

Dispositivo inteligente para la regulación del consumo de agua potable *Smart device for regulating drinking water consumption.*

Miguel Aguilar-Cortés^{1*}, Marco Antonio Aguilar-Cortés², Gabriel Ángel Ramírez-Vicente³

¹ Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

² Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

³ Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán

***Corresponding author:** miguel.ac@teziutlan.tecnm.mx

Resumen

A nivel internacional, el agua ya comenzó a cotizar en Wall Street. En México, algunos estados tienen un severo problema de abastecimiento de agua. El estado de Puebla se encuentra en una zona geográfica donde tiene un alto riesgo de quedarse sin el recurso vital en un futuro próximo. Como estrategia, se desarrolló e implementó un dispositivo inteligente con conexión a un web service que bloquea el paso del agua y que mide, a través de un sensor de flujo, la cantidad en litros que un consumidor utiliza en su vivienda en un periodo de tiempo determinado. Los resultados obtenidos permiten visualizar cuál es la diferencia de un consumo anterior y posterior de la instalación del dispositivo.

Palabras clave: agua, web service, dispositivo

Abstract

Internationally, water has already started trading on Wall Street. In Mexico, some states have a severe water supply problem. The state of Puebla is in a geographical area where it has a high risk of running out of the resource soon. As a strategy, was developed and implemented a smart device with a web services connection that blocks the passage of water and that measures, through a flow sensor, the amount in liters that a consumer uses in their home in each period. This information is sent to the web service database. The results obtained allow to visualize what is the difference of a consumption before and after the installation of the device.

Keywords: water, web service, device

1. Introducción

Según (Palou, 2019) el agua es el recurso natural más importante para el desarrollo humano en las diferentes áreas donde el hombre se desarrolla. Con la premisa anterior es imprescindible cuidar este recurso puesto que, debido a diferentes factores (sobrepoblación, explotación de recursos, contaminación, etc.) se ha ido degradando a tal extremo de predecir que en un futuro llegue incluso a monetizarse para poder adquirirlo y, en contraste, la predicción de elevación de costos en muchos otros productos. (Orr, Cartwright, & Tickner, 2010) Lo anterior se ve reflejado en la predicción dada por la Organización Mundial de la Salud, quien predice que dentro de unos años, aproximadamente 2 mil millones de personas tendrán escasez de agua (Universidad Privada del Norte, 2017). Por otro lado, según (Atalayar, 2019), en el año 2050, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) pronostica una gran demanda del agua, alrededor de 55%, que equivaldría aproximadamente a 240 millones de personas que continuarán sin acceso a agua y 1.400 millones sin servicios básicos de saneamiento. En lo que concierne a México, también son muy desconcertantes; por ejemplo, el día cero del agua se conoce como el momento en que una ciudad, región o país se quedará sin el recurso suficiente para satisfacer plenamente las necesidades principales para subsistir o desarrollarse. Según el Instituto de Recursos Mundiales (WRI por sus siglas en inglés), en la república mexicana, 15 estados se encuentran en riesgo extremo de escasez de agua, 8 de ellos en alto, 2 en medio alto, 5 en medio bajo y 2 en bajo. El Estado de Puebla se encuentra en entre los 8 estados con riesgo alto y si no se comienzan a tomar acciones, en un futuro no muy lejano, pasará a un estado de riesgo extremadamente alto.

La presente investigación, hace referencia al diseño y elaboración de un prototipo con conexión a web service que permite medir el flujo de agua que tiene un consumidor para determinar si está haciendo buen uso del recurso líquido. Un servicio web o también llamado web service, según (Architecture, 2004) es un sistema de software diseñado para soportar la interacción interoperable máquina-máquina en una red. Profundizando en la definición, un web service puede apoyar a estructurar una red de comunicación entre máquinas con un fin en específico, el cual será

automatizado por las contrapartes correspondientes. Un punto importante es la utilización de internet para poder interconectar de manera inalámbrica dichas “máquinas”. Con una conexión a una base de datos, se puede realizar un análisis estadístico que corrobore la eficacia del dispositivo y, al proporcionar información al usuario, tomar conciencia de sobre el gasto de agua y la importancia de preservarla. Este dispositivo cuenta con un módulo wifi ESP8266 quien será el portador de información, así como un sensor de flujo YF-S201 para adquisición de datos y un Arduino como controlador.

2. Métodos o Metodología

2.1 Diseño del prototipo medidor

El proyecto se resume de la siguiente manera: es un dispositivo inteligente que ayuda a adquirir información sobre cuántos litros de agua utiliza una casa habitación por día. El dispositivo cuenta como elemento de entrada un sensor YF-S201 que es un sensor de caudal y como salida (aunque en realidad es un dispositivo de entrada y salida) un módulo wifi ESP8266 que ayuda a tener conexión a la red con el web service donde se podrá ir almacenando la información de manera automática en una base de datos: con esta información, se puede realizar la apertura y cierre de una electroválvula, la cual funciona como actuador y será quien regule el abastecimiento de agua.

2.2 Materiales

eléctrico controlador y, realizando un análisis de requisitos, se consideran los siguientes elementos electrónicos.

En figura 1, muestra la simulación del circuito incluyendo los componentes antes mencionados.

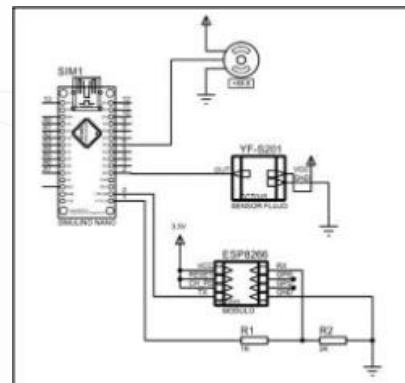


Figura 1. Diagrama del Circuito eléctrico del dispositivo

El diseño mecánico se generó con el software SolidWorks versión 2019. En la figura 2 se presenta la composición del sistema electromecánico, el cual cuenta con un cople roscado de entrada, los conductos de fluido, el cople de conexión al sensor, que a su vez va conectado a una servoválvula, un cople de rosca externa que conecta a un conducto de fluido y con el cople roscado de salida. Esta figura también muestra la unión entre la servoválvula con el servomotor.

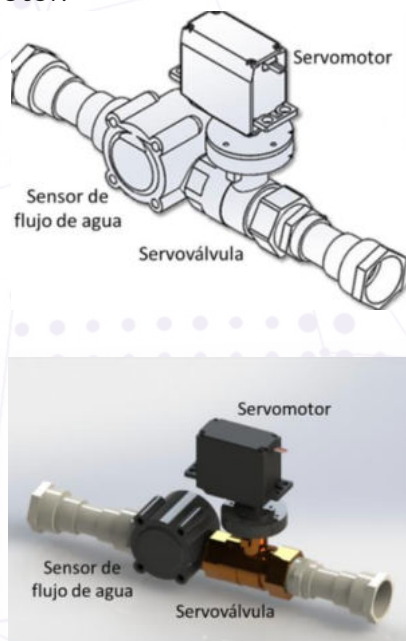


Figura 2. Composición del sistema electromecánico para permitir o bloquear el flujo de agua.

En el , se muestra la posición interna de cada uno de los elementos.

La figura 3 presenta la carcasa superior y la carcasa inferior las cuales cuentan con cuatro orificios que permiten su cierre hermético por medio de sujeción de tornillos. También se presenta la celda solar de dimensiones 5 cm de ancho por 10 cm o similar con la cual se obtiene la energía eléctrica para el funcionamiento del dispositivo. Las dimensiones del dispositivo son: 13 cm de largo por 9 cm de ancho por 11 cm de alto. Para poder conectar el dispositivo a internet, se utilizó el módulo wifi ESP8266 con su modo de conexión estandarizada por la página de Arduino.



Figura 2. Prototipo terminado.

2.3 Cálculo del caudal para la programación

Evidentemente, se tendrá que realizar un cálculo matemático para poder saber cuál será el caudal que se está midiendo o (exactamente) está pasando por el sensor y evitar valores erróneos. El fabricante describe que es un sensor de tipo Hall , el cual genera pulsos en función al caudal que está pasando; la hoja de especificaciones de esta sensor menciona también la necesidad hacer unos cálculos específicos para obtener el valor del caudal. En la tabla 1 se describen los rangos de operatividad.

Tabla 1. Valores de operación del sensor YF-S201

Flujo (L/H)	Fr. (Hz)	Rango de error
120	16	□10 5%
240	32.5	
360	49.3	
480	65.5	
600	82	
720	90.2	

Considerando a la frecuencia que se obtienen a partir de las revoluciones del sensor, y tomando en cuenta que el factor de conversión es de 7.11 y el cálculo del caudal con la fórmula 1 donde el caudal es directamente proporcional a la diferencia de volumen e inversamente proporcional al tiempo transcurrido (Pedroza González, 2018)

$$Q = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta los valores de operación del sensor que se muestran en la tabla 1 juntamente con el factor de conversión, se puede calcular el caudal bajo la fórmula 2.

$$Q = \frac{\text{frecuencia}}{\text{factor de conversión}} \quad (2)$$

3. Resultados

3.1 Pruebas preliminares

Una vez finalizados los trabajos de ensamble y conexión de los componentes electrónicos, se realizaron las pruebas de funcionalidad conectando el dispositivo a una tubería y a la consola del programa Arduino para visualizar los datos del consumo. La figura 4 da a conocer los valores generados en un lapso determinado.

COM3	COM3
16:04:00.276 -> (S4D21G1C)***121.4	16:11:40.612 -> ATISF=000003200000c42
16:04:00.695 -> IP Address: 192.168.11.4	16:12:11.127 ->
16:04:10.725 -> ATISRC	16:16:30.768 ->
16:04:30.499 -> ATISF=0000000000000000	16:16:30.768 ->
16:06:30.499 -> ATISRC	16:16:30.768 -> ATISRC
16:06:30.499 -> ATISF=55	16:16:30.768 -> Pulso Recibido: 5143
16:06:30.499 -> Consumo(L): 0.00	16:16:30.768 -> Consumo(L): 20.00
16:06:30.499 -> ATISRC	16:16:30.768 ->
16:06:30.499 -> ,DISP1,55,0.00,0	16:16:30.768 -> ,DISP1,5143,20.00,0
16:06:40.493 -> ATISRC	16:16:40.767 -> ATISRC
16:06:40.493 -> ATISF=000003200000c42	16:17:11.229 ->
16:07:11.030 ->	16:21:30.874 ->
16:11:30.644 ->	16:21:30.874 -> ATISRC
16:11:30.644 -> ATISRC	16:21:30.874 -> Pulso Recibido: 21144
16:11:30.644 -> Pulso Recibido: 1056	16:21:30.874 -> Consumo(L): 52.00
16:11:30.644 -> Consumo(L): 2.00	16:21:30.874 ->
16:11:30.644 -> ,DISP1,1056,2.00,0	16:21:30.874 -> ,DISP1,21144,52.00,0
16:11:40.612 -> ATISRC	16:21:40.895 -> ATISRC
16:11:40.612 -> ATISF=000003200000c42	16:21:40.895 -> ATISF=000003200000c43
16:11:40.612 ->	16:22:11.394 ->

Figura 4. Consumo generado, en litros

Después de haber realizado las pruebas en el monitor del software de Arduino, se procedió a conectar el dispositivo, así como alimentar el servidor para que estuviera listo para el envío y recepción de la información. Gracias a la implementación de la celda solar, no requiere que se conecte a una fuente de energía. También viene integrado al dispositivo un par de pilas recargables para que el circuito siempre se encuentre en funcionamiento. La figura 5 muestra la implementación del dispositivo a un flujo de agua a un tinaco.



Figura 5. Consumo generado, en litros

3.1 Análisis de la eficacia del dispositivo en ahorro de agua

En lo que concierne al ahorro de agua, se seleccionó 4 casas habitación (mismas que no cumplen con la muestra estadística debido a que no hubo más participantes por cuestiones personales y de sanidad por la pandemia COVID-19) y se les comentó a las personas que se iba a instalar un dispositivo para regular el consumo. Al principio, la respuesta de las personas no fue positiva pues nunca habían sido monitoreadas, sin embargo, están conscientes que se requiere comenzar a tomar medidas para poder cuidar más el agua, no solo para lograr llegar a más usuarios, sino también para cuidar el agua para las futuras generaciones.

Por otro lado, de acuerdo con la OMS, una persona requiere de 100 litros de agua al día para satisfacer sus necesidades tanto de consumo como de higiene. Ese dato se utilizó para colocar el consumo ideal dentro de la programación del dispositivo. Este dato se corroboró haciendo una encuesta a las viviendas que realizan actividades con consumo de agua, por ejemplo, el lavado de ropa (lavadoras de 12 kg en adelante), lavado de trastes, descargas del inodoro por persona, aseo personal (ducha, lavado de manos, lavado de dientes), aseo del hogar y otras actividades no tan frecuentes como lavado de carro, riego de plantas y aseo de mascotas.

La tabla 2, presenta los litros consumidos aproximados antes y después de la implementación del dispositivo sin el cierre de la servoválvula.

Tabla 2. Consumo de agua antes y después de la implementación del dispositivo

No. De Hogar	Número de habitantes	Consumo ideal por semana	Consumo de agua previo a la instalación del dispositivo por semana en litros.	Consumo de agua posterior a la instalación del dispositivo por semana en litros.
1	2	1400	1700	1500
2	4	2800	3100	2950
3	5	3500	3900	3700
4	7	4900	5500	5250

En la tabla 3, se puede observar que solo cuatro viviendas pueden ahorrar a la semana un total de 800 litros, sin embargo, al mes son 3200 y al año son 38,400.

No. Hogar	Litros consumidos sin dispositivo	Litros consumidos con dispositivo	Ahorro
1	1700	1500	200
2	3100	2950	150
3	3900	3700	200
4	5500	5250	250
		TOTAL	800

Tabla 3. Ahorro de litros de agua por semana

Tal vez no es una cifra muy alta, pero como se puede observar, el promedio de ahorro son 200 litros. Suponiendo que en un municipio se encuentran 105 localidades, al año se ahorran más de un millón de litros de agua, una cantidad muy importante y que puede ser distribuida a usuarios donde tienen desabasto de agua. Los usuarios tomaron en cuenta esta indicación y trataron de ahorrar más el agua.

En la tabla 4, se puede observar el funcionamiento de apertura y cierre de la servoválvula, es decir, que se pudo realizar de manera remota el bloquear y desbloquear el agua.

Tabla 4. Días de bloque de servoválvula

No. De Hogar	Lun	Mar	Mier	Jue	Vie	Sab	Dom
1	NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI
2	SI	NO	NO	SI	NO	SI	NO
3	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO
4	NO	NO	SI	NO	NO	SI	SI

De esta forma, si se detecta que un usuario tiene un consumo elevado, puede bloquearse el paso del agua por un tiempo determinado.

Finalmente (y considerando la tabla 2 del consumo de agua antes y después de la instalación) se realizó un análisis ANOVA (análisis de varianzas) para mostrar la diferencia o similitud del consumo con y sin el dispositivo. Estas premisas son las hipótesis tanto nula como alternativa con un nivel de significancia.

Las tablas 5 y 6 muestran el resultado de dicho análisis.

Tabla 5. Resumen del análisis de varianza ANOVA

Grupos	Suma	Promedio	Varianza
Sin dispositivo	14200	3550	251666.67
Con dispositivo	13400	3350	2438333.33

Tabla 6. Resultados del análisis de varianza ANOVA para aceptación o rechazo de hipótesis correspondientes

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico
Entre grupos	80000	1	80000	0.03229062	0.8633064	5.98737761
Dentro de los grupos	14865000	6	2477500			
Total	14945000	7				

Derivado de los análisis inferenciales que se realizaron y considerando las hipótesis:

- H_0 Existe más gasto de agua antes de la instalación.
- H_1 Existe más gasto de agua después de la instalación.

En la tabla 6 se puede observar los resultados del análisis ANOVA con la cual se puede comparar la columna de F con el valor crítico de F (F puesto que sigue una distribución F de Fishier), teniendo las siguientes condiciones:

- Si valor crítico de $F > F$, se acepta la hipótesis nula.
- Si $F > \text{valor crítico de } F$, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Con lo anterior se compara los valores de ambas teniendo que $5.987 > 0.0322$, es decir, valor crítico de $F > F$, entonces se puede concluir que existe más gasto de agua antes de que se instalara el dispositivo inteligente.

4. Conclusiones

La implementación de este dispositivo permitió comenzar a generar una base de datos con estadísticas de cuantos litros de agua puede utilizar una vivienda. También se puede operar de manera remota el dispositivo. Se sabe que el consumo puede variar de acuerdo con sus necesidades personales como lavar ropa, tomar un baño, lavar el carro, lavar trastes, entre otras. Desafortunadamente, hay personas que no siguen los consejos que se brindan en campañas de concientización de como ahorrar agua. Con la implementación de este dispositivo, ya se tendrá más regulado el uso, se estará monitoreando a los hogares que presenten un alto consumo para aplicar sanciones como multas o el bloqueo del agua. Aunque en algunas casas no se presente un ahorro significativo, si se pudiera sumar los litros ahorrados en un fraccionamiento, en una vecindad o en una colonia, no será cientos de litros los que se ahorren, serán miles de litros que se pueden cuidar y brindarlos a otra parte de la población donde no gozan de este servicio. Se tiene la certeza que la aplicación de este dispositivo podría mejorar los sistemas de distribución reduciendo los lugares que se encuentran con escasez.

5. Trabajo a Futuro

Se considera realizar una implementación de IoT (internet de las cosas) con base a una red llamada SigFox, la cual permite conexiones en donde es muy difícil que llegue el acceso a internet; así, se podrá también realizar una aplicación móvil que notifique cuánto ha sido el consumo de agua, si existe algún desabasto o incluso si existe fugas.

6. Referencias bibliográficas

Bibliografía

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (s.f.). Gobierno de México. Recuperado el 17 de Marzo de 2021, de <https://www.gob.mx/conanp/articulos/sabes-cuanta-agua-consumes#:~:text=De%20acuerdo%20a%20la%20Organizaci%C3%B3n,de%20consumo%20como%20de%20higiene>.

Architecture, W. S. (2004). W3C. Obtenido de W3: <https://www.w3.org/TR/ws-arch/wsa.pdf>

Atalayar. (25 de Marzo de 2019). Recuperado el 25 de Febrero de 2021, de <https://atalayar.com/content/la-mitad-de-la-poblaci%C3%B3n-mundial-sufrir%C3%A1-escasez-de-agua-en-2050-si-no-se-toman-medidas#:~:text=Para%20el%20a%C3%B1o%202050%2C%20la,sin%20servicios%20b%C3%A1sicos%20de%20saneamiento>.

Mantech. (2020). <http://mantech.co.za>. Recuperado el Julio de 2021, de http://www.mantech.co.za/Datasheets/Products/YF-S201_SEA.pdf

Orr, S., Cartwright, A., & Tickner, D. (2010). Red del agua UNAM. Recuperado el 23 de Febrero de 2021, de http://www.agua.unam.mx/humedales/assets/materialdifusion/WWF_QueSonLosRiesgosHidricos.pdf

Palou, N. (22 de Marzo de 2019). La Vanguardia. Recuperado el 22 de Febrero de 2021, de <https://www.lavanguardia.com/natural/20190322/461164578761/dia-mundial-agua-2019-cifras.html>

Pedroza González, E. (2018). Hidráulica Básica: historia, conceptos previos y ecuaciones. Jiutepec, Morelos: IMTA.
Romero Guzmán, E. T., & Romero Guzmán, L. (2020). Estrés hídrico y escasez del agua: ¡No al día cero del agua! Glosa(14), 28-30.

Universidad Privada del Norte. (9 de Mayo de 2017). Los principales problemas medioambientales del mundo. Recuperado el 22 de Febrero de 2021, de <https://blogs.upn.edu.pe/ingenieria/2017/05/09/los-principales-problemas-medioambientales-del-mundo>