

Sistema de Medición de Consumo de Agua Utilizando IoT



Colaboración

Juan Pablo Martínez Vargas; Fernando Rodríguez Haro; Antonio Concha Sánchez; Juan Miguel González López; Ramón Octavio Jiménez Betancourt, Universidad de Colima

Fecha de recepción: 13 de marzo de 2024

Fecha de aceptación: 5 de junio de 2024

RESUMEN: Para fomentar un uso más racional del agua, se propone una herramienta innovadora que monitorea y controla el consumo en los hogares. Mediante un caudalímetro invasivo junto con una tarjeta especializada de Internet de las Cosas (IoT) de la marca Particle®, el consumo se monitorea continuamente y se publica en una interfaz web. La interfaz posee un menú de navegación donde el usuario ve el consumo junto con el costo, consumo por día, consumo bimestral, una factura impresa convencional, el pronóstico al final del bimestre, y recomendaciones. El sistema propuesto se prueba en una instalación base demostrando su aplicabilidad a condiciones reales.

PALABRAS CLAVE: Internet de las cosas; Recibo de agua; Consumo de agua; Medidor de agua; Interfaz web.

ABSTRACT: To promote a more rational use of water, an innovative tool is proposed that monitors and controls household consumption. By using an invasive flow meter in conjunction with a specialized Internet of Things (IoT) card from the Particle® brand, consumption is continuously monitored and published through a web interface. The interface features a navigation menu where users can view the consumption alongside cost, daily usage, bimonthly consumption, a conventional printed bill, end-of-billing-cycle forecasts, and recommendations. The proposed system is tested in a base installation, demonstrating its practicality under real-world conditions.

KEYWORDS: Internet of Things; Water bill; Water consumption; Water meter; Web interface.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales recursos para todos los seres vivos es el agua, y es que la mayor parte de todas las actividades que realiza el ser humano incluyen este recurso. Se cree que el ser humano bajo la dependencia del agua es consciente para un uso eficiente, pero la realidad es inconsciente del

daño que le está provocando a los ecosistemas por un uso desmedido de esta. Provocando a su vez, la escasez, y que cada año se va reflejando en el desabasto de agua. Por ello, la agenda 2030 de la ONU ha establecido como prioritario el Objetivo de Desarrollo Sostenible Numero 6 (ODS6) “garantizar el acceso al agua y al saneamiento para todos” [1].

Aun cuando el agua es bastante abundante en el planeta, solo el 1 % del agua dulce es obtenida fácilmente [2]. Por ello, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una cantidad aproximada de 20 litros al día (l/día) por habitante [3]. Sin embargo, esto es una condición ideal y es mayor ya sea por uso desmedido o por fugas.

En México, la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA), menciona que un servicio normal, registra 307.3 l/día [4], lo cual está muy por encima de lo recomendado por la OMS. Por otra parte, se ha encontrado que el abuso en el consumo de agua representa en promedio 573.5 l/día [5]. La escasez de agua es un problema creciente en los hogares y empresas.

Los medidores sólo registran los litros consumidos, y las facturas impresas no reflejan las pérdidas por fugas o goteos. La falta de indicadores sobre el uso del agua contribuye a que muchas personas no valoren su consumo.

El internet de las cosas (IoT del Inglés Internet of Things) se puede definir como “Una red abierta e integral de objetos inteligentes que tienen la capacidad de autoorganizarse, compartir información, datos y recursos, reaccionando y actuando ante situaciones y cambios en el entorno” [6].

Aunque en la actualidad existen dispositivos comerciales basados en IoT para medir el consumo de agua, su alto costo los hace inaccesibles del usuario promedio. Hace casi una década, la tecnología IoT se volvió accesible para todos debido a su bajo costo. Ahora es una alternativa confiable para sistemas de monitoreo y diversos autores han realizado contribuciones en este campo. Tal es el caso del prototipo propuesto por Coloma Avilés and Rodríguez Burbano [7], quienes en su proyecto doctoral presentó un prototipo inalámbrico capaz de monitorear de manera eficiente el consumo de agua potable. Utilizó la tarjeta TTGO TCall ESP32 SIM800L, para controlar y almacenar los datos y posteriormente ser vistos desde un servidor web. Por otra parte, en [8], se presenta un medidor de consumo de agua y energía eléctrica con IoT. Ahí se propuso el uso de la arquitectura IoT para llevar a cabo el control y medición de variables de consumo eléctrico y de agua para ser utilizado en una vivienda, local comercial u oficinas. Más recientemente, en [9], se

propone un sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua potable mediante arquitectura IoT y comunicación MQTT. El prototipo se realiza a través de la implementación de un controlador SBC y un sensor de flujo de agua para controlar y medir el consumo de agua en una vivienda, obteniendo como datos el consumo total, la fecha y hora. Román Flores [10], propuso un prototipo para monitorear el consumo eficiente de agua en una institución educativa. Utilizó el protocolo Xbee para la comunicación entre el hardware, con un módulo emisor y receptor, microcontrolador Arduino y sensor de flujo. También propuso un sistema web para procesar y visualizar datos.

El trabajo aquí presentado cobra importancia en su desarrollo para contribuir con un mecanismo de monitoreo del consumo de agua para que de esta manera el usuario tenga conciencia de cuánta agua consume durante sus actividades y así evitar el desperdicio de agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

La factura de agua emitida por los Servicios Públicos alrededor del mundo es un recibo impreso que indica los metros cúbicos (m³) de agua consumidos en un periodo mensual o bimestral, junto con el monto total a pagar y la tarifa aplicada. También se incluye el consumo histórico por bimestre durante un año y así el usuario pueda realizar una comparación entre periodos. A continuación, se presenta un análisis de cómo es facturada el agua y las tarifas para la Ciudad y Puerto de Manzanillo, Colima, México.

Tarifas. La Comisión de Agua Potable y Alcantarillado de Manzanillo (CAPDAM) se encarga de suministrar el servicio de agua. Al igual que en otras partes del mundo, las tarifas son con base al uso que se le dé. Cada tarifa tiene bloques de consumo [11]. Esto es, la tarifa está dividida en varios bloques siendo el primer bloque con un costo fijo para una cantidad de m³ de consumo. Las tarifas para Manzanillo son: Doméstico R, Doméstico A, Doméstico B, Condominio C, Comercial CA, Comercial CB e Industrial I. Estas tarifas fueron establecidas por decreto No. 321 en su Artículo 3 se pueden consultar los detalles en [12]. La Tabla 1 resume los rangos de consumo en m³ de cada bloque (rojo) y costos de cada tarifa en Unidades de Medida y Actualización (UMA).

Cabe destacar que el costo para el bloque B (en negrita) es fijo para todas las tarifas. A partir de ese volumen, el costo indicado es por cada m³ consumido. Como puede observarse, un consumo dentro del bloque Excedente, el agua tiene un alto costo para el usuario. Esto constituye un problema para el usuario ya que no se da cuenta en qué momento excedió el bloque B.

Tabla 1. Resumen de tarifas de CAPDAM.

Tarifa	Bloque					
	B ¹	IL ²	IM ³	IH ⁴	H ⁵	S ⁶
R	0→30 1.993	30→50 0.068	50→75 0.071	75→100 0.074	-	100→ 0.161
A	0→15 2.342	15→30 0.085	30→50 0.095	50→75 0.107	75→100 0.228	101→ 0.457
B	0→15 4.573	15→30 0.171	30→50 0.195	50→75 0.219	75→100 0.435	101→ 0.468
C	0→50 7.175	50→100 0.200	100→200 0.207	200→400 0.322	400→800 0.371	800→ 0.468
CA	0→25 6.470	25→50 0.289	50→75 0.323	75→125 0.382	-	125→ 0.503
CB	0→25 8.590	25→50 0.406	50→75 0.417	75→125 0.450	-	125→ 0.510
I	0→30 8.590	30→100 0.406	100→200 0.417	200→300 0.450	-	300→ 0.510

1 Básico, 2 Intermedio bajo, 3 Intermedio medio, 4 Intermedio alto, 5 Superior, 6 Excedente.

Fuente: Elaboración propia a partir de [12].

Cabe destacar que el costo para el bloque B (en negrita) es fijo para todas las tarifas. A partir de ese volumen, el costo indicado es por cada m³ consumido. Como puede observarse, un consumo dentro del bloque Excedente, el agua tiene un alto costo para el usuario. Esto constituye un problema para el usuario ya que no se da cuenta en qué momento excedió el bloque B.

Recibo oficial impreso. La imagen de la Figura 1 muestra un recibo impreso típico con la información más relevante [12]. Es importante remarcar que el recibo está disponible hasta la fecha de corte.

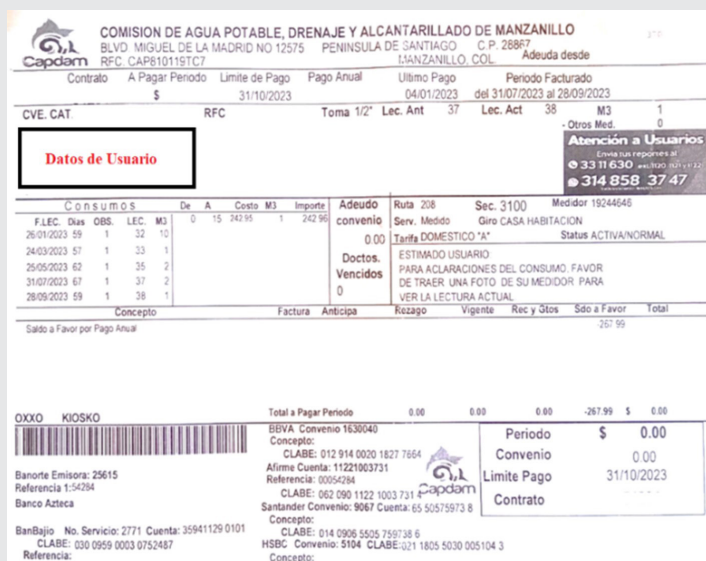


Figura 1. Muestra de recibo impreso de CAPDAM.

Fuente: Fotografía de recibo emitido por CAPDAM [12].

Como puede concluirse, el recibo impreso muestra información limitada por lo que no permitirá al usuario establecer medidas de ahorro o determinar si la instalación tiene una fuga.

La forma de diseñar la interfaz de medición para el recibo en tiempo real fue a través de revisar la información que brinda CAPDAM en el recibo impreso y cómo el usuario puede interpretarla para ahorrar agua.

Sistema de Medición. Para la medición del agua consumida, se propone el uso de un sistema intrusivo de diseño propio, compacto y de fácil instalación. El esquema de la Figura 2 muestra en que parte de la toma de agua se incorpora el sistema de medición.

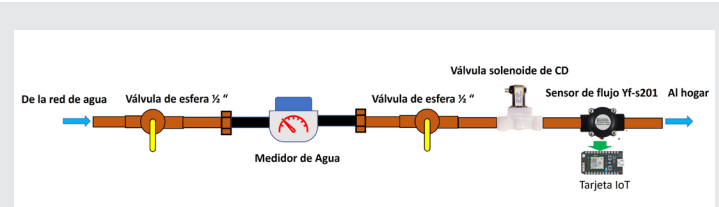


Figura 2. Esquema de sistema de medición propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

Se identifican tres componentes, el sensor de flujo, la tarjeta IoT y la válvula solenoide de CC. A continuación, se describen cada uno de ellos.

El sensor de flujo es el encargado de medir la cantidad de agua que atraviesa una tubería en un determinado tiempo. De acuerdo con lo establecido por la CONAGUA, en servicios domésticos, los diámetros habituales para el suministro son de 1/2", 3/4" y 1". Aquí se utiliza el de 1/2" y las características completas están disponibles en [13]. Al fluir el agua por el sensor, genera una señal pulsante de frecuencia dependiente del caudal Q y está dado por la Ecuación (1).

$$Q = \frac{f}{K} \frac{l}{min} \quad \text{Ec. (1)}$$

donde f , es la frecuencia en Hz y K es el factor de conversión de Hz a l/min y es dado por el fabricante del sensor y en este caso corresponde a 7.5. Es importante remarcar que el error en la medición reportada por el fabricante puede variar entre un +/-5 % del valor real, por lo que se recomienda que el parámetro K se ajuste de acuerdo con el lugar donde el sensor se instale. Considerado que un cierto volumen de agua pasa en un segundo, K puede determinarse a partir de la ecuación (1) esto es:

$$K = \frac{f}{60l} \quad \text{Ec. (2)}$$

La ecuación (2) es utilizada para calibración del sensor. La señal generada es procesada por la tarjeta IoT para luego desplegarse de forma local y/o remota.

Para cuantificar el consumo de agua, se utiliza la tarjeta Photon de Particle® [14]. Esta tarjeta cuenta con conexión directa a WiFi y permite publicar datos de mediciones utilizando el Backend de Particle que en la versión gratuita permite gestionar hasta 100 MB por mes con una latencia de un segundo.

La válvula solenoide de CC es un dispositivo de control de flujo que permite dar paso o cerrar el flujo un fluido, rosca de 1/2", se alimenta con 12 VDC. Cuando se aplica voltaje a las terminales, la válvula se abre y el fluido puede pasar a través de ella [15].

Los dispositivos previamente mencionados fueron integrados tal y como se muestra en la Figura 3. En este caso, la terminal Sig del sensor de caudal se conecta a la entrada digital D1 de la tarjeta Photon, mientras que la salida digital D5 es usada para controlar la válvula solenoide a través del relevador. El sistema de medición fue denominado Internet of Things Based Water Meter (IoTbWm).

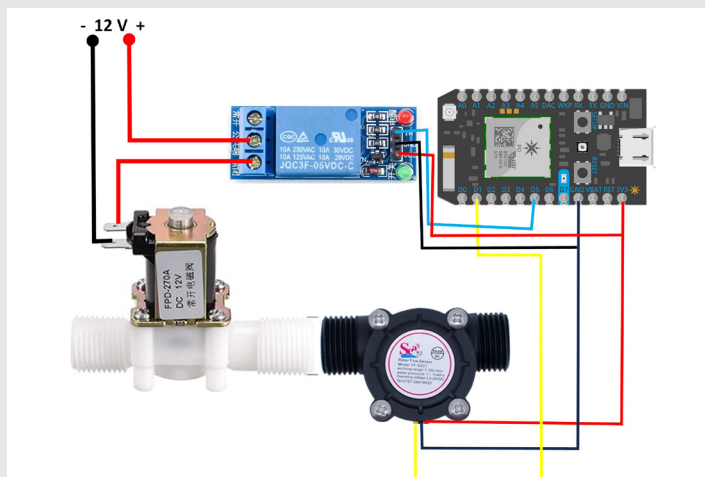


Figura 3. Medidor de consumo de agua IoTbWm.
Fuente: Elaboración propia.

El medidor fue integrado y acondicionado para ser instalado en un sistema de prueba de la Facultad de Ingeniería Electromecánica de la Universidad de Colima. La Figura 4 muestra el medidor y el sistema de prueba.

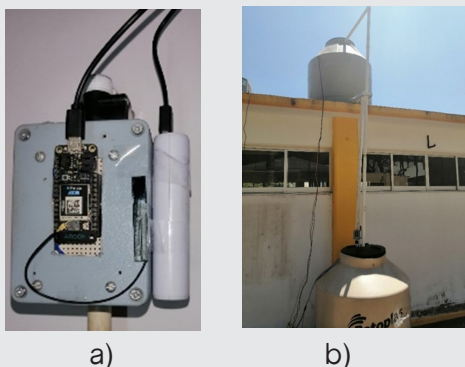


Figura 4. Sistema de prueba a) Medidor IoTbWm y b) sistema de prueba
Fuente: Elaboración propia.

El sistema de prueba (Figura 4b) comprende dos tinacos con una bomba en el tinaco inferior. Una bomba periférica, bombea agua del tinaco inferior al superior, y el medidor está instalado a la salida del tinaco superior y así permitir su descarga.

Se procedió a calibrar el medidor, para ello se reutilizó y se le hicieron modificaciones al código para Arduino® disponible en [16]. El código correspondiente puede ser consultado en [17] y básicamente extrae la frecuencia del sensor. El tinaco superior fue llenado y drenado a través del sensor hacia el tanque inferior. Se realizaron diversas pruebas con diversos volúmenes de agua y se registró la frecuencia de los pulsos del sensor. Con la Ecuación (2), se estableció un valor de $K = 6,63$. Una vez calibrado el medidor, se desarrolló el código para calcular Q y los litros totales consumidos, el código correspondiente está disponible en [18].

RESULTADOS

La idea principal es aprovechar en forma eficiente la medición que entrega el medidor IoTbWm. La propuesta está basada en el esquema mostrado en la Figura 5. La persona usuaria tiene acceso a una interfaz en donde el consumo es desplegado de diversas maneras y de esta forma fomentar el ahorro de agua.



Figura 5: Representación del esquema de monitoreo.
Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo una idea similar a la interfaz propuesta en Jimenez Betancourt et al. [19], se desarrolló una interfaz web que permite visualizar el consumo de agua de las personas usuarias. La interfaz esta desarrollada en html-css-js con librerías de cdnjs [20]. Consta de un menú con las secciones que se muestran en la captura de pantalla de la Figura 6a. La interfaz está disponible en [21]. A continuación, se describen con detalle cada una de las secciones.

Configuración: Aquí se pueden ingresar los datos básicos de la persona usuaria, seleccionar la tarifa la cual es acorde con las presentadas en la Tabla 1, y especificar el periodo de consumo. La Figura 6b, muestra esta sección.

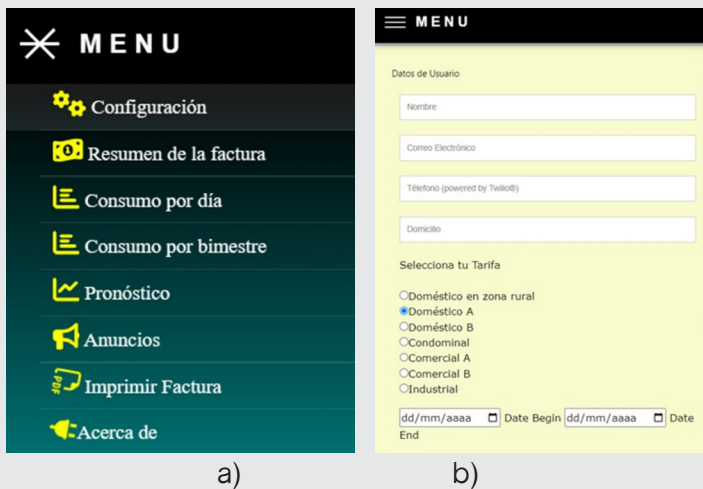


Figura 6. a) Menu principal y b) Sección configuración
Fuente: Elaboración propia.

Resumen de factura: En esta sección, se despliega el total acumulado consumido en litros y el costo acumulado en casi tiempo real (ver Figura 7a). Se tiene disponible un slider para controlar la válvula solenoide y con ello interrumpir el flujo de agua. Los cilindros de diferente color representan los bloques de la tarifa. Conforme se consume el agua, los cilindros se van llenando. Una barra de progreso muestra el consumo acumulado. Esta sección, permite observar con detalle en cual bloque está actualmente, y si es el caso, establecer estrategias de ahorro. Adicionalmente se pueden visualizar los datos del usuario junto con la tarifa correspondiente.

Consumo diario: El usuario puede observar cuánto está consumiendo diariamente. La captura de pantalla de la Figura 7b muestra cómo es desplegada esta información.

Consumo por bimestre: Sección que permite visualizar el consumo por bimestre y con ello poder realizar una comparativa entre periodos. La captura de pantalla de la Figura 8a muestra esta información.

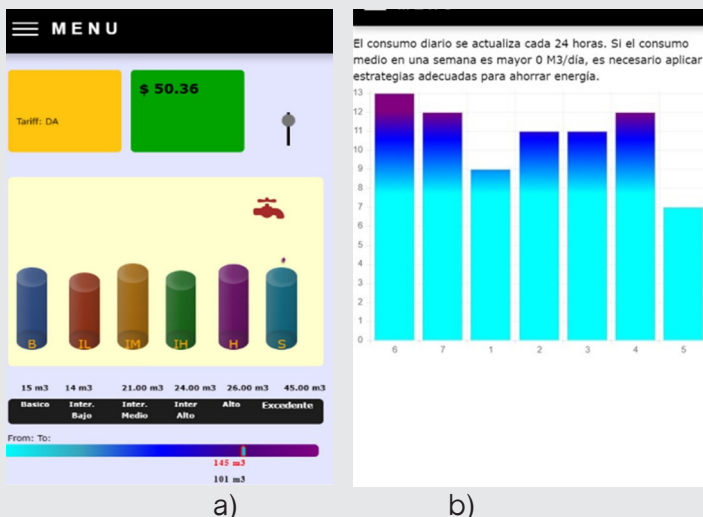


Figura 7. a) Resumen de factura y b) Consumo diario
Fuente: Elaboración propia.

Pronóstico: Esta sección, tiene como propósito que el usuario visualice con anticipación, el consumo y costo hacia el final del periodo bimestral para ello se utiliza la estrategia presentada en Jiménez Betancourt et al. (Ec. 3) [19], esto es, se obtiene la media de los litros consumidos por día, o bien:

$$\bar{L}_{dia} = \frac{1}{E_d} \sum_{j=1}^{E_d} L_{dia}^j \quad \text{Ec. (3)}$$

donde L_{dia} , es el promedio de litros consumidos por día (L_{dia}) durante los días transcurridos E_d . El promedio de los litros promedio por día, se actualiza diariamente y se utiliza para obtener un diagnóstico temprano del estado de las instalaciones. A partir de esto, el consumo por periodo de consumo (mensual o bimestral) es estimado por:

$$L_f = D_p \bar{L}_{dia} \quad \text{Ec. (4)}$$

donde D_p , son los días por periodo a pronosticar y L_f el pronóstico de consumo en el periodo. Valores altos en los primeros días pueden deberse a fugas de agua. La captura de pantalla de la Figura 8b muestra una captura de pantalla de esta sección.

Anuncios: Esta sección permite que la persona usuaria conozca de manera rápida y simple si su rango de consumo es normal o está en un valor que amerite atención. Cuando un icono se colorea a rojo entonces el nivel de consumo está dentro del rango correspondiente y la recomendación que aparece al lado le indicará a la persona usuaria si es necesario tomar alguna medida para reducir su factura. La Figura 9a muestra una captura de pantalla de esta sección.

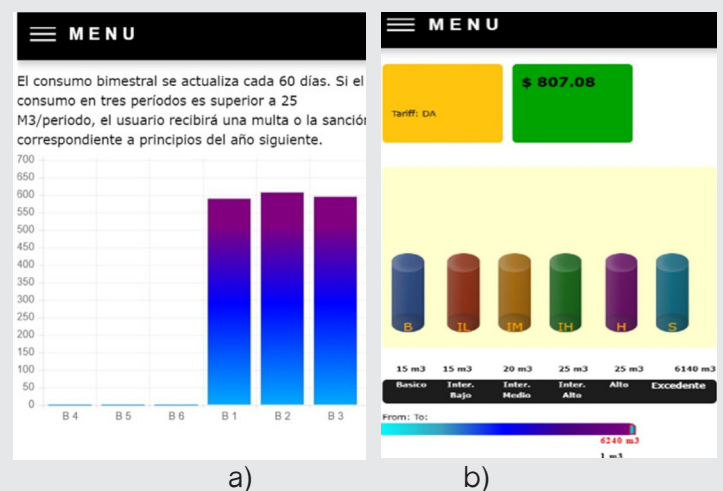


Figura 8. a) Consumo bimestral b) Pronóstico
Fuente: Elaboración propia.

Imprimir factura: Finalmente, esta sección permite a la persona usuaria acceder a una versión impresa de su recibo. Aquí se puede generar un pdf y posteriormente

imprimir en papel. La captura de pantalla de la Figura 9b muestra esta sección.



Figura 9. a) Anuncios b) Imprimir factura.
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Actualmente, la facturación del consumo de agua se realiza de forma manual y es conocida hasta que el usuario tiene el recibo impreso. Por ello la presente propuesta podría representar una alternativa viable para optimizar el consumo de agua. El sistema propuesto es accesible y la interfaz de medición brinda información precisa de cómo el agua es consumida. La propuesta aquí planteada es viable para aplicación al monitoreo de consumo para usuarios con uso comercial e industrial. Como trabajo a futuro, se contempla el desarrollo de una app para celular, así como la aplicación de métodos de inteligencia artificial para el análisis de los datos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores con números CVU 88193, 30951, 211801, 230004, y 253610 expresan su agradecimiento al CONAHCYT por el apoyo de este trabajo a través del programa SNII. También agradecen a Particle Industries Inc por la donación de las tarjetas a través del programa P4E (Particle for Education).

[1] Nations, U. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://sdgs.un.org/2030agenda> [En línea].

[2] AQUA (2017). *Agua en el planeta*. <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>. [Ultimo acceso 23-11-2023].

[3] CONAGUA (2015). *Cuidemos y valoremos el agua que mueve a Mexico*. http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/carrera_agua_2015.pdf. [Ultimo acceso 16-11-2023].

[4] SEDEMA (2013). *Cuidar el agua es cosa de tod@s*. <http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sedema/images/archivos/campanas/cuidar-agua/cuidar-agua.pdf>. [Ultimo acceso 23-11-2023].

[5] Chávez, J. C. (2021). *INFOGRAFÍA: ¿Por qué tenemos desperdicio de agua?* <https://energiahoy.com/2021/03/19/infografia-por-que-tenemos-desperdicio-de-agua/>. [Ultimo acceso 16-04-2021].

[6] Madakam, S., Lake, V., Lake, V., Lake, V., et al. (2015). *Internet of things (iot): A literature review*. *Journal of Computer and Communications*, 3(05):164.

[7] Coloma Avilés, D. E. and Rodríguez Burbano, C. W. (2020). *Diseño e implementación de prototipo electrónico inalámbrico para el monitoreo de consumo de agua usando tecnología de bajo costo en los hogares con acceso a internet de la Parroquia el Laurel*. PhD thesis, Univ. de Guayaquil. *Fac. de Ciencias Matemáticas y Físicas*.

[8] Dagatti, D. E. and Fessia, F. (2020). *Medidor de consumo de agua y energía eléctrica iot*.

[9] Cunalata Paredes, D. Y. (2020). *Sistema electrónico de monitoreo del consumo de agua potable mediante arquitectura iot y comunicación mqtt en una vivienda del sector san vicente de picaihua cantón ambato*.

[10] Romaní Flores, R. (2019). *Diseño de un prototipo para el monitoreo del consumo eficiente de agua en una institución educativa*.

[11] Fuente, D. (2019). *The design and evaluation of water tariffs: A systematic review*. *Utilities Policy*, 61:100975.

[12] Colima, C. (2023). *Ley que establece las cuotas y tarifas para el pago de derechos por los serv. pub. de agua potable, alcantarillado y saneamiento del municipio de manzanillo*. https://congresocol.gob.mx/web/Sistema/uploads/LegislacionEstatf/LeyesMunicipales/tarifas_manzanillo_03Sept%202019.pdf. [En línea].

[13] Geekfactory (2023). *Yf-s201 caudalímetro sensor de flujo 1/2 pulgada*. <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/yf-s201-caudalimetro-sensor-de-flujo-1-2-pulgada/>. [Ultimo acceso 23-11-2023].

[14] Particle (2022). *The particle photon documentation*. <https://docs.particle.io/photon/>. [Ultimo acceso: 23-11-2023].

[15] e-Gizmo Mechatronix Central (2016). *The ze-4f180 12v water solenoid valve technical manual rev 1ro.* <https://uelectronics.com/wp-content/uploads/2019/04/ZE4F18012VWatersolenoidvalve.1387394297.pdf>. [Ultimo acceso 23-11-2023].

[16] Mechatronics, N. (2023). *Tutorial sensor de flujo de agua.* https://naylampmechatronics.com/blog/47_tutorial-sensor-de-flujo-de-agua.html [Ultimo acceso 23-11-2023].

[17] Betancourt, R. J. (2023b). *C-code for water sensor flow calibration.* https://go.particle.io/shared_apps/654d1e0b9411c101c3db1ebd. [En línea].

[18] Betancourt, R. J. (2023a). *C-code for water measurement system.* https://go.particle.io/shared_apps/654d273001c67402ef9a1463. [En línea].

[19] Jiménez Betancourt, R. O., González López, J. M., Barocio Espejo, E., Concha Sánchez, A., Villalvazo Laureano, E., Sandoval Pérez, S., and Contreras Aguilar, L. (2020). *IoT-based electricity bill for domestic applications.* *Sensors*, 20(21).

[20] CDNJS (2023). *The free and open-source cdn.* <https://cdnjs.com/>. [Ultimo acceso 01-09-2023].

[21] Betancourt, R. J. (2023c). *IoT based power systems laboratory gsite.* <https://sites.google.com/ucol.mx/iotpslab/%C3%A1reas-de-investigaci%C3%B3n/iot-based-water-bill?authuser=0> [En línea].

