

DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES EN
VIVIENDAS

HAROLD ANDRES HERRERA NOVOA CÓD: 507263
PAULA ANDREA GARCÍA RODRIGUEZ CÓD: 507241

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2021

DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES EN
VIVIENDAS

HAROLD ANDRES HERRERA NOVOA CÓD: 507263
PAULA ANDREA GARCÍA RODRIGUEZ CÓD: 507241

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Ing. CAMILA JARAMILLO MONROY
Directora sugerida

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ
2021

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the license. [Advertencia.](#)

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material

La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la [misma licencia](#) del original.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia](#).

Nota de aceptación

Firma del presidente jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá, Junio de 2021

Tabla de contenido

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| 2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 8 |
| 3. ANTECEDENTES..... | 9 |
| 4. JUSTIFICACIÓN | 12 |
| 5. OBJETIVOS | 13 |
| a. OBJETIVO GENERAL | 13 |
| b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 13 |
| 6. MARCO TEORICO | 14 |
| 7. ESTADO DEL ARTE | 18 |
| 8. METODOLOGÍA..... | 30 |
| a. REVISIÓN ESTADO DE ARTE | 30 |
| b. DISEÑO DEL PROTOTIPO..... | 30 |
| c. CÁLCULOS..... | 31 |
| d. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 31 |
| 9. ALCANCES Y LIMITACIONES | 32 |
| 10. DISEÑO DEL PROTOTIPO..... | 33 |
| 11. CÁLCULOS..... | 34 |
| 12. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 43 |
| a. ANÁLISIS DE CÁLCULOS..... | 43 |
| b. ANÁLISIS DE AHORRO | 44 |
| c. ANÁLISIS DEL COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA | 49 |
| 13. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES | 50 |
| 14. PRODUCTOS A ENTREGAR | 51 |
| 15. PRESUPUESTO | 52 |
| 16. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 53 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Escasez de agua a nivel mundial | 9 |
| Figura 2. Sistema para aprovechar el agua de la ducha..... | 20 |
| Figura 3. Washup. Lavadora-inodoro. | 21 |
| Figura 4. Sistema de reutilización del agua de la lavadora | 22 |
| Figura 5. Prototipo de distribución de aguas lluvias | 23 |
| Figura 6. Sistema que regenera el agua gris..... | 27 |
| Figura 7. Sistema de purificación de aguas..... | 28 |
| Figura 8. Diseño del prototipo | 33 |
| Figura 9. Dimensiones del diseño. | 39 |
| Figura 10. Procedimiento para la función "buscar objetivo" | 41 |
| Figura 11. Factura de agua y alcantarillado por dos meses..... | 45 |
| Figura 12. Descripción de los costos de la factura Acueducto y Alcantarillado..... | 45 |
| Figura 13. Valor aseo | 46 |
| Figura 14. Valor alivio COVID | 47 |
| Figura 15. Cronograma | 50 |

Lista de tablas

Tabla 1. Datos de entrada..... 40

Tabla 2. Iteración 1 40

Tabla 3. Iteraciones 42

Tabla 4. Relación consumos y costos 47

Tabla 5. Análisis de costo 49

Tabla 6. Presupuesto 52

DISEÑO DE UN PROTOTIPO PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS

GRISES

ALTERNATIVA

Teniendo en cuenta el Acuerdo 265, artículo 4 del año 2018 de las normativas de la Universidad Católica de Colombia donde se considera las diferentes alternativas de trabajo de grado en los programas de pregrado, se elige la alternativa de trabajo de investigación.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación del proyecto es la gestión y tecnología para la sustentabilidad de las comunidades.

EJE TEMÁTICO

El trabajo de investigación tiene como eje central el saneamiento, teniendo en cuenta que en el trabajo se busca la reutilización de aguas grises provenientes de la ducha por medio de un diseño de un prototipo que permita transportar el agua al tanque del inodoro para su posterior descarga.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es el elemento fundamental para la vida de los seres humanos pues es de suma importancia su consumo y el desarrollo de actividades diarias. Sin embargo, la población aumenta significativamente afectando la disponibilidad del recurso. Según la Unesco, éste crecimiento se da a un ritmo de 80 millones de personas por año, lo que supone una mayor demanda del consumo de agua. Para el 2030 se espera que el 47% de la población mundial vivirá en estrés hídrico¹.

En promedio, una persona consume aproximadamente 180 litros de agua al día. Los cuales son usados en actividades como la ducha (6 minutos con el grifo abierto, equivalente a 72 litros), el servicio de sanitario (3 descargas, equivalente a 30 litros), el lavado de manos y los dientes (5 minutos con el grifo abierto, equivalente a 24 litros), el lavado de los utensilios de cocina, ropa y preparación de alimentos (equivalente a 40 litros), y limpieza, riego y lavado de auto, equivalente aproximadamente a 6 litros².

Según datos del grupo Geberit³, se presume que en los hogares 33 litros de agua potable se descargan por los sistemas de los inodoros. Asimismo, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística, el consumo medio de agua de los hogares es de 132 litros de agua por persona al día, del cual el 70% se emplea en los cuartos de baño, y principalmente por el uso del inodoro. De acuerdo con lo anterior, el lugar de las viviendas en donde más agua se consume es en el baño y en el inodoro.

¹ **UNESCO.** *unesco.org. UNESCO.* [En línea] 2017. <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact1-demographics-consumption/>.

² **AYA.** Consumo de agua en una vivienda. [En línea] 2010.

³ **Canales Sectoriales.** *CANALES SECTORIALES.* [En línea] 25 de 02 de 2019. [Citado el: 14 de 10 de 2020.] <https://www.interempresas.net/Sanitarios/Articulos/234589-El-27-por-ciento-del-agua-potable-que-se-usa-diariamente-se-va-por-el-inodoro.html>.

Los sanitarios convencionales y antiguos generan un gasto de más del doble que los actuales. Hoy en día, existen sanitarios ahorradores que tienen dos opciones de descarga, las cuales cumplen la función de evacuar desechos líquidos o desechos sólidos. En este sentido, mientras que los convencionales consumen 6 litros de agua, los ahorradores consumen en promedio 4.8 litros⁴.

El recurso hídrico también es fundamental para la actividad de varios sectores de la economía, no obstante, el agua es repartida de manera desigual debido a los diferentes procesos del ciclo hidrológico. “El agua es un recurso renovable pero finito. Se calcula que al año se evaporan aproximadamente 505.000 km³ de agua de los océanos. Sin embargo, la mayor parte se precipita nuevamente sobre los mismos océanos, no pudiendo ser utilizada como recurso de agua dulce”⁵.

Se estima que el volumen total de agua contenido en la hidrósfera es de 1.386 millones de km³. De este volumen, 97.5% se encuentra en los océanos como agua salada y el 2.5% restante como agua dulce. De este último porcentaje el 69% se encuentra en forma sólida en los glaciares y el 30% como agua subterránea, quedando solamente el 1% en los ríos y cuerpos de agua⁶.

De acuerdo con lo anterior, el agua potable para el consumo humano representa menos del 1%, el recurso hídrico es muy escaso, ya que gran parte del agua dulce se encuentra en glaciares y acuíferos que no son de fácil acceso. Se espera que para el año 2025 más de dos terceras partes de la humanidad sufrirá estrés por la falta de este líquido”⁷.

⁴ **The Earth Works Group.** 50 *Cosas sencillas que tú puedes hacer para salvar la tierra.* España : BLUME, 2006.

⁵ **CIRELLI, Alicia Fernández.** *El agua: un recurso esencial.* 11 de diciembre de 2012, QuímicaViva, pág. 148.

⁶ **Martha, GARCIA, SANCHEZ, Felix y MARIN, Rodrigo.** *El medio ambiente en Colombia . El medio ambiente en Colombia .* Bogotá : IDEAM, 2001.

⁷ **L'VOVICH, M.I., G.F.** White con la colaboración de A.V. Belyaev, J. Kindler, N.I. Koronkevic, T. R. Lee y G.V. Voropaev 1995. “Use and Transformation of Terrestrial Water

En este orden de ideas, es importante que la población tome conciencia sobre el consumo del agua, disminuyendo así la huella hídrica a través de diferentes estrategias que permitan reducir el consumo. Según Earth work Group⁸, existen diferentes estrategias sencillas para generar ahorro del recurso hídrico, las cuales pueden ser implementadas en las viviendas. Una de ellas es llenar una botella de plástico con agua y depositarla en el tanque del sanitario sin obstaculizar el funcionamiento, de esta manera, se aumenta el nivel de agua en el tanque, generando así un menor consumo de ésta. Con estas sencillas acciones puede prevenirse el estrés hídrico y dar soluciones al aumento de la demanda del recurso. Implementar diferentes estrategias para la gestión del recurso hídrico es fundamental para garantizar el acceso a agua para las futuras generaciones. Lo anterior teniendo en cuenta que se prevé que en el año 2030 el planeta tendrá que enfrentarse a un déficit mundial del 40% de agua, esto en el escenario climático en el que las condiciones actuales se mantengan⁹.

Teniendo en cuenta lo anterior, este proyecto se basa en el diseño de un sistema de reutilización de aguas grises provenientes de la ducha de los hogares con el fin de conducirla por medio de una red al tanque de almacenamiento del sanitario para ser utilizada en descargas posteriores. El propósito, es entonces, reducir el impacto ambiental que genera el gasto de agua en los inodoros y aprovechar de mejor manera el recurso hídrico, lo que a su vez traería beneficios económicos en los hogares que lo implementen.

Systems". En: B.L. Turner II (ed.). *The Earth As Transformed by Human Action*. Cambridge University Press. Cap. 14.

⁸**The earth works group.** *50 Cosas sencillas que tú puedes hacer para salvar la tierra*. España : BLUME, 2006.

⁹ **UNIDAS, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES.** *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. Peruguia : s.n., 2020.

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

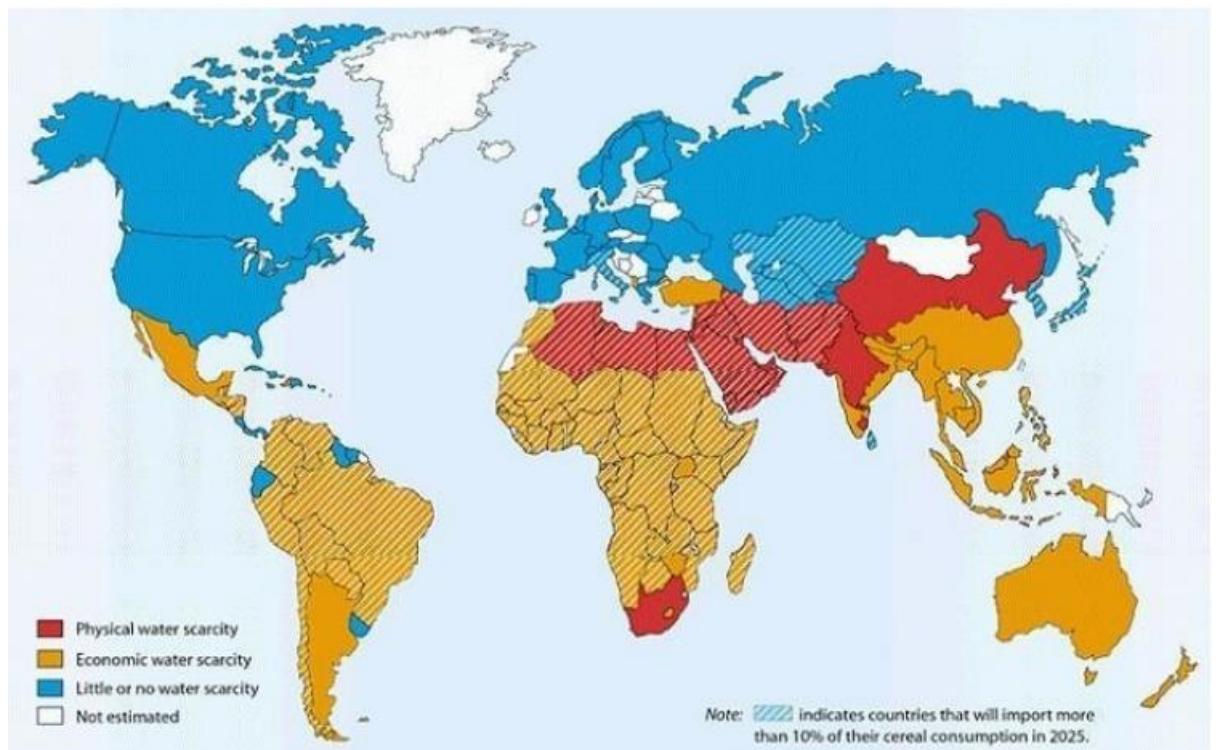
Una de las actividades más comunes que realizan las personas diariamente en el hogar es la descarga del inodoro para evacuar los desechos líquidos y sólidos. No obstante, esto representa un consumo significativo de agua debido a que esta se descarga varias veces al día utilizando en la mayoría de los casos agua potable. La ducha, es otra de las actividades diarias que millones de personas realizan, que al igual que el inodoro, genera un consumo considerable.

Además, hoy en día no existe una conciencia sobre la importancia de un adecuado uso del recurso hídrico, lo cual genera un gran impacto ambiental y contribuye al aumento de la crisis ambiental. Por lo anterior, se propone diseñar un sistema que permita transportar el agua que se usa en la ducha para ser utilizada en el tanque de almacenamiento de los inodoros. Lo anterior con el propósito de reducir el gasto de agua en los hogares y generar un impacto ambiental positivo. En ese orden de ideas, se pretende dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Es posible reducir el consumo de agua en las viviendas por medio de un sistema de reutilización de aguas grises provenientes de la ducha?

3. ANTECEDENTES

Según World Economic Forum, se espera que, para los próximos 75 años, la población mundial aumente en aproximadamente 3.000 millones de personas. Este crecimiento demográfico incrementará la probabilidad de un mayor consumo de agua y a su vez que haya una mayor contaminación del recurso hídrico. Para el consumo del agua, la problemática se puede dividir en dos líneas generales: Por un lado, la escasez física de agua que significa que la demanda es mayor al suministro. Por otro lado, la escasez económica se presenta cuando existe disponibilidad de agua, pero por razones económicas no es posible utilizar dicho recurso. En ese sentido, la Figura 1 resume los problemas a nivel mundial.

Figura 1. Escasez de agua a nivel mundial



Fortuño, M. (31 de Mayo de 2017). [Imagen]. Recuperado de: <https://es.weforum.org/agenda/2017/03/la-economia-del-agua-cada-vez-sera-mas-importante/>

El uso de agua en los hogares representa aproximadamente el 10% del consumo mundial de agua, y dentro de la casa el lugar en donde se gasta mayor cantidad es en el cuarto de baño. Es por esta razón, que los países desarrollados han estudiado la factibilidad de una posible reutilización de las aguas grises, aquellas que provienen de duchas o lavamanos que a diferencia de las aguas negras no presentan contenido de materia fecal; y se han enfocado en la búsqueda de formas eficientes para disminuir el consumo de agua potable. En la actualidad:

Se estima que solo el 4% del agua que se consume en el mundo es reutilizada. Los países que ocupan los primeros puestos en el ranking de reutilización de agua, son China, México y Estados Unidos¹⁰.

Entre los usos más comunes del agua reciclada se tiene la reutilización municipal, la cual se divide en dos grupos: el primero incluye riegos de parques, de aceras, de instalaciones deportivas, lavado de vehículos, los cuales no requieren de un agua de alta calidad; el segundo grupo se refiere a usos agrícolas y medioambientales, por lo que implica un alto riesgo para la salud, por este motivo en este sí se requiere un agua de alta calidad¹¹.

El interés por la reutilización de agua está aumentando en todo el mundo. En Sudáfrica debido a los escasos recursos de agua dulce se implementó en un edificio universitario de la universidad de Witwatersrand y en un edificio residencial universitario en la ciudad de Johannesburgo, un sistema de reutilización de aguas grises para usarlas en la descarga de los inodoros. De igual forma, se realizó un estudio acerca de dicho sistema para describir

¹⁰ **COSIN, Carlos.** *Reutilización, la gran asignatura pendiente a nivel mundial.* [En línea] 15 de Mayo de 2017. <https://www.iagua.es/blogs/carlos-cosin/reutilizacion-gran-asignatura-pendiente-nivel-mundial>.

¹¹ **COSIN, Carlos.** *Reutilización, la gran asignatura pendiente a nivel mundial.* [En línea] 15 de Mayo de 2017. <https://www.iagua.es/blogs/carlos-cosin/reutilizacion-gran-asignatura-pendiente-nivel-mundial>.

las percepciones de los beneficiados y si estos estaban dispuestos a pagar por los beneficios obtenidos por dicha reutilización, teniendo en cuenta que el ahorro fue entre 220 y 440 litros por día¹².

De igual manera, en Israel se presentó un modelo de optimización para la reutilización de las aguas residuales en sistemas de alcantarillado en un barrio de la costa de Israel. Dicho sistema, es una herramienta eficiente para disminuir la demanda de agua potable y podría atraer a la mayoría de viviendas a implementarlo. No obstante, el trabajo tiene ciertas limitaciones, ya que no tuvo en cuenta los costos del uso del agua, cambios de diseño en la red de alcantarillado (pendientes, diámetros de tubería), entre otros¹³.

¹² **LLEMOBADE, AA, OLANREWAJU, OO y GRIFFIOEN, ML.** *Greywater reuse for toilet flushing at a university*. Johannesburg : Special Edition, 2013.

¹³ **PENN, Roni, FRIEDLER, Eran y OSTFELD, Avi.** *Multi-objective evolutionary optimization for*. Haifa : ELSEVIER, 2013.

4. JUSTIFICACIÓN

El agua cubre un 70% de la superficie del planeta Tierra, es por esto que se conoce como “planeta azul”. La disponibilidad de agua en el planeta es de 1.386 millones de kilómetros cúbicos, de la cual solo el 2,5% corresponde a agua dulce, y de esta fracción menos del 1% está disponible para el consumo humano¹⁴.

En la actualidad, el recurso hídrico es suficiente para satisfacer las necesidades básicas del mundo pero se estima que para el año 2030 el 67% de la población mundial no tendrá una conexión a los sistemas de alcantarillado público ni a un saneamiento adecuado¹⁵. En los últimos 50 años las extracciones de agua subterránea se han triplicado debido al aumento de la población y al crecimiento de la agricultura. Por lo menos el 50% de la población mundial se abastece de aguas subterráneas y alrededor de 2.500 millones de personas en el mundo dependen exclusivamente de estas para satisfacer sus necesidades básicas¹⁶.

De acuerdo con lo anterior, es necesario cambiar la manera en la que se usa y se maneja el recurso hídrico. De lo contrario, en unos años tendremos que afrontar un estrés hídrico, lo que significa que, no se contará con la cantidad necesaria de agua para satisfacer las necesidades básicas de las poblaciones. Es por ello que la investigación en procesos de reutilización del agua tiene tanta importancia. En el caso de las aguas grises, la

¹⁴ **CARRIÓN, Marta.** El agora diario. *¿Cuánta agua hay en el planeta?* [En línea] 20 de Marzo de 2020. <https://www.elagoradiario.com/agorapedia/cuanta-agua-planeta/>.

¹⁵ **UNESCO.** [unesco.org. UNESCO](http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact1-demographics-consumption/). [En línea] 2017. <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact1-demographics-consumption/>.

¹⁶ **UNESCO.** [unesco.org](http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-31-population-increase-water-stress/). [En línea] 2017. <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-31-population-increase-water-stress/>.

reutilización de grandes cantidades de agua que pueden tener un segundo uso permitiría una disminución significativa del consumo de agua potable.

5. OBJETIVOS

a. OBJETIVO GENERAL

Diseñar el prototipo de un sistema de simple instalación en viviendas con el propósito de reutilizar aguas grises provenientes de la ducha y así reducir el uso de agua potable en el inodoro, disminuyendo a su vez el impacto ambiental del consumo de agua en las viviendas.

b. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar alternativas a nivel nacional e internacional para la recolección y reutilización de aguas proveniente del uso diario de la ducha.
- Establecer el procedimiento para que el agua recolectada de la ducha sea almacenada y esté en condiciones adecuadas para su posterior uso.
- Diseñar la red del sistema que conducirá el agua almacenada al tanque de almacenamiento del inodoro para su posterior descarga.
- Realizar el respectivo análisis hidráulico que permita determinar el tamaño de los componentes que necesita el prototipo para su buen funcionamiento.
- Utilizar el software adecuado para elaborar el diseño del prototipo planteado.
- Realizar un análisis costo-beneficio y de viabilidad para la implementación del sistema.

6. MARCO TEORICO

Según Pulido¹⁷, las aguas residuales son aquellas aguas que han sido manipuladas o utilizadas por los humanos. Las características que poseen las aguas residuales dependen de su origen, entre ellos podemos tener:

- Aguas lluvias: originadas por el escurrimiento del agua precipitada.
- Aguas residuales agrícolas, caracterizadas por la presencia de pesticidas, sales y sólidos en suspensión.
- Agua residual industrial: se caracterizan por ser residuos líquidos de procesos industriales.
- Agua residual municipal o urbana: son residuos líquidos de un conglomerado urbano la cual incluye actividades domésticas e industriales.
- Agua residual doméstica: se caracterizan por ser residuos líquidos de viviendas, zonas residenciales, establecimientos o instituciones. A su vez se dividen en aguas grises y aguas negras.

Las aguas grises contienen principalmente residuos de jabón y compuestos químicos que se presentan en los productos empleados en los usos domésticos, como la cocina y el lavado. En comparación con las aguas residuales negras, éstas contienen un nivel más bajo de materia orgánica ya que no poseen residuos de orina o heces¹⁸.

La reutilización de aguas es una actividad que se ha venido realizando a través de la historia para mitigar el impacto ambiental y para reducir el consumo de agua potable. La reutilización de aguas es una manera de volver a usar el recurso hídrico en actividades

¹⁷ **PULIDO, Sandra, y otros.** *PTAR-Uniminuto*. [En línea] 05 de Diciembre de 2014. <https://sites.google.com/site/ptaruniminuto/origen-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales>.

¹⁸ **ERIKSSON, Eva, y otros.** Characteristics of grey wastewater. [En línea] Marzo de 2002. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462075801000644>.

que no necesitan agua de alta calidad. El reciclaje de aguas grises promueve la preservación del agua dulce, reduce los contaminantes del medio ambiente y reduce costos del suministro¹⁹.

El presente diseño cuenta en su primera parte con la captación del agua conocida como recolección. El sistema que llevará el agua hasta el lugar donde tendrá su nuevo uso, está conformado por una tubería la cual es la encargada de transportar el fluido hasta donde se encuentra la válvula, en este punto se regula el paso del fluido por medio de una pieza movable que contiene la válvula. Allí es importante que el manejo de ésta sea prudente para evitar un cambio brusco en la velocidad del fluido, conocido como Golpe de Ariete.

NORMATIVIDAD

El presente trabajo se basa en la reutilización del agua proveniente de la ducha con el fin de reducir el impacto ambiental que genera específicamente el gasto de agua en cada descarga del inodoro. Por esta razón, es importante conocer la normatividad vigente a nivel nacional e internacional que aplica a la recolección, manejo y reutilización de aguas grises. A continuación, se presentan diferentes normativas que resultan pertinentes para el diseño de un dispositivo para la reutilización de aguas grises.

- **Resolución 1207 de 2014, Colombia²⁰:** Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. **Artículo 6.** De los usos establecidos para agua residual tratada.

Las aguas residuales tratadas se podrán utilizar en los siguientes usos

a) Uso Agrícola. Para el riego de:

- Cultivos de pastos y forrajes para consumo animal.

¹⁹ **AI-JAYYOUSI.** *Greywater reuse: towards sustainable water management*. 2003, ELSEVIER.

²⁰ **Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible.** Resolución 1207 de 2014. *Resolución 1207 de 2014*. Bogotá : s.n., 2014.

- Cultivos no alimenticios para humanos o animales.
- Cultivos de fibras celulósicas y derivados.
- Cultivos para la obtención de biocombustibles (biodiesel y alcohol carburante) incluidos lubricantes.
- Cultivos forestales de madera, fibras y otros no comestibles.
- Cultivos alimenticios que no son de consumo directo para humanos o animales y que han sido sometidos a procesos físicos o químicos.
- Áreas verdes en parques y campos deportivos en actividades de ornato y mantenimiento.
- Jardines en áreas no domiciliarias.

b) Uso Industrial. En actividades de:

- Intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas.
- Descarga de aparatos sanitarios.
- Limpieza mecánica de vías.
- Riego de vías para el control de material particulado.
- Sistemas de redes contraincendio.
- **Decreto real 1620 de 2007²¹España:** Por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de aguas depuradas. **Artículo 4.** Usos admitidos para las aguas regeneradas.

a) Uso residencial:

- Riego de jardines privados
- Descarga de aparatos sanitarios

²¹ **Ministerio De La Presidencia.** *Real decreto 1620/2007.* Madrid : s.n., 2007.

b) Uso en servicios:

- Riego de zonas verdes urbanas
- Baldeo de calles
- Sistema contra incendios
- Lavado industrial de vehículos

7. ESTADO DEL ARTE

En los últimos años el ahorro y la reutilización del agua ha venido en auge debido a que es indispensable para el ser humano y además de eso, es un recurso finito. Por eso, se han desarrollado dispositivos sencillos para generar un ahorro de agua en las actividades diarias que más litros consumen. Es el caso, por ejemplo, de un accesorio sencillo como el aireador de grifo que mezcla el aire con el agua para disminuir así el caudal de salida y ahorrar hasta un 50% de agua. Asimismo, se ha desarrollado una ducha innovadora que atomiza las partículas de agua generando más superficie que una ducha convencional. Según Nebia²², de la compañía que desarrolló el prototipo, este utiliza 70% menos agua que una ducha típica.

Del mismo modo, Mahdjoubi²³ con financiación de la NASA diseñó la ducha OrbSys que permite ahorrar un 90% de agua y 80% de energía. Este mecanismo es usado en expediciones en el espacio, en donde lavan y beben de la misma fuente, por lo que es importante la reutilización del agua. “Este sistema es extremadamente eficiente y sencillo: un circuito cerrado en el que el agua caliente del grifo que va al desagüe, se purifica al instante convirtiéndose en agua potable, esta se bombea para que vuelva a salir por el cabezal de la ducha, manteniendo el calor durante todo el proceso”²⁴.

²² **Nebia.** Kickstarter. *Nebia Shower - Better experience, 70% less water.* [En línea] 10 de Septiembre de 2015. [https://www.kickstarter.com/projects/nebia/nebia-shower-better-experience-70-less-water?lang=es#:~:text=Nebia%20atomizes%20water%20into%20millions,area%20than%20your%20regular%20shower.&text=In%20fact%2C%20Nebia%20uses%2070,than%20a%20typical%20household%](https://www.kickstarter.com/projects/nebia/nebia-shower-better-experience-70-less-water?lang=es#:~:text=Nebia%20atomizes%20water%20into%20millions,area%20than%20your%20regular%20shower.&text=In%20fact%2C%20Nebia%20uses%2070,than%20a%20typical%20household%20).

²³ **MAHDJOUBI, Mehrdad.** EcoInventos. *Ducha OrbSys. Permite ahorrar un 90% en agua y un 80% en energía.* [En línea] 15 de Noviembre de 2015. <https://ecoinventos.com/ducha-orbsys-permite-ahorrar-un-90-en-agua-y-un-80-en-energia/>.

²⁴ **MAHDJOUBI, Mehrdad.** EcoInventos. *Ducha OrbSys. Permite ahorrar un 90% en agua y un 80% en energía.* [En línea] 15 de Noviembre de 2015. <https://ecoinventos.com/ducha-orbsys-permite-ahorrar-un-90-en-agua-y-un-80-en-energia/>.

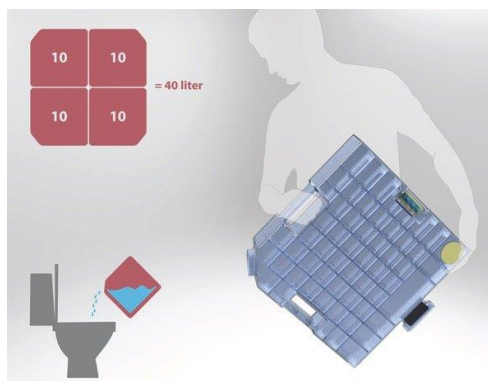
Por otro lado, muchas personas tienen el hábito de esperar unos minutos en la ducha, con el grifo abierto para que el agua salga con la temperatura deseada, consumiendo aproximadamente entre 3 y 6 litros, lo que implica un consumo considerable, debido a que es una actividad diaria. Por eso, Esferic Better Things realizó la “bolsa esferic”, una regadera plegable que permite depositar esos litros de agua dentro de ella, para después usarlos en otras actividades, como regar plantas, lavar pisos e incluso depositarlo en el inodoro para evacuar desechos líquidos ²⁵.

Vásquez²⁶, por su parte, desarrolló un sistema llamado “Gris”, el cual recoge agua después de utilizar la ducha mediante un dispositivo que se coloca en el suelo/piso y este evita que el agua usada se evacua por el sifón, en cambio la almacena en cuatro partes entrelazadas las cuales por su forma cóncava recogen el 90% que, al momento de usarla en el inodoro simplemente se levanta de forma manual cada una de estas 4 partes y se deposita en el inodoro.

²⁵ **Esferic Better Things.** esferic.com. *Waterdrop*. [En línea] 7 de Abril de 2015. <https://esferic.com/es/>.

²⁶ **VÁSQUEZ, Alberto.** *Sistema para aprovechar el agua de la ducha diseñado en Colombia*. [En línea] 08 de Mayo de 2020. <https://ecoinventos.com/sistema-para-aprovechar-el-agua-de-la-ducha-disenado-en-colombia/>.

Figura 2. Sistema para aprovechar el agua de la ducha.

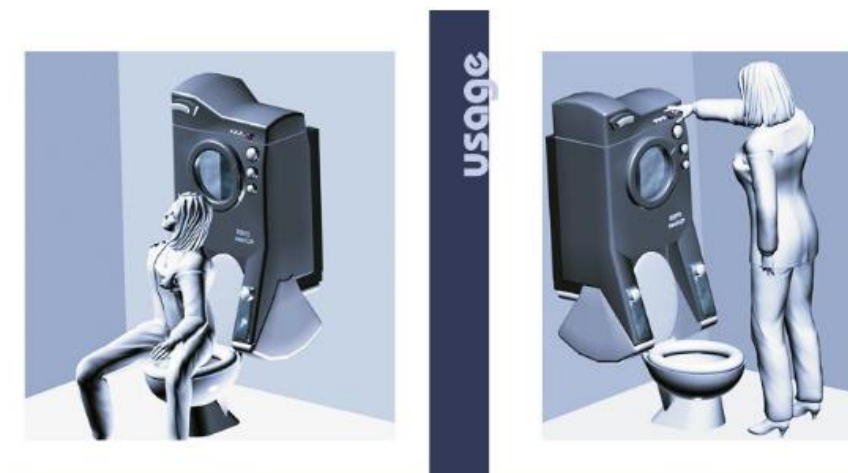


Ecoinventos (8 de Mayo de 2020). [Imagen]. Recuperado de <https://ecoinventos.com/sistema-para-aprovechar-el-agua-de-la-ducha-disenado-en-colombia/>

El uso del agua en la lavadora, también genera un consumo significativo, por lo que se han implementado prototipos para reutilizar el agua de la lavadora en los inodoros. “Washup” es un híbrido entre la lavadora y el sanitario. Su funcionamiento consiste básicamente en conectar la salida lavadora con la entrada de agua al inodoro, permitiendo así que el el agua que se pierde al lavar, se aproveche en la descarga del inodoro para evacuar los desechos²⁷.

²⁷ **COSKUN, Sevin.** EcoInventos. *Washup. Lavadora-inodoro*. [En línea] 16 de Septiembre de 2008. <https://ecoinventos.com/washup-lavadora-inodoro/>.

Figura 3. Washup. Lavadora-inodoro.

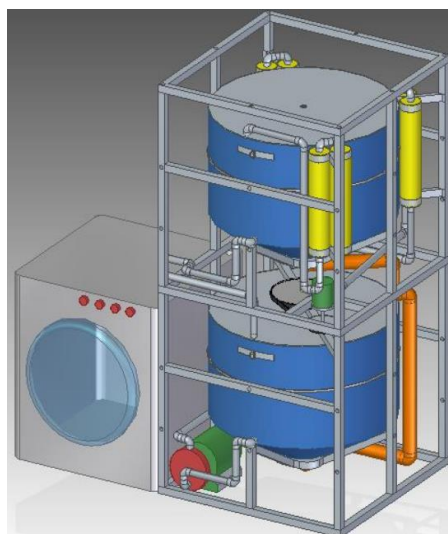


Ecoinventos (16 de septiembre de 2008). [Imagen]. Recuperado de: <https://ecoinventos.com/washup-lavadora-inodoro/>

Del mismo modo, Díaz²⁸, en su investigación, realizó el diseño de un sistema de tratamiento y reutilización de agua de la lavadora aplicada a los hogares de Bogotá en Colombia (figura 4). En este proyecto, después de realizar los respectivos análisis del sistema, se pudo concluir que el ahorro fue de varios metros cúbicos mensuales. Sin embargo, existen limitaciones económicas del diseño por el alto costo de los accesorios y de la implementación del sistema.

²⁸ **DÍAZ OVIEDO, Jhon Jairo y RAMIREZ MIELES, Lizeth Yohana.** *DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DEL AGUA.* [En línea] 14 de Mayo de 2016. <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3140/1/D%C3%ADazOviedoJhonJairo2016.pdf>.

Figura 4. Sistema de reutilización del agua de la lavadora



Díaz, J.J (14 de Mayo de 2016). [Imagen]. Recuperado:

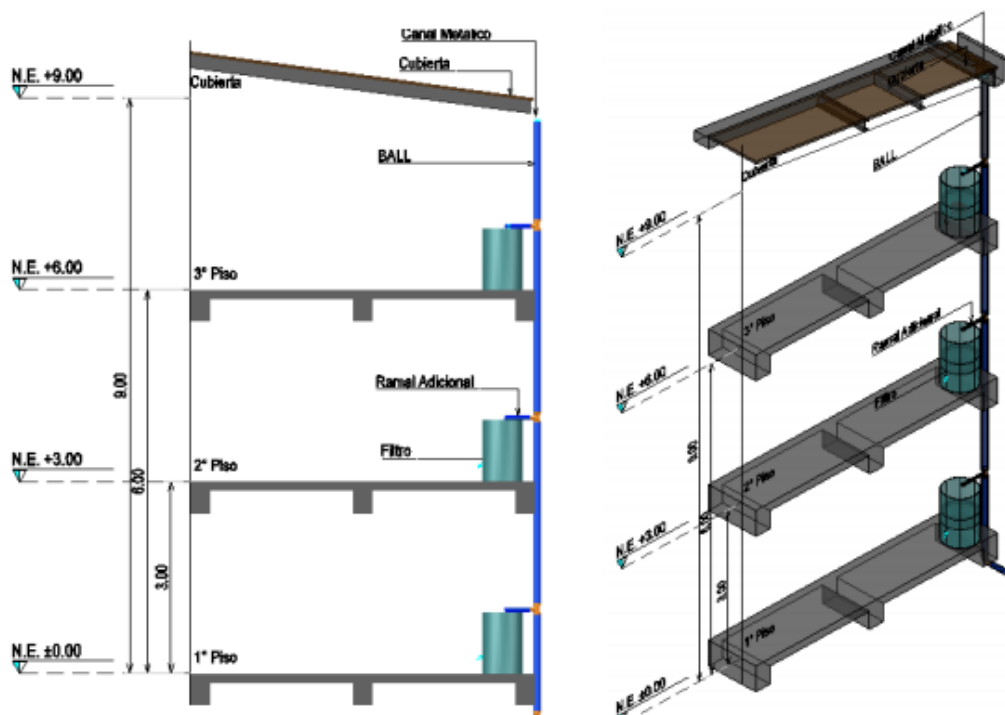
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3140/1/D%C3%ADazOviedoJhonJairo2016.pdf>

Castellanos y García²⁹ realizaron un prototipo para la recolección de aguas lluvias para uso doméstico en un barrio de Bogotá. Dicho proyecto, se realizó específicamente en una casa de tres niveles en la ciudad de Bogotá (figura 5), bajo un sistema que controla el llenado de las canecas cuando alcanzan su máxima capacidad, además de que este inicia la recolección de agua cinco minutos después de que la precipitación haya comenzado. Lo anterior, con el fin de que el agua no arrastre sedimentos ni materiales sólidos. El prototipo incorpora un filtro de fácil instalación y mantenimiento, ya que con solo exponerlo a los rayos ultravioleta UV por varias horas los materiales recuperan sus

²⁹ CASTELLANOS RINCON, Leidy Johana y GARCIA PARRA, Camilo Andrés. *PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO AGUAS LLUVIAS*. [En línea] 03 de Julio de 2015. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2408/1/Final%20Trabajo%20de%20Grado.pdf>.

propiedades. Por su parte, la gravilla, la arena y el carbón activado recuperan sus propiedades, lo que trae beneficios económicos, puesto que no requiere una gran inversión en su mantenimiento. Esta es una alternativa amigable con el medio ambiente por la disminución del consumo de agua al reutilizar el agua lluvia para actividades domésticas, además de ser económica y de fácil acceso.

Figura 5. Prototipo de distribución de aguas lluvias



Castellanos, J. (20 de Mayo de 2015). [Imagen]. Recuperado de:

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2408/1/Final%20Trabajo%20de%20Grado.pdf>

Alrededor del mundo se pueden encontrar varios sistemas de reutilización de aguas grises, los cuales varían según la necesidad o el caudal que aportan dichas aguas. Se pueden encontrar con altas tecnologías dirigidas a grandes industrias o poco técnicos para ser implementados en hogares. En la Unión Europea se fomenta la reutilización de aguas

grises, aunque no haya una legislación al respecto. Por ejemplo, en España, GreyWaterNet, ha desarrollado un sistema de tratamiento de aguas grises, es decir, las que provienen de las duchas, baños y lavabos, convirtiéndolas en agua dulce limpia, que puede usarse para diferentes actividades, excepto beber, cocinar o ducharse. Otra metodología para la reutilización de agua que se desarrolló en España, consta de un sistema tan práctico por su tamaño que se basa en una cadena de filtraje biomecánico que esteriliza el agua mediante rayos ultravioleta y la deja lista para su nuevo uso. En el país Europeo el sistema Ecoagua recoge el agua proveniente de duchas y bañeras, se envía a una depuradora, donde también se trata químicamente, y finalmente esta se usa para llenar las cisternas de los inodoros.

En Estados Unidos se han ideado métodos para la reutilización de aguas grises:

Un método de lavado de un inodoro que incluye la apertura de una primera válvula para introducir un primer suministro de agua gris en un pasaje para preparar un sifón; abrir una segunda válvula para introducir un segundo suministro de agua en un recipiente desde un tanque, el recipiente tiene una salida que está en comunicación fluida con una entrada del pasaje; cerrar la primera válvula para cortar el primer suministro de agua; evacuar el contenido del recipiente a través de una salida del pasaje a través del sifón generado por la introducción del primer suministro de agua y la introducción del segundo suministro de agua; y cerrar la segunda válvula para cortar el segundo suministro de agua³⁰.

El otro método es descrito de la siguiente manera:

³⁰ **KOHLER CO. LENS.ORG.** *Grey Water Toilet And Flushing Method*. [En línea] 31 de Diciembre de 2015. <https://www.lens.org/lens/patent/050-566-640-251-104/fulltext>.

El inodoro de aguas grises utiliza sólo agua gris generada a partir de un fregadero adyacente con el fin de operar dicho inodoro en un esfuerzo por disminuir el uso de agua dulce. El inodoro incluye un tanque de inodoro que incorpora un deflector que separa dicho tanque de inodoro en una primera porción y una segunda porción. La primera porción está en comunicación fluida directa con la línea de drenaje de un fregadero adyacente, y que es responsable de vaciar el inodoro al utilizar un mango de descarga o una varilla de pop ubicada en el fregadero adyacente. El grifo del fregadero adyacente suministra agua de dos fuentes, una línea de agua caliente y una línea de agua fría que se encuentran bajo dicho fregadero, y una línea de agua de inodoro que se extiende desde la válvula de llenado dentro del inodoro³¹.

En Canadá, la empresa Eco agua se dedica a tratar el agua residual de las viviendas por medio de un sistema de bacterias. Por otra parte, países como Japón han hecho investigaciones desde el siglo pasado (década de los 60) luego de que éste fuera afectado por una sequía; dicho país está más enfocado en la reutilización de aguas grises para llenar los tanques de los inodoros de edificios y conjuntos residenciales. De manera similar, Australia tiene gran interés en no solo reutilizar las aguas grises sino también las aguas lluvias, esto para su reúso en actividades como el lavado de autos. Asimismo, China ha tomado varias medidas para la regulación de la reutilización de aguas grises a gran escala para edificios institucionales y residenciales. En este lado del planeta, los países latinoamericanos están preocupados por hacer algo al respecto y promueven normativas para la reutilización del recurso hídrico.

³¹ **CERCE, Donald.** LENS.ORG. *Grey Water Toilet*. [En línea] 13 de Enero de 2015. <https://www.lens.org/lens/patent/119-143-482-324-167>.

En México, se han propuesto varias prácticas para tratar el agua en casa, entre estas utilizando un filtro y reutilizando el agua para regar árboles, plantas, lavar el carro, pisos y baños. De esta manera, se optimiza el uso del agua y el agua potable se utiliza para cocinar, beber y bañarse³².

Por otra parte, hay libros como “Water Reuse, Issues, Technologies and Applications”, que dan a conocer alcances tecnológicos, aplicaciones, aspectos sociales e institucionales para tener en cuenta en los proyectos de reutilización. A lo largo de sus capítulos menciona prácticas de reutilización, señala aspectos relacionados con el medio ambiente, la salud, y riesgos en el caso que se presenten organismos patógenos en la reutilización del agua³³.

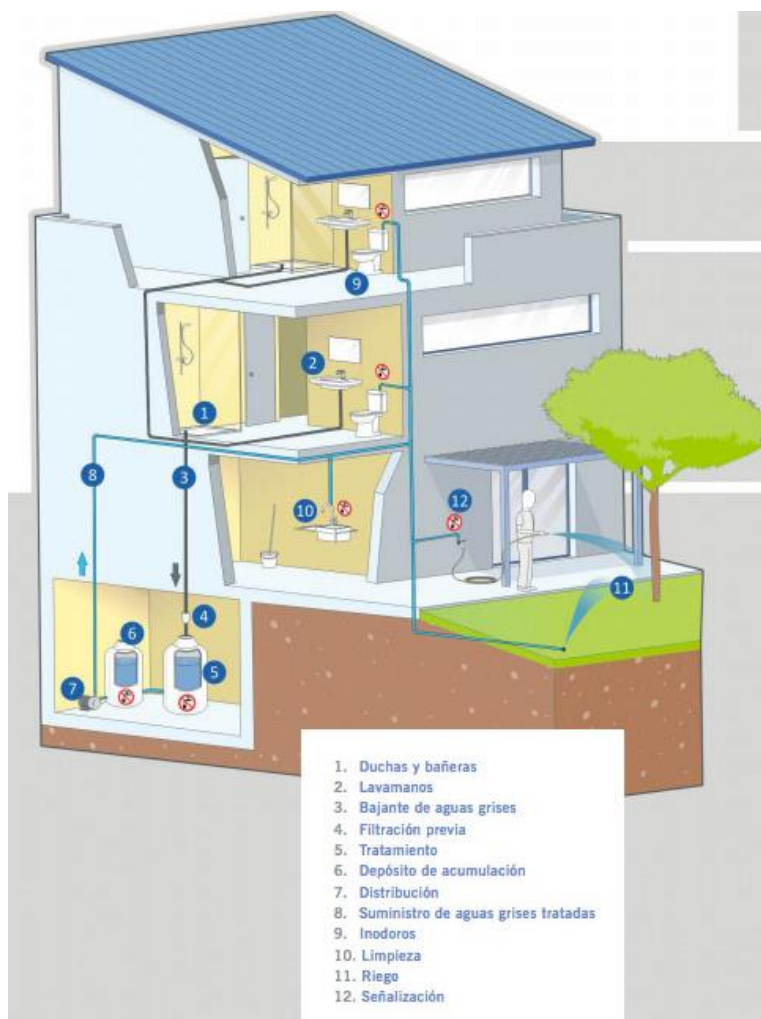
En España, Humilde³⁴ se propone una práctica al alcance de todos, consiste en un sistema en el que se puede regenerar el agua gris proveniente de lavamanos y duchas para reutilizarse como agua de riego de jardines o en la carga de cisternas de inodoros.

³² **Instituto Carlos Slim De La Salud.** *Las aguas jabonosas.* Estado de México : s.n., 2012.

³³ **Metcalf & Eddy Inc. an AECOM Company.** *Water reuse: issues, technologies, and applications.* New York : McGraw-Hill, 2007.

³⁴ **MARTIN DE LUCAS, Humilde.** *Iagua. Iagua.* [En línea] 08 de 02 de 2017. [Citado el: 14 de 04 de 2021.] <https://www.iagua.es/blogs/humilde-martin-lucas/reutilizacion-aguas-grises-practica-viable-todos>.

Figura 6. Sistema que regenera el agua gris



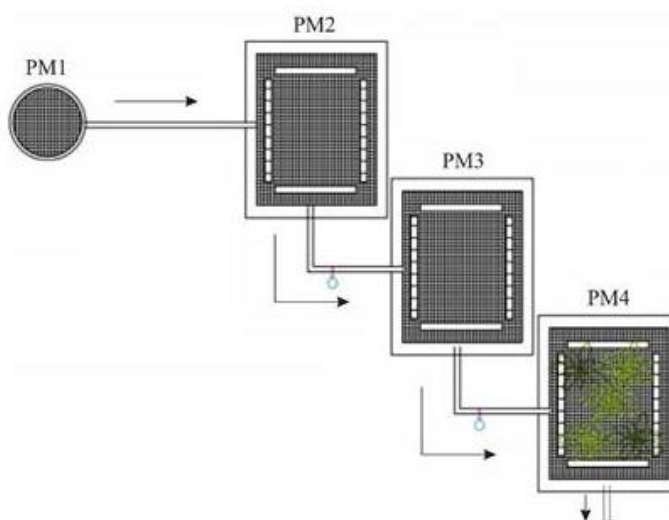
Martin de Lucas, H (8 de Febrero de 2017) [Imagen]. Recuperado de: <https://www.iagua.es/blogs/humilde-martin-lucas/reutilizacion-aguas-grises-practica-viable-todos>

Se puede observar que el sistema busca tratar el agua de los lavamanos y duchas de la casa, por medio de una red, compuesta por una bajante de aguas grises, después llegará a un sistema de filtración previa para realizar un respectivo tratamiento para después distribuirla y que pueda usarse en el riego de jardín, así como llenar el tanque del inodoro.

Eli Morales Rojas³⁵ en su investigación sobre un sistema de purificación de aguas grises para la reutilización en actividades de riego explica que el diseño mixto del sistema consta de dos partes conectadas entre sí:

El primero es un sistema de recogida de aguas grises, con una capacidad de 100 litros, con el propósito de alimentar adecuadamente los sistemas de filtro del siguiente componente. La segunda parte cuenta con tres filtros mecánicos, cada uno con una capacidad de 600 litros, y cuyas medidas son de 100 cm de ancho por cada 100 cm de longitud y 60 cm de profundidad. La base de cada filtro se compone de tres capas; la primera capa tiene 0,24 m³ de piedra fluvial de 1", la segunda de 0,04 m³ de hormigón, y la última de 0,24 m³ de arena mezclada con 0,06 m³ de carbón generado a partir de madera.

Figura 7. Sistema de purificación de aguas



Morales, Eli (16 de Noviembre de 2020). [Imagen]. Recuperado de:
https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-993X2020000600304&lang=es

³⁵ **MORALES, Eli, y otros.** *Tratamiento mixto de aguas grises para usos de riego*. Taubaté : Revista Ambiente & agua, 2020.

El resultado demostró una mejoría en la calidad del agua gris para reutilizarla en actividades como el riego, ya que con el tratamiento se disminuyen los niveles de pH, fosfatos DBO (demanda bioquímica de oxígeno), COD (carbono orgánico disuelto). Sin embargo, el sistema arrastra sólidos disueltos, por lo que el autor recomienda que se debe incluir un sistema de aireación en el sistema.

8. METODOLOGÍA

Para cumplir los objetivos propuestos se debe llevar a cabo un procedimiento que permita ejecutar exitosamente el proyecto.

a. REVISIÓN ESTADO DE ARTE

Se realiza una consulta de investigaciones, datos y estadísticas sobre el consumo de agua que genera la descarga de los inodoros y la ducha. Con estos consumos se determina la cantidad aproximada de agua que se podrá recolectar y transportar. También, se analizan los impactos ambientales que genera el consumo actual del recurso hídrico, se investiga acerca de las prácticas y hábitos para reducir el consumo. Asimismo, se consulta en libros, investigaciones y trabajos de grado sobre las estrategias que han sido empleadas para la reutilización de aguas grises a nivel nacional e internacional.

b. DISEÑO DEL PROTOTIPO

Con la revisión bibliográfica previamente hecha, se propone una alternativa de diseño con sus respectivos componentes: sistema de captación de agua, red de tubería, accesorios y bomba.

c. CÁLCULOS

Una vez se determine el programa, software o la manera más adecuada para realizar los cálculos hidráulicos del prototipo, se realiza el respectivo procedimiento con base en el diseño propuesto y simular el funcionamiento del sistema. Esto con el fin de determinar los parámetros como lo son los diámetros de tubería, la bomba a utilizar y la cantidad de accesorios, se determinará si se cumple con los valores establecidos o si es necesario hacer cambios en el diseño y realizar una nueva simulación.

d. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Finalmente, se analizan los resultados obtenidos de la simulación del sistema para determinar si los componentes funcionan correctamente de acuerdo a lo calculado. Posteriormente se estima cuál será el ahorro de agua, tanto diario como mensual, lo cual evidenciará el impacto de la instalación del sistema. Por último, se determina si es un prototipo viable económicamente y eficiente para reducir el consumo de agua en los hogares.

9. ALCANCES Y LIMITACIONES

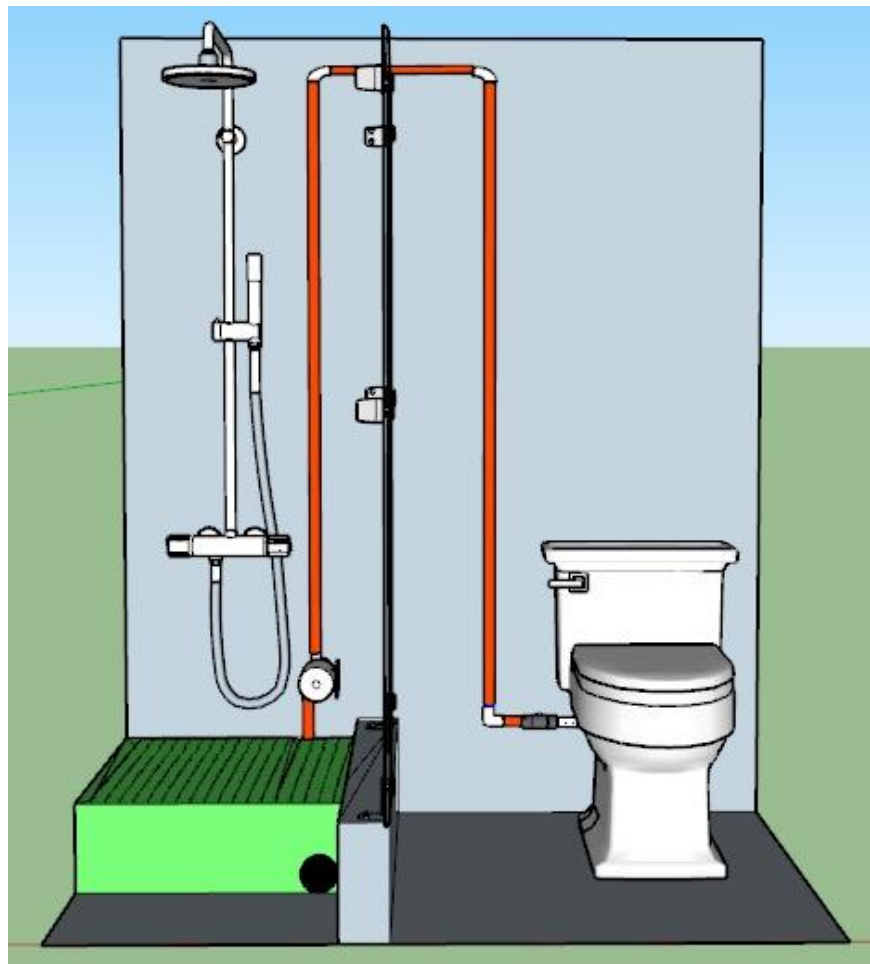
El presente proyecto contempla un diseño de un prototipo de un sistema de reutilización de aguas grises provenientes de la ducha en el baño de las viviendas. Esto para disminuir la huella hídrica que se genera al descargar agua potable del inodoro. Por lo anterior, se debe proponer un diseño que cumpla las especificaciones hidráulicas y los respectivos cálculos. Asimismo, el prototipo debe ser de fácil instalación y viable económicamente. Para ello, se debe especificar cada recurso que necesitará el sistema, como lo son las tuberías, el sistema de captación, bombas, los accesorios y así determinar el costo del prototipo.

Es importante aclarar que el prototipo no tendrá prácticas de laboratorio, sino que se realizará con base en la teoría de la hidráulica, es decir, no se realizarán pruebas empíricas para comprobar si lo calculado teóricamente cumple en la práctica con los elementos de diseño contemplados en el prototipo.

10. DISEÑO DEL PROTOTIPO

En la figura 8 se propone el diseño de un prototipo que consta de un sistema de captación, bomba, red de tubería y accesorios. El sistema de captación se encuentra ubicado en la zona de la bañera, mismo lugar donde se almacenará. Posteriormente, con la ayuda de la bomba el fluido se conduce hasta el punto donde habitualmente entra el agua potable donde se implementará una conexión tipo T y continuará por el acople sanitario, así llegará hasta el tanque de almacenamiento del inodoro. Cabe resaltar que la bomba trabajará en succión negativa, ya que el nivel del tanque de succión está por debajo del punto de succión.

Figura 8. Diseño del prototipo



(13 de Marzo de 2021) [Imagen]. Elaboración propia

11. CÁLCULOS

Para realizar los respectivos diseños hidráulicos del sistema, se utiliza la ecuación de energía donde se tienen en cuenta las pérdidas por fricción y accesorios, así como la energía que aporta la bomba.

$$\frac{P_A}{\gamma} + \frac{V_A^2}{2g} + Z_A + h_B - h_f - h_a = \frac{P_B}{\gamma} + \frac{V_B^2}{2g} + Z_B$$

Ecuación 1. Ecuación de energía

Dónde:

- PA: Presión en el punto A.
- VA: Velocidad en el punto A.
- ZA: Energía potencial en el punto A.
- hB: Energía entregada por la bomba.
- hf: Pérdidas por fricción
- ha: Pérdidas por accesorios
- PB: Presión en el punto B.
- VB: Velocidad en el punto B.
- ZB: Energía potencial en el punto B.

Debido a que el diseño es simple, se recurre a buscar una bomba sencilla y se escoge un diámetro comercial pequeño, con el fin de determinar el caudal y garantizar que el tanque se llene en un tiempo estimado de 1 minuto.

Al realizar el despeje en los puntos de interés, las presiones manométricas son cero, al igual que las velocidades y el punto de elevación A. Se dejan las pérdidas por fricción y por accesorios al lado izquierdo de la ecuación, ya que allí es donde se despejará el caudal, dejando las pérdidas en términos de caudal y no de velocidad:

$$h_f + h_a = h_B - Z_B$$

Ecuación 2. Despeje de pérdidas

Usando la ecuación de pérdidas de Darcy-Weisbach se deja velocidad en términos de caudal:

$$h_f = f \times \frac{L}{\emptyset} \times \frac{V^2}{2g}$$

Ecuación 3. Ecuación de Darcy-Weisbach

Donde:

- f: Coeficiente de fricción
- L: Longitud de la tubería entre puntos
- f : Diámetro de tubería
- V: Velocidad
- g: Gravedad

A continuación, se deja la velocidad en términos de caudal en la ecuación de pérdidas por fricción:

$$h_f = f \times \frac{L}{\emptyset} \times \frac{\frac{Q^2}{\frac{\pi^2}{16} \emptyset^4}}{2g}$$

$$h_f = f \times \frac{L}{\emptyset} \times \frac{8Q^2}{\pi^2 g \emptyset^4}$$

$$hf = \frac{CfLQ^2}{\emptyset^5}$$

Ecuación 4. Ecuación de pérdidas por fricción

Donde $C = \frac{8}{\pi^2 g}$ que es una constante

Dejando la velocidad en términos de caudal en la ecuación de pérdidas por accesorios:

$$h_a = K_g \times \frac{V^2}{2g}$$

$$h_a = \frac{CK_g Q^2}{\phi^4}$$

Ecuación 5. Ecuación de pérdidas por accesorios

Donde:

- K_g : Es el coeficiente de pérdidas del accesorio

Por lo que se puede observar que la ecuación general de pérdidas en términos de caudal está definida como:

$$h_f = \frac{C_f Q^n}{\phi^m}$$

Ecuación 6. Ecuación general de pérdidas por fricción

Donde:

- $C_f = C_f L$
- $n=2$
- $m=5$

Mientras que para las pérdidas por accesorios la ecuación general sería:

$$h_a = \frac{C_a Q^n}{\phi^m}$$

Ecuación 7. Ecuación general de pérdidas por accesorios

Donde:

- C_a : CK_g

- $n=2$
- $m=5$

Los coeficientes n y m pueden variar de acuerdo al autor. En el caso de Darcy-Weisbach los coeficientes son 2 y 5 respectivamente.

Realizando el despeje de la variable requerida, la ecuación planteada será:

$$Q = \sqrt{\frac{h_b - Z_b}{\frac{CfLQ^2}{\phi^5} + \sum \frac{CK_gQ^2}{\phi^4}}}$$

Ecuación 8. Despeje de caudal

Sin embargo, al observar la ecuación, hay una incógnita más, que sería el coeficiente de pérdidas “ f ”, por lo que se debe recurrir a un método adicional para calcular el coeficiente. Para ello se usa la ecuación del método de Colebrook White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \log \left(\frac{RR}{3.7} + \frac{2.54}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Ecuación 9. Ecuación método de Colebrook White

Para hallar el coeficiente de pérdidas de D-W, se utiliza la herramienta “buscar objetivo” del software Excel. Sin embargo, antes es necesario igualar la ecuación a 0:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} + 2 \log \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7} + \frac{2.54}{Re\sqrt{f}} \right) = 0$$

Ecuación 10. Ecuación igualada a 0

Donde:

- F : Coeficiente de fricción D-W
- e : Relación espesor/diámetro
- Re : Número de Reynolds.

El número de Reynolds es calculado con la siguiente expresión:

$$Re = \frac{4Q}{\pi v \phi}$$

Ecuación 11. Ecuación número de Reynolds

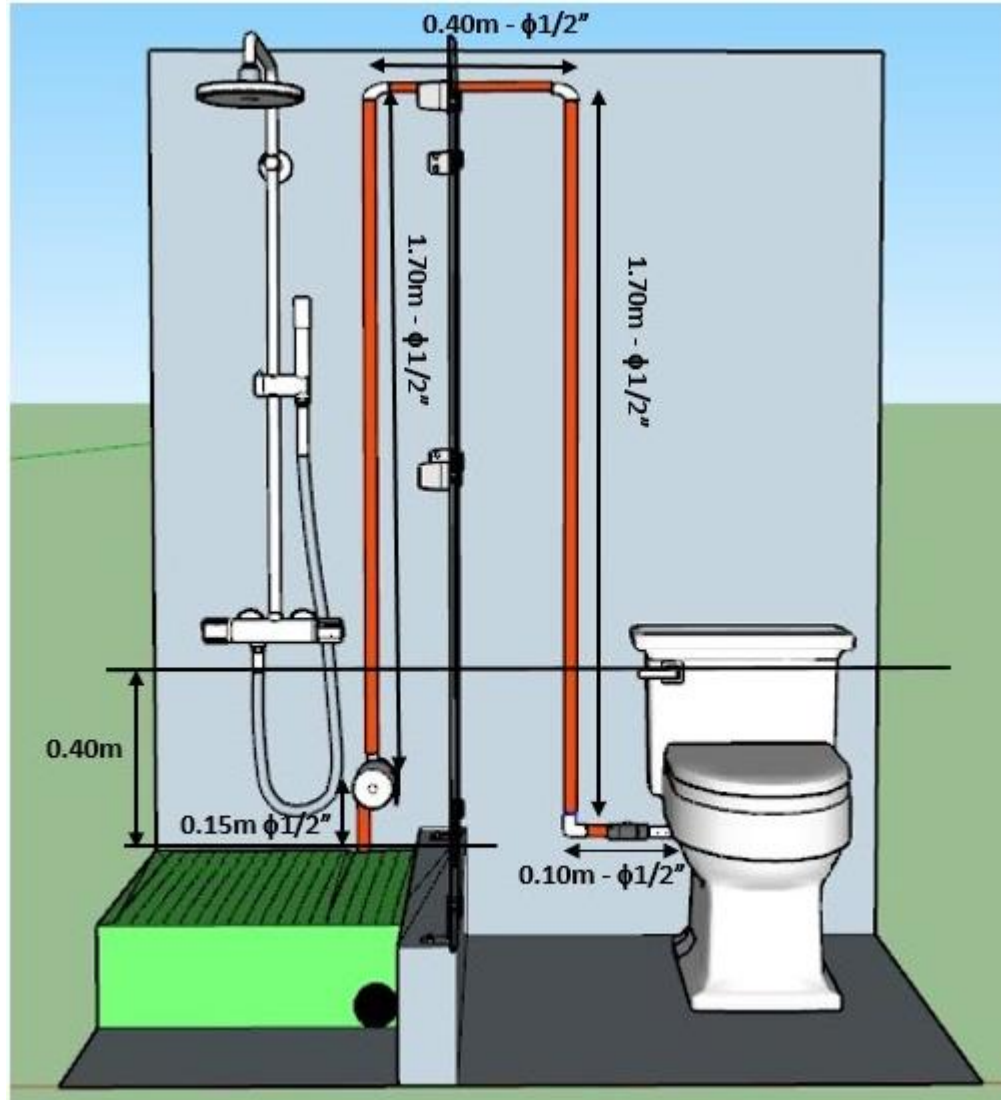
Donde:

- V: Viscosidad cinemática del agua

Datos de entrada

En la figura 9 y la tabla 1 se presentan los datos de entrada que se tienen en cuenta para los respectivos cálculos del diseño.

Figura 9. Dimensiones del diseño.



(13 de Marzo de 2021) [Imagen]. Elaboración propia

Tabla 1. Datos de entrada

| Viscosidad cinemática (m ² /s) | Gravedad (m/s ²) | e(mm) | L(m) | Kg codos | Kg Tee | H bomba (m) | C | ZB (m) | PVC 1/2" | |
|---|---------------------------------|--------|------|----------|--------|-------------|----------|-----------|----------|--------|
| | | | | | | | | | φ (mm) | φ (m) |
| 1.139E-06 | 9.81 | 0.0015 | 4.15 | 0.9 | 0.1 | 1.6 | 0.082627 | 0.4 | 16.6 | 0.0166 |

Para aplicar este método iterativo se emplea una tabla en la que se supone un “f semilla” y con base en eso se calcula el caudal, entonces:

Tabla 2. Iteración 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|-----------|---------|----------------------|-----------|-------|------------|---------|
| Iteración | f semilla | Cf | Q(m ³ /s) | Re | e/d | Ec. Cw | f nuevo |
| 1 | 0.00800 | 0.00274 | 0.0005 | 3.228E+04 | 9E-05 | -8.161E-04 | 0.02334 |

- Columna 1: Número de la iteración
- Columna 2: Valor supuesto del f, en este caso 0.008.
- Columna 3: Cf=CfL
- Columna 4: Cálculo del caudal

$$Q = \sqrt{\frac{h_b - Z_b}{\frac{CfLQ^2}{\phi^5} + \sum \frac{CK_g Q^2}{\phi^4}}}$$

Ecuación 12. Ecuación para calcular Caudal

- Columna 5: Número Reynolds
- Columna 6: Relación espesor/diámetro
- Columna 7: Ecuación Colebrook White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} + 2 \log \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7} + \frac{2.54}{Re\sqrt{f}} \right) = 0$$

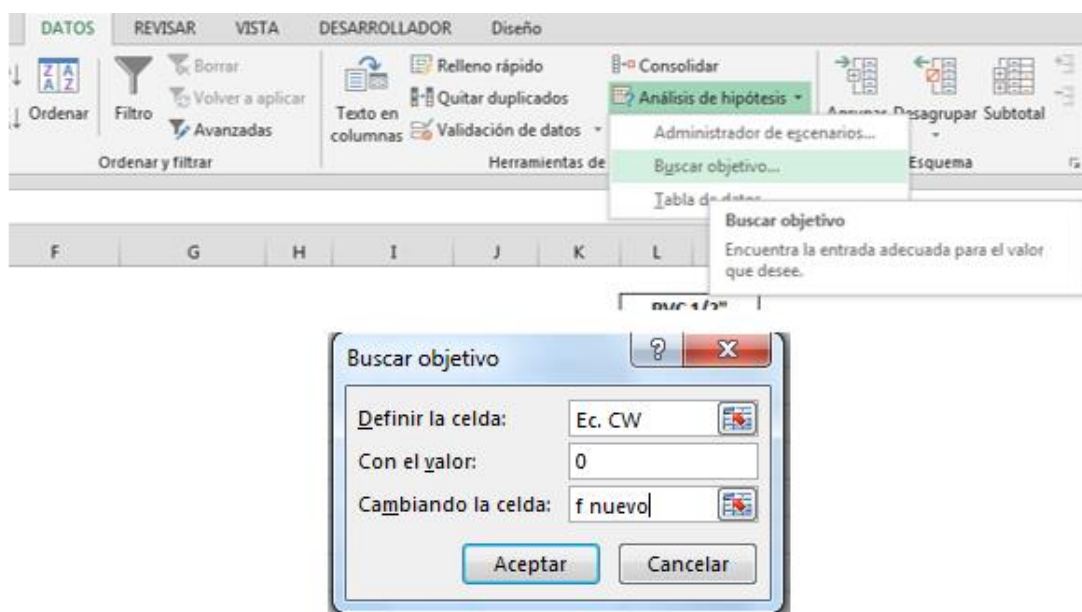
Ecuación 13. Ecuación Colebrook White

- Columna 8: f nuevo. La iteración terminará cuando la columna del “f semilla” y la columna del f nuevo sean iguales.

En la figura 10 se muestra la ruta para encontrar la herramienta “buscar objetivo” en el software Excel la cual es: datos – análisis de hipótesis – buscar objetivo. Donde se ingresan:

- Definir la celda: Ecuación de Colebrook
- Con el valor: valor 0
- Combinando la celda: casilla del dato “f nuevo”

Figura 10. Procedimiento para la función "buscar objetivo"



En la tabla 3 se presentan el número de iteraciones donde se puede observar que la iteración 6 el dato “f semilla” y el dato “f nuevo” son iguales por lo que es en este punto donde se termina el proceso.

Tabla 3. Iteraciones

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|-----------|---------|----------------------|-----------|-------|------------|---------|
| Iteración | f semilla | Cf | Q(m ³ /s) | Re | e/d | Ec. Cw | f nuevo |
| 1 | 0.00800 | 0.00274 | 0.0005 | 3.228E+04 | 9E-05 | -8.161E-04 | 0.02334 |
| 2 | 0.02334 | 0.00800 | 0.0004 | 2.406E+04 | 9E-05 | -4.633E-06 | 0.02496 |
| 3 | 0.02496 | 0.00856 | 0.0003 | 2.352E+04 | 9E-05 | -4.997E-06 | 0.02510 |
| 4 | 0.02510 | 0.00861 | 0.0003 | 2.348E+04 | 9E-05 | -5.041E-06 | 0.02511 |
| 5 | 0.02511 | 0.00861 | 0.0003 | 2.347E+04 | 9E-05 | -5.045E-06 | 0.02511 |
| 6 | 0.02511 | 0.00861 | 0.0003 | 2.347E+04 | 9E-05 | -5.046E-06 | 0.02511 |

El factor de fricción, como se puede observar es igual a 0.02511. Utilizando la ecuación del sistema se podrá determinar el caudal. Para este caso, con las condiciones iniciales y datos de entrada se tiene un flujo de 0.00028 m³/s, lo que es equivalente a 0.28 LPS. Teniendo en cuenta que los tanques de los inodoros pueden almacenar hasta 16L, se determina el tiempo de llenado, como se muestra a continuación.

$$Q = \frac{V}{T_{LL}}$$

Ecuación 14. Ecuación de Caudal

Donde:

- Q: Caudal
- V: Volumen
- T_{LL}: Tiempo

De esta manera, se despeja el tiempo de llenado:

$$T_{LL} = \frac{V}{Q} = \frac{16}{0.28}$$

Ecuación 15. Tiempo de llenado

El tiempo de llenado será de 58 segundos, es decir, aproximadamente un minuto, por lo que cumple con lo el tiempo requerido.

12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se mencionó anteriormente en la metodología, se analizarán los resultados obtenidos en los cálculos para corroborar que el sistema cumple con su objetivo. Adicionalmente, se estima el ahorro que se tendría en las viviendas al implementar éste sistema.

a. ANÁLISIS DE CÁLCULOS

Luego de realizar el cálculo para determinar el caudal óptimo que debe transportar el sistema, es decir 0.28 litros por segundo y teniendo en cuenta la energía que aporta la bomba, así como las pérdidas por accesorios y por fricción que se presentan, se halla el tiempo de llenado considerando el volumen del tanque de 16 L, volumen que generalmente almacenan los inodoros.

Con estos datos propuestos y como se observa en la ecuación 15, el tiempo de llenado hallado fue de 58 segundos, que es cercano al tiempo de llenado que por lo general es de un minuto. Es decir, en el momento en que el usuario ponga en funcionamiento el sistema debe esperar aproximadamente un minuto para realizar la descarga.

Al ser un diseño simple, los componentes y accesorios que se usaron son los más básicos, como la bomba, que aporta un porcentaje mínimo de energía si se tiene en cuenta la energía máxima que podría aportar, también se tiene como referencia la tubería de PVC $\frac{1}{2}$ ", que es la que generalmente usa el acueducto de Bogotá para llevar el agua a los hogares y las uniones que son básicamente los codos de 90 grados de $\frac{1}{2}$ " igualmente.

Entonces, en teoría, con los componentes y cálculos anteriormente mencionados se garantizará que si el sistema de captación está lleno, en el momento de poner en funcionamiento el sistema, este podrá llenar el tanque de un inodoro de 16 litros de agua

en un tiempo aproximado de 58 segundos a un minuto. Hay que tener en cuenta que no todos los tanques son iguales, por lo que para este caso se tomó un caso particular. Es decir, el tiempo de llenado y los cálculos para la implementación del sistema, dependerá del volumen de agua que pueda almacenar el tanque del inodoro.

b. ANÁLISIS DE AHORRO

CASO DE ESTUDIO:

El volumen de agua que puede almacenar el tanque del sistema de reutilización de agua dependerá de las medidas de la ducha. Teniendo en cuenta lo anterior, para este caso se podrán depositar hasta 65 litros de agua gris.

Aproximadamente, un inodoro gasta en promedio 10 litros de agua por descarga. Implementando el sistema, este supliría hasta 6 descargas en caso de estar lleno. Esto representa un ahorro de aproximadamente 60 litros de agua potable diarios en un hogar convencional de 3 a 4 personas.

En la imagen 11 se puede encontrar el recibo de agua de un hogar de cuatro (4) personas en Bogotá, estrato 3, en el cual se puede observar que el consumo en los últimos dos meses fue de 17m^3 y el total a pagar fue de \$111.810.

Figura 11. Factura de agua y alcantarillado por dos meses.

UNA POR 2 MESES

PAGADO JUNIO 23 2020

acueducto
AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá - ESP
TEL: 080.909.094-1

8YoMeQuedoEnCasa

Datos del usuario
BERMA LTDA BERMA LTDA
KR 25A 3 89 AP-462

LOS NARANJOS
BOGOTÁ D.C.

ESTRATO: 1 CLASE DE USO: Residencial
LUGAR/FAMILIA: 1 LUGAR NO RESIDENCIAL: 0

ZONA: 3 CICLO: F3 RUTA: F33204

Fecha del medidor:
MARCA: 80011 MONUMERO: 27088224 TIPO: VOLUMEN DIAMETRO: 1"

Cuenta Contrato
Número para cualquier consulta: 11696177

Factura de Servicios Públicos No.
Número para pagos: 41023780210

TOTAL A PAGAR
Agua + Alcantarillado + Ases (ver al recibo)
+ Cobro a terceros (ver al recibo): \$111,610

Fecha de pago oportuno
JUN/26/2020

Fecha límite de pago para evitar suspensión
JUL/02/2020

Datos del consumo
ULTIMA LECTURA: 1331 CONSUMO (m³): 11
LECTURA ANTERIOR: 1294
FACTURADO COMO: Consumo Potencial Cargas fijas al día

Consumo consumo m³

Periodo facturación
MAR/21/2020 - MAY/20/2020

Para saber cuánto se ahorraría esta familia con el sistema de reutilización hay que tener en cuenta el manejo de las tarifas en el acueducto de Bogotá. Para ello, en la Figura 12 se muestra cómo se establece el resumen del consumo de los últimos dos meses.

Figura 12. Descripción de los costos de la factura Acueducto y Alcantarillado

| Resumen de su cuenta | | RANGO CMO BASICO Bimestral según Resolución CMC 140/2017 | | | | |
|---------------------------------------|----------|--|-------------|----------------------------|--------------------------|------------------|
| Descripción | Cantidad | Costo | | (-) Subsidio (+) Aporte | Tarifa Valor Unitario | Valor a Pagar |
| | | Valor Unitario | Valor Total | | | |
| Acueducto | | | | | | |
| Cargo fijo residencial | 1 | \$13.364,32 | \$13.364 | \$2.004 | \$11.359,88 | \$11.360 |
| Consumo residencial básico | 17 | \$2.610,04 | \$44.371 | \$6.656 | \$2.218,53 | \$37.715 |
| Consumo residencial superior a básico | | | | | | |
| Cargo fijo no residencial | | | | | | |
| Consumo no residencial (m³) | | | | | | |
| Subtotal Acueducto ① | | | \$57.735 | \$8.660 | | \$49.075 |
| Alcantarillado | | | | | | |
| Cargo fijo residencial | 1 | \$6.311,96 | \$6.312 | \$047 | \$5.365,16 | \$5.355 |
| Consumo residencial básico | 17 | \$2.729,30 | \$46.398 | \$6.960 | \$2.319,91 | \$39.438 |
| Consumo residencial superior a básico | | | | | | |
| Cargo fijo no residencial | | | | | | |
| Consumo no residencial (m³) | | | | | | |
| Subtotal Alcantarillado ② | | | \$52.710 | \$7.907 | | \$44.803 |

Como se muestra en la figura 12, el acueducto maneja un costo fijo residencial de un metro cúbico, es decir, lo mínimo que cobra el acueducto es \$13.364 COP. El consumo residencial básico será el consumo del hogar, en este caso 17m^3 , el cual tendría una tarifa de $\$2.610/\text{m}^3$.

En el acuerdo 659 de 2016³⁶ del Concejo de Bogotá, según el estrato, se obtendrá un subsidio o un aporte solidario. En este caso, al ser estrato 3 se obtiene un subsidio del 15%, lo que representa \$8.660 COP, por lo que el pago corresponde a \$49.075 COP.

Para el caso del alcantarillado, se aplica la misma dinámica, sin embargo, cambia la tarifa del cargo fijo residencial y el consumo básico residencial. En este caso se debe pagar en total \$44.803 por alcantarillado y por aseo, como se muestra en la figura 13 se debe pagar \$33.120.

Figura 13. Valor aseo

| ESTADO DE SU CUENTA | | | |
|--|----------|--------------|-----------------------------|
| CONCEPTO | VALOR | CONCEPTO | VALOR |
| Aseo Residencial | \$42.942 | Interés Mora | \$35 |
| Subsidio | \$6.441- | | |
| Benef. Dist. Dec.123/20 | \$3.416- | | |
| Subsidio | 15% | | |
| Aporte | 00% | | |
| Si cancela en cheque el servicio de aseo, girar cheque de gerencia a favor de EAB-ESP-ASEO NIT 899.999.094.1 | | | VALOR ASEO \$ 33.120 |

³⁶ **Concejo De Bogota.** Acuerdo 659 de 2016. *Por el cual se establecen los factores de subsidio y los factores de aporte solidario para los servicios publicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo en Bogotá, Distrito Capital, para el periodo 2017-2021".* Bogotá : s.n., 2016.

Figura 14. Valor alivio COVID



Sin embargo, el recibo tiene un alivio de emergencia por COVID-19, como se muestra en la figura 14 de \$15.300(-).

Es decir: Acueducto + Alcantarillado + Aseo – Alivio emergencia COVID-19 = \$111.810.

Como el recibo de agua llega cada dos meses, se debe calcular cuántos litros de agua se podrían ahorrar en este periodo de tiempo. El ahorro aproximado es de 60 litros diarios, entonces:

$$60 \frac{L}{\text{diarios}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} = 1800 \frac{L}{\text{mes}}$$

Ecuación 16. Conversión consumo de días a meses

En vista de lo anterior, el ahorro será de 3.600 litros de agua, aproximadamente 4m³ en la factura por dos meses. El decir, el consumo de agua se reduciría a 13 m³. De acuerdo con esto, en la tabla 4 se realiza de nuevo el análisis del valor total a pagar en la factura:

Tabla 4. Relación consumos y costos

| Descripción | Cant m³ | Costo | | -15% (-)Subsidio (+) Apoyo | Tarifa V. unitario | Valor a pagar |
|---------------------------------------|------------|--------------|-----------|----------------------------------|-----------------------|------------------|
| | | V. unitario | V. Total | | | |
| Acueducto | | | | | | |
| Cargo fijo residencial | 1 | \$ 13,364.32 | \$ 13,364 | \$ (2,005) | \$ 11,360 | \$ 11,360 |
| Consumo residencial básico | 13 | \$ 2,610.04 | \$ 33,931 | \$ (5,089.58) | \$ 2,219 | \$ 28,841 |
| Consumo residencial superior a básico | - | - | - | - | - | - |
| Cargo fijo no residencial | - | - | - | - | - | - |
| Consumo no residencial | - | - | - | - | - | - |
| Sub total acueducto | | | \$ 47,295 | \$ (7,094.23) | | \$ 40,201 |
| Alcantarillado | | | | | | |
| Cargo fijo residencial | 1 | \$ 6,311.96 | \$ 6,312 | \$ (947) | \$ 5,365 | \$ 5,365 |
| Consumo residencial básico | 13 | \$ 2,729.30 | \$ 35,481 | \$ (5,322.14) | \$ 2,320 | \$ 30,159 |
| Consumo residencial superior a básico | - | - | - | - | - | - |
| Cargo fijo no residencial | - | - | - | - | - | - |
| Consumo no residencial m3 | - | - | - | - | - | - |
| Sub total alcantarillado | | | \$ 41,793 | \$ (6,268.93) | | \$ 35,524 |






| | |
|-----------------------|----------------|
| OTROS COBROS | Total |
| Ajuste a la decena | \$ 5.00 |
| Intereses de mora | \$ 110.00 |
| Alivio covid | \$ (15,300.00) |
| SUBTOTAL OTROS COSTOS | \$ (15,185.00) |
| COSTO ASEO | \$ 33,120.00 |
| TOTAL A PAGAR | \$ 93,659.55 |

Se puede observar que, si se hubiese usado el sistema de reutilización de aguas grises en ese periodo de tiempo, el ahorro económico sería de \$18.150.

c. ANÁLISIS DEL COSTO DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En la tabla 5 se presenta el presupuesto realizado para implementar el diseño en un hogar, teniendo en cuenta los implementos y accesorios propuestos en el diseño.

Tabla 5. Análisis de costo

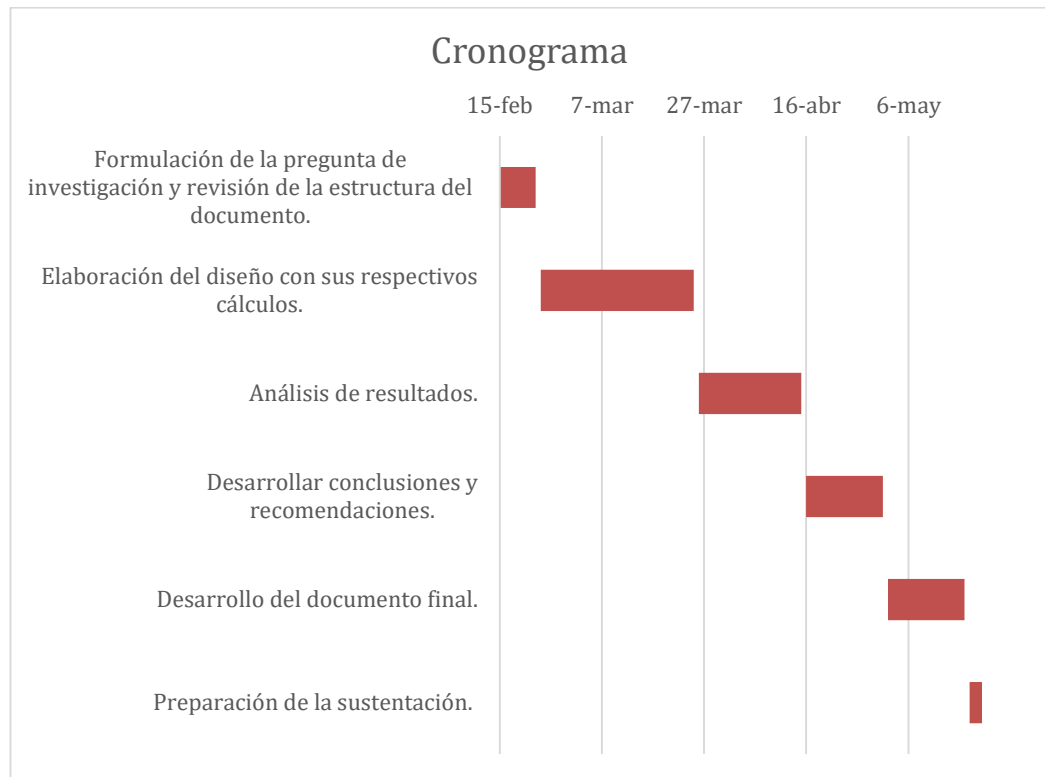
| Descripción | | Cantidad | Unidad | V. unitario | V. total |
|-----------------------|---|----------|--------|---------------|----------------------|
| Bomba Truper 1/6 HP |  | 1 | Unidad | \$ 168.890,00 | \$ 168.890,00 |
| Tubería PVC 1/2" x6m |  | 1 | Unidad | \$ 11.900,00 | \$ 11.900,00 |
| Codo 90° 1/2" |  | 3 | Unidad | \$ 450,00 | \$ 1.350,00 |
| Tee 1/2" |  | 1 | Unidad | \$ 750,00 | \$ 750,00 |
| Tanque 0.15x0.62x0.70 |  | 1 | Unidad | \$ 30.000,00 | \$ 30.000,00 |
| | | | | TOTAL | \$ 212.890,00 |

Según la tabla 5 el costo de los componentes del sistema de reutilización de aguas grises sería en total de 212.890 COP.

13. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

El cronograma de actividades para la ejecución y desarrollo del proyecto con el fin de cumplir los objetivos en el tiempo propuesto se muestra en la figura 15.

Figura 15. Cronograma



(12 de febrero de 2021) [Imagen]. Elaboración propia.

14. PRODUCTOS A ENTREGAR

Este trabajo de investigación tiene como finalidad entregar un documento donde se realice el diseño y análisis de un sistema de reutilización de aguas grises. En dicho documento se incluirá una revisión de diferentes investigaciones sobre el consumo y reutilización del recurso hídrico, con base en la cual se elaborará el diseño. Como se mencionó anteriormente, este diseño se realizará únicamente con base en la teoría de hidráulica y no se realizarán pruebas empíricas en el laboratorio.

15. PRESUPUESTO

En la tabla 6 se presenta el presupuesto realizado para realizar el diseño del prototipo y las herramientas utilizadas.

Tabla 6. Presupuesto

| Descripción | | Cantidad | V. unitario | V. total |
|---------------------------|----------|----------|--------------|---------------|
| Software | Office | 2 | \$ 25,000.00 | \$ 50,000.00 |
| | Sketchup | 1 | \$ 20,000.00 | \$ 20,000.00 |
| 1 mes de internet/persona | | 4 | \$ 80,000.00 | \$ 320,000.00 |
| 1 mes de internet/persona | | 4 | \$ 80,000.00 | \$ 320,000.00 |
| Transportes/persona | | 6 | \$ 2,500.00 | \$ 15,000.00 |
| Total | | | | \$ 725,000.00 |

De acuerdo con la tabla 6 el presupuesto del proyecto de investigación fue de 725.000 COP.

16. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A nivel nacional e internacional es posible apreciar avances en cuanto a prototipos y métodos de reutilización de aguas grises, sin embargo, se evidencia un alto grado de complejidad debido a las dificultades para su instalación. En algunos casos se quiere aprovechar el agua no solo para la descarga de la cisterna, sino que, además, se quiere reutilizar en más actividades. Por lo anterior, varios métodos necesitan de un sistema en el cual debe recolectar el agua y llevarla a un tratamiento para aumentar la calidad del agua lo que requiere no sólo más espacio, sino que sería más complicado, además del costo que conlleva el tratamiento.

Por otro lado, el prototipo propuesto en este trabajo resulta sencillo y de gran utilidad, ya que el agua gris que se recolecta para llenar el tanque del inodoro no requiere ningún tratamiento. Además, es de fácil instalación, debido a que no es necesario realizar intervenciones en paredes ni pisos, sino que se busca unir la tubería a la bomba, dependiendo del diseño y todos sus componentes son de fácil acceso.

De acuerdo con el análisis realizado, el prototipo podría ahorrar al año hasta 20 mil litros de agua, lo que representa una gran cantidad de agua potable, por lo que el prototipo puede ser una gran herramienta para reducir el impacto ambiental que genera una actividad diaria y común como lo es descargar la cisterna. Además, representa un ahorro económico importante, por lo que el sistema sería de bastante utilidad en los hogares.

Los cálculos del sistema van a variar de acuerdo al tamaño de la ducha y dimensiones del baño en general, por lo que es recomendable tomar las dimensiones de cada baño donde se implementaría y actualizar el cálculo del diseño del prototipo del sistema, garantizando así que los datos cumplan con las exigencias del diseño.

Es importante aclarar que el prototipo únicamente transportará las aguas grises provenientes de la ducha, no aguas negras. No obstante, estas están contaminadas por jabón, shampoo y microorganismos por lo que podría afectar el funcionamiento de la bomba, que será la encargada de transportar el agua del sistema de captación al tanque del inodoro. Este flujo debe ser controlado, debido a que este puede rebosar el agua que hay en el tanque del sanitario afectando la infraestructura del baño. De igual manera, se recomienda que el sistema de captación no mantenga las aguas grises por mucho tiempo, ya que esto puede llegar a generar malos olores generando afectaciones en los habitantes de la vivienda. También es recomendable proteger la bomba de la caída de agua de la ducha, debido a que podría sufrir daños y dejar de funcionar correctamente.

Se recomienda tener en cuenta a las personas en condición de discapacidad y de la tercera edad, ya que, al estar una silla de ruedas, muletas o simplemente no tener de donde sostenerse para subir al sistema de captación para tomar una ducha puede representar una desventaja. Por otra parte, también hay que considerar el material del mismo, debido a que entrará en contacto con agua y jabón y puede tornarse resbaloso representando un peligro para el usuario.

Hay que tener en cuenta que el diseño propuesto no podría aplicar para todos los casos de vivienda, ya que hay hogares en los que las duchas y los inodoros no están en la misma ubicación como se observó en esta investigación. Dicho de otras palabras, la distribución del baño en todas las viviendas no es igual, puede ser que el cuarto de ducha y de baño estén separados o que el cuarto de la ducha sea en vidrio templado de piso a techo. Lo anterior, quiere decir que si se quisiera implementar el sistema de reutilización de aguas grises habría que perforar paredes o vidrios según el caso lo que haría que la instalación sea más compleja. Para futuras investigaciones se recomienda

realizar un prototipo en físico para realizar pruebas y validar el diseño del sistema, los resultados de estas pruebas se pueden socializar por medios digitales y dar a conocer por medio de interpretaciones, para que la sociedad perciba la cantidad de agua utilizada en cada descarga del inodoro y conozca la importancia de la reutilización del recurso.

17. BIBLIOGRAFÍA

- Al-Jayyousi. (2003). Greywater reuse: towards sustainable water management. *ELSEVIER*.
- AYA. (2010). *Consumo de agua en una vivienda*.
- Carrión, M. (20 de Marzo de 2020). *El agora diario*. Obtenido de ¿Cuánta agua hay en el planeta?: <https://www.elagoradiario.com/agorapedia/cuanta-agua-planeta/>
- Castellanos Rincón, L. J., & García Parra, C. A. (03 de Julio de 2015). *PROTOTIPO DE SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO AGUAS LLUVIAS*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2408/1/Final%20Trabajo%20de%20Grado.pdf>
- Cerce, D. (13 de Enero de 2015). *LENS.ORG*. Obtenido de Grey Water Toilet: <https://www.lens.org/lens/patent/119-143-482-324-167>
- Cirelli, A. F. (11 de Diciembre de 2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 148.
- Cosín, C. (15 de Mayo de 2017). *Reutilización, la gran asignatura pendiente a nivel mundial*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/carlos-cosin/reutilizacion-gran-asignatura-pendiente-nivel-mundial>
- Coskun, S. (16 de Septiembre de 2008). *EcoInventos*. Obtenido de Washup. Lavadora-inodoro.: <https://ecoinventos.com/washup-lavadora-inodoro/>
- Díaz Oviedo, J. J., & Ramirez Mielles, L. Y. (14 de Mayo de 2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DEL AGUA*. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3140/1/D%C3%ADazOviedoJhonJairo2016.pdf>
- Ecoagua. (s.f.). *Reutilización de aguas grises y pluviales*. Obtenido de <https://tectonica.archi/materials/reutilizacion-de-aguas-grises-y-pluviales/>
- EcoInventos. (8 de Mayo de 2020). *Sistema para aprovechar el agua de la ducha diseñado en Colombia*. Obtenido de <https://ecoinventos.com/sistema-para-aprovechar-el-agua-de-la-ducha-disenado-en-colombia/>
- Eriksson, E., Solvejg Auffarth, K., Henze, M., & Ledin, A. (Marzo de 2002). *Characteristics of grey wastewater*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462075801000644>
- esferic better things. (7 de Abril de 2015). *esferic.com*. Obtenido de Waterdrop: <https://esferic.com/es/>
- Ilemobade, A., Olanrewaju, O., & Griffioen, M. (2013). *Greywater reuse for toilet flushing at a university*. Johannesburg: Special Edition.
- Instituto Carlos Slim de la salud. (2012). *Las aguas jabonosas*. Estado de México.
- Kohler Co. (31 de Diciembre de 2015). *LENS.ORG*. Obtenido de Grey Water Toilet And Flushing Method: <https://www.lens.org/lens/patent/050-566-640-251-104/fulltext>

- Mahdjoubi, M. (15 de Noviembre de 2015). *EcoInventos*. Obtenido de Ducha OrbSys. Permite ahorrar un 90% en agua y un 80% en energía: <https://ecoinventos.com/ducha-orbsys-permite-ahorrar-un-90-en-agua-y-un-80-en-energia/>
- Metcalf & Eddy Inc. an AECOM Company. (2007). *Water reuse: issues, technologies, and applications*. New York: McGraw-Hill.
- Ministerio de la Presidencia. (2007) Real Decreto 1620/2007. *Real Decreto 1620/2007*. Madrid.
- Nebia. (10 de Septiembre de 2015). *Kickstarter*. Obtenido de Nebia Shower - Better experience, 70% less water: [https://www.kickstarter.com/projects/nebia/nebia-shower-better-experience-70-less-water?lang=es#:~:text=Nebia%20atomizes%20water%20into%20millions,area%20than%20your%20regular%20shower.&text=In%20fact%2C%20Nebia%20uses%2070,than%20a%20typical%20household%](https://www.kickstarter.com/projects/nebia/nebia-shower-better-experience-70-less-water?lang=es#:~:text=Nebia%20atomizes%20water%20into%20millions,area%20than%20your%20regular%20shower.&text=In%20fact%2C%20Nebia%20uses%2070,than%20a%20typical%20household%20)
- Penn, R., Friedler, E., & Ostfeld, A. (2013). *Multi-objective evolutionary optimization for*. Haifa: ELSEVIER.
- Pulido, S., Miranda, V., Guavita, M., & Molano, E. (05 de Diciembre de 2014). Obtenido de PTAR-Uniminuto: <https://sites.google.com/site/ptaruniminuto/origen-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales>
- Sancha Fernández, A. M., & Ahumada Theoduloz, G. (22 de Junio de 2007). *Tratamiento y reutilización de aguas grises con la aplicación a caso Chile*. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104596/franco_m.pdf;sequence=3
- The earth works group. (2006). *50 Cosas sencillas que tú puedes hacer para salvar la tierra*. España: BLUME.
- UNESCO. (2012). *AGUA PARA UN MUNDO SOSTENIBLE*.
- UNESCO. (2017). *unesco.org*. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-31-population-increase-water-stress/>
- UNESCO. (2017). *unesco.org*. Obtenido de UNESCO: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact1-demographics-consumption/>
- Vasquez, A. (08 de Mayo de 2020). *Sistema para aprovechar el agua de la ducha diseñado en Colombia*. Obtenido de <https://ecoinventos.com/sistema-para-aprovechar-el-agua-de-la-ducha-disenado-en-colombia/>
- World Economic Forum. (31 de Marzo de 2017). *La economía del agua: El futuro se acerca complicado*. Obtenido de <https://es.weforum.org/agenda/2017/03/la-economia-del-agua-cada-vez-sera-mas-importante/>

