

## ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE FILTRO GRUESO PARA AGUAS GRISES DE DESECHOS EN EL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TEHUACÁN

---

### *José Enrique Salinas Carrillo*

Maestro en ciencias de los materiales, con esp. en ciencia de los materiales, catedrático del departamento de ciencias de la tierra

### *Miguel Villano Arellano*

Maestro en ciencias de la ingeniería mecánica, catedrático del departamento de metalmecánica

### *Thanya de Jesús Ortiz Aguilar*

Dra. en ciencias de la educación, Ing. Químico UDLA, catedrática del departamento de Ingeniería Bioquímica ciencias básicas

### *Héctor Franco Salazar*

Ingeniero civil, Catedrático del área de ciencias de la tierra en el Instituto Tecnológico de Tehuacán

All content in this magazine is licensed under a Creative Commons Attribution License. Attribution-Non-Commercial-Non-Derivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).



**Resumen:** En el presente artículo se estudia la propuesta de filtro basado en arenas para usarse en aguas grises, tomando como referencia algunos parámetros solicitados por la norma mexicana

NMX-AA-008-SCFI-2016, tales como PH, turbidez, viscosidad cinemática, densidad, DQO. El estudio consiste en tres etapas, la primera antes de ser usada el agua y convertida en agua gris, la segunda cuando ya es considerada agua gris y la tercera después de pasar por el filtro. Una vez que se determinan los parámetros antes mencionados, estos se comparan con los Límites permisibles en suelo para aguas de riego de áreas verdes, tomando como referencia el estándar requerido para considerar que el agua obtenida a la salida del filtro sea apta para riego.

**Palabras-clave:** Aguas grises, Filtros, Caracterización

## INTRODUCCIÓN

En la una buena parte de países se considera que la sostenibilidad económica y el medio ambiente son dos cosas que deben ir de la mano, sin embargo, existen evidencias de que se elaboran muchas normas pero la aplicabilidad es baja (Pinilla, 2013).

Parte importante resulta el conocer la calidad del agua para usos diferentes, entre ellos el de consumo Humano, para lo cual se consideran aspectos Fisicoquímicos y microbiológicos de afluentes de agua (Miranda, Ramirez, & Sanchez Ortiz, Evaluación de la calidad del agua para consumo Humano mediante indicadores Físico químicos y microbiológicos en el Rio Algodonal., 2016).

También otro mecanismo de evaluación de la calidad del agua tiene que ver con la existencia de macroinvertebrados acústicos (Cadena M & Darío, 2016).

El usar agua proveniente de corrientes establecidas implica en la mayoría de los casos realizar un proceso de limpieza de partículas

con tamaños y características indeseables (Marcucci-Pico, Moreno-Uribe, Sánchez-Lobo, & Herrera-Castillo, 2023).

Aun teniendo amplia variedad climática y una gran oferta de bienes y servicios, países, presentan crisis se ven envueltos en crisis ambientales por deficientes tanto políticas como administraciones. (Angarita Acosta, 2012)

Fuentes de agua subterránea destinada al abastecimiento público, ganadería, agricultura y pequeña industria son otras fuentes que considerar que también requieren de estudios de calidad Fisicoquímica del agua (Armenta-Jimenez & Gallardo-Amaya, 2016).

El tratamiento de aguas grises es un problema latente; requiere solución ya que actualmente existe carencia del vital líquido, el cual en el mejor de los casos es llevado a los drenajes mezclándose con aguas negras, cosa que agrava la necesidad de limpiar dicha agua y considerarla como susceptible para usos posteriores, cercanos al lugar donde se produce el agua gris. Una opción viable es que dicha agua sea utilizada previo filtrado, para el riego del jardín de casa, para limpieza de pisos o uso en el sanitario.

La propuesta que buscamos implementar implica la elaboración de un filtro y la definición de los componentes necesarios para llevar a cabo el proceso de limpiado de dichas aguas grises, proponiéndonos el siguiente objetivo.

## OBJETIVO GENERAL

Experimentar con una combinación de 3 capas de arena con tamaños de partículas diferentes, con la característica de hacer fluir las aguas grises y la finalidad de determinar si los parámetros elegidos para tamaño de partículas de las arenas permiten que el agua a la salida de la combinación de capas cumpla con los estándares para considerar dicha agua como de uso en jardines. La caracterización

de la propuesta del filtro requerirá medir los parámetros PH, turbidez, viscosidad cinemática, densidad, DQO.

## OBJETIVOS PARTICULARES

Diseñar y construir un prototipo de filtro partiendo de elementos disponibles en la región., definiendo los espesores y tamaños de partículas de las 3 capas.

Reportar los valores obtenidos de los parámetros, viscosidad dinámica, viscosidad cinemática, densidad, densidad relativa, peso específico, DQO, turbidez, PH.

## ANTECEDENTES

Las aguas grises son aguas provenientes de lavadoras, regaderas, tinas y lavabos. Son aguas residuales que tuvieron un uso ligero, que pueden contener jabón, cabello, suciedad o bacterias, pero que están suficientemente limpias para regar las plantas. En algunos lugares, el agua de la tarja de la cocina es considerada agua gris, mientras que en otros lugares es clasificada como “aguas negras” lo mismo que el agua del inodoro. El agua proveniente del inodoro, así como el agua del lavado de pañales, no debe ser considerada agua gris. Reutilizar las aguas grises es un componente importante de las prácticas sustentables del uso de agua, hay muchos beneficios en el uso de las aguas grises en lugar de agua potable para el riego (Club iagua, 2017) (final G W manual, 2015).

Las aguas grises son un recurso, una vez recicladas, pueden sustituir al agua de consumo humano en algunos usos comunes como: recarga de cisternas de WC, riego de jardines, limpieza y baldeo de pavimentos entre otros, en construcciones como: viviendas, hoteles, polideportivos, edificios Industriales (Aqua España, 2018).

Las aguas grises o jabonosas se generan en las actividades cotidianas de aseo personal y del hogar. El filtro jardinera es un pequeño

humedal con plantas de pantano que permite la reutilización del agua para riego (s.f, 2022), para los filtros jardinera se requiere adicionalmente una trampa de grasas.

Las dificultades de abastecimiento se ven aumentadas debido a la infiltración de aguas residuales causando contaminación e incrementándose enfermedades. Una alternativa es encontrar tratamientos del agua residual que permitan una reutilización del agua tratada para ciertos usos mediante la utilización de los filtros para aguas residuales (GRUPO VENTO, 2017).

Una propuesta implementada muestra que es posible purificar las aguas que se desechan en los hogares, llamadas grises, una vez utilizado, el líquido pasa por un filtro de arenas para remover el jabón e impurezas que pudiera contener. Posteriormente, ya filtrado, se manda a una cámara en donde hay luz ultravioleta LED y una malla recubierta de dióxido de titanio, que es inocuo, y no contamina (Club iagua, 2017).

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

El problema del uso de las aguas residuales se encuentra normado en México, a través de la norma de uso de aguas residuales. Dicha norma la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-SEMARNAT-2021, que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos.

Dentro de dicha norma se establecen como parámetros básicos a considerar los siguientes: grasas y aceites, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, carbono orgánico total, nitrógeno total, *Kjeldahl*, de nitritos y de nitratos, expresadas como mg/L de nitrógeno, fósforo total, temperatura y pH.

Estos parámetros básicos y los contaminantes patógenos y parasitarios, metales y cianuros para las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, no deben exceder el valor indicado como límite

permisible de acuerdo con el tipo de cuerpo receptor como se ilustra en las Tablas 1 y 2, en estas tablas aparece el límite permisible cuando el agua está contemplada para uso en riego, estas normas son con el fin de proteger, conservar y mejorar la calidad de las aguas y bienes nacionales.

Respecto a la toxicidad del agua de las descargas de aguas residuales vertidas a cuerpos receptores, la norma establece que los análisis de las descargas deberán efectuarse mediante muestras simples. Y

la evaluación se realizará a través de *Vibrio fischeri photobacterium phosphoreum*. El límite permisible es menor o igual a 2 Unidades de Toxicidad (UT). Las Unidades de Toxicidad (UT), se determinan por la ecuación 1:

$$1UT = 100/CE50 \quad (1)$$

Dónde CE50 es la concentración que genera efectos adversos, letales o no letales en el 50% de los organismos de prueba expuestos o en el parámetro biológico seleccionado para evaluar el efecto tóxico.

Parámetros (*) (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	Suelo		
	P.M	P.D	VI
Temperatura (°C)	35	35	35
Grasas y Aceites	15	18	21
Sólidos suspendidos totales	30	36	42
Demanda química de oxígeno (DQO)	60	72	84
Carbono orgánico total	15	18	21
Nitrógeno total	NA	NA	NA
Fósforo total	NA	NA	NA
Huevos de <i>Helminthos</i> (huevos/litro)	1	1	1
( <i>Escherichia coli</i> NMP/100ml)	250	500	600
<i>Enterococos fecales</i> (NMP/100ml)	250	400	500
pH (UpH)		6-9	
Color verdadero	Longitud de onda	Coeficiente de Absorción espectral máximo	
	436mm	7.0m-1	
	525mm	5.0m-1	
	620mm	3.0m-1	
Toxicidad Aguda (UT)		2 a los 15 minutos de exposición	

**Tabla 1** Límites permisibles en suelo para aguas de riego de áreas verdes, extraído de la NOM-001-SEMARNAT-2021.

N.A: No aplica

P.M: Promedio Mensual

P.D: Promedio Diario

VI: Valor instantáneo

NMP: Número más probable

UpH: Unidades de pH

U.T.: Unidades de Toxicidad

Parámetros (miligramos por litro)	Suelo		
	Riego de áreas verdes		
	P.M	P.D	P.I
Arsénico	0.2	0.3	0.4
Cadmio	0.05	0.075	0.1
Cianuro	2	2.5	3
Cobre	4	5	6
Cromo	0.5	0.75	1
Mercurio	0.005	0.008	0.01
Níquel	2	3	4
Plomo	0.5	0.75	1
Zinc	10	15	20
Parámetros medidos de manera total	P.M: Promedio Mensual		
	P.D: Promedio Diario		
	V.I: Valor Instantáneo		

**Tabla 2** Límites permisibles para metales y cianuros en suelos para riego de áreas verdes, extraído de la NOM-001-SEMARNAT-2021.

En nuestro caso de estudio se considera como una muestra simple, la salida de agua de un lavabo, el agua puede dar servicio para el lavado de manos, lavado de dientes o lavado de cara, u otro servicio, entonces una muestra simple constará del agua necesaria para uno de estos servicios.

La muestra compuesta se podrá elaborar tomando una sucesión al azar de servicios del agua del lavabo, hasta completar una cantidad razonable de agua para el análisis.

De manera análoga la muestra compuesta a la salida del filtro se podrá tomar de otra sucesión de servicios de filtrado, tomados al azar.

Consideramos el caudal de descarga simple ( $Q_i$ ), como la cantidad de agua por servicio en litros dividido entre el tiempo promedio de servicio.

En tanto que el gasto compuesto (VMC) lo consideraremos como la suma de los gastos simples muestreados.

El volumen de cada muestra simple necesario para formar la muestra compuesta se determina mediante la ecuación 2:

$$VMSi = VMC * (Qi/Qt) \quad (2)$$

Donde:

$VMSi$  = volumen de cada una de las muestras simples “i”, en litros.

$VMC$  = volumen de cada muestra compuesta necesario para realizar la totalidad de los análisis de laboratorio requeridos, en litros.

En tanto que podemos obtener el caudal total mediante la ecuación 3

$Q_i$  = caudal medido en la descarga al momento de colectar la muestra simple, en litros por segundo.

$$Q_t = \sum_i Q_i \quad (3)$$

$Q_t$  = Suma de  $Q_n$  hasta  $Q_n, \dots$ , en litros por segundo.

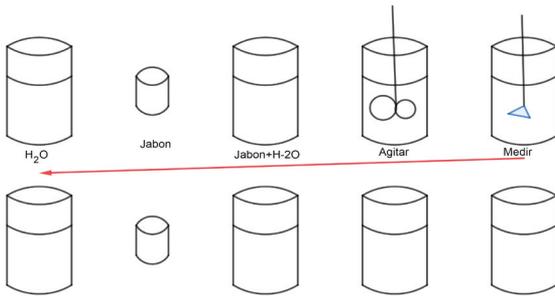
## EXPERIMENTO

### METODOLOGÍA

- Revisión bibliográfica sobre aguas grises.
- Elegir la opción de combinación de arena con tamaños de grano seleccionados.
- Armado del prototipo de filtro.
- Caracterización física del prototipo.
- Diseño de los parámetros experimentales.
- Recolección de datos.

El procedimiento experimental para estudiar las concentraciones de jabón, pasta dental y otros contaminantes se ilustra en la figura 1, en donde aparece de izquierda a derecha una muestra de agua limpia, una proporción de contaminante a considerar la adición de contaminante al agua inicial, el mezclado de ambas, y el muestreo del producto, después en el siguiente paso la anterior muestra producto funciona como

inicio de proceso en el siguiente paso, y se le agrega una proporción más del contaminante, se mezclan y se toma nuevamente la medición de la cantidad requerida.



**Figura 1:** Procedimiento para generar las muestras

El filtro utilizado tiene la estructura interna que se muestra en la figura 2, y está compuesto por 3 capas de arenas y gravas con tamaño de grano diferente, en la parte superior es donde se encuentra el agua gris y pasa por gravedad a través del filtro hasta salir en la parte inferior.



**Figura 2:** Estructura interna del filtro

En la figura 2 aparece una sección nombrada como contenedor que no es otra cosa más que el agua gris que se ha quedado contenida debido a la lentitud y resistencia al paso del agua. Podemos ver en la figura 3 el prototipo físico del filtro, como se puede apreciar la salida no está exactamente en la parte inferior, sino ligeramente arriba debido a la abrazadera que rodea al cuerpo del tubo que sirve como recipiente para las gravas y arenas.



**Figura 3:** Prototipo del filtro

## ELEMENTOS TEÓRICOS DE VISCOSIDAD

La simbología y algunas ecuaciones utilizadas para los parámetros a medir son las siguientes:

$u$ : Viscosidad dinámica  $\left[\frac{g}{mms}\right]$

$v$ : Viscosidad cinemática [cSt],  $\left[\frac{mm^2}{s}\right]$

La viscosidad dinámica la podemos determinar a partir de la ecuación 4

$$\mu = \rho v \quad (4)$$

Donde:

$p$ : Densidad  $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$

También existe el concepto de densidad relativa para lo cual se toman en cuenta las siguientes variables

$P_r$ : Densidad relativa [adimensional]

$Y_{sust}$ : Peso específico de la sustancia  $\left[\frac{gf}{cm^3}\right]$

$Y_{agua}$ : Peso específico del agua  $\left[\frac{gf}{cm^3}\right]$

$P_{sust}$ : Densidad de la sustancia  $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$

$P_{agua}$ : Densidad del agua  $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$

Y la ecuación 5 permite la relación entre las variables antes mencionadas con la densidad relativa, como se puede ver, hay dos maneras diferentes de encontrar la densidad relativa, una partiendo de los pesos específicos y la otra a partir de las densidades esto comparado con la del agua.

$$\rho_R = \frac{\gamma_{sust}}{\gamma_{agua}} = \frac{\rho_{sust}}{\rho_{agua}} \quad (5)$$

## DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

La medida del oxígeno consumido por la oxidación de la materia orgánica e inorgánica en una prueba específica (drcalderonlabs., 1997), su utilidad radica en que es una medida de la contaminación del agua, ya que mide que tanta cantidad de material es susceptible a ser oxidada por medios químicos que se encuentren disueltos o en suspensión en el agua (es.wikipedia, 2022). También es un parámetro que menciona la norma para ser evaluado y dar por sentado si el agua es o no apta para riego.

Las unidades de medida del DQO son [mg O<sub>2</sub>/ltr de agua].

## pH DEL AGUA GRIS

La norma mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016 establece el método de prueba para la medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas, en el intervalo de pH 0 a pH 14 y en un intervalo de temperatura de 0 °C a 50 °C. Los valores altos y bajos de pH son tóxicos para organismos acuáticos, ya sea directa o indirectamente. (<https://www.gob.mx/>, 2016)

El pH que significa potencial de Hidrogeno, se define en términos de la actividad relativa de los iones de hidrógeno en la disolución como se muestra en la ecuación 6:

$$PH = -\log(a_H) = -\log\left(\frac{m_{HYH}}{m^0}\right) \quad (6)$$

Donde

$a_H$ : es la actividad relativa del ion hidrógeno (en base molal);

$Y_H$ : es el coeficiente de actividad molal del ión hidrógeno H<sup>+</sup>

mH: la molalidad mH, y

m<sup>0</sup> es la molalidad estándar.

La magnitud pH es considerada como una medida de la actividad de los iones hidrógeno en la disolución.

El valor de pH de una medición depende de la temperatura debido al equilibrio de disociación. Por lo tanto, la temperatura de la muestra siempre debe ser reportada en conjunto con el pH de la muestra.

La norma aclara que: La temperatura, algunos gases y materiales orgánicos interfieren con la medición de pH. En tanto que los materiales suspendidos en la muestra pueden provocar errores significativos a lo que se le llama efecto de suspensión. La solución es esperar la sedimentación y sumergir los electrodos en la fracción clara.

Entendemos por agua destilada o desionizada, aquella que cumple con las siguientes características: a) conductividad, 5,0 μS/cm a 25 ° C máximo; b) pH: 5,0 a 8,0.

## DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO

La determinación de la DQO permite cuantificar las sustancias oxidables por oxidantes fuertes como el dicromato de potasio en disoluciones fuertemente ácidas de ácido sulfúrico concentrado.

La oxidación que se obtiene al medir la DQO es mayor que la de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) generando que las concentraciones de DQO sean más altas. La DQO consiste en una valoración por retroceso añadiendo una concentración conocida y en exceso de dicromato. El Sulfato de plata actúa como catalizador que acelera la velocidad de reacción de ácidos y alcoholes, pero no la de hidrocarburos aromáticos.

## REACTIVOS A UTILIZAR

### DISOLUCIÓN ESTÁNDAR DE DICROMATO 0.25 N

Secar 15-20 g de dicromato potásico ( $K_2Cr_2O_7$ ) por dos horas a  $150^\circ C$  y enfriar en un desecador. Disolver 12.259 g en agua destilada para completar 1 litro de disolución (Equivalente a 1.2259 g disueltos en 100 ml de solución).

### DISOLUCIÓN INDICADORA DE FERROÍNA

Se pesa y disuelven 1.48 g de O-fenantrina (1.6g de la sal monohidratada) y 0.695 g de sulfato ferroso heptahidrato ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) en 100 ml de agua destilada.

### ÁCIDO SULFÚRICO CONCENTRADO

Disolución valorada de sulfato ferroso amoniacal ( $(Fe(NH_4)_2(SO_4)_2)$  0.25N

Sulfato de Plata en cristales  $Ag_2SO_4$

### REACTIVO PARA TITULAR

Diluir 25 ml de la disolución de dicromato de potasio hasta 250 mL,

Añadir 20mL de ácido sulfúrico concentrado.

Dejar enfriar, adicionar 2 ó 3 gotas de indicador de ferroína

Titular con la solución valorada de sulfato ferroso amoniacal.

$$C_{FAS} = \frac{v(K_2Cr_2O_7) \cdot C(K_2Cr_2O_7) \cdot 6}{V_{(FAS)}} \quad (7)$$

$C_{FAS}$ : concentración del sulfato ferroso amoniacal en mol/L

$v(K_2Cr_2O_7)$ : volumen de la disolución de dicromato de potasio, 10,0 mL,

$C(K_2Cr_2O_7)$ : concentración de cantidad de sustancia de dicromato de potasio en mol/L

$V_{(FAS)}$ : volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal consumido en mL

6: factor de equivalencia: 1 mol de dicromato es equivalente a 6 moles de FAS.

$$N = \frac{mL_{K_2Cr_2O_7} \times 0.25}{mL_{de_{(Fe(NH_4)_2(SO_4)_2)}} \quad (8)$$

Cálculo del valor de la DQO a partir de la cantidad de dicromato reducido. 1 mol de dicromato ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) equivale a 1,5 moles de oxígeno ( $O_2$ ). Si la porción de prueba contiene más de 1 000 mg/L de cloruros, debe ser aplicado un procedimiento modificado.

La demanda química de oxígeno, DQO, expresada como concentración de masa (mg/L), está dada por la ecuación 9:

$$\gamma(DQO) = \frac{(V_{FAS_0} - V_{FAS_m}) \cdot C_{FAS} \cdot M_o \cdot v_0}{V_m} \quad (9)$$

Donde las variables significan

$\gamma(DQO)$ : Concentración de masa DQO

$V_{FAS_b}$ : volumen del sulfato ferroso amoniacal (FAS) usado en la titulación contra el blanco de prueba, expresado en mL;

$V_{FAS_m}$ : volumen del sulfato ferroso amoniacal (FAS) usado en la porción de prueba, expresado en mL

$C_{FAS}$ : concentración de cantidad de sustancia de sulfato ferroso amoniacal utilizada en la medición, expresada en mol/L;

$M_o$ : masa molar de un átomo de oxígeno, expresada en mg/mol

$v_0$ : número estequiométrico = 0,5.

$V_m$ : volumen de la porción de prueba, expresado en mL

## METODOLOGÍA

- Preparar la primera solución: Colocaren un vaso de precipitados 1 g de  $Ag_2SO_4$  y agregar 75mL de ácido sulfúrico concentrado. Realizarlo en una campana de extracción.
- En un matraz para reflujo esférico con cuello esmerilado, agregar 100mL de muestra, colocar perlas de ebullición y añadir 25mL de la solución valorada

de dicromato. Posteriormente agregar la solución 1 ( $H_2SO_4 + Ag_2SO_4$ )

- Instalar el equipo con el refrigerante en la parte superior del matraz, abrir el agua de enfriamiento y someter a reflujo la muestra por 2 horas.
- Dejar enfriar y lavar el refrigerante antes de desmontarlo, agregando lentamente 10mL de agua destilada.
- Colocar el contenido en un matraz Erlenmeyer de 500mL, lavar 3 ó 4 veces el matraz de reflujo con agua destilada cuidando que la dilución no sea mayor a 350 mL.
- Titular con solución de sulfato ferroso amoniacal, utilizando 2 ó 3 gotas del indicador de Ferroína. El vire será de azul verdoso a azul rojizo.
- Realizar en forma simultánea un blanco con agua destilada y el mismo procedimiento.

## CÁLCULOS

### NORMALIZACIÓN DEL SAF

$$N_{FAS} = \frac{V_{Dicromato} * N_{Dicromato}}{V_{FAS\text{ gastado}}} \quad (10)$$

Para determinar la Normalidad del  $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$  utilizamos la ecuación 10 y sustituidos los valores obtenemos con  $V_{FAS\text{ gastado}} = 7.5ml$

$$N_{dicromato} = \frac{25mlK2Cr2O7 \times 0.25}{7.5 ml Fe(NH_4)_2(SO_4)_2} \quad (11)$$

Así que la normalidad del dicromato vale  $N_{dicromato} = 0.83$

$$V_{FAS\text{ blanco}} = 26,8ml \text{ gastados en la titulación}$$

$$DQO \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(V_{FAS\text{ blanco}} - V_{FAS\text{ Muestra}}) * N_{FAS}}{V_{Muestra}} * 8 \quad (12)$$

En donde

DQO=Demanda Química de Oxígeno en  $\frac{mg}{L}$

$$V_{FAS\text{ blanco}} = mL \text{ de valorante gastados de } (Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \text{ para el blanco})$$

$$V_{FAS\text{ muestra}} = mL \text{ de valorante gastados de } (Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \text{ para la muestra})$$

$$N_{FAS} = \text{Normalidad del valorante}$$

$$V_{muestra} :=$$

### CÁLCULO DE $N_{FAS}$

Empleando la ecuación 10 y sustituyendo valores obtenemos

$$N_{FAS} = \frac{(25ml K2Cr2O7)(0.83)}{7.5ml}$$

$$N_{FAS} = 2.7$$

En la tabla 3 se muestra el valor de DQO que coincide con el esperado para un agua de calidad.

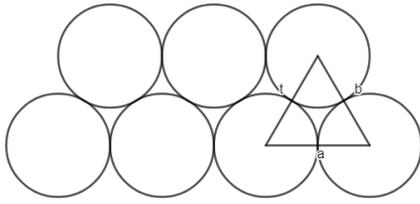
Muestra	Gasto (ml)	DQO (mg/l)
Agua de la llave	26.7	21.6
Durante el lavado	10.2	3585.6
Después del lavado	15.4	2462.4

**Tabla 3:** Valores de DQO para muestras de agua antes, durante y después del lavado de manos.

$$Mo \times vo = 8\ 000 \text{ mg/mol}$$

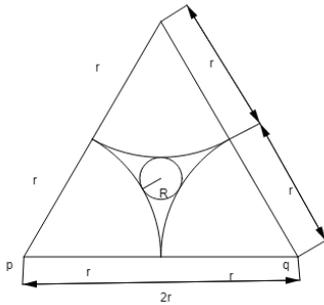
## DESCRIPCIÓN DEL RADIO DE LAS PARTÍCULAS QUE PASAN POR LOS HUECOS INTER-GRANOS.

En la figura 4 se muestra un arreglo de granos en los cuales aparece una zona triangular, en donde en el interior posiblemente pueda penetrar una partícula de desecho, el elegir el tamaño de los granos, resulta de gran ayuda si se conocen de antemano el tamaño de las partículas que se desean retener. Esto determina también el tamaño de las partículas que pasan, a continuación, se calcula el tamaño que debieran tener dichas partículas.



**Figura 4:** Arreglo de granos

En la figura 5 se muestra más explícitamente la geometría que gobierna el paso de partículas, suponiendo claro que tanto los granos como las partículas poseen geometría esférica y tomando en cuenta solo una proyección en el plano.



**Figura 5:** Impureza entre tres granos.

En la figura 5 se muestra que

$r$ : Radio del grano

$R$ : Radio de la partícula impureza a retener

Y en la figura 6 se hace explícita la relación entre  $R+r$  y  $r$  dentro de un triángulo rectángulo que nos permite calcular  $R$  en función de  $r$ , como se muestra a continuación.

De la relación

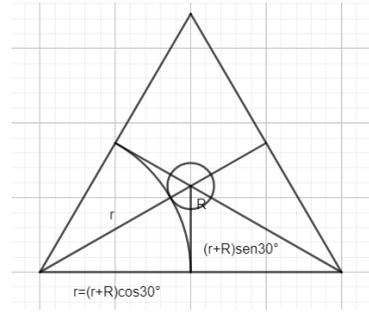
$$r = (r + R)\cos 30^\circ = (r + R) * 0.866 \quad (13)$$

Se tiene

$$\frac{r}{0.866} = r + R \quad (14)$$

Que a la vez implica

$$R = \frac{r}{0.866} - r = 0.155r \quad (15)$$



**Figura 6:** El radio de la impureza  $R$ , y radio de grano  $r$ .

Así que si queremos que no pase una partícula por los inter huecos, debemos de guardar la relación donde  $R = 0.155r$  es el radio de la partícula que se desea detener y  $r$  es el radio de los granos del enmallado.

Esto implica que, si la *Scherichia coli* tiene un diámetro de entre  $0.4$  a  $0.7 \mu\text{m}$  y una longitud de  $1$  a  $3 \mu\text{m}$  entonces considerando que sería una impureza por retener, tenemos que el radio de las partículas que la detienen debe ser de  $2.6 \times 10^{-6}$  a  $4.5 \times 10^{-5} \mu\text{m}$ .

Similarmente para las heces fecales si sabemos el diámetro de las heces fecales igual a  $2 \text{ cm}$  entonces utilizando el mismo método podemos calcular el radio de las partículas que detendrán a esta impureza  $12.9 \text{ cm}$

En la tabla 4 se muestran los valores de los granos comparados con las de las partículas que se desean detener en este caso, *Scherichia coli* y heces fecales.

Impureza	Diámetro impureza $D=2R$	Diámetro granos $d=2r$
<i>Escherichia coli</i>	$2\mu\text{m}$	$10.20 \mu\text{m}$
Heces fecales	$2\text{cm}$	$10.20 \text{ cm}$

**Tabla 4** Diámetros comparados de impurezas vs diámetros de granos.

En la figura 7 se muestra el proceso a través de las diferentes etapas que se siguen para obtener finalmente el agua gris, que se considera en este estudio.

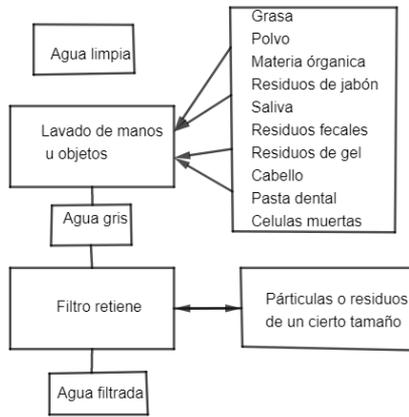


Figura 7: Proceso que sigue el agua en la generación de agua gris

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

### DETERMINACIÓN DE GASTOS TOMADOS EN LAVABOS DE LLAVE POR USUARIO

Para la determinación de los volúmenes de muestra simple, se utilizaron 3 lavabos diferentes, que tenían instalada llave de abertura por presión en maneral, se midió cuánta agua era utilizada por 6 diferentes usuarios, y se tomó el tiempo que transcurre en cada usuario en el lavado, para así determinar el cociente entre el Volumen de muestra simple del usuario  $i$   $VMSi$  y el tiempo utilizado por el usuario  $i$ ,  $Ti$ , que da como resultado  $Qi$ , el gasto individual de usuario  $i$ , dado por la ecuación 16

$$Q_i = \frac{VMSi}{T_i} \quad (16)$$

se registraron también las diferentes unidades de lavado que en este caso toma los valores 1,2,3 debido a que hay 3 lavabos. En la tabla 5 se reportan los valores medidos de volumen de muestra simple, los tiempos que toma en pasar dicho volumen y los lavabos respectivos, también se calculan el volumen de muestra compuesta, VMC, y el tiempo total  $T_t$ , la fórmula de obtención de volumen muestra compuesta es la ecuación 17

$$VMC = \sum_i VMSi \quad (17)$$

El valor de  $T_t$  tomado como la suma de los tiempos de cada usuario al generar la muestra simple,

$$T_t = \sum_i T_i \quad (18)$$

Donde

$T_i$ : Tiempo del usuario  $i$

$T_t$ : Tiempo total de los usuarios

sumando los gastos se calcula el valor del gasto total  $Q_t$ , partiendo de los gastos individuales de cada usuario

$$Q_t = \sum_i Q_i \quad (19)$$

y con estos datos se calcula el gasto personal promedio denominado  $Q_{prom}$  dado por la ecuación 20. Las fórmulas de cálculos se aplican en este caso  $n=6$  usuarios.

$$Q_{prom} = \frac{Q_t}{n} \quad (20)$$

### MÉTODO PARA DETERMINAR EL GASTO DE LA HORA I-ÉSIMA DEL BAÑO

Con estadísticas de usuarios de los baños, se calcula la cantidad de usuarios en horas y días diferentes, estos datos se muestran en la tabla 6, en dicha tabla aparece el concepto,  $V_{prom/usuario}$ , volumen promedio por usuario

I	(cm3)	(s)	Lavabo usuario	Qi(cm3/s)
1	460	11	1.1	41.8
2	200	18	2.1	11.1
3	250	21	2.2	11.9
4	340	15	3.1	22.6
5	450	10	1.2	45.0
6	900	17	3.2	52.9
VMC (cm3)		(s)	(cm3/s)	Qt (cm3/s)
2600		92	30.88	185.3

Tabla 5: Determinación de gastos en lavabos con llave del tipo abertura bajo presión manual

el cual se determina mediante la ecuación 21 donde

$V_{MC}$ : Volumen de la muestra compuesta.  
 $n$ : número de usuarios

$$V_{prom/usuario} = \frac{V_{MC}}{n} \quad (21)$$

El  $V_{prom/usuario}$  se calculó utilizando los volúmenes de los 6 usuarios de lavabo, divididos entre el número de usuarios  $n$ , que en este caso es 6. Obteniéndose un valor de 433 cm<sup>3</sup>.

Utilizando los valores de volumen promedio por usuario, y conociendo el número de usuarios podemos determinar el volumen promedio por hora mediante la ecuación 22

$$V_{prom/hr} = V_{prom/usuario} \times n_{usuarios/hora} \quad (22)$$

$V_{prom/hr}$ : Volumen promedio por hora  
 $n_{usuarios/hora}$ : número de usuarios totales en 1 hora

Para calcular el gasto de la hora  $i$ -ésima  $Q_{ih}$  según la ecuación 23, tenemos en cuenta que dicho valor es precisamente el que corresponde al volumen promedio que pasa en la hora  $i$ .

$$Q_{ih} = V_{prom/hr} \quad (23)$$

cm <sup>3</sup> /usuario	Hora	Usuarios/hora	lts/hr
433	4:00 a 5:00 PM	36	15.6
433	11:00 12:00 AM	48	20.784
433	5:00 a 6:00 PM	33	14.28
433	5:00 a 6:00 PM	26	11.25
433	4:00 a 5:00 PM	29	12.55
433	3:00 a 4:00 PM	30	12.99

**Tabla 6:** Cálculo del conociendo el Número de usuarios en diferentes horas

Aparecen valores diferentes de  $Q_{ih}$  porque el número de usuarios por hora resulta se diferente en cada hora.

## ESTIMACIÓN DEL CONSUMO TOTAL DE AGUA POR DÍA DE AGUA GRIS DE LOS BAÑOS DEL EDIFICIO 37

Suponiendo 12 horas de labores diarias.

Y en base a los valores de la tabla 6 podemos proponer una función de distribución uniforme por partes, esta función la representamos en la figura 8.



**Figura 8:** función de distribución de usuarios

Esta función de distribución se considera uniforme como se nota en los datos de la tabla 7

Horas	Usuarios
7:00-14:00	48
15:00-17:00	33
18:00-20:00	30

**Tabla 7:** Función de distribución semi uniforme de usuarios

Y si determinamos el promedio de los valores  $V_{prom/hr}$  con la ecuación 24

$$Q_{promh} = \overline{V_{prom/hr}} = \frac{\sum_i V_{prom/hr}}{n_h} \quad (24)$$

Donde en este caso  $n=6$ , se obtiene un valor promedio de consumo por hora para esas 6 horas

$$\overline{V_{prom/hr}} = 14.57 \text{ ltr/h} \pm 3.0918 \text{ lt/hr}$$

Este valor obtenido lo podemos suponer como una aproximación al valor esperado si hiciéramos la medida en las 12 horas.

Utilizando el valor de volumen promedio por hora calculamos el consumo por un periodo de  $h=12$  horas efectuando la operación de la ecuación 25.

$$C_{promedia} = n_{hd} * \sqrt{V_{prom/hr}} = 12 \times 14.57 = 174.84 \text{lt} \quad (25)$$

Donde

$C_{promedia}$ : Consumo promedio por periodo considerado de 12 horas de trabajo un día de trabajo

$n_{hd}$ : horas del periodo a considerar

$V_{prom/hr}$ : Volumen promedio de agua gris por hora

Obteniéndose un valor de  $C_{promedia} = 174.84$  lts de agua gris en un día con 12 horas de trabajo.

Este valor obtenido corresponde a la cantidad de agua que se consume en promedio en un baño que tiene tres lavabos durante un día efectivo de uso.

## DINÁMICA DE RECOLECCIÓN DEL AGUA GRIS

### GASTOS DE ENTRADA Y DE SALIDA EN EL FILTRO, POSTERIOR AL USO EN 3 LAVABOS

La relación entre gastos de entrada, gastos de salida y volumen retenido, son estudiados como parte de la dinámica del proceso de recolectar el agua del lavabo, para asegurarnos de que, no haya bloqueos o sobre llenos, que imposibiliten el buen funcionamiento del conjunto lavabo-filtro. Para el estudio de los gastos arriba mencionados damos las siguientes definiciones.

### GASTOS EN FILTROS DE 2 Y TRES CAPAS

Se probó el filtro con dos y tres capas, de gravilla, para tener una idea más clara, respecto a cómo varía la dinámica del agua que fluye desde la llave hasta la salida del filtro.

Sean  $G_e$ ,  $G_s$  los gastos de entrada al filtro y el correspondiente gasto de salida del filtro. Dichos gastos son calculados de manera convencional en la tabla 8, ahí aparecen enunciadas las variables

$t_{ll}$ ,  $t_{vi}$ : El correspondiente tiempo de llenado i-ésimo que corresponden al tiempo cuando se deposita el agua para el filtrado y el tiempo de vaciado i-ésimo que es el tiempo en el que ya sale el agua del filtro.

En la tabla 8 aparecen una serie de valores de tiempo de llenado y vaciado los datos están fueron repeticiones de dos casos, una para solo dos capas en el filtro, y los subsecuentes para el caso de filtro con tres capas.

Las ecuaciones 26 y 27 calculan dichos gastos y la variable  $V_{ei}$  representa el volumen de agua considerado en el experimento

$$G_{ei} = \frac{V_{ei}}{t_{ll}} \quad (26)$$

$$G_{si} = \frac{V_{ei}}{t_{vi}} \quad (27)$$

Vol. entrada $V_{ei}$ (cm3)	Tiempo de llenado $t_{ll}$ (s)	Gasto de entrada $G_{ei}$ (cm3/s)	Tiempo de vaciado $T_{vi}$ (s)	Gasto de salida $G_{si}$ (cm3/s)
2000	14.86	134.59	34.25	58.39
2000	20	100	35	57.14
2000	22	94.56	25	80
	$t_{ll}$		Tres capas	
2000	30	66.67	36	55.56
2000	18	111.11	37.38	53.5

**Tabla 8** Gastos instantáneos de entrada y de salida para el caso de filtros con dos capas y tres capas y volumen 2 litros.

El gasto de descarga de tres lavabos es de 0.084lt/s y el gasto de salida del filtro con las dimensiones propuestas es de 0.05556 lt/s

*Gasto de salida de 3 lavabos = gasto promedio x no de lavabos*

*Gasto de salida del lavabo = gasto de entrada al filtro - gasto retenido en el filtro*

Gasto de salida del filtro fue determinado experimentalmente.

## DETERMINACIÓN DEL GASTO POR PRIMER NIVEL DEL EDIFICIO POR HORA

Para la determinación del gasto total que se tiene por concepto del uso de los lavabos del primer nivel del edificio, se toman muestras del número de usuarios por hora en las horas pico, consideradas como en la tabla 9, en esta tabla aparecen los números de usuarios de los baños y se considera que son dos baños con el mismo número de usuarios (hombres y mujeres) y ambos baños tienen 3 lavabos o sea en total 6 lavabos. El gasto total en una semana a considerar será la suma de los usuarios en la Hora-*i*ésima multiplicado por 5 días de la semana

$$Q_{thr} = n_u * Q_{prom} \quad (28)$$

$$Q_{prom} = 28.2 \text{ cm}^3/\text{s} * \text{usuario}$$

$n_u$ : Número de usuarios por hora

$u = hi = hj$ : El índice  $u$  corresponde al número de hora

$Q_{thr}$ : Gasto total por hora

En la tabla 9 aparecen reportados el número de usuarios de uno de los baños del edificio 37, como se puede ver el máximo obtenido fue de 48 usuarios en una hora en tanto que el mínimo registrado fue de 26 usuarios. En dicha tabla aparece un índice  $hi$  que corresponde al número de hora registrada, también vale notar que el mínimo gasto fue de  $733.2 \text{ cm}^2/\text{s}$  y el gasto máximo es de  $1536.6 \text{ cm}^3/\text{s}$

07-10-13/11/22	5:a 6 PM	cm3/s	4:a 5: PM	cm3/s	3:a 4: PM	cm3/s
# de Usuarios ()	26	733.2	29	817.8	30	846.0
8-14-18/11/2022	4:a 5: PM	cm3/s	11:a 12 AM	cm3/s	5:a 6: PM	cm3/s
# de Usuarios ()	36	1015.2	48	1536.6	33	930.6

**Tabla 9:** Determinación de número de usuarios de los lavabos en 2 días y 6 horas diferentes.

## DETERMINACIÓN DE GASTOS EN UNA HORA CONSIDERANDO I LAVABOS DIFERENTES

Se tienen como datos de entrada los valores

$$Q_{promi} = \frac{\sum_j Q_{ij}}{n_i} \quad (29)$$

$Q_{ij}$ : Gasto en la llave  $i$  por el consumo  $j$

$n_i$ : Es el número de usos de la llave  $i$

$Q_{prom1}$ : promedio del gasto en la llave 1

$Q_{prom2}$ : promedio del gasto en la llave 2

$Q_{prom3}$ : promedio del gasto en la llave 3

$$N_{u/hr} = \sum_i N_{ui/hr} \quad (30)$$

$N_{u/hr}$ : Numero de usuarios por hora en las tres llaves

$N_{u1/hr}$ : Numero de usuarios de la llave 1

$N_{u2/hr}$ : Numero de usuarios de la llave 2

$N_{u3/hr}$ : Número de usuarios de la llave 3

$$Q_{hr} = \sum_i Q_{promi} * N_{ui/hr} \quad (31)$$

$Q_{hr}$ : Gasto por hora por las tres llaves abiertas

$$t_{iprom} = \frac{\sum_j t_{ij}}{n_i} \quad (32)$$

$t_{iprom}$ : Tiempo promedio de vaciado de la llave  $i$

$t_{ij}$ : Tiempo de vaciado en el servicio  $j$  de la llave  $i$

$$Vol_i = \sum_{j=1}^{n_i} Q_{promi} * N_{uij} * t_{iprom} \quad (33)$$

$Vol_i$ : Volumen obtenido en una hora de servicio en la llave  $i$

$N_{uij}$ : Número de usuarios de la llave  $i$  por el servicio  $j$

En tanto que el volumen total por día de 12 horas será aproximadamente mediante este método igual a  $Vol_{td}$ : el volumen total en 12 horas

$$Vol_{td} = 2 * \sum_{i=1}^6 Vol_i \quad (34)$$

Comparando  $Vol_{th}$  con  $C_{prom}$  obtenemos una diferencia de 10.648lts

nh1	nh2	nh3	Q1prom (cm3/s)	Q2prom (CM3/s)	Q3prom (cm3/s)	t1prom (s)	t2prom (s)	t3prom (s)	Vol1 (cm3)	Vol2 (cm3)	Vol3 (cm3)	Volh (cm3)
12	12	12	43.4	11.5	37.75	10.5	14	16	5468	1932	7248	14648.4
16	16	16	43.4	11.5	37.75	10.5	14	16	7291	2576	9664	19531.2
11	11	11	43.4	11.5	37.75	10.5	14	16	5013	1771	6644	13427.7
8	9	9	43.4	11.5	37.75	10.5	14	16	3646	1449	5436	10530.6
9	10	10	43.4	11.5	37.75	10.5	14	16	4101	1610	6040	11751.3
10	10	10	43.4	11.5	37.75	10.5	14	16	4557	1610	6040	12207
											Vol <sub>3</sub> (cm3)	1641 92.4

**Tabla 10:** Gastos y volúmenes promedio de las tres llaves en 6 horas diferentes

## DETERMINACIÓN DE VALORES EXPERIMENTALES DE pH

Se determinó el pH utilizando el pHmetro Conductronic pH120 , provisto de un contacto con un electrodo de vidrio que tiene una membrana permeable que permite el flujo de iones hidrógeno entre dos soluciones, debe calibrarse con soluciones estándares que sitúan los valores de pH=4 y pH=7.

## MATERIALES Y SUSTANCIAS UTILIZADOS

pHmetro, Agua Destilada, Vaso de Precipitados

Muestra 1: Agua tomada tal cual llega de la llave

Muestra 2: Agua residuo del lavado de manos con jabón antes de pasar al filtro

Muestra 3: Agua proveniente de la salida de filtro producto del paso de la muestra 2.

Soluciones Estándares buffer de pH=4 y pH=7

## METODOLOGÍA pH

- 1.- Encender el pHmetro.
- 2.- Estandarizar con las soluciones buffer de 4 y 7.
- 3.- Determinar el pH de agua destilada.
- 4.- Determinar el pH de las muestras del agua, tal como llega de la llave.
- 5.- Determinar el pH del agua una vez utilizada para lavado de manos.

6.- Determinar el pH del agua pasada posteriormente al lavado de manos por el filtro grueso.

7.- El electrodo se enjuaga con agua destilada en cada medición.

## RESULTADOS pH



**Figura 9:** Medición de pH de las muestras

No de muestra	Descripción de la muestra	pH	pH*	Descripción del comportamiento
0	Agua destilada	7.00		Solución neutra
1	Agua proveniente de la llave	7.45	6.76	Ligeramente Alcalina
2	Agua después de lavarse las manos y antes del filtro	7.16	6.58	Bajó la alcalinidad
3	Agua después de lavarse las manos y pasar por el filtro	7.38	6.52	Aumento ligeramente la alcalinidad.

**Tabla 11:** Resultados del pHmetro, pH\* se obtuvo después de almacenarse por un periodo de 3 meses

## OBSERVACIONES AL pH

Como resultados de las mediciones iniciales, se puede observar que el agua destilada da un pH de 7 lo que nos indica que es neutra y se comprueba la efectividad de la técnica y del instrumento de medición. El agua proveniente de la llave tiene un pH ligeramente básico de 7.45, la muestra obtenida después de lavarse las manos presenta una disminución de la alcalinidad debido a la presencia de impurezas que se encontraban en las manos y que fueron arrastradas al lavarse con el jabón. En la última medición después de pasar por el filtro, le elevó la alcalinidad, aunque no en una forma representativa. Concluyendo que en cualesquiera de los casos el efecto es disminuir el valor del pH que tiene el agua inicialmente

Se resguardaron las muestras por un periodo de 3 meses, en condiciones de obscuridad y una temperatura alrededor de los 20°C, dando como resultado los valores de pH\*, los 3 valores presentan una ligera disminución de pH, lo cual podría deberse a las transformaciones fisicoquímicas y microbiológicas resultantes del tiempo de almacenamiento de las muestras. La última medición, que resultó más ácida, que todas, se propone que sea como resultado de una sedimentación microscópica de partículas emanadas del filtro.

## PARÁMETROS DEL PROTOTIPO FILTRO GRUESO A DOS CAPAS.

- 1.- Nc: Número de capas 2
- 2.- Gi: Grosor de partículas en capas \*
- 3.- Hi: espesor de las capa1 fue 18 cm y capa 2 de 14 cm
- 4.- Vi: Volumen ocupado por la capa 1 fue de 720 ml y de la capa 2 de 660 ml
- 5.- Composición química de materiales de capas.
- 6.- VE: Entrada de agua 2 lts.
- 7.- VS: Salida de agua.

8.- Composición del agua gris a usar.

9.- Caracterización del agua saliente del filtro.

En la tabla 8 se representan los datos experimentales obtenidos al filtrar dos litros de agua con dos tipos de filtros, el primero contiene dos capas gruesas de gravilla ordenadas de forma tal que la más gruesa está en la parte inferior del filtro y la subsecuente es menos gruesa, estos datos aparecen en las primeras cuatro líneas de la tabla, más abajo aparecen los gastos calculados para el filtro con tres capas donde las dos primeras son las anteriores y la última capa es aún más fina. En esa tabla el tiempo de llenado se considera como aquella medida que inicia cuando se inicia la entrada de los 2 litros y se termina de llenar el filtro, en tanto que es la medida del tiempo desde que se inicia el llenado hasta que deja de fluir liquido por el filtro, como se puede apreciar el tiempo de llenado siempre es menor que el tiempo de vaciado. Las fórmulas del cálculo de los gastos usadas son

$$G_e = \frac{V_e}{t_{ll}} \quad (35)$$

$$G_s = \frac{V_e}{t_{vi}} \quad (36)$$

Donde

$V_e$ : Volumen de entrada al filtro

$T_{ll}$ : tiempo de llenado del filtro

$T_{vi}$ : tiempo de vaciado del filtro

$G_e$ : Gasto de entrada al filtro

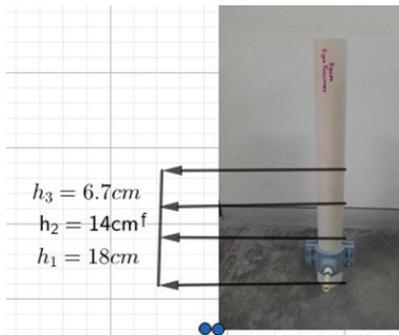
$G_s$ : Gasto de salida del filtro

## DETERMINACIÓN DE VOLÚMENES DE CAPA Y SUPERFICIE DE ENTRADA SALIDA

Como se puede ver en la figura 10 aparecen las descripciones de las alturas hi identificadas según la tabla 12 y se calculan los volúmenes de capa y la superficie de contacto entre capas usando las ecuaciones para un cilindro hueco como sigue

$$V_{ci} = \pi r^2 h_i \quad (37)$$

$$S_{c0} = \pi r^2 \quad (38)$$



**Figura 10:** Alturas de capas del filtro

## DATOS ADICIONALES DEL FILTRO

Alturas cm	Cm3: cm2	Volumen de capa	Superficie de contacto	
Inicio de salida $h_o$	8.3	$V_{c0} : S_{c0}$	319.4	38.5
Capa inferior $h_1$	18	$V_{c0} : S_{c0}$	692.7	38.5
Capa dos $h_2$	14	$V_{c0} : S_{c0}$	538.8	38.5
Tercera capa $h_3$	6.7	$V_{c0} : S_{c0}$	257.8	38.5

**Tabla 12:** Datos de las capas de los filtros versión dos capas y tres capas

## DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA $\nu$

Se obtuvo la viscosidad cinemática del agua gris a la entrada del filtro y a la salida de este, para un rango de entre, temperatura ambiente y 60 °C, para este fin se utiliza el equipo CANNON-UBBELOHDE VISCOMETER.

## VISCOSIDADES CINEMÁTICA Y DINÁMICA

Se opero el viscosímetro a una temperatura de 40°C para determinar la viscosidad cinemática. y se tomaron las medidas de tres tipos de muestras con características diferentes, la muestra M1.1 SC que corresponde al agua sin contaminante tal y como se recibe de la llave. La muestra M 2.1 AF que corresponde al agua ya gris pero antes de pasar el filtro. La

muestra M4 PF que corresponde al agua gris que ha penetrado el filtro. Para cada una de esas muestras se tomaron tres medidas de los tiempos de escurrimiento en s.

Adicionalmente se efectuó la medición de la densidad relativa utilizando dos densímetros y reportándose el promedio de ambas mediciones, calculando así la que denominamos densidad experimental.

La fórmula de cálculo para  $\rho$  es

$$\rho = \rho_{H2O} \rho_R \quad (39)$$

## TIEMPOS DE ESCURRIMIENTO Y DENSIDAD

Donde es la densidad relativa obtenida por los densímetros.

Para el cálculo de la viscosidad cinemática se utiliza la formula

$$\nu = K * t_e \quad (40)$$

Donde  $K$  es la constante del viscosímetro<sup>1</sup> cuyos valores son (el mínimo 0.03643, el máximo 0.03644) y  $t_e$  es el tiempo de escurrimiento.

Cabe notar que la densidad del agua gris medida es ligeramente menor que la reportada por (John, 1984) a 20°C, sin embargo el valor obtenido corresponde al valor de agua normal a 30° C reportada en (Ecuacionde.com, 2023) por lo que al calcular la viscosidad dinámica se obtiene un valor menor que el que se obtendría por valores de tablas. Dichos cálculos se muestran en la tabla 14. Ahí se observa una variación para la viscosidad dinámica es de  $2 \times 10^{-4}$  g/mms y para la viscosidad cinemática es de  $1 \times 10^{-3}$  mm<sup>2</sup>/s.

1.  $K$  tiene unidades de mm<sup>2</sup>/s<sup>2</sup> y corresponde al viscosímetro CANNON\_UBBELOHDE

Muestra	Tiempo de escurrimiento t (s)	Densidad reportada 20°C	Densidad	Densidad relativa experimental (laboratorio)	Densidad experimental
		g/mm <sup>3</sup>	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	P <sub>R</sub> (adimensional)	g/mm <sup>3</sup>
M1.1 SC a	22	0.000998	0.9982	0.9975	0.0009957
M1.1 SC b	23	0.80168	0.9982	0.9975	0.7996758
M1.1 SC c	22	0.000998	0.9982	0.9975	0.0009957
M2.1 AF a	22	0.000998	0.9982	0.9975	0.0009957
M2.1 AF b	22	0.000998	0.9982	0.9975	0.0009957
M2.1 AF c	22	0.000998	0.9982	0.9975	0.0009957
M4 PF a	22	0.000998	0.9982	0.9975	0.0009957
M4 PF b	22	0.000998	0.9982	0.9975	0.0009957
M4 PF c	22	0.000998	0.9982	0.9975	0.0009957

**Tabla 13** Valores de tiempos de escurrimiento, y densidades relativa y normal

Muestra	Tiempo de escurrimiento (s)	Densidad experimental ρ (g/mm <sup>3</sup> ) x 10 <sup>-3</sup>	Viscosidad Cinemática v (mm <sup>2</sup> /s) ±2.3 x 10 <sup>-4</sup>	Viscosidad Dinámica μ (gr/mms) x 10 <sup>-3</sup>
M1.1 SC a	22	0.99571	0.80146	0.79802
M1.1 SC b	23	0.99571	0.83789	0.83429
M1.1 SC c	22	0.99571	0.80146	0.79802
M2.1 AF a	22	0.99571	0.80146	0.79802
M2.1 AF b	22	0.99571	0.80146	0.79802
M2.1 AF c	22	0.99571	0.80146	0.79802
M4 PF a	22	0.99571	0.80146	0.79802
M4 PF b	22	0.99571	0.80146	0.79802
M4 PF c	22	0.99571	0.80146	0.79802

**Tabla 14:** Las viscosidades Cinemática t dinámica de las aguas sin contaminante, gris antes del filtro y posterior al filtro.

si	Viscosidad cinemática ν	Tiempo de escurrimiento t <sub>e</sub>	Cst	mm <sup>2</sup> /s 0.80146
si	Viscosidad dinámica μ	g/mms x10 <sup>-3</sup>	0.79802	
si	Densidad relativa P <sub>R</sub>	(su) 0.9975	Densidad 0.9982	g/cm <sup>3</sup>
si	Ph	(upH)	7.16-7.45	
si	DQO	mg/l	21.6*	

**Tabla 15:** Recolección de datos importantes experimentales.

\*Este valor de DQO se obtuvo para el agua de la llave, los valores durante el lavado y después del lavado de manos son extremadamente altos.

## CONCLUSIONES

### CONCLUSIONES AL PH

Acorde a lo anterior el agua de la muestra dos tiene un pH menor al del agua de la llave, representa menor alcalinidad o mayor acidez, se obtiene después del lavado de manos.

La muestra tres que se refiere al agua después del filtro, presenta mayor alcalinidad que la muestra 2 generando este resultado a partir de pasar el agua por el filtro, tomando un pH muy cercano al del agua de la llave sin utilizar, lo cual permite fortalecer la utilización adecuada del filtro.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecemos a Sabino Rodríguez Sierra Jefe de Laboratorio de Biología (densidad), Alberto Huerta González encargado del Laboratorio de Mecatrónica (viscosidad), Iridiana Pérez Godines (encargada de medidas de DQO y pH). Así como también a Rosa María Zavaleta Martínez del departamento de Bioquímica, Héctor Franco Salazar y Eduardo López Sánchez del departamento de Ciencias de la Tierra, por sus valiosas observaciones al manuscrito.

## TÉRMINOS TÉCNICOS

**Carbono Orgánico Total:** Es un indicador de la materia orgánica presente en el agua; también es conocido como la diferencia del carbono total menos el carbono inorgánico en una sola masa; y se conforma de las distintas fracciones como Carbono Orgánico Disuelto, Carbono Orgánico Purgable, Carbono Orgánico Suspendido, y Carbono Orgánico No Purgable.

**Coliformes totales:** es un subgrupo de bacterias **coliformes totales** que se encuentran en grandes cantidades en los intestinos y excremento de los humanos y animales.

**Densidad:** Es la relación entre el peso (masa) de una sustancia y el volumen que ocupa (esa misma sustancia)

**Escherichia coli.** Es el nombre de un tipo de bacteria que vive en el intestino

**Fósforo Total:** Suma de las concentraciones de fosfatos (orto fosfatos, fosfatos condensados, otras polifosfatos, y fosfatos orgánicos.

**Grasas y Aceites:** Son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos del petróleo que son extraídos de la muestra utilizando hexano como solvente.

**Límite permisible:** Valor o intervalo de valores asignado a un parámetro, el cual no

debe ser excedido en las aguas residuales descargadas en cuerpos receptores propiedad de la Nación

**Metales:** Es la suma de las concentraciones de cada uno de los elementos en sus diferentes formas (en solución o disueltos y en suspensión). Para fines de esta norma se consideran los siguientes: Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Níquel, Plomo y Zinc

**N Kjeldahl** El nitrógeno total **Kjeldahl** es un indicador utilizado en química analítica cuantitativa. Determina la suma del nitrógeno orgánico en sus diversas formas

**pH:** Medida del grado de acidez o alcalinidad de una sustancia o una solución. El **pH** se mide en una escala de 0 a 14, Concentración de iones Hidrógeno expresada como logaritmo negativo que representa la acidez o alcalinidad del agua.

**Toxicidad:** Potencial inherente o capacidad de una sustancia para causar efectos adversos en organismos vivos.

**Toxicidad aguda:** Es el efecto adverso que se manifiesta en los organismos de prueba, luego de exponerlos a las muestras problema por una sola vez durante un periodo de tiempo.

**Turbidez:** La **turbidez** es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión.

**Viscosidad cinemática:** La viscosidad cinemática es una medida de la resistencia interna de un fluido a fluir bajo fuerzas gravitacionales

**Sólidos en suspensión:** se refieren a pequeñas partículas sólidas que permanecen (Diario oficial de la Federación, 2022) en suspensión en agua como coloide o debido al movimiento del agua.

**Sólidos Suspendidos Totales:** Concentración de partículas que son retenidas en un medio filtrante de microfibras de vidrio, con un diámetro de poro de 1.5 micrómetros

## REFERENCIAS

- Angarita Acosta, R. A. (2012). Colombia: Perspectiva Actual de una crisis ambiental. *Revista Ingenio*, 86-93. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2176>
- Aqua España. (2018). Aguas Grises: origen composición y tecnologías para su reciclaje . *Píldora de conocimiento*.
- Aqua España. (2018). AGUAS GRISES: ORIGEN, COMPOSICIÓN Y. *Píldora de conocimiento*.
- Armenta-Jimenez, J. A., & Gallardo-Amaya, R. J. (2016). Caracterización del agua subterránea en el valle superior del Río César. *Revista Ingenio*, 37-51. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2092>
- Cadena M, J. J., & Darío, G. R. (2016). Evaluación de la calidad del agua del río Tejo (Ocaña, Colombia) mediante macroinvertebrados acuáticos y parámetros físico químicos. *Revista Ingenio*, 121-132. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2070>
- Diario oficial de la Federación. (2022). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM- 001 SEMARNAT-2021. *DOF 11/03/2022*.
- drcalderonlabs. (Julio de 1997). *Metodos/Análisis\_De\_Aguas/Determinacion\_de\_DBO5*. Obtenido de [www.drcalderonlabs.com](http://www.drcalderonlabs.com): [http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Análisis\\_De\\_Aguas/Determinacion\\_de\\_DBO5.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Análisis_De_Aguas/Determinacion_de_DBO5.htm)
- es.wikipedia. (11 de 05 de 2022). *es.wikipedia.org*. Obtenido de Demanda\_ química\_de\_ oxígeno: [https://es.wikipedia.org/wiki/Demanda\\_qu%C3%ADmica\\_de\\_ox%C3%ADgeno](https://es.wikipedia.org/wiki/Demanda_qu%C3%ADmica_de_ox%C3%ADgeno)
- finalGWmanual. (04 de 2015). *greywateraction.org*. Obtenido de wp-content/uploads: <https://greywateraction.org/wp-content/uploads/2014/11/finalGWmanual-esp-5-29-15.pdf>
- GRUPO VENTO. (07 de 08 de 2017). *evaporadoresindustriales.grupovento.com*. Obtenido de filtros-para-aguas-residuales: <https://evaporadoresindustriales.grupovento.com/filtros-para-aguas-residuales/>
- <https://www.gob.mx/>. (2016). *Norma mexicana NMX-AA-08-SCFI-2016*. Obtenido de [www.gob.mx](http://www.gob.mx): <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166767/NMX-AA-008-SCFI-2016.pdf>
- Laura Allen. (2015). Manual de diseño para manejo de aguas grises. *Greywater Action*.
- Marcucci-Pico, D. F., Moreno-Urbe, A. M., Sánchez-Lobo, E. J., & Herrera-Castillo, S. (2023). Diseño de un sistema alternativo de limpieza para las rejillas de succión de las bombas tornillo para las centrales termoelectricas Colombianas. *Revista Ingenio*, 24-31.
- Miranda, R., Ramirez, R. D., & Angarita-Castilla, W. (2016). Análisis Microbiológico de la calidad del agua del río Algodonal en el tramo comprendido entre los municipios de Abrego y Ocaña, Norte de Santander. *Revista Ingenio*, 189-200. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2115>
- Miranda, R., Ramirez, R. R., & Sanchez Ortiz, E. A. (2016). Evaluación de la calidad del agua para consumo Humano mediante indicadores Físico químicos y microbiológicos en el Río Algodonal. *Revista Ingenio*, 131-141. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2088>
- Píldora\_08-grises-origen. (2018). AGUAS GRISES: ORIGEN, COMPOSICIÓN Y TECNOLOGIAS. *Asociación Española de Empresas del Sector del agua*.
- Pinilla, P. P. (2013). Sostenibilidad económica y medio ambiente en Colombia, Muchas Normas y poca aplicabilidad. *Revista Ingenio*, 1-4. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2175>
- Responsable Técnico de REMOSA, empresa asociada a. (2018). AGUAS GRISES: ORIGEN, COMPOSICIÓN Y. *Asociación Española de Empresas del Sector del agua*.
- SALINAS, Luciana Silvia. (2021). PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS GRISES.