

IoT aplicado al consumo de agua en un centro público de investigación

José Luis Romero Vázquez¹, Yazmin Guadalupe Cleto², Irwin A. Díaz Díaz³, Braulio Gutiérrez Medina⁴

¹ Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ciencias, Av. Parque Chapultepec No. 1570, Privadas del Pedregal, C.P. 78295 San Luis Potosí, S.L.P., México, A311869@alumnos.uaslp.mx

² Universidad José Vasconcelos, Cl. Iturbide No.415, Residencial Pavón, C.P. 78430, Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P., 13568@unijv.edu.mx

³ División de Control y Sistemas Dinámicos, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), Camino a la Presa San José 2055, Col. Lomas 4ta Sección, C.P. 78216, San Luis Potosí, S.L.P., irwin.diaz@ipicyt.edu.mx

⁴ División de Materiales Avanzados, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), Camino a la Presa San José 2055, Col. Lomas 4ta Sección, C.P. 78216, San Luis Potosí, S.L.P., bgutierrez@ipicyt.edu.mx

Resumen

El consumo adecuado de los recursos naturales, como el agua, puede ser una herramienta poderosa para promover la sustentabilidad en los edificios públicos, escuelas y universidades. Hacer un uso racional del agua permite apoyar la innovación tecnológica y de comportamiento para equilibrar las actividades humanas con la naturaleza. En este trabajo se presenta el desarrollo de un instrumento para medir el consumo de agua basado en el internet de las cosas (IoT). El instrumento está conformado por un sensor de flujo, un microcontrolador para enviar los datos a una base de datos y ser salvaguardados. Los datos almacenados se pueden acceder mediante una página web, en donde el usuario tiene la opción de seleccionar el desplegado por hora y fecha. El sistema fue probado en el laboratorio y en la actualidad se encuentra instalado. Las ventajas del sistema propuesto son: arquitectura abierta, fácil implementación, bajo consumo de potencia y costo. Los datos adquiridos se analizarán para estudiar los hábitos de consumo y uso de agua potable en un centro público de investigación.

Palabras clave— Internet de las cosas, consumo de agua, base de datos, sustentabilidad.

Abstract

Properly consuming natural resources, such as water, can be a powerful tool to promote sustainability in public buildings, schools, and universities. Making rational use of water allows supporting technological and behavioral innovation to balance human activities with nature. This work presents the development of an instrument to measure water consumption based on the Internet of Things (IoT). The instrument comprises a flow sensor and a microcontroller to send the data to a database and be safeguarded. The stored data can be accessed through a web page, where the user can select the display by time and date. The system was tested in the laboratory and is currently installed. The advantages of the proposed system are open architecture, easy implementation, low power consumption, and cost. The data acquired will be analyzed to study the potable water consumption and use habits in a public research center.

Key words— Internet of things, water consumption, database, sustainability

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia, el agua ha sido un recurso esencial para el crecimiento y desarrollo de las poblaciones. Sin embargo, aproximadamente el 97.5% del agua en el planeta es salada y el 2.5% es agua dulce. Solamente el 0.3% del agua, contenida en ríos y lagos, es de fácil acceso para los seres humanos [1]. Las Naciones Unidas estiman que en los años 80 del siglo pasado el uso mundial del agua aumentó alrededor de un 1% anual; para el 2050 se estima un aumento del 30% [2]. De acuerdo con las proyecciones, el incremento de la demanda será debido a los sectores residencial e industrial. La pérdida de agua en los sistemas de suministro es uno de los factores críticos que afectan la eficiencia de la red de distribución del agua [3], [4]. A escala mundial, está perdida es casi del 50%. Frecuentemente, estas pérdidas se originan por el deterioro de la infraestructura, procedimientos de facturación inadecuados, medición errónea y uso ilegal.

La conservación del agua implica, tanto la cantidad de agua utilizada como la conveniencia de la calidad del agua para el uso previsto, por ejemplo, el agua de descarga en los inodoros.

Por lo tanto, la preservación de los recursos hídricos contribuye al desarrollo sostenible minimizando la degradación ambiental [1].

México enfrenta importantes desafíos para brindar servicios de agua a la población. Los problemas técnicos, institucionales y económico-financieros que presentan los proveedores de agua potable del país se traducen en un suministro insuficiente, irregular y de baja calidad [5]. La Comisión Nacional del Agua estima que un 95.3% de la población tiene acceso a agua entubada [6]. Sin embargo, solamente el 52% recibe agua todos los días, ya sea de manera continua o interrumpida.

Por otro lado, durante el proceso de análisis de la demanda y la gestión del agua para determinar el consumo de agua por usuario en edificios no residenciales (públicos) sigue siendo una cuestión complicada para las y los ingenieros y diseñadores. La estimación de agua en unidades residenciales es trivial comparada con la de los edificios públicos, ya que es complicado conocer el número de personas que entran al edificio cada día. Es importante conocer/medir el patrón de consumo de agua para evaluar el desempeño del edificio y pronosticar la viabilidad de posibles medidas de mejora. Sin

embargo, muchas veces esta información no está disponible. Debido al tamaño, el número de personas y la diversidad de actividades desarrolladas, el consumo de agua y energía en las escuelas y universidades pueden compararse con el de una ciudad pequeña. La falta de una gestión adecuada de estos consumos tiene grandes impactos socioeconómicos en las ciudades donde se ubican las universidades, especialmente en las más pequeñas [7]. Considerando el alto consumo y la variación, es necesario utilizar estrategias para reducir el consumo de agua y energía. El número de universidades está creciendo exponencialmente en todo el mundo para satisfacer la creciente demanda derivada del crecimiento demográfico y el aumento de personas que buscan un título en educación superior. En este contexto y como resultado de la conciencia de cómo impactan las universidades en el medio ambiente, implementar medidas de sostenibilidad se ha convertido en un tema de preocupación global para los centros de enseñanza.

Los medidores de agua actuales enfrentan desafíos como la falta de conectividad remota, altos costos de inversión inicial y baja precisión. En la literatura podemos encontrar algunas propuestas para realizar el monitoreo de agua. En [8] se presenta una metodología para caracterizar patrones de consumo de agua y energía en edificios a partir de la evaluación de las características de los equipos, así como el tipo de usuarios y las actividades desarrolladas. Los resultados presentados se obtienen mediante encuestas, levantamiento en físico de la cantidad de baños y realizando estimaciones. En [9] se presenta un sistema inalámbrico inteligente de medición de energía y agua, diseñado para reemplazar los medidores mecánicos de agua y los medidores digitales convencionales de energía. El sistema genera estadísticas de consumo en tiempo real, tiene la flexibilidad de encendido y apagado remoto. También se ha realizado el análisis de los datos de consumo de agua para dividir la población de acuerdo con las similitudes y diferencias de consumo. En [10] se utilizan datos del sistema BEACON Advanced Metering Analytics (AMA) de Badger Meter, Inc. Esta base de datos contiene información de cientos de servicios públicos, mantiene registros históricos de medidores con detalles del equipo, flujo medido, marcas de tiempo e información de estado durante la vida útil del medidor. Los autores de [11] proponen un sistema de lectura inalámbrico usando un relé multinivel y un concentrador basado en comunicación LoRa (del inglés, long range). La transmisión remota de datos la realiza el concentrador a través del canal GPRS (del inglés, General Packet Radio Service). El sistema desarrollado presenta un alcance de hasta 7 m para la transmisión. Desafortunadamente, los datos no se envían a través de internet, limitando el alcance de la información. Debido a lo mencionado, es necesario monitorear el consumo de agua en las instituciones de educación para analizar los patrones de consumo, comprender la dinámica en pequeñas poblaciones y optimizar los hábitos que generan desperdicios o una mala gestión de este recurso. Lo anterior motiva a desarrollar un instrumento para obtener el consumo y establecer políticas para la sustentabilidad de la institución. Contar con los datos del consumo de agua y analizarlos tiene varios beneficios, tales como: i) aplicar políticas para mejorar la instalación

hidráulica ii) implementar un programa de detección y control de fugas y iii) permitirá, en un siguiente paso, cuantificar el consumo por edificio y persona. Desafortunadamente, la institución carecer de las medidas mencionadas. Al cuantificar el consumo se podrá ver un avance en los resultados de las políticas para el cuidado del recurso natural, mejorar las instalaciones de distribución de agua, así como estimar el consumo por persona para poder determinar si se hace un uso racional o no del vital líquido. Por otro lado, se puede detectar el uso indebido del agua, así como establecer alarmas de consumo. Debido a lo anterior, en este trabajo se presenta el desarrollo de un instrumento basado en internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés). El instrumento usa un sensor comercial y mediante un microcontrolador se envían los datos a una base datos en un sitio web. La información salvaguardada se puede procesar para reconocer el patrón de consumo en uno de los edificios de la institución. Los patrones de consumo sirven como base para hacer análisis adicional y modelar, permitiendo realizar la categorización, agrupación y previsión. Por ejemplo, un patrón se puede utilizar para identificar diferentes tipos de patrones de uso, como uso máximo o mínimo, para optimizar los sistemas del edificio y reducir el consumo de agua. Además, se pueden identificar o detectar fugas, evitando el desperdicio. El resto del artículo está organizado de la siguiente manera. La Sección II describe los tipos de sensores de flujo, así como la metodología realizada para desarrollar el instrumento. La Sección III presenta los resultados de las pruebas de campo del instrumento. Por último, la Sección IV presenta las conclusiones de este trabajo.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Un medidor de agua es vital para gestionar los sistemas de suministro de agua, permite estimar el agua entregada por el proveedor del servicio al usuario. En general, los medidores de agua se pueden clasificar en tres tipos: electrónico, electromecánico y mecánico. En la Tabla I se describen brevemente los beneficios y limitaciones de los tres tipos convencionales de medidores de agua.

TABLA I
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE MEDIDORES DE AGUA [12]

| Tipo de medidor | Fortaleza | Debilidad |
|-----------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mecánico | Bajo costo y complejidad, alta confiabilidad | Los bajos caudales provocan un rango de medición limitado, una precisión reducida y escasez de datos en tiempo real. |
| Electromecánico | Datos en tiempo real | Estabilidad reducida, requiere protecciones extras debido a los componentes electrónicos. |
| Electrónico | Datos en tiempo real con excelente precisión. | Requiere energizarse y protecciones adicionales para los componentes electrónicos. |

Se selecciona un medidor electrónico para la aplicación. Sin embargo, se requiere conocer el consumo de agua en el edificio para poder seleccionar el sensor. Una manera de estimar el

consumo de agua podría ser utilizando la propuesta presentada en [1], [8]. La estimación se hace promediando los últimos diez años de las personas que asisten a la universidad. Sin embargo, para la aplicación en puerta, la cafetería se ubica en el edificio donde se realizarán las mediciones, complicando la estimación del número de personas. Por lo tanto, se contabiliza el número de inodoros, mingitorios y lavamanos con los que cuenta el edificio, se realizan mediciones de caudal, la duración de la descarga, así como la estimación de la descarga de acuerdo con el inodoro o mingitorio. La Tabla II muestra los resultados de las mediciones de consumo y caudal en los sanitarios. Como se puede apreciar, el consumo varía entre los baños, esto se debe al tipo de dispositivo que se tiene, así como la calibración y tiempo de uso. Pensando en que todos los dispositivos se activaran al mismo tiempo se tendría un caudal de 4.41 L/s. Sin embargo, en la misma tubería del edificio está conectado el sistema de riego de áreas verdes. El consumo de áreas verdes se estima realizando 10 pruebas con una duración de un minuto en la tubería del sistema de riego para conocer el valor promedio de consumo dando en promedio 0.33 L/s. Debido a lo anterior se requiere un sensor con un caudal de 5 L/s.

TABLA II
CONSUMO Y CAUDAL PARA BAÑOS DE HOMBRES Y MUJERES

| Servicio | Cantidad | Consumo por unidad (L) | Consumo total (L) | Caudal (L/s) | Duración aproximada (s) |
|-------------|----------|------------------------|-------------------|--------------|-------------------------|
| Hombres | | | | | |
| Lavamanos | 18 | 0.211 | 3.8 | 0.67 | 2 |
| Inodoro | 9 | 3.8 | 34.2 | 1 | 4 |
| Mingitorios | 9 | 1 | 9 | 1 | 2 |
| Mujeres | | | | | |
| Lavamanos | 18 | 0.155 | 3.1 | 0.54 | 2 |
| Inodoro | 14 | 4.5 | 64.2 | 1.2 | 3 |

Una vez definidas las características del sensor se procede a las características del sistema basado en IoT. La Fig. 1 muestra el bosquejo del sistema propuesto. El sistema está conformado, principalmente, por cuatro etapas: i) adquisición, ii) envío y almacenamiento de datos, iii) consulta y desplegado y iv) análisis de la información.

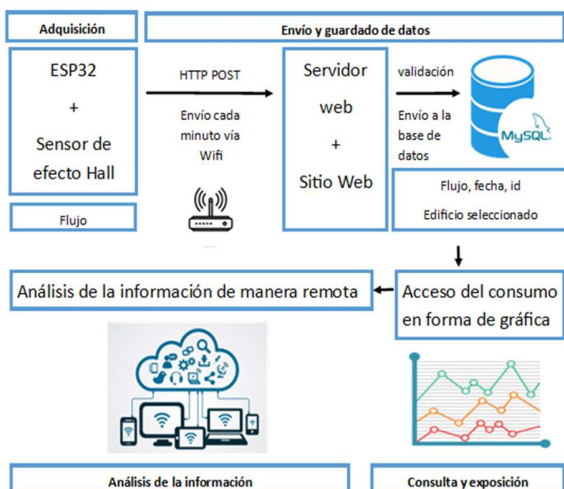


Fig. 1. Proceso de recopilación, envío y desplegado de datos.

A. Adquisición

Se elige la tarjeta de desarrollo ESP32 basada en el procesador SoC (System on Chip) ESP32-WROOM-32D. Las razones son facilidad para comunicarse con otros módulos, el bajo costo y el consumo de energía. Además, cuenta con un módulo WiFi integrado, compatible con los protocolos TCP/IP que permiten enlazar la etapa de adquisición con el envío y almacenamiento de los datos en un rango de 150 metros aproximadamente bajo el protocolo IEEE802.11.

Respecto al sensor de flujo, se selecciona uno de contacto con principio de funcionamiento basado en la velocidad del líquido. Por lo tanto, se opta por un sensor de efecto Hall con una relación significativa entre la tasa de recuento de pulsos y la tasa de cambio en el volumen diferencial. El sensor de efecto Hall está compuesto por un pequeño molinete de 5 aspas que contienen material magnético en su interior. Al girar las aspas generan una serie de pulsos proporcionales al flujo en un determinado lapso. En momento es necesario mencionar que, en dinámica de fluidos, el caudal es la cantidad de fluido que circula por una sección, (tubería en la aplicación) por unidad de tiempo. Por otra parte, el flujo es el movimiento de materia (líquido, gas o sólido) a través de un sistema abierto [13].

El sensor requiere ser energizado con 5 V para funcionar. Debido a la diferencia del voltaje de operación entre el sensor y la tarjeta de desarrollo se utiliza un convertidor de nivel lógico para obtener una salida de 3.3V. Determinar el caudal El caudal medido se determina mediante (1):

$$C = \frac{F}{k} \tag{1}$$

donde C es el caudal en L/s, k es el factor de conversión y F la frecuencia.

Las mediciones se adquieren cada segundo, por lo que el consumo en m3 se obtiene con (2):

$$V = \frac{C}{60} \tag{2}$$

Se adquieren datos durante un minuto, se promedian y envían a la base de datos. Cabe mencionar que flujos lentos generan un error mayor al 10%, debido a que no alcanza a mover el molinete del sensor para producir pulsos constantes.

B. Envío y Almacenamiento de Datos

Los datos de las mediciones por minuto se envían vía WiFi a la base de datos en MySQL en el servidor web. Con la finalidad de evitar la pérdida de datos por fallas en la transmisión o interferencias externas, se guardan en formato .TXT en una memoria microSD y se envían a la nube.

Cabe mencionar que se realizaron adecuaciones en el tiempo de lectura para poder compensar el tiempo de retardo producido por la comunicación con el servidor por medio de WiFi, minimizando el tiempo de cada lectura en proporción al número de intentos que realizaba el microcontrolador para conectarse.

C. *Consulta y Desplegado*

Se definieron los requerimientos funcionales para la exposición de los datos y lograr una experiencia práctica y sencilla para el usuario.

Inicio de sesión: Las personas deben registrarse en el sistema para poder ingresar con sus datos al iniciar sesión, de esta manera se protege la información expuesta.

Uso y manipulación de los datos para su análisis: Una vez que los usuarios acceden a la visualización de los datos se habilita una opción para descargar la información en un formato que facilite el análisis y manipulación de los datos.

Los requerimientos no funcionales, como el rendimiento o seguridad se consideran:

Rendimiento: La página web debe monitorear y presentar en tiempo real los datos obtenidos del sensor. Un aspecto por considerar es el rendimiento de la aplicación, debe ser optima y con tiempos de espera cortos.

Adaptabilidad: Se pretende que los usuarios puedan acceder desde cualquier dispositivo, ya sea un teléfono inteligente, tableta o computadora. La aplicación web debe adaptarse a las dimensiones de los dispositivos para que evitar incomodar o desconcertar al usuario al navegar.

Disponibilidad: Es necesario considerar la disponibilidad en la aplicación web a desarrollar. Los usuarios tendrán acceso a la interfaz gráfica cualquier día y hora del año.

Seguridad: La aplicación web está orientada a que los usuarios dados de alta puedan acceder a la información y busca garantizar que ninguna persona no autorizada pueda acceder a esta.

La página web se diseña con los requerimientos funcionales y no funcionales mencionados. Cuando la información del consumo asociado con la fecha y hora registradas se encuentran en la base de datos se realiza una consulta por medio del método GET para poder definir el lapso de búsqueda de la información. El usuario tiene a su alcance un botón tipo calendario en donde puede definir, tanto la fecha, como la hora en un intervalo de tiempo (ver Fig. 2).

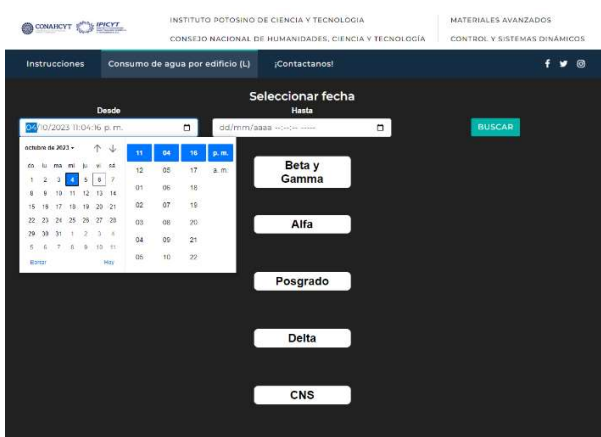


Fig. 2. Impresión de pantalla con la selección de fecha.

La página web utiliza tanto código PHP, para realizar la consulta, como JavaScript, para realizar funciones para

procesar datos, exportar a archivo .CSV y graficar. Además, se hace uso de HTML y CSS para hacer funcional y amena la vista de la página.

Principalmente el usuario navega en cada una de las pestañas de la página para ver la información de la última lectura hecha por el sensor en forma de una gráfica de líneas, esto con la finalidad de ahorrar recursos al momento de mostrar los datos y permitir una visualización dinámica.

El sistema se diseñó de tal manera que sólo miembros de la comunidad pudieran acceder a su contenido por lo que se agregó una página de registro y acceso por contraseña para proteger los datos. En la Fig. 3 se muestra la pantalla de inicio de sesión.

D. *Análisis de la Información*

Debajo de cada gráfica se presentan datos estadísticos, tales como el promedio, la lectura máxima, el momento en que se registró la lectura máxima y la cantidad de datos recopilados en el lapso. Además, se agregó la estadística global con la información mostrada en una gráfica de barras y de pastel donde se puede apreciar el edificio con mayor y el porcentaje aportado al total del consumo. Otra métrica por considerar es el consumo medio diario de agua (ADC por sus siglas en inglés) dado en m³/día y se calcula con:

$$ADC = \frac{Q}{N} \tag{3}$$

donde Q es el consumo total de agua en m³ y N es el número de días en el período estudiado.

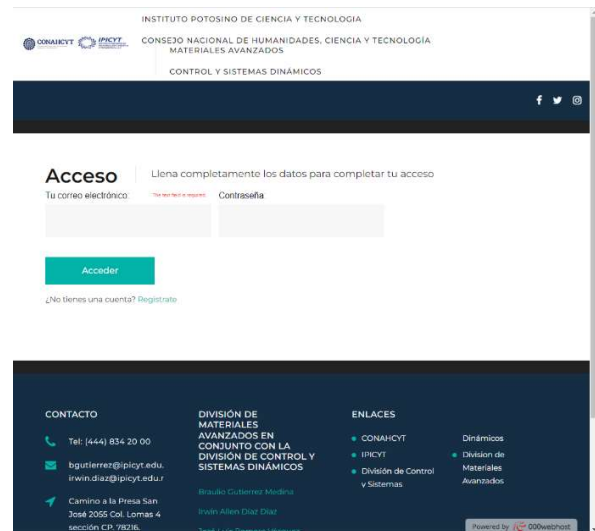


Fig. 3. Pantalla de inicio.

La métrica de la Ec. (3) se ha utilizado en estudios realizados sobre el consumo de agua en edificios, permite comparar el consumo obtenido con otros edificios o estudios realizados.

III. RESULTADOS

Antes de instalar el sensor en la tubería se realiza una caracterización sencilla en el laboratorio. Desafortunadamente, se carece de un medidor de flujo en el Instituto. Por lo tanto, se proponer una caracterización para estimar la veracidad de las

mediciones. La caracterización consiste en hacer pasar un flujo constante de 10 L/min de agua a través del sensor. La cantidad de agua que pasa por el sensor se almacena en una cubeta graduada. Después de un minuto se contabiliza la cantidad de pulsos recibidos y se determina si el valor medido coincide con la medición en la cubeta graduada. Posteriormente se realiza una medición variando el flujo de agua, la finalidad de la prueba es comprobar las variaciones frecuencia y si el ancho de pulso se mantiene o se altera durante las variaciones. Las mediciones de los pulsos generador por el molinete del sensor se realizan con un osciloscopio Tektronix TDS2022B. En la Fig. 4 se muestran los pulsos generados al variar el flujo de agua. Como se puede apreciar en la Fig. 4, al realizar variaciones de flujo equivalentes a la descarga de un inodoro, lavamanos o mingitorio el ancho de pulso se mantiene, pero la frecuencia cambia. Por lo tanto, el sensor es capaz de detectar las variaciones más pequeñas (ver Tabla II) producidas por en el sistema.

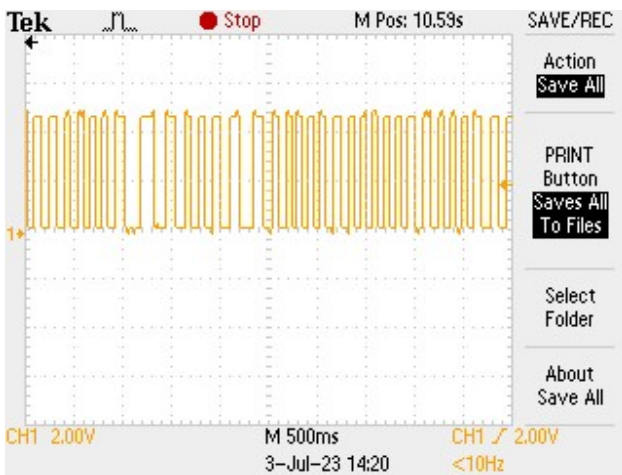


Fig. 4. Impresión de pantalla de los pulsos generados durante variaciones de flujo.

Una vez verificado el correcto funcionamiento del equipo de medición, se procede a instalar el sensor en la tubería principal de uno de los edificios del Instituto. Esta tubería suministra el agua al edificio y a la cisterna, por lo que se tienen consumos constantes en algunas ocasiones debido al llenado de la cisterna. Al realizar las primeras pruebas se detectó un problema durante la adquisición de datos, se tiene un error absoluto acumulado debido al tiempo, aproximadamente 1.2 s, que tardaban las lecturas en agregarse a la base de datos. El error se presentaba cuando el flujo era constante durante todo el día en la tubería, mientras se llena la cisterna. Revisando el error se obtuvo como media una pérdida de 100 ml/min, por lo tanto, en cada lectura se agrega esta cantidad para mejorar la certeza de los datos. En la Fig. 5 se muestra la impresión de pantalla del consumo durante un día en el edificio. A esta pantalla nada más tienen acceso las personas registradas, si la dirección URL se envía a otra persona no podrá acceder debido al que se requiere iniciar sesión. Como se puede apreciar en la Fig. 5, en la parte de inferior se muestra el total de litros consumidos, el consumo promedio por minuto, el valor máximo y la fecha en la que se registró. Los datos se pueden guardar como un archivo .CSV

para poderse graficar en diferentes programas, tales como Octave, Excel, Matlab, por mencionar algunos.

En la Fig. 6 se muestran los datos exportados y graficados en Matlab para poder realizar un post-análisis. Exportar los datos y procesarlos con fines de investigación es importante, porque permite realizar promedios, correlaciones, identificar patrones de consumo, así como predecir mediante técnicas de inteligencia artificial el consumo de agua de acuerdo a la época del año. Lo anterior permitirá establecer alarmas cuando se tengan un consumo anormal.

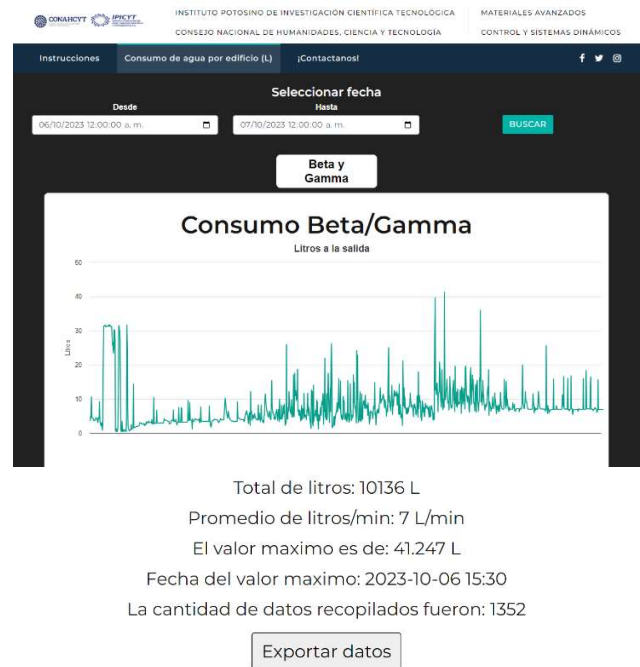


Fig. 5. Impresión de pantalla de la gráfica de consumo de agua en un día y valores de consumo.

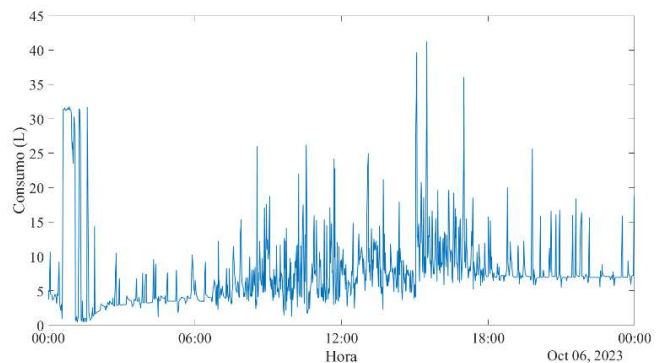


Fig. 6. Gráfica de consumo de agua en un día realizada en Matlab.

Por último, la opción consumo total, permitirá ver el consumo por edificio, visualizar en gráfica de pastel o de barras en orden descendente el consumo de cada uno de los edificios del Instituto. Al momento de la escritura de este trabajo no han llegado los materiales para colocar un sensor en cada edificio, por lo que el consumo de un edificio es el 100%. Sin embargo, la función se ha considerado y programado en la página web para en un futuro utilizarla. En la Fig. 7 se muestra un ejemplo de cómo aparecerá la ventana para mostrar el consumo por edificio.



Fig. 7. Despliegado de los datos en gráfica de pastel, mostrando el porcentaje que aporta cada edificio al consumo total y el lugar que ocupa de mayor a menor de acuerdo con ese consumo.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el desarrollo de un sistema basado en el internet de las cosas para determinar el consumo de agua en un edificio de un centro público de investigación. El sistema integrado es de arquitectura abierta, de bajo costo (aproximadamente USD60), instalación simple y permite monitorear con éxito el consumo de agua. Las mediciones realizadas en el laboratorio y en el edificio son confiables y permiten determinar consumos mínimos de aproximadamente de 0.54 L/s hasta máximos, de aproximadamente 10 L/min. El sistema desarrollado puede ser utilizado en aplicaciones de ciudades inteligentes. Además, el sistema de monitoreo puede ayudar a los usuarios a identificar y resolver consumos inusuales de agua. Como trabajo futuro se instalará el sistema implementado en cada uno de los edificios del Instituto. Los datos adquiridos servirán para determinar consumo de agua por persona en cada uno de los edificios. Lo anterior se puede realizar utilizando técnicas de inteligencia artificial y a su vez se podrían predecir patrones de consumo, detectar consumos anómalos entre otras cuestiones.

REFERENCIAS

- [1] L. C. C. da Silva, D. O. Filho, I. R. Silva, A. C. V. e Pinto, and P. N. Vaz, "Water sustainability potential in a university building – case study," *Sustainable Cities and Society*, vol. 47, p. 101489, 2019.
- [2] UNESCO. Accessed: Aug. 24, 2022. Leaving no One behind: The United Nations World Water Development Report 2019. [Online]. Available: <https://en.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2019>.
- [3] T. AL-Washali, S. Sharma, R. Lupoja, F. AL-Nozaily, M. Haidera, and M. Kennedy, "Assessment of water losses in distribution networks: Methods, applications, uncertainties and implications in intermittent supply," *Resour., Conservation Recycling*, vol. 152, Jan. 2020, Art. no. 104515, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104515.
- [4] H. Saghi and A. A. Aval, "Effective factors in causing leakage in water supply systems and urbanwater distribution networks," *Amer. J. Civil Eng.*, vol. 3, nos. 2–2, pp. 60–63, 2015, doi: 10.11648/j.ajce.s.2015030202.22.
- [5] J. A. Arriaga-Medina, A. G. Piedra-Miranda; Water consumption practices in university campuses. The experience of the National Autonomous University of Mexico. *Water Sci Technol* 1 September 2021; 84 (5): 1125–1135. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2021.306>

- [6] Comisión Nacional del Agua, 2018, Estadísticas del Agua en México. CONAGUA, México.
- [7] M. Ragazzi, F. Ghidini, Environmental sustainability of universities: critical analysis of a green ranking. *Energy Proc.*, 119 (2017), pp. 111-120.
- [8] A. P. Almeida, V. Sousa, and C. M. Silva, "Methodology for estimating energy and water consumption patterns in university buildings: case study, federal university of Roraima (ufr),” *Heliyon*, vol. 7, no. 12, p. e08642, 2021.
- [9] N. Sushma, H. N. Suresh, J. M. Lakshmi, P. N. Srinivasu, A. K. Bhoi and P. Barsocchi, "A Unified Metering System Deployed for Water and Energy Monitoring in Smart City," in *IEEE Access*, vol. 11, pp. 80429-80447, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3299825.
- [10] M. R. B. Malinowski and R. J. Povinelli, "Using Smart Meters to Learn Water Customer Behavior," in *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 69, no. 3, pp. 729-741, June 2022, doi: 10.1109/TEM.2020.2995529.
- [11] Y. Li, X. Yan, L. Zeng and H. Wu, "Research on water meter reading system based on LoRa communication," 2017 IEEE International Conference on Smart Grid and Smart Cities (ICSGSC), Singapore, 2017, pp. 248-251, doi: 10.1109/ICSGSC.2017.8038585.
- [12] N. Sushma, H. N. Suresh and J. M. Lakshmi, "Smart water flow meter for improved measurement of water usage in a smart city", *Proc. 2nd Int. Conf. Adv. Electr. Comput. Commun. Sustain. Technol. (ICAECT)*, pp. 1-6, Apr. 2022.
- [13] Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2018). *Fundamentals of thermodynamics* (8th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education