visualizar el proceso y a planificar el desarrollo de manera más efectiva.

## Fase 3

**Diseño e implementación de la aplicación web.** Se diseñó la aplicación *web* y se procedió a crear la base de datos en MySQL para una gestión de datos eficiente.

**Integración entre el sistema embebido y la aplicación web.** La ejecución de esta fase implicó la coordinación y la resolución de cualquier problema que surgiera en el proceso, todo ello de manera ágil y visible en el tablero Kanban. De esta manera se completó el sistema integrado para obtener mediciones y generar resultados. Utilizando la metodología Kanban, se pudo gestionar eficazmente cada fase del proyecto, manteniendo un flujo de trabajo constante, priorizando las tareas y adaptándose a necesidades cambiantes, e.g., aumentar el número de usuarios o seleccionar el microcontrolador adecuado para el desarrollo de la aplicación.

## RESULTADOS

### Fase 1

#### *Prototipo inicial simulado*

Este proceso se realizó, en primer lugar, como una simulación que incluía el proceso de conexión, o el cableado necesario entre el sistema embebido y cada uno de los sensores y módulos, y la evaluación de entradas y salidas ([Figura 2](#)).

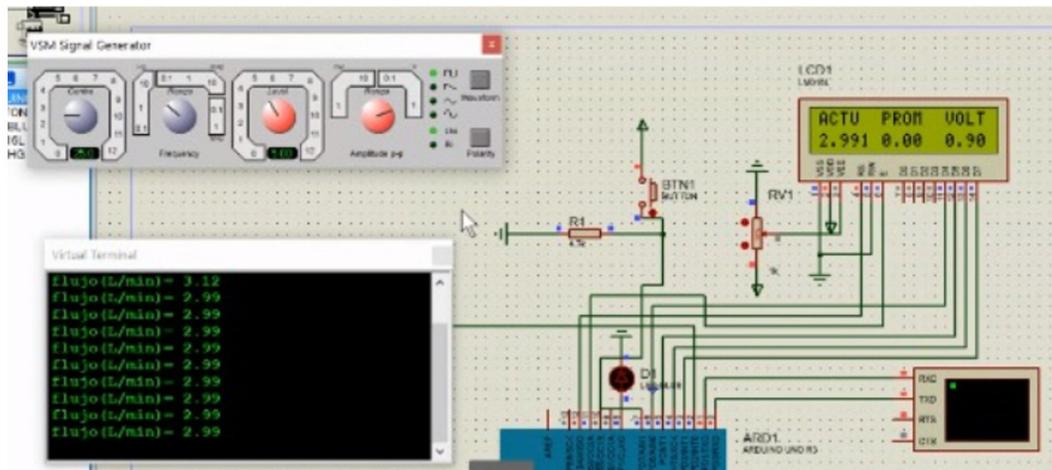


Figura 2. Simulación del sistema planteado con el sensor de flujo

Dado que el sensor de flujo produce pulsos a medida que el flujo de líquido pasa, se utilizó un generador de pulsos –pues no existía el componente en el simulador–, un LCD, la consola y un osciloscopio para visualizar la información. Las relaciones físicas entre frecuencia y nivel de flujo se establecieron posteriormente con las propiedades de los sensores en el prototipo real.

## Fase 2

### Prototipo inicial real

En contraste con la fase 1, en el prototipo real (Figura 3) se reemplazó la fuente de pulsos por el sensor de flujo YF-S201. Este sensor convierte el flujo de agua en pulsos eléctricos mediante el efecto Hall. El sensor YF-S201 cuenta con unas aspas que giran de acuerdo al flujo de agua, generando un campo electromagnético que es detectado por un transductor (Djalilov *et al.*, 2023).

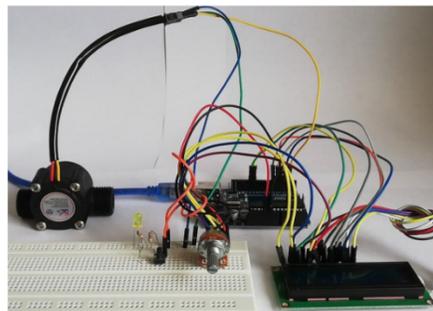


Figura 3. Prototipo inicial del sistema para el monitoreo de recursos hídricos en el hogar

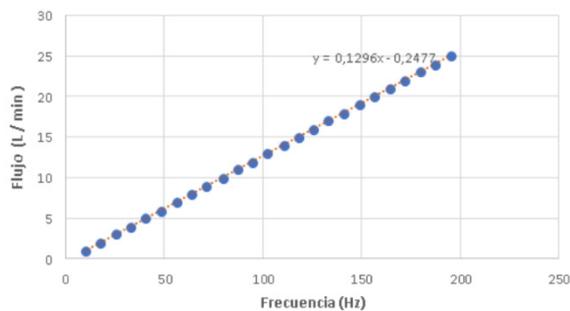
Esta configuración permitió capturar flujos con intervalos temporales. Cambiar los intervalos temporales permitió observar cómo varía la frecuencia en el sensor en función del cambio de velocidad de flujo, lo que proporcionó la capacidad de evaluar distintos niveles de consumo y corriente en los grifos.

Con los datos obtenidos mediante el sistema embebido, se observó que, a mayor flujo de agua, mayor frecuencia obtenida con el sensor (Tabla 1). Esto concuerda con la hoja de funcionamiento del fabricante.

**Tabla 1.** Flujo vs. frecuencia

Flujo (litros por hora)	Flujo (litros por minuto)	Frecuencia (Hertz)
120	2	16
240	4	32.5
360	6	49.3
480	8	65.5
600	10	82
720	12	90.2

La [Figura 4](#) muestra la relación lineal entre la frecuencia de salida y el flujo que atraviesa el sensor, comportándose de acuerdo a una función de primer orden ([Li et al., 2020](#)).



**Figura 4.** Flujo vs. frecuencia

#### Montaje principal

Siguiendo las especificaciones detalladas en la sección de materiales, se emplearon los componentes para llevar a cabo la integración completa. Como se ilustra en la [Figura 5](#), tanto el módulo embebido como el sistema de carga están diseñados para resistir posibles filtraciones de agua durante el uso del dispositivo. En la [Figura 5a](#) se observa el sensor de flujo YF-S201, y en la [5b](#) el sistema de alimentación, diseñado para garantizar un suministro constante de potencia al microcontrolador ESP32.

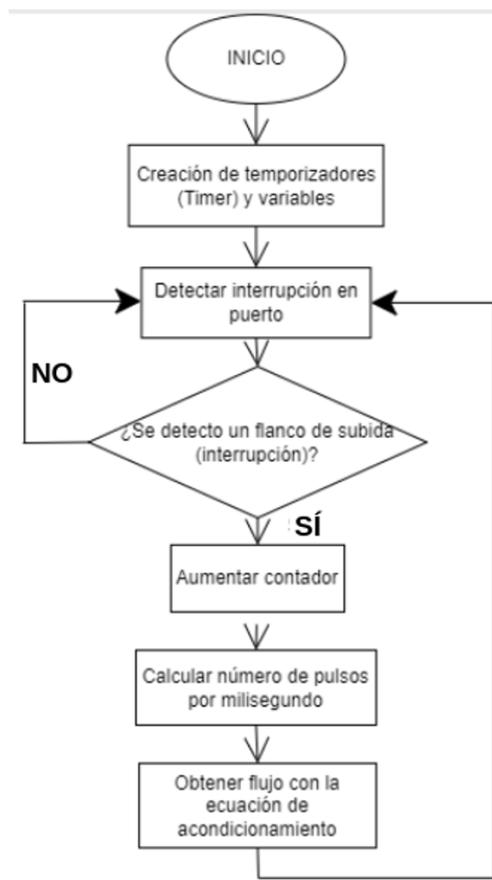


**Figura 5.** a) Sensor de flujo, b) sistema de energía

### Diagramas y diseños

Para la elaboración de este proyecto, se diseñaron diagramas de flujo que representaban los procesos más importantes a realizar.

En la [Figura 6](#), que detalla la captura de datos del sensor, el proceso inicia con una interrupción en el puerto 2 del microcontrolador. A continuación, se activa un temporizador que registra los milisegundos transcurridos. Posteriormente, se comienzan a contar las interrupciones en el puerto, las cuales son generadas por los pulsos emitidos por el sensor debido al efecto Hall. Tras esto, se establece una condición que verifica si han transcurrido 1000 ms (un segundo) en el temporizador. Si se cumple esta condición, se toma el valor del contador como la frecuencia de los pulsos, ya que este valor representa la cantidad de pulsos detectados por el sensor en un segundo. Este valor se ingresa en la ecuación presentada en la [Figura 4](#) para calcular el flujo y generar el resultado. Este proceso se encuentra dentro de un bucle (*loop*) que se repite de manera indefinida.

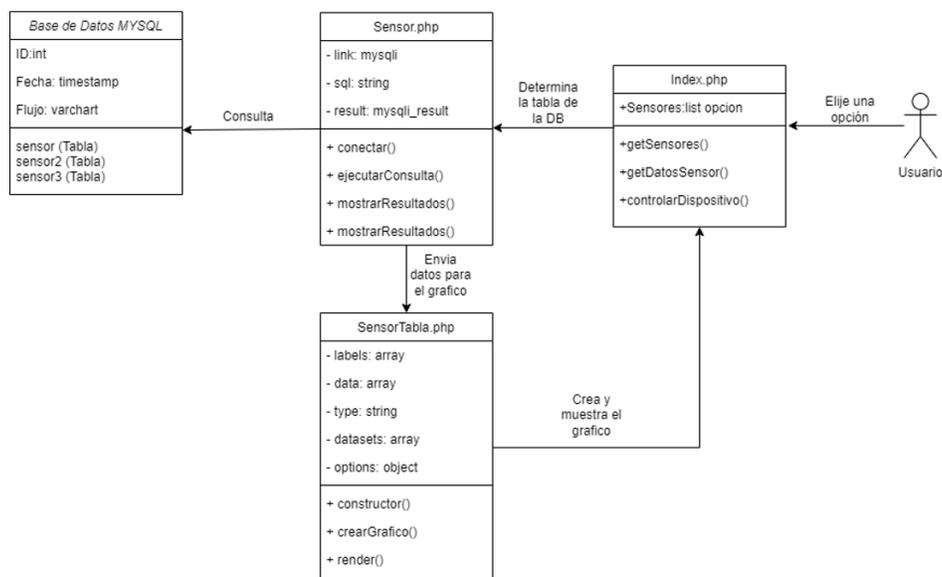


**Figura 6.** Diagrama de captura de flujo

En este proyecto se diseñaron diagramas UML para representar visualmente la estructura y los componentes del sistema. Estos diagramas han sido utilizados ampliamente para facilitar la comprensión del *software* y mejorar su calidad ([Páez et al., 2021](#)).

En la [Figura 7](#) se presenta un diagrama UML que detalla la interacción entre los tres componentes esenciales que forman parte de la *web* del proyecto y la relación entre la base de datos y el usuario.

El usuario inicia la comunicación a través de un formulario HTML principal llamado *Index.php*, que le permite seleccionar una opción. Luego, en el módulo de sensado (*Sensor.php*) se establece la conexión con la base de datos MySQL, lo que posibilita la consulta y visualización de los datos recopilados por el sensor. Estos datos se transmiten posteriormente a *SensorTabla.php*, donde son representados en un gráfico de barras.

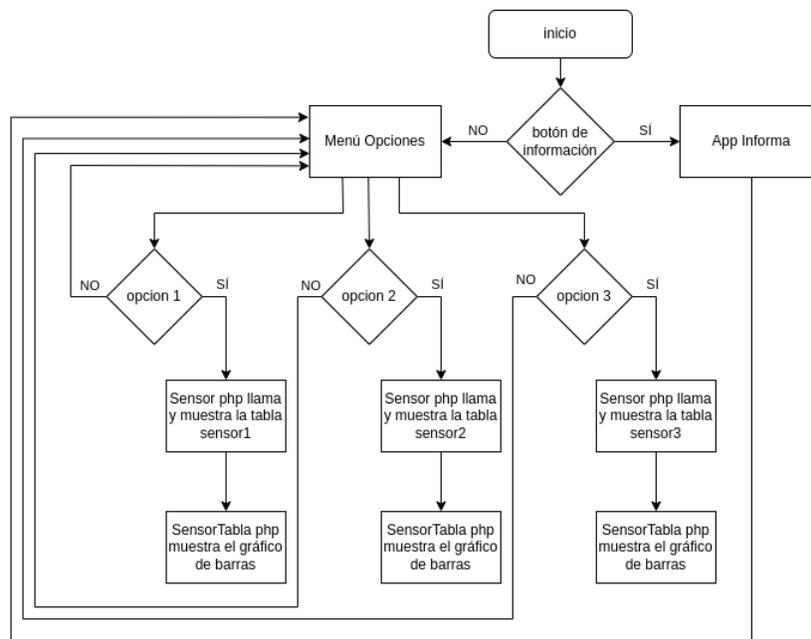


**Figura 7.** Diagrama UML del diseño web

De acuerdo con el diseño establecido para la comunicación y la organización de entidades en el sistema, en la [Figura 8](#) se presentan las distintas opciones disponibles para el usuario, así como el flujo que este experimentará en la pantalla principal de la aplicación.

El diagrama de flujo establece que el usuario inicia abriendo la aplicación. Posteriormente, se encuentra con la pantalla principal y un botón de información, que proporciona instrucciones adicionales en caso de que el usuario desee obtener más detalles. A continuación, el usuario visualiza un formulario con diversas opciones. Al elegir una opción en el formulario, se ejecuta el módulo *Sensor.php*, ubicado en el servidor virtual, estableciendo una conexión con la base de datos de MySQL y recuperando los datos del sensor correspondiente. Luego, el módulo de sensado *SensorTabla.php* muestra un gráfico de barras que representa visualmente los datos del sensor. La flexibilidad de este flujo permite al usuario regresar al formulario y seleccionar otra opción si es necesario.

La creación de un diagrama de flujo como este es fundamental en el diseño de aplicaciones, pues facilita la comprensión del usuario al proporcionar una representación visual de las opciones disponibles y la secuencia de pasos a seguir. Los diagramas de estado permiten una navegación más intuitiva y simplifican la interacción con la aplicación, lo que a su vez mejora la experiencia del usuario. En proyectos tecnológicos, donde la usabilidad es crítica, los diagramas de flujo son una herramienta esencial para garantizar que los usuarios puedan aprovechar al máximo, de manera eficiente y sin complicaciones la funcionalidad de una aplicación.



**Figura 8.** Diagrama de flujo de usuario

Teniendo en cuenta estos diagramas, se plantearon los diseños de los *wireframes*, los cuales permiten ver la estructura y la funcionalidad de cada página de la aplicación. Como se muestra en la [Figura 9](#), se estableció la forma, la posición y la estética de los elementos visuales (títulos, botones, textos, logos, tablas y gráficos) que se mostrarían en la versión final de la aplicación *web*. Estos *wireframes* sirven como representaciones visuales del diseño de la interfaz de usuario y proporcionan una guía clara respecto a la apariencia y la distribución de los elementos en la aplicación ([Gil-Vera et al., 2018](#)).

El prototipo de la aplicación permite visualizar y evaluar la apariencia y el funcionamiento de la interfaz de usuario de la aplicación antes de su implementación final.



**Figura 9.** Diseño de wireframes

### Fase 3

#### Aplicación web

Para llevar a cabo la transmisión de datos, se implementó una arquitectura basada en tecnologías *web* y de base de datos. En ella, el microcontrolador envía los datos al servidor utilizando el protocolo de comunicación HTTP mediante solicitudes POST. En el servidor se aloja un programa desarrollado en PHP que recibe y procesa estos datos. A continuación, los datos se almacenan en una base de datos MySQL para su posterior consulta y análisis. En el desarrollo de esta base de datos se utiliza, dentro del servidor virtual, el *software* XAMPP, el cual permite crear un servidor *web* mediante Apache y bases de datos con MySQL. La programación dentro de MySQL se lleva a cabo mediante la creación de tablas, donde las columnas dependen del tipo dato a almacenar y las filas a la cantidad de datos con la que se llena la tabla.

En la [Figura 10](#) se establece que la tabla de datos posee tres filas. La primera es el número de dato que recibe la base de datos, el siguiente dato corresponde a la fecha y hora en que se recibe el dato, y, por último, está el valor con punto decimal del flujo tomado por el sensor.

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra
<input type="checkbox"/>	1 id	int(11)			No	Ninguna		AUTO_INCREMENT
<input type="checkbox"/>	2 fecha	timestamp			No	current_timestamp()		
<input type="checkbox"/>	3 flujo	varchar(11)	utf8mb4_spanish_ci		No	Ninguna		

**Figura 10.** Variables de la base de datos

En la [Figura 11](#) se muestra un ejemplo de cómo la base de datos se va llenando cada vez que se recibe un dato por parte del microcontrolador.

	id	fecha	flujo
<input type="checkbox"/>	21	2023-07-16 23:37:07	0
<input type="checkbox"/>	22	2023-07-16 23:37:18	2
<input type="checkbox"/>	23	2023-07-16 23:37:28	3
<input type="checkbox"/>	24	2023-07-16 23:37:39	4
<input type="checkbox"/>	25	2023-07-16 23:37:50	4
<input type="checkbox"/>	26	2023-07-16 23:38:00	0
<input type="checkbox"/>	27	2023-07-16 23:38:11	0
<input type="checkbox"/>	28	2023-07-16 23:38:22	0
<input type="checkbox"/>	29	2023-07-16 23:38:32	0
<input type="checkbox"/>	30	2023-07-16 23:38:43	0
<input type="checkbox"/>	31	2023-07-16 23:38:54	0
<input type="checkbox"/>	32	2023-07-16 23:39:04	0
<input type="checkbox"/>	33	2023-07-16 23:39:15	0
<input type="checkbox"/>	34	2023-07-16 23:39:26	0
<input type="checkbox"/>	35	2023-07-16 23:39:36	0
<input type="checkbox"/>	36	2023-07-16 23:39:47	0

**Figura 11.** Llenado de la tabla en MySQL

## Comunicación entre el sistema embebido y la aplicación web

La comunicación de datos entre el sistema embebido y la base de datos se lleva a cabo mediante el método POST, y la transmisión de datos entre la base de datos y la página web utiliza la función QUERY dentro de la aplicación. Con dicha función se hace una petición y se consulta la base de datos para obtener la información de la tabla correspondiente.

Para la visualización de datos, se diseñó una interfaz de usuario intuitiva y accesible a través de una página web, como se mencionó en la presentación de la fase 2. Esta página web está alojada en el mismo servidor y es compatible con dispositivos móviles. Al acceder a la página web, los usuarios pueden visualizar una tabla que muestra los datos recopilados del sensor de flujo, así como una representación gráfica de barras que muestra el comportamiento del flujo de agua a lo largo del tiempo (Figura 12).

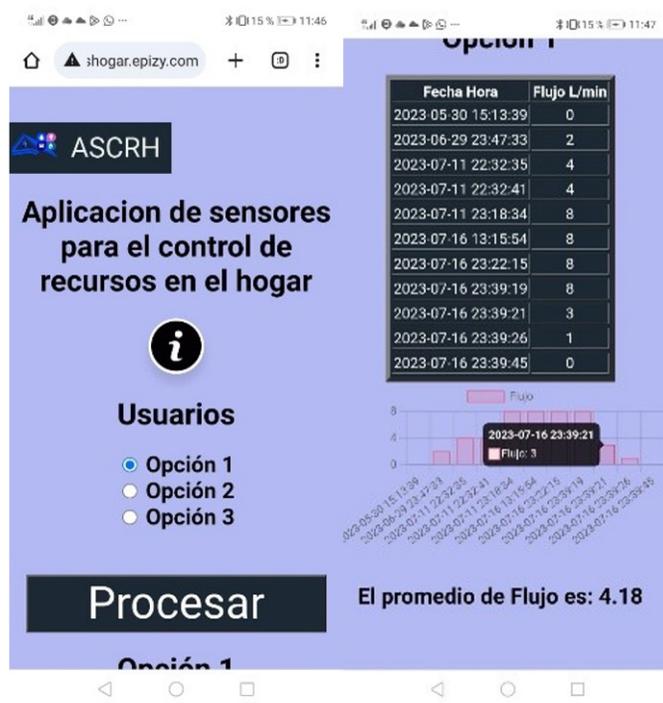


Figura 12. Interfaz de datos de flujo en la aplicación web

Finalmente, se obtiene un sistema para adquirir la señal proveniente del sensor, una alimentación de la base de datos y una interfaz para su posterior visualización en un *smartphone*. Los datos se presentan en formato de tablas y gráficos de barras a través de una página web.

La Figura 13 muestra el funcionamiento del sistema, que utiliza un sensor para recopilar datos de flujo de manera efectiva, transmitirlos a la base de datos y permitir su acceso y visualización en tiempo real a través de un dispositivo móvil. Este enfoque proporciona a los usuarios una herramienta poderosa para monitorear y analizar datos de manera conveniente y precisa. En <https://www.youtube.com/shorts/rnPpX9ay9yo> puede verse el video de la puesta en funcionamiento del sistema.

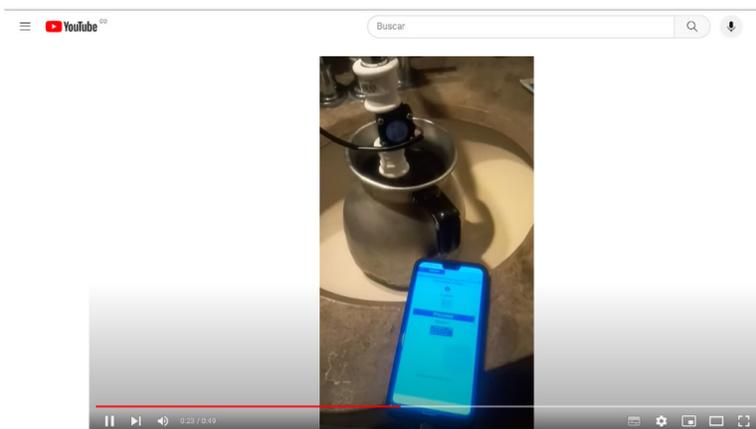


Figura 13. Prototipo en funcionamiento

La implementación de esta solución permite demostrar el correcto funcionamiento de esta propuesta, destacando la capacidad de respuesta y transmisión de datos a través de la tecnología IoT. Este enfoque puede tener aplicación en el monitoreo de procesos industriales.

En la fase 3 se evaluó el funcionamiento del aplicativo web y el módulo de monitoreo en la recolección de datos sobre el flujo y consumo de agua en actividades cotidianas, tales como bañarse, cepillarse los dientes, lavarse las manos y lavar platos, en un hogar de estrato 4 en la ciudad de Bogotá, Colombia. Cabe señalar que, en este estrato, el costo aproximado por litro de agua se situaba alrededor de los 7.4 pesos colombianos a la fecha de elaboración del presente documento.

Para llevar a cabo estas medidas, se optó por un intervalo de tiempo de 10 s para el envío de datos. Esta decisión se fundamentó en el propósito de evitar la sobrecarga de las bases de datos virtuales y simplificar el procesamiento y el análisis de los datos adquiridos, como se detalla en la [Figura 14](#). Este enfoque permitió la captura de información para un análisis detallado del consumo de agua durante las actividades diarias en el hogar estudiado.

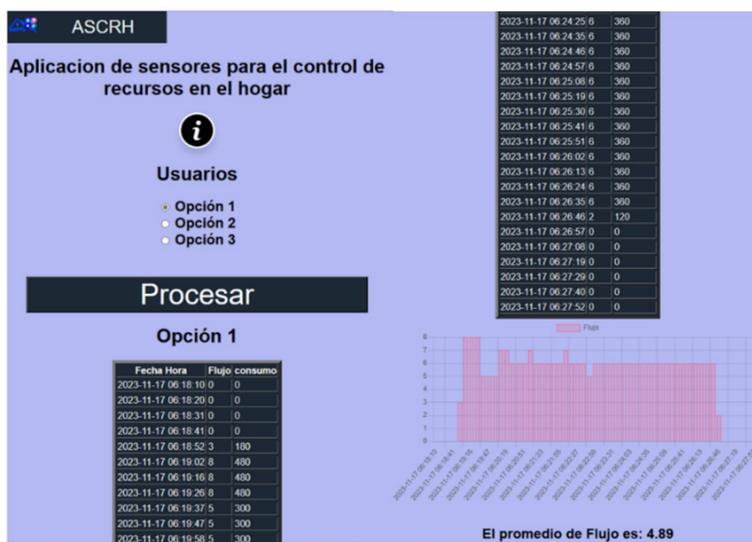


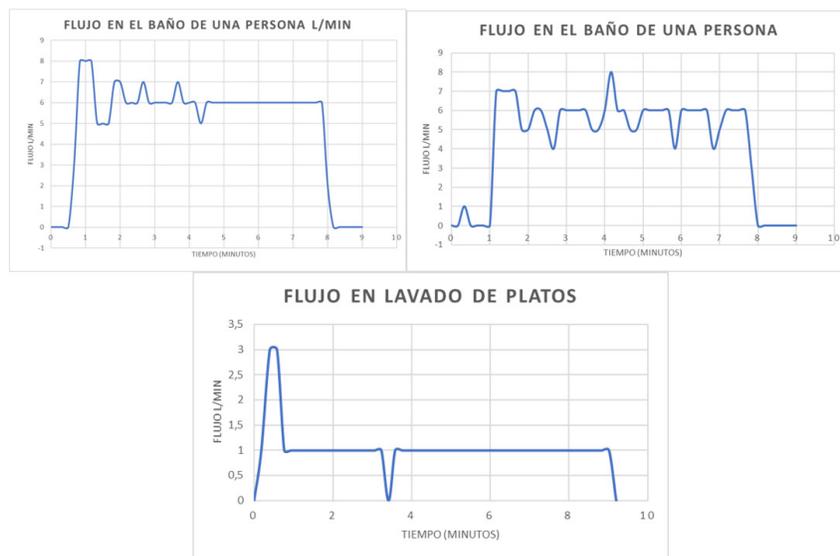
Figura 14. Toma de datos de agua al bañarse una persona

En la [Figura 15](#) se muestra el sistema instalado en la ducha, que requirió la utilización de distintos acoples, similar al procedimiento aplicado en el resto de las pruebas. Este montaje se configuró para permitir la medición precisa del flujo de agua durante las actividades a analizar.



**Figura 15.** Sistema implementado

En las pruebas realizadas se generaron las representaciones gráficas que se muestran en la [Figura 16](#), correspondientes a la relación entre el flujo y el tiempo de cada actividad. Es importante destacar que en cada caso se observan variaciones significativas, representadas por picos y valles en el flujo proveniente del grifo. Estos patrones de fluctuación en el flujo de agua reflejan momentos específicos de cada actividad, proporcionando una visión detallada de la dinámica del consumo de agua en el transcurso de las acciones diarias. Las diferencias entre las [Figuras 16a](#) y [16b](#) sugieren que puede existir una utilización simultánea de agua en el hogar, que genera fluctuaciones en las señales obtenidas y se traduce en picos y valles.



**Figura 16.** Gráficas de flujo de agua por minuto

En la [Figura 17](#) se observa la representación del consumo en función del tiempo, destacando los resultados obtenidos durante las pruebas principales. Las mediciones se hicieron en litros por segundo. Posteriormente, este valor se multiplicó por 10, considerando el intervalo de envío de datos (cada 10 s), lo que permitió acumular el consumo a lo largo del tiempo. Las [Figuras 17a](#), [17b](#) y [17c](#) muestran las tendencias de uso individual, que se reflejan como la pendiente en los parámetros de cada recta.

El cálculo hecho para obtener la gráfica pone de manifiesto que la pendiente corresponde al promedio de los datos de flujo y permite realizar aproximaciones lineales que respondan al uso del agua por parte de cada usuario en una futura caracterización.



**Figura 17.** Gráficas de consumo por minuto por usuario

La [Tabla 2](#) muestra los resultados obtenidos en las distintas pruebas realizadas por dos usuarios. Esta Tabla presenta información detallada sobre cada actividad, incluyendo el tiempo empleado en segundos, el flujo promedio medido en litros por minuto, el consumo total de agua en litros y el valor estimado en un recibo de acueducto para cada actividad. El costo estimado se basa en el valor previamente mencionado (7.4 pesos colombianos por litro de agua). Estos datos proporcionan una comprensión precisa del uso de agua en cada actividad estudiada, permitiendo una evaluación cuantitativa del consumo y su posible impacto en el costo del servicio de acueducto.

**Tabla 2.** Pruebas realizadas

Usuario	Actividad	Tiempo empleado (s)	Flujo promedio (L/min)	Consumo total (L)	Valor (COP\$)
Usuario 1	Ducha	540	6	54	399.6
Usuario 2	Ducha	490	5.7	46.55	344.47
Usuario 1	Lavado de dientes	92	1	1.53	11.475
Usuario 2	Lavado de dientes	120	1.3	2.6	19.5
Usuario 1	Lavado de platos	552	1.02	9.384	70.38

## DISCUSIÓN

Los datos recopilados brindan una perspectiva detallada del consumo personal durante las actividades cotidianas en el hogar. Se destaca que el consumo para estas actividades se aproxima a los 55.2 L, lo que implica un costo estimado de 418 pesos colombianos. Además, se evidencia una variabilidad en los patrones de consumo de los diferentes usuarios, sugiriendo la influencia de hábitos individuales en la utilización del recurso hídrico. Estos resultados enfatizan la importancia de comprender y controlar el consumo de agua en su utilización diaria, promoviendo la conciencia sobre la gestión sostenible del agua en los hogares. La tecnología aplicada en este proyecto proporciona una medición precisa y detallada del consumo, otorgando a los usuarios la capacidad de tomar decisiones fundamentadas para un uso más eficiente del recurso.

Este enfoque representa una oportunidad significativa para el futuro de los hogares y los edificios inteligentes. El proyecto se destaca por permitir la adquisición detallada de datos, una capacidad que difiere notablemente de la información brindada por los medidores de agua convencionales o los recibos de pago habituales.

La capacidad de obtener datos específicos y detallados sobre el consumo de agua en actividades cotidianas del hogar es esencial para avanzar hacia la domótica y los hogares inteligentes. Este enfoque facultará a los usuarios para tomar decisiones informadas acerca del consumo de agua, promoviendo mayor control y eficiencia. Más allá de ofrecer una visión más precisa del consumo real, este proyecto cultiva una mentalidad consciente sobre el uso sostenible del agua en entornos domésticos. Estos avances representan un paso relevante hacia la creación de comunidades más conscientes y responsables con los recursos hídricos, lo cual es fundamental para un futuro más sostenible.

## CONCLUSIONES

Se creó un sistema que permite proporcionar a los usuarios una visión clara de su consumo de agua, pudiendo identificar áreas donde pueden mejorar la eficiencia y reducir el desperdicio. Esto, en aras de fomentar la conciencia sobre el uso responsable del agua y contribuir a la conservación de este valioso recurso.

Se ha identificado que los sistemas que suministran recursos en el hogar no permiten monitorear el gasto realizado por cada usuario en distintos lugares de la vivienda. La aplicación desarrollada permite capturar la información de los sensores, almacenarla y transmitirla para su monitoreo mediante sistemas digitales. Adicionalmente, permite el procesamiento y el análisis de información para la toma de decisiones.

Los sensores de flujo son ampliamente utilizados en el sector agropecuario, pero tienen un gran potencial en los hogares y los edificios inteligentes, lo cual representa una oportunidad de integración para el futuro.

Como trabajo futuro, se plantea la implementación de alarmas de consumo respaldadas por inteligencia artificial, lo que permitirá cuantificar y analizar el uso de dispositivos según su ubicación y función en el hogar. Este enfoque simplificará la comunicación entre el usuario y sus dispositivos. Asimismo, se buscará la adopción de dispositivos embebidos con mayor capacidad computacional que el ESP32, posibilitando la integración de una gama más amplia de sensores para mejorar la experiencia del usuario. Estas expansiones tecnológicas allanan el camino para una mayor eficiencia y funcionalidad en el monitoreo y control de los dispositivos del hogar.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue desarrollado dentro del Semillero SIVICO de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Militar Nueva Granada.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

**Jorge-Esteban Fonseca-Revelo:** *software*, investigación, visualización, escritura-borrador original.

**Juan-Camilo Fonseca-Revelo:** validación, curación de datos, recursos.

**Alexander Cerón-Correa:** conceptualización, investigación, supervisión, metodología, escritura-revisión y edición.

## REFERENCIAS

- Adu-Manu, K. S., Tapparello, C., Heinzelman, W., Katsriku, F. A., Abdulai, J. (2017). Water quality monitoring using wireless sensor networks. *ACM Transactions on Sensor Networks*, 13(1), 1-41. <https://doi.org/10.1145/3005719>
- Ajitha, A., Akhilesh, G., Rajkumar, T., Radhika, S., Goel, S. (2024). Design and implementation of smart home energy management system for Indian residential sector. *Energy Conversion and Management*, 307, e118369. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118369>
- Al-Ali, A. R., Zualkernan, I. A., Rashid, M., Gupta, R., Alikarar, M. A. N. (2017). A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 63(4), 426-434. <https://doi.org/10.1109/tce.2017.015014>
- Arango Serna, M. D., Campuzano Zapata, L. F., Zapata Cortés, J. A. (2015). Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(27), 221-234.
- Babiuch, M., Foltýnek, P., Smutný, P. (2019). *Using the ESP32 microcontroller for data processing* [Artículo de conferencia]. 20th International Carpathian Control Conference (ICCC), Krakow-Wieliczka, Polonia. <https://doi.org/10.1109/carpathiancc.2019.8765944>
- Cui, H., Li, G. (2018). *Design and implementation of intelligent building engineering information management system* [Artículo de conferencia]. International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems (ICVRIS), Hunan, China. <https://doi.org/10.1109/ICVRIS.2018.00124>
- Djalilov, A., Nazarov, O., Sobirov, E., Tasheva, U., Abdunabiyev, J., Urolov, S. (2023). Research of water flow measuring device based on Arduino platform. *E3S Web of Conferences*, 401, e04039. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340104039>
- Domb, M. (2019). Smart home systems based on Internet of Things. En Y. Ismail (Ed.), *Internet of Things (IoT) for Automated and Smart Applications* (cap. 65877). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.84894>
- dos Santos, P. S. M., Beltrão, A. C., de Souza, B. P., Travassos, G. H. (2018). On the benefits and challenges of using kanban in software engineering: A structured synthesis study. *Journal of Software Engineering Research and Development*, 6, e13. <https://doi.org/10.1186/s40411-018-0057-1>
- Gaete, J., Villarroe, R., Figueroa, I., Cornide-Reyes, H., Muñoz, R. (2021). Enfoque de aplicación ágil con Serum, Lean y Kanban. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 29(1), 141-157. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000100141>
- Gil-Vera, V. D., Gil-Vera, J. C., Gomes-Da-Silva, C. R., Teutsch, J. (2019). Frameworks para el desarrollo de prototipos WEB: un caso de aplicación. *Lámpsakos*, 1(20), 40-53. <https://doi.org/10.21501/21454086.2065>

- Heav, T., Sorn, D., Tiv, D., Khon, K. (2024). *Hardware design and implementation of smart energy monitoring device for smart home* [Artículo de conferencia]. 1st International Conference on Robotics, Engineering, Science, and Technology (RESTCON), Pattaya, Tailandia. <https://doi.org/10.1109/RESTCON60981.2024.10463555>
- Khan, N., Ghani, S., Haider, S. (2018). Análisis en tiempo real de los datos de un sensor para la toma de decisiones automatizada en una casa inteligente basada en IoT. *Sensors*, 18(6), e1711. <https://doi.org/10.3390/s18061711>
- Lalnunthari, J., Thanga, H. H. (2017). *Dependence of Hall effect flow sensor frequency on the attached inlet and outlet pipe size* [Artículo de conferencia]. IEEE International Conference on Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia), Bengaluru, India. <https://doi.org/10.1109/ICCE-ASIA.2017.8307842>
- Li, B., Wang, C., Chen, J. (2020). A frequency-correcting method for a vortex flow sensor signal based on a central tendency. *Sensors*, 20(18), e5379. <https://doi.org/10.3390/s20185379>
- Liu, Z., Gong, S., Tan, Z., Demian, P. (2023). Immersive technologies-driven building information modeling (BIM) in the context of Metaverse. *Buildings*, 13(6), e1559. <https://doi.org/10.3390/buildings13061559>
- Páez, J. A. P., Cortes, J. A., Simanca, F., Blanco, F. (2021). Aplicación de UML y SCRUM al desarrollo del software sobre control de acceso. *Información Tecnológica*, 32(5), 57-66. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642021000500057>
- Park, L., Lee, S., Chang, H. (2018). A sustainable home energy prosumer-chain methodology with energy tags over the blockchain. *Sustainability*, 10(3), e658. <https://doi.org/10.3390/su10030658>
- Salih, N. A. J., Hasan, I. J., Abdulkhaleq, N. I. (2019). Design and implementation of a smart monitoring system for water quality of fish farms. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 14(1), 44-50. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v14.i1.pp44-50>
- Satoto, K. I., Isnanto, R. R., Kridalukmanam, R., Martono, K. T. (2016). *Optimizing MySQL database system on information systems research, publications and community service* [Artículo de conferencia]. 3rd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), Semarang, Indonesia. <https://doi.org/10.1109/ICITACEE.2016.7892476>
- Stergiou, C., Psannis, K. E., Kim, B. G., Gupta, B. (2018) Secure integration of IoT and cloud computing. *Future Generation Computer Systems*, 78, 964-975. <https://doi.org/10.1016/j.future.2016.11.031>
- Sun, Y., Li, S. (2021). A systematic review of the research framework and evolution of smart homes based on the Internet of Things. *Telecommunication Systems*, 77(3), 597-623. <https://doi.org/10.1007/s11235-021-00787-w>

