



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA**

**Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**ARTÍCULO CIENTÍFICO**

**TEMA:**

**“SISTEMA ELECTRÓNICO CON APLICACIÓN IoT DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES  
DE LA DUCHA HACIA EL INODORO PARA ESTIMAR UN AHORRO DE CONSUMO A  
ESCALA DE LABORATORIO”**

**AUTOR: EDWIN DAVID PUJOTA CUASCOTA**

**DIRECTOR: ING. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN**

**IBARRA – ECUADOR**

**2016**

# “SISTEMA ELECTRÓNICO CON APLICACIÓN IoT DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES DE LA DUCHA HACIA EL INODORO PARA ESTIMAR UN AHORRO DE CONSUMO A ESCALA DE LABORATORIO”

Jaime R. Michilena, Edwin D. Pujota  
jrmichilena@utn.edu.ec, edpujota@utn.edu.ec  
Universidad Técnica del Norte

**Resumen**— El presente trabajo consiste en el desarrollo de un sistema electrónico de reutilización del agua gris proveniente de la ducha hacia el inodoro para estimar un ahorro de consumo a escala de laboratorio. Este proyecto beneficiará a toda la comunidad universitaria de la Universidad Técnica de Norte que hace uso del complejo acuático UTN, ya que, mediante este sistema, se podrá reducir el uso del agua potable en actividades que no demanden la calidad de la misma como es caso del inodoro, además de reducir el consumo de agua potable este generará un beneficio tanto económico como ambiental.

Los datos de la cantidad de agua reutilizada en metros cúbicos, el ahorro económico en dólares y la temperatura de la CPU son enviados mediante una conexión inalámbrica wifi, a la plataforma para IoT que es ThingSpeak, en esta plataforma se muestran los datos en forma gráfica y lo más importante es que será muy fácil de interpretar para cualquier persona, tenga o no experiencia con el manejo de la plataforma ThingSpeak.

**Palabras claves**— Aguas grises, sistema embebido, thingspeak, Internet of Things(IoT)

## I. INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos en la actualidad buscan el bienestar de las personas, donde se torna en desarrollos tecnológicos que puede ser en un futuro imprescindible para los seres humanos o simplemente una tecnología que quedara para el olvido. Actualmente en Ecuador existen proyectos de gobierno que impulsan a desarrolladores de software y hardware presentar propuestas de avances tecnológicos donde pequeñas ideas pueden convertirse a un futuro de gran impacto social y tecnológico.

El agua es para la especie humana fuente de vida, nuestro futuro parece está determinado por la escasez de la misma, debido al agotamiento de las fuentes naturales, por el cambio climático, el uso y mal uso de una población creciente que demanda mayor volumen. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), una de cada tres personas en el mundo no dispone de agua potable suficiente para satisfacer sus

necesidades diarias, 500m<sup>3</sup> anuales es la cantidad recomendada para que una persona pueda llevar una vida sana e higiénica. [1]

Una agua que a primera vista puede resultar inservible tiene un grado de contaminación que es relativamente bajo y no exige un tratamiento mayor para ser reutilizada donde la calidad no es necesaria como en las cisternas de los baños, el regadío, entre otros, a través de nuevos sistemas eficientes de tratamiento, almacenamiento y distribución que ayudan al medio ambiente y a la economía permite reducir el consumo de agua potable, así como el vertido de agua residuales, disminuyendo el caudal a las fosas sépticas o plantas de tratamiento.

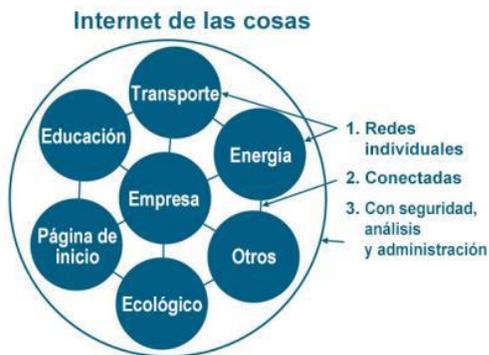
Este proyecto está orientado al Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV), que en uno de sus objetivos dice que todas las personas tienen el derecho a los servicios de básicos como el agua potable, la luz y alcantarillado, garantizando la calidad de la misma. También garantiza los derechos de la naturaleza y promueve la sostenibilidad ambiental, territorial y global. Reduciendo el consumo innecesario del agua potable en actividades que no demanden la utilización de agua de consumo.

## II. MARCO TEÓRICO

### A. Internet of Things

Internet of Things (IoT) se está convirtiendo en un tema de conversación cada vez más creciente tanto en el lugar de trabajo y fuera de él [2]. IoT Es un concepto que trata de la conexión de dispositivos a internet, en el que los objetos de la vida cotidiana estarán equipados con microcontroladores, transceptores de comunicación digital, y pilas de protocolos adecuados que les haga capaces de comunicarse entre sí y con los usuarios, convirtiéndose en una parte integral de la Internet.

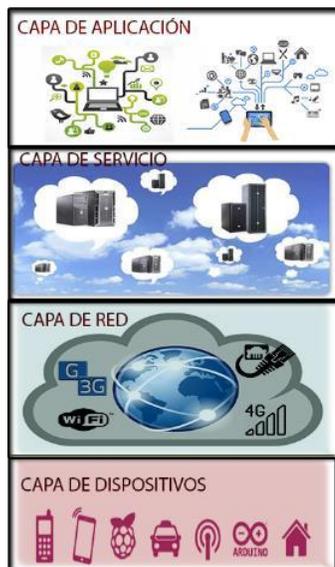
Actualmente, IoT está compuesta por una colección dispersa de redes diferentes y con distintos fines a medida que la IoT evoluciona, estas redes y muchas otras estarán conectadas con la incorporación de capacidades de seguridad, análisis y administración [3], como se observa en la figura 1.



**Figura 1.** Esquema de comunicación de la Internet de las cosas (IoT)  
Fuente: Evans D. (2011). CISCO IBSG

### 1) Modelo de referencia para IoT

La tendencia se inclina a dar solución a dos problemas fundamentales: buscar una forma estándar de acceso al medio y a los dispositivos, y por otra parte buscar la forma de integrar los dispositivos a la Internet [4]. El modelo de referencia de la IoT está compuesto por cuatro capas [5] como se puede observar en la figura 2.



**Figura 2.** Diagrama del modelo de referencia de la IoT.  
Fuente: Carrez Francois (2013). Internet of Things – Architecture

La capa de dispositivos conecta todo con la Internet y es la infraestructura clave para IoT. Consta de una gran variedad de dispositivos y sensores los cuales permiten obtener datos en cualquier lugar.

La Capa de Red provee principalmente los servicios de envío, enrutamiento (routing) y control de congestión de los datos (paquetes de datos) de un nodo a otro en la red.

La capa de servicio es definida como computación en la nube ya basa su funcionamiento en la virtualización de los servicios de computación tales como Software, plataformas de desarrollo e infraestructura, todo a través de internet.

La capa aplicación define las aplicaciones y los servicios de la IoT que puede hacer uso el usuario final.

### 2) Protocolos para IoT

Existe una gran variedad de protocolos de comunicación que pueden aplicarse para el internet de las cosas, dentro de los cuales los más actuales se detallan a continuación.

Constrained Application Protocol (CoAP) es un protocolo de capa aplicación que ha sido diseñado y utilizado a través de redes restringidas tales como las redes 6LoWPAN. Una característica distintiva de CoAP es el uso de User Datagram Protocol (UDP) como protocolo de capa de transporte en lugar de TCP [6] [7].

Message Queue Telemetry Transport (MQTT) es un protocolo de la capa aplicación diseñada para dispositivos con recursos limitados. MQTT se basa en el Protocolo de Control de Transmisión (TCP) [6] [8].

### B. Hardware y Software

El hardware es el componente electrónico o cualquier otro elemento físico involucrado en un sistema y el software es la parte lógica que permite crear aplicaciones según las necesidades de los usuarios.

#### 1) Open Source Hardware (OSH)

El término “código abierto” al principio aplicado a proyectos de software con código fuente público y disponible para que otros puedan modificar, mejorar y compilar. Actualmente, el código abierto también está disponible para el hardware que proyecta e incluye diseños de la placa de circuito impreso [9].

#### 2) Open Source Software (OSS)

Software de código abierto es software cuyo código fuente está disponible para su modificación o mejora. El Código fuente es la parte del software que la mayoría de los usuarios de computadoras no siempre ven [10].

#### 3) Plataformas en la nube para IoT

Los avances en la Internet de las cosas (IoT) han proporcionado una infraestructura global de las entidades físicas en la red, capaz de monitorear y controlar su estado físico, así como a exponerse a través de flujos de datos y servicios a través de la red. Las plataformas para IoT permite virtualizar el dispositivo, el estado de los sensores y actuadores. Las plataformas en la nube para aplicaciones IoT se pueden acceder de forma gratuita o limitada dependiendo de las funciones que necesite el usuario.

### C. Aguas Grises

Las aguas grises, se refiere a las aguas residuales generadas a partir de usos domésticos como bañarse y lavar la ropa. En muchos sistemas de servicios públicos de todo el mundo, las

aguas grises se combinan con las aguas negras en un único flujo de aguas residuales domésticas. Sin embargo, las aguas grises pueden ser de mucho mayor calidad que las aguas negras debido a su bajo nivel de contaminación y mayor potencial para su reutilización.

### 1) Características de las aguas grises

El agua gris generada recientemente no es tan desagradable como las aguas negras, pero si no se maneja adecuadamente pronto, puede llegar a serlo. El agua gris se descompone a un ritmo mucho más rápido que las aguas negras y si se almacena para tan poco como 24 horas, las bacterias consumen todo el oxígeno y el agua gris se vuelve anaeróbico y se vuelve séptico.

### 2) Categorías de las aguas grises

Las aguas residuales del cuarto de baño, que, incluyendo duchas y bañeras, se denomina aguas grises ligeras. Las aguas grises que incluye los residuos más contaminados como son los lavaplatos y de lavandería y, en algunos casos, los fregaderos de la cocina se llama aguas grises oscuras [11].

### 3) Calidad de las aguas grises

Cuando el agua gris se acaba de producir no suele tener ningún olor desagradable en comparación con las aguas negras, las aguas grises tienen una temperatura relativamente alta y contaminantes fácilmente degradables. Por lo tanto, necesita ser tratado inmediatamente después de la recogida [11]. Como se ha mencionado anteriormente las aguas grises se pueden clasificar por su origen como se muestra en la tabla 1. Cada una de estas fuentes de aguas grises produce una composición ligeramente diferente [12].

**Tabla 1.**

Composición de las aguas grises provenientes de la cocina, baño y lavadero.

Usos	Características de las aguas grises
Cocina	Las aguas grises de la cocina contienen residuos de alimentos, altas cantidades de aceite y grasa, incluyendo detergentes para lavavajillas
Baño	Las aguas grises del baño son consideradas como la fuente de aguas grises menos contaminadas dentro de un hogar. Contiene jabones, champús, pasta de dientes y otros productos para el cuidado corporal.
Lavandería	Las aguas grises de la lavandería contienen altas concentraciones de productos químicos a partir de polvos de jabón, así como blanqueadores, sólidos en suspensión y, posiblemente, aceites, pinturas, disolventes, y las fibras no biodegradables de la ropa.

**Fuente:** Vilhelmiina Harju (2011). Assembling and testing of laboratory scale grey water

### 4) Reciclaje de las aguas grises

Las aguas grises de baños, duchas, lavabos y lavadoras tienen que ser recogida por separado de las aguas negras, tratado y, finalmente, desinfectada para su reutilización como fuente de agua no potable. La reutilización de las aguas grises puede ser tan barato y fácil (pero con la utilización de mucha mano de obra) como cántaros de agua exterior, o tan complejo y costoso (pero conveniente para su uso) como la instalación, tratamiento, sistemas de distribución. Los sistemas avanzados recogen, filtran y tratan las aguas grises para uso en interiores como cisterna del inodoro o el lavado de ropa.

### 5) Tecnologías para tratamiento de las Aguas Grises

Las aguas grises tienen un contenido relativamente bajo de nutrientes y patógenos y, por lo tanto, se puede tratar fácilmente a un agua de alta calidad utilizando tecnologías para su tratamiento. Las tecnologías utilizadas para el tratamiento de aguas grises se pueden dividir en sistemas biológicos, físicos, químicos, y, o una combinación de estos [11]. La mayoría de estas tecnologías están precedidos por tres diferentes etapas de tratamiento: pretratamiento, tratamiento principal, y post-tratamiento.

Los sistemas biológicos están precedidos generalmente por una etapa de pre-tratamiento de filtración gruesa y seguido por sedimentación/filtración para eliminar los biosólidos o lodos, y una etapa de post-tratamiento de desinfección por cloración o filtros ultravioleta (UV), para eliminar microorganismos.

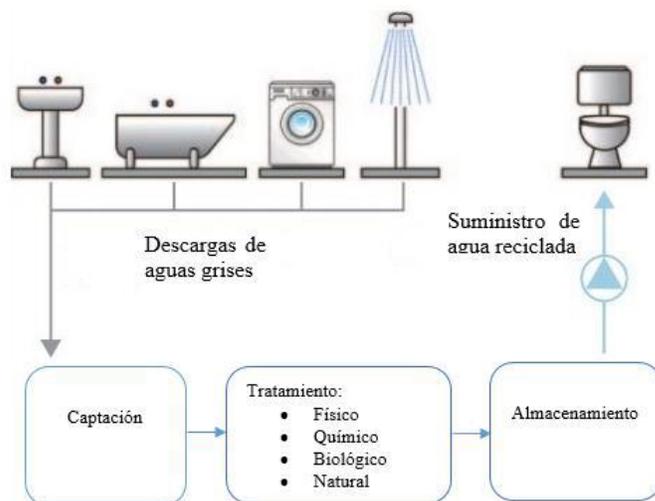
Los sistemas de tratamiento físico de aguas grises incluyen la filtración y sedimentación. La filtración como un método de tratamiento previo incluye mallas de pantalla, filtración de lecho de arena, la filtración con el tipo calcetín de nylon, coladores metálicos o la filtración de grava.

Los sistemas de tratamiento químico de aguas grises incluyen la coagulación, floculación, electrocoagulación, adsorción con carbón activado granular (GAC) y zeolitas naturales, resina de intercambio iónico magnética (MIEX), carbón activado en polvo (PAC) y los procesos de oxidación avanzada (AOP), tales como la ozonización y la fotocatalisis. Estos sistemas son eficaces para su uso con aguas grises ligeras y, en algunos casos, las aguas grises de lavandería.

Los sistemas de tratamiento natural de aguas grises son sistemas que utilizan medios naturales para la filtración y la degradación biológica (por ejemplo, el suelo y las plantas).

### 6) Sistemas de reutilización de las aguas grises

Los sistemas de aguas grises requieren un sistema de transmisión separado para detectar el agua gris y la distribución del agua del agua potable [13].



**Figura 3.** Sistema de reutilización de aguas grises.

**Fuente:** Dietmar Sperfeld, FBR (2012). Grauwasser-Recycling

Como se muestra en la figura 3, el agua gris atraviesa diferentes tipos de etapas, por ejemplo, en la reutilización en inodoros, significa que el agua gris captada pasara por un sistema de transmisión hasta llegar a un sistema de recolección para el pre-filtrado, luego avanzara a la etapa de tratamiento en la cual se aplicara las diferentes tecnologías de tratamiento como físico, biológico, químico o natural para luego pasar a la etapa de almacenamiento para su uso en el inodoro.

#### 7) Ventajas de la reutilización del agua gris

- Reducción de la demanda total de agua
- Reducción de las cargas hidráulicas y orgánica en el sistema de aguas residuales municipales
- Reducción de las facturas de agua
- Reposición de las aguas subterráneas que contribuye a un ciclo de agua saludable
- Protección de los ecosistemas acuáticos debido a la disminución de desviación de agua dulce

#### 8) Desventajas de la reutilización del agua gris

- No se pueden almacenar durante más de 24 horas (ya que los nutrientes se rompen y causan mal olor).
- Jabones y detergentes biodegradables también pueden presentar un problema en un período de tiempo cuando se utiliza aguas grises para el riego.
- Contiene grasas, aceites, grasa, pelo, pelusa, jabones, limpiadores, suavizantes de ropa, y otros productos químicos que son perjudiciales para las plantas.

### III. DESARROLLO DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES

Mediante el uso del Modelo en V para desarrollo de software se realizará un proceso ordenado y estructurado para determinar los requerimientos de este proyecto, basándose en el estándar IEEE 29148 con la finalidad de seccionar los elementos electrónicos que más se ajuste a los requerimientos del sistema.

#### A. Modelo de desarrollo en V para sistemas embebidos

El modelo planteado se basa específicamente en el modelo de desarrollo en V, ya que es una mejora al modelo en cascada que permite un trabajo secuencial en fases estrechamente conectadas para el desarrollo con su debida retroalimentación y documentación adecuada, por otra parte, para el análisis inicial y los requerimientos del sistema se trabaja con el estándar IEEE 29148 que permite un adecuado trabajo.

#### B. Análisis de requerimientos de elementos electrónicos mediante la norma IEEE 29148

El estándar ISO/IEC/IEEE 29148 del año 2011 para la Especificación de Requisitos de Software, permite la elección mediante la evaluación de un sin número de parámetros y requisitos específicos.

##### 1) Propósito del sistema

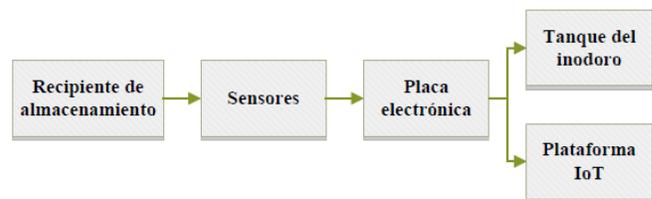
El principal propósito que debe cumplir el sistema es medir la cantidad de agua reutilizada en metros cúbicos, el ahorro económico generado en dolores, y enviar estos datos enviarlos a la plataforma para IoT, mediante una conexión a internet.

##### 2) Alcance del sistema

En el proyecto se utilizará un sistema electrónico, el cual constará de una placa de desarrollo con las siguientes características; que se pueda conectar diferentes sensores, que pueda almacenar datos en un archivo de texto, que tengo una conexión a internet y que tenga puertos de entrada/salida.

##### 3) Perspectiva del sistema

El sistema electrónico consta de las siguientes fases como se muestra en la figura 4. El diagrama de bloques constará principalmente de un recipiente de almacenamiento para la recolección del agua proveniente de la ducha, en la cual estarán instalados los sensores que serán los encargados de enviarla información a una placa electrónica, la cual los procesara para la activación y comunicación con la aplicación del sistema que es el tanque del inodoro y la plataforma IoT.



**Figura 4.** Diagrama de bloques del sistema de reutilización del agua gris proveniente de la ducha.  
**Fuente:** Autoría.

El recipiente de almacenamiento cuenta con un método de filtrado y purificación que mejor se adapte a las necesidades de reutilización de las aguas grises.

El sistema cuenta con los siguientes elementos: un sensor de flujo de agua, dos sensores de nivel de agua, una electroválvula y una de bomba de agua sumergible.

La placa electrónica almacena los datos obtenidos del sensor de flujo de agua en un archivo de texto para posteriormente subir a la plataforma IoT y obtener estadísticas de reutilización en metros cúbicos y el ahorro económico en dólares.

##### 4) Características del usuario

Este sistema electrónico podrá ser utilizado de una manera simple, ya que estará configurado para que funcione de manera automática. Los usuarios podrán visualizar; la cantidad mensual de agua reutilizada en metros cúbicos, y el ahorro económico en dólares, en una plataforma en la nube.

##### 5) Restricciones de sistema

- Utilizar una comunicación inalámbrica entre la placa de desarrollo y el router.
- El recipiente de almacenamiento deberá estar sujeto a las condiciones físicas del lugar.



El recipiente de almacenamiento será colocado bajo la ducha, el cual contará con un sistema de filtración de agua para evitar el ingreso de partículas sólidas al recipiente, también ayudará a filtrar el resto de jabón, shampoo o grasas. El filtro estará ubicado sobre el recipiente, el cual está hecho a base de grava, carbón activado y algodón filtrante.

### 2) Etapa de sensores

En esta etapa se utiliza los sensores; de flujo de agua que permitirá conocer la cantidad de agua reutilizada el cual ira ubicado a un lado del inodoro, de nivel de agua los cuales permitirá activar la bomba para el llenado del tanque del inodoro cuando se encuentre vacío y siempre que haya agua en el recipiente de almacenamiento.

### 3) Etapa de automatización

En esta etapa se encuentra la placa Raspberry Pi 3 al cual se conectan todos los sensores a sus respectivos pines GPIO, para enviar y recibir información de ellos. En esta etapa también se encuentra la placa electrónica con sus respectivos elementos como resistencias, diodos, diodos led, transistores y relevadores.

### 4) Etapa de aplicación

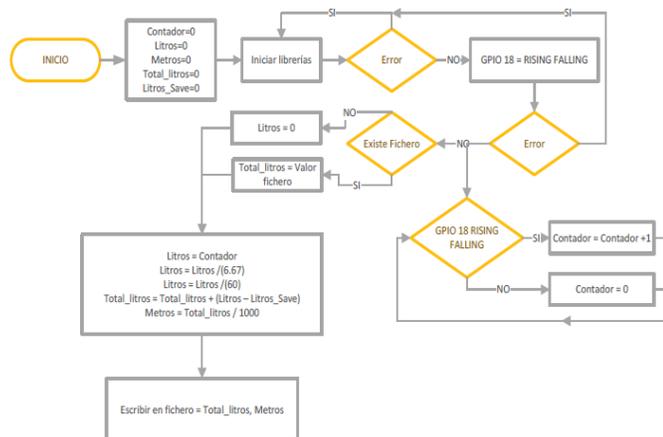
Dentro de la etapa de aplicación se tiene: la interfaz inalámbrica y tanque del inodoro. La interfaz inalámbrica es para la salida de información hacia la internet, dándole al sistema una aplicación IoT y el tanque del inodoro será llenado con el agua filtrada y purificada que se encuentra en el recipiente de almacenamiento.

### F. Programación

La Raspberry Pi 3 utiliza el lenguaje de programación Python por defecto, este es un lenguaje de programación de alto nivel lo cual predomina por su facilidad y la gran contribución de miles de desarrolladores.

#### 1) Diagrama de flujo sensor de flujo de agua

Diagrama de flujo para medir la cantidad de agua reutilizada.

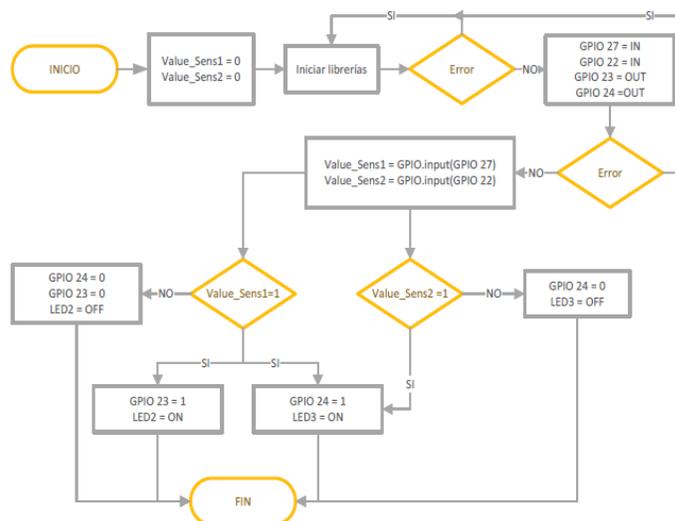


**Figura 6.** Diagrama de flujo sensor de flujo de agua reutilizada  
**Fuente:** Autoría

En la figura 6 se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la lectura del sensor. El sensor de flujo agua entrega un tren de pulsos que es proporcional al flujo de agua que circula por el en ese momento, la cual se la calcula con la ecuación 1. El valor que se obtiene con la ecuación viene dado en litros por minuto, para ello hay que convertirlo a litros y a metros cúbicos, para luego almacenarlos en un fichero para tener de respaldo la información en el caso que exista un corte de energía y en el momento que se reanude la energía leer el archivo, obtener el dato almacenado y sumar acumulativamente la cantidad de agua reutilizada.

#### 2) Diagrama de flujo sensor nivel de agua

Mediante el diagrama de flujo de los sensores de nivel se indica el funcionamiento de la bomba de agua sumergible y la electroválvula.

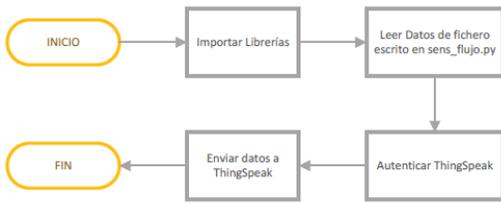


**Figura 7.** Diagrama de flujo sensor de nivel de agua.  
**Fuente:** Autoría.

En la figura 7 se muestra el diagrama de flujo del sensor de nivel de agua, donde la lectura de los sensores se las almacena en las variables correspondientes. El sensor1 y sensor 2 realizan la comparación de sus valores para activar la bomba siempre y cuando el recipiente de almacenamiento contenga agua y el tanque del inodoro se encuentre vacío. Si no coinciden estas condiciones la bomba no se activará. El sensor 1 que se encuentra en el tanque de almacenamiento desactiva la electroválvula para cerrar evitando que ingrese el agua potable, mientras exista agua reutilizable.

#### 3) Diagrama de flujo para enviar datos a la plataforma ThingSpeak

La plataforma ThingSpeak está orientado para el internet de las cosas. En esta plataforma se podrá visualizar gráficamente: la cantidad de agua reutilizada en el inodoro en metros cúbicos y el ahorro económico en dólares



**Figura 8.** Diagrama de flujo para datos a la plataforma ThingSpeak.  
Fuente: Autoría

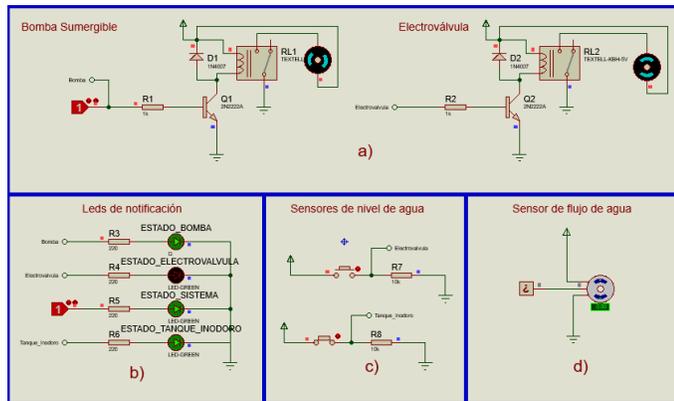
En la figura 8. Se muestra el diagrama de flujo de la para el envío de datos a la plataforma ThingSpeak.

### G. Integración

La fase de integración es muy importante donde validamos nuestro diseño con nuestro programa funcional.

#### 1) Software de diseño y simulación

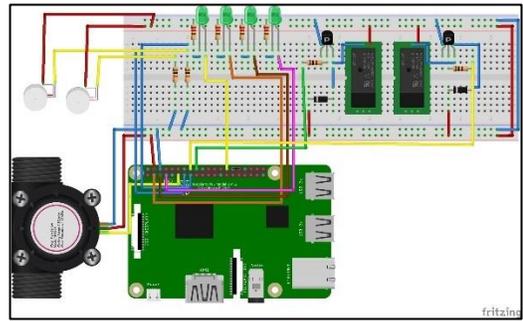
La simulación del circuito electrónico se lo realiza en el software de simulación Proteus, para la comprobación la reacción de los dispositivos electrónicos con su programación.



**Figura 9.** Simulación del sistema electrónico  
Fuente: Autoría

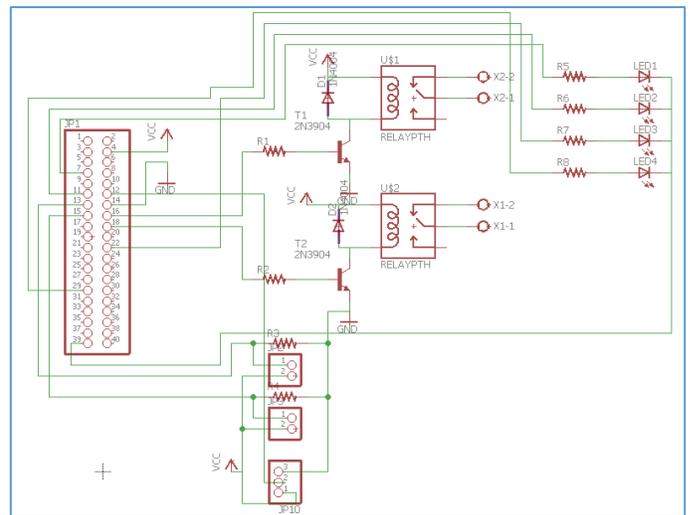
En la figura 9 se encuentra la simulación de cada una de las partes del sistema electrónico como son: Circuito para la activación de la bomba de agua sumergible, y la electroválvula, leds de verificación del estado de cada elemento electrónico seleccionado, sensores de nivel tienen la configuración pull-down, ya que el sensor de nivel de agua funciona como un interruptor y el sensor de flujo de agua de efecto hall que mide la cantidad de agua que circula por él y envía los datos a placa Raspberry Pi 3.

Para esquematizar la conexión de la placa Raspberry Pi 3 con los diferentes sensores se utilizó el software Fritzing como se muestra en la figura 10.



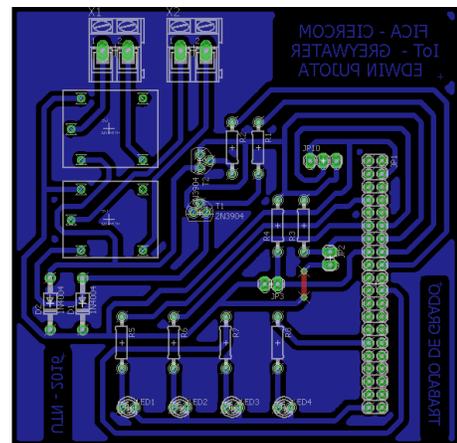
**Figura 10.** Conexiones de simulación del sistema  
Fuente: Autoría

El diseño de la placa electrónica fue realizado en el software Eagle. En la figura. 11, podemos observar el diseño realizado para la conexión con la placa Raspberry Pi 3.



**Figura 11.** Diseño de la placa electrónica en el software Eagle  
Fuente: Autoría

En la figura 12, se puede observar la placa electrónica ya realizado el ruteo de las pistas, para su posterior impresión en la placa o baquelita de fibra de vidrio.



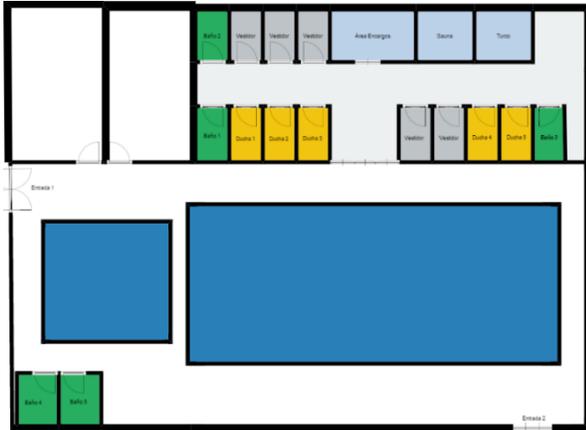
**Figura 12** Diseño del circuito para el sistema electrónico  
Fuente: Autoría

## H. Implementación del sistema

El proceso de implementación es la fase final del modelo donde una vez verificado todo el sistema puede ser puesto ya en marcha en su ubicación.

### 1) Situación actual del complejo acuático UTN

La Universidad Técnica del Norte cuenta con una piscina semiolímpica la cual consta de; sauna, turco, hidromasaje, Piscina polar. El complejo acuático UTN cuenta con 5 duchas (color naranja) y 5 baños (Color verde) las cuales se encuentran ubicados como se muestra en la figura 13.

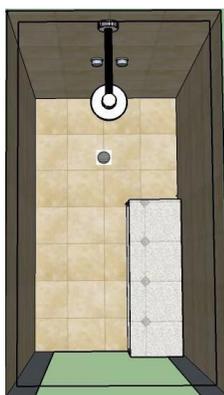


**Figura 13.** Plano de ubicación de las duchas y los baños en complejo acuático UTN  
**Fuente:** Autoría.

Todas las duchas del complejo acuático UTN tienen las siguientes medidas:

- Altura del piso a la ducha 1.92 metros.
- El ancho de 1.10 metros.
- El largo es de 2.10 metros.
- El área para ducharse es de 1.10 metros por 80 cm

El área de la ducha se debe a que existe un pequeño muro para poner los objetos personales como se muestra en la figura 14.



**Figura 14.** Vista 3D de la ducha del complejo acuático UTN  
**Fuente:** Autoría

### 2) Instalación del sistema eléctrico

Debido a que baño no cuenta con una alimentación de corriente alterna se realiza las instalaciones de dos tomacorrientes es decir salidas para la conexión de hasta cuatro dispositivos, como se muestra en la figura 15. En nuestro proyecto se utilizarán tres salidas, la primera que será para alimentación de la placa Raspberry Pi3, la segunda que será para el funcionamiento de la bomba de agua y el tercero que será para la electroválvula.



**Figura 15.** Instalación de la fuente de alimentación para los dispositivos electrónicos.  
**Fuente:** Autoría

### 3) Instalación del sistema Operativo para la placa Raspberry Pi 3

La Raspberry Pi 3 no dispone de ninguna interfaz de almacenamiento interno (excepto el firmware que se almacena en la GPU), por lo tanto, es necesario hacer arrancar el sistema operativo desde una tarjeta MicroSD. Para ello se utilizó una tarjeta MicroSD de 16 GB clase 10 Kingston como se muestra, debido a que su velocidad transferencia es de, 10MB/s, por lo tanto, tiene un mayor rendimiento el cual se comprueba fácilmente al iniciar el sistema operativo y ejecutar los programas.

### 4) Conexión remota usando el protocolo SSH

La conexión remota SSH es la mejor manera de conexión con la Raspberry Pi 3, este hace uso del puerto 22 y permite acceder a un host remoto y enviar órdenes a través de un intérprete de comandos. Para ello se necesita conocer la dirección IP que se le asigna en la red local a la Raspberry Pi 3. Es preferible para la Raspberry Pi 3 asignar una IP estática para no estar consultando la IP a cada momento. No es necesario ingresar como root al sistema debido a que el usuario "pi" tiene los mismos privilegios de root, para cualquier comando que requiera privilegios de root solo se debe anteponer sudo.

### 5) Recipiente de almacenamiento

El dimensionamiento del recipiente de almacenamiento se lo realiza mediante las diferentes condiciones del lugar, es decir la altura de la ducha al piso, el ancho de la bañera, el número de usuarios, la capacidad del tanque del inodoro y las descargas diarias del inodoro. Según la altura obtenida, el recipiente de almacenamiento debe tener una altura máxima de 15 cm, de largo debe ser menor a 110 cm y de ancho menor a 80 cm.

En el número de usuarios se identifica si son hombres o mujeres, debido a que en el caso de los hombres utilizan de 15 a 16 litros, mientras que las mujeres utilizan de 16 a 18 litros de agua al bañarse como se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.**

Cantidad de litros de agua utilizada al bañarse de hombres y mujeres

N. Pruebas	Hombres	Mujeres
1	15.63 Litros	16.53 Litros
2	15.1 Litros	17.6 Litros
3	16.03 Litros	17.96 Litros

**Fuente:** Autoría

Para determinar el número de usuarios se realizó una observación de cuantas personas utilizan las duchas en el día entre semana y un fin de semana como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3.**

Cantidad de usuarios que utilizan las duchas diariamente

	Ducha 1	Ducha 2	Ducha 3	Ducha 4	Ducha 5	# Usuarios
Lunes	12	8	9	9	7	45
Martes	13	9	10	10	8	50
Miércoles	10	11	9	9	8	47
Jueves	12	10	9	11	7	49
Viernes	11	8	10	8	9	46
Sábado	15	13	10	11	12	61
Domingo	17	14	14	13	14	72

**Fuente:** Autoría

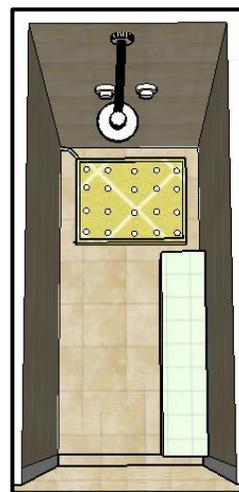
Con estos datos se tiene como resultado un recipiente de almacenamiento con una altura de 15 cm, de ancho 60 cm y de largo 80 cm, esto nos da una capacidad de almacenamiento de 36 litros de agua los cuales nos abastece para 6 descargas por recipiente.

Además, el recipiente de almacenamiento contiene un filtro físico/químico elaborado a base de grava (físico), carbón activado y algodón filtrante (Químico) como se muestra en la figura 16. La grava y el algodón filtrante evitará que ingresen partículas sólidas al recipiente de almacenamiento, mientras que el carbón activado cumplirá la función de purificador del agua.



**Figura 16.** Recipiente de almacenamiento con filtro físico/químico  
**Fuente:** Autoría

El recipiente de almacenamiento está ubicado bajo la ducha, como se muestra en la figura 17, este captará el agua mientras el usuario se baña. El recipiente de almacenamiento en su interior contiene una bomba de agua sumergible y el sensor de nivel de agua.



**Figura 17.** Instalación del recipiente de almacenamiento  
**Fuente:** Autoría

Debido a la ubicación de las duchas el recipiente de almacenamiento será ubicado en cada una de las duchas con una conexión de todos los recipientes de almacenamiento mediante una manguera de media pulgada. En la figura 18, se muestra la conexión entre cada uno de ellos.



**Figura 18.** Instalación de los recipientes de almacenamiento  
**Fuente:** Autoría

#### 6) Instalación sensor de flujo de agua

El sensor de flujo se encuentra ubicado a un lado de inodoro como se muestra en la figura 19.



**Figura 19.** Instalación del sensor de flujo de agua  
**Fuente:** Autoría

La lectura de los datos del sensor de flujo de agua es uno de los programas principales del sistema por lo que debe ser ejecutado cada vez que la Raspberry Pi 3 se inicializa. Para ello se crea un script de inicialización en el directorio /etc/init.d/, con el comando “sudo nano /etc/init.d/agua”. En la figura 20 se indica las líneas de código que debe tener el script.

```
#!/bin/sh
### BEGIN INIT INFO
# Provides:          greywater
# Required-Start:    $local_fs $remote_fs $network $syslog $named
# Required-Stop:    $local_fs $remote_fs $network $syslog $named
# Default-Start:    2 3 4 5
# Default-Stop:     0 1 6
# Short-Description: Start/stop greywater
### END INIT INFO
case "$1" in
  start)
    echo "Arrancando programa"
    # Aquí hay que poner el programa que quiere
    #sudo ./sens_flujo.py
    /usr/bin/python /home/pi/IoT_GreyWater/sens_flujo.py
    ;;
  stop)
    echo "Deteniendo programa"
    ;;
  *)
    echo "Modo de uso: /etc/init.d/sens_flujo.py {start|stop}"
    exit 1
    ;;
esac
exit 0
```

**Figura 20.** Fichero que iniciara el programa del contador del flujo de agua  
**Fuente:** Autoría

El fichero tiene que hacerse ejecutable de la siguiente manera:

- sudo chmod 755 /etc/init.d/agua

Y por último se debe activar el arranque automático:

- sudo update-rc.d agua defaults

7) Instalación del sensor de nivel de agua

El proyecto consta de 2 sensores de nivel de agua; el primero se encuentra ubicado dentro del tanque de almacenamiento de aguas grises y el segundo dentro del tanque del inodoro como se muestra en la figura 21, Estos sensores sirven para la activación de la bomba de agua y la electroválvula.



**Figura 21.** Ubicación de los sensores de nivel de agua  
**Fuente:** Autoría

La lectura de los datos del sensor de nivel de agua es otro de los programas principales del sistema por lo que debe ser ejecutado cada vez que la Raspberry Pi 3 se inicializa. Para ello se crea un script de inicialización en el directorio /etc/init.d/, con el comando “sudo nano /etc/init.d/electrónica”. En la figura 22, se indica las líneas de código que debe tener el script.

```
#!/bin/sh
### BEGIN INIT INFO
# Provides:          raspberry
# Required-Start:    $local_fs $remote_fs $network $syslog $named
# Required-Stop:    $local_fs $remote_fs $network $syslog $named
# Default-Start:    2 3 4 5
# Default-Stop:     0 1 6
# Short-Description: Start/stop raspberry
### END INIT INFO
case "$1" in
  start)
    echo "Arrancando programa"
    # Aquí hay que poner el programa que quiere
    #sudo ./electronica.py
    /usr/bin/python /home/pi/IoT_GreyWater/electronica.py
    ;;
  stop)
    echo "Deteniendo programa"
    ;;
  *)
    echo "Modo de uso: /etc/init.d/electronica.py {start|stop}"
    exit 1
    ;;
esac
exit 0
```

**Figura 22.** Fichero que iniciara el programa del contador del flujo de agua  
**Fuente:** Autoría

El fichero tiene que hacerse ejecutable de la siguiente manera:

- sudo chmod 755 /etc/init.d/electronica

Y por último se debe activar el arranque automático:

- sudo update-rc.d electronica defaults

Cuando se reinicie la Raspberry Pi 3 el programa se ejecuta de forma automática.

8) Llenado del tanque del inodoro

El llenado del tanque del inodoro se lo realiza mediante la utilización la bomba sumergible que se encuentra dentro del recipiente de almacenamiento de la ducha número 1, y manguera de ½ pulgada que transporta el agua desde el recipiente de almacenamiento hasta el tanque del inodoro como se muestra en la figura 23.



**Figura 23.** Conexión de la manguera con el tanque del inodoro  
**Fuente:** Autoría

9) *Envío de datos a la plataforma ThingSpeak*

ThingSpeak proporciona una plataforma abierta para servicios de datos, que incluyen base de datos de series cronológicas y analíticas, siendo accesibles a través de una API estándar con soporte para diferentes dispositivos. La finalidad del uso de ThingSpeak en este proyecto es la de interactuar con los servicios de monitorización de estadísticas en la nube es decir poder acceder desde internet a datos que se generan de manera local.

Para poder comunicar la Raspberry Pi 3 con la plataforma ThingSpeak es necesario crear una cuenta donde se almacenarán los datos. Además, se debe instalar algunas librerías en la Raspberry Pi 3 antes de empezar a escribir el código en Python. Por terminal SSH se escribe lo siguiente:

- sudo de apt-get install python-pip
- wget-O  
Geekmanpythoneeml.tar.gzhttps://github.com/geekman/pythoneeml/tarball/master

El primer comando instala pip que es un sistema de gestión de paquetes que se utiliza para instalar y gestionar paquetes de software escritos en Python. El segundo comando se descarga desde un repositorio de Github la herramienta EEML que sirve básicamente para modelar sistemas basado en una estructura jerárquica de capas que es que el que usaremos para enviar los datos a ThingSpeak.

Se crea un documento de texto con extensión “.py” donde se alojará el código de Python, que permita leer los datos del fichero donde están los valores de la cantidad de agua reutilizada en metros cúbicos en el inodoro. Una vez que se tiene todos los datos se realiza la autenticación en ThingSpeak y se procede a enviar los datos a la plataforma.

Para poder enviar los datos mensualmente a la plataforma ThingSpeak se empleará la herramienta cron.

```
00 00 1 * * python /home/pi/IoT_GreyWater/ThingSpeak.py
#El programa se ejecutará el primero de cada mes
```

### 1. Pruebas de funcionamiento

El prototipo de medición de agua reciclada funciona correctamente los siete días a la semana. Si ocurre algún tipo de corte de energía los valores no se pierden y cuando se restituye el servicio de energía los valores de metros cúbicos consumidos anteriormente serán recuperados y se puede seguir con las mediciones.

#### 1) Calibración del sensor de flujo de agua.

Para comprobar el correcto funcionamiento del sensor de flujo de agua se realizó las siguientes pruebas para la calibración. Corremos el programa y anotamos la cantidad de pulsos que se obtienen en un litro de agua. Se realizó tres pruebas con 1000ml y obtuvimos los siguientes resultados como se observa en la tabla 4.

**Tabla 4.**  
Datos de calibración del sensor de flujo de agua

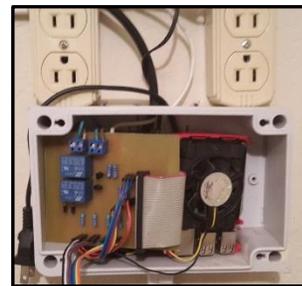
Prueba No.	Cantidad	Pulsos
1	1000 ml	398
2	1000 ml	400
3	1000 ml	399

Fuente: Autoría

Entonces podemos decir que por cada litro de agua que pasa por el sensor obtenemos aproximadamente 400 pulsos. Es decir que por cada pulso que da el sensor es equivalente a 2.5 ml (mililitros).

### 2) Placa Raspberry Pi 3

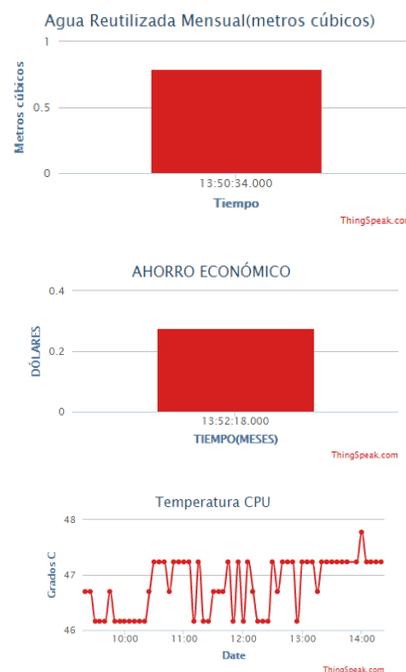
La placa electrónica Raspberry Pi 3 es la parte fundamental del sistema ya que procesa la información que recibe de los sensores, esta eleva la su temperatura hasta los 65 °C. Para ello se instaló un ventilador en la placa electrónica como se puede observar en la figura 24.



**Figura 24.** Instalacion de la placa Raspberry Pi 3 con su ventilador  
Fuente: Autoría

### 3) Plataforma ThingSpeak

La finalidad del uso de ThingSpeak en este proyecto es la aplicación IoT donde mediante esta plataforma podemos observar los datos de la cantidad de agua reutilizada en metros cúbicos, el ahorro económico en dólares y la temperatura de la CPU desde cualquier lugar que cuente con acceso a internet. En la figura 25, se puede observar los datos en la plataforma ThingSpeak.



**Figura 25.** Datos en la plataforma ThingSpeak  
Fuente: https://thingspeak.com/

## J. Resultados

Una vez realizado la comprobación del correcto funcionamiento de cada uno de los sensores y dispositivos electrónicos, se procedió a utilizar el sistema de reutilización de aguas grises es decir placa electrónica ya con todos los dispositivos conectados.

En la tabla 5, se puede observar la cantidad de agua potable utilizada en todo el complejo acuático UTN y la cantidad de agua utilizada en las duchas por los usuarios en cada mes.

**Tabla 5.**

Datos del consumo mensual de agua potable en el complejo acuático UTN.

	Consumo agua potable (m3)	Agua utilizada en la ducha (m3)
Abril	424	25.024
Mayo	423	24.82
Junio	425	25.024
Julio	372	24.208
Agosto	421	25.16
Septiembre	111	12.75

Fuente: [www.emapaibarra.gov.ec/index.php/consulta-planilla.html](http://www.emapaibarra.gov.ec/index.php/consulta-planilla.html).

Según los datos obtenidos se tiene que al mes en el complejo acuático UTN se consumen hasta 25 metros cúbicos de agua potable solo en el uso de la ducha.

En la tabla 6, se muestra la cantidad de agua reutilizada mensualmente y el porcentaje de reutilización que genere el sistema electrónico de reutilización del agua gris.

**Tabla 6.**

Cantidad de agua reutilizada mensualmente.

	# Usuarios al mes	Agua utilizada en la ducha (metros 3)	Cantidad de Agua reutilizada (m3)	% de Reutilización
Abril	1472	25.024	17.664	71%
Mayo	1460	24.82	17.52	71%
Junio	1492	25.364	17.904	71%
Julio	1424	24.208	17.088	71%
Agosto	1480	25.16	17.76	71%
Septiembre	750	12.75	9	71%

Fuente: Autoría

En la tabla 7, se muestra el ahorro económico mensual que genera el sistema de reutilización del agua gris. Para calcular el ahorro se toma en cuenta el valor comercial por metro cubico de agua en la ciudad de Ibarra.

$$\text{Ahorro} = \text{Cantidad de agua reutilizada (m}^3\text{)} * 1.15 \quad (2)$$

- La cantidad de agua reutilizada en metros cúbicos es la cantidad de agua gris que se utiliza en el inodoro.
- 1.15 es el valor comercial en dólares que cuesta el metro cubico de agua potable en la ciudad de Ibarra.

**Tabla 7.**

Ahorro económico mensual que genera el sistema

	Cantidad de Agua reutilizada (m3)	Ahorro económico mensual (dólares)
Abril	17.664	\$20.31
Mayo	17.52	\$20.15
Junio	17.904	\$20.59
Julio	17.088	\$19.65
Agosto	17.76	\$20.42
Septiembre	9	\$10.35

Fuente: Autoría

En la figura 26, se puede observar una gráfica de barras de la cantidad de agua reutilizada y el ahorro económico que se genera al utilizar el sistema de reutilización de agua gris proveniente de la ducha.



**Figura 26.** Diagrama de barras de la cantidad de agua reutilizada y el ahorro económico generado

Fuente: Autoría

El sistema electrónico de reutilización del agua gris proveniente de la ducha permite ahorrar al año un aproximado de 193,87 metros cúbicos de agua potable. Lo que nos genera un ahorro aproximado de \$222,95 dólares al año.

Este sistema Cumplirá uno de los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV), donde todas las personas tienen el derecho a los servicios de básicos como el agua potable, garantizando la calidad de la misma. También garantiza los derechos de la naturaleza y promueve la sostenibilidad ambiental, territorial y global. Donde con este proyecto pretende reducir el consumo innecesario del agua potable en actividades que no demanden la utilización de agua de consumo.

## IV. CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema electrónico con aplicaciones IoT de reutilización de aguas grises de la ducha hacia el inodoro para estimar un ahorro de consumo del agua potable a escala de laboratorio, en el complejo acuático de la Universidad Técnica del Norte, cumpliendo con todos los requerimientos establecidos en el diseño.

Considerando el consumo de agua potable en el complejo acuático UTN, al implementar el sistema electrónico de

reutilización del agua gris se obtendrá un ahorro económico aproximado de \$20 dólares mensuales en el consumo del agua potable, debido a que de los 25 metros cúbicos de agua gris que se producen en la ducha solo se reutiliza el 71% de esta, es decir solo se reutiliza un aproximado de 18 metros cúbicos del agua gris en los 5 inodoros que tiene el complejo acuático UTN.

La Raspberry Pi 3 al ser un mini ordenador tiene la capacidad de operar sistemas complejos, por lo tanto, esta placa electrónica a través de sus pines GPIO permiten la conexión de todos los dispositivos electrónicos que se utilizaron en este sistema electrónico y mediante su conectividad inalámbrica a internet permite subir los datos a la plataforma ThingSpeak para su posterior visualización.

El recipiente de almacenamiento utiliza un filtro físico/químico diseñado a base de grava, carbón activado y algodón filtrante lo que permite reducir la cantidad de contaminantes y la proliferación de las bacterias que generan malos olores.

El consumo de energía por parte del sistema electrónico de reutilización del agua gris proveniente de la ducha es bajo, lo que no genera mayor costo en el pago de la planilla de consumo.

El sistema electrónico de reutilización del agua gris proveniente de la ducha logra reducir el consumo de agua potable generando un ahorro aproximado de 193,87 metros cúbicos de agua potable al año, beneficiando al medio ambiente y a una población creciente donde la demanda de agua potable va en aumento.

## V. RECOMENDACIONES

Se deberá modificar el filtro en el caso de que se pretenda integrar el agua gris de la ducha, del lavabo del baño o de la cocina, debido a la cantidad de agua y los contaminantes químicos que se encuentran en ellas.

La reutilización de las aguas grises tiene diferentes aplicaciones como; el riego del jardín y el lavado de autos, para ello se recomienda utilizar otro tipo de filtro para reducir al máximo los agentes químicos de las aguas grises.

El mantenimiento del recipiente de almacenamiento y del filtro se lo realiza cada mes, además debe ser vaciado cada día debido a que el agua gris almacenada pasada las 24 horas empiezan a producir malos olores a causa de los residuos de jabón y las bacterias que se alojan en el recipiente.

Para el funcionamiento correcto de la placa Raspberry Pi 3 se debe realizar las actualizaciones tanto del sistema operativo como de las librerías con las cuales trabajan las diferentes aplicaciones. La Raspberry Pi 3 al ser un mini ordenador utiliza un CPU para realizar todas las operaciones por lo que se debe instalar un ventilador para enfriar la CPU y evitar los daños de la misma.

El sistema operativo debe instalarse en un MicroSD de categoría 10 para obtener un mejor rendimiento del sistema operativo debido a las características con las que se cuenta con este tipo de tarjetas MicroSD.

Para la actualización del sistema operativo de la Raspberry Pi 3 se recomienda utilizar una conexión remota por SSH para reducir el consumo de recurso de la placa evitando el sobre calentamiento de la CPU.

## VI. Referencias

- [1] G. Howard, «Organización Mundial de la Salud,» Agua, saneamiento y salud (ASS), 23 Junio 2015. [En línea]. Available: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/es/). [Último acceso: 10 Enero 2016].
- [2] M. Alcaraz, «Internet of Things,» Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Paraguay, 2014.
- [3] D. E. «CISCO IBSG,» 4 Abril 2011. [En línea]. Available: [http://www.cisco.com/c/dam/global/es\\_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf). [Último acceso: 12 Enero 2016].
- [4] D. R. González, «Arquitectura y Gestión de la IoT,» ETECSA, Cuba, 2013.
- [5] F. C. «Internet of Things – Architecture IoT-A,» Seventh Framework Programme, Roma, 2013.
- [6] Thamer A. Alghamdi, Aboubaker Lasebae, Mahdi Aiash, «Security Analysis of the Constrained Application Protocol in the Internet of Things,» de *Second International Conference on Future Generation Communication Technologies (FGCT 2013)*, London, 2013.
- [7] X. G. Gimeno, «Estudio protocolo CoAP,» 2013.
- [8] Thangavel, Dinesh; Ma, Xiaoping ; Valera, Alvin ; Tan, Hwee-Xian ; TAN, Colin Keng-Yan, «Performance Evaluation of MQTT and CoAP via a Common Middleware,» de *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP), 2014 IEEE Ninth International Conference on*, Singapore, 2014.
- [9] C. Harnett, «Open Source Hardware for Instrumentation and Measurement,» 2011.
- [10] Adewumi, Adewole ; Misra, Sanjay ; Omogbe, Nicholas, «Evaluating Open Source Software Quality Models Against ISO 25010,» de *Computer and Information Technology; Ubiquitous Computing and Communications; Dependable, Autonomic and Secure Computing; Pervasive Intelligence and Computing (CIT/IUCC/DASC/PICOM), 2015 IEEE International Conference on*, Liverpool, 2015.
- [11] Albalawneh, Abeer; Chang, Tsun-Kuo, «REVIEW OF THE GREYWATER AND PROPOSED GREYWATER RECYCLING SCHEME FOR AGRICULTURAL IRRIGATION REUSES,» *International Journal of Research*, TAIWAN, 2015.
- [12] V. Harju, «Assembling and testing of laboratory scale grey water,» OPI ENEMPI, Finlandia, 2011.
- [13] D. Sperfeld, «Grauwasser-Recycling,» FBR, Alemania, 2012.

Jaime R. Michilena



Nació en Atuntaqui provincia de Imbabura el 19 de Febrero de 1983. Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones, Escuela Politécnica Nacional en 2006. Actualmente es docente de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación en la Universidad Técnica del Norte, Ibarra-Ecuador, obtuvo la Maestría en Redes de Comunicación en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito-Ecuador.

Edwin D. Pujota



Nació en el Cantón Cayambe provincia de Pichincha el 2 de Julio de 1989. Realizó sus estudios primarios en la Escuela “Alfredo Boada Espín”. En el año 2007 obtuvo su título de bachiller en Ciencias con especialización Físico Matemático en el “Colegio Nacional Tabacundo”. Actualmente es egresado de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte.