

# Sistema Electrónico con aplicación IoT de Reutilización de aguas grises

Franklin. G. VACA

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, Universidad Técnica del Norte,  
Av.17 de Julio 5-21 y Gral. José María Córdova, Ibarra, Imbabura, Ecuador

e-mail: fgvacac@utn.edu.ec

**Resumen**—A diario, el ser humano se enfrenta al desafío del desarrollo sustentable, parte de este reto es hacer eficiente el consumo del líquido vital y evitar su desperdicio. El agua es un recurso indispensable para la vida en el planeta; es por esta razón que en la actualidad debido a su escasez se propone un sistema electrónico capaz de automatizar procesos para reutilizar aguas grises. El prototipo se ha diseñado a escala de laboratorio tomando en cuenta exclusivamente un lavabo y un inodoro del complejo de acuático de la Universidad Técnica del Norte. El proyecto consta de dos partes: la primera parte enfocada al proceso físico de filtrado de aguas grises producidas en el lavabo y almacenadas en un depósito y la segunda parte centrada en el sistema electrónico automático con capacidad para abastecer el tanque del inodoro con agua reciclada, contabilizar la cantidad reusada y actualizar datos a la nube haciendo uso de protocolos de Internet de las Cosas. Cabe señalar que se ha tomado como metodología de desarrollo el modelo en V.

**Índice de Términos**—Aplicación de IoT, IoT, Reutilización de aguas grises, Sistema electrónico.

**Abstract**— Every day the human being faces the challenge of sustainable development, part of this challenge is to make efficient the consumption of the vital liquid and to avoid its waste. Water is an indispensable resource for life on the planet, nowadays due to its scarcity an electronic system capable of automating processes to reuse greywater is proposed. The prototype has been designed in laboratory scale considering exclusively a wash basin and a toilet of the aquatic complex of the Técnica del Norte University. The project consists of two parts: the first part focused on the physical process of filtering greywater produced in the wash basin and stored in a tank, and the second part focused on the automatic electronic system with capacity to supply the tank of the toilet with recycled water, to count the amount reused and to update data to the cloud making use of Internet of the Things protocols. It should be noted that the V-model has been taken as the development methodology.

**Index Terms**— Electronic system, Greywater reuse, IoT, IoT applications.

## I. INTRODUCCIÓN

La conservación del agua es un tema de interés global; actualmente la conciencia social está al tanto de la importancia del uso óptimo y ahorro de los recursos hídricos del planeta. [1] El problema de la escasez de agua surge debido a diferentes factores como: crecimiento exponencial de la población humana, falta de fuentes hídricas, mala

administración de estos recursos e instalaciones en grandes construcciones obsoletas y deficientes.

Con el desarrollo tecnológico es posible crear sistemas electrónicos que mecanicen técnicas para colaborar con el ahorro de agua en un entorno urbano y en ciertas condiciones en el área rural; permitiendo monitorizar la actividad del sistema a través del Internet de las Cosas. [2] El internet de las cosas es automatizar, operar y perfeccionar procesos que se ejecutan diariamente a través de internet, por otra parte [3] indica que IoT no simplemente radica en vincular objetos entre ellos y administrarlos remotamente sino, consiste en tener a disposición información precisa, computarizada y en tiempo real.

Existen muchas aplicaciones para el Internet de las Cosas, el presente escrito se ubica en las destinadas a edificios que [4] resume en tres apartados: aplicaciones smart, automatización de sistemas y monitorización del estado de edificaciones.

En este documento se presenta una alternativa para reutilizar aguas grises del lavabo del baño en el tanque del inodoro, evitando de esta manera que se utilice agua limpia donde no es necesario que la calidad del agua sea óptima. Según [5] y [6] las aguas grises se pueden recoger de fuentes como lavabos, duchas, fregadero, lavadora entre otras y después del tratamiento se pueden usar para distintos propósitos como descarga de inodoros o riego de jardines.

El proyecto se compone de dos partes: la primera etapa es la recolección, filtrado y almacenamiento de las aguas grises, sin la intervención del sistema embebido ya que el filtrado se realiza mediante un proceso de depuración físico, la segunda parte es la automatización del abastecimiento del tanque del inodoro con agua reciclada tomada desde el depósito; además se controla que no ingrese agua limpia mientras exista agua filtrada de modo que el ahorro sea el máximo posible. Gracias a los sensores instalados se puede controlar el ingreso de líquidos al tanque y también se puede cuantificar la cantidad de agua que se está reusando, finalmente se actualiza la información del agua reciclada diariamente, total y el estado del tanque de almacenamiento a plataformas de IoT en la nube.

Se ha diseñado el prototipo a escala de laboratorio para un baño del complejo acuático de la Universidad Técnica del Norte. En cuanto a la metodología de desarrollo se ha utilizado el modelo en V para elaborar el sistema electrónico, realizar pruebas de funcionamiento y obtener resultados.

La organización del presente documento es la siguiente, en la segunda sección contiene el diseño, implementación y pruebas de funcionamiento del sistema, en la sección tercera se presentan los resultados y finalmente la cuarta sección recoge las conclusiones.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño del sistema propuesto está realizado bajo los lineamientos del modelo en V. En la Fig. 1. [7] muestra las fases de desarrollo, en las tres primeras (análisis, requerimientos y diseño) se recopilan los datos necesarios para la implementación del sistema, en su vértice la fase de desarrollo de software, donde se estructura el código, y

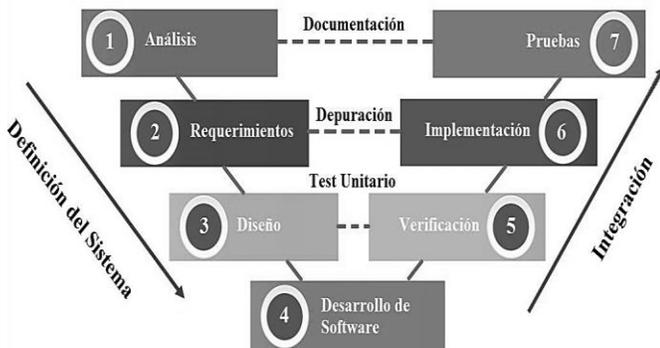


Fig. 1. Fases del Modelo en V y su relación en el proceso de desarrollo.

finalmente las últimas tres cumplen la función de efectuar las pruebas, verificación e implementación del sistema.

A. Análisis

El análisis proporciona una visión general para el diseño del sistema, se considera la situación actual mediante distintas técnicas de investigación científica. Para el presente proyecto se ha utilizado el método de observación directa para determinar el promedio de uso de lavabos e inodoros del área

TABLA I  
PROMEDIO DE USO DE INODOROS Y LAVABOS

Período de tiempo	Lavabo Caballeros	Lavabo Damas	Baño Caballeros	Baño Damas
1 Hora	5,4 litros	2,2 litros	1,3 veces	0,9 veces
2 Horas	10,8 litros	4,3 litros	2,5 veces	1,7 veces
5 Horas	27 litros	10,8 litros	6,3 veces	4,3 veces

de vestidores del complejo acuático, mismos que se presentan en la Tabla I.

Considerando la información de la tabla anterior se concluye que es el lavabo y baño de caballeros en donde se tendrá el mayor ahorro de agua debido a su uso más frecuente.

B. Requerimientos

Para determinar los requerimientos del sistema y los elementos que se van a usar en el proyecto se inicia con la definición de los stakeholders, luego se estudia los requerimientos iniciales, de arquitectura y finalmente de hardware y software. En estos dos últimos adicionalmente se realiza una comparación de las alternativas para definir los componentes a utilizar en el desarrollo del prototipo, y una vez

elegidos, se examina en detalle las características de los mismos.

TABLA II  
COMPONENTES DEL SISTEMA SELECCIONADOS SEGÚN LOS REQUERIMIENTOS

Tipo	Elemento	Elección	Cantidad
Hardware	Tarjeta programable	Raspberry Pi 3	1
Hardware	Sensor de nivel de agua	Sensor de boya	3
Hardware	Bomba de agua	AquaJet PFN 1000	1
Hardware	Sensor de flujo de agua	YF-S201	1
Software	Plataforma de IoT	1) ThingSpeak 2) Relayr	

La Tabla II muestra el hardware y software elegidos según los requerimientos de los stakeholders.

C. Diseño

La fase de diseño consiste en realizar un esquema del funcionamiento del sistema tomando en cuenta todos los componentes. El diagrama de bloques de la Fig. 2. presenta las

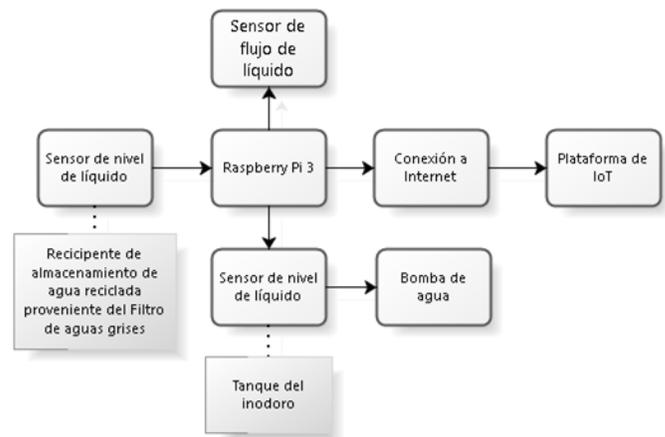


Fig. 2. Diagrama de bloque del sistema de reutilización de aguas grises actividades de una forma estructurada, asimismo se detalla la arquitectura del sistema considerando todos los componentes.

El sistema inicia filtrando aguas grises para luego almacenarla en el tanque mediante un proceso físico, a continuación la tarjeta programable Raspberry Pi 3 se encarga de leer los sensores y controlar los actuadores. Finalmente, a través de la conexión inalámbrica a internet, el sistema embebido actualiza los datos recopilados en la plataforma de Internet de las Cosas.

En base a lo anterior se plantea la arquitectura del sistema la cual consiste en detallar gráficamente todos los componentes del sistema elegidos y la manera en que se relacionan para cumplir la actividad de ahorro de agua desde el lavabo hacia el tanque del inodoro. Cabe recalcar que existen varias maneras y componentes que permiten realizar dicha actividad, pero para la arquitectura de este sistema se toma en cuenta los elementos que tengan el menor consumo de energía eléctrica, menor costo y menor complejidad para la instalación, de modo que el diseño propuesto sea eficiente y optimice los recursos; en este caso la válvula que incluye el inodoro junto con el servomotor controlado por el sistema embebido van a cumplir

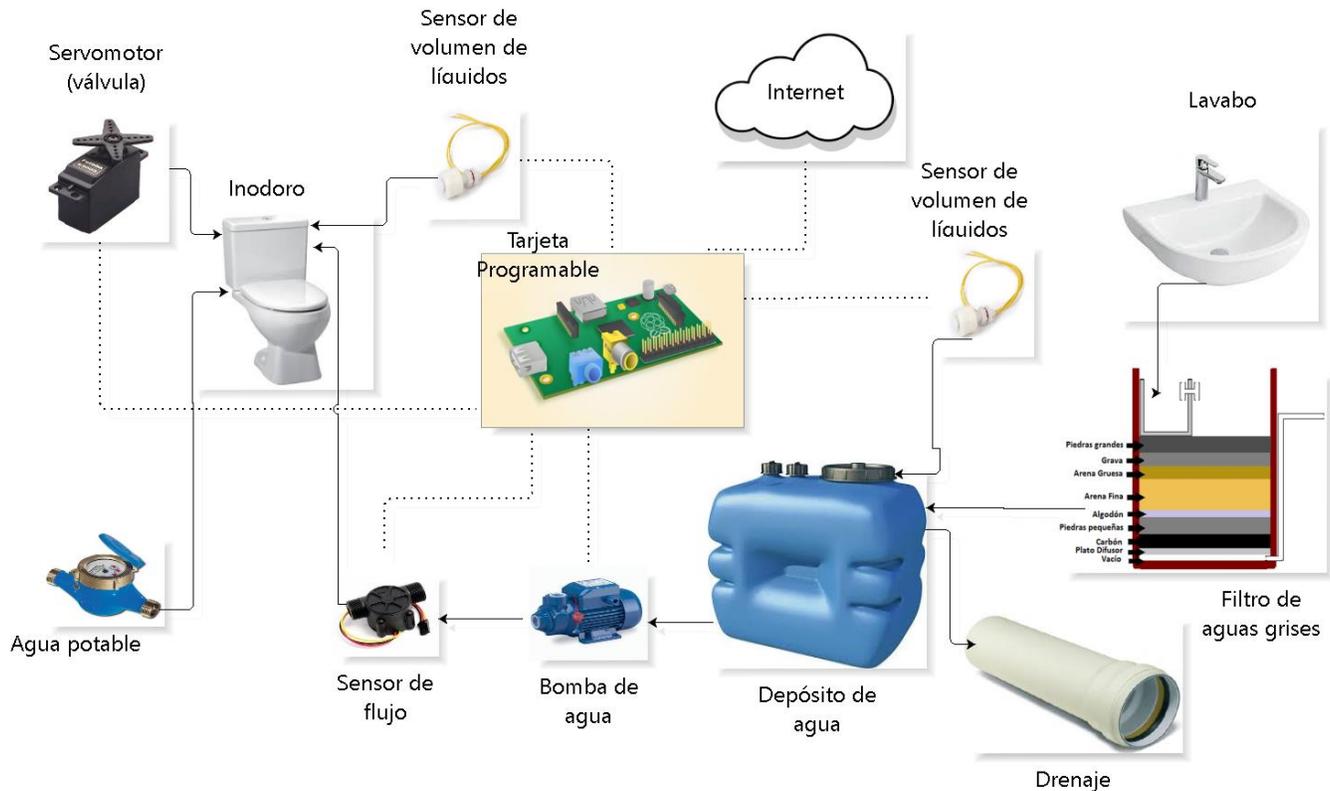


Fig. 3. Arquitectura del sistema de reutilización de aguas grises

la función de regular si el tanque se abastece con agua reciclada o limpia en caso de no existir agua reutilizable.

La Fig. 3. expone la arquitectura planteada para el proyecto, en ella se plasman todos los componentes, tanto del filtrado de las aguas grises como del sistema embebido.

Tomando en cuenta la arquitectura de la Fig. 3. se distribuye los pines IN/OUT de la tarjeta programable para los distintos sensores y actuadores que a ésta se conectan.

La Fig. 4. muestra la distribución de los pines GPIO de la Raspberry Pi 3.

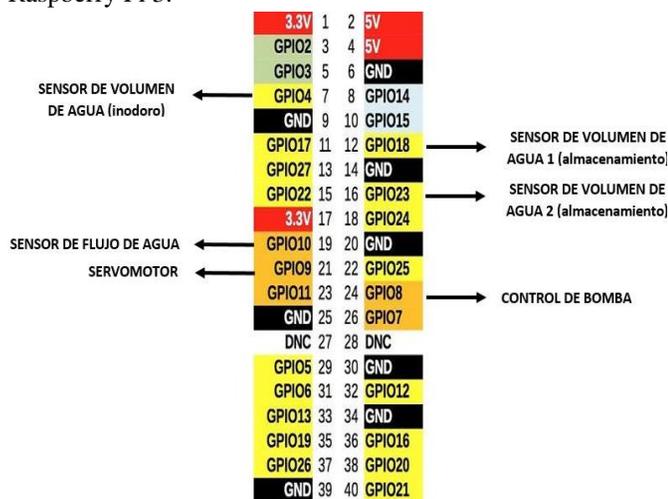


Fig. 4. Distribución de pines del GPIO de la Raspberry Pi 3

#### D. Desarrollo de software

El proceso de desarrollo del software se realiza en base al diagrama de bloques, la arquitectura y la distribución de pines

del GPIO. La programación de la tarjeta Raspberry Pi 3 se efectúa bajo las recomendaciones de buenas prácticas para la construcción de software.

El código fuente inicia con la importación de las librerías necesarias para el funcionamiento del sistema. Enseguida se inicializan las variables ocupadas para almacenar datos. Se tiene cuatro métodos que cumplen la función de: contar pulsos enviados por el sensor de flujo, interpretar las señales desde los sensores de nivel de agua en el almacenamiento para determinar la altura de agua, mover el servomotor y encender la bomba según sea necesario y reiniciar variables dependientes del tiempo. Luego constan líneas proporcionadas por la plataforma Relayr, mismas que permiten la publicación de datos por parte del cliente MQTT. Finalmente posee el bucle donde se ejecutan periódicamente los métodos y se publica los datos en las plataformas Thingspeak y Relayr. Es significativo tener en cuenta que los datos se van a actualizar en las dos plataformas mencionadas anteriormente debido a que Relayr por ser intuitiva y presentar los datos de manera ordenada y concisa está destinada a mostrar los datos al usuario, por otra parte Thingspeak se usa para el análisis de datos por parte del desarrollador, debido a que permite descargar la información que sube a la nube.

#### E. Verificación

Para comprobar el funcionamiento del sistema se realiza la verificación antes de la instalación con la finalidad de demostrar que el prototipo cumple a cabalidad la función para la que fue diseñado, tener experiencia del funcionamiento, recopilar información para mejorar el diseño

y corregir los errores que surjan.

La Fig. 5. plasma a la tarjeta programable Raspberry Pi 3 conectada todos los componentes externos con la ayuda del hardware diseñado y construido en el desarrollo de este proyecto. En este caso para realizar la verificación se emula el efecto que tendría el agua sobre los sensores de nivel cuando esta aumenta su altura tanto en el recipiente de almacenamiento, así como en el tanque del inodoro.

En la fase de verificación se comprueba el funcionamiento del sistema con todos los elementos físicos conectados, además de la conexión y actualización de datos en la plataforma de IoT.

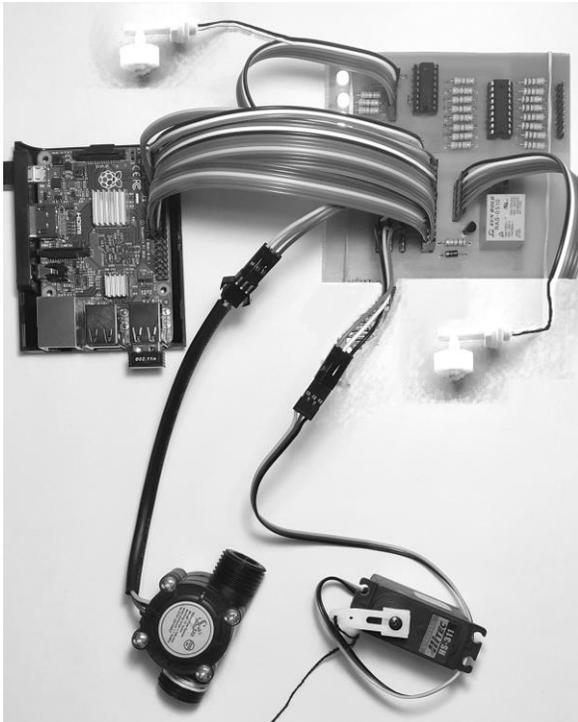


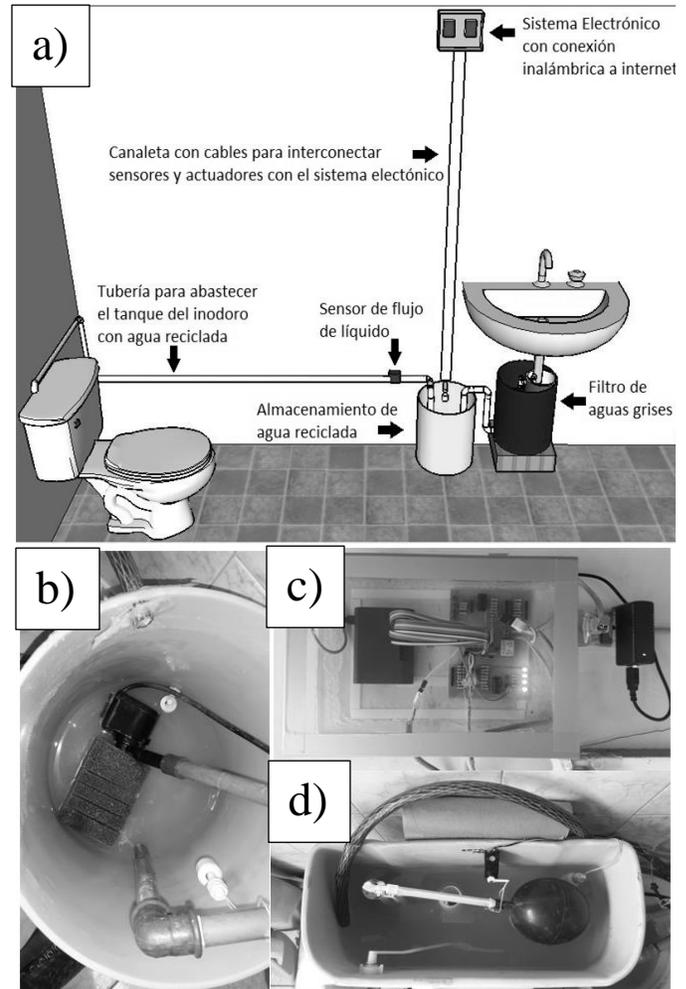
Fig. 5. Verificación del funcionamiento del sistema

Como resultado de esta práctica se obtiene que: el desempeño de los sensores de nivel de líquido es el adecuado, tiene que ajustarse el ángulo de giro del motor en la instalación, la bomba de agua tiene un tiempo de respuesta oportuno, así también es apropiado el funcionamiento del sensor de flujo y para finalizar las actualizaciones a la plataforma de IoT es inmediata. En conclusión, el funcionamiento completo es correcto y se procede a la instalación.

### F. Implementación

La implementación de sistema se realiza en un lavabo y un baño, tal como se definió previamente. Se inicia por instalar la tarjeta programable en un lugar alto, libre de humedad y fresco para evitar daños en los circuitos electrónicos. Luego se instala en el tanque del inodoro el servomotor unido a la boya de la válvula y un sensor de nivel de agua de manera que no se atasque. A continuación, se instala los sensores de nivel de agua, la bomba y el sensor de nivel de flujo a la salida; todo

está en el tanque de almacenamiento. Para culminar, el filtro de aguas grises ocupa el espacio bajo el lavabo de manera que el desfogue del lavabo coincida con el filtro. Una vez energizado el sistema se accede al Raspberry Pi 3 y se conecta inalámbricamente a internet. Finalmente se ejecuta el código programado. La Fig. 6. expone la instalación de todos los componentes del sistema en un baño.



- a) Instalación del sistema con todos sus componentes
- b) Instalación de la bomba y los sensores de nivel de agua en el tanque de almacenamiento
- c) Instalación de los circuitos electrónicos en la pared
- d) Instalación del servomotor y sensor de nivel de agua en el tanque del inodoro

Fig. 6. Instalación del sistema en un baño

### G. Pruebas funcionales

Con la finalidad de corregir los desperfectos que se mantengan en el sistema se evalúa el desempeño del sistema a través de las pruebas de funcionamiento de las cuales se destacan: prueba del filtro verificando que el agua que salga de éste se encuentre depurada; además de comprobar que no se tapone. Por otra parte, se valida que el sistema continúe operativo con o sin presencia de agua reciclada. Una de las pruebas más importantes es que no existan fugas de agua dentro de todo el sistema, esto se logra a través de la

observación directa. La última prueba es la actualización de los datos en la plataforma de Internet de las Cosas y se comprueba ingresando a internet y verificando los datos; la Fig. 7. contiene capturas de la actualización de datos en Relayr y Thingspeak.

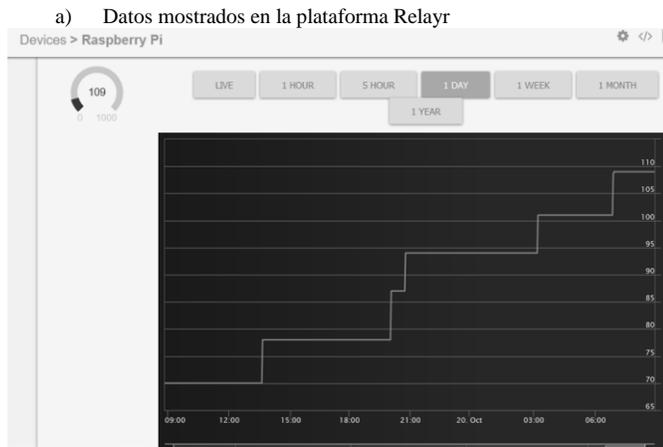


Fig. 7. Prueba de subida de datos en la nube.

### III. RESULTADOS

La implementación del sistema tiene como resultado un importante ahorro de agua y un consumo total de energía mínimo lo que hace que se califique al proyecto como sustentable, el proyecto contribuye a optimizar el uso de un recurso no renovable esencial para la conservación de la vida en el planeta. La Tabla III contiene un promedio ahorro del líquido vital en litros durante diferentes períodos de tiempo, y las descargas del inodoro que puede abastecer en relación a la cantidad ahorrada.

TABLA III  
PROMEDIO DE AHORRO DE AGUA CON LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Período de tiempo	Litros ahorrados	Descargas posibles
Diario	54	8
Semanal	378	54
Mensual	1620	231
Anual	19710	2816

Con la misma importancia que la optimización del uso del agua, también se produce un ahorro económico que está relacionado directamente con la cantidad de litros de agua que no se desperdician. Según la tarifa aplicada para el consumo del agua en el lugar de implementación; se estima 1,15\$ por cada metro excedente, en consecuencia, la Tabla IV contiene el ahorro económico relacionado a la cantidad de líquido optimizada.

Es un aporte sumamente significativo el ahorro de agua que se produce con la implementación del sistema electrónico de

TABLA IV  
PROMEDIO DE AHORRO ECONÓMICO CON LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA

Período de tiempo	Litros ahorrados	Patrimonio ahorrado
Diario	54	\$0,06
Semanal	378	\$0,40
Mensual	1620	\$1,90
Anual	19710	\$22,70

reutilización de aguas grises, que sumado con la reserva de dinero generan un impacto positivo para el ambiente y para los usuarios en el lugar de instalación.

### IV. CONCLUSIONES

Al finalizar el proyecto propuesto, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Al hacer uso de una metodología de desarrollo como el Modelo en V, se puede garantizar que el sistema cumple con requisitos de calidad.
- Se revisó detalladamente los requerimientos del sistema para determinar el hardware y software presentes en el diseño del mismo; adicionalmente, se realizaron pruebas de funcionamiento y se corrigieron errores.
- El Raspberry Pi 3 tiene la capacidad de funcionar las 24 horas del día durante todo el año, debido a que una tarjeta robusta, es decir, el sistema tiene alta disponibilidad y únicamente deja de funcionar en casos de suspensión de energía eléctrica.
- Una vez adquiridos los datos como resultado de la observación directa se analizaron y se estableció un promedio de ahorro del agua y de recursos económicos.
- La plataforma Relayr presenta la información al usuario de manera intuitiva, ordenada y amigable. Thingspeak permite la descarga de información almacenada con el propósito del análisis de los datos.
- La información almacenada en la nube está segura debido a la autenticación que solicitan las plataformas antes de actualizar los datos.

### V. REFERENCIAS

[1] P. Serrano, «www.certificadosenergeticos.com,» 04 2014. [En línea]. Available: <http://www.certificadosenergeticos.com/ahorro-eficiencia->

- uso-agua-edificios-entorno-lead. [Último acceso: 06 2016].
- [2] S. Z. Chen, «A Vision of IoT: Applications, Challenges and Opportunities With China Perspective,» *IEEE Internet of Things Journal*, pp. 349 - 359, 2014.
- [3] J. Moreno, Estudio de las plataformas software existentes para la Internet de las cosas, Catalunya: Universidad Oberta de Catalunya, 2015.
- [4] M. Alcaraz, «Internet de las Cosas,» *Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción*, pp. 2-3, 2014.
- [5] A. y. C. T.-K. Albalawneh, «Review of the greywater and proposed greywater recycling scheme for agricultural irrigation reuses,» *International Journal of Research - GRANTHAALAYAH*, pp. 16 - 35, 2015.
- [6] World Health Organization, Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - Volume 1 Policy and regulatory aspects, World Health Organization, 2006.
- [7] E. Georgiadou, «Software Process and Product Improvement: A Historical Perspective,» *Cybernetics and Systems Analyses*, pp. 125 - 142, 2003.

#### SOBRE EL AUTOR



**Franklin G. Vaca Chapi**, nacido en Tulcán, Carchi, Ecuador el 16 de abril de 1993. Realizó su educación secundaria en el Colegio Nacional José Julián Andrade, en 2010 obtuvo su título de Bachiller en la especialidad de Físico Matemático. Estudiante de décimo semestre de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación en la Universidad Técnica del Norte de la ciudad de Ibarra, 2016.