

UNIVERSIDAD  
PANAMERICANA®  
Aguascalientes

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROTOTIPO PARA REUTILIZACIÓN DE AGUA EN BAÑOS DOMÉSTICOS: AHORROS Y  
ANÁLISIS ECONÓMICO**

TESIS

QUE PRESENTA

**Guillermo Yamil Ramos Mayol**

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA**

CON RECONOCIMIENTO DE VALIDEZ OFICIAL DE ESTUDIOS DE LA SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA, DE ACUERDO CON EL N° 2007575 DE FECHA 29 DE JUNIO DE 2007

DIRECTORES DE TESIS

Dr. Sebastián Gutiérrez Calderón

Dr. Pedro Manuel Rodrigo Cruz

Aguascalientes, Ags. Febrero de 2020

## Tabla de contenido

Agradecimientos .....	3
1. Resumen.....	4
2. Texto de la publicación.....	5
2.1. Introducción.....	5
2.2. Antecedentes.....	5
2.3. Operación del sistema .....	7
2.4. Filosofía de control.....	9
2.5. Diseño del prototipo.....	16
2.6. Resultados.....	17
2.7. Conclusiones .....	20
2.8. Referencias.....	21
3. Prueba de indexación.....	22
4. Artículo publicado .....	23

Biblioteca Aguascalientes

## Agradecimientos

Le agradezco a Dios por haberme acompañado a lo largo de mi carrera, por haber guiado mi camino personal y profesional, por ser mi fortaleza en todo momento y por brindarme una vida llena de aprendizaje y felicidad.

Le doy gracias a mis padres Margarita y Guillermo por apoyarme e impulsarme en todo momento, por darme el soporte y los valores necesarios para salir delante de la mejor manera. Por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación tras su sacrificio, esfuerzo, enojo y felicidad. Por haberme guiado en cada etapa de mi vida. Y sobre todo, por ser un excelente ejemplo de vida y matrimonio a seguir.

A mis hermanos por ser parte importante de mi vida, por representar la unión familiar y por estar en cada caída, en cada discusión, en cada triunfo y acierto, ya que eso es lo que nos ha forjado y unido a crecer juntos y ser quien somos.

A mi familia no sanguínea, aquellos hermanos que he recolectado a lo largo de mi vida, quienes siempre han estado ahí a pesar de lo que pase y siempre me empujan a ser mejor profesionalista y mejor persona.

Agradezco a la universidad y cada uno de mis profesores que me guiaron por el camino del aprendizaje. Especialmente mis asesores y compañeros de artículo el Dr. Sebastián y el Dr. Pedro, por habernos apoyado a sacarlo adelante, revisarlo en horarios no laborales y recibirlo hasta que saliera a la perfección.

Gracias Aldo Gutiérrez por haber creído en el proyecto y aceptar el reto de crear un artículo a pesar del tiempo tan reducido, dedicando fines de semana y noches enteras.

Un agradecimiento especial a mi esposa Lizeth Galaviz por su confianza y apoyo en este proyecto, por sus regaños y motivaciones particulares para impulsarme, y sobre todo por creer en mí y tener la paciencia para terminar la tesis y no dejar que bajara la esperanza de titularme.

## 1. Resumen

El objetivo principal de este artículo es demostrar los beneficios ecológicos y económicos que se pueden lograr al implementar un sistema automatizado de reutilización de agua en las regaderas para el hogar. En el artículo se discutirá, el funcionamiento y características de un dispositivo capaz de optimizar el consumo de agua a través del reciclaje de la misma. Este dispositivo será automatizado y utilizará un sistema eléctrico y mecánico para redirigir el agua a diferentes depósitos. El sistema hará uso de diversos sensores como de temperatura, presencia y volumen. Debido a que el proyecto está siendo desarrollado por investigadores mexicanos, este sistema se basa en datos evaluados en México. Al generar una reducción en el consumo de agua, se espera que también exista un ahorro monetario en la factura, por lo que es un ganar-ganar para el usuario y el medio ambiente. Es importante mencionar que todos los cálculos dentro de este artículo fueron hechos para aminorar el problema de escasez de agua en México, particularmente en la ciudad de Aguascalientes. Sin embargo, también pueden ser replicados en cualquier otro sitio. Particularmente, la ciudad de Aguascalientes presenta problemas de escasez de agua, por ésta razón, se realizó un análisis a fin de preservar este vital recurso en la medida de lo posible.

**Palabras clave:** agua, ahorro, ahorro de agua, consumo de agua, desarrollo tecnológico, domótica, economía, optimización, sensores de agua.

## 2. Texto de la publicación

### 2.1. Introducción

Se sabe que el agua es vital para el desarrollo humano y de la civilización. El agua ha sido fundamental desde la antigüedad hasta nuestros días. El uso del agua ha pasado de actividades básicas como el consumo humano y el riego hasta actividades industriales como el teñido de prendas de vestir y diversos procesos industriales. El agua es uno de los recursos más valiosos de la Tierra. La superficie de la Tierra está cubierta por un 70% de agua. De ese porcentaje, solo el 3% es potable y apto para el consumo humano. Éste 3% de agua potable se puede encontrar en ríos, lagos, acuíferos subterráneos y finalmente glaciares. El siguiente estudio y proyecto fue desarrollado y pensado para la ciudad de Aguascalientes, que literalmente se podría traducir como ciudad de aguas termales, ubicada en el centro geográfico de México [2]. Para el año de 1970, con la finalidad de encontrar acuíferos subterráneos, era necesario excavar hasta 33 metros y para el 2005, las excavaciones aumentaron a una profundidad de hasta 145 metros [3]. Lo que significa 4.39 veces lo que fue excavado en 1970. Durante este tiempo, los mantos acuíferos de Aguascalientes han sufrido las consecuencias del aumento de la población y las actividades industriales dentro del Estado. Tanto la población como el crecimiento industrial han crecido exponencialmente [4]. En 1970, había 338,100 habitantes en la ciudad; para 2015, había 1.312.500 habitantes. Eso significa que en un periodo de 45 años hubo un crecimiento poblacional de casi un millón de personas, 974,000 habitantes exactamente [5].

### 2.2. Antecedentes

En Aguascalientes, el problema de escasez de agua es un tema delicado. A un ritmo preocupante, los mantos acuíferos están siendo sobreexplotados. Recuperar agua es muy costoso y lleva mucho tiempo recobrar su estado natural. Además de este problema, el ahorro de agua, la reducción de agua y la reutilización del agua es un problema importante.

El municipio de Aguascalientes ha lanzado varios programas sociales en un intento por ahorrar agua y promover su bajo consumo. A pesar de estos intentos, no hay mucha gente que se involucre con ellos. Por otro lado, los dispositivos de ahorro de agua existentes son costosos y no muchos hogares son capaces de adquirir tales dispositivos.

Según estudios recientes en este campo, la manera en la que se desperdicia la mayor cantidad de agua es cuando las personas se bañan o se duchan. Según la Comisión Nacional del Agua de México, CONAGUA, por sus siglas en español, el momento en el cual se produce un mayor desaprovechamiento del agua en la sociedad mexicana es durante la hora del baño. Según esta dependencia de gobierno, una ducha promedio de 5 minutos equivale a 50 litros de agua o 13.21 galones de agua [6].

Debido a este exceso de agua residual, es relevante desarrollar e implementar nuevas tecnologías asequibles que puedan ahorrar agua y ser ambientalmente responsables. Para lograr el desarrollo de dicho dispositivo, es necesario implementar nuevas tecnologías, como la domótica. La domótica se define como la automatización de los hogares. Dicha automatización puede ser aplicada en la iluminación, sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), sistemas UPS (sistemas de energía ininterrumpida) y sistemas de seguridad, etc. Es necesario decir que la domótica está relacionada con la inmótica, la principal diferencia es que el último término es utilizado para la automatización de edificios inteligentes [7]. Como se dijo antes, la domótica aborda los problemas del hogar mediante el uso de procesos de automatización, pero a decir verdad, algunos dispositivos de automatización son caros, por lo que es necesario desarrollar tecnologías y componentes más baratos para llegar a más hogares y aprovechar sus beneficios. Existe un nicho de oportunidades para desarrollar diversas aplicaciones de la domótica a un bajo costo y con una instalación más fácil. Asimismo, no solo la instalación, sino también el funcionamiento y la gestión podrían resultar más fáciles para personas de todas las edades. Debido a la necesidad de conservar el agua, es necesario abordar el tema del ahorro en los hogares, no solo en Aguascalientes, sino también en áreas donde el suministro de este líquido vital es escaso. Esto a través del uso de un dispositivo que utiliza la domótica para operar de manera autónoma.

### 2.3. Operación del sistema

La escasez de agua es un conflicto que actualmente preocupa a diferentes gobiernos, entre estos al de Aguascalientes, donde la problemática no sólo se compone de la propia escasez, sino además de la falta de conciencia y educación sobre su ahorro. Partiendo de lo anterior se pretende diseñar e implementar un prototipo de bajo costo que mediante el uso de la automatización es posible la recuperación de agua en los hogares. Este prototipo consistirá en un sistema que detecte el momento cuándo se abre la llave de la regadera, para posteriormente hacer pasar el agua a través de una tubería que la conducirá a diferentes depósitos donde será almacenada.

La idea de este dispositivo es rescatar y almacenar aguas grises no contaminadas con un prototipo automatizado. El agua gris es el término utilizado para referirse al agua que no está muy contaminada, por ejemplo en el uso doméstico son el lavado de utensilios y de ropa, así como, el agua proveniente del aseo de las personas. El prototipo podrá detectar la temperatura y también cuando el agua de la ducha esté abierta. Hasta que el agua alcance la temperatura deseada, el agua se enviará a través de un tubo alternativo a un depósito de agua no contaminada hasta que alcance la temperatura deseada. Este depósito de agua no contaminada será un tanque de agua, que comúnmente se coloca en la azotea de una casa.

En este primer depósito se recogerá agua para su reutilización futura. Toda la operación estará completamente automatizada sin la intervención del usuario. Por otro lado, el agua gris se almacenará en un depósito de agua diferente.

Cuando el agua alcance la temperatura establecida por el usuario, se notificará al usuario con una alarma para informarle que está lista para tomar una ducha o un baño. Después de que se activa la alarma, se espera que el usuario entre a la ducha, activando un sensor de presencia a fin de detectar que se encuentra dentro de la ducha.

Cuando el sensor detecta a una persona dentro de la ducha, una tubería alternativa redirigirá el agua a un depósito de aguas grises. Es necesario separar el agua no contaminada del agua gris debido a los productos químicos utilizados para bañarse. El

agua almacenada en el depósito de aguas grises se usará más adelante en las descargas de los baños. Así se crea un reciclaje de aguas residuales, en un punto donde el consumo de este líquido vital presenta grandes consumos.

Este prototipo pretende desarrollarse a partir de sensores de bajo costo y una instalación simple sin llegar a comprometer la calidad a pesar de su valor económico. El ahorro y la reutilización del agua serán beneficiosos para recuperar la inversión inicial.

La cantidad de agua que se almacenará en estos dos depósitos dependerá de dos factores. El primer factor dependerá de la temperatura. Por ejemplo, si la temperatura del agua se establece en un valor de 30 °C pero el agua se encuentra a 15 °C, se almacenará mayor cantidad de agua no contaminada que si estuviera a 20 °C. Esto sucederá debido a la energía requerida para elevar la temperatura del agua desde una temperatura inicial a una temperatura final, otros factores a contar serán la temperatura ambiente y la presión del aire.

El segundo factor dependerá del tiempo consumido por cada usuario en la ducha o de la cantidad de agua que usa un sólo usuario para bañarse. Debido a la naturaleza de este problema, es necesario determinar la cantidad de tiempo desperdiciado dentro de la ducha, la cantidad de agua o una combinación del flujo de agua en un período de tiempo en litros por segundo. Tener los datos anteriores permitirá calcular el volumen del depósito de aguas grises.

Por otro lado, el depósito de aguas grises se calculará en función de los consumos promedio. Debido a esto, es necesario implementar medidas de seguridad. Tales medidas incluyen el flujo de agua que entra y sale de este depósito.

Para determinar la cantidad de agua que sale de este depósito, se debe conocer las veces que el inodoro se descarga en un solo día, y saber cuántos litros de agua se consumen en una sola descarga independientemente de lo que se arroje, ya sean la orina o las heces.

En el caso de que el depósito de aguas grises alcance su capacidad máxima, se activará una alarma interna. En este punto, el sistema detectará la capacidad del depósito de aguas grises y si sale agua de la ducha. Por razones de seguridad e higiene, es necesario

instalar en ambos depósitos la salida de agua en el fondo de dichos depósitos de agua. La razón principal de esta acción es evitar el estancamiento, que podría causar varias enfermedades o atraer diferentes insectos como mosquitos, que son portadores de diferentes virus como Zika, entre otros [8]. El objetivo principal de este prototipo, además de reutilizar el agua, es crear una conciencia cultural en la población para ahorrar agua no sólo en Aguascalientes, sino también en todo el mundo o donde el agua es fundamental para el desarrollo humano.

## 2.4. Filosofía de control

Como se dijo anteriormente, el sistema será un prototipo automatizado. El sistema tendrá un SCADA (Control de Supervisión y Adquisición de Datos) simple, para permitir que el usuario y el sistema se comuniquen fácilmente. SCADA se desarrolla en un entorno DGLUX5® por su simplicidad, fácil comunicación con periféricos y una amplia gestión integral. Tal programa funcionará de acuerdo con la lógica escrita a continuación. DGLUX5® es un software basado en HTML5 y administración Drag & Drop que permite a las personas o grupos de trabajo diseñar aplicaciones basadas en datos en tiempo real sin la necesidad de escribir una sola línea de código. DGLUX5® permite la comunicación en tiempo real, lo que reduce el tiempo y dinero en el diseño del proyecto [9].

En la figura 1 (cuya nomenclatura se describe en la figura 3) se muestra la lógica del sistema automatizado que se explicará en los párrafos siguientes. El sistema comenzará a preguntar al usuario “¿Desea comenzar a ahorrar agua?”. A esta pregunta, hay dos opciones posibles: “Sí” o “No”. Dependiendo de lo que elija el usuario, el sistema activará diferentes tareas. Si la opción elegida fuera “No”, el sistema activará una válvula de tres vías que redirigirá la cantidad total de agua al sistema de alcantarillado. Incluso el agua no contaminada se redireccionará al sistema de alcantarillado. Si la opción elegida fue “Sí”, el sistema funcionará de la siguiente manera. Después de que el usuario haya respondido “Sí” aparecerá otro mensaje de diálogo solicitando la temperatura de punto de ajuste en la que se desea agua para tomar una ducha o un baño. El agua comenzará a calentarse.

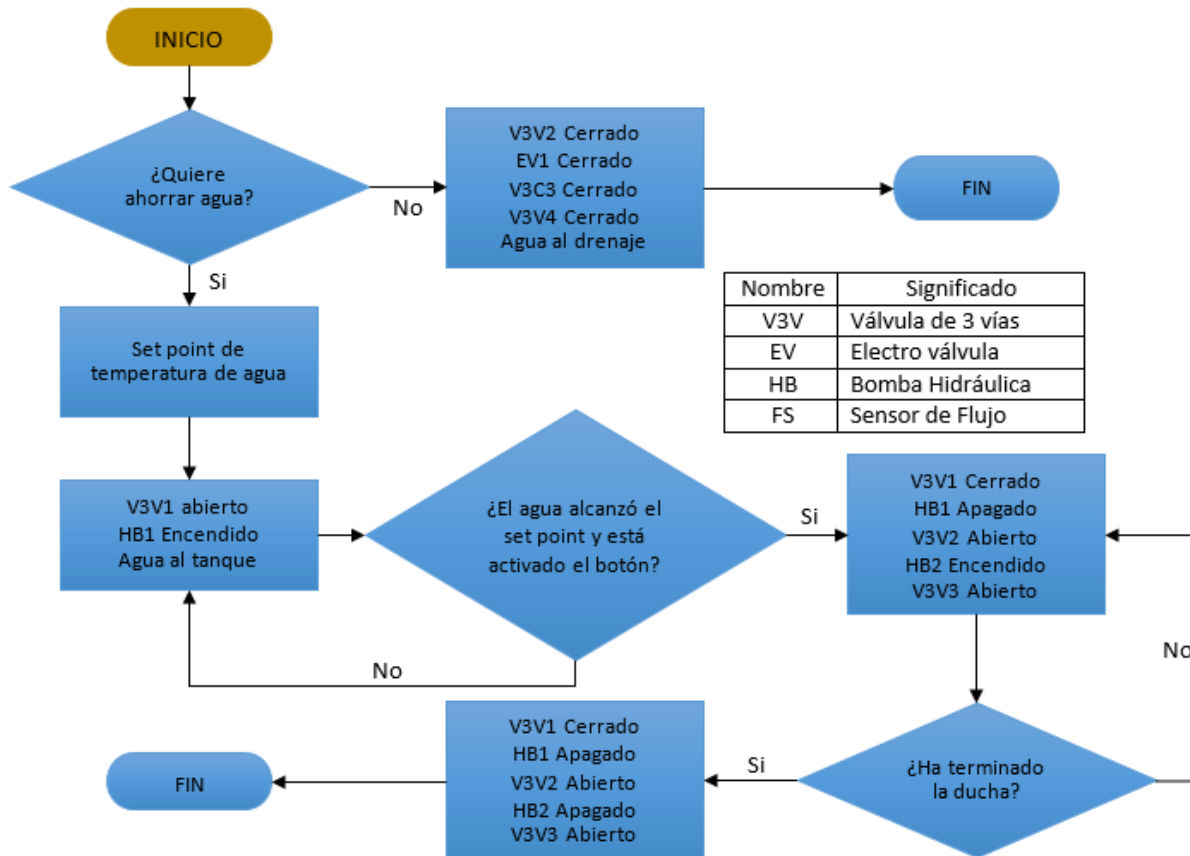


Fig. 1. Sistema Lógico Automatizado. Nomenclatura para dispositivos usados descrita en la figura 3.

El proceso de calentamiento puede ser de diferentes maneras. El agua se puede calentar utilizando una caldera convencional basada en gas natural o LP o en energías renovables como la tecnología solar térmica. Siendo la tecnología solar térmica la más ecológica para calentar el agua [10].

El sistema será independiente de cómo se calienta el agua, pero podrá enviar una alerta a los sistemas convencionales o electrónicos para iniciar el calentamiento del agua. La alerta no será compatible con el calentador solar ya que no hay chispa o combustión en este proceso de calentamiento. Una vez que se haya establecido la temperatura, el sistema usará un sensor de temperatura cerca de la regadera. Este sensor de temperatura determinará si el agua ha alcanzado la temperatura deseada del usuario. Si el agua no ha alcanzado la temperatura deseada, el agua se redireccionará utilizando una válvula de tres vías y una pequeña bomba al depósito de agua no contaminada que comúnmente se

encuentra en la azotea de una casa. En términos de energía neta, la cantidad de agua que no alcanzó la temperatura deseada además de depositarse en el depósito de agua no contaminada transferirá energía térmica al agua almacenada allí, en otras palabras, el agua se calentará indirectamente.

El agua que se calienta indirectamente será un ahorro de energía para futuros baños o duchas, ya que los sistemas de calefacción tendrán que aumentar el diferencial de calor más bajo de lo esperado inicialmente. Por ejemplo, consideremos dos masas diferentes de agua combinadas en una mezcla uniforme. La primera masa será de 100 gramos de agua a 25°C, la segunda masa será de 75 gramos de agua a 40 °C. El calor específico para el agua es  $C_p=1 \text{ cal / g}^\circ\text{C}$ . Aplicando leyes termodinámicas conocemos la base del equilibrio térmico [11] donde  $Q_1=mC_p(T_f-T_i)$  y  $Q_2= mC_p(T_i-T_f)$  and  $Q_1=Q_2$ . Aplicando esas fórmulas, obtenemos la temperatura final de la mezcla, que será  $T_f = 31.43 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Como se muestra anteriormente, solo al redirigir agua caliente al depósito de agua no contaminada, la temperatura del agua aumentará en pequeñas cantidades hasta 6 °C, en grandes cantidades de agua se espera que eleve la temperatura del agua hasta 2.2% de su temperatura original. Los cálculos se realizaron considerando 1,000 Kg de agua a 22 °C mezclados con 50 Kg a 32 °C. Este cálculo depende de la cantidad de masa de agua que se mezcle y la temperatura de ambos fluidos. Este aumento en la temperatura del agua originará un pequeño ahorro en energía eléctrica y combustibles fósiles si la caldera es alimentada por fuentes convencionales.

Una vez que el agua se haya calentado, una luz indicará que se ha alcanzado la temperatura deseada por el usuario. Ésta luz indicará al usuario cuándo ingresar al área de la ducha. Para permitir que salga agua de la regadera, el usuario presionará un botón. Esto permitirá que el sistema ahorre más agua. Para dejar salir el agua, se deben cumplir dos condiciones:

- 1.- El agua ha alcanzado la temperatura deseada.*
- 2.- El usuario está dentro del área de la ducha y listo para tomar una ducha o un baño.*

Hasta que se cumplan ambas condiciones, el sistema continuará conduciendo el agua hacia el depósito de agua no contaminada independientemente de su temperatura.

En el prototipo, para activar el flujo de agua en la ducha, hay dos opciones posibles: usar un botón para indicar la presencia del usuario del sistema o usar un sensor de presencia. El sensor de presencia será más útil para indicar al sistema cuando se detiene el flujo de agua. Por otro lado, será necesario presionar el botón de nuevo para detener el flujo de agua de la regadera. Una vez que se cumplan ambas condiciones, la temperatura del agua y la presencia del usuario, el agua comenzará a fluir. En este punto, el sistema redirigirá el flujo de agua a un depósito de aguas grises, utilizando la válvula de tres vías. Este depósito de aguas grises se ubicará debajo del lavamanos o en otros sitios, dependiendo del espacio disponible dentro del área del baño. Es importante medir el flujo de agua en litros o en kilogramos por segundo para determinar el volumen mínimo requerido para este depósito de agua. Por ejemplo, consideremos una ducha promedio de 6 minutos de duración. El flujo eficiente de la regadera se considera a 6 litros por minuto. Las regaderas convencionales gastan de 15 a 25 litros por minuto. Una familia mexicana promedio se compone de 5 miembros [12]. Cada miembro de la familia se baña diariamente en una semana. Los siguientes cálculos son necesarios para determinar el desperdicio total de agua.

Para una persona:

$$\left(6 \frac{\text{litros}}{\text{minuto}}\right) \left(6 \frac{\text{minutos}}{\text{día}}\right) = 36 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \quad (1)$$

$$\left(36 \frac{\text{litros}}{\text{día}}\right) \left(7 \frac{\text{días}}{\text{semana}}\right) = 252 \frac{\text{litros}}{\text{semana}} \quad (2)$$

Para la familia completa:

$$\left(252 \frac{\text{litros}}{\text{semana, persona}}\right) (5 \text{ personas}) = 1260 \frac{\text{litros}}{\text{semana}} \quad (3)$$

Según los cálculos realizados anteriormente, es posible determinar el volumen del depósito de aguas grises para un solo baño, en este caso, 1.26 metros cúbicos idealmente. Es un cálculo ideal ya que la regadera es eficiente en el uso del agua, pero no todas las casas tienen esta tecnología. Es importante mencionar que este cálculo solo ha considerado la entrada de agua pero no la salida. Por otro lado, supongamos que es la misma familia mexicana. Un inodoro que usa hasta 10 lpf, litros por descarga, un inodoro eficiente usa hasta 4 lpf pero no está disponible en la mayoría de las casas. Finalmente, supongamos que cada miembro de la familia usa el inodoro 3 veces al día.

Para una persona:

$$\left(10 \frac{\text{litros}}{\text{descarga}}\right) \left(3 \frac{\text{descargas}}{\text{día}}\right) = 30 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \quad (4)$$

$$\left(30 \frac{\text{litros}}{\text{día}}\right) \left(7 \frac{\text{días}}{\text{semana}}\right) = 210 \frac{\text{litros}}{\text{semana}} \quad (5)$$

Para la familia completa:

$$\left(210 \frac{\text{litros}}{\text{semana, persona}}\right) (5 \text{ personas}) = 1050 \frac{\text{litros}}{\text{semana}} \quad (6)$$

Según el cálculo realizado anteriormente, se determinó la salida de agua del depósito de aguas grises. El cálculo final es considerar el saldo neto de la entrada de agua y la salida de agua. El gasto total de agua es de 1,260 litros por semana utilizados en la ducha y almacenados en el depósito de aguas grises. La reutilización total del agua fue de 1,050 litros por semana.

$$\text{Red Agua Almacenada} = \text{Entrada Agua} - \text{Salida Agua} \quad (7)$$

$$\text{Red Agua Almacenada} = 1260 - 1050 = 210 \frac{\text{litros}}{\text{semana}} \quad (8)$$

De esta forma, cada semana hay un excedente de agua gris almacenada. Sin embargo, a partir de este cálculo, solo se contabilizó el uso del agua del inodoro y la ducha, pero no del grifo. El lavamanos también se puede implementar dentro del sistema, pero dado que el agua que se reciclará es gris, no sería higiénico ni se recomendaría utilizarla. No hay necesidad de arriesgar la salud humana sólo por ahorrar unos pocos litros de agua.

Por otro lado, aprovechando que el depósito de aguas grises se almacena y coloca debajo del lavabo, sería posible y fácil reutilizar el agua de los grifos. De nuevo, consideremos la misma familia mexicana en la que cada miembro de la familia usa el lavabo 6 veces al día. El uso promedio es de 1 minuto. El lavabo usa 4.5 litros por minuto, lpm.

Para una persona:

$$\left(4.5 \frac{\text{litros}}{\text{minutos}}\right) \left(1 \frac{\text{minuto}}{\text{uso}}\right) \left(6 \frac{\text{usos}}{\text{día}}\right) = 27 \frac{\text{litros}}{\text{día}} \quad (9)$$

$$\left(27 \frac{\text{litros}}{\text{día}}\right) \left(7 \frac{\text{días}}{\text{semana}}\right) = 189 \frac{\text{litros}}{\text{semana}} \quad (10)$$

Para la familia completa:

$$\left(189 \frac{\text{litros}}{\text{semana.persona}}\right) (5 \text{ personas}) = 945 \frac{\text{litros}}{\text{semana}} \quad (11)$$

Como se muestra arriba, la cantidad de agua utilizada en una regadera eficiente, que es de 1,260 litros/semana, es casi la misma que una grifería convencional, 945 litros/semana. Debido a esto, es necesario implementar sistemas eficientes en todas las áreas donde se usa agua. Es vital considerar la importancia de una malla dentro del depósito de aguas grises para evitar que ciertos residuos entren en las tuberías. Los sedimentos serán cabello y otras partículas grandes. De existir materiales pequeños y peligrosos dentro del agua gris, se recomendará no almacenar esa agua y en su lugar, redirigirla al sistema de alcantarillado [13].

Teniendo en cuenta el excedente de agua por semana, habrá un momento en que el depósito de aguas grises estará a su máxima capacidad. Habrá sensores de agua dentro del estanque que determinarán el volumen real de agua almacenada. Cuando el depósito de aguas grises alcance su capacidad máxima, se enviará una alerta al controlador. En este momento, el controlador bajo el sistema redirigirá el agua entrante al sistema de alcantarillado hasta que se libere el volumen del depósito. La lógica del depósito de agua gris funcionará como se muestra en la Fig. 2.

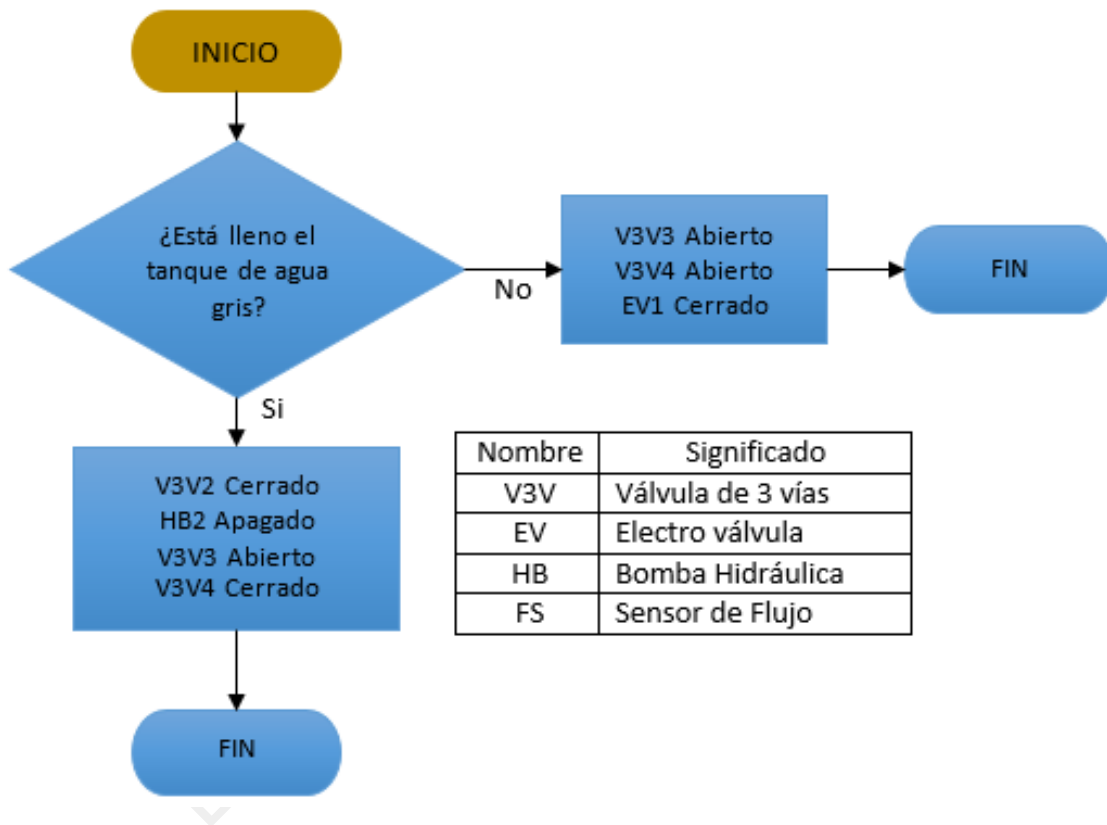


Fig. 2. Logística de la Reserva de Agua Gris. Nomenclatura para dispositivos usados descrita en la figura 3.

Continuando con el proceso, en caso de que no se detecte la presencia de una persona dentro de la ducha, aparecerá un nuevo cuadro de diálogo en la pantalla. Algunos de los datos que se mostrarán en el nuevo diálogo son:

1. *Tiempo pasado en la ducha.*
2. *Litros usados dentro de ese tiempo.*

3. *La cantidad de litros de agua ahorrada y almacenada en el depósito de aguas grises.*
4. *Gráficos que muestran el promedio global y el consumo del usuario en la ducha.*
5. *Gráficos del historial del usuario que muestran el tiempo y los litros gastados durante el día, la semana y el mes.*
6. *Una ventana que muestra el uso del agua y la cantidad de personas afectadas por la escasez de agua a las que se podrían ayudar ahorrando agua. Esta opción se implementó para crear conciencia ambiental de este precioso y vital recurso.*

En caso de corte de energía, las válvulas de tres vías utilizarán automáticamente sistemas mecánicos no electrónicos, para redirigir el agua al sistema de alcantarillado independientemente del estado contaminado o no contaminado del agua.

## 2.5. Diseño del prototipo

De acuerdo a la pauta explicada anteriormente en la figura 1 y 2, sobre cómo funcionará el sistema automatizado, el siguiente paso es mostrar al usuario cómo se conectará el sistema para permitir el ahorro de agua. El sistema hará uso de los dispositivos descritos en las figuras 1 y 2. En consecuencia dichos elementos ayudarán al sistema a operar. El sistema automatizado se implementará en el baño, la ducha y los grifos.

En la figura 3, se implementó un sistema SCADA para permitir que el sistema y el usuario conozcan el flujo de agua dentro de las tuberías. Dentro del SCADA, el sistema automatizado podrá activar o desactivar las válvulas de tres vías y otros sensores. La idea principal de implementar un sistema SCADA es permitir una administración sencilla del sistema al usuario final. Tener un sistema SCADA permitirá al usuario manipular las entradas y salidas de agua, la temperatura del agua, ver la capacidad de los depósitos de agua y, finalmente, detectar fallas en el sistema como fugas de agua que comparan la entrada y la salida de agua.

La Figura 3 representa una simulación del sistema en funcionamiento, como se muestra en la parte superior de la figura, el sistema está “ENCENDIDO” y se pueden ver sensores que miden el flujo y la temperatura del agua. Las válvulas de tres vías están redirigiendo el flujo de agua según el estado de activación “ON” / “OFF”.

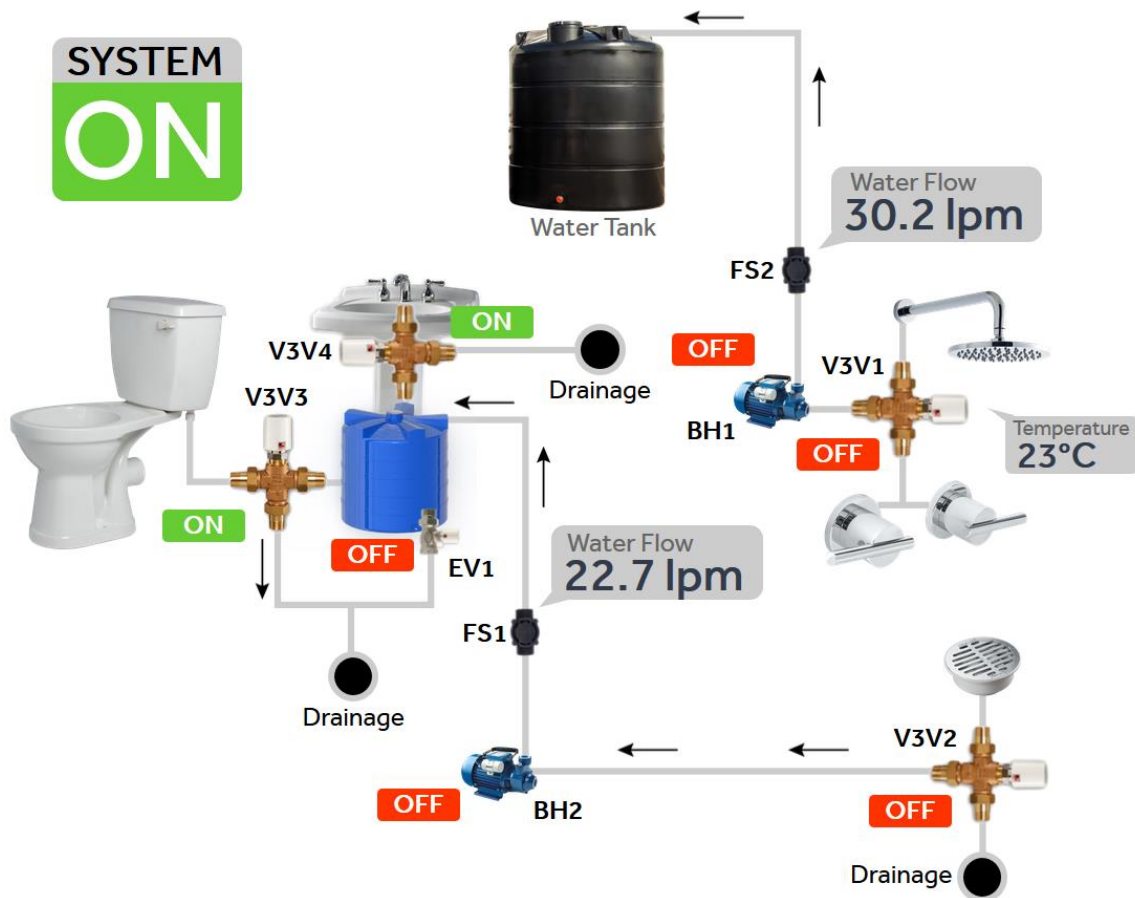


Fig. 3. Diseño del Prototipo

## 2.6. Resultados

Para los cálculos realizados aquí se tomaron tres dispositivos diferentes: una regadera, un grifo y un inodoro. Para cada uno, se encontraron diferentes modelos con bajo, mediano y alto consumo. Haciendo un total de 9 dispositivos para comparar y probar diferentes mezclas. La compañía de agua URREA fabricó todos los dispositivos. Los datos técnicos se muestran en las tablas 1, 2 y 3.

TABLA 1. Tipos de regadera.

Marca	URREA	URREA	URREA
Modelo	2212	2095B	3002B
Gasto			
Presión	Bajo	Mediano	Alto
0.2 (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.1 lpm	3 lpm	7.2 lpm
1 (Kg/cm <sup>2</sup> )	6.0 lpm	6.6 lpm	9.6 lpm
3 (Kg/cm <sup>2</sup> )	6.3lpm	11.0 lpm	21.0 lpm
6 (Kg/cm <sup>2</sup> )	6.8 lpm	15.0 lpm	29.1 lpm

TABLA 2. Tipos de grifos.

Marca	URREA	URREA	URREA
Modelo	9294EO	252	46
Gasto			
Presión	Bajo	Mediano	Alto
0.2 (Kg/cm <sup>2</sup> )	3.0 lpm	2.5 lpm	9.0 lpm
1 (Kg/cm <sup>2</sup> )	4.2 lpm	5.0 lpm	12.5 lpm
3 (Kg/cm <sup>2</sup> )	5.3 lpm	8.5 lpm	19.6 lpm
6 (Kg/cm <sup>2</sup> )	5.8 lpm	11.5 lpm	24.5 lpm

TABLA 3. Tipos de inodoros.

Bajo	Mediano	Alto
Gasto (lpd)		
4.8	9	13

Con los dispositivos descritos en las Tablas 1, 2 y 3, se hicieron múltiples combinaciones para asemejarse a la cantidad de agua gastada, por lo tanto, ahorros económicos. Todos los cálculos se realizaron para una sola persona y tomando diferentes presiones de agua dentro de las tuberías. Como se muestra en la figura 4, una persona que usa un sistema de riego con dispositivos de baja eficiencia a una presión de 6 Kg/cm<sup>2</sup>, consume hasta 336.1 litros/día mientras que una persona que usa un sistema de alta eficiencia consume 84.2 litros/día. En otras palabras, una persona que usa un sistema de baja eficiencia usará 4 veces un sistema de alta eficiencia. Debido a este consumo, se espera que el usuario con baja eficiencia pague más dinero por la factura del agua. Un ejemplo de tal situación se explicará a continuación.

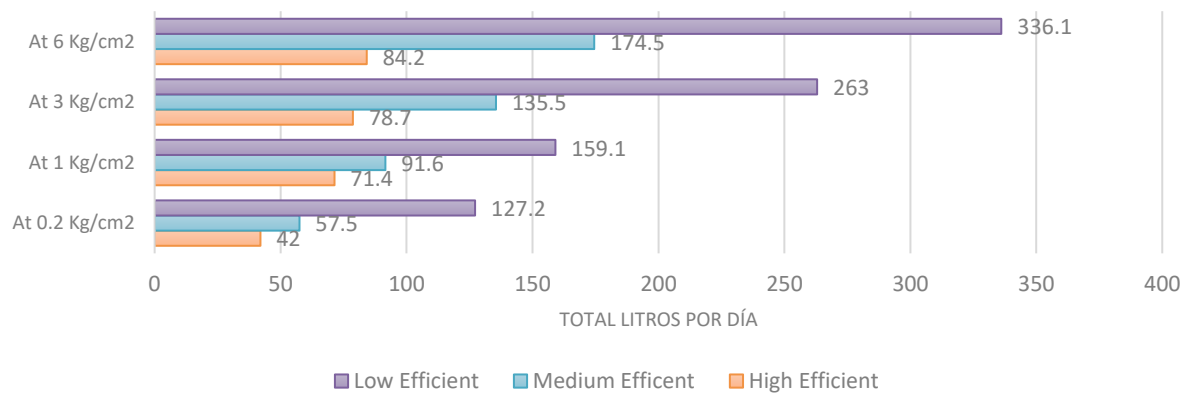


Fig. 4. Comparación de la eficiencia entre tecnologías, análisis por persona.

Para el ahorro económico, mencionemos un ejemplo. La comparación se realizará utilizando un sistema de alta, media y baja eficiencia dentro de una casa. Todos los cálculos se realizarán considerando una familia de cinco miembros y una presión de tubería de 3 kg / cm<sup>2</sup>. Consideremos 1,000 litros como un metro cúbico, y un volumen base mensual de 20 m<sup>3</sup>. Consideremos también los precios que se muestran en la Tabla 4 por metro cúbico de agua en dólares estadounidenses. La tasa de cambio de un dólar estadounidense será de 18.50 pesos mexicanos, actualizada por última vez el 28 de mayo de 2017.

TABLA 4. Tarifas del agua para uso doméstico Aguascalientes [14].

Volumen Mensual Base	Pago Mensual Base (USD)	Precio (USD/m <sup>3</sup> )	m3 Adicional (USD/m <sup>3</sup> )
10	11.3	1.1	0.5
15	13.8	0.9	0.5
20	16.3	0.8	1.7
30	32.8	1.1	2.9
50	90.6	1.8	5.7
75	307.2	4.1	10.3
100	565.1	5.7	5.7

Según la Tabla 4, esta familia pagará la cantidad de dinero que se muestra en la Tabla 5, que dependerá de los sistemas de ahorro de agua.

Como se muestra en la Tabla 5, una familia con dispositivos de baja eficiencia paga casi hasta 2.9x que una familia con dispositivos de alta eficiencia. La diferencia monetaria es de 30.8 USD. Por otro lado, la familia con dispositivos medianamente eficientes está casi en el límite donde hay necesidad de pagar metros cúbicos adicionales de agua. Como resultado se comprueba la necesidad de implementar sistemas de agua de bajo consumo.

TABLA 5. Pago final

<b>Volumen B=20 m<sup>3</sup></b>	<b>Pago Mensual Base (USD)</b>	<b>m<sup>3</sup> Adicional (USD/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo Mensual (m<sup>3</sup>)</b>	<b>m<sup>3</sup> Disponibles de Agua</b>	<b>m<sup>3</sup> Adicional (USD)</b>	<b>Total (USD)</b>
<b>Alta Ef.</b>	16.3	1.7	11.57	8.43	0	16.3
<b>Med. Ef.</b>	16.3	1.7	19.92	0.08	0	16.3
<b>Baja Ef.</b>	16.3	1.7	38.66	-18.66	30.8	47.1

## 2.7. Conclusiones

Aunque existen diferentes sistemas para generar un ahorro considerable en el consumo de agua, en la cultura de Aguascalientes no existe gran arraigo por el uso responsable de este recurso. No se crea conciencia sobre la importancia del consumo del agua en el hogar a pesar de que los mantos acuíferos están desapareciendo. El gobierno de Aguascalientes subsidia una parte del precio del agua, por lo que los usuarios no se dan cuenta del costo real. Debido a los precios bajos, las personas no se preocupan por el gasto de agua y, lo más importante, no se preocupan por ahorrarla [15].

Con este prototipo, se busca generar fuertes ahorros, como hemos observado a lo largo del artículo, para concientizar a la población sobre el consumo diario. Es por eso que en la pantalla vemos datos tan precisos, como el consumo y el ahorro, frases motivacionales como: “Con esta ducha has ahorrado “X” litros de agua” para tener un impacto social, por lo tanto lograr una cultura de ahorro y reutilización del agua en Aguascalientes que no sólo se base en la economía.

## 2.8. Referencias

- [1] United Nations, "Water for a sustainable world," The United Nations World Water Development Report 2015, Paris, France, 2015.
- [2] R. Enríquez Aranda, "Los orígenes de la ciudad de Aguascalientes," *Investigación y Ciencia*, vol. 12, no. 203, pp. 13-22.
- [3] R. Otto Granados, "Por qué no temerle a la privatización del agua," *nexos*, 17 Marzo 2015.
- [4] Gobierno de Aguascalientes, "Programa sectorial 2010-2016," Aguascalientes, Mexico, 2010.
- [5] Gobierno del Estado de Aguascalientes, "Programa estatal de población 2011-2016," Consejo Estatal de Población, Aguascalientes, Mexico, 2011.
- [6] Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO), "Regaderas," Revista del Consumidor, Mexico, 2004.
- [7] R. Das, S. Dutta, K. Samanta, A. Sarkar and D. Das, "Security based domotics," *Procedia Technology*, vol. 10, pp. 942-948, 2013.
- [8] Secretaría de Salud, "Infección por virus ZIKA en México," Mexico, 2016.
- [9] DGLogic, "Internet of Things," DSA Initiative, 2017. [Online]. Available: <http://iot-dsa.org/>. [Accessed 29 05 2017].
- [10] R. Shinnar and F. Citro, "Solar thermal energy: The forgotten energy source," *Technology in Society*, vol. 29, pp. 261-270, 2007.
- [11] R. A. Serway and J. W. Jewett, "Primera ley de la termodinámica," in *Física para ciencias e ingeniería*, Cengage Learnign, 2015, pp. 553-586.
- [12] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), "Estadísticas a propósito del día de la familia mexicana (5 de Marzo)," Aguascalientes, Mexico, 2017.
- [13] M. D'Ercole, M. Righetti, R. M. Ugarelli, L. Berardi and P. Bertola, "An integrated modeling approach to optimize the management of a water distribution system: improving the sustainability while dealing with water loss, energy consumption and environmental impacts," *Procedia Engineering*, vol. 162, pp. 433-440, 2016.
- [14] Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes (CCAPAMA), "Tarifa valor Junio de 2016," Aguascalientes, 2016.
- [15] Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), "México Mejores Políticas para un Desarrollo Incluyente," Paris, France, 2012.

### 3. Prueba de indexación



Scopus

Search Sources Lists

## Document details

< Back to results | < Previous 22 of 56 Next >

BibTeX export Download Print E-mail Save to PDF Save to list More... >

7th IMEKO TC19 Symposium on Environmental Instrumentation and Measurements, EnvIMEKO 2017  
 Volume 2017-August, 2017, Pages 56-61  
 7th IMEKO TC19 Symposium on Environmental Instrumentation and Measurements, EnvIMEKO 2017; Aguascalientes; Mexico;  
 3 August 2017 through 4 August 2017; Code 134086

### Prototype for water reuse in house showers: Savings and economics (Conference Paper)

Ramos-Mayol, Y. , Ruíz-Esparza, A. , Gutiérrez, S. , **Rodrigo, P.M.**

Save all to author list

Facultad de Ingeniería, Universidad Panamericana, Aguascalientes, Mexico

#### Abstract

View references (15)

The main purpose of this paper is to demonstrate the savings and economics of using an automated watering system within households. The paper will argue about a device capable of optimizing water consumption allowing water reuse. Device will be automated and will use an electric and mechanical system to redirect water to different reservoirs. System will make use of a wide diversity of sensors such as temperature, presence, and volume. Since project is being developed under Mexican investigators, this system is focused in Mexican values. Due to savings made on water bill it is expected to also have a monetary saving, making it a win-win to humans and the environment. It is important to resemble that all calculation within this article were made to solve the Mexican water scarcity problem, particularly in the City of Aguascalientes, but can also be replicated to any location. The city of Aguascalientes has water scarcity problems. Because of this an analysis was made in order to preserve this natural and vital resource as much as possible. © 2018 IMEKO-International Measurement Federation Secretariat. All rights reserved.

#### SciVal Topic Prominence

Topic: [Water](#) | [Water demand](#) | [Residential water](#)

Prominence percentile: 97.634

#### Author keywords

[Domotics](#) [Economics](#) [Optimization](#) [Savings](#) [Technological development](#) [Water](#) [Water consumption](#) [Water reduction](#) [Water sensors](#)

#### Indexed keywords

Engineering controlled terms: [Economics](#) [Optimization](#) [Reservoirs \(water\)](#) [Wastewater reclamation](#) [Water](#) [Water supply](#)

Engineering uncontrolled terms: [Domotics](#) [Savings](#) [Technological development](#) [Water consumption](#) [Water reduction](#) [Water sensors](#)

Engineering main heading: [Water conservation](#)

ISBN: 978-151085122-1

Source Type: Conference Proceeding

Original language: English

Document Type: Conference Paper

Sponsors:

Publisher: IMEKO-International Measurement Federation Secretariat

#### 4. Artículo publicado

Biblioteca Aguascalientes

# Prototype for Water Reuse in House Showers: Savings and Economics

Yamil Ramos-Mayol, Aldo Ruíz-Esparza, Sebastián Gutiérrez, Pedro M. Rodrigo

Universidad Panamericana

Facultad de Ingeniería

Aguascalientes, México

0700960@up.edu.mx, 0165179@up.edu.mx, jsgutierrez@up.edu.mx, prodrigo@up.edu.mx

*Abstract*—The main purpose of this paper is to demonstrate the savings and economics of using an automated watering system within households. The paper will argue about a device capable of optimizing water consumption allowing water reuse. Device will be automated and will use an electric and mechanical system to redirect water to different reservoirs. System will make use of a wide diversity of sensors such as temperature, presence, and volume. Since project is being developed under Mexican investigators, this system is focused in Mexican values. Due to savings made on water bill it is expected to also have a monetary saving, making it a win-win to humans and the environment. It is important to resemble that all calculation within this article were made to solve the Mexican water scarcity problem, particularly in the City of Aguascalientes, but can also be replicated to any location. The city of Aguascalientes has water scarcity problems. Because of this an analysis was made in order to preserve this natural and vital resource as much as possible.

*Keywords*—domotics, economics, optimization, savings, technological development, water, water consumption, water reduction, water sensors.

## I. Introduction

As far as is known water is vital for human and civilization development. Water has been fundamental from ancient times until nowadays. Water use has gone from basic activities such as human consumption and irrigation to industrial activities such as clothing dyeing, and various industrial processes. Water is one of Earth's most valuable resources. Earth's surface is covered by up to 70% of water. From that percentage, only 3% is potable and suitable for human consumption. Such 3% of potable water can be found in rivers, lakes, underground aquifers, and finally glaciers [1].

The following study and project was developed and though for the City of Aguascalientes, which literally might translate to hot springs, located in the geographical centre of Mexico [2]. By 1970, in order to find underground aquifers, it was needed to excavate up to 33 metres and by 2005, excavations grew in depth up to 145 metres [3]. That makes 4.39 times what it was excavated back in 1970. During this time, Aguascalientes' aquifers have suffered due to the increase of population and

industrial activities within the State. Both population and industrial growth have grown exponentially [4]. In 1970, there were 338,100 inhabitants in the city; by 2015, there were 1,312,500 inhabitants. That means in a 45-year period there was a population growth of almost a million people, 974,000 inhabitants exactly [5].

## II. Related Work

In Aguascalientes, the problem of water scarcity is a sensitive issue. At a preoccupant rate aquifers are being emptied, recovering water is very expensive and takes a long of time to recover to its natural state. In addition to this problem water savings, water reduction and water reuse is a major problem.

Aguascalientes' municipality has launched several social programmes in an attempt to save water and promote its low consumption. Despite these attempts, there are not many people who get involved with them. On the other hand, existing water saving devices are expensive and not many households are capable of affording such devices.

According to recent studies in this field, the way most water is wasted is while bathing or showering. According to Mexico's National Water Commission, CONAGUA for its acronym in Spanish, the time when most water in Mexican society is wasted is during bath time. According to this State dependency, an average shower of 5 minutes is equivalent to 50 litres of water, or 13.21 gallons of water [6].

Due to this excess of wastewater, it is relevant to develop and implement new affordable technologies that might be able to save water and be environmentally responsible. In order to achieve the development of such device it is necessary to implement new technologies such as domotics.

Domotics is defined as the automation of homes. Such automation can go from the lights, HVAC systems (Heat, Venting and Air Conditioning), UPS systems (Uninterrupted Power Systems), and Security Systems, etc. It is necessary to say domotics is related to inmotics, the main difference is that the last one is the term used for building automation [7].

As told before domotics addresses home problems by using automation processes, but truth be told some automation devices are expensive, so there is a need to develop cheaper technologies and components in order to reach more homes and take advantage of its benefits. There is an opportunity

niche to develop low cost domestic applications with easy installation. However, not only installation but also operation and management will be easy to all age people.

Due to the need of water conservation, it is necessary to address the issue of water saving in households, not only in Aguascalientes but also in areas where water supply is scarce with the use of a device, which uses domotics in order to operate autonomously and accordingly.

### III. System Operation

Taking the current problem that preoccupies different governments such as Aguascalientes Government in its scarcity of water and lack of awareness and education on water savings as reference, it is tried to design and implement a low cost prototype in use of automation to recover water from households. This prototype will consist in creating a system that detects when watering can key is opened, passing the water through a pipe which will lead water to different reservoirs where water will be stored.

The idea of this device is to rescue and store non-polluted and grey water with an automated prototype. Grey water is the term used for water, which is not highly contaminated. Such prototype will be able to detect temperature and when shower water is open. Until water reaches a desired temperature, according to user's set off, water will be sent through an alternate pipe to a non-polluted water reservoir until it reaches the desired temperature. This non-polluted water reservoir will be a water tank, which is commonly placed on a house rooftop.

In this first water reservoir water will be collected for future reuse. The entire operation will be fully automated without user intervention. On the other hand, grey water will be stored in a different water reservoir.

When water reaches user's set temperature, user will be notified with an alarm letting user know water is ready to take a shower or bath. After alarm activates, it is expected that user will go inside the shower, so a presence sensor is turned on in order to see if user has gone inside shower.

When sensor detects a person inside the shower, an alternate pipe will redirect water to a grey water reservoir. It is necessary to separate non-polluted water from grey water because of chemicals used in bath products. The water stored in the grey water reservoir will be later used in bathroom flushes. Thus creating a wastewater recycling, at a point where the consumption of this vital liquid also presents great consumptions.

This prototype aims to develop from low cost sensors and a simple installation without compromising quality due to its lower costs. By saving and reusing water will be beneficial in order to recover the initial investment.

The amount of water to be stored in these two water reservoirs will depend in two factors. First factor will depend on temperature. For example, if water temperature is set to a desired temperature value of 30 °C but the water is 15 °C more water will be stored in the non-polluted water than if water was 20 °C. This will happen due to energy required to raise water temperature from an initial temperature to a final temperature,

other factors to count will be ambient temperature, and air pressure.

Second factor will be dependent on time wasted by every single user in the shower or how much amount of water a single user uses to bath. Because of the nature of this issue, it is necessary to determine the amount of time wasted inside the shower, the amount of water or a combination of both the water flow in a period of time in litres per second. Having the previous data will allow to calculate the volume of the grey water reservoir.

On the other hand, the grey water reservoir will be calculated based on average consumptions. Due to this, it is necessary to implement security measures. Such measures include the water flow going in and out from this water reservoir.

In order to determine the amount of water going out of this reservoir it must be known the times bathroom are being flushed on a single day on how many litres of water is disposed on a single flush independent on what is being thrown away, urine or muck.

In the case grey water reservoir is up to its capacity, an internal alarm will be activated. At this point, the system will detect the grey water reservoir capacity and if there is water coming from the shower.

For safety and sanitary reasons, it is necessary to install in both reservoirs the water outlet at the bottom of such water reservoirs. The main reason of this action is to avoid stagnation, which might cause several diseases or attract different bugs such as mosquitoes, which are carriers of different viruses such as Zika, among others [8]. The main purpose of this prototype apart from reusing water is to create an awareness culture in population to save water not only in Aguascalientes but also worldwide or where water is fundamental to human development.

### IV. Philosophy Control

As told before the system will be an automated prototype. System will have a simple SCADA, which means Supervisory Control and Data Acquisition, in order to allow the user and system communicate easily. SCADA is developed under a DGLUX5® environment for its simplicity, easy communication with peripherals, and wide comprehensive management. Such programme will work according to the logic written below. DGLUX5® is a software based on HTML5 and Drag & Drop management which enables individuals or workgroups to design real-time, data-driven applications without the need of typing a single code line. DGLUX5® allows real time communication, which reduces time and money in project design [9].

In figure 1 (whose nomenclature is described in figure 3) automated system logic is shown and will be explained in the next paragraphs. System will begin asking the user "Would you like to start saving water?" To this question, there are two possible options: "Yes" or "No". Depending on what the user choose the system will activate different tasks.

If the chosen option was “No” system will activate a three-way valve redirecting the total amount of water to sewer system. Even non-polluted water will be redirected to sewer system. If the chosen option was “Yes” the system will work as follows. After the user has answered “Yes” another dialog prompt will be displayed asking for set point temperature in which water is desired in order to take a shower or bath. Water will start to heat up.

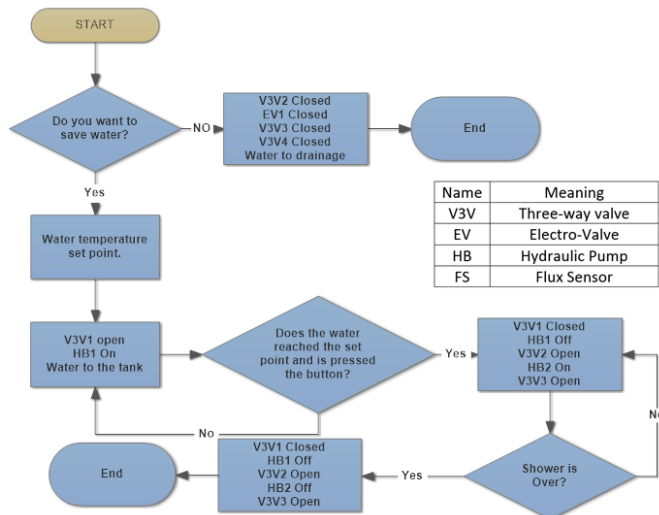


Fig. 1. Automated System Logic. Nomenclature for devices being used is described in figure 3.

Heating process can be in different manners. Water can be heated using conventional boiler based on natural or LP gas or on renewable energies such as Solar Thermal technology. Being Solar Thermal technology the eco-friendliest technology to heat up water [10].

System will be independent on how water is heated, but will be able to send an alert to conventional or electronic systems to start heating water. Alert will not be compatible with Solar Thermal since there is no spark or combustion taking place in this heating process.

Once temperature has been set, the system will use a temperature sensor near the watering can. This temperature sensor will determine if water has reached the desired user’s temperature. If water has not reached the desired temperature, water will be redirected using a three-way valve and a small pump to the non-polluted water reservoir commonly located on a house rooftop. In terms of net energy, the amount of water that did not reach the desired temperature apart from being deposited on the non-polluted water reservoir will transfer heat energy to the water stored there in other words water will heat up indirectly.

Water being heated indirectly will be an energy save for future baths or showers since heating systems will need to increase the differential of heat lower than initially expected. For example, let’s consider two different masses of water being mixed together into a uniform mix. First mass will be 100 grams of water at 25°C, second mass will be 75 grams of water at 40 °C. Specific heat for water is  $C_p=1 \text{ cal / g}^\circ\text{C}$ . Applying

thermodynamic laws we know the basis of thermal equilibrium [11] where  $Q_1=mC_p(T_f-T_i)$  and  $Q_2= mC_p(T_f-T_i)$  and  $Q_1=Q_2$ . Applying those formulae, we get the final temperature of mixture, which will be  $T_f = 31.43^\circ\text{C}$ .

As shown above, just from redirecting heated water to the non-polluted water reservoir, water temperature will be raised in small quantities up to 6 °C, in large quantities of water it is expected to raise water temperature up to 2.2% of its original temperature. Calculations were made considering 1,000 Kg of water at 22 °C mixed with 50 Kg at 32 °C. This calculation is dependent on amount of water mass being mixed and the temperature of both fluids. This raise in water’s temperature will originate a small saving in electric energy and fossil fuels if boiler is fuelled by conventional sources.

Once water has been heated up, a light will indicate user temperature has been reached. This light will indicate the user when to enter the shower area. In order to allow water coming out from the watering can, user will push a button. This will allow system to save more water. In order to let water outlet, two conditions must be accomplished: 1.- Water has reached desired temperature. 2.- User is inside the shower area and ready to take a shower or bath. Until both conditions are accomplished, system will continue redirecting water to the non-polluted water reservoir independent of its temperature.

In the prototype to detect when water flow is needed in the shower, there are two possible options, using a push button to indicate system user’s presence or use a presence sensor. Presence sensor will be more helpful in order to point system when to stop a water flow. On the other hand, push button will be needed to be pressed again to stop water flow from watering can. Once both conditions are met, water temperature and user presence, water will start to flow. At this point system will redirect water flow to a grey water reservoir –using the three-way valve-. This grey water reservoir will be located under the sink or in other sites depending on available space within the bathroom area. It is important to measure the flux of water either in litres or in kilogram per second in order to determine the minimum volume required for this water reservoir. For example, let’s consider an average shower of 6 minutes long. Efficient watering can flow is considered at 6 litres per minute. Conventional watering cans spend from 15 to 25 litres per minute. An average Mexican family is composed of 5 members [12]. Every family member showers daily in a week. The following calculations are necessary in order to determine total water waste.

$$\text{For a single person:} \quad \left(6 \frac{\text{litres}}{\text{minute}}\right) \left(6 \frac{\text{minutes}}{\text{day}}\right) = 36 \frac{\text{litres}}{\text{day}} \quad (1)$$

$$\left(36 \frac{\text{litres}}{\text{day}}\right) \left(7 \frac{\text{days}}{\text{week}}\right) = 252 \frac{\text{litres}}{\text{week}} \quad (2)$$

$$\text{For the whole family:} \quad \left(252 \frac{\text{litres}}{\text{week, person}}\right) (5 \text{ person}) = 1260 \frac{\text{litres}}{\text{week}} \quad (3)$$

By the calculations made above it is possible to determine the volume of the grey water reservoir for a single bathroom, in this case 1.26 cubic metres ideally. It’s an ideal calculation

since watering can is water efficient but not most houses have this technology. It is important to resemble this calculation has only considered the water inlet but not the outlet. On the other hand, let's assume the same Mexican family. A toilet that uses up to 10 lpf, litres per flush, and also an efficient toilet uses up to 4 lpf, not available in most houses. Finally, let's assume every single member of the family uses the toilet 3 times a day.

For a single person:

$$\left(10 \frac{\text{litres}}{\text{flush}}\right) \left(3 \frac{\text{flushes}}{\text{day}}\right) = 30 \frac{\text{litres}}{\text{day}} \quad (4)$$

$$\left(30 \frac{\text{litres}}{\text{day}}\right) \left(7 \frac{\text{days}}{\text{week}}\right) = 210 \frac{\text{litres}}{\text{week}} \quad (5)$$

For the whole family

$$\left(210 \frac{\text{litres}}{\text{week, person}}\right) (5 \text{ person}) = 1050 \frac{\text{litres}}{\text{week}} \quad (6)$$

By the calculation made above it was determined the water outlet from the grey water reservoir. Final calculation is to consider net balance from the water inlet and water outlet. Total water expense was 1,260 litres per week used in shower and stored in the grey water reservoir. Total water reuse was 1,050 litres per week.

$$\text{Net Water Stored} = \text{Water Inlet} - \text{Water Outlet} \quad (7)$$

$$\text{Net Water Stored} = 1260 - 1050 = 210 \frac{\text{litres}}{\text{week}} \quad (8)$$

By that means, every single week there is a surplus of grey water stored. However, out this calculation it was only counted water use from toilet and shower, but not the faucet. Faucet can also be implemented within the system, but since water to be used is grey water it will not be hygienic or sanitary recommended. There is no need to risk human health just for saving a few litres of water.

On the other hand, taking advantage of the grey water reservoir being stored / placed under the sink it will be possible and easy to reuse water from faucets. Again, let's consider the same Mexican family in which every family member uses the faucet 6 times per day. Average use of faucet is 1 minute. Faucet uses 4.5 litres per minute, lpm.

For a single person

$$\left(4.5 \frac{\text{litres}}{\text{minute}}\right) \left(1 \frac{\text{min}}{\text{use}}\right) \left(6 \frac{\text{use}}{\text{day}}\right) = 27 \frac{\text{litres}}{\text{day}} \quad (9)$$

$$\left(27 \frac{\text{litres}}{\text{day}}\right) \left(7 \frac{\text{days}}{\text{week}}\right) = 189 \frac{\text{litres}}{\text{week}} \quad (10)$$

For the whole family

$$\left(189 \frac{\text{litres}}{\text{week, person}}\right) (5 \text{ person}) = 945 \frac{\text{litres}}{\text{week}} \quad (11)$$

As shown above quantity of water used in an efficient watering can, which is 1,260 litres/week, is almost the same as a conventional faucet, 945 litres/week. Because of this, it is necessary to implement efficient systems in all areas where water is used.

It is vital to resemble the importance of a mesh within the grey water reservoir in order to prevent particles from getting into the pipes. Particles to be meshed will be hair and large

particles. If there are small and dangerous particles within the grey water it will be recommended not to store that water instead, redirect that water to the sewer system [13].

Considering the water surplus per week there will be a moment where grey water reservoir is to its full capacity. There will be water sensors within the reservoir determining the actual volume of water stored. When grey water reservoir has reached its full capacity, an alert will be sent to the controller. At this moment controller under the system will redirect incoming water to the sewer system until volume from the reservoir is freed. Grey water reservoir logic will work as shown in Fig. 2.

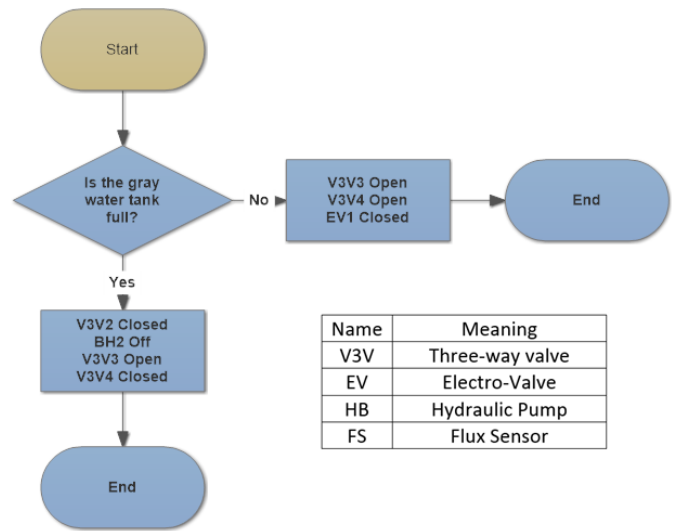


Fig. 2. Grey Water Reservoir Logic. Nomenclature for devices being used is described in figure 3.

Continuing with the process, after there is no presence of a person within the shower a new dialog will appear in screen. Some of the data to be shown in the new dialog is:

1. Time spent on shower.
2. Litres used within such time.
3. The amount of litres of water saved and stored in the grey water reservoir.
4. Graphics showing global average and user's consumption in shower.
5. History graphics of the user showing time and litres spent during the day, week, and month.
6. A window showing water use and how much people in need for water scarcity you could be helping by saving water. This option was implemented to create environmental conscience of this precious and vital resource.

In case of power cut, three way valves will automatically use mechanical systems not electronic, to redirect water to sewer system independent of water's polluted or non-polluted state.

### V. Prototype Design

According to the guidelines explained before in figure 1 and 2, about how automated system will work, the next step is to show user how system will be connected in order to allow water savings. System will make use of devices described in figures 1 and 2. Such devices will help system operate accordingly. Automated system will be implemented in toilet, shower and faucets in bathroom.

In figure 3, a SCADA system was implemented in order to allow system and user knowing the water flow within pipes. Within the SCADA, the automated system will be able to activate or deactivate three-way valves and other sensors. The main idea of implementing an SCADA system is to allow final user and easy management of system. Having a SCADA system will allow user manipulate inlets and outlets of water, water temperature, see water reservoirs capacity, and finally detect system failures such as water leaks comparing water inlet and outlet.

Figure 3 represents a simulation of the system under function, as shown above system is "ON" and it can be seen sensors measuring water flow and temperature. Three-way valves are redirecting the water flow according to state either of activation "ON" or "OFF".

### VI. Results

For the calculations made in here there were taken three different devices: a watering can, a faucet, and a toilet. For each device, it was found low, medium and high consumption devices. Making it a total of 9 devices to compare and try different mixes. The URREA water company manufactured all devices. Technical data are shown in Tables 1, 2, and 3.

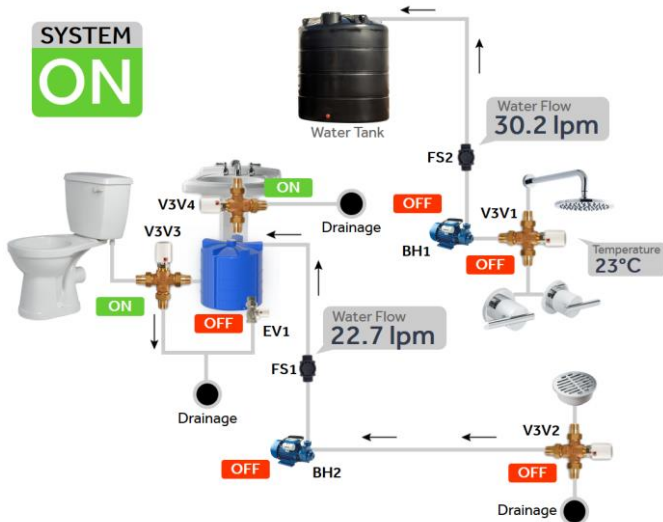


Fig. 3. Prototype Design.

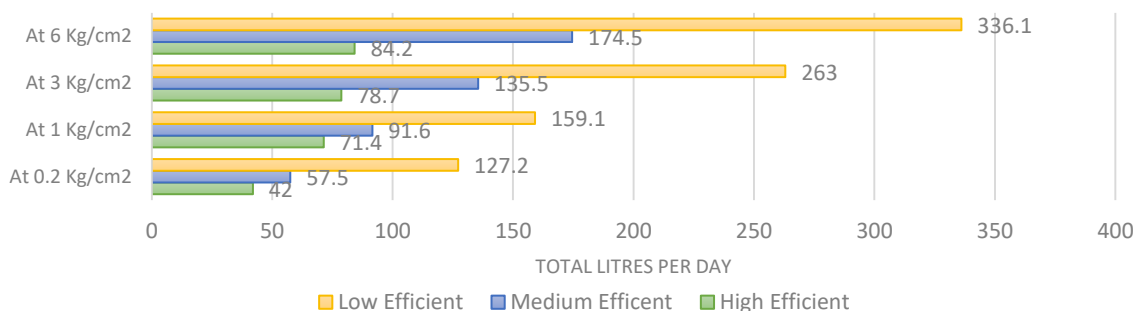


Fig. 4. Comparison between technologies per single person.

TABLE 1. Types of watering cans.

Brand	URREA	URREA	URREA
Model	2212	2095B	3002B
Spending			
Pressure	Low	Medium	High
0.2 (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.1 lpm	3 lpm	7.2 lpm
1 (Kg/cm <sup>2</sup> )	6.0 lpm	6.6 lpm	9.6 lpm
3 (Kg/cm <sup>2</sup> )	6.3 lpm	11.0 lpm	21.0 lpm
6 (Kg/cm <sup>2</sup> )	6.8 lpm	15.0 lpm	29.1 lpm

TABLE 2. Types of faucets.

Brand	URREA	URREA	URREA
Model	9294EO	252	46
Spending			
Pressure	Low	Medium	High
0.2 (Kg/cm <sup>2</sup> )	3.0 lpm	2.5 lpm	9.0 lpm
1 (Kg/cm <sup>2</sup> )	4.2 lpm	5.0 lpm	12.5 lpm
3 (Kg/cm <sup>2</sup> )	5.3 lpm	8.5 lpm	19.6 lpm
6 (Kg/cm <sup>2</sup> )	5.8 lpm	11.5 lpm	24.5 lpm

TABLE 3. Types of toilets.

	Low	Medium	High
Spending (lpf)			
	4.8	9	13

With devices been described on Tables 1, 2, and 3, multiple combinations were made in order to resemble the amount of water spent, therefore economic savings. All calculations were made for a single person at different water pressures inside pipes.

As shown in figure 4, a person using watering system with low efficient devices at a pressure of 6 Kg/cm<sup>2</sup>, consumes up to 336.1 litres/day while a person using a high efficient system consumes 84.2 litres/day. In other words, a person using a low efficient system will use as much as 4 times a high efficient system. Due this consumption, it is expected for the low efficient user to pay more money for water bill. An example of such situation will be explained below.

For economic savings, let's make an example. Comparison will be made using a high, medium and low efficient system within a house. All calculations will be made considering a five-member family and a pipe pressure of 3 kg/cm<sup>2</sup>. Let's consider 1,000 litres as a cubic metre, and a monthly base volume of 20 m<sup>3</sup>.

Let's also consider the prices shown in Table 4 per cubic metre of water in American dollars. The exchange rate for an American dollar will be 18.50 Mexican pesos, last updated on May 28<sup>th</sup>, 2017.

According to Table 4 this family will be paying the amount of money shown in Table 5, which will be dependent on water saving systems.

TABLE 4. Aguascalientes' domestic water tariffs [14].

Monthly Base Volume	Monthly Base Payment (USD)	Price (USD/m3)	Additional m3 (USD/m3)
10	11.3	1.1	0.5
15	13.8	0.9	0.5
20	16.3	0.8	1.7
30	32.8	1.1	2.9
50	90.6	1.8	5.7
75	307.2	4.1	10.3
100	565.1	5.7	5.7

TABLE 5. Final payment.

Base Volume = 20 m3	Monthly Base Pay (USD)	Additional m3 (USD/m3)	Monthly Consumption (m3)	Available m3 of Water	Additional m3 (USD)	Total Payment (USD)
High Eff.	16.3	1.7	11.57	8.43	0	16.3
Med. Eff.	16.3	1.7	19.92	0.08	0	16.3
Low Eff.	16.3	1.7	38.66	-18.66	30.8	47.1

As shown in Table 5, a family with low efficient devices pays almost up to 2.9x what a family with high efficient devices. The monetary difference is 30.8 USD. On the other hand, the family with medium efficient devices is almost to limit where there is need to pay additional cubic metres of water hence the need of low consumption water systems.

## VII. Conclusions

Although different systems exist to generate a considerable saving in water consumption, the culture in Aguascalientes does not teach this value. Even less to realize the importance of consumption in home in spite of the fact that aquifers are disappearing. The Aguascalientes' government subsidizes a part of water price, so users do not realize the real cost. Because of cheap prices, people do not worry about their water consumption, and most important do not worry about saving water [15].

With this prototype, it is sought to generate strong savings, as we have observed throughout the article, to raise awareness of people in daily consumption. That is why on the screen we see so much accurate data, such as consumption and savings, as well as motivational phrases such as "With this shower you've saved 'X' litres of water" in order to have a social impact, thus achieving a saving and water reuse culture in Aguascalientes that is not only based on economics.

## VIII. References

[1] United Nations, "Water for a sustainable world," The United Nations World Water Development Report 2015, Paris, France, 2015.  
 [2] R. Enríquez Aranda, "Los orígenes de la ciudad de Aguascalientes," *Investigación y Ciencia*, vol. 12, no. 203, pp. 13-22.  
 [3] R. Otto Granados, "Por qué no temerle a la privatización del agua," *nexos*, 17 Marzo 2015.

[4] Gobierno de Aguascalientes, "Programa sectorial 2010-2016," Aguascalientes, Mexico, 2010.  
 [5] Gobierno del Estado de Aguascalientes, "Programa estatal de población 2011-2016," Consejo Estatal de Población, Aguascalientes, Mexico, 2011.  
 [6] Procuraduría Federal del Consumidor (PROFECO), "Regaderas," *Revista del Consumidor*, Mexico, 2004.  
 [7] R. Das, S. Dutta, K. Samanta, A. Sarkar and D. Das, "Security based domotics," *Procedia Technology*, vol. 10, pp. 942-948, 2013.  
 [8] Secretaría de Salud, "Infección por virus ZIKA en México," Mexico, 2016.  
 [9] DGLogic, "Internet of Things," DSA Initiative, 2017. [Online]. Available: <http://iot-dsa.org/>. [Accessed 29 05 2017].  
 [10] R. Shinnar and F. Citro, "Solar thermal energy: The forgotten energy source," *Technology in Society*, vol. 29, pp. 261-270, 2007.  
 [11] R. A. Serway and J. W. Jewett, "Primera ley de la termodinámica," in *Física para ciencias e ingeniería*, Cengage Learnign, 2015, pp. 553-586.  
 [12] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), "Estadísticas a propósito del día de la familia mexicana (5 de Marzo)," Aguascalientes, Mexico, 2017.  
 [13] M. D'Ercole, M. Righetti, R. M. Ugarelli, L. Berardi and P. Bertola, "An integrated modeling approach to optimize the management of a water distribution system: improving the sustainability while dealing with water loss, energy consumption and environmental impacts," *Procedia Engineering*, vol. 162, pp. 433-440, 2016.  
 [14] Comisión Ciudadana de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Aguascalientes (CCAPAMA), "Tarifa valor Junio de 2016," Aguascalientes, 2016.  
 [15] Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), "México Mejores Políticas para un Desarrollo Incluyente," Paris, France, 2012.