

# APLICACIÓN ELECTRÓNICA PARA EL AHORRO DE AGUA EN UNA VIVIENDA FAMILIAR<sup>1</sup>

ELECTRONIC APPLICATION FOR SAVING WATER IN  
FAMILY HOUSING

APLICAÇÃO ELETRÔNICA PARA A ECONOMIA DE ÁGUA EM  
UMA RESIDÊNCIA

Juan Carlos Cruz-Ardila

Maestría en Ingeniería con Énfasis en Automática, Universidad del Valle - Colombia. Docente investigador Facultad de Ingeniería, programa de Ingeniería Electrónica, Universidad de San Buenaventura, Cali - Colombia.  
jccruz@usbcali.edu.co

Diego Fernando Gómez-Etayo

Maestría en Arquitectura, Universidad de San Buenaventura, Colombia. Docente investigador Facultad de Arquitectura, Arte y Diseño, programa de Arquitectura, Universidad de San Buenaventura, Cali - Colombia.  
dfgomez@usbcali.edu.co

Luz Karime Sánchez-Mina

Ingeniero electrónico, Universidad de San Buenaventura, Cali - Colombia.  
newkarito8@hotmail.com

Juan Carlos Cuervo-Ballesteros

Ingeniero electrónico, Universidad de San Buenaventura, Cali - Colombia.  
juank\_962@hotmail.com

## RESUMEN

## ABSTRACT

El objetivo del artículo es presentar un proyecto orientado a disminuir el consumo de agua entregada por la red de acueducto municipal a través del aprovechamiento de las aguas grises. Se propone el diseño de un sistema electrónico de transferencia automática, que facilita el uso de las aguas grises provenientes de las duchas, lavamanos, máquina lavadora y lavadero, para permitir su reutilización en trabajos domésticos como aseo de vivienda, reabastecimiento de sanitarios y riego de plantas. Se muestra el desarrollo y diseño del sistema electrónico de control, con una descripción de las variables identificadas y la explicación, usando esquemas, del sistema implementado. Así mismo se hace una descripción de los dispositivos empleados, como son el sensor de nivel, el sistema de control de potencia y el circuito de procesamiento. Se expone también el esquema del sistema de control implementado. Finalmente se presentan los resultados y las pruebas operacionales realizadas al sistema, a fin de demostrar la funcionalidad de la aplicación electrónica para el ahorro de agua, como una alternativa que estimula el uso de soluciones sostenibles y promueve la conciencia ecológica en el manejo racional de este importante recurso.

The purpose of this article is to present a project aimed at decreasing water usage from the city water supply network based on the use of gray water. It proposes the design of an automatic electronic transfer system that makes it possible to use gray water from showers, wash basins, washing machines, and clothes-washing sinks, thus allowing it to be reused for household chores such as housecleaning, replenishing toilet tanks, and watering plants. It shows the process of developing and designing an electronic control system and provides a description of the variables identified, together with an explanation of the system implemented. It also describes the devices used, such as a water level sensor, a power control system, and a processing circuit. It also explains a schematic of the control system after implementation. The last section presents the results and operational tests of the system, showing the functionality of the electronic water-saving application, which offers an alternative that encourages the use of sustainable solutions and raises environmental awareness regarding the rational use of this important resource.

## PALABRAS CLAVE

## KEYWORDS

Aguas grises, control automático, alternativas sostenibles, transferencia electrónica, circuito de potencia.

Gray water, automatic control, sustainable alternatives, electronic transfer, power circuit.

## RESUMO

O objetivo do artigo é apresentar um projeto orientado a diminuir o consumo de água fornecida pela rede do aquaduto municipal por meio do aproveitamento das águas cinzas. Propõe-se o desenho de um sistema eletrônico de transferência automática que facilita o uso das águas cinzas provenientes de chuveiros, pias, máquinas de lavar e tanques, permitindo desse modo sua reutilização em trabalhos domésticos como limpeza da residência, reabastecimento de sanitários e rega de plantas. Mostra-se o desenvolvimento e desenho do sistema eletrônico de controle, fazendo uma descrição das variáveis identificadas e a explicação, usando esquemas, do sistema implementado. Faz-se também uma

descrição dos dispositivos usados como são o sensor de nível, o sistema de controle de potência e o circuito de processamento. Expõe-se também o esquema do sistema de controle implementado. Finalmente, apresentam-se os resultados e as provas operacionais realizadas ao sistema, demonstrando a funcionalidade da aplicação eletrônica para o economia de água, que oferece uma alternativa que estimula o uso de soluções sustentáveis e promove a consciência ecológica no manejo racional deste importante recurso.

## PALAVRAS-CHAVE

Águas cinzas, controle automático, alternativas sustentáveis, transferência eletrônica, circuito de potencia.

## Introducción

El agua ocupa un papel esencial para la vida del ser humano y para el desarrollo de la sociedad, por lo cual representa un significativo recurso no sólo natural sino sociocultural, sin embargo la crisis mundial de agua plantea su explotación, tratamiento y distribución como uno de los problemas más grandes que se afrontan en la actualidad. La reducción global de la cantidad de agua potable disponible cada vez es más crítica, poniendo en peligro el abastecimiento de este preciado líquido y generando sequías, elevación de costos del servicio, problemas para la producción agropecuaria en cultivos, sector ganadero, entre otras. Gran parte de esto se debe al impacto del hombre sobre la naturaleza, especialmente al mal uso de los recursos hídricos. Este artículo da cuenta de la implementación desarrollada como parte de un sistema adaptable al hogar, que busca la reutilización de aguas grises provenientes de duchas, lavamanos, ciclos de lavadoras y aguas lluvias, aportando a la necesidad de ahorro de agua potable, con una aplicación electrónica de costo bajo y consumo energético mínimo.

El deterioro continuo de las fuentes de agua subterráneas y del terreno hace que el problema de abastecimiento del recurso hídrico empeore. La falta de agua y saneamiento conlleva problemas como alteraciones en el desarrollo físico de la persona debido a las infecciones transmitidas por el agua no potable, menor expectativa de vida, incremento de la proporción del presupuesto estimado para obtener el líquido, lo que aumenta los costos de subsistencia y puede obligar a disminuir la prioridad del aseo personal, debido a la carencia de este servicio.

Los habitantes de zonas rurales, para los cuales en muchos de los casos el recurrir al servicio de agua potable es inalcanzable, conlleva que deban realizar sus propios y precarios arreglos para satisfacer sus necesidades básicas, dentro de estas tareas se encuentra el tener que acarrear agua desde lugares lejanos, o pagar precios muy altos por cantidades pequeñas de este preciado recurso.

De igual manera, en áreas urbanas, son muy usuales las recomendaciones de las empresas públicas acerca del uso racional del recurso, por ejemplo en Cali, la misma alcaldía sugiere una mejor utilización del agua potable, previendo un posible racionamiento del servicio en épocas de verano. "Para evitar un racionamiento de agua potable en Cali, la alcaldía informó que emitirá un decreto en el cual se recomienda dar uso racional al líquido. Así mismo la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC, expidió una resolución para regular el aprovechamiento del recurso hídrico en los ríos de la región por parte de la ciudadanía, industria, empresas de energía, acueducto y sector productivo del departamento. También quedará prohibido regar jardines, lavar carros, andenes o vías y utilizar aguas superficiales para llenado de piscinas" (El Pueblo, 2012).

Adoptando un sistema de ahorro de recursos hídricos para el hogar, se puede mitigar este tipo de riesgo y brindar una alternativa que estimule el uso de soluciones sostenibles, promoviendo una conciencia ecológica del manejo racional de tan importante servicio.

Los sectores de bajos recursos pueden ser los más afectados al momento de acceder a un sistema de acueducto, ya que por factores económicos o locación

de su vivienda, impiden que este vital servicio llegue hasta ellos. “Para los pobres, un servicio inadecuado de agua y saneamiento aumenta sus costos de subsistencia, disminuye su potencial de ingresos, afecta su bienestar y hace más riesgosa su vida” (Bosch C. , Hommann, Sadoff, & Travers, 2001).

El enfoque de este proyecto es estimular el uso eficiente del agua, a través de un manejo racional, orientado a familias de recursos moderados. Aunque la inversión económica es un factor que interesa mucho en cualquier proyecto, cabe resaltar que dicha inversión en el diseño e implementación del sistema se vería recuperada a un mediano plazo, dependiendo de factores como el número de personas que habitan la casa y del tiempo que permanecen al interior de la misma, utilizando el agua en las actividades comunes. Lo realmente importante en la construcción de este proyecto es la iniciativa para promover en las personas una cultura de ahorro de agua y cuidado de los recursos naturales.

Como cita Kofi Annan Secretario General de la ONU, año 2001, en la inauguración del Día Mundial del Agua: “En este nuevo siglo, el agua, su saneamiento y su distribución equitativa representa grandes desafíos sociales para nuestro mundo. Debemos poner a salvo el suministro mundial de agua potable y garantizar que todos tengan acceso a la misma”.

Las innovaciones tecnológicas deben de ir de la mano con el medio ambiente, es necesario que se implementen y desarrollen pensando siempre en el impacto que generarán sobre el ecosistema, y por qué no, sobre el desarrollo de tecnologías que contribuyan al ahorro de recursos y al aprovechamiento de los mismos. (Gramkow, 2011).

Este trabajo hace parte de un proyecto macro denominado *Construcción de un prototipo para una casa de carácter sostenible*, desarrollado por investigadores de la Universidad de San Buenaventura-Cali. Busca reducir el consumo de agua de la red pública en una vivienda familiar, a través de la reutilización racional de las aguas grises. Para hacer posible la implementación de la aplicación electrónica, inicialmente se consultó tecnologías desarrolladas alrededor de la temática, por lo cual se construyó un estado del arte que da cuenta de las diferentes implementaciones creadas para la reutilización de aguas grises y aguas lluvias buscando mitigar el impacto sobre el agua potable. Posteriormente, se diseña el sistema electrónico,

se verifica su funcionamiento y se toman datos. Los resultados obtenidos contribuyen con una aplicación de carácter social que genera un ahorro económico a los habitantes de la vivienda y un beneficio ambiental, cuya principal estrategia se centra en aprovechar la reutilización de aguas grises.

## 1. Contextualización del problema

Las aguas grises son aquellas que resultan de algunos procesos domésticos, como el lavado de la ropa en lavadora o lavadero, la ducha de aseo personal, los lavamanos y en general aquellas que no involucran desechos cloacales (fecales y orina). En este trabajo se ha desechado el agua proveniente del lavaplatos, por contener residuos orgánicos de compleja remoción. Adicionalmente, se puede agregar al sistema, el agua lluvia, que por supuesto no es exactamente un agua gris. Estas aguas pueden ser útiles para el desagüe del sanitario, el lavado de patios, el riego de jardines, el lavado de automóviles y todas aquellas actividades que requieran agua limpia, pero no necesariamente potable.

El diseño de viviendas basadas en el ahorro o reúso de los recursos naturales, es un campo que enfoca muchos estudios, especialmente en Europa, puesto que el viejo continente ya sufre las consecuencias de la explotación descomunal de recursos hídricos y la contaminación de las fuentes no renovables (Comision Europea, 2012). Es cierto que los países tropicales poseen una gran riqueza de dichas fuentes y realmente el problema no ocasiona demasiada preocupación; sin embargo los costos generados por la producción, tratamiento y distribución del agua potable no pueden ser ignorados, y así como muchas poblaciones menores poseen deficiencias en el abastecimiento del líquido vital, también en las ciudades de mayor importancia hay momentos de crisis, derivados de épocas de verano fuerte, que llevan a tomar medidas en pro de su mejor aprovechamiento.

El crecimiento de la población hace que aumente paralelamente la demanda de agua, y actualmente en muchas zonas se sufre su escasez. Por esta razón, en ocasiones se requiere incluso la explotación de aguas subterráneas y se considera también la desalinización del agua del mar; pero estas nuevas fuentes implican un costo demasiado elevado de equipamiento, operación e implementación.

Dentro de las aplicaciones tecnológicas se pudo encontrar la desarrollada para un edificio ubicado en la zona urbana de la ciudad de Madrid – España-, donde las actividades diarias realizadas por los habitantes de la edificación generaba alrededor de 40 a 60 litros /día de agua gris proveniente de lavados. A través del sistema construido, se dio una implementación que permite tomar las aguas provenientes de duchas y lavamanos, llevarlas a una planta especial dedicada al tratamiento de aguas MBR (Bioreactor de Membrana) (Velasco & Solar, 2011), el cual representa la última generación en tecnologías compactas para el tratamiento de aguas residuales. Esta máquina fue ubicada en la parte inferior de la edificación. La planta de tratamiento consiste en un sistema compuesto por dos partes integradas en una sola: por un lado el reactor biológico, responsable de la depuración biológica y, por otro, la separación física de la biomasa y el agua mediante un sistema de filtración directa hecha con membranas. Una de las unidades interiores se encarga de la desinfección (cloro), debido a que en las zonas urbanas las aguas grises contienen basuras y lodo. Una vez el agua ya se encuentra tratada, es subida a través de una bomba a la parte más alta de la edificación, almacenando dicha agua en un tanque, para que de esta manera se pueda abastecer los sanitarios mediante la acción de gravedad. (Friedler & Hadari, Gwri-ic.technion.ac.il, 2006). Esta interesante y útil adecuación realizada para la edificación, resulta en una herramienta bastante ventajosa como sistema de ahorro de aguas potables, pero analizando sus desventajas, a nivel de precios de construcción, un biorreactor de membrana MBR, sistema tomado para limpieza y purificación de las aguas grises, tiene costos bastante elevados en el mercado, aproximadamente \$6.000.000 de pesos colombianos. Se suman al costo, la adecuación de las tuberías del sistema, y demás implementos que hacen posible su funcionamiento dentro de la edificación.

La Universidad de Santa Catarina, en Florianópolis – Brasil desarrolló en el laboratorio de Eficiencia Energética (LabEEE), una torre que se encarga de realizar la recolección de aguas lluvias, ideado para hogares ubicados en sectores rurales de Brasil de escasos ingresos, que presentan dificultad en la obtención del recurso hídrico. Este proyecto se realizó con un estudio de eficiencia energética buscando soluciones tecnológicas que no impliquen costos elevados. En el diseño de dicho proyecto, la recolección de aguas lluvias se da a través de canales especiales ubicados alrededor de la vivienda, que por medio de tuberías especiales para el sistema son conducidas a un tanque;

estas son calentadas a través de un panel solar para eliminar agentes patógenos habientes en el agua lluvia recolectada (Medeiros, 2011)

La Escuela de Tecnología de Quito –Ecuador realizó el estudio para una casa con cuatro personas promedio. Encontraron que el 60% es de uso individual, el 30% restante es usado para el sanitario y el 10% en otro tipo de tareas de limpieza donde no es necesario el uso de aguas potables. Este proyecto busca brindar condiciones donde el agua que no se encuentra tan contaminada llegue a los sanitarios para su reutilización y en diferentes actividades en donde no influya su estado potable. Se utiliza un sistema de bombeo que lleva el agua a través de filtros, conduciéndola hasta un tanque a una altura suficiente que permita mediante la fuerza de gravedad, llevar el agua filtrada a los tanques de sanitarios y que funcione normalmente. Mediante una bomba doméstica se realiza el trabajo de distribución (Contreras, 2009)

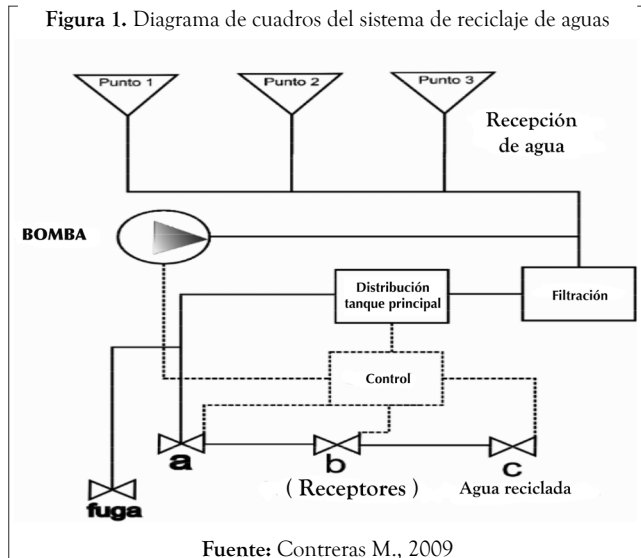
En una casa promedio, generalmente se pueden encontrar 2 baños, 2 lavamanos, 1 lavaplatos, 2 duchas. Estos mismos en la mayoría de las ocasiones se ubican a la altura del suelo, por lo cual fue necesario un mayor estudio para hallar la forma en que se distribuyeran las aguas. Fue indispensable para esta construcción que la tubería de succión no tenga entradas por el fenómeno de cavitación<sup>2</sup>, ya que pueden dañar la bomba. Siendo directa la succión los tanques de poca capacidad, ubicados en los puntos de recolección de las aguas grises ayudan a controlar problemas como el exceso de agua al ingreso. Para este sistema se instaló un interruptor de nivel que permite el constante flujo del agua al ingreso de la bomba. En la etapa de filtración, se utilizó elementos de acuerdo con las características de la bomba y las condiciones del agua, para lo cual fue necesario un análisis del nivel de contaminación de las aguas grises, sin dejar a un lado el mantenimiento y la economía del mismo sistema.

En la Figura 1, (ver pág 326) se muestra un diagrama de cuadros del sistema de reciclaje de aguas donde se indica la aplicación desarrollada.

De esta implementación se pueden destacar dos factores importantes que sirvieron en el desarrollo del prototipo:

- Simplicidad del sistema.
- Economía de construcción.

Figura 1. Diagrama de cuadros del sistema de reciclaje de aguas



El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático de México, establece en este país lineamientos acerca de la reutilización de aguas grises domiciliarias, mencionando que las aguas grises representan entre un 50% u 80% de las aguas residuales de una vivienda, y su uso se vería reflejado en las siguientes ventajas, que por supuesto aplican a nuestro país:

Menor consumo de agua potable. El agua gris puede reemplazar al agua potable fresca para muchos usos en el hogar. Esto le ahorra dinero a los municipios en costos de distribución, mantenimiento, tratamiento e infraestructura, y aumenta el suministro efectivo en muchos casos.

Menos estrés sobre las fuentes naturales de agua. Al reducir la demanda de agua, disminuye la extracción de los sistemas naturales y así se evita la degradación ambiental.

Menor cantidad de aguas residuales que necesitan ser tratadas en los municipios o en los tanques sépticos. El uso de aguas grises aumenta el ciclo de vida y la capacidad de los tanques sépticos.

Ahorro de energía y químicos en el tratamiento. Si se aprovechan las aguas grises en el hogar, se bombea menos agua y también es un incentivo para reducir el uso de productos contaminantes, como detergentes; además, será menor la cantidad que necesita tratamiento (tanto al entrar como al salir del hogar).

Aprovechamiento en el jardín y las áreas verdes. Si aprovechas el agua gris en tu casa, puedes mantener verde tu jardín, aunque vivas en regiones secas o sean tiempos de sequía (INECC, 2010)

Finalmente, en nuestro país, la Ley 373 de 1997 establece el “Programa para el uso eficiente y ahorro del agua” que menciona en su Artículo 5 que

Las aguas utilizadas, sean éstas de origen superficial, subterráneo o lluvias, en cualquier actividad que genere afluentes líquidos, deberán ser reutilizadas en actividades primarias y secundarias cuando el proceso técnico y económico así lo ameriten y aconsejen según el análisis socio-económico y las normas de calidad ambiental.

De acuerdo con esta normativa, la aplicación que este proyecto desarrolla va de la mano con las políticas estatales en cuanto al cuidado del recurso natural, y si bien el principal objetivo de dicha política es el manejo de las aguas de uso agropecuario, que son el mayor volumen, las de uso urbano y residencial por supuesto hacen parte de la problemática general.

## 2. Descripción del funcionamiento de la aplicación desarrollada

El sistema de control para la reutilización de aguas grises, hace parte de un proyecto macro al interior de los semilleros de investigación de las facultades de Ingeniería Electrónica, Ingeniería de Materiales y Arquitectura: “Casa Eco Sostenible”, el cual busca la construcción de una vivienda con implementaciones amigables con el medio ambiente y que genere un ahorro de recursos en los diferentes servicios de agua, energía y seguridad patrimonial.

La implementación del sistema de reutilización de aguas grises, al igual que las demás novedades que tendrá la “Casa sostenible”, requiere que el diseño arquitectónico y en este caso el de instalaciones hidrosanitarias, contemple algunas consideraciones para su eficaz funcionamiento, tales como la cercanía de los aparatos domiciliarios involucrados, la instalación e identificación cuidadosa de los diferentes ductos, la concepción de los circuitos para identificar claramente las salidas de agua no potable, entre otros.

Técnicamente hablando, el sistema propuesto inicia con la recolección de aguas grises dentro de la vivienda, provenientes de lavamanos, duchas, ciclos de lavadora y aguas lluvias; estas son captadas a través de tuberías específicas, las cuales son independientes de las que comúnmente son usadas dentro de la vivienda. Estas tuberías conducen el agua hacia la entrada del sistema, que corresponde a la primera etapa de filtrado a través de una trampa de grasas que se encarga de retener los contenidos grasos provenientes especialmente de jabones. Luego el líquido pasa a la segunda etapa de filtrado, que se lleva a cabo con grava y arena, para hacer retención de sólidos contenidos en el agua. Una vez que las aguas grises pasan estas dos primeras etapas de filtrado se conducen a un tanque de almacenamiento bajo (tanque 1) que cuenta con una bomba encargada de impulsar las aguas pre-tratadas hasta el almacenamiento superior (tanque 2), en donde se recolectan para su posterior reutilización, distribuyéndola por gravedad. Dentro del tanque 1 se cuenta con un sensor de nivel (sensor 1), el cual se implementa con fines de protección para la bomba y permite que ésta solamente trabaje cuando dicho tanque cuente con suficiente líquido para ser impulsado al tanque 2 de distribución.

En el tanque 1 se manejan dos estados, de acuerdo con el sensor de nivel (sensor 1), alto o bajo, en donde el microprocesador, según programación efectuada para el diseño, tomará la señal que le entregue el sensor, y en caso de detectar estado alto en el tanque permitirá el funcionamiento de la bomba. En caso contrario, cuando el tanque 1 se encuentre con un nivel bajo de agua, el microprocesador apagará la bomba, impidiendo que el equipo se quemara por falta de agua.

El tanque 2 cuenta con un sensor de nivel para detectar nivel alto y bajo, de tal manera que en el momento que el tanque tenga un nivel alto, el microprocesador apagará la bomba para que no se desperdicie agua recuperada, y a través del sistema de desagüe por rebose con el que contará el tanque, se evitarán posibles derrames de agua.

La electroválvula 2 estará ubicada en una de las entradas del tanque 2, correspondiente a la entrada de agua potable (acueducto), esta electroválvula posee la característica de ser normalmente abierta (NA), para considerar la posibilidad que la vivienda se quede sin fluido eléctrico, y de alguna forma garantizar que siempre se tenga agua para descargas de sanitarios. Adicional a esto, la electroválvula 2 permitirá el paso

con una orden dada desde el microprocesador en caso que el nivel del tanque 2 sea bajo y que el tanque 1 tampoco cuente con agua para abastecer la demanda del usuario.

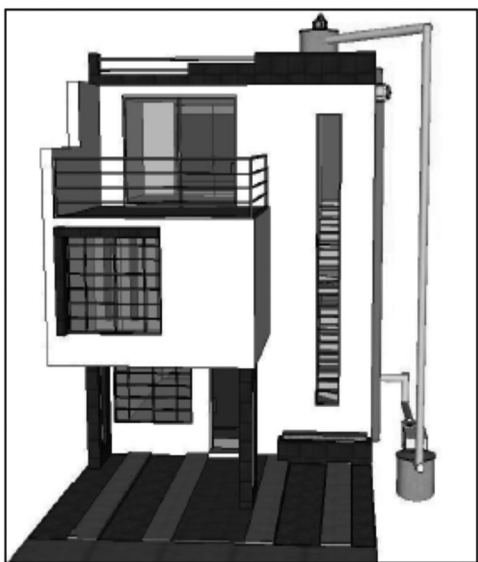
Una tarea adicional que se lleva a cabo con la electroválvula 2 es la de permitir el paso de agua potable, según lo establecido en la rutina de limpieza programada a través del microprocesador. Ésta rutina se ejecutará cuando un contador, que se iniciará con el último apagado de la bomba, complete una cuenta de 48 horas (2 días) - tiempo mínimo que duran las aguas grises posadas sin generar malos olores o agentes patógenos-. La rutina se sincroniza con el apagado de la bomba porque es imprescindible garantizar que los usuarios cuenten con agua para el abastecimiento de los sanitarios, en caso de tener mucha demanda.

Cuando han transcurrido dos días, y la bomba no se ha encendido es porque no ha habido producción de aguas grises, consumo de agua en los sanitarios, ni en labores de aseo al interior de la casa. Cuando se cumplan estas condiciones se prevé que los usuarios se ausentaron de la casa o salieron de vacaciones, y es en ese momento que se activa la electroválvula 1, ubicada en la parte baja del tanque 2 para controlar la descarga del mismo y una vez que dicho tanque tenga un nivel bajo de agua (detectado por el sensor 2), se cerrará la electroválvula 1 y se abrirá la electroválvula 2 para lavar el tanque con agua limpia, que además, se usará de la misma forma que las aguas grises tratadas para no desperdiciar el líquido en ningún momento. Una vez termine este proceso, el programa saldrá de la rutina de lavado y volverá a su estado normal de funcionamiento, de acuerdo con las condiciones de programación.

En las Figuras 2 y 3 (ver pág. 328) se muestra una distribución ejemplificada del sistema en una vivienda de tres pisos. El tanque 1, la trampa de grasas y el filtro se encuentran ubicados en una cámara subterránea, que cuenta con una puerta de acceso para la limpieza y mantenimiento de la trampa de grasas y el cambio de arena en el filtro. En la terraza del tercer piso, está ubicado el tanque 2, encargado del almacenamiento de agua para su posterior distribución dentro de la casa.

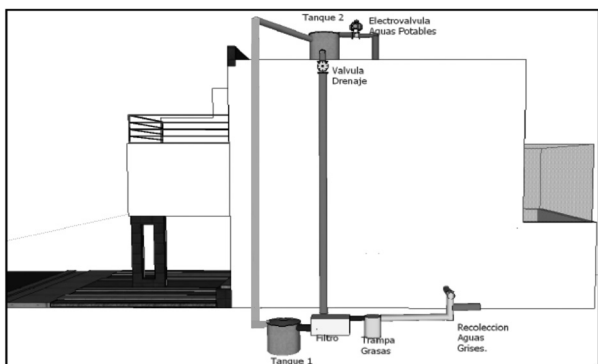
Las aguas grises provenientes de la vivienda se direccionan por tubería hacia la trampa de grasas, seguidamente se conducen las aguas para su tratamiento con el filtro de arena y son recolectadas en el tanque 1. Desde aquí, las aguas previamente

Figura 2. Ubicación de los diferentes elementos que componen el sistema de control de aguas grises.



Fuente: Autores

Figura 3. Vista lateral de la aplicación de aguas grises.



Fuente: Autores

tratadas, son impulsadas por la bomba hasta el tanque de almacenamiento y distribución (Tanque 2) en la parte superior de la vivienda. Las aguas almacenadas en el tanque 2 serán utilizadas para el lavado de sanitarios y aseo doméstico, serán direccionadas por una tubería diferente a la que direcciona el agua potable. Por otra parte, se cuenta con otra tubería, donde se ubica la electroválvula 2, que dará paso al agua potable proveniente del servicio de acueducto y que será utilizada en situaciones eventuales. Finalmente, en el diseño del sistema se cuenta con la tubería de drenaje con una electroválvula para la rutina de limpieza del tanque (Figura 3).

### DEFINICIÓN DE VARIABLES PARA EL SISTEMA

Para una adecuada estrategia de control fue necesario identificar y definir las variables involucradas en el proceso de reutilización de las aguas grises, tanto entradas como salidas. En la Tabla 1 se muestra dicha definición, junto con una breve descripción de la tarea de cada elemento, agregando el nombre que tendrán dentro del programa al interior del microcontrolador para automatizar el sistema.

### ESTRATEGIA DE CONTROL

Se implementa un control de tipo secuencial con buclas sencillas de realimentación tipo on-off, las cuales permiten el cumplimiento de los requerimientos del sistema. El elemento final de control cuenta solamente con dos posibilidades para ejercer una acción de control: encendido (100%) y apagado (0%).

El control desarrollado mantiene la variable controlada (nivel) en los valores requeridos para garantizar un

Tabla 1. Entradas y salidas del proceso de reutilización de aguas grises

Elemento	I/O	Análoga/Digital	Descripción y nombre dentro del programa en lenguaje C
Electroválvula 1	OUT	Digital	Drenado del tanque 2 (VALDREN)
Sensor de nivel 1	IN	Análoga	Medición del Nivel en el tanque 1 (SENSORBO)
Bomba	OUT	Digital	Transporte de agua tratada desde tanque 1 hacia Tanque 2 (BO)
Electroválvula 2	OUT	Digital	Entrada auxiliar de agua potable (VALPOT)
Sensor de nivel 2	IN	Análoga	Medición de nivel en el tanque 2 (SENSORPRIN)
Led bomba	OUT	Digital	Indicador de encendido de la bomba (LEDBO)
Led electroválvula 1 y rutina de lavado	OUT	Digital	Indica apertura de la electroválvula 1 e inicio de la rutina de lavado (LEDVALDREN)
Led electroválvula 2	OUT	Digital	Indica apertura de la electroválvula 2 (LEDVALPOT)

Fuente: Los autores

buen funcionamiento de los sanitarios al interior de la vivienda. Si el nivel es mayor, entonces el actuador ejecutará la tarea que se requiera para corregir el incremento, y si la variable nivel es menor ejecutará la tarea indicada para aumentar nuevamente el nivel. Esta estrategia de control on-off brinda simplicidad al sistema, bajo costo de implementación y fácil instalación y mantenimiento.

#### BLOQUES DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL PARA EL SISTEMA

El diagrama de bloques que se muestra en la Figura 4, inicia preguntando por la señal que entrega el sensor de nivel 1 a la entrada, donde el microprocesador será el encargado de ejercer la acción de control sobre los elementos, dependiendo de las condiciones que se cumplan, para luego manipular la variable principal a controlar que será nivel.

Se establece un set point fijo, al momento de instalar el sensor de nivel, para identificar el nivel alto y el bajo dentro del primer tanque de almacenamiento (tanque 1); estos datos se direccionan al microprocesador. Cuando se llega al valor considerado como alto, el microprocesador envía la señal de control a la bomba para que se encienda si el tanque 2 tiene un nivel bajo, de igual forma esta información es útil en la rutina de limpieza, ya que si el tanque 1 se halla en nivel alto,

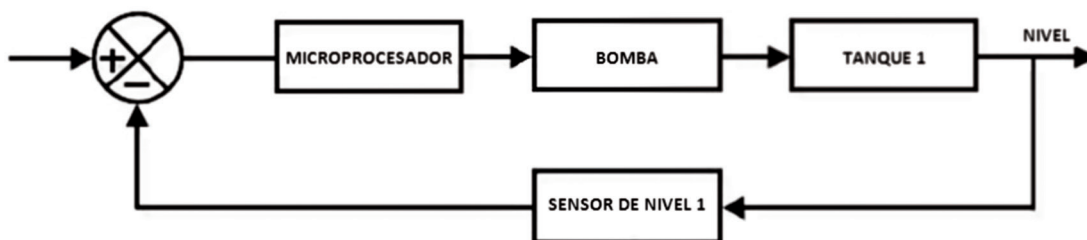
debe seguir encendida la bomba para bombear el agua hasta que el tanque esté vacío.

En el segundo diagrama de bloques (Figura 5), se encuentra como entrada al sistema, la señal de salida del primer bloque. En esta parte del control, al ser el nivel detectado como bajo, el microprocesador enviará la señal de control para apagar la bomba, evitando que el equipo se quemara por falta de agua dentro del tanque 1.

También es necesario realizar un control de nivel para el tanque 2, encargado del almacenamiento de las aguas grises ya tratadas. Para este se establecen dos estados de nivel (alto y bajo) a través de un segundo sensor de nivel (sensor 2). Una vez el sensor de nivel realiza detección de nivel alto, envía la señal al microprocesador, quien según su programación se encargará de enviar la señal de control para apagar la bomba y así evitar el rebosamiento del tanque 2, y por ende prevenir el desperdicio de las aguas ya tratadas por los ciclos de filtración.

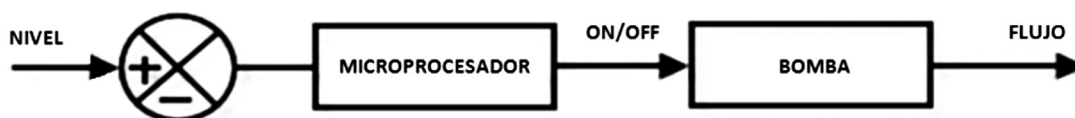
Si se detecta estado de nivel bajo dentro del tanque 2, el microprocesador enviará la señal de control para el encendido de la bomba, pero en el caso en que el tanque 1 también tenga nivel bajo, activará la apertura de la electroválvula 2, la cual está conectada al servicio de agua potable y de esta forma se mantendrá abastecido el tanque 2, garantizando que siempre se disponga de agua para los sanitarios. Ver Figura 6 (pág 330)

Figura 4. Diagrama de bloques, control nivel tanque 1, lazo cerrado



Fuente: Los autores.

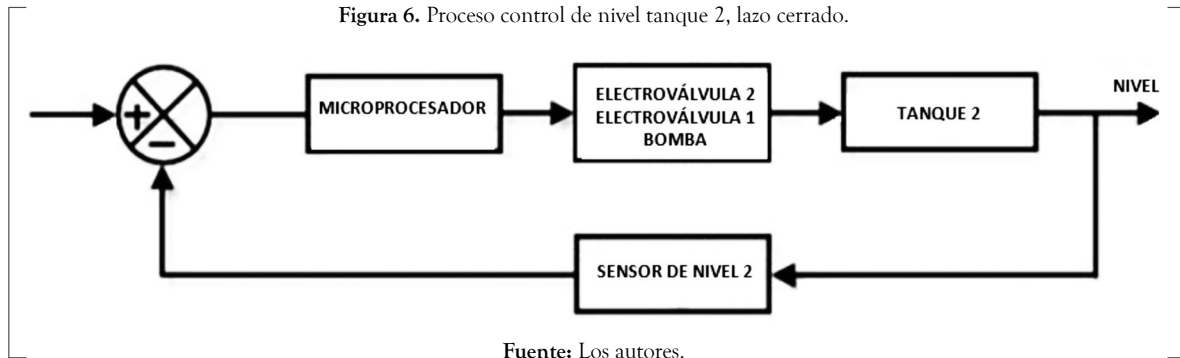
Figura 5. Diagrama de bloques para control sobre bomba - lazo abierto.



Fuente: Los autores.



Figura 6. Proceso control de nivel tanque 2, lazo cerrado.



Fuente: Los autores.

### PROGRAMACIÓN EN LENGUAJE C

Se implementa la programación del sistema en lenguaje C, para ello se estudia cada una de las posibilidades que se puedan generar en el sistema y con las cuales el microcontrolador deberá enviar una señal de acción:

- Sensor 1 Nivel Bajo y Sensor 2 Nivel Bajo (S1= LOW y S2= LOW).
- Sensor 1 Nivel Bajo y Sensor 2 Nivel Alto (S1= LOW y S2=HI).
- Sensor 1 Nivel Alto y Sensor 2 Nivel Bajo (S1=HI y S2=LOW).
- Sensor 1 Nivel Alto y Sensor 2 Nivel Alto (S1=HI y S2=HI).

Esta implementación permite considerar las opciones que se pueden presentar en el sistema durante el proceso.

### RESULTADOS DEL PROTOTIPO

Con la construcción del prototipo (Figura 7), a partir del cual se hicieron las pruebas requeridas para verificar su

funcionamiento, donde se simularon todas las posibles condiciones en las que el sistema deberá responder. Además, se comprobó que el sistema responderá ante las principales perturbaciones a las que se enfrentará una vez esté implementado al interior de la vivienda.

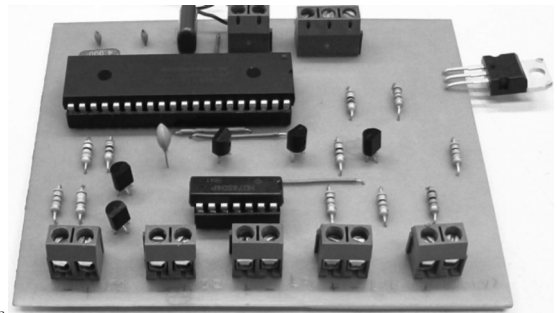
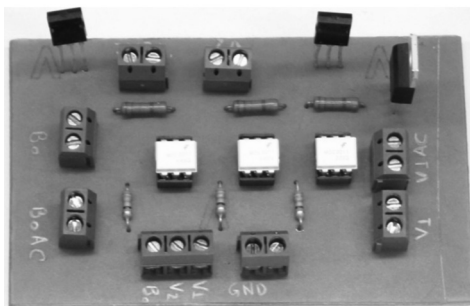
Para poder entender fácilmente el funcionamiento del sistema se construyeron dos tablas de verdad con lógica binaria, una para la rutina principal (Tabla 2) y otra para la rutina de limpieza (Tabla 3), en las cuales se ve el estado de las entradas y cuál debería ser el estado de las salidas.

El sistema es diseñado para actuar según el estado de los tanques, con esto se garantiza que ante la ausencia de fluido eléctrico se mantendrán las condiciones actuales que tengan los tanques, porque su nivel podrá verse afectado durante el periodo que estuvo inactiva la aplicación electrónica.

Se evalúa la primera condición, en el momento en que se encuentre el sensor de nivel de la bomba en bajo y el sensor del tanque de distribución y almacenamiento también en bajo, se abre la electroválvula que permite el paso de agua potable (VALPOT), recordar que esta electroválvula es normalmente abierta, y como se desea

Figura 7a. Circuito de potencia del prototipo

Figura 7b. Circuito lógico del prototipo



Fuente: Los autores

Tabla 2. Tabla de verdad para la rutina principal

Entradas		RUTINA PRINCIPAL					
SENSORBO	SENSORPINT	Salidas					
		BO	VALPOT	VALDREN	LEDBO	LEDVALDREN	LEDVALPOT
0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0

Fuente: Los autores.

que los LED sirvan como visualización para el usuario y que identifique qué instrumento está funcionando en tiempo real, se enciende el LEDVALPOT (Figura 8) para indicar que hay paso de agua. Esta acción se lleva a cabo para garantizar que dentro de la vivienda se cuente con agua para abastecer los tanques de los sanitarios, en caso tal que no haya suficiente generación de aguas grises para abastecerlos.

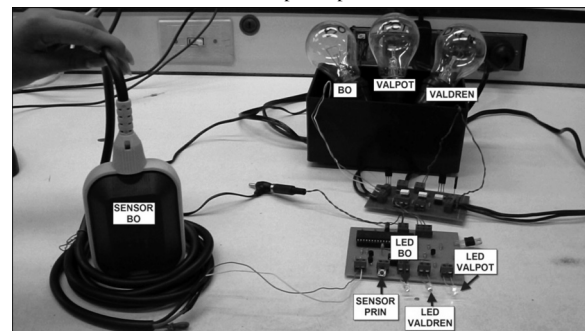
Cuando el sensor de la bomba detecta nivel bajo (SENSORBO) y el sensor principal (SENSORPRIN) del tanque de distribución se encuentra en un nivel alto (Figura 9), el sistema se dispone a apagar la bomba, por ausencia de agua gris tratada para bombear, y cierra la electroválvula de agua potable (VALPOT) para evitar el rebosamiento de líquido del tanque. Recordar que (VALPOT) es normalmente abierta y al energizarla se cierra.

De darse el caso contrario al anterior, en el que (SENSORBO) detecte nivel alto en tanque 1 y (SENSORPRIN) un nivel bajo en el tanque 2 de almacenamiento y distribución (Figura 10), la bomba deberá estar encendida para bombear el agua tratada hasta el tanque 2 y así brindar el suministro de agua a los tanques de sanitarios al interior de la vivienda. La electroválvula de agua potable se encontrará cerrada ya que en ese momento se cuenta con aguas grises tratadas para ser usadas, evitando el uso de agua potable y por ende economizando y ahorrando el recurso.

En caso que se presente nivel alto en los dos tanques (Figura 11, ver pág. 332), el sistema desenergizará los equipos e indicadores a excepción de (VALPOT), ya que es necesario energizarla para que se cierre, y quedará a la espera de que al interior de la vivienda se dé el requerimiento de las aguas.

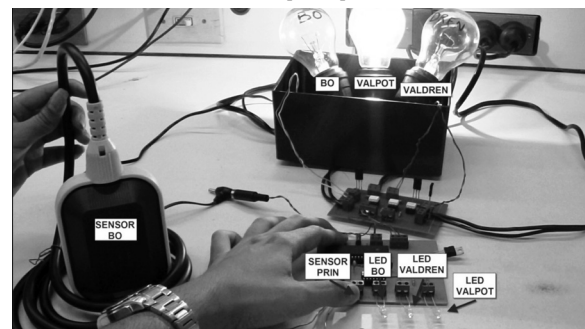
Una vez que se detecta que las aguas del sistema llevan más de 48 horas sin fluir, estas pasarían a ser aguas con

Figura 8. Resultado SENSORBO (0) SENSORPRIN (0) rutina principal.



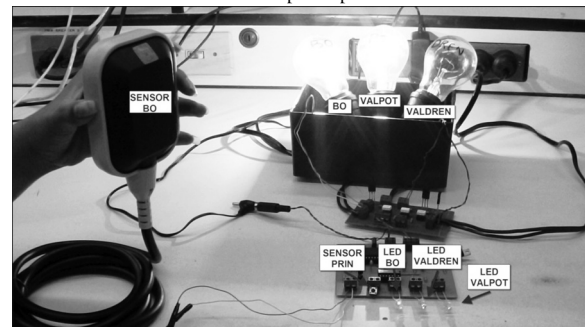
Fuente: Los autores

Figura 9. Resultado SENSORBO (0) SENSORPRIN (1), rutina principal



Fuente: Los autores

Figura 10. Resultado SENSORBO (1) SENSORPRIN (0), rutina principal



Fuente: Los autores

malos olores y posiblemente ya contengan algún tipo de agente patógeno, por este motivo ya no son adecuadas para usar en la vivienda. Dentro de la programación se realiza la detección del “no movimiento” de las aguas dentro del sistema, condicionada al tiempo que lleve apagada la bomba desde la última vez que se encendió, para ver cómo debe comportarse el sistema con esta nueva condición. Se diseñó la Tabla 3 para la rutina de limpieza.

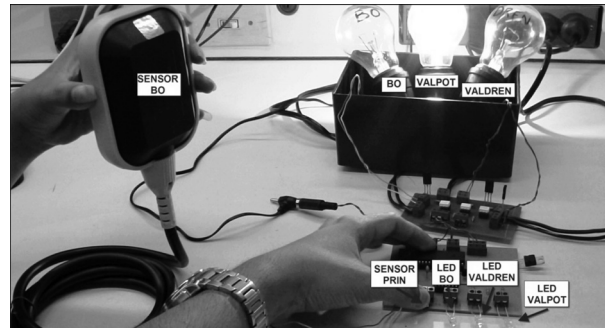
Para esta rutina entra a funcionar la electroválvula de drenaje (VALDREN), con esta electroválvula se busca garantizar el proceso de vaciado de los dos tanques, tanto el de almacenamiento y distribución (tanque 2) como del (tanque 1) en el que se encuentra la bomba. Una vez alcanzado el vaciado, se da la apertura de la electroválvula de agua potable (VALPOT) como parte del proceso de limpieza del tanque.

La rutina empieza a actuar dependiendo del estado de los niveles de los tanques. Si el sistema al momento de entrar a la rutina de limpieza detecta nivel bajo con (SENSORBO) y nivel alto con (SENSORPRIN) (Figura 12). Inicia el vaciado de las aguas estancadas dentro del tanque 2 dándole apertura a la electroválvula de drenaje (VALDREN) y manteniendo apagadas la bomba (Bo) y la electroválvula de agua potable (VALPOT).

Si al entrar a la rutina de limpieza se detecta un nivel alto con (SENSORBO) y un nivel bajo con (SENSORPRIN) (Figura 13), se enciende la bomba (BO) para desocupar el agua que queda dentro del tanque 1 y se abre la electroválvula de drenaje (VALDREN) para que el agua que se bombea no se quede en el tanque 2.

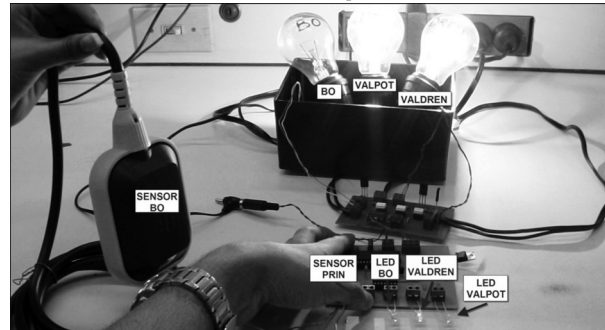
Otra de las posibilidades que se puede dar al entrar a la rutina de limpieza, es detectar nivel alto con los sensores de nivel (SENSORBO) y (SENSORPRIN), para este caso es necesario vaciar el agua retenida por más de 48 horas en los dos tanques (Figura 14). El sistema

Figura 11. Resultado SENSORBO (1) SENSORPRIN (1), rutina principal



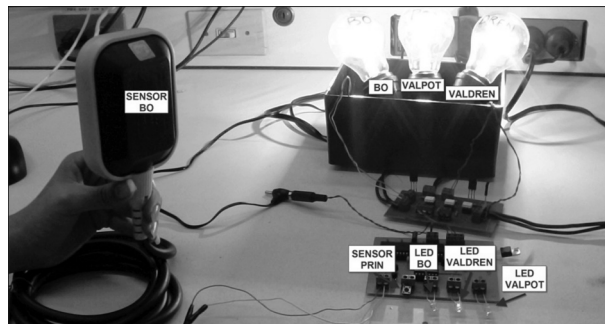
Fuente: Los autores

Figura 12. Resultado SENSORBO (0) SENSORPRIN (1), rutina de limpieza



Fuente: Los autores

Figura 13. Resultado SENSORBO (1) SENSORPRIN (0), rutina de limpieza



Fuente: Los autores

Tabla 3. Tabla lógica para verificar la rutina de limpieza

RUTINA DE LIMPIEZA							
Entradas		Salidas					
SENSORBO	SENSORPINT	BO	VALPOT	VALDREN	LEDBO	LEDVALDREN	LEDVALPOT
0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	1	1	0	1	0
1	0	1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	1	0	1	0

Fuente: Los autores

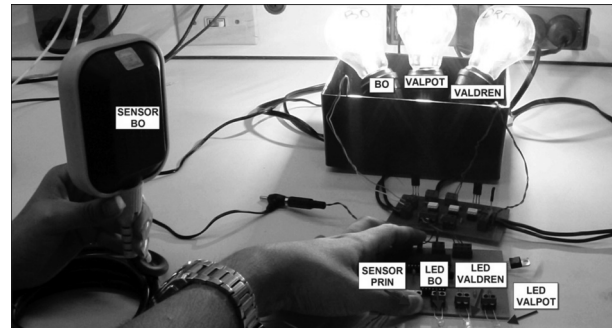
procede a abrir la válvula de drenaje (VALDREN) para conducir estas aguas a la tubería de aguas negras; la bomba se encendería para vaciar el tanque 1 y se mantendría cerrado el paso de agua potable a través de (VALPOT).

Al detectarse un nivel bajo con los dos sensores de nivel, significa que el sistema ya ha terminado de vaciar el agua estancada (Figura 15). Por lo tanto, el proceso inicia, llenando el tanque principal de almacenamiento con agua potable como parte final de la rutina de limpieza.

Cabe resaltar que durante la puesta en marcha de la rutina de limpieza, el único LED que se mantiene encendido es el que indica que (VALDREN) está en operación, esto se hizo para que el usuario pueda visualizar en que momento el sistema está limpiándose y es por esto que (LEDVALDREN) tendrá la doble función de indicar operación de (VALDREN) y también indicará que el sistema está llevando a cabo la rutina de limpieza.

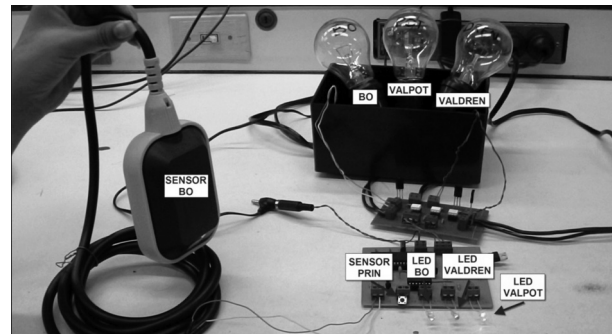
Una vez se llevan a cabo todas las pruebas y se corrobora que el sistema está funcionando de la manera que se espera, se pueden hacer las conexiones definitivas, mejorando el empalme en cada entrada y salida, además de aislar los circuitos para protegerlos y dar una buena presentación al sistema (Figura 16).

Figura 14. Resultado SENSORBO (1) SENSORPRIN (1), rutina de limpieza



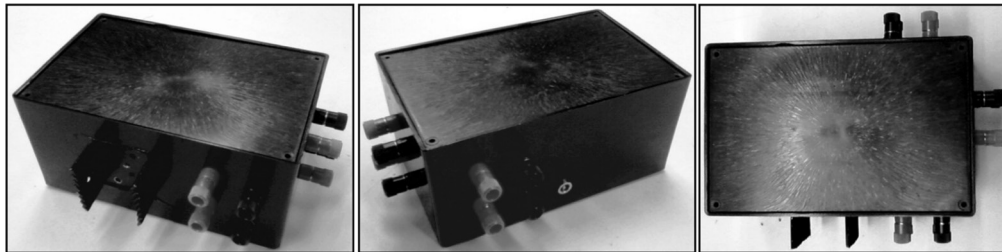
Fuente: Los autores

Figura 15. Resultado SENSORBO (0) SENSORPRIN (0), rutina de limpieza



Fuente: Los autores

Figura 16. Presentación final del sistema



Fuente: Los autores

## Conclusiones

- La problemática en el uso del agua potable se inició en aquellos países que cuentan con fuentes hídricas de más difícil explotación, pero poco a poco se ha ido trasladando a aquellos, como nosotros, que suponemos contar con mayores facilidades para la utilización de este recurso. No parece sensato esperar a que estemos en crisis, para iniciar la implementación de tecnologías que
- permitan adelantarnos al problema que supone su escasez.
- El estado del arte consultado muestra diferentes prototipos, enfocados a la reutilización de aguas grises que carecen de un sistema que sea controlado de manera inteligente, es decir, que realice las acciones dentro de la vivienda de manera autónoma, dependiendo de la situación que se esté presentando en el momento, tal como sería el cierre o la apertura de válvulas.

- Con la construcción de este prototipo se logra crear un sistema para la reutilización de aguas grises, automatizado a través de un microcontrolador programado con las acciones pertinentes a realizar según el evento que se esté dando en el momento, optimizando su funcionamiento y convirtiéndose en una herramienta adaptable para el hogar, y así permitir la disminución del consumo de agua potable en tareas que no lo requieren.
- Desde el momento de la selección de un microcontrolador que se encargará de darle “inteligencia” al sistema, hasta tomar la decisión de que la programación del mismo fuese llevada a cabo en el lenguaje de programación C, se pudo comprobar la diversidad de aplicaciones y la facilidad que brinda basar proyectos e incluso estrategias de control en este dispositivo, ya que brinda un desempeño bueno y juega un papel crucial para hacer implementaciones a bajo costo. Además, facilita la migración a otro dispositivo si se desea realizar una adaptación para futuras nuevas tareas, lo que favorece la escalabilidad del sistema.
- Aunque se encontró que existían diversas aplicaciones y equipos con los que se podía llevar a cabo la misma tarea, se pudo demostrar que al final seguirán existiendo diferentes soluciones, junto con mejoras que muy seguramente otros investigadores no han tenido en cuenta, y es allí donde se abre la posibilidad de darle un valor agregado a un nuevo sistema. En este caso ese punto se aprovechó para realizar una sencilla pero útil forma de detectar la ausencia de personas en la casa, para activar una rutina de limpieza del sistema que drene las aguas que se encuentran estancadas durante un periodo mayor al que se recomienda que deba permanecer posada este tipo de agua antes que genere malos olores o perjuicios para la salud del usuario. Con esto se ayuda a que, una vez más, la electrónica haga todo el trabajo y que los problemas que puedan surgir sean “invisibles” para las personas que se benefician del sistema.
- El principal enfoque que tuvo este proyecto, desde el momento en que se inició, fue el de proteger el recurso hídrico y así ayudar al medio ambiente, en este caso a través del ahorro de agua, sin consideraciones relevantes sobre el tema económico. Una vez que se llevó a cabo el análisis en el que se determina el ahorro económico aproximado que tendría una casa que implemente

este sistema, tal vez no sea tan significativo frente a las expectativas de retorno de inversión que se puedan llegar a tener. Sin embargo, consideramos que se debe mirar más allá del interés económico que culturalmente envuelve a la sociedad, y colocar en una balanza los porcentajes de ahorro de un recurso no renovable y vital para la vida en el planeta, contra la cantidad de dinero que se ahorre mes a mes en una factura. El tema ecológico y de ayuda al medio ambiente debe verse más desde un punto de vista cultural, se debe cambiar el pensamiento de las personas frente al compromiso que tiene cada uno con el planeta y con la conservación de los recursos, y de esta forma garantizar una buena calidad de vida para las futuras generaciones, y pensando un poco más adelante, la preservación de la humanidad en el planeta Tierra.

- La sostenibilidad no depende únicamente de la implementación de dispositivos que la promuevan, sino, y con una mayor importancia, de la “conciencia sustentable” que puedan desarrollar los usuarios de dichas tecnologías. De nada sirve que contemos con equipos y sistemas ecológicamente beneficiosos, si no se logra que las personas interioricen los conceptos y la necesidad que tiene el planeta de un cambio de costumbres en la explotación que día a día hacemos del mismo.
- De otro lado, es claro que no es suficiente que las instalaciones de la casa sean de carácter sostenible, sino que también lo debe ser la familia que la habite, por tal razón es necesaria una posterior capacitación de sus miembros, que deben identificar el funcionamiento del sistema y con ello las diferentes salidas y usos de cada una de ellas, además de comprometerse en un espíritu sostenible, coherente con la vivienda que habitarán. ≡

#### AGRADECIMIENTOS

Durante el proceso de investigación acerca de la construcción desarrollada por LabEEE, se pudo contar con la asesoría de la Arquitecta María Andrea Triana, quien brindó una importante asesoría con base en la construcción implementada en Florianópolis - Brasil, lo cual permitió tener una plataforma más sólida al momento de idear el diseño del sistema automatizado para la reutilización de aguas grises.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## NOTAS

1. Este artículo es producto del trabajo de investigación que tiene por título: "Construcción de un prototipo para una casa de carácter sostenible". Avalado por la Universidad de San Buenaventura Cali.
2. Es un efecto hidrodinámico producido cuando el agua o cualquier fluido líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo descompresión del fluido.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOSCH, Christophe; Hommann, Kristen; RUBI, Gloria María, SADOFF, Claudia & TRAVERS, Lee. Traducido de *Water, Sanitation and Poverty. Antecedes*. En: *Agua, Saneamiento y Pobreza*. Honduras: CIDBIMENA, 2001. p. 3-5
2. COMISION EUROPEA. Escazes de agua y sequia en la Union Europea [on line]. agosto. 2010 [Recuperado el 25 de Abril de 2013] disponible en internet: [http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/water\\_scarcity/es.pdf](http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/water_scarcity/es.pdf)
3. CONTRERAS, M. V. Diseño y construccion de un sistema electromecánico para reciclar aguas grises y conducir las a los servicios higiénicos en una casa promedio. Trabajo de grado en electromecánica. Quito. Escuela Politécnica Nacional. Escuela de Tecnología, 2009. 102p.
4. EL PUEBLO. Restricciones al uso del agua para evitar racionamiento en Cali. [on line] junio 2014 [Recuperado el 24 de julio de 2014] disponible en internet: <http://elpueblo.com.co/restricciones-al-uso-del-agua-para-evitar-rationamiento-en-cali/>
5. FRIEDLER, E., & HADARI, M. Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings. En: *ELSEVIER. Desalination*. 2006, no 190, p.221-234
6. GRAMKOW C.L., PRADO. P.G. Política Ambiental - Economía verde, desafíos y oportunidades. Brasil: Grupo de Desing Grafico Ltda., 2011, no 8. ISSN 1809-8185
7. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC). Aprovechamiento de aguas grises. [on line]. Mayo 2010 [Recuperado en julio 2014] disponible en internet: <http://vivienda.inecc.gob.mx/index.php/agua/recoleccion-recladado-y-reuso-de-agua/aguas-grises> 31 de mayo de 2010
8. MEDEIROS G., V. Avaliação da torre sustentável em Florianópolis. Florianópolis. Graduação em engenharia civil. Florianópolis. Universidad Federal de Santa Catarina, 2011. 112p.
9. VELASCO, A., & SOLAR, R. Biorreactores de membrana: tecnología para el tratamiento de aguas residuales. En: *La Ciencia y el Hombre*. 2011, vol XXIV, no 3