

# DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE RECOLECCIÓN Y RECICLAJE DE AGUAS GRISES

DEVELOPMENT OF PROTOTYPE OF AN  
AUTOMATIC SYSTEM COLLECTION AND  
RECYCLING GREYWATER

Est. Alexander Benavides  
Universidad Popular del Cesar  
Est. Tomás Ramírez  
Universidad Popular del Cesar  
Ing. Giovanni Bracho  
Universidad Popular del Cesar

Fecha de entrega 28 de Febrero 2016  
Fecha de aceptación 10 Mayo 2016



## Resumen

El desarrollo del prototipo de un sistema automático de recolección y reciclaje de aguas grises, surge como un mecanismo de ahorro de bajo costo para el grave problema de la falta de agua en nuestra sociedad por efectos de los fenómenos ambientales que constantemente se están presentando. Este sistema brinda una propuesta que si bien no ofrece a su salida un agua completamente potable y apta para el consumo, si proporciona agua que se puede utilizar en procesos cotidianos como la limpieza del hogar, riego de zonas verdes y descarga de los sanitarios. El sistema de reciclaje de aguas grises cuenta con un monitoreo del estado del proceso y las cantidades de insumos químicos allí usados a través de una aplicación móvil con una interfaz intuitiva y sencilla con conectividad WiFi brindando una portabilidad para el usuario final al momento de hacer una revisión del sistema instalado en su hogar. Durante el proceso de tratamiento de las aguas grises, se combina el uso de la instrumentación electrónica con las telecomunicaciones, lo que genera una excelente aplicación de la ingeniería electrónica para la solución de problemas en pro de la conservación del medio ambiente.

**Palabras claves:** aguas grises, automatización, instrumentación, reciclaje.

## Abstract

The development of a prototype automated system for collecting and recycling gray water, emerges as a savings mechanism inexpensive to the serious problem of water lack in our society due to the effects of environmental phenomena that are occurring constantly. This system provides a proposal that although his way out does not offer a completely clean and safe water for drinking, if you provide water that can be used in everyday processes such as household cleaning, watering gardens and flushing toilets.

The recycling system gray waters has a status monitoring process and amounts of chemical inputs there used through a mobile application with an intuitive and simple interface with wireless connectivity to provide portability for the end user when making a revision of the system installed in your home.

During the treatment of gray water, the use of electronic instrumentation combined with telecommunications, which creates an excellent application of electronics engineering to solve problems in environment conservation.

**Key words:** grey water, automation, instrumentation, recycling.

## INTRODUCCIÓN

La problemática medio-ambiental ha promovido la creación de campañas de concientización del ahorro y buen uso de los recursos naturales, siendo el más vital, el agua. Crear conciencia va más allá de repetir que se debe evitar el desperdicio, sino de buscar soluciones alternativas y que se puedan implementar de manera masiva para así generar impacto y mejoras notables. En el camino a esa meta, nace este prototipo, no como una solución definitiva, sino como un avance para el manejo eficiente del agua, tratando de aprovechar al máximo las aguas residuales de ciertos procesos caseros.

A pesar de la magnitud del problema y el auge mediático y social sobre la conservación del planeta, es poca la literatura respecto al tema del reciclaje de aguas, si bien en países europeos se presentan avances en este campo, en nuestro país y más aún en nuestra ciudad son pocas las actividades de promoción real de buen uso y manejo del agua, limitándose a actividades pedagógicas.

La implementación del prototipo de un sistema de reciclaje de aguas grises provee un uso eficiente del agua en nuestra vivienda para la reutilización de esta en procesos que no requieran un buen grado de potabilidad, pero que generen un gasto significativo, ejemplo la dispensación del tanque de los inodoros y limpieza de pisos, inclusive en sitios donde haya jardines también podría usarse para su riego y conservación.

Para poder observar el proceso de manera un poco más real se implementó un sistema de tuberías que simulan las fuentes de aguas grises más comunes de una vivienda, y a manera de aporte se presentan las condiciones de diseño para su implementación en una vivienda real, como la recomendación de ciertos equipos para que este funcione de manera óptima.

El agua es el recurso natural más importante y estratégico para la competitividad, crecimiento económico y bienestar de la sociedad siendo considerado en la actualidad como un recurso no renovable y muy limitado.

El IDEAM (2015) ha reportado que los volúmenes de precipitaciones se han afectado lo que ocasiona que las fuentes abastecedoras de agua tengan una reducción altamente significativa durante la mayor parte del año, lo que ha llevado a que se tomaran medidas en 26 departamentos del país con el fin de promover el uso eficiente y el ahorro de agua potable, entre ellas se encuentran el cobro de tarifas más altas a quienes sobrepasen los límites de consumo, así lo determinó la resolución 726 emitida por la CRA y el ministerio de vivienda, ciudad y territorio (2015).

Según la CRA (2010), el consumo básico en Colombia se encuentra alrededor de 20m<sup>3</sup> mensuales por suscriptor con un intervalo entre 17.7m<sup>3</sup> y 26m<sup>3</sup>, según la ciudad, el clima, la estratificación entre otros. De toda el agua potable que se entrega a una vivienda el 95% aproximadamente sale en forma de agua residual y son vertidas directamente al sistema de alcantarillado, perdiendo la oportunidad de reutilizar el 57% de todas esas aguas que son clasificadas como grises, las cuales se definen como las aguas que resultan de procesos caseros como el vertido de baños, duchas y lavamanos, así como también las provenientes de la lavadora y de los lavaplatos ya que se trata de aguas sucias con un bajo nivel de contaminantes y la casi ausencia de materia orgánica, y que se pueden reciclar para el uso donde no se requiere el mismo estado de potabilidad del agua que entró inicialmente a la vivienda (Galván Gil, 2011), sin mencionar que no se contribuye con el saneamiento ecológico, aspecto importante en la nueva cultura de la reutilización de los recursos hídricos.

Actualmente en Colombia solo se hallan algunos edificios verdes que reutilizan el agua para el riego de zonas verdes, pero no existe ningún mecanismo que se pueda implementar en los hogares de forma masiva (CCCS, 2016). La idea es alargar el ciclo del agua todo lo posible reutilizándola. Los usos que no requieren agua de la misma calidad del agua potable dentro de una vivienda ocupan un 40% del consumo, reciclar las aguas grises permitiría evitar el consumo de una gran parte de esta cantidad, que corresponde aproximadamente a 7.5m<sup>3</sup> de agua al mes, independientemente de que el usuario esté al tanto de reducir su consumo (Agenda de la Construcción Sostenible, 2008).

En este proyecto se desarrolló el prototipo de un sistema compuesto por elementos electrónicos y mecánicos que se encargue de programar y controlar los procesos secuenciales en tiempo real sobre los elementos que realizan el reciclaje de las aguas grises, abordando de esta forma una de las mejores opciones para reducir costos en la vivienda, pero ante

todo para tener un consumo sostenible y un uso eficiente del agua.

## METODOLOGIA

El diseño e implementación de este proyecto se hizo de forma ordenada siguiendo cinco etapas, con sus respectivas actividades, que permitieron avanzar progresivamente para lograr satisfactoriamente los objetivos planteados.

- **Etapa 1:** Investigación y fundamentación teórica.
- **Etapa 2:** Selección de herramientas adecuadas.
- **Etapa 3:** Diseño y simulación del prototipo.
- **Etapa 4:** Implementación y pruebas del sistema.
- **Etapa 5:** Análisis de resultados.

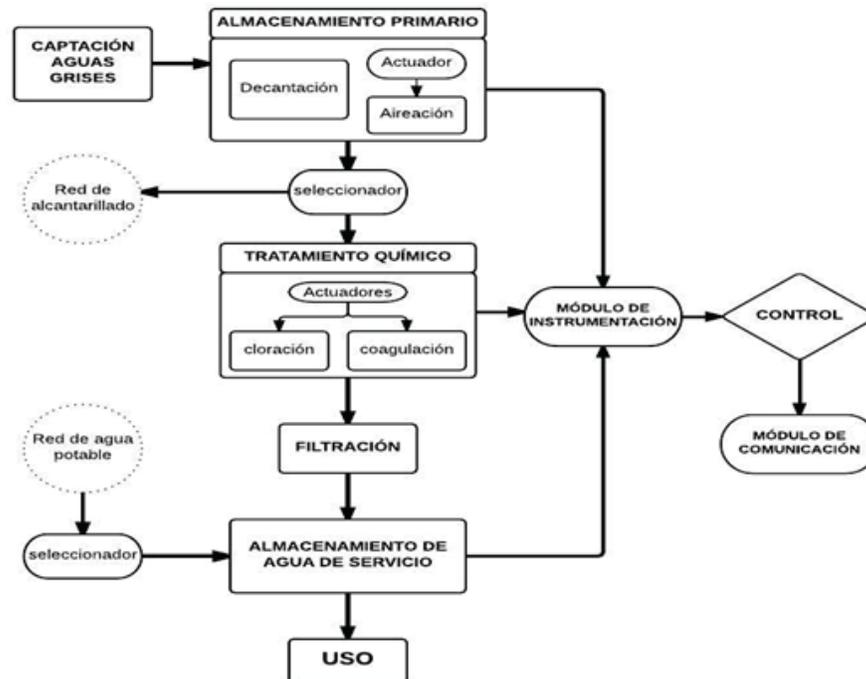


Figura 1. Esquema general del proceso.

Las soluciones físicas y electrónicas para el problema planteado, así como la construcción de un modelo a escala de un sistema de tuberías de una vivienda, se realizaron de acuerdo a la Figura 1 donde se muestra el plano general del proceso.

### Modelo a escala

Para las pruebas y puesta en marcha del sistema se hizo necesario construir la escena de ejecución del prototipo en una situación real por lo que se construyó un sistema a escala (ver Figura 2), pero que también será la directriz de la implementación del sistema en una vivienda real de las etapas de captación, almacenamiento primario, tratamiento químico y almacenamiento de aguas tratadas.



Figura 2. Modelo a escala del sistema

La etapa de captación permite el fácil vertimiento de las aguas grises que serán almacenadas en la etapa de almacenamiento primario, en donde se conjugan las técnicas de flotación, aireación y sedimentación que hacen parte del tratamiento físico aplicado a estas. La cloración y coagulación, tratamientos químicos aplicados en el proceso, son realizados en tanques equipados con agitadores y dosificadores que agregan la cantidad de

cloro y alumbre necesaria. Luego se realiza la filtración y adecuación de las aguas procesadas mediante la técnica de ultrafiltración por presión y filtración por carbón activado para mejorar el color, olor y reducir niveles de químicos y contaminantes orgánicos. Después las aguas tratadas son almacenadas en un tanque de almacenamiento esperando finalmente ser reutilizadas.

### Hardware

El sistema de control encargado de supervisar los sensores, del accionamiento de los actuadores, de enviar datos a través del módulo WiFi y de las demás acciones involucradas en el control del proceso se observa en el diagrama de la Figura 3



Figura 3. Diagrama de bloques de la tarjeta de control.

Para el manejo de los actuadores que trabajan con corriente alterna (120Vac) se emplearon TRIACs BT137, mientras que en el manejo de los actuadores que trabajan con corriente continua se utilizaron transistores TIP41C (6 A) y transistores Darlington TIP142T (10 A). Para conectar el módulo WiFi ESP8266 al microcontrolador, ponerlo en funcionamiento o establecer su configuración se diseñó un circuito compuesto por un regulador de voltaje LM1117 para proveer los 3.3 V requeridos por el módulo, dos convertidores de niveles lógicos con transistores 2N7000 para las líneas de comunicación, y dos pulsadores para RESET y FLASH que permiten reiniciar por hardware y/o reescribir el firmware del módulo en caso que presente fallas de conectividad o confi-

guración. En la Figura 4 se observa los esquemas de todos los diseños realizados.

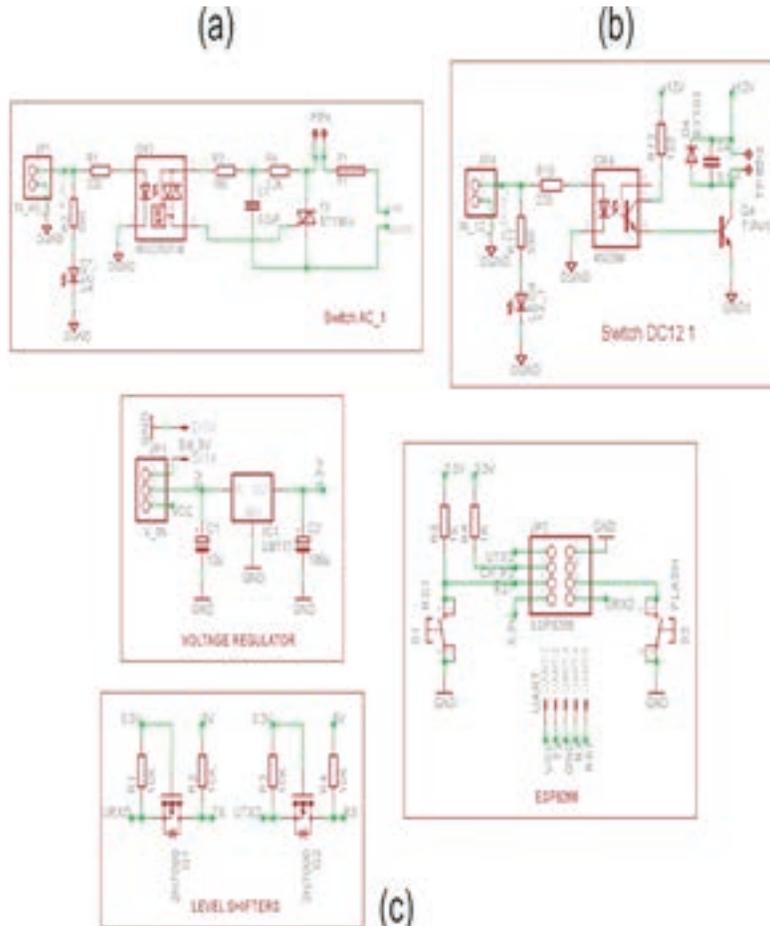


Figura 4. (a) Esquema del Interruptor AC con TRIAC, (b) Esquema del Interruptor DC con Transistor, (c) Circuito para el módulo ESP8266.

## Software

Para el diseño del programa de control se tuvo en cuenta el circuito diseñado para el microcontrolador, en donde están ubicadas las entradas y salidas a controlar, así como el comportamiento de las bombas, las electroválvulas y los sensores utilizados en el proceso. La programación se realizó en lenguaje C y compilado en lenguaje máquina mediante software especializado.

Para el manejo del módulo WiFi ESP8266 desde el microcontrolador, así como el respectivo envío de datos y chequeo de conexión, se desarrolló una librería en lenguaje C con funciones que facilitan al desarrollador la programación.

En la Figura 5 se muestran las pantallas de usuario diseñadas para la aplicación. De izquierda a derecha, la primera captura corresponde a la pantalla de inicio de la aplicación, la segunda captura corresponde a la pantalla de recepción y monitoreo de datos, y la tercera captura corresponde a la pantalla de configuración de canal y claves que permiten la lectura/escritura de datos en la plataforma web.

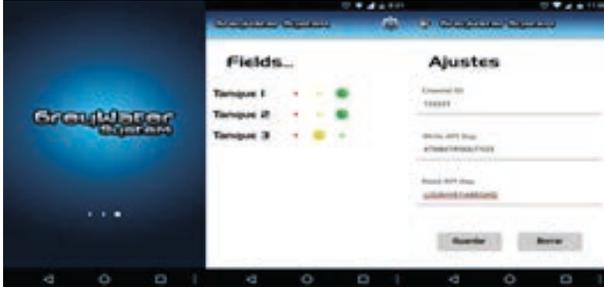


Figura 5. Pantallas de Usuario de la Aplicación Móvil.

## RESULTADOS

Se realizaron pruebas a los diferentes mecanismos presentes en las etapas del sistema (ver Figura 6) para constatar que lo implementado cumpliera con las características para el funcionamiento óptimo del prototipo.



Figura 6. Pruebas por etapas realizadas.

Como prueba final del proceso de reciclaje de aguas grises y haciendo usos de todas las etapas presentes en el modelo a escala se vertieron tres tipos de agua provenientes de las fuentes reales dentro de un hogar (lavaplatos, lavadero, lavamanos), en la Figura 7 se observa el aspecto físico de las muestras de estos tres tipos de agua. Luego de realizado todo el proceso de depuración se observó la apariencia del agua resultante (ver Figura 8), donde se observa notablemente los efectos del proceso de depuración aplicado.



Figura 7. Apariencia física de las muestras de agua proveniente de las fuentes.



Para verificar la calidad del agua reciclada por el prototipo se aplicó un examen fisicoquímico y microbiológico a una muestra tomada del tanque de almacenamiento final. En Colombia actualmente no existe ninguna normativa que regule o establezca las condiciones básicas de las aguas grises depuradas para sus distintos usos, lo que conllevó a que fueran tomados como valores de referencia los parámetros de calidad establecidos en la normativa española (Real Decreto Español 1620/2007), que es la más conocida y utiliza-

da internacionalmente en los sistemas de depuración de aguas grises. En la Tabla 1 se observan los resultados arrojados por el examen.

Sitio de recolección: Salida Prototipo GreyWater Fecha de muestreo: 25/08/2016 Hora: 08:00 am Temperatura de muestra: 19°C		<b>Características de la muestra:</b>  Fecha de último tratamiento químico: 24/08/2016 Hora: 10:00 pm Tamaño de la muestra: 1000cc	
Plan de muestreo: MIC-022			
Descripción	Resultado	Valor Referencia	Método Utilizado
Recuento de Escherichia Coli	0 UFC/100 cc	0	Filtración de membrana
Sólidos Totales	8.2mg/lit	Máx. 10mg/lit	S.M. 2540 B Gravimétrico
Turbiedad	1.8 UNT	Máximo 2 UNT	S.M. 2130 Nefelométrico
Sabor y Olor	Aceptable	Aceptable	Organoléptico

Tabla 1. Resultado del examen fisicoquímico y microbiológico

Los valores obtenidos para la turbiedad (1.48 UNT ), para los sólidos en suspensión (8,2 mg/L), y para la Escherichia coli (0 UFC ) evidencian la acertada implementación de todas las técnicas de tratamiento utilizadas en el proceso, mostrando que se cumple con la calidad necesaria para el uso en labores domésticas como el riego de jardines y zonas verdes, llenado de sanitarios, lavado de vehículos y calles.

Los procedimientos desarrollados tuvieron como resultado los objetivos planteados, además del desarrollo del ambiente de pruebas, lo que conllevó a la conceptualización y aplicación de procedimientos de reciclaje y tratamiento de aguas grises, conocimientos en instrumentación, control de procesos y monitoreo remoto a través de sistemas de comunicación inalámbricos. El funcionamiento del prototipo fue continuo, las bombas de agua, el filtro, las electroválvulas y los dosificadores funcionaron sin ningún tipo de interrupción, libres de sobrecargas y no se observaron obstrucciones en las tuberías, la presión generada por las bombas fue la adecuada para el

sistema, especialmente para el filtro, y los procesos de agitación implementados realizaron la homogeneización deseada.

## CONCLUSIONES

Para la captación de aguas grises se diseñó y construyó un sistema de entradas con la capacidad de soportar el flujo de las pruebas que se realizaron a lo largo de la implementación del prototipo. Así mismo se implementó una etapa de almacenamiento primario para alojar las aguas grises captadas y de forma simultánea aplicar sobre estas las técnicas de aireación, sedimentación y flotación, obteniendo los resultados deseados en la primera etapa del proceso.

En el desarrollo del prototipo se utilizaron sensores de nivel tipo flotador para tener un monitoreo constante del estado de los tanques usados en el proceso, así como la implementación de las etapas de potencia para controlar los actuadores electromecánicos, logrando de manera satisfactoria el accionamiento de los mismos en cada una de las etapas del sistema.

El desarrollo del firmware para el módulo de instrumentación y control fue realizado exitosamente con base en las acciones que se deben ejecutar en el proceso según un evento específico.

La implementación de un módulo de comunicación WiFi se llevó a cabo de manera óptima con las respectivas configuraciones que se realizaron al módulo, así como la activación de sus servicios y los parámetros necesarios para el envío de datos a través de la red inalámbrica. En el desarrollo de la aplicación móvil para dispositivos Android como medio para que el usuario monitoreara fácilmente el proceso fue óptimo desde el punto de inicio de la aplicación, la configuración de conexión a la plataforma web y la visualización de la información pertinente.

La construcción del modelo a escala del sistema de tuberías de una vivienda se elaboró de manera óptima brindando un ambiente propicio para representar el funcionamiento del prototipo de manera correcta, y llevó a la generación de parámetros importantes dentro de la elaboración de un diseño de implementación del prototipo en una vivienda real.

## REFERENCIAS

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia IDEAM (2015). "El niño, un fenómeno fuerte", Sala de Prensa, Bogotá. Disponible en <http://www.ideam.gov.co>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2015). "Resolución CRA 726 de 2015". Disponible en <http://www.cra.gov.co>

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico CRA (2010), "Documento de trabajo: Por el cual se toman medidas para promover el uso eficiente de ahorro de agua potable y desincentivar su uso excesivo". Disponible en <http://www.cra.gov.co>

Galván Gil, S.P (2011). "Modelo de aprovechamiento de aguas grises", Editorial Académica Española, C. de México. ISBN: 9783847350682.

Consejo colombiano de construcción sostenible CCCS (2016). "Tendencias globales de construcción sostenible". Disponible en: <http://www.cccs.org.co/>

Agenda de la Construcción Sostenible (2008)- Barcelona, "Reutilización de agua en las viviendas", 6 de febrero 2008. Disponible en <http://www.iagua.es>

Real decreto 1620/200 (2007). "Donde se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas grises depuradas". España.

Parameshwara, P. M., Sadashiva, B. M., Kavya, S. (2016), "Greywater Treatment & Reuse: A Technological Review", Global Journal for Research Analysis