

# **Gestión de la Huella Hídrica de dispositivos consumidores de Agua Utilizando Aplicaciones Móviles y Hardware Libre**

Recibido: 7 de noviembre de 2020

Aprobado: 27 de noviembre de 2020

**Libardo Gómez Díaz<sup>1</sup>**

## **RESUMEN**

El presente artículo evidencia, la creación y utilización de una APP y un sistema de monitoreo y medición del consumo de agua para el cálculo de la Huella Hídrica, para Dispositivos y equipos que funcionan suministrando agua. Este sistema permite la automatización y visualización de los consumos presentes en el dispositivo al cual se conecte dicho sensor de flujo, Iniciando con las mediciones obtenidas durante un periodo fijo a 2 apartamentos, cada uno con 2 duchas, 2 lavamanos, 2 cisternas, 1 lavaplatos, 1 lavadora, como elementos de consumo de agua uno ubicado en Bogotá y otro en Bucaramanga. Los usuarios pueden conocer cuáles son los consumos y la huella Hídrica que presenta este punto de medición, mostrando de esta forma un perfil de consumo y permite controlar su

activación y desactivación desde el software. Se busca que el usuario, pueda agregar los diferentes dispositivos desde una aplicación Móvil, y esto permite con la ayuda del ESP-8266, el control y la medición del flujo del agua, graficando así los consumos que se presentan en el dispositivo al cual se acopla.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Especialista en

La Sostenibilidad, en la actualidad es uno de los temas más importantes, ya que vemos que el gasto de agua que presentan las empresas y las personas va aumentando considerablemente, por lo que la utilización de hardware y software, nos permiten el desarrollo de aplicaciones IOT (Internet Of Things), confiables y accesibles para todos. El presente documento, muestra Finalmente los resultados obtenidos en el desarrollo de un software desde el programa AppInventor, el Arduino y bases de datos en Phpmysql, así como un Hardware planteado para la obtención de la Huella Hídrica.

**PALABRAS CLAVE:** Eficiencia Energética, Sostenibilidad, Hogares Inteligentes, Electrónica, Software Libre, Huella Hídrica.

### ABSTRACT

This article evidences the creation and use of an APP and a system for monitoring and measuring water consumption to calculate the Water Footprint, for Devices and equipment that work by supplying water. This system allows the automation and visualization of the consumptions present in the device to which said flow sensor is connected, starting with the measurements obtained during a fixed period in 2 apartments, each with 2 showers, 2 sinks, 2 cisterns, 1 dishwasher, 1 washing machine, as elements of water consumption, one located in Bogotá and the other in Bucaramanga. Users can know what consumption is and the water footprint that this measurement point presents, thus showing a consumption profile and allowing to control its activation and inactivation from the software. It is intended that the user can add the different devices from a Mobile application, and this allows with the help of the ESP-8266, the control and measurement of the water flow, thus graphing the consumption that is presented in the device to which it is couple.

Sustainability is currently one of the most important issues, since we see that the cost of water presented by companies and people is increasing considerably, so the use of hardware and software allows us to develop IOT applications (Internet Of Things), reliable and accessible to everyone. This document finally shows the results obtained in the development of a software from the AppInventor

program, the Arduino and databases in Phpmyadmin, as well as a Hardware proposed to obtain the Water Footprint.

**KEYWORDS:** Energy Efficiency, Sustainability, Smart Homes, Electronics, Free Software, Water Footprint.

## INTRODUCCIÓN

Las nuevas aplicaciones en IoT (Internet Of Things), se están volviendo algo muy común, donde encontramos ahora edificios y hogares Inteligentes desarrollados con soluciones electrónicas [3] [4], donde el software y el hardware hacen parte esencial en ellos, este desarrollo está permitiendo que las personas tengan mayores facilidades y control, además que permita ayudar al medio ambiente, y buscando que el ser humano pueda interactuar y percibir con la ayuda de los diferentes sistemas, sensores y transductores el comportamiento de los gastos que a veces pasamos por alto. Así con la ayuda de las nuevas tecnologías, podremos acercarnos un poco más hacia tener un mayor control de consumos y la gestión de los gastos de agua. Gracias a la diversificación del software, y en especial a la gran cantidad de programas que existen hoy en día, se puede realizar una mayor cantidad de soluciones como la que se plantea en este artículo. Uno de los principales dolores y situaciones que evitan el desarrollo de soluciones económicas, es el alto costo de las licencias que se presentan en algunos software, que requieren la compra de estas para su utilización, por lo que en este documento, y las implementaciones presentes, se han realizado, hasta la fecha con software libre, donde no se requiere la compra de permisos para la creación de dichas aplicaciones, generando reducción en costos, y ayudando a que este tipo de sistemas sea más económico y accesible a casi todos los diferentes niveles económicos de la sociedad.

Para la utilización y generación del proyecto de gestión de agua para conocer la huella hídrica de consumo de equipos, se utiliza el software libre de la placa Arduino el cual además del software también presenta Hardware Libre, el programa se denomina “arduino-nightly”, este puede ser descargado de forma gratuita en la página directa del desarrollador (<https://www.arduino.cc/>), este programa de fácil utilización, tiene diferentes características para el desarrollo de soluciones, presenta la característica de ser Open Source y tener una IDE (Integrated Development Environment) de fácil

manejo para los diferentes usuarios interesados en el desarrollo de aplicaciones en electrónica, y que quieren poner en práctica sus conocimientos de Hardware y Software[5].

Este proyecto busca la investigación en los perfiles de consumo de agua obtenidos en diferentes organizaciones, hogares y dispositivos, con la ayuda de un software y hardware, el Proyecto busca, la evaluación y desarrollo de un sistema que permite la automatización y gestión del agua conociendo la Huella Hídrica, para así ir disminuyendo el consumo y desperdicio de agua, dando soluciones de reutilización de agua, evitando consumos de agua limpia en donde no se requiere, generando mayor eficiencia en la utilización del agua. Busca el control y la pedagogía en Sostenibilidad, con la ayuda de tecnologías crecientes como lo son sistemas electrónicos y el Internet de las Cosas, monitoreando el consumo, para así fomentar el cuidado del medio ambiente.

Para este proyecto de Investigación, se plantea la siguiente pregunta:

¿Como diseñar un dispositivo aplicando Telecomunicaciones y midiendo la huella hídrica en las instituciones, hogares e industrias, que permita conocer la huella hídrica de agua generada, monitoreando desde un dispositivo su consumo?

El alcance del proyecto y de la aplicación de software realizado, busca diagnosticar y medir los consumos de agua en tiempo real, facilitando que los usuarios puedan visualizar estrategias de ahorro y cuidado del medio ambiente desde sus hogares, industrias y procesos, además validar los malos hábitos que se dan, y los consumos innecesarios, ayudando a identificar soluciones que incrementen la sostenibilidad y la eficiencia energética [1], así como generando sistemas cada vez más inteligentes que ayuden al ser humano a ser más eficientes en la oferta de productos y servicios.

Como lo menciona el Tiempo, en su artículo “Listas las sanciones para quienes desperdicien el agua” publicado el 26 de Diciembre de 2009, en Colombia se crearon las sanciones para los hogares que consuman una cifra superior a 35 metros cúbicos en tierra caliente y de 28 metros cúbicos en tierra fría, categorizando los consumos superiores a dichos valores como desperdicio o suntuario, lo que provoca

que todas las personas deban iniciar métodos que les permitan reducir sus consumos de agua, para evitar sanciones o sobre costos en sus recibos de Acueducto. Por lo que el poder tener dispositivos como los que se desarrollan el presente documento, permiten el constante monitoreo de dichos gastos de agua, y facilitan la administración de los mismos evitando dichas sanciones. En un hogar los consumos son divididos exclusivamente en los componentes que suministran agua, como lo son el Inodoro, la ducha, el lavamanos, el lavaplatos, la lavadora, por lo que según varias entidades y fundaciones a nivel mundial se han tomado la tarea de revisar dichos porcentajes, como se muestra en la Figura 1, los datos aquí presentes, los han validado fundaciones como la empres SEAPAL en México, o la Fundación Aquae, ubicada en España y algunos países de Latinoamérica, en donde se evidencia un consumo de 6 litros de agua por cada descarga del inodoro, 90 Litros de agua cada vez que llenamos la lavadora, 170 Litros de agua por cada 5 minutos que nos duchamos y 150 Litros de agua cada vez que lavamos los platos teniendo el grifo abierto continuamente por 5 minutos.

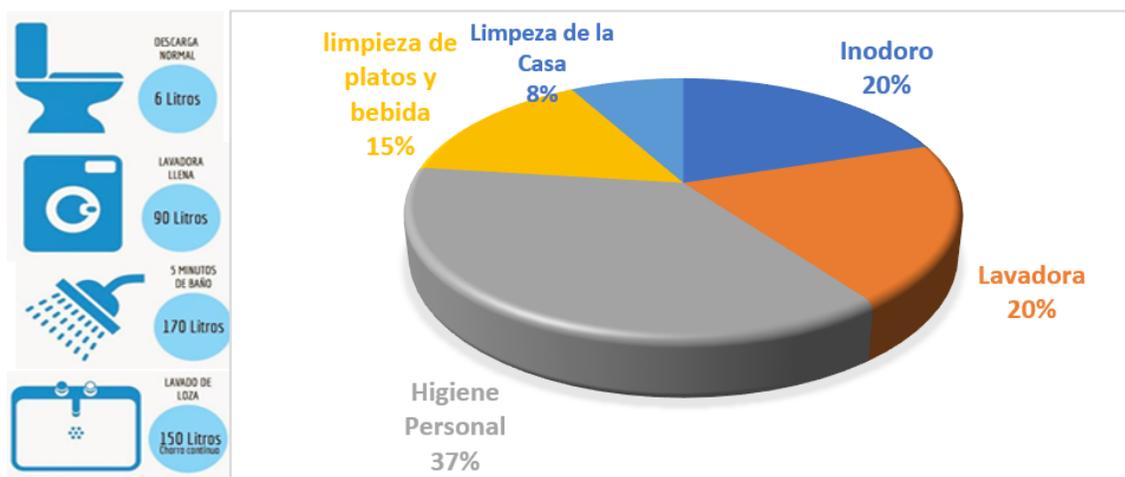


Figura 1. Distribución de Consumo de Agua en el Hogar.

Fuente: <https://www.fundacionaquae.org/calculadoras-aquae/calculadora-huella-hidrica>

Todos estos valores, pueden cambiar dependiendo de los hábitos de cada hogar, por lo que, si tomamos conciencia y utilizamos la tecnología, podremos conocer y encontrar métodos de ahorro, ayudando a que, desde los hogares, se reduzca sustancialmente la huella hídrica de cada dispositivo en nuestras casas y en nuestras empresas u organizaciones, así como monitorear cuando se presenten fugas o gastos innecesarios, para que así podamos presupuestar todo consumo de agua.

## DESCRIPCION DEL SISTEMA

Para el desarrollo de este proyecto, se realizaron pruebas en dos apartamentos inicialmente, esto debido a que el consumo en los hogares es un poco limitado al de las industrias ya que en los hogares promedio, solo viven un aproximado de 5 personas en los apartamentos estándar, para aclarar este punto y darle a la investigación un punto mas adecuado de partida y de las condiciones específicas de las mediciones y las adaptaciones realizadas, a continuación se describen los sitios inicialmente evaluados para la implementación inicial del software y de los dispositivos de medición.

El primer punto de medición (Apartamento 1), Instalado en la acometida principal de un Apartamento estrato 2, ubicado en el Barrio el Tintal de la ciudad de Bogotá - Colombia, El apartamento consta de un medidor de consumo de agua instalado desde la construcción del apartamento, por la empresa de Acueducto de Bogotá, como se muestra en la Figura 2, la resolución del medidor es de 1 m<sup>3</sup> y su rango es de (0 m<sup>3</sup> – 99999 m<sup>3</sup>), por lo que la medición mínima que se puede obtener con dicho dispositivo, es la variación de 1 m<sup>3</sup> y esto hace más complicada la lectura de los consumos individuales de los diferentes dispositivos en el hogar, siendo esta una de las necesidades de la implementación de un sistema de mejor resolución que permita tomar medidas de consumo más detalladas dentro del hogar.



Figura 2. Medidor de Agua Apartamento 1. (Bogotá)



Figura 3. Medidor de Agua Apartamento 2. (Bucaramanga)

El segundo punto de medición (Apartamento 2), Instalado en la acometida principal de un Apartamento estrato 4, ubicado en el Barrio San Francisco de la ciudad de Bucaramanga - Colombia, El apartamento

consta de un medidor de consumo de agua instalado desde la construcción del apartamento, por la empresa de Acueducto de Bucaramanga, como se muestra en la Figura 3, la resolución del medidor es de 0,1 m<sup>3</sup> y su rango es de (0,0 m<sup>3</sup> – 9999,9 m<sup>3</sup>), por lo que la medición mínima que se puede obtener con dicho dispositivo, es la variación de 0,1 m<sup>3</sup> a diferencia del medidor anterior su resolución es mayor, lo que permite conocer más detalladamente cuanto consumo se ha realizado en un día, o en un tiempo determinado, por alguno de los elementos internos de consumo que tiene cada apartamento.

Cada uno de los apartamentos, donde se ha realizado la medición y revisión de consumos, con el equipo presentan los siguientes elementos que suministran agua a los residentes; 2 duchas, 2 lavamanos, 2 cisternas, 1 lavaplatos, 1 lavadora y 1 Lavadero, estos elementos son los cuales se observarán más detalladamente en la segunda parte de la investigación y se analizará su consumo independiente, para conocer de esta forma la Huella Hídrica que presenta cada uno de ellos, en los hogares analizados.

Para el sistema de Hardware, se utiliza el Arduino UNO (Figura 4), y la tarjeta ESP8266 (Figura 5), donde se implementa el sistema del hardware inicial y de pruebas del prototipo, el cual permite la adquisición de los datos y el control de la información, que permitirá la interconexión con el software.



Figura 4. Arduino UNO. Fuente: Propia



Figura 5. Tarjeta ESP8266. Fuente: Propia

Como se muestra en la Figura 4, la tarjeta Arduino UNO, es un dispositivo de Hardware libre, con el que se pueden desarrollar diferentes aplicaciones de hardware, y con la que se captura la señal de datos por medio de sus canales Análogos que se conectan al sensor de Flujo, permitiendo detectar de esta forma la cantidad de agua que se consume, este al igual que la tarjeta ESP8266, presente en la Figura 5, son muy económicos, y pueden ser programados desde el software libre denominado “Arduino – Nighthly”, lo que reduce costos de licencias.

Otro de los dispositivos utilizados en el desarrollo del proyecto, es el Sensor de flujo YF-S201, el cual es un elemento muy económico y fácil de utilizar, este permite dependiendo de la referencia utilizada dar una señal de voltaje proporcional al valor de la cantidad de agua que circula por el sensor, como lo muestra la tabla 1.

Tabla 1. Características del Sensor de flujo YF-S201.

|  |   |
|--|---|
| <b>Modelo</b>                          | YF-S201   |
| <b>Corriente</b>                       | < 15mA  |
| <b>Salida</b>                          | Señal de frecuencia a 5 VDC TTL<br>Nivel alto del pulso de salida: $\geq 4.6V$ (DC5V)<br>Nivel bajo del pulso de salida: $\leq 0.5V$ (DC5V) |
| <b>Sensor primario</b>                 | Molinete de 8 alabes  |
| <b>Sensor secundario</b>               | Efecto Hall.  |
| <b>Voltaje de trabajo</b>              | 5 a 18 VDC  |
| <b>Max corriente de trabajo</b>        | 15 mA a 5 VDC   |
| <b>Rango de entrada</b>                | 1 - 30 LPM  |
| <b>Rango de Temperatura de trabajo</b> | -25 a +80 °C  |
| <b>Rango de Humedad de trabajo</b>     | 35% - 80% RH  |
| <b>Precisión</b>                       | $\pm 2\%$   |
| <b>Posición de operación</b>           | Vertical  |



Fuente: Propia

El sensor de flujo YF-S201, presenta tres cables: rojo (5-24VDC), negro (tierra) y amarillo (salida de impulsos de efecto Hall). Al contar cada pulso de la salida del sensor, permite medir el paso del fluido: dando como resultado que cada pulso es de aproximadamente 2,25 mililitros. Este sensor tiene una precisión adecuada para este proyecto y es de  $\pm 2\%$ , pero debido a las cantidades de agua que se utilizan en los hogares, empresas y organizaciones, permite que la medición sea muy aproximada al valor real que se consume.

Además de lo expuesto, se utiliza el software libre de “Arduino – Nighthly”, este es un software Open source, o Software libre, el cual permite programar la plataforma de Arduino y la tarjeta ESP8266, desde diferentes formas como lo es desde la web, o desde un pc, ya que es compatible con sistemas operativos como lo son Windows, Linux y MAC OS, permitiendo que cualquier persona pueda adquirirlo y utilizarlo en la creación de soluciones.

El software libre [5] [6], permite desde un IDE (Integrated Development Environment), una integración de software y hardware, los cuales, con la ayuda de diferentes librerías, dan a los usuarios mayor

facilidad en el desarrollo de una diversa cantidad de proyectos y soluciones que van desde la incorporación de videojuegos hasta sistemas de control industriales. Actualmente esta herramienta tiene compatibilidad con casi todo tipo de sensores y actuadores, permite versatilidad y extensión hacia las diferentes áreas del conocimiento, lo que lo hace aún más llamativo es que su lenguaje de programación está basado principalmente en C, y este implementa ejecución de código de otros lenguajes como el HTML y el JAVA, permitiendo que se puedan generar soluciones de alta gama, y que casi cualquier persona que incursione en la programación y en la electrónica pueda utilizarlo y generar más dispositivos y soluciones [7].

Para el desarrollo de la Aplicación para el celular, se utiliza un software desarrollado desde el MIT, denominado APPINVENTOR, este software, permite la creación de aplicaciones compatibles con los sistemas Android, por lo que dicha aplicación permite ser instalada en muchos sistemas como tablets y celulares, los cuales cuentan con dicho sistema operativo. Debido a que la utilización de AppInventor es gratuita, esto reduce aun mas los costos de la implementación del presente proyecto.

Otro de los sistemas que se utilizan [8] [9], que se trabajan gratuitamente y que pueden ser implementados desde los diferentes dominios que se alojan en la nube o en Internet, es la utilización de bases de datos de almacenamiento como lo es el Phpmymadmin, el cual permite su integración con las aplicaciones móviles diseñadas desde el Appinventor. Esto facilita la integración del sistema con cualquier otro sistema de gestión de datos que sea compatible con PHP.

## METODOLOGIA

Para la implementación del proyecto, se generó una metodología, la cual permite la investigación de un proceso más detallado desde la concepción de la idea, enmarcada en la propuesta de la Tesis de Maestría en Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional [1], desarrollada por Libardo Gómez Díaz, autor del presente artículo. De igual forma se implementa el modelo de proyecto integrando la Metodología CDIO (Berggren et al., 2003; Pee & Leong, 2005), que se expone en la siguiente figura 6.



Figura 6. Metodología CDIO. Fuente: Propia

Por lo que es importante conocer los pasos requeridos para poder determinar las necesidades que se contemplan en el diseño y planeación y ejecución de este tipo de proyectos, permitiendo que cualquier proyecto pueda manejar este tipo de metodología, y así concebir de una forma mucho más adecuada un prototipo funcional y que realmente de solución a una necesidad [1].

En el presente trabajo, se desarrolla una metodología donde se explica cada uno de los pasos para la obtención del proyecto desde su concepción, dichos pasos son:

1. Recopilación de la información, documentación y estado del arte: Inicialmente se realizará Lectura y recolección de documentos de proyectos y teorías implementadas en el área de la Domótica y el Internet de las cosas. Por último, en esta primera etapa del proyecto, se Investiga sobre Integración de sistemas por medio de aplicaciones de software de medición de agua.
2. Diseño del sistema de medición de Agua: Debido a que se requiere implementar un modelo en una de las tomas de agua principales de la Sede Muisca de la Unipanamericana – Bogotá, y determinar la huella hídrica del producto principal de la Empresa OMEGA WATER. Así se realizará la revisión de los parámetros básicos de medida y de los equipos eficientes de medición de agua. De esta forma se tomará medidas de señales eléctricas dadas para la medición de agua y garantizar la selección y caracterización del sensor adecuado. Por último, llegar a las pruebas iniciales y pruebas de funcionalidad del prototipo.
3. Diseño de la comunicación entre los dispositivos eléctricos y electrónicos: Para el modelo de comunicaciones del sistema, se requiere evaluar los modelos de comunicación de los datos medidos y que faciliten la comunicación entre los diferentes dispositivos, que sean seguros y adecuados según las necesidades.
4. Diseño de la Aplicación de Integración de la información y datos: El sistema final de monitoreo y diagnóstico presenta una interfaz para el usuario (Implementado en el Software), que le permite interactuar con el hardware y el ahorro en el consumo de agua, Dicha aplicación debe permitir al usuario final un mejor control de los consumos de agua y de las necesidades de ahorro, de conocimiento del agua que se gasta, así como dar herramientas y alertas de ahorro y gasto.
5. Construcción del Prototipo Funcional: Para esta etapa se hace la implementación de los circuitos y su conexión, así como el diseño estructural y la presentación final de operación. Se verifica y se hacen pruebas del sistema.

6.

6. Pruebas e integración del funcionamiento del sistema: Para la puesta en marcha, se pretende realizar pruebas reales en campo generando validación con usuarios finales del sistema para garantizar funcionalidad y la seguridad, así poner a punto el sistema, se tomarán medidas en uno de los puntos de flujo de agua de la sede Muisca de la Unipanamericana, y al Producto principal de OMEGA WATER, el cual consiste en un sistema de patentado denominado “Conjunto Hidráulico para el ahorro de agua en el Hogar”.

7. Diagnóstico y Evaluación de Resultados: Para validar las mediciones, y de igual forma comprobar los resultados de la huella hídrica, así como la efectividad del sistema, se analizarán las medidas en uno de los puntos de flujo de agua de la sede Muisca de la Unipanamericana, y al Producto principal de OMEGA WATER en un tiempo aproximado de 3 meses, se tomarán las medidas de consumo de agua, así evidenciar cuales son los niveles de ahorro y consumo al tener el sistema en operación.

8. Documentación y Resultados Finales: Para el paso final, se realiza la selección y explicación de las pruebas e investigaciones realizadas, así como las recomendaciones y las propuestas para mejora que se presenten en este proyecto. En la siguiente Figura 7, se muestra un resumen de esta metodología.

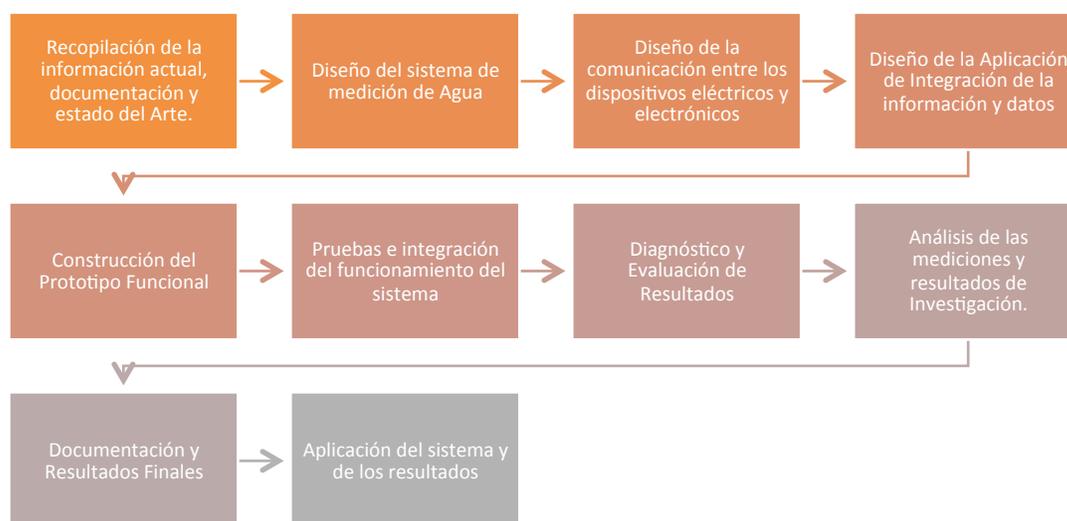


Figura 7. Resumen de la Metodología y pasos. Fuente: Propia

Se desarrollaron las pruebas en los puntos definidos anteriormente donde cada punto se define como Apartamento 1 y Apartamento 2. Esto con el fin de validar las pruebas en hogares y así poder determinar la huella hídrica no solo en empresas y corporaciones educativas sino desde las casas,

sacando perfiles de consumo y validando consumos con los medidores de agua utilizados actualmente en los hogares.

## RESULTADOS

Se presenta un sistema de gestión y monitoreo electrónico del consumo de agua desde un prototipo electrónico el cual se muestra en la figura 10, compuesto especialmente por una tarjeta de desarrollo ESP8266, con su desarrollo realizado en el software “Arduino Nighthly”, Hardware y un software, en conjunto facilitan la medición del consumo de agua, para estos resultados se analiza, los puntos expuestos anteriormente, denominados Apartamento 1 y Apartamento 2, con el fin de medir con la ayuda del Sensor de flujo YF-S201 y poder así determinar los perfiles de consumo que se presentan diariamente, esto permite al usuario determinar la huella hídrica de los hogares en un tiempo determinado y así poder determinar cuánta agua se consume. Dicho programa se soporta con HTML, desde el código generado del Arduino y envía los datos vía WIFI, para que sean almacenados en una base de datos, en PhpmyAdmin, lo que permite luego obtener la gráfica del consumo como se visualiza en la figura 8, Gracias a esta gráfica que se obtiene con el registro del sensor, se puede analizar, los consumos de cada uno de los apartamentos, determinando que días son los que se consume una mayor cantidad de agua y validar como mejorar y planificar los consumos del siguiente mes.

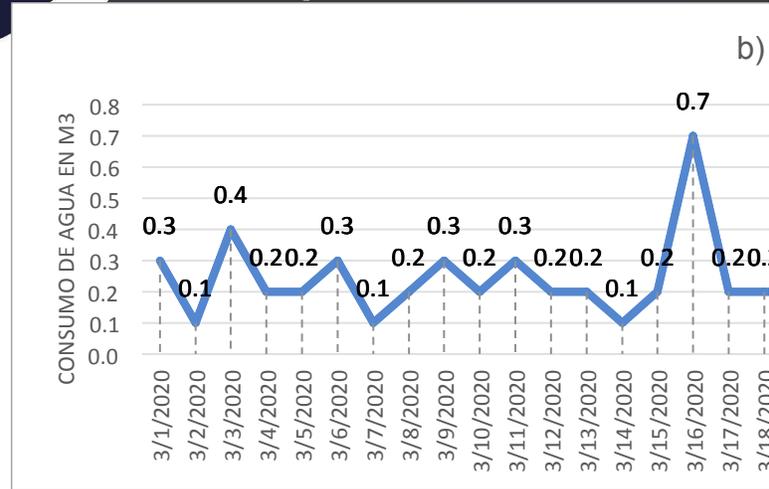


Figura 8. Visualización de los perfiles de consumo de agua de 1 mes. a) Apartamento 1. b) Apartamento 2.

Como se muestra en la figura 8, se evidencia las gráficas que se han obtenido desde el software realizado, se trabaja con una resolución para ambos apartamentos una resolución de 0,1 m3, así de puede conocer más detalladamente el consumo de agua que se tiene diariamente, aunque se ha realizado la toma del acumulado diario, también se puede configurar la aplicación, para que se tomen los datos minuto a minuto de los consumos, lo que facilitaría aún más conocer de qué dispositivo del hogar se está generando dicho consumo.

De igual forma en la figura 8, se muestran los consumos de agua medidos diariamente en cada uno de los apartamentos, durante un mes, específicamente el mes de marzo de 2020, donde se puede evidenciar que en el apartamento 1, se obtiene un consumo total en ese mes de 4,4 m3 con un promedio de consumo de 0,1 m3 diarios, lo que muestra que con respecto a las políticas de las normas Colombianas, para ciudades de clima frío, no superó el valor máximo de consumo con sobre costos, que como se mencionó anteriormente es de 28 m3, por lo que se cumple con gastos mínimos para no tener sobrecostos, pero con la ayuda del software, se puede controlar los gastos presupuestados, por lo que los usuarios, podrán tener alertas que les informen cuando el nivel de consumo diario supere lo presupuestado, que para este apartamento 1, se da de un gasto promedio diario de 0,1 m3. Aunque para mantener los gastos máximos, dados por la normatividad Colombiana de 28 m3 para viviendas en ciudades frías, el promedio de consumo diario debe mantenerse en menos de 0,9 m3 diarios.

También gracias a las gráficas obtenidas por el

sistema y que se muestran en la figura 8, el Apartamento 2, que se encuentra en tierra caliente, su tope máximo según las normas Colombianas es de 35 m<sup>3</sup>, por lo que con estos resultados obtenidos se evidencia que en este apartamento 2, también se cumple con las normas ya que el consumo en este mes de marzo 2020, se consumió un total de 7,6 m<sup>3</sup> con un promedio diario de 0,2 m<sup>3</sup>. Esto ayuda a comprender que se cumple también con los rangos de consumo para que no se generen multas, pero de igual forma el tener esta gestión, ayuda a que los usuarios puedan evidenciar los días en los que se presentan mayores consumos y de esta forma tomar acciones mas adecuadas para reducir gastos. Para el apartamento 2, se debería tener un consumo de 1,1 m<sup>3</sup> máximo para así evitar sobrecostos, por lo que es importante tener claras las alarmas, para evitar

altos consumos de agua, como se presentó en como se muestra en el pico máximo de la grafica de un consumo que alcanzó un valor de 0,7 m<sup>3</sup> el 16 del mes de marzo.

El software realizado y con el que se han obtenido las graficas anteriormente expuestas, se desarrollo con la ayuda de APPINVENTOR, y se tiene la posibilidad de seleccionar la IP, del dispositivo de medición, por lo que esta aplicación, sirve para poder almacenar los datos de medida de cualquiera de los dispositivos de medición que se instalen en una misma red, debido a que estas primeras medidas se desarrollaron en diferentes sitios, solo se agregó la IP del dispositivo instalado en la entrada principal de agua de cada uno de los apartamentos.

En la figura 9, se muestran las pantallas que tiene la app, Inicialmente su pantalla 1, de izquierda a derecha, muestra el inicio de la app, donde se realizará el login, para los diferentes usuarios que se quiera implementar en la misma, cabe anotar que en este momento solo se tiene un Usuario, que seria el usuario administrador, luego se evidencia la pantalla 2, Donde se seleccionan las IP de los dispositivos que se controlarán y los cuales envían las medidas de consumo de agua en cada uno de los puntos instalados, cabe anotar que para las primeras pruebas, solo existe una IP por apartamento. En la 3 pantalla de izquierda a derecha se observa el menú que permite agregar los dispositivos que se han detectado a la red, y se le puede dar el nombre determinado por el usuario, es decir que puede colocar el nombre del punto donde se esta realizando la medida, por ejemplo, Acometida principal, o

lavamanos o lavaplatos, o ducha, o el nombre que el usuario decida darle a dicho dispositivo de medida. Por último, en la pantalla 4, se puede observar la grafica de los datos medidos a la fecha, en este se muestran los medidos durante el mes de marzo de 2020, estas características pueden ser modificadas desde la base de datos, pero se implementará de igual forma como mejoras para la app diseñada.

Figura 9. Pantallas de la App realizada para la medición y control de las mediciones.

El sistema automático, de igual forma busca que en mejoras de la aplicación, pueda manejar alertas y avisos con mensajes al usuario dados desde la app, que le permiten educarse y conocer los límites de consumo, informa el exceso de consumo de agua, permitiendo conocer el consumo y así la huella hídrica de un hogar, empresa, corporación, servicio o dispositivo de suministro de agua.

El prototipo desarrollado como resultado de esta investigación, se muestra en la figura 10, donde se puede observar el sensor de Flujo de agua, el cual se conecta directamente a la tubería donde se medirá el consumo de agua, y este tiene un cable, el cual se conecta al prototipo, implementado con ESP8266, el cual tiene un acople a 110v, para que pueda ser energizado a cualquier toma de energía cercana al punto de medida. Esto facilita con un simple cable, poder energizar todo el sistema, la conexión se realiza gracias a la conexión de una red WIFI, desde el modulo ESP, el cual se encarga de conectar el dispositivo a su IP, y de esta forma iniciar el envío de datos a la base de datos, y así luego generando la gráfica de perfiles como se observó en las imágenes anteriormente evidenciadas en el presente documento. El consumo del dispositivo es muy bajo, ya que solo tiene una activación y desactivación del sistema, como el envío de señales a la base de datos alojada en internet, el sistema consume de 3,3v a 5v.

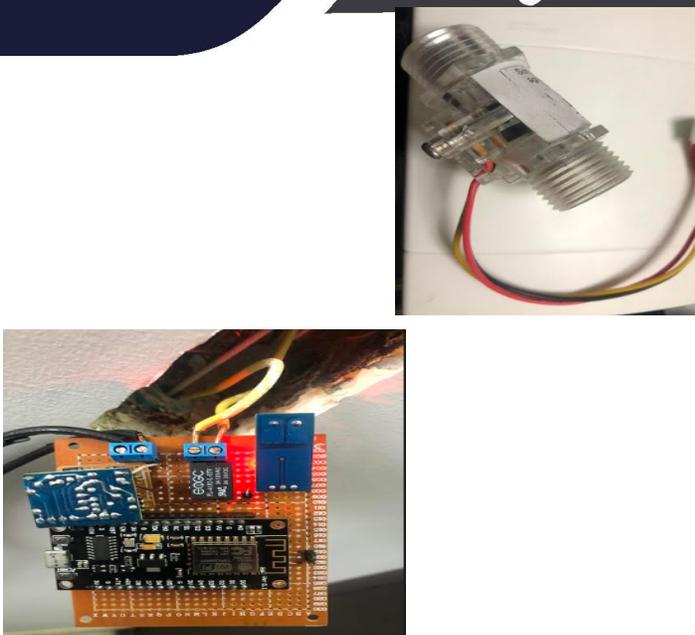


Figura 10. Prototipo de Circuito para medición de Cantidad de Agua Consumida.

Otro resultado que contribuye en la investigación es la “Sostenibilidad Inductiva”, ya que el concepto busca qué desde el sistema, con la ayuda de las alarmas configuradas que se están implementando en la app, los usuarios, puedan interactuar directamente con el ahorro, recibiendo mensajes auditivos que les permita mantener buenas prácticas de bajo consumo. Por lo que conocer como se realizan los gastos

diarios, el usuario evidencia directamente como van sus consumos de agua, y puede planificar si mejor realiza el lavado de ropa en otra ocasión, para no aumentar el promedio de consumo de agua. Además, puede evidenciar si se presentan fugas de agua, daños en los sistemas que consumen dicho líquido, y validar puntos potenciales de reutilización y de optimización del consumo de agua en cualquier dispositivo que sea monitoreado.

Como resultado final, se obtiene un sistema adecuado para la medición de la huella hídrica, el cual permite conocer los valores reales de consumos que se tiene en un sitio específico con una mejor resolución de la que tienen los equipos de medida actuales en dichos puntos una resolución de 0,1 m<sup>3</sup>, la cual puede mejorarse si es requerido desde el software, esto facilita la gestión y el desarrollo de mejores practicas para el ahorro, también permite que los usuarios puedan conocer el verdadero

consumo que se tiene en cada sistema, determinando así la huella hídrica real que se presenta en un hogar, en una empresa, organización o dispositivo que consume agua.

## DISCUSIÓN

Respecto a las pruebas que se han realizado hasta la fecha, se ha podido observar que el sistema depende de una base de datos la cual está conectada en internet, lo que implica la necesidad de una conexión de internet o una red WIFI a la cual se debe conectar cada dispositivo del sistema, pero se debe tener en cuenta que el usuario puede implementar un servidor virtual en su hogar o en el sitio de la medición, lo que permite fácilmente el almacenamiento en la intranet, sin necesidad de un servicio de internet, ya que solo con la red interna y la base de datos implementada sobre la red interna, este tipo de necesidades se reduce automáticamente.

Al encontrar las mediciones y el desarrollo del presente software, se puede evidenciar que presenta una gran similitud con los sistemas de medida industriales, pero con valores de diseño e implementación mucho menores, y debido a la baja precisión que se requiere, pero que es suplida directamente por el sensor de flujo, no hay ningún inconveniente, por lo que el porcentaje de ellos que se presenta es de  $\pm 2\%$  de la medida final, lo que implica un error muy bajo para el sistema y la variable medida con respecto al calculo del consumo y de la huella hídrica medida.

Por lo que es importante anotar que a diferencia de los costos que se presentan en el consumo de agua o en medidores industriales no son comparables con los de un hogar, por lo que el dispositivo puede ser acoplado para medidores o sensores de mayor rendimiento, pero la aplicación y la comunicación, así como los sistemas de bases de datos y grafica de la información, presentan la misma característica que se muestra en los resultados de esta investigación, por lo que todo lo aquí estudiado, puede proyectarse a sistemas mucho más grandes y de mayores consumos extrapolando los sensores simplemente.

El desarrollo de nuevas tecnologías como el Internet de las cosas [10] [11] [12], permite que la información sea cada vez más fácil de almacenar, permitiendo que el ser humano pueda conocer y tener mayor gestión e interacción con los procesos que ejecuta en las empresas, corporaciones y el hogar. La

información de los consumos que facilita este

proyecto permite que desde el hogar se inicie la gestión del cuidado y ahorro en el consumo de agua, así podemos estar más atentos a los cobros que nos realizan las empresas de Servicios públicos, también mejorar la eficiencia energética y aumentar los cuidados que se requieren para la sostenibilidad del planeta. El costo del Proyecto finalmente depende exclusivamente de la cantidad de puntos de medida que se quiere monitorear en el hogar o en la corporación, así como la cantidad de puntos de consumo de agua que se vaya a monitorear, Aunque se debe tener en cuenta que los costos de diseño son muy bajos en comparación con sistemas industriales y de igual forma todo presenta un retorno de la inversión, ya que al gestionar mejor los consumos de agua, se puede reducir el pago del servicio y esto hace que la inversión tenga un retorno más eficiente.

## CONCLUSIONES

Utilizar tecnologías de comunicaciones, en sistemas de app, que permitan la integración de hardware y de software, ayudan a que el ser humano pueda generar desde sus hogares sistemas inteligentes, que a futuro se puedan implementar con sistemas de redes neuronales y sistemas de inteligencia artificial, que permitan hogares inteligentes, que no generen consumos indiscriminados de agua, y además que permitan a los usuarios, administrar y planear mejor los consumos, así reducir el despilfarro de agua en los hogares, industrias y empresas, en la oferta de servicios y fabricación de productos, con el desarrollo y análisis de la huella hídrica en todos los puntos de consumo de agua que se puedan automatizar y controlar.

Este tipo de soluciones de software han ayudado no solo en el desarrollo del sistema de gestión, sino que gracias a que es un software libre esto permite que la realización de este tipo de sistemas tengan costos muy bajos en su desarrollo e implementación, Esta aplicación no requiere de licencias lo que ayuda a reducir costos en su manejo, además facilita que si se requiere el desarrollo de nuevas características, estas puedan rápidamente ser adicionadas y así mejorar los resultados de la medición de la huella hídrica.

Gracias a los resultados obtenidos, se puede evidenciar que la utilización de hardware y software libre, permite que los usuarios puedan ser parte activa del cuidado de los recursos naturales, igualmente de

su planificación y ahorro sea cada vez mayor, permitiendo que se implemente en los hogares, empresas y organizaciones soluciones de buenas prácticas de manufactura, que reduzca el consumo indiscriminado de agua, y pueda implementarse sistemas que no solo midan su consumo, sino que lo puedan regular, y de esta forma se reduzcan gastos inadecuados.

Se debe tener en Cuenta que la “Sostenibilidad” es un concepto, que adopta este proyecto de investigación, y que depende también del usuario final, ya que se busca darle pautas y una pedagogía al usuario para que de esta forme implemente mejores formas de ahorro, lo que poco a poco causa en el usuario una mejor planificación de los gastos y concientiza del cuidado del medio ambiente, para que pueda ser un participante activo del cuidado no solo de su presupuesto, sino también del cuidado de la naturaleza.

Con respecto a los resultados, es importante notar que la aplicación de software que se utiliza para este proyecto, puede ser mejorada, para que el usuario final pueda agregar diferentes dispositivos, sin importar las tecnologías, lo que ayudará a que este tenga mejor acogida, lo que no solo debe ser diseñado para que se utilice desde un computador, sino que pueda ser utilizado desde cualquier otro dispositivo como lo son los celulares inteligentes, permitiendo también a futuro la implementación desde cualquier sistema operativo, dando compatibilidad con todos, tanto en software como en hardware.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Gómez Díaz, Libardo, “Propuesta de Tesis de Maestría en la Universidad Nacional de Colombia, en Diseño de sistema de gestión y monitoreo de consumo de servicios domiciliarios”. Date of current versión mayo 28, 2018.

[2] Gómez Díaz, Libardo, “Prototipo para implementación de sistema de gestión y monitoreo de consumo de servicios domiciliarios”. REVISTA: METALNNOVA SENA, Pag 10 – 16. Date of current versión Enero 28, 2019.

[3] Brown, Kyle. “Build the circuit and set up the environment”, IBM. 2014  
<https://www.ibm.com/developerworks/cloud/library/cl-bluemix-arduino-iot1/index.html>  
Revisado: 12/03/2019

[4] Cruz Ardila, Juan Carlos; Cardona-Gómez, Juan Carlos; Hernández-Porras, Diego Mauricio. Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa Entramado, vol. 9, núm. 2, julio-diciembre, 2013, pp. 234-248. Universidad Libre Cali, Colombia.

[5] Halvorsen, Hans-Petter. “Introduction of Arduino an Open-Source Prototyping Platform”, University College of Southeast orway. 2014  
<https://www.ibm.com/developerworks/cloud/library/cl-bluemix-arduino-iot1/index.html>  
Revisado: 12/03/2020

[6] Quintana Boris; Pereira Vietnam Rafaela; Vega Cindy; Automatización en el Hogar: un proceso de diseño para viviendas de Interés social. Revista EAN, Rev. Esc. Adm. Neg. No. 78 Enero – Junio Bogotá, Pp. 108 – 121. Año 2015.

[7] Guacaneme Gerardo, Pardo Didier. “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y AGUA POTABLE REMOTO CON INTERACCIÓN AL USUARIO BASADO EN EL CONCEPTO “INTERNET DE LAS COSAS””. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2016.

[8] Salman L Salman S Jahangirian S Abraham M German F Blair C Krenz P. “Energy efficient IoT-based smart home”, 2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things, WF-IoT 2016.

[9] Cabrera J Mena M Parra APinos E. “Intelligent assistant To control home power network”. 2016 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing, ROPEC 2016.

[10] Khajenasiri I EstebsariA Verhelst M Gielen G. “A Review on Internet of Things Solutions for Intelligent Energy Control in Buildings for Smart City Applications”, Energy Procedia 2017.

[11] Mbarek B Meddeb A Ben Jaballah W Mosbah M. “A secure electric energy management in smart home”. International Journal of Communication Systems 2017.

[12] Kaneko M Arima K Murakami T Isshiki M Sugimura H. “Design and implementation of interactive control system for smart houses”. 2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics, ICCE 2017.