

Sistema de reutilización de agua proveniente del lavado en lavadora o lavadero¹

RESUMEN

En este documento se presenta el diseño y la fabricación del sistema de reutilización de aguas grises provenientes del lavado, ya sean del lavadero o lavadora. Su principal función es tratar el agua resultante del lavado con el fin de reutilizarla nuevamente para la descarga del sanitario y el lavado de segunda necesidad.

Palabras clave: reutilización, tratamiento, ahorro, agua gris.

1. Introducción

La oferta mundial de agua ha ido disminuyendo desde hace algunos años, a pesar de que nuestro planeta está cubierto en un 70% por este líquido; desafortunadamente, sólo el 2% es agua dulce y la restante se localiza en los océanos, que para ser utilizada requiere de tecnologías costosas. Al contrario, la demanda de agua tiende a aumentar debido al crecimiento urbano e industrial.

Por otra parte, la población humana es directamente responsable del abuso y despilfarro de este líquido vital; es común ver el consumo de agua potable en el lavado de objetos y la descarga sanitaria, eventos en los cuales es inevitable utilizar agua con estos estándares de calidad. Por tanto se podrían implementar sistemas de reciclado y reutilización de aguas grises sin llegar a un nivel de potabilización.

En esta dirección, recuperar el agua resultante del lavado para que sea reutilizada en la descarga del sanitario y nuevamente en lavados de segunda necesidad, es el objetivo general de este trabajo. Se muestra, entonces, el diseño y fabricación de un sistema compacto que tratará el agua recolectada del lavado en lavadero o lavadora, usando los procesos de recuperación más favorables

Autores

Giovanny Castiblanco Marín²

Hernán Darío Romero Romero³

Director

Luis E. Alférez Rivas

¹ Ingeniería mecánica.

² Ingeniero mecánico, e-mail: Giovannycas9@yahoo.com.ar

³ Ingeniero mecánico, e-mail: daioseiryuu@yahoo.com.ar

con relación a los tipos de contaminantes presentes en esta clase de aguas. Como el agua no es potabilizada se busca mejorar su aspecto físico reduciendo su turbiedad, olor, color y cantidad de tensoactivos, así como su desinfección con el fin de reducir las bacterias y virus presentes en estas aguas grises. De esta manera se ahorrará agua potable en el consumo de la descarga del sanitario y lavado ya que en estos casos se usará el agua tratada por el sistema, alcanzando también un ahorro económico en el pago del recibo de este servicio.

2. Contenido

Para efectuar un tratamiento óptimo y adecuado del agua gris resultante del lavado, se realizó como primera medida una caracterización inicial, la cual permite conocer los diferentes contaminantes del agua con el fin de seleccionar los procesos de descontaminación más adecuados.

2.1 Caracterización del agua gris e identificación de contaminantes

La caracterización es un conjunto de métodos encargados de evaluar diferentes parámetros en el agua, que busca dar a conocer su calidad, y por consiguiente arroja los niveles de contaminantes presentes o disueltos en ella.

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la caracterización aplicada al agua gris, después de ser recolectada del lavado en lavadero y lavadora.

Tabla 1. Caracterización del agua gris.

Parámetro	Cantidad
DBO5(mg/L O ₂)	951
DQO (mg/L O ₂)	1826
Turbiedad (NTU)	353
Tensoactivos (mg/L)	91,5
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	405
Color (Pt/Co)	416
Aceites y Grasas (mg/L)	44
pH	9.42
Coliformes Totales (UFC/100ml)	---

Como se muestra en la Tabla 1, se tienen altos índices de DBO y DQO que muestran la presencia de bacterias en una escala considerable; se encuentra también una alta cantidad de tensoactivos, que corresponden a jabones y detergentes, así como también turbiedad y sólidos suspendidos que en altas concentraciones hacen que el agua se vea oscura. Estos son los parámetros que se deben eliminar o reducir al mínimo con el sistema de reutilización de aguas grises.

2.2 Procesos de descontaminación del agua más favorables para el diseño y desarrollo del sistema de recuperación

Un sistema de recuperación de agua se encuentra compuesto por diferentes operaciones que individualmente retiran algún agente contaminante. La combinación de varias operaciones tiene el nombre de tratamiento y este debe tener la capacidad de retirar todas las sustancias que interfieren en la reutilización del agua proveniente del lavado y que se usará nuevamente para el lavado y la descarga del sanitario.

Con el fin de reducir o retirar totalmente los sólidos suspendidos y disminuir la turbiedad y al mismo tiempo bajar los índices de DBO y DQO, el sistema de reutilización debe contar con un proceso de clarificación y uno de desinfección. Por tanto, el sistema está compuesto por un proceso de coagulación y floculación, seguido de una filtración y finalmente la desinfección con la adición de cloro.

3. Sistema de reutilización de aguas grises

El sistema está compuesto de un mezclador, un difusor de sulfato de aluminio, un floculador de dos secciones y un tanque de almacenamiento para el tratamiento primario. Se tiene una bomba centrífuga, una red de filtrado para el tratamiento secundario, el clorador para la desinfección y el tanque de almacenamiento de agua tratada.

a. Coagulación y floculación

El sistema cuenta con un proceso de coagulación y floculación, tratamiento de tipo químico, donde se suministran 24 ml/L de sulfato de aluminio, preparados en una solución al 10%; este dato se obtuvo con un análisis de prueba de jarras hecho en un laboratorio especializado, con el fin de encontrar la cantidad óptima de coagulante necesario de acuerdo con las características del agua gris que será tratada [2, pág. 51-54].

Mediante el diseño de un difusor se suministra un caudal de 1 L/min de sulfato de aluminio para el tratamiento de 40 L/min, siendo este el caudal de diseño para el mezclador y floculador.

La mezcla del sulfato de aluminio con el agua gris se lleva a cabo en un mezclador de resalto hidráulico, el cual aprovecha un cambio de pendiente para producir una zona de alta turbulencia y gradientes de velocidad del orden de 1000 s^{-1} [1, pag. 94]. Como se muestra en la Figura 1, el agua gris es impulsada hasta el principio del resalto; antes del cambio de pendiente ésta recorre el trayecto inclinado y finalmente se produce la zona de turbulencia donde se ubica el difusor y se suministra la dosis del sulfato de aluminio. La mezcla es realizada en un tiempo de un 1 seg.

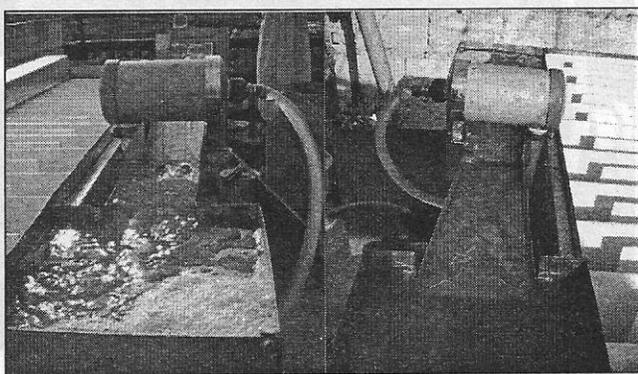


Figura 1. Mezclador de resalto hidráulico y difusor de sulfato de aluminio.

El agua gris con el sulfato de aluminio disuelto en ella pasa a través del floculador (ver Figura 2.), el cual es el encargado de producir una mezcla lenta con el fin

de permitir la formación de floculos. Estos se crean debido a la turbulencia que genera el movimiento de ida y venida y giros de 180° que hace el líquido a través de los tabiques.

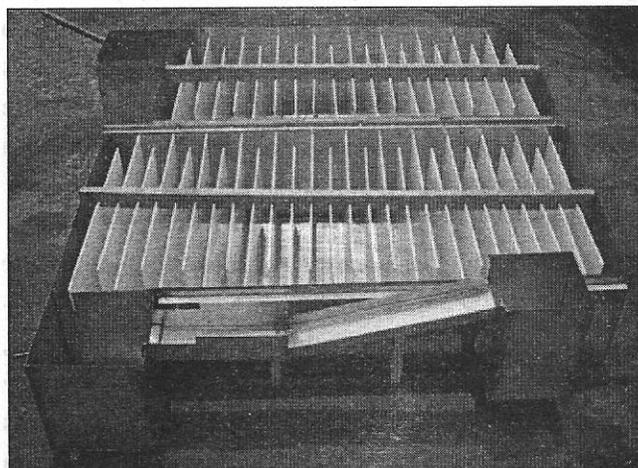


Figura 2. Mezclador y floculador ensamblados.

El floculador se diseñó para manejar un caudal de 40 L/min y con dos secciones diferentes que generan dos gradientes de velocidad de $37,74 \text{ s}^{-1}$ y $22,44 \text{ s}^{-1}$, para la primera y segunda sección respectivamente. El tiempo de retención del agua en el floculador es de 6 minutos a su máxima capacidad desde el inicio hasta el final del trayecto.

En la Figura 2 se muestra el conjunto mezclador y las dos secciones del floculador ensamblados, estos fueron fabricados en lámina galvanizada cal 20.

b. Filtración y bomba

La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. En general, la filtración es la operación final de clarificación que se realiza en una planta de tratamiento de agua y, por consiguiente, es la responsable principal de la producción de agua de buena calidad.

El sistema de filtrado se compone de tres filtros, cada uno con un medio filtrante diferente, que trabajan

con un sentido de flujo descendente y bajo presión. El primer filtro está compuesto por un lecho único de antracita con una altura de 60 cm, este material se caracteriza por su gran capacidad para retener sólidos. El segundo filtro se forma de un lecho mixto compuesto por una capa inicial de 25 cm de altura de antracita seguido por una capa de 40 cm de arena, este tipo de lechos mixtos permiten excelentes rendimientos, con tasas de filtración significativamente elevadas, comparados con filtros construidos únicamente de arena.

Por último se dispone de un filtro compuesto por una capa de 60 cm de carbón activado; este es un material natural con millones de agujeros microscópicos, se utiliza normalmente para remover sabores, olores y químicos orgánicos. También es uno de los procesos finales del sistema de tratamiento de agua, su función es pulir la descarga final.

Adicionalmente el sistema de filtrado trabaja con una bomba centrífuga, que es la encargada de transportar el agua floculada desde el tanque de almacenamiento hasta los filtros y al clorador. La bomba es de marca Pedrollo de referencia PKm 60, maneja un caudal máximo de 40 L/min y una altura máxima de 40 m.

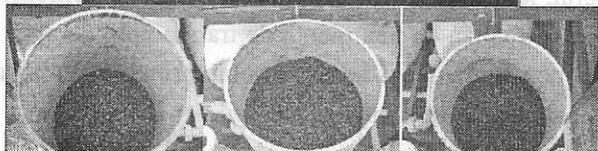
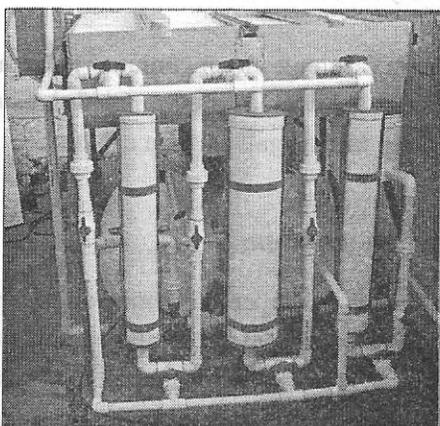


Figura 3. Sistema de filtrado y medios filtrantes (de izquierda a derecha antracita, antracita-arena y carbón activado).

En la Figura 3 se muestra el sistema de filtrado construido con tubería PVC sanitaria de 1" con sus respectivos accesorios; los filtros se fabricaron en tubos PVC sanitario de 4" y 6". La red de lavado que se muestra en la figura con las válvulas de color rojo solo estará en operación cuando se necesite hacer el lavado de los filtros a contracorriente.

c. Cloración

El último paso del sistema de reutilización de aguas grises es la desinfección, la cual se realiza con un dispositivo simple de cloración. Para esto, se regula la cantidad de cloro y el contacto de éste con el agua ya filtrada, mediante el control del nivel de agua en el recipiente y con una pastilla de cloro de 200g de efervescencia lenta, ver Figura 4. El tiempo de retención del agua en este recipiente es de 2 min.

La cloración tiene por objeto reducir los malos olores, reducir el DBO, controlar la formación de espuma y lo más importante controlar el crecimiento de bacterias y coliformes.

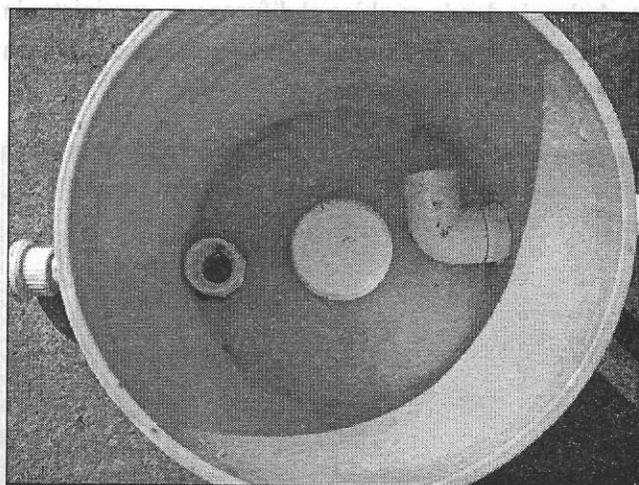


Figura 4. Dispositivo de cloración.

Por último, el agua tratada se almacena en un tanque con una capacidad de 120L. El sistema también cuenta con una estructura construida en perfil en ángulo de 1", que tiene la finalidad de dar soporte al mezclador y floculador al igual que permite la correcta ubicación de

los demás componentes y procesos del sistema. En la Figura 5 se muestra el sistema en su totalidad.

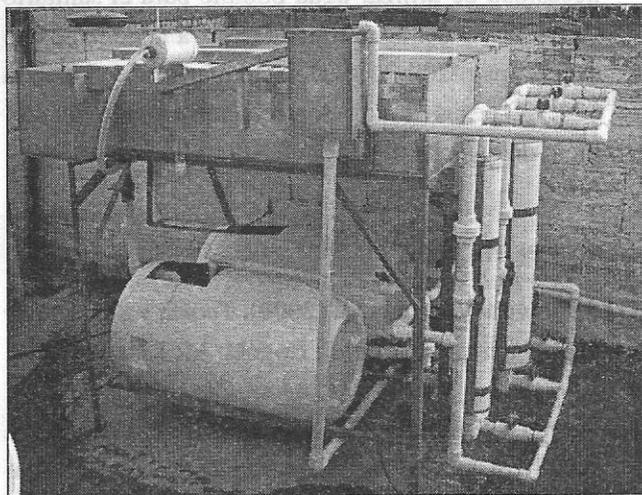


Figura 5. Sistema de reutilización de aguas grises.

4. Resultados

El funcionamiento del proceso de coagulación y floculación resultó satisfactorio y trabajó según lo esperado, ya que su diseño se basó en la prueba de jarras realizada y por consiguiente se lograron formar flóculos de buenas proporciones, de fácil sedimentación y que son removidos sin problema por el sistema de filtración.

El sistema de filtrado demostró mejores resultados con una velocidad de flujo no mayor a 3L/min, donde se obtuvo un agua casi cristalina con un nivel de turbiedad muy baja, ver Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización final y porcentaje de remoción.

Parámetro	Caracterización Final	Porcentaje de Remoción
DBO5(mg/L O ₂)	24	97.476
DQO (mg/L O ₂)	90	95.071
Turbiedad (NTU)	9.99	97.170
Tensoactivos (mg/L)	2.8	96.940
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	25	93.827
Color (Pt/Co)	50	87.981
Aceites Y Grasas (mg/L)	31.2	29.091
pH	4.61	---
Coliformes Totales (UFC/100ml)	---	---

La Tabla 2 muestra la caracterización final hecha al agua tratada e indica el porcentaje de remoción comparado con el resultado de la Tabla 1.

Como podemos notar, con el sistema de reutilización de aguas grises se logró remoción de hasta el 97% de la turbiedad y 93% de sólidos suspendidos, lo que mejora el color (Figura 6) y reduce los índices de DBO5 y DQO, al mismo tiempo que no se encontró presencia de coliformes, haciendo del agua resultante óptima para el uso nuevamente en el lavado y para la descarga del sanitario [2, pág. 208].

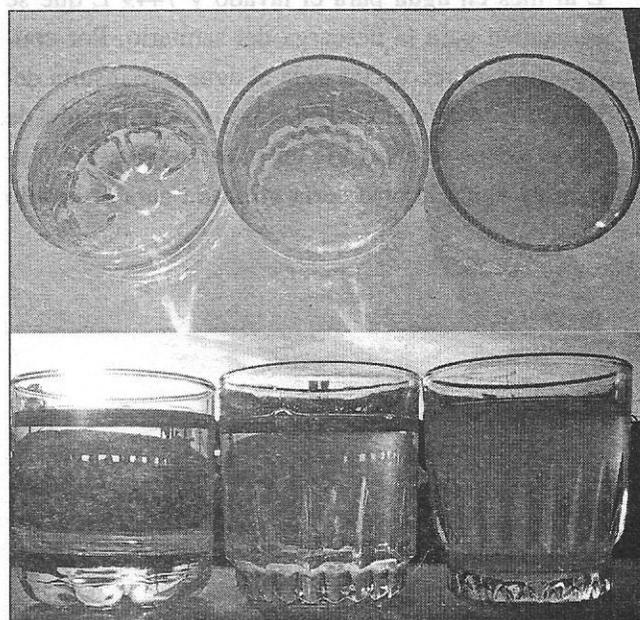


Figura 6. De derecha a izquierda, agua sin tratamiento, agua tratada a una velocidad de 10L/min y agua tratada a una velocidad de 3L/min.

5. Conclusiones

Con el resultado obtenido en la caracterización final se comprobó el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema; esto se evidencia al comparar la caracterización inicial (Tabla 1) con la final (Tabla 2, Figura 6). Como se observa, el DBO5 y el DQO presentaron una disminución del 97,476% y 95,071% respectivamente; para los tensoactivos la reducción fue de 96,939%, la turbiedad y el color bajaron en un 97,169% y 87,981% respectivamente y, final-

mente, los sólidos suspendidos totales descendieron un porcentaje de 93,827% y no se encontraron coliformes en la muestra de agua tomada. Por consiguiente se evidencia que el sistema permite una remoción de agentes contaminantes del 94,743%. Lo anterior indica que los procesos seleccionados para el tratamiento cumplieron satisfactoriamente su función al reducir los contaminantes presentes en el agua gris.

Con relación al ahorro de agua para una casa de estrato tres donde viven 3 familias, se encontró mediante un estudio que este hogar consume 11278,67 L al mes en agua para el lavado y 7449 L que se consumen para la descarga del sanitario. Por consiguiente, al recolectar toda el agua que resulta del lavado e instalando el sistema de reutilización de aguas grises se ahorraría en su totalidad este volumen de agua, la cual sería utilizada para el lavado



Figura 6. De derecha a izquierda, agua sin tratamiento, agua tratada a una velocidad de 10 L/min y agua tratada a una velocidad de 3 L/min.

3. Conclusiones

Con el resultado obtenido en la caracterización final se comprobó el correcto funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema; esto se evidencia al comparar la caracterización inicial (Tabla 1) con la final (Tabla 2, Figura 6). Como se observa, el DBO₅ y el DCO presentaron una disminución del 97,476% y 97,071% respectivamente, para los reactores la retención fue de 96,939%, la turbiedad y el color bajaron en un 97,169% y 87,981% respectivamente y, final-

de pisos y en otros usos secundarios que no fuera el lavado de útiles de cocina; además no habría la necesidad de utilizar agua potable para el sanitario ya que parte del agua tratada cubrirá la demanda de este [2, pág. 209-213]. De esta manera se ahorraría \$24.939 pesos al mes, con relación al pago del servicio del agua.

6. Referencias

[1] **Arboleda-Valencia, J. (2000).** *Teoría y práctica de la purificación del agua.* Bogotá: Mc Graw- Hill.

[2] **Romero-Romero, H. & Castiblanco-Marín G. (2008).** *Sistema de reutilización de agua proveniente del lavado en lavadora y/o lavadero.* Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, ingeniería mecánica: Bogotá.

4. Resultados

El funcionamiento del proceso de coagulación y floculación resultó satisfactorio y trabajó según lo esperado, ya que su diseño se basó en la prueba de jaras realizadas y por consiguiente se lograron formar flocos de buenas proporciones, de fácil sedimentación y que son removidos sin problemas por el sistema de filtración.

El sistema de filtrado demostró mejores resultados con una velocidad de flujo no mayor a 3 L/min, donde se obtuvo un agua casi cristalina con un nivel de turbiedad muy baja, ver Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización final y porcentaje de remoción.

Parámetro	Caracterización Final	Porcentaje de Remoción
Coliformes Totales (UFC/100ml)	---	---
pH	6.83	---
Acidez y Grasa (mg/L)	11.5	59.891
Color (PCU)	30	87.987
Formas (mg/L)	13	93.827
Sólidos suspendidos	---	---
Turbiedad (NTU)	1.8	96.940
Tenacidad (mg/L)	9.49	97.170
Albúmina (mg/L)	50	97.071
DBO ₅ (mg/L)	24	97.476