

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO NO  
CONVENCIONAL EN LA COMUNIDAD RELIGIOSA MADRES FRANCISCANAS  
- PIEDECUESTA SANTANDER**

**ANDREA CATALINA RIVERO ARDILA**

**UNIVERSIDAD PORNTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2015**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO NO  
CONVENCIONAL EN LA COMUNIDAD RELIGIOSA MADRES FRANCISCANAS  
- PIEDECUESTA SANTANDER**

**ANDREA CATALINA RIVERO ARDILA**

**Trabajo de grado para optar el título de INGENIERA AMBIENTAL**

**DIRECTOR**

**M.sc. ÁLVARO ANDRÉS CAJIGAS CERON.**

**UNIVERSIDAD PORNTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2015**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

**Presidente de jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Piedecuesta, Julio 2015**

## DEDICATORIA

El trabajo realizado durante todos estos meses en la comunidad de Madres Franciscanas, reflejado en este trabajo de grado quiero dedicárselo a Dios por darme la oportunidad de ayudar a los de niños del colegio Madre Caridad y hermanas religiosas atener agua potable en sus instalaciones, a mis padres Jairo Rivero Mantilla y María e. Ardila Torres, hermanos Marlyn Rivero Ardila y Jair Rivero Ardila, quienes me han apoyado en cada uno de los ciclos de mi carrera, y siempre han estado a mi lado brindándome los recursos y soporte necesario para poder lograr esta meta tan anhelada en mi vida, este logro es un paso más para cada día ser una persona íntegra y de valores.

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias, es la única palabra que tengo para decirles aquellas personas que me brindaron la mano en el proceso de formación como ingeniera ambiental, gracias a Dios por darme la oportunidad de poder realizar este logro que un día empezó como un pequeño sueño y hoy llega a su final, a mis padres y hermanos infinitas gracias por estar siempre en los momentos que los necesité, fueron el mayor apoyo en este transcurso de mi vida, me siento muy feliz por poder decir que logre obtener el título de ingeniera ambiental.

Durante todo este tiempo conocí personas sensacionales como lo son mis amigos María angélica Vargas y Alirio José Santander con quienes recorrí este largo camino, gracias a ellos por hacer que este transcurso estuviera lleno de risas y momentos felices, gracias a mi profesor Alvaro Cajigas por la paciencia que tuvo durante todo este tiempo, también quiero agradecer las personas que ya no se encuentran presentes en mi vida pero que de una u otra forma hicieron parte de este proceso de formación.

Mil y mil gracias...

## TABLA DE CONTENIDOS

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	16
1. OBJETIVOS.....	17
1.1. OBJETIVO GENERAL .....	17
1.1. OBJETIVO ESPECÍFICO .....	17
2. ANTECEDENTES.....	18
3. MARCO TEÓRICO .....	20
3.1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POR FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS, FIME .....	20
3.1.1. Filtro grueso dinámico (FGD) .....	22
3.1.2. Filtro grueso ascendente .....	24
3.1.3. Filtro lento .....	26
3.2. REMOCIÓN DEL MATERIAL HÚMICO.....	27
3.3. REMOCIÓN DE ALGAS .....	27
3.4. MEDIO FILTRANTE.....	28
3.5. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA POTABLE .....	30
3.5.1. Bacterias .....	31
3.5.2. Coliformes fecales.....	31
3.5.3. Virus .....	33
3.5.4. Protozoos .....	33
3.5.5. Giardia lamblia .....	34
3.5.6. Cryptosporidium .....	34
3.5.7. Helmintos .....	35
3.6. PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA POTABLE .....	35
3.6.1. Turbidez .....	36

3.6.2.	Color.....	37
3.6.3.	Sabor y olor.....	37
3.6.4.	Solidos .....	38
3.6.5.	pH.....	38
3.6.6.	Alcalinidad.....	39
3.6.7.	Dureza.....	39
3.7.	PARÁMETROS QUÍMICOS DEL AGUA POTABLE .....	40
4.	METODOLOGÍA.....	42
4.1.	PRIMERA FASE: EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE CONSUMO DE AGUA.....	42
4.2.	SEGUNDA FASE: DISEÑO DE LOS COMPONENTE DE LA FIME .....	43
4.3.	TERCERA FASE: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO FIME .....	45
5.	ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	46
5.1.	EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE CONSUMO DE AGUA DE LA COMUNIDAD .....	46
5.1.1.	Estimación del consumo de agua en el convento según la capacidad instalada. ....	48
5.1.2.	Estimación del consumo de agua en el convento según el RAS .....	53
5.1.3.	Estimación del consumo de agua en el colegio según el consumo real de la zona. ....	53
5.1.4.	Estimación del consumo de agua en el colegio según el RAS.....	54
5.2.	DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	55
5.2.1.	Capacidad instalada.....	55
5.2.2.	Detalles de diseño.....	59
5.2.2.1.	Filtro grueso dinámico .....	59
5.2.2.2.	Filtro grueso ascendente .....	61
5.2.2.3.	Filtro lento en arena.....	63
5.2.2.4.	Tanque de distribución. ....	65
5.2.2.5.	Cantidad de material filtrante.....	66

5.3. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DEL TRATAMIENTO DE LA FIME .....	67
5.3.1. COMPORTAMIENTO INICIAL DEL FGD.....	67
5.3.2. COMPORTAMIENTO INICIAL DEL FGA.....	69
5.3.3. COMPORTAMIENTO INICIAL DEL FLA.....	70
5.3.4. OPERACIÓN DEL SISTEMA CON CAUDALES MENORES.....	73
6. CONCLUSIONES .....	76
7. RECOMENDACIONES.....	77
8. BIBLIOGRAFÍA.....	78

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Rangos de calidad de agua en fuentes superficiales para sistemas FIME .....	22
Cuadro 2. Tipos de filtros.....	28
Cuadro 3. Características filtros lentos con lecho simple.....	29
Cuadro 4. Organismos causantes de enfermedades hídricas. ....	30
Cuadro 5. Supervivencia de patógenos fecales en el agua .....	30
Cuadro 6. Características microbiológicas.....	32
Cuadro 7. Características físicas. ....	36
Cuadro 8. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.....	40
Cuadro 9. Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana .....	41
Cuadro 10. Parámetros de funcionamiento del sistema de filtración. ....	59

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones del lecho filtrante recomendado para FGD.....	24
Tabla 2. Clasificación del agua según la dureza.....	40
Tabla 3. Estimación consumo de agua convento.....	52
Tabla 4. Estimación consumo de agua colegio.....	54
Tabla 5. Parámetros establecidos para hallar la capacidad instalada .....	56
Tabla 6. Capacidad instalada.....	56
Tabla 7. Tamaño de grava y Espesor en el Filtro Grueso Dinámico.....	61
Tabla 8. Pérdida de Carga en el filtro grueso dinámico. ....	61
Tabla 9. Tamaño de grava y Espesor en el Filtro Grueso Ascendente.....	63
Tabla 10. Perdida de carga en el filtro grueso ascendente.....	63
Tabla 11. Tamaño de grava y Espesor en el Filtro lento en arena.....	64
Tabla 12. Perdida de carga en el filtro lento en arena. ....	65
Tabla 13. Cantidad de material filtrante para el FGD.....	66
Tabla 14. Cantidad de material filtrante para el FGA.¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 15. Cantidad de material filtrante para el FLA.¡Error! Marcador no definido.	

## LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Procesos que integran una FIME. ....	20
Figura 2. Representación de filtración en múltiples etapas.....	21
Figura 3. Esquema filtro grueso dinámico.....	23
Figura 4. Filtro grueso ascendente en serie.....	25
Figura 5. Esquema de un filtro grueso ascendente en capas. ....	25
Figura 6. Esquema del filtro lento .....	26

## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Estado de la planta antes de ser mejorada.....	47
Imagen 2. Plano arquitectónico de la cocina del convento de las madres Franciscanas.....	49
Imagen 3. Distribución de los baños de cada una de las habitaciones del convento madres Franciscanas.....	50
Imagen 4. Cuarto de ropas del convento madres franciscanas .....	51
Imagen 5. Ubicación de cada una de las unidades que componen los baños del Colegio Madre Caridad. ....	53
Imagen 6. Diseño interno del Filtro Grueso Dinámico.....	60
Imagen 7. Diseño interno del Filtro Grueso Ascendente.....	62
Imagen 8. Diseño interno del Filtro Lento en Arena.....	64
Imagen 9. Diseño interno del tanque de abastecimiento de las redes de distribución.....	65

## LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Turbiedad tomada en el F.G.D en horas de la mañana y tarde durante 5 días. ....	68
Gráfica 2. Turbiedad tomada en el F.G.A en horas de la mañana y tarde durante 5 días. ....	69
Gráfica 3. Turbiedad tomada en el F.L.A en horas de la mañana y tarde durante 5 días. ....	70
Gráfica 4. Turbiedad tomada en la salida del F.L.A numero 1 en horas de la mañana y tarde durante 5 días. ....	71
Gráfica 5. Turbiedad tomada en la salida del F.L.A número 2 en horas de la mañana y tarde durante 5 días. ....	71
Gráfica 6. Turbiedad tomada al finalizar el seguimiento .....	72
Gráfica 7. Eficiencia del sistema. ....	73

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO NO CONVENCIONAL EN LA COMUNIDAD RELIGIOSA MADRES FRANCISCANAS - PIEDECUESTA SANTANDER

**AUTOR(ES):** ANDREA CATALINA RIVERO ARDILA

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR(A):** ÁLVARO ANDRÉS CAJIGAS CERON

### RESUMEN

El mejoramiento de la planta del colegio de la comunidad madres Franciscanas ubicado en Piedecuesta se realizó mediante un sistema no convencional de Filtración en Múltiples Etapas – FiME, el cual consta de tres filtros conectados en serie, cada uno con diferentes funciones para la eliminación de contaminantes; logrando que el agua filtrada cumpla con los requisitos determinados en la resolución 2115 de 2007. En la adecuación de la nueva planta se empleó la mayoría de los materiales con los que ellos contaban evitando altos costos de implementación. El rendimiento obtenido al hacer la comparación de las pruebas tomadas al inicio y final del proyecto arrojaron resultados satisfactorios, demostrando que el proceso de filtración logró disminuir la turbiedad de 116 NTU a 1,23 NTU, lo cual indica que la eficiencia de la FiME satisface el cumplimiento de la norma en turbiedad. La capacidad de producción que se dejó instalada fue de 5073,4 litros de agua por día para el abastecimiento.

### PALABRAS CLAVES:

FiME, filtros, materiales de filtración, eficiencia, turbiedad, producción de agua.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** NON-CONVENTIONAL SEWAGE TREATMENT PLANT IMPLEMENTATION IN FRANCISCAN MOTHERS RELIGIOUS CONGREGATION AT PIEDECUESTA SANTANDER

**AUTHOR(S):** ANDREA CATALINA RIVERO ARDILA

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Ambiental

**DIRECTOR:** ÁLVARO ANDRÉS CAJIGAS CERON

### **ABSTRACT**

The improvement of Piedecuesta Franciscan Mothers Community School's water plant was carried out through a non-conventional multi-stage filtration system (FiME), which consists of three filters connected in series, with different functions each to eliminate pollution. The system got the filtered water to meet the requirements set in resolution 2115 of 2007. During the new plant's adequacy, most of the materials were already available in the community, so high costs of implementation could be avoided. The results obtained, after comparing the tests applied at the beginning and the end of the project, were satisfactory. This showed that the filtration process diminished turbidity from 116 NTU to 1.23 NTU, which indicates the efficiency of FiME meets the turbidity regulation. The production capacity after the installation was 5073,4 liters of water for provision per day.

### **KEYWORDS:**

FIME, SEWAGE, filters, filters materials, efficiency, turbidity, water production.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## INTRODUCCIÓN

La comunidad religiosa madres Franciscanas tienen a cargo el Colegio Nuestra Señora de la Caridad, que consta de 150 personas, entre niños, docentes de planta y personal de servicios varios; esta comunidad no cuenta con abastecimiento de agua potable, el agua es tomada directamente de la quebrada la Guayana y es utilizada para el mantenimiento de la vivienda, el aseo y diversas actividades del colegio, esto trae consigo principalmente riesgos biológicos que conllevan a la aparición de enfermedades de insalubridad.

La Filtración en múltiples Etapas FIME es una combinación de filtración gruesa y lenta en arena, tiene como ventaja el tratamiento de agua sin necesidad de utilizar productos químicos, es un tratamiento ecológico el cual elimina todos los factores de riesgo para el consumo humano en bajos costos cumpliendo con los estándares de calidad expuestos por la ley, las limitaciones que este sistema presenta son los niveles de contaminación que exceden la capacidad de tratamiento.

La utilización de la tecnología Filtración en Múltiples Etapas es una excelente alternativa para esta comunidad debido a que mejora la calidad física, química y bacteriológica; el diseño y construcción de este tipo de plantas no requiere de equipos especializados y los costos de mantenimiento y operación son bajos; ya que la planta con la que esta comunidad contaba tenía la estructura necesaria para el mejoramiento se pueden realizar las adecuaciones sin la necesidad de una inversión elevada empleando los materiales que se encontraban allí.

En este proyecto se muestra el diseño de cada uno de los componentes que conforma la planta implementando los materiales existentes, el uso de las instalaciones y la eficiencia con la que finaliza trabajando, a su vez se evidencia como de turbiedades tan elevadas (116 NTU), la planta la disminuye (1,23 NTU) al valor permitido por ley para el agua de consumo humano; uno de los fines más importantes para la realización de este proyecto es la comunidad estudiantil, siendo la población más vulnerable debido a que su sistema inmunológico no se ha desarrollado correctamente y es más sensible a las enfermedades provenientes de agua no tratada.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Implementar una planta de tratamiento en múltiples etapas FIME en la comunidad religiosa las Franciscanas colegio nuestra señora de la caridad, Piedecuesta.

### **1.1. OBJETIVO ESPECÍFICO**

- ✓ Evaluar la demanda de consumo de agua de la comunidad para la estimación del caudal de diseño de la planta.
- ✓ Diseñar los componentes de la planta FIME y el sistema de cloración que se instalarán en la comunidad.
- ✓ Evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento FIME.

## 2. ANTECEDENTES

La planta de tratamiento Filtración en Múltiples Etapas FIME, es una tecnología que nace en Colombia por el Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico - Cinara, adscrito a la Universidad del Valle, Utilizada en una gran variedad de países tales como México, Ecuador, Bolivia, Perú, Brasil, Nicaragua, Estados Unidos, Honduras y algunos países Africanos [1]

La FIME se forma de tres filtros diferentes: filtro dinámico, filtro grueso ascendente y filtro lento en arena, donde el aporte realizado en las investigaciones de CINARA fueron la inclusión de los dos primeros en un tren de tratamiento, permitiendo un mejor desempeño de la filtración lenta cuya función es permitir la remoción de virus y bacterias existentes en el agua. [2]

Los filtros lento en arena surgieron en el siglo XIX en la ciudad de Paisley, escocia 1804 por John Gibb cubriendo la necesidad de potabilizar el agua para evitar las enfermedades producidas por patógenos presentes en ella, unos años más adelante esta tecnología fue introducida en Londres por el ingeniero James Simpson con el fin de servir a Chelsea Water Company, cual fue destinada para el abastecimiento de la ciudad de Londres. [1]Estas plantas han servido para abastecer de agua potable a comunidades pequeñas, siendo una alternativa sencilla, por su construcción, mantenimiento, operación y a su vez es confiable por la calidad del agua que brinda.

En Europa la tecnología de la filtración lenta en arena se siguió utilizando en el trascurso de este siglo expandiéndose por ciudades como Berlín (1856), Altona (1860), Hamburgo (1893) y Zurcív (1871); llegando a Estados Unidos en 1872 a Poughkeepsie, New York siendo esta la primera planta en el país usando la filtración lenta en arena; en 1994 la USEPA publicó un reporte en el cual decía que existían cerca de 1000 plantas de tratamiento de agua utilizando la filtración lenta en arena.[3]

La región andina en Colombia usa la tecnología FIME como solución sostenible debido a las limitaciones de infraestructura que posee, este es el caso de Mondomo en el Departamento del Cauca, comunidad de 3400 habitantes, quienes adquirieron esta tecnología gracias a las empresas del departamento del Valle de Cauca, la planta fue construida bajo la necesidad que dejó el sismo ocurrido en 1994 quedando el corregimiento sin la infraestructura del servicio de agua potable

y saneamiento básico; la planta fue puesta en funcionamiento en el año de 1998 y ha recibido un premio de innovación en ingeniería [1]

Al año de 1999 en Colombia ya existían 50 plantas operando. En la actualidad se han implementado estas plantas en municipios como el Peñol ubicado en el departamento de Nariño; en el corregimiento Titumate departamento del choco, construidas para cubrir la necesidad de agua potable evitando enfermedades asociadas a bacterias patógenas presentes en el agua, estas construcciones se ejecutaron en el 2012. [4]

Desde Colombia esta tecnología se extendió a nivel internacional, es así como en México, dadas las deficiencias en la operación y mantenimiento de la filtración lenta en arena, se abandonó el uso de esta tecnología. Sin embargo, estudios de transferencia de Perdón et. Al [5], muestran que el avance de la filtración lenta en arena como nuevo concepto de FIME, se estableció como una opción robusta y económica de potabilización para abastecimientos municipales y comunidades rurales en ese país.[5]

A nivel internacional se registra la construcción de FIME en el municipio de San Agustín, ubicado en el departamento de Copan, Honduras; este municipio carecía de agua potable y en consecuencia una serie de enfermedades gastrointestinales, a partir del pasado mayo del 2012, este municipio cuenta con una planta de tratamiento la cual abastece a 5000 habitantes donde su actividad económica son los cultivos de café.[6]

La revisión de la implementación de la tecnología a nivel nacional e internacional reflejan las bondades de la misma para ser implementadas en el colegio de la comunidad Madres Franciscanas.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POR FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS, FIME

Una planta de tratamiento FIME, utiliza la combinación de filtración en grava y filtración lenta en arena con dos o tres etapas para el tratamiento del agua, este tipo de plantas se presenta como alternativa de solución para las comunidades rurales, dado que mejora la calidad del agua en los sistemas de abastecimiento, soportado en la filtración lenta en arena, la cual es una tecnología robusta y confiable, y a su vez obtener un efluente de calidad sin necesidad de utilizar reactivos químicos durante el proceso. Una FIME al ser manejada y operada por los mismos habitantes de la comunidad genera una ventaja competitiva y de sostenibilidad económica, dado que no requiere la competencia profesional. [7]

El sistema tiene su punto de partida con el ingreso de agua cruda a la etapa denominada de pre-tratamiento, posteriormente en una segunda etapa de tratamiento, el agua emerge filtrada y lista para el uso destinado: consumo humano. El principio de cada una de las etapas de pre-tratamiento y tratamiento es remover las sustancias sólidas presentes en el efluente y asegurar que sus características sean las adecuadas para ser sometido a la fase de tratamiento adoptado, es decir, en un todo el sistema se convierte en un input de un tratamiento posterior de acuerdo a las necesidades planteadas por los usuarios del sistema, como se muestra en la figura 1. [7]

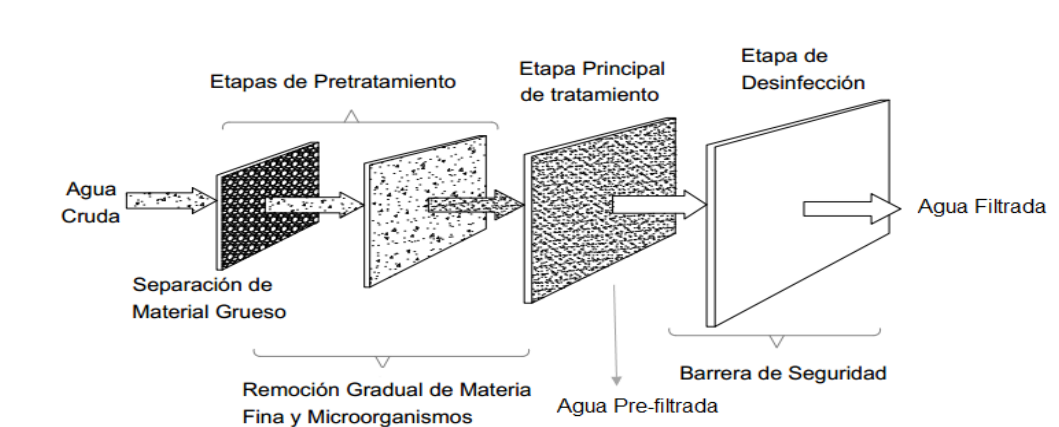


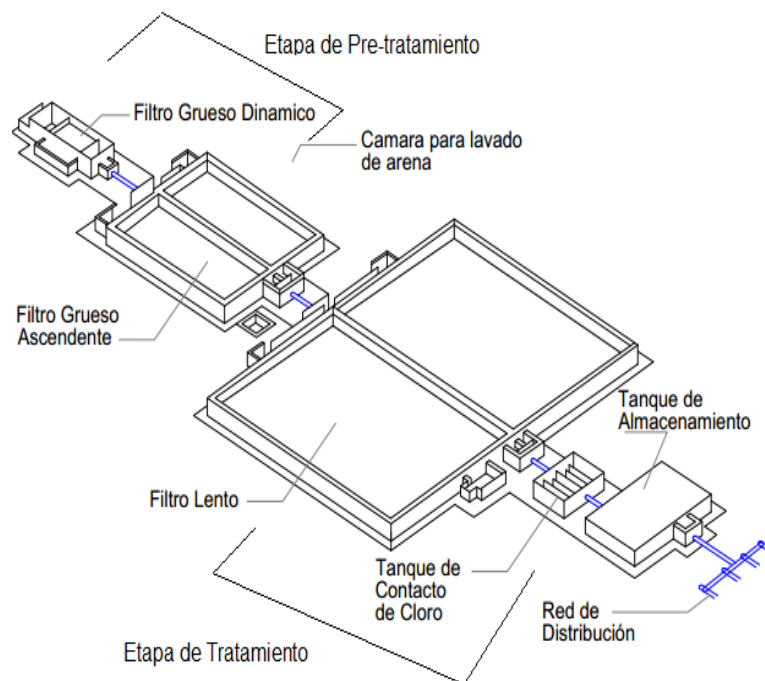
Figura 1. Procesos que integran una FIME.

Fuente: [7] - [8]

Esta tecnología es conformada por dos o tres componentes o etapas principales de filtración, el filtro grueso dinámico, el filtro grueso y el filtro lento en arena (FLA), como se muestra en esquema Figura 2. [8]

La primera etapa del tratamiento remueve todos los sólidos gruesos y grandes provenientes de la captación del efluente, en esta etapa también se alcanza a filtrar material fino y organismos. Sin embargo, la unidad encargada de realizar la remoción del material pequeño es el filtro grueso dinámico que se encuentra adaptado con un medio filtrante. [7]

Los filtros lentos en arena (FLA) son una de las unidades más importantes de la FIME, debido a que allí se realiza la segunda etapa de remoción de material flotante, microorganismos o florecimiento de algas provenientes del agua cruda, haciendo indispensable que se realice un buen pre-tratamiento; en países tropicales se hace necesario mayores controles puesto que las fuentes de abastecimiento trasladan altos niveles de turbidez y sólidos suspendidos presentando periodos cortos de remoción. [7]



**Figura 2. Representación de filtración en múltiples etapas.**

Fuente: [7] - [2]

En la utilización de este sistema, la fuente superficial de donde es captada el agua debe cumplir con ciertos estándares de calidad ya que es un sistema con ausencia de tratamiento químico, en el cuadro número 1 se observa cuáles son los parámetros de calidad de agua cruda. [8]

**Cuadro 1. Parámetros de calidad de agua en fuentes superficiales para sistemas FIME.**

<b>RANGO</b>	<b>NIVEL PROMEDIO</b>
<b>Bajo</b>	Turbiedad < 10 UNT
	Coliformes fecales < 500 UFC/100 ml
	Color real < 20 UPC
<b>Intermedio</b>	Turbiedad 10-20 UNT
	Coliformes fecales 500 a 10000UFC/100 ml
	Color real 20-30 UPC
<b>Alto</b>	Turbiedad 20-70 UNT
	Coliformes fecales 10000-20000 UFC/ 100 ml
	Color real 30-40 UPC

Fuente: [8].

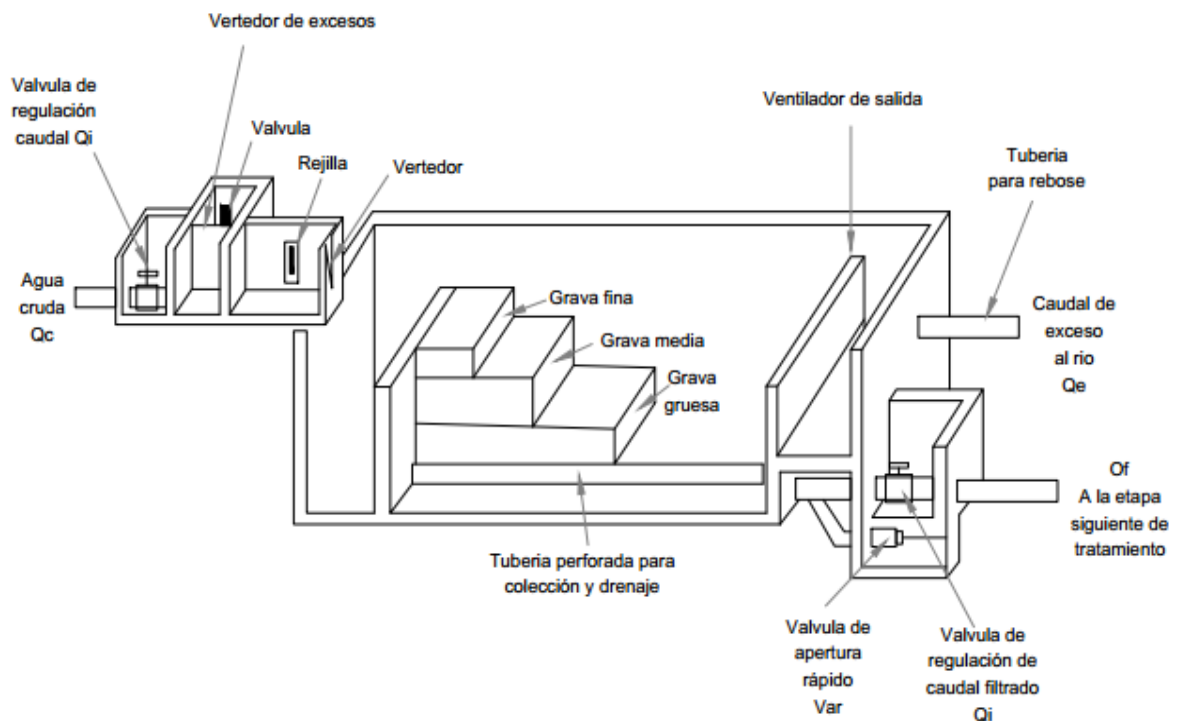
La captación del agua, definida como la fuente hídrica de la cual se toma, se debe tener en cuenta las épocas de lluvia, sequía y la topografía en la cual se encuentra para poderle garantizar un buen nivel de agua al filtro; la estructura con la cual se realizará la captación puede ser simple y solo constar de un canal o tubería. [8]

### **3.1.1. Filtro grueso dinámico (FGD)**

El filtro grueso dinámico es el primer componente de la planta de tratamiento tipo FIME, donde su función es eliminar parte de la turbiedad que trae el agua, allí se retienen cantidades pequeñas de impurezas pero con tamaños elevados. Este contiene una capa delgada de grava fina en la parte superior y otra más gruesa que se encuentra en contacto con el sistema de drenaje del fondo. El agua que

entra pasa sobre la grava y parte de ella es captada a través del lecho, hacia la próxima etapa del tratamiento. Cuando el agua ingresa muy sucia, el filtro grueso dinámico se tapa en la parte de encima y evita que el lodo pase a los otros componentes, protegiendo así al filtro grueso ascendente. [7]

En la figura 3 se explica el funcionamiento del FGD<sub>i</sub> que consiste en la llegada del agua a la cámara de entrada y de allí pasa al lecho de grava por donde se filtra de arriba hacia abajo, en el fondo del filtro el agua es recogida por una tubería perforada (tubería de recolección) y luego pasa a la tubería que la lleva al filtro grueso. El agua que no se filtra pasa por encima de la grava hacia la cámara de rebose, y su paso arrastra parte del lodo que se ha acumulado sobre la superficie de la grava. [7]



**Figura 3. Esquema filtro grueso dinámico.**

Fuente: [9]

En términos de diseño el filtro grueso dinámico debe tener una altura alrededor de 0,6 y 0,8m, la cámara de filtración debe construirse en mampostería o concreto reforzado, el lecho filtrante del cumplir con las especificaciones de la tabla 1: [8]

**Tabla 1. Especificaciones del lecho filtrante recomendado para FGD.**

POSICIÓN DE LA UNIDAD	TAMAÑO DE LA GRAVA (MM)
Superior	3-6
Intermedio	6-13
Inferior, fondo	13-25

Fuente: [8]

Cuando el filtro grueso dinámico presenta pérdidas de carga, se debe a que está exigiendo ajuste en las válvulas existentes en la tubería del efluente para que la salida del agua permanezca constante y se pueda realizar su respectiva limpieza.[8]

### **3.1.2. Filtro grueso ascendente**

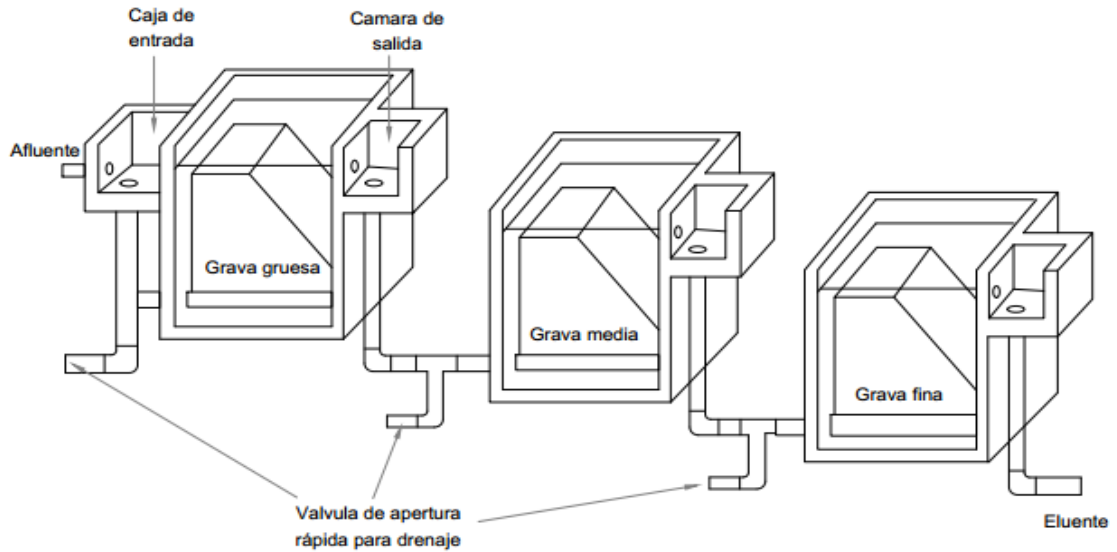
El filtro grueso ascendente es el segundo componente de la planta de tratamiento, se utiliza para remover turbiedad y parte de los microbios que han pasado por el filtro grueso dinámico; en este filtro el agua pasa a través del lecho de grava de abajo hacia arriba, siendo retenidas las impurezas por el filtro. La filtración del flujo ascendente posee la ventaja de remover primero las partículas más pesadas en el fondo del filtro.[7]

Posee un sistema de tuberías ubicado en el fondo de la estructura que distribuye el flujo del agua en forma uniforme dentro del filtro, este está orientado a disminuir la concentración de las partículas más pequeñas y minimizar el número de partículas gruesas, produciendo remociones importantes en sólidos suspendidos, Turbiedad, color real, al igual que en hierro, manganeso y coliformes fecales. [7]

La eficiencia producida por esta unidad según los parámetros de sólidos suspendidos alcanza un valor de 95% en fuentes superficiales, en el rango de 50 a 200mg/l, la remoción de turbiedad se da entre un 50 y el 80% en fuentes superficiales de zonas planas (valles) y en fuentes superficiales de ladera, la remoción está en el rango de 50 al 90%, el color real se remueve en un 20 y 50% y los coliformes fecales se reducen entre 0.65 y 2.50 unidades log.[7]

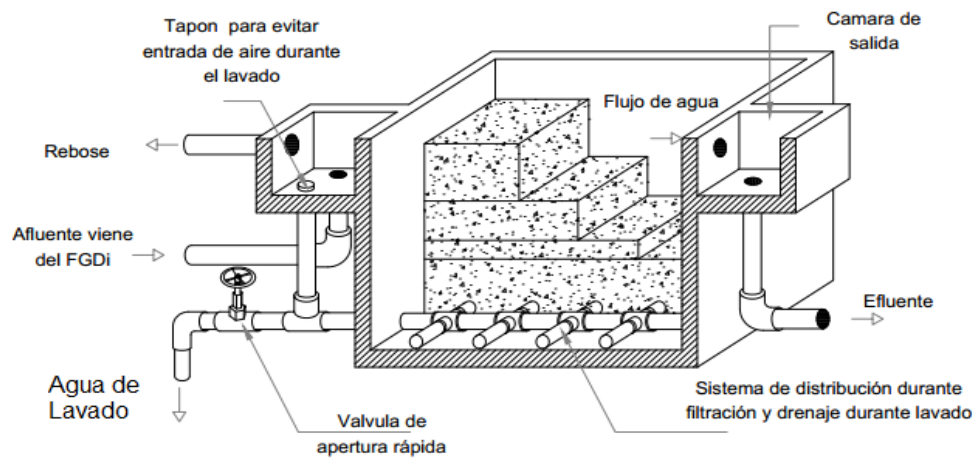
Cuando el agua entra por primera vez al filtro, la pérdida de carga del medio es baja, esta va aumentando con el paso del tiempo y su funcionamiento hasta que llega al valor de 40 a 60 cm; al alcanzar estos valores se debe realizar la limpieza del filtro para que este continúe en funcionamiento, la limpieza se debe realizar por

descargas de fondo. El filtro grueso ascendente puede diseñarse en serie o en capas como se muestra en las figuras 4 y 5. [9]



**Figura 4. Filtro grueso ascendente en serie.**

Fuente: [9]



**Figura 5. Esquema de un filtro grueso ascendente en capas.**

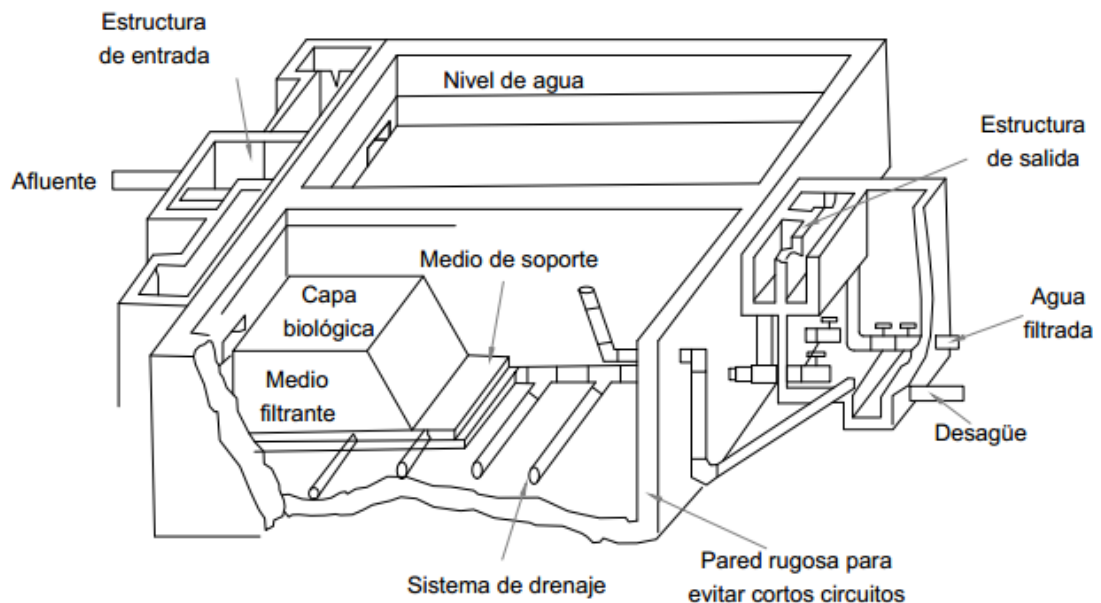
Fuente: [8]

### 3.1.3. Filtro lento

Este filtro es el último componente del tratamiento, su función principal es permitir la remoción de virus y bacterias existentes en el agua, por medio de este proceso se retiran bacterias y partículas que no fueron retenidas en el proceso de filtración gruesa ascendente (FGAS).[7]

La filtración lenta es un proceso de purificación del agua que radica en hacerla pasar a través del lecho poroso de un medio filtrante. Cuando se da este paso la calidad del agua mejora por disminución del número de micro-organismos (bacterias y virus), elimina partículas en suspensión, de materia coloidal y cambios en la composición química. En la parte superior del lecho, se ha formado una capa gelatinosa constituida de algas y microorganismos biológicamente muy activos, que descomponen la materia orgánica, mientras que parte de la materia inorgánica en suspensión queda retenida por acción de "colado". Se produce un principio de floculación del agua y por ello retienen la turbidez existente en el agua. [7]

En la figura 6 se muestra el esquema que conforma un filtro lento.



**Figura 6. Esquema del filtro lento**

Fuente: [9]

Para que el filtro lento realice una buena remoción de microorganismos es necesario que la capa biológica que se encuentra encima de la arena actúe, es por esto que cuando el filtro se encuentra limpio su periodo de remoción aumenta hasta llegar a formar esta capa, la formación puede llevar un periodo de tiempo de días hasta semanas dependiendo de las características del afluente que llega, lo que se conoce como periodo de maduración del filtro lento. La limpieza del filtro se realiza cuando la capa biológica llega aproximadamente a 40 cm de profundidad.[9]

### **3.2. REMOCIÓN DEL MATERIAL HÚMICO**

El color real del agua cruda se obtiene del materia húmico presente en ellas, por tanto la fuente de abastecimiento de la cual se va a realizar la captación debe tener un color verdadero relativamente bajo, es decir con valores inferiores a 40 UPC, puesto que este tipo de plantas realizan una remoción del 5% al 15% por lo cual no es efectiva.[7]

Si el agua captada tiene valores mayores a 40 UPC de color real es necesario implementar técnicas como la pre-ozonización, esto hace que aumente la biodegradabilidad de la materia orgánica y a su vez aumente la actividad bacteriana de la capa biológica del filtro, el proceso de pre-ozonización es recomendable realizarlo antes de la filtración lenta para activar los microorganismos de la capa biológica, haciendo que los compuesto de peso molecular alto se conviertan en compuesto de peso molecular bajo y sean fácilmente biodegradables.[7]

Este proceso hace que agua cruda con 70 UPC de color real sea removido el 80% en el filtro lento trayendo como beneficio disminución en el uso de cloro y menores concentraciones de COD.[7]

### **3.3. REMOCIÓN DE ALGAS**

Las algas son un problema para toda planta FIME debido a que su remoción no es tan eficiente, para que estas puedan ser removidas se deben ajustar las tasas de filtración. Las algas son de fácil proliferación por la gran cantidad de nutrientes que posee el agua cruda.[7]

Pueden llegar a causar problemas de taponamiento en los filtros, sobretodo en el filtro lento puesto que este posee la capa biológica, creciendo rápidamente en los vacíos de esta, causando una reducción en la duración del proceso de filtración. La aparición o florecimiento puede ser mayor en otoño o primavera. [7]

Los ambientes para la concentración de las algas son en profundidades de 2 a 5 m de la superficie marcando el efecto inhibitor de la luz solar. Uno de las soluciones para que la producción de algas sea mínima es captar el agua cruda a diferentes profundidades y mantener tapados los filtros para que así los rayos del sol no penetren estas áreas.[7]

Las especies que comúnmente causan obstrucción en los filtros son:

- Cyanophyta (cianobacterias), Chlorophyta (algas verdes), Chrysophyta (diatomáceas), Pirrophytas (dinoflagelados), Euglenophyta.

### 3.4. MEDIO FILTRANTE

Existe una gran variedad de tipos de filtros, tales como los que se muestran en el Cuadro 2:

**Cuadro 2. Tipos de filtros.**

<b>FILTROS QUÍMICOS</b>	<b>Rápidos con lecho de un solo material</b>	De arena sola fina o gruesa
		De antracita sola
	<b>Rápidos con lecho múltiple</b>	De antracita y arena
		De antracita, arena y granate o ilmenita
	<b>Rápidos con flujo ascendente</b>	
<b>De flujo mixto (parte ascendente y parte descendente)</b>		
<b>FILTROS BIOLÓGICOS</b>	<b>Rápidos biológicos</b>	
	<b>Lentos convencionales</b>	
	<b>Pre-filtros</b>	De arena dinámicos
		De arena horizontales
De arena ascendentes		

Fuente: [10]

Los filtros lentos deben tener cualidades, como las evidenciadas en el cuadro 3:

**Cuadro 3. Características filtros lentos con lecho simple.**

CARACTERÍSTICAS	PARAMETROS			
Velocidad de filtración	cm/seg	0,0081	0,0108	0,0162
Profundidad del lecho filtrante	30 cm de grava			
	90-110 cm de arena			
Drenaje	Tuberías perforadas, de gres o cemento			
Lavado	Raspando la superficie de la arena			
Perdida de carga	De 16 cm hasta 1,20 m máximo			
Tiempo entre limpiezas	20-30-60 días			
Penetración del floc	Superficial			
Cantidad de agua usada en el lavado	0,2-0,6 % del agua filtrada			
Tratamiento previo del agua	ninguno o pre-filtración			
Costo de operación	Bajo			
Área ocupada por los filtros	Más grande que la de los filtros rápidos de arena			
Turbiedad	<= 10 UT			
Color del efluente	<10 U.C			

Fuente: [10]

El agua de consumo humano para ser llevada a los hogares debe cumplir con parámetros físicos y microbiológicos los cuales ya están establecidos en la resolución 2115 del 2007.[11] En el agua se transportan microorganismos patógenos, en el cuadro 4 se evidencian algunos de los más importantes, tales como los virus, bacterias entre otros, los cuales causan enfermedades a las comunidades que la consumen, es por esto la importancia de su tratamiento y de conocer las enfermedades que se pueden transmitir por las aguas que son tratadas de forma no adecuada incumpliendo con las normas de sanidad.[12]

**Cuadro 4. Organismos causantes de enfermedades hídricas.**

	MICROORGANISMO	ENFERMEDAD
<b>BACTERIAS</b>	Salmonella typhi	Fiebre tifoidea
	Salmonella sp.	salmonelosis
	Shigella sp	Shigelosis
	Campylobacter jejuni	Enteritis por campilobacter
	Yersinia enterocolitica	Yersiniosis
	Escherichia coli	Gastroenteritis
<b>VIRUS</b>	Enterovirus	Polio
		Meningitis aséptica
		Herpangina
	Hepatitis A	Hepatitis infecciosa
	Adenovirus	Enfermedades respiratoria
Conjuntivitis		

Fuente: [12].

### 3.5. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA POTABLE

Dentro de los parámetros microbiológicos, se deben analizar los grupos de microorganismos tales como las bacterias, virus, protozoos y helmintos.

En el cuadro 5 se muestra el tiempo y el rango de temperatura a la cual sobreviven algunos tipos de patógenos fecales en un agua que no ha recibido tratamiento.[13]

**Cuadro 5. Supervivencia de patógenos fecales en el agua**

PATÓGENO	CONGELADO	FRIO ( 5 °C)	CALIENTE ( 30 °C)
<b>Giardia</b>	< 1 día	2 mes	< 3 semana
<b>Cryptosporidium</b>	> 1 año	> 1 año	< 3 mes
<b>Salmonella</b>	> 6 mes	> 9 mes	> 6 mes
<b>Campylobacter</b>	2-8 semana	< 2 semana	< 1 semana
<b>Yersinia</b>	> 1 año	> 1 año	< 2 semana
<b>E. coli</b>	> 6 mes	> 9 mes	< 3 mes

Fuente: [13]

### **3.5.1. Bacterias**

Las bacterias son unos de los agentes patógenos más estudiados, puesto que las enfermedades bacteriológicas son las que se presentan con mayor frecuencia en las comunidades donde el agua no tiene las condiciones necesarias para el consumo humano, estos microorganismos son difíciles de identificar, siendo las más pequeñas en tamaño, morfología sencilla y su clasificación es difícil por su alta diversidad; su hábitat es todo el medio ambiente, es decir, viven en suelo, aire y agua. Hay algunos tipos de bacterias las cuales no resultan ser patógenas, no causan enfermedades siendo útiles para el desarrollo de otras especies.

En este grupo se encuentran las bacterias coliformes fecales las cuales sirven como organismos indicadores de la calidad del agua. [12]

### **3.5.2. Coliformes fecales**

Son bacterias excretadas en los residuos sólidos de los seres humanos y otros mamíferos, viven en el tracto intestinal de los animales de sangre caliente, a su vez también son emitidas bacterias causantes de enfermedades, pero éstas no sobreviven mayor tiempo fuera del cuerpo de estos animales y mueren. Los coliformes fecales son considerados como indicadores de la presencia en el agua de bacterias causantes de enfermedades, estos microorganismos no afectan a los animales acuáticos pero si a los seres humanos, trayendo como consecuencias enfermedades importantes como la diarrea, cólera, disentería y fiebre tifoidea.[14]

Algunas consecuencias de la contaminación en el agua por coliformes fecales son las siguientes:

- Se incrementa el contenido de materia orgánica en el agua, al descomponerse la materia orgánica, el oxígeno disuelto se agota ocasionando muerte de peces y otros seres acuáticos.
- Los coliformes fecales se eliminan del agua residual al desinfectarla con cloro y otros productos químicos. Al agregar estos productos químicos produce un desequilibrio en el ecosistema acuático y pone en peligro la supervivencia de animales dependientes de esas bacterias. [12]

Los Coliformes fecales llegan al agua por medio de aguas residuales no tratadas en sistemas municipales, fosas sépticas, escorrentías de establos, zonas de pasto o praderas. [14]

Para comprobar la presencia de Coliformes en el agua como indicadores, es necesario realizar una serie de pruebas de laboratorio bajo los siguientes métodos los cuales fueron aprobados por las normas nacionales de los estados unidos, estos son:

1. Técnica de fermentación en tubos múltiples para los miembros del grupo coliformes
2. Técnica de filtración de membrana.
3. Técnica del número más probable.

En el cuadro 6 se evidencia información donde se estipula la técnica de eliminación y el número permisible de Coliformes totales y Escherichia Coli, establecida por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial en la resolución 2115 del año 2007.

**Cuadro 6. Características microbiológicas.**

TÉCNICAS UTILIZADAS	COLIFORMES TOTALES	ESCHERICHIA COLI
Filtración por membrana	0 UFC/100 m <sup>3</sup>	0 UFC/100 m <sup>3</sup>
Encima Sustrato	< de un microorganismo de 100 m <sup>3</sup>	< de un microorganismo de 100 m <sup>3</sup>
Sustrato Definido	0 microorganismos 100 m <sup>3</sup>	0 microorganismos 100 m <sup>3</sup>
Presencia – ausencia	Ausencia de 100 m <sup>3</sup>	Ausencia de 100 m <sup>3</sup>

Fuente: [11]

La técnica utilizada comúnmente en Colombia para el recuento de Coliformes totales y E. coli es el de Filtración por Membrana, el cual es aprobada y utilizada a nivel nacional e internacional por los entes reguladores debido a su fácil manejo y empleo.[15]

La técnica de filtración por membrana se puede utilizar para muestras relativamente voluminosas produciendo resultados con mayor rapidez a comparación de otros métodos, este método es muy útil para el agua de consumo humano, pero tiene limitación en aguas de gran turbidez o donde no se evidencia presencia de bacterias Coliformes; para llevar a cabo esta técnica se requiere

utilizar como filtro una almohadilla con poros uniformes, muy pequeños para evitar que las bacterias pasen por el filtro, donde el agua pasa a través del filtro que dando retenidas la baterías en él. El número de coliformes se estima por el número de colonias desarrolladas.[15]

### **3.5.3. Virus**

Los virus son agentes infecciosos los cuales no poseen núcleo, membrana celular ni pared celular por tanto se clasifican como entidades parasitas no celulares, estos agentes necesitan de células hospedadoras para poder reproducirse ya que no tienen un metabolismo independiente y son inactivos fuera de este. [12]

Existen tres grandes características para diferenciar un virus de una célula viva:

- No se da la división celular y no se reproducen de forma independiente.
- Solo pueden poseer un ácido nucleico ya se ADN o ARN.
- Su organización celular es demasiado simple.[12]

### **3.5.4. Protozoos**

Los protozoos son organismos eucariotas, unicelulares los cuales carecen de pared celular pero cuentan con una membrana plasmática que utilizan para tomar el alimento y desechar los residuos de su cuerpo; la mayoría de los protozoos son inofensivos aunque existen algunos que son parásitos.

Existe una clase de protozoos causantes de enfermedades, estos son clasificados como protozoos patógenos, dentro de esta clasificación se derivan la giardia lambilia y la cryptosporidium, estos microorganismos se encuentran en las aguas residuales en las cuales se transportan sus huevos y llegan a los suministros del agua potable donde tienen que ser tratados por medio de la desinfección, para así disminuir el riesgo de contraer enfermedades tales como la giardiasis y la criptosporidiosis.

### **3.5.5. Giardia lamblia**

Giardia lamblia es un parasito microscópico que posee un caparazón externo llamado quiste con el cual se protege y le permite vivir fuera de un cuerpo hospedador por varios periodos de tiempo, cuando se consume el quiste de este microorganismo se desarrolla una enfermedad intestinal conocida como giardiasis produciendo nauseas, fiebre, diarrea severa, calambres abdominales, vientre hinchado, flatulencia, fatiga y pérdida de peso. Estos síntomas duran varios días y el hospedador puede liberarse del parasito por si solo en uno o dos meses según su sistema inmunológico, si el parasito no ha desaparecido en ese lapso de tiempo el hospedador tiene que recibir tratamiento médico. [12]

Una de las formas de ingerir los quistes de la giardia lamblia es por medio de la contaminación de un abastecimiento de agua potable, esto ocurre debido a la actividad de los animales en las cuencas vertientes de un abastecimiento o por la introducción de aguas residuales en el sistema de tratamiento, este parásito se puede controlar por medio de la desinfección con cloro u ozono los cuales actúan de manera eficiente en la eliminación de los quistes.

En algunos casos la desinfección química, es decir, el uso del cloro para la eliminación de la giardia no resulta efectiva según las siguientes variables:

- El pH del agua por encima de 7,5 reduce la eficiencia del cloro como desinfectante.
- La temperatura del agua influye puesto que si es agua helada disminuye la eficiencia mientras que en temperaturas altas el cloro funciona correctamente.
- A mayor tiempo de contacto del agua con el cloro, es mayor su eficiencia.
- Cuando la concentración del cloro tiende a ser elevada hay mayor posibilidad de causar muerte a los quistes de giardia.[12]

### **3.5.6. Cryptosporidium**

Cryptosporidium pertenece al género de los protozoarios unicelulares, su lugar de desarrollo es el tracto intestinal de personas y animales, produciendo una enfermedad llamada criptosporidiosis. [12]

Según la resolución 2115 del 2007 decretada por el ministerio de la protección social y de medio ambiente, vivienda y desarrollo territorial el valor aceptable de

cryptosporidium en el agua para consumo humano es de cero ooquistes (huevos del cryptosporidium).[11]

La criptosporidiosis es transmitida de persona a persona, por medio de ingestión de alimentos contaminados o agua mal tratada, actualmente no existe una cura segura para este tipo de brotes, la mayoría de las veces esta se cura sin tomar ningún tipo de antibiótico, claro está si es una persona con un sistema inmunológico normal.[16]

### **3.5.7. Helmintos**

Los helmintos son gusanos parásitos llamados nematodos, donde su habitat natural es dentro o fuera de su hospedador estos también habitan en limos biológicos y a su vez proceden de suelos húmedos y desechos, no poseen un metabolismo independiente, por lo tanto se alimentan de los nutrientes del hospedero. Son animales invertebrados de cuerpo alargado con simetría bilateral y órganos definidos, su tamaño es de 0,5 a 3 mm de longitud y de diámetro de 0,01 a 0,05 mm, no posee extremidades y su reproducción puede ser asexual o sexual en algunos casos.[17]

## **3.6. PARÁMETROS FÍSICOS DEL AGUA POTABLE**

En el cuadro 7 se muestra el aspecto físico del agua potable, el cual es fundamental puesto que para ser consumida debe cumplir con ciertas características expuestas en la resolución 2115 de 2007 entre otras:

**Cuadro 7. Características físicas.**

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>	<b>EXPRESADAS COMO</b>	<b>VALOR MAXIMO ACEPTABLE POR LA RESOLUCION 2115 DE 2007</b>
<b>Color aparente</b>	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
<b>Turbiedad</b>	Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT)	2
<b>Olor y sabor</b>	Aceptable o no aceptable	Aceptable
<b>Solidos totales</b>	Mg/l	500
<b>Conductividad</b>	Micromhos/cm	50 – 100
<b>pH</b>	Unidades de pH	6,5 – 9,0
<b>Alcalinidad total</b>	Mg/l CaCO <sup>3</sup>	200
<b>Dureza</b>	Mg/l	300

Fuente: autor

### **3.6.1. Turbidez**

La turbidez es una de las propiedades físicas más importantes puesto que se relaciona con la claridad y transparencia del agua de consumo humano influyendo en la calidad del agua que llega a los hogares, está se mide en unidades nefelométricas de turbidez (NTU), la forma de medir la turbidez es con instrumento llamado turbidímetro, la luz pasa a través de la lámina de agua calculando así la intensidad de la luz dispersada a 90°.[18]

Las partículas orgánicas e inorgánicas conforman en si la turbidez, al estar formada por constituyentes orgánicos, éstos pueden poseer microorganismos por lo cual la posibilidad de presencia de enfermedades hídricas es alta. Según la ley colombiana el valor aceptable de turbidez para agua de consumo humano es de 2 NTU.[11]

### **3.6.2. Color**

Una de las formas de clasificar el agua como agua de bebida es por su apariencia, y esto se puede observar por medio de su color ya que el agua para consumo humano debe ser incolora. El color del agua muchas veces proviene de las sustancias externas que están disueltas en ella, es decir, la materia orgánica, minerales, organismos acuáticos o incluso desechos industriales o municipales presentes en ella. [12]

Un agua con color por encima de 15 unidades de platino cobalto (UPC) no es aceptable según la resolución 2115 de 2007,[11] puesto que los efectos por encima de ese valor serían negativos, ya que para utilizarla en actividades como la industria del papel, lavado de ropas, alimentos, textiles entre otras no sería de utilidad.[12]

### **3.6.3. Sabor y olor**

El olor y el sabor presentes en el agua de bebida son cualidades negativas, puesto una de sus características físicas es ser insípida e inodora; las fuentes de agua superficiales tienden a contraer problemas de sabor y olor debido a la presencia de algas, protozoos u otros microorganismos. En las fuentes subterráneas la calidad del agua hace referencia a la cantidad de sólidos disueltos y la ausencia de contaminantes biológicos y tóxicos. Si el agua se presenta con un contenido alto de sustancias disueltas es debido a la variación de sustancias en el suelo lo que puede conllevar a tener un sabor amargo y denominarse agua dura. [12]

El agua dura puede también poseer altos contenidos de sulfatos, que dejan un sabor amargo, y pueden tener un efecto laxante en los consumidores; éste tipo de agua causa problemas de incrustaciones calcáreas en los calentadores de agua y tuberías, y hace que el jabón sea difícil de eliminar.

Los términos usados para describir cualitativamente el olor y el sabor concurrentes en el agua con frecuencia son: graso, séptico, fenólico; pantanoso, dulce y mohoso.[12]

### 3.6.4. Sólidos

Los sólidos son partículas que se encuentran suspendidas o disueltas en el agua, pueden ser inorgánicos u orgánicos. La materia orgánica que se presenta en aguas superficiales proviene de sólidos biológicos, fibras de plantas entre otras y la materia inorgánica son limos, arcillas y otros componentes del suelo; todos estos sólidos llegan las fuentes de agua por efectos de la naturaleza.[19]

Para determinar la calidad del agua respecto la cantidad de material sólido que se encuentra en ella, es necesario analizar los diferentes tipos existentes:

- Sólidos totales (ST): es todo aquel material resultante al evaporar el agua, es decir, es todo material existente en la muestra diferente al agua.
- Sólidos sedimentables: son todos aquellos sólidos que se sedimentan en el fondo de un recipiente cónico al pasar 60 minutos.
- Sólidos disueltos (SD): se hace referencia a sales y gases, se establecen pasando la muestra por un papel filtro y luego se determinan los sólidos totales del filtrado, hallando también los sólidos disueltos fijos al pasar por la muestra filtrada por una mufla a 600 °C; y los sólidos disueltos volátiles (SDV) se obtienen por diferencia.
- Sólidos suspendidos (SS): se obtiene al restar los sólidos disueltos de los sólidos totales. [17]

### 3.6.5. pH

El pH define el grado de acidez y basicidad presente en el agua, pues un pH bajo, es decir ácido, puede causar problemas de corrosión en las tuberías de conducción, lo que implica que iones como el Cu, Pb, Zn se mezclen con el agua conducida a los hogares y esto cause problemas de salud en los consumidores.

El pH para agua de bebida debe mantenerse en un rango de 6,5 y 9,0 según la norma exigida por el ministerio de la protección social en la resolución 2115 del 2007. [11]

### 3.6.6. Alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad que tiene el agua para neutralizar los ácidos absorbiendo iones de hidrogeno sin cambio notorio del pH; la importancia de la alcalinidad radica en la calidad del agua, es decir, un agua con alto grado de alcalinidad produce un sabor desagradable pero no afecta la salud humana y la alteración de esta trae problemas en el proceso de coagulación en el tratamiento del agua potable. [20]

Existen tres tipos de alcalinidad que se pueden hallar por medio de ecuaciones de equilibrio del ácido carbónico, conociendo el pH y la alcalinidad total.

- Alcalinidad al  $[\text{OH}^-]$
- Alcalinidad al  $[\text{HCO}_3^-]$
- Alcalinidad al  $[\text{CO}_3^{2-}]$

El valor admisible de alcalinidad en el agua según la resolución 2115 del 2007 es de 100 mg/l  $\text{CaCO}_3$  [11]

### 3.6.7. Dureza

La dureza en el agua es ocasionada por un catión bivalente como el  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ; la dureza se puede clasificar en:[21]

- Dureza carbonácea (DC): se caracteriza por poderse remover a altas temperaturas o utilizando cal puesto que se formaría un precipitado de estos iones.
- Dureza no carbonácea (DNC): ésta es ocasionada por sulfatos, nitratos de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  o cloruros, es también llamada dureza permanente debido a que no se puede remover con cal, soluciones acidas o a altas temperaturas.[21]

En la tabla 2 se presenta la clasificación de los tipos de dureza que puede presentar el agua cruda:

**Tabla 2. Clasificación del agua según la dureza**

<b>BLANDAS</b>	< 75 mg/L CaCO <sub>3</sub>
<b>MODERADAMENTE DURAS</b>	75 a 150 mg/L CaCO <sub>3</sub>
<b>DURAS</b>	150 a 300 mg/L CaCO <sub>3</sub>
<b>MUY DURAS</b>	>300 mg/L CaCO <sub>3</sub>

Fuente: [21].

### 3.7. PARÁMETROS QUÍMICOS DEL AGUA POTABLE

Según la resolución 2115 del 2007 las características químicas que se deben tener en cuenta para el agua de consumo humano con sus valores máximos son los expuestos en los siguientes cuadros:[11]

**Cuadro 8. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>EXPRESADA S COMO:</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (MG/L)</b>
<b>Carbono orgánico total</b>	COT	Determina la cantidad total de materia orgánica presentes en el agua. Con el resultado obtenido se pueden establecer relaciones de DBO y DQO	5
<b>Nitritos</b>	NO	Indica contaminación, es formador de ácido nitroso en solución acida, la mezcla con aminas secundarias forman las nitroso aminas las cuales son cancerígenas.	0,1
<b>Nitratos</b>	NO	Es causante de la metahemoglobina (color azul en la piel). Esta enfermedad es producida por la reducción de nitratos a nitritos dentro del sistema digestivo	10

Fuente: [11] - [21].

**Cuadro 9. Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana**

PARÁMETRO	EXPRESADAS COMO:	DESCRIPCIÓN	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (MG/L)
<b>Arsénico</b>	As	Está asociada con la utilización y fabricación de herbicidas o pesticidas. Trae como consecuencia la obstrucción celular, acumulándose en los tejidos de muchos organismos presentes en el agua llegando a ser mortal.	0,01
<b>Cadmio</b>	Cd	Produce complicaciones respiratorias en los seres humanos, también causa irritación gastrointestinal.	0,003
<b>Cianuros</b>	CN <sup>-</sup>	Los organismos causantes de la auto-purificación del agua son inhibidos por la presencia de estos. Su toxicidad aumenta con la asociación de elementos como la temperatura, entre otros.	0,05
<b>cobre</b>	Cu	su toxicidad depende de la asociación con la temperatura, dureza, turbiedad y contenido de CO	1
<b>Cromo</b>	Cr	Su toxicidad varia según los peces que lo consuman, la temperatura y pH del agua.	0,05
<b>Mercurio</b>	Hg	Causa perdida de las funciones cerebrales, perdida de la visión genera parálisis eventual, estado de coma o muerte.	0,001
<b>Níquel</b>	Ni	Es necesario para el desarrollo de plantas y animales pero en bajas concentraciones. En altas concentraciones causa problemas de salud	0,02
<b>Plomo</b>	Pb	se acumula en el cuerpo humano , causa sofocación en los peces	0,01
<b>Hidrocarburos</b>	HAP	Generan deterioro de los cuerpos de agua, mal olor, su presencia en los cuerpos de agua aumentan la DBO.	0,01

Fuente: [11]- [21].

## 4. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en este proyecto se realizó un estudio por medio de las siguientes tres fases:

### 4.1. PRIMERA FASE: EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE CONSUMO DE AGUA

La primera fase se compone por la evaluación de la demanda del consumo de agua, con el propósito de estimar el caudal de diseño de la planta; se realizó por medio de entrevistas a la madre superiora y recorridos por las instalaciones, verificando en qué actividades se hace uso del agua.

Se tomaron las medidas de la infraestructura existente de los diferentes elementos de abasto de la comunidad por medio de un levantamiento topográfico, tanto del convento como del colegio, de igual manera se ejecutaron visitas al colegio en la jornada de la mañana con el propósito de hacer una estimación aproximada de las veces que son usadas las unidades sanitarias.

Con la información e infraestructura, se determinó el consumo de agua (caudal instantáneo) por medio de la cantidad de veces y personas que usan cada una de las unidades que componen el convento (lavamanos, inodoros, lavaderos, etc.) y el colegio. Hallando también el caudal máximo y medio diario que demanda la comunidad.

El caudal máximo diario se halló tomando como datos la dotación bruta asignada y la población total en un día, para así calcular el caudal medio diario y este posteriormente se multiplicara por un coeficiente de consumo diario ( $K_1$ ) que es de 1,30.

$$Q_{md} = \frac{\text{población} * d_{bruta}}{86400} = L / \text{día} [22]_{\text{Ecu.1}}$$

Donde:

$Q_{md}$ : Caudal medio diario ( $\text{m}^3/\text{seg}$ )

$d_{bruta}$ : Dotación bruta ( $\text{m}^3/\text{hab} * \text{día}$ )

Para el caudal a tratar se tomó como referencia el caudal instantáneo en comparación con la capacidad instalada utilizando la ecuación 2:

$$Q=A*V \text{ Ecu. 2}$$

Dónde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/seg)

A: Área (m<sup>2</sup>)

V: Velocidad (m/seg)

Dónde:

Área:  $\pi*D^2/4$

D: diámetro del filtro lento en arena (tanque de 1000 L) [23]

Velocidad: establecida en la guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas[8]

Se realizaron los planos de la planta existente, en el cual se muestra los diámetros de las tuberías que se manejaban y cada uno de los accesorios con las entradas y salidas de los filtros.

#### **4.2. SEGUNDA FASE: DISEÑO DE LOS COMPONENTE DE LA FIME**

La segunda fase comprende el diseño de la planta y de cada uno de los componentes que la conforman. Para el diseño del filtro grueso dinámico, el filtro grueso ascendente y el filtro lento en arena, se tomó como referencia el documento de la planta de tratamiento acueductos La Balsa y Palo Blanco ubicado en el municipio de Buenos Aires (Cauca) [24], se dimensionó el sistema de filtración estableciendo cada uno de los medios filtrantes, el diámetro y el espesor que se requiere para realizar este proceso.

También se fijó el diámetro de la tubería de conducción y se halló la pérdida de carga de cada uno de los sistemas según la ecuación 3:

$$h_f = \frac{0,0608 (L_o)(V)}{d^2} = \text{cm} [24]_{\text{Ecu.3}}$$

$h_f$ : Pérdidas de carga en el lecho filtrante (cm)

$L_o$ : espesor o altura de la capa filtrante (cm)

$V$ : Velocidad de filtración (cm/seg)

$d$ : diámetro de las partículas del material filtrante (cm)

El diseño de la planta se realizó teniendo en cuenta los elementos existentes, se trazó una nueva línea de conducción de entrada a cada uno de los filtros según lo establecido en la literatura, para así obtener un funcionamiento óptimo y la calidad de agua adecuada para el consumo de la comunidad.

Con los datos obtenidos en la estimación de la capacidad instalada, se tomó el caudal mínimo suficiente para el abastecimiento de la comunidad; situando el paso de la tubería y cada uno de los accesorios que se utilizarán para la adecuación y el lavado

En la fase final del montaje se halló el volumen de material filtrante que requiere cada una de las capas de acuerdo al área de los filtros, la estimación de la cantidad en peso (kilogramos) de material se calculó despejando la ecuación 4:

$$m = d \cdot v \quad \text{Ecu. 4}$$

Dónde:

$m$ : masa (kg)

$d$ : densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) (peso específico)

$v$ : volumen ( $\text{m}^3$ )

El material filtrante requerido no se encontró en el comercio, para obtener los diámetros necesarios se seleccionó el material con tamices antes de proceder al llenado de los filtros.

### **4.3. TERCERA FASE: EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO FIME**

La evaluación del sistema y su comportamiento; se realizó mediante pruebas de laboratorio, tales como turbiedad, alcalinidad y dureza.

Antes de realizar el montaje de la FIME, se efectuó un muestreo durante 15 días, para evaluar el estado inicial del agua, y posteriormente hacer una comparación de los resultados obtenidos en las pruebas.

La evaluación y seguimiento del sistema consistió en muestreos periódicos del agua en las entradas y salidas de todos los filtros dos veces al día, estas muestras se tomaban y se llevan a medir en los equipos del laboratorio de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga – UPB,

En el seguimiento se realizaron la limpieza de cada uno de los filtros tres veces en el día mientras el sistema se estabilizaba. El lavado que se hacía radicaba en limpiar el material filtrante por medio de descargas de fondo y removiendo las impurezas flotantes en el agua con un tamiz.

Una vez estabilizado el sistema se procedió a disminuir la cantidad de veces que se realizaba la limpieza en el día (se disminuyó a una limpieza diaria), y se hizo seguimiento una vez al día durante un mes principalmente de turbiedad.

## 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 5.1. EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE CONSUMO DE AGUA DE LA COMUNIDAD

La comunidad de Madres Franciscanas y el colegio Madre Caridad son abastecidos con el agua de la quebrada La Guayana, es captada y conducida a través de la red de distribución principal dividiéndose en dos líneas de conducción que distribuye el agua de la siguiente forma:

La primera dirige el agua al sistema de tratamiento no convencional FIME, el cual no opera adecuadamente y se decide realizar las mejoras pertinentes para un buen funcionamiento, cumpliendo con la calidad de agua establecida en la resolución 2115 de 2007. Está compuesta por cuatro filtros (tanques) ubicados en diferentes partes de la plataforma como se describe a continuación:

1. Un filtro con capacidad de 500 litros situado en una base construida sobre la plataforma principal, este contenía en su interior material filtrante de un mismo diámetro y espesor de 20 cm, la entrada de agua se encontraba establecida en la parte superior y salía por la parte inferior conduciendo el agua a dos filtros de 1000 litros.
2. Los filtros de 1000 litros estaban colocados en las esquinas de la plataforma principal, conteniendo material filtrante de un mismo diámetro y un espesor de 20 cm, las entradas de agua estaban ubicada en la parte superior y la salida por la parte inferior, donde el caudal de entrada no era igual evitando que los filtros se llenaran al mismo tiempo.
3. El último filtro tenía una capacidad de 500 litros encantándose ubicado en una plataforma más baja que la principal y cumplía la función de abastecer a la comunidad.

La tubería utilizada en esta planta eran de diámetros de  $\frac{1}{2}$ " y 1", la ubicación y accesorios no eran los indicados, ya que se presentaba una mayor pérdida de agua; la imagen 1 muestra la planta antes de comenzar con el mejoramiento, exponiendo con detalles de la ubicación de la tubería y los accesorios que hacían parte de ella.

La segunda línea es dirigida al convento y llevada al tanque de almacenamiento donde se le realiza tratamiento in-situ con el uso de químicos, efectuando

procesos como la coagulación, sedimentación, aspiración y cloración; esta línea de distribución tiene la posibilidad de integrarse al sistema de tratamiento propuesto en este proyecto, trayendo como beneficio la reducción de costos en el uso de químicos para el tratamiento in-situ, o seguir trabajando por separado como lo viene haciendo.

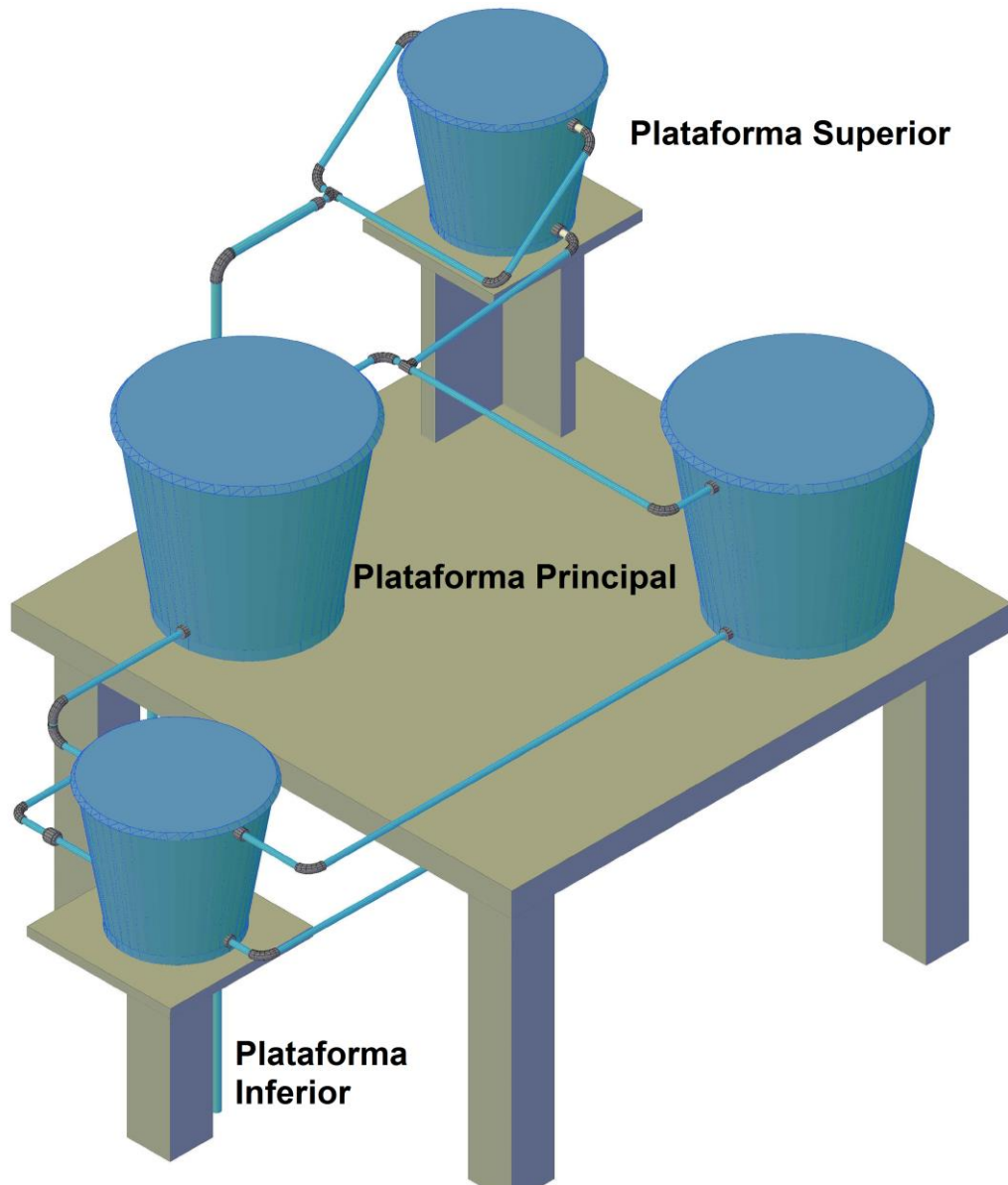


Imagen 1. Estado de la planta antes de ser mejorada

Fuente: autor.

Para evaluar la producción de agua en el colegio se hizo por medio de dos métodos, calculando por separado la dotación establecida en el RAS y el consumo real de la zona, es decir, se ejecutó la medición del tiempo que empleaban los niños cada vez que hacían uso de los aparatos sanitarios, en las dos jornadas de descanso con el fin de establecer la cantidad de agua que consumía en ese espacio de tiempo.

En el convento también se realizó el cálculo según el RAS y se tuvo en cuenta la capacidad instalada total, de acuerdo a las unidades que se utilizaban para efectuar sus actividades de limpieza, y así poder establecer una comparación, obteniendo la cantidad de agua a producir por día en el sistema, indicándonos los parámetros de planta que se debía diseñar.

#### **5.1.1. Estimación del consumo de agua en el convento según la capacidad instalada.**

El levantamiento topográfico del convento y la ubicación de las instalaciones realizadas se muestran en las imágenes 2,3 y 4, allí se describe la distribución de los elementos que conforman los baños, la cocina y el cuarto de ropas para poder calcular la cantidad de agua que consumen diariamente.

El convento cuenta con una capacidad para 30 personas, pero se realizó la medición para 5 personas las cuales son la que siempre habitan el convento, se hizo de esta manera puesto que el número de habitantes no se va a exceder.

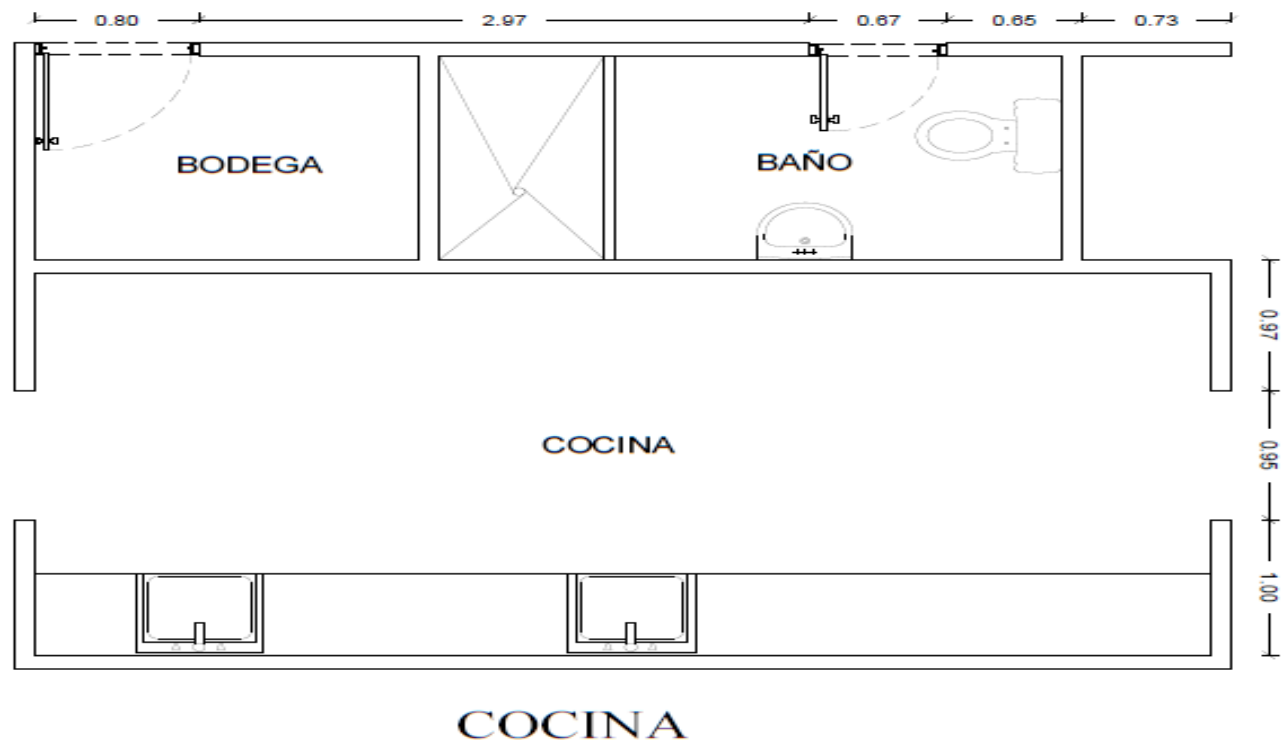
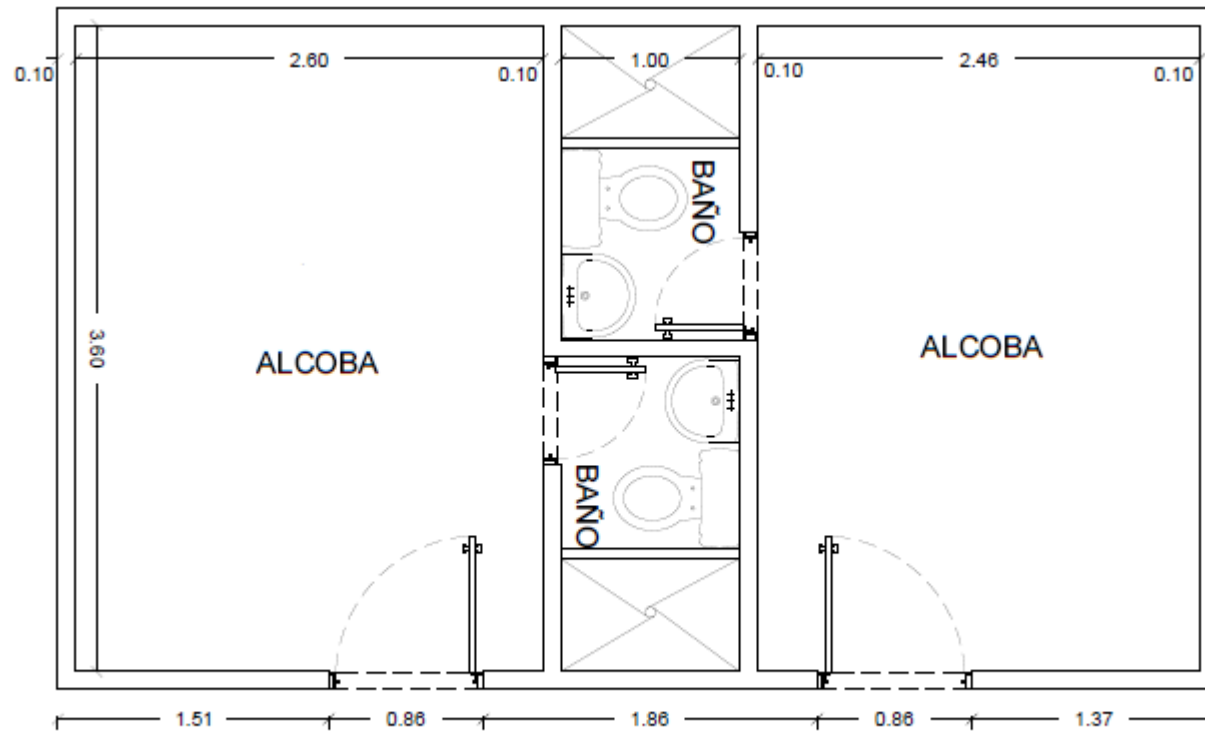


Imagen 2. Plano arquitectónico de la cocina del convento de las madres Franciscanas.

Fuente: Autor.



## BAÑO HABITACIONES

Imagen 3. Distribución de los baños de cada una de las habitaciones del convento madres Franciscanas

Fuente: Autor.

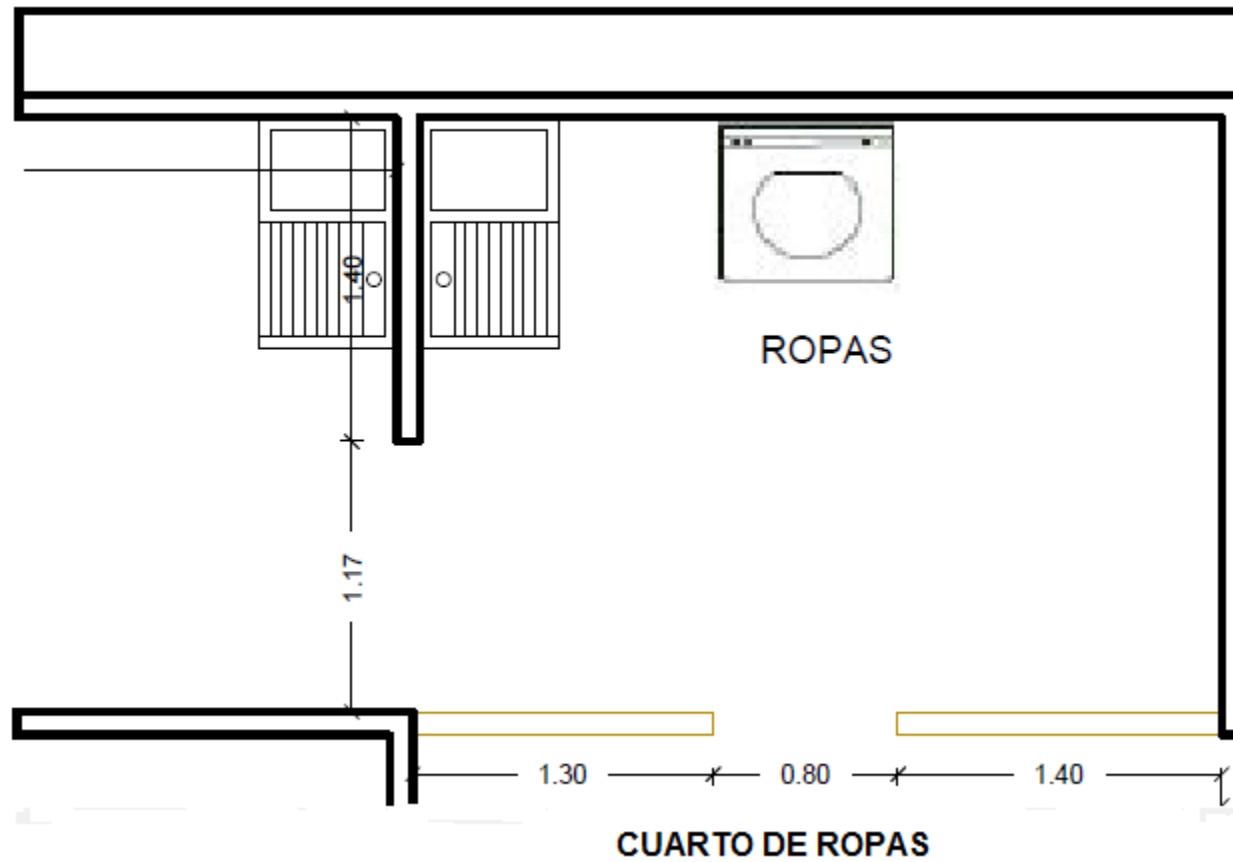


Imagen 4. Cuarto de ropas del convento madres franciscanas

Fuente: autor.

En la tabla 3, se muestra las estimaciones sobre el consumo de agua del convento. Para hallar la cantidad de agua usada, se tuvo en cuenta el agua gastada en el tiempo determinado por la literatura y se relacionó con el tiempo en real que una persona dura utilizando cada aparato sanitario.

Tabla 3. Estimación consumo de agua convento.

APARATOS SANITARIOS	CONSUMO (LITROS)	TIEMPO DE USO SEGÚN LITERATURA (MIN)	TIEMPO REAL DE USO (MIN)	CANTIDAD DE VECES DE USO (POR DÍA)	TOTAL CANTIDAD DE AGUA USADA (L)
Lavamanos	9	1	0,3	15	41
Sanitarios	12			20	240
Lavadero	9	1	4	5	180
Ducha	95	5	8	5	760
Lavaplatos	9	1	10	3	270
Lavadora	210	-	-	5	1050
Preparación de alimentos	12	-	-	3	36
<b>Total agua usada por 5 habitantes del convento en un día</b>					<b>2577</b>

Fuente: Autor.

El consumo de agua total usada por los 5 habitantes del convento arrojo un valor de 2577 L/día, este valor es elevado, debido a que las actividades de lavado en lavadora y a mano son las que requieren mayor cantidad de agua.

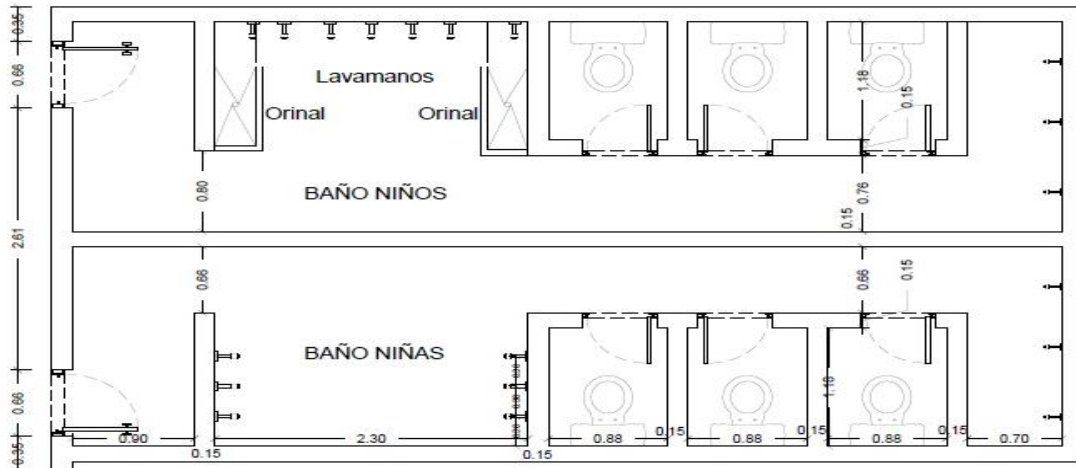
### 5.1.2. Estimación del consumo de agua en el convento según el RAS

$$Q_{md} = \frac{\text{población} * d_{bruta}}{86400} = Q_{md} = \frac{\text{población} * d_{bruta}}{1 \text{ día}}$$
$$Q_{md} = \frac{5 * 120}{1 \text{ día}} = 600 \text{ L / día}$$

Según el RAS el consumo de agua para los 5 habitantes del convento debe ser de 600 L /día, éste valor es demasiado bajo comparándolo con el consumo real que es de 2577 L/día, ya que las actividades que realizan demandan gran cantidad de agua.

### 5.1.3. Estimación del consumo de agua en el colegio según el consumo real de la zona.

En la imagen 5, se observa el lugar de cada una de las unidades que conforman los baños del colegio, tomando en cuenta la ubicación y la cantidad de unidades que tienen, se realizó la estimación del consumo de agua.



BAÑOS COLEGIO

Imagen 5. Ubicación de cada una de las unidades que componen los baños del Colegio Madre Caridad.

Fuente: Autor

En la tabla 4, se muestra la estimación sobre el empleo de agua del colegio calculándolo por medio del consumo real de la zona (colegio) y obtuvo el gasto real por alumno y el usado por la cantidad de alumnos que utilizan las unidades en las jornadas de descanso.

**Tabla 4. Estimación consumo de agua colegio.**

APARATOS SANITARIOS	CAPACIDAD DE DRENAJE (L)	TIEMPO DE USO SEGÚN LITERATURA (SEGUNDOS)	TIEMPO REAL DE USO (SEGUNDOS)	CANTIDAD DE VECES DE USO (POR DÍA)	TOTAL CANTIDAD DE AGUA USADA POR PERSONA (L)
Lavamanos	0,4	15	19	1 veces al día	7,6
Sanitarios	12 L	150	-	2 veces al día	24
<b>TOTAL AGUA USADA POR PERSONA EN UN DÍA</b>					<b>31,6</b>
<b>TOTAL AGUA USADA POR 79 NIÑOS</b>					<b>2496,4</b>

Fuente: Autor.

El tiempo de uso fue tomado de acuerdo a la literatura.[25]

#### 5.1.4. Estimación del consumo de agua en el colegio según el RAS

$$Q_{md} = \frac{\text{población} * d_{bruta}}{86400} = Q_{md} = \frac{\text{población} * d_{bruta}}{1 \text{ día}}$$

$$Q_{md} = \frac{120 * 20}{1 \text{ Jornada}} = 2400 \text{ L /jornada}$$

Consumo total del colegio y convento calculado por el método de la estimación de consumo real: 5073,4 L

El uso del agua calculada por el método del consumo real por zona dio un valor estimado de 31,6 L\*alumno/jornada, siendo este mayor al consumo determinado por el RAS, el cual dice que en una educación elemental se deben destinar tan solo 20 L\*alumno/jornada de agua.

La estimación del consumo de agua en el colegio y convento es primordial para realizar el diseño adecuado de la planta. Por tal motivo se efectúa la medición de las instalaciones del convento y del colegio, como se ve en las imágenes 2,3 y 4. Allí se puede conocer la ubicación exacta del consumo que tiene cada unidad y el número de las mismas; partiendo de la literatura, del número de unidades y de las veces que son utilizados, se pudo calcular el caudal instantáneo que es usado por las monjas habitantes del convento y los alumnos del colegio que estudian durante una jornada, al igual se calculó el caudal estipulado en la norma RAS-2000.

Se compara el caudal instantáneo y el estipulado en la norma RAS-2000, para así escoger el caudal con el cual se plantea el diseño de la FIME, dando un valor más alto el caudal instantáneo, con lo cual se evita el sub-dimensionamiento de la misma y un funcionamiento óptimo.

## **5.2. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

En el diseño fue necesario calcular la capacidad instalada, es decir, la capacidad que tiene la planta para producir el agua requerida y suplir la demanda generada en las horas de descanso de los alumnos.

### **5.2.1. Capacidad instalada**

En la tabla 5 y 6 se muestra los datos y resultados de la capacidad instalada para así tomar el caudal necesario del diseño de la planta.

**Tabla 5. Parámetros establecidos para hallar la capacidad instalada**

DIÁMETRO DEL FLA(M)	1,3	
ÁREA (M <sup>2</sup> )	1,32732	2,65464
CANTIDAD FILTROS LENTOS	2	
VELOCIDAD MÍNIMA (M/H)	0,1	
VELOCIDAD MÁXIMA (M/H)	0,2	

Fuente: Autor- [8] - [19].

Para hallar la capacidad instalada se tomó el diámetro del filtro lento en arena, ya que este filtro está ubicado en el final de la línea de tratamiento de la FIME con la cual se abastece el convento y el colegio.

$$Q = A \cdot V_{Ecu.2}$$

**Calculo del caudal mínimo:**

$$Q = 2,65464 \text{ m}^2 \cdot 0,1 \text{ m/h} = 0,265464 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$0,265464 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24 \text{ h/ 1 día} = 6,371136 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$6,371136 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 1000 \text{ L/ 1m}^3 = \mathbf{6371 \text{ L/día}}$$

**Calculo del caudal máximo:**

$$Q = 2,65464 \text{ m}^2 \cdot 0,2 \text{ m/h} = 0,530928 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$0,530928 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24 \text{ h/ 1 día} = 12,742272 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$12,742272 \text{ m}^3/\text{día} \cdot 1000 \text{ L/ 1m}^3 = \mathbf{12742 \text{ L/día}}$$

**Tabla 6. Capacidad instalada de la planta**

Caudal Mínimo (m <sup>3</sup> /h)	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /h)	Caudal Mínimo (m <sup>3</sup> /día)	Caudal Máximo (m <sup>3</sup> /día)	Caudal Mínimo (L/día)	Caudal Máximo (L/día)
0,265464	0,530928	6,371136	12,742272	<b>6371</b>	<b>12742</b>

Fuente: Autor.

Se calculó los caudales del filtro lento en arena, teniendo como caudal mínimo 6371 l/día y como máximo 12742 l/día; se realizó una comparación de estos caudales con el estimado del consumo total del convento y del colegio el cual fue de 5073,4 l/día, y se tomó la decisión de utilizar el caudal mínimo diario (6371 l/día) para llevar a cabo el diseño de la planta.

La decisión de tomar como caudal de diseño de la planta el mínimo diario, se debe a que los dos caudales de la capacidad instalada son superiores al estipulado por el consumo, lo cual conlleva a tomar el caudal inferior de los dos cumpliendo con la demanda de consumo y de esta manera se garantiza una operación continua, si se escoge el caudal más grande, puede causar desbordamiento de agua y daños en los filtros, llegando a perjudicar la comunidad que se abastece.

Comparando el caudal que proporciona el sistema de tratamiento con las adecuaciones realizadas y el caudal real que se consume en el convento y en el colegio, se puede afirmar que el sistema de tratamiento siempre proporcionará un servicio de agua continuo y con la cantidad de agua necesaria para que se lleven a cabo todas las actividades de la comunidad, a su vez el sistema de tratamiento tiene la capacidad de tener lleno el tanque de almacenamiento por si se requiere consumo de agua extra.

Después de haber analizado el caudal de diseño se procedió a realizar el nuevo diseño empleando los materiales que ya existían, es decir solo se efectuaría una adecuación, consistiendo en el diseño de las nuevas redes de distribución, se cambió el diámetro de la tubería existente y se reemplazó por tubería y accesorios nuevos, se le añadió una nueva plataforma de unos 30 cm de altura, y un tanque de 250 litros el cual cumple la función de filtro grueso dinámico ascendente, se ejecutaron los cálculos adecuados para la cantidad de material filtrante y el espesor para cada uno de los filtros, los detalles de cada filtro se muestran en los puntos expuestos a continuación. En la imagen 5 se expone el mejoramiento que se le realizó a la planta, mostrando con detalle las entradas y salidas de agua de cada filtro.

En el funcionamiento fue necesario establecer ciertos parámetros de diseño, en el cuadro 10 se evidencian los utilizados para hacer funcionar cada uno de los filtros, donde se destacan el caudal, la velocidad, el diámetro de la tubería de conducción; la capa total de lecho filtrante y la cantidad de lámina de agua con la que trabajará cada uno de ellos.

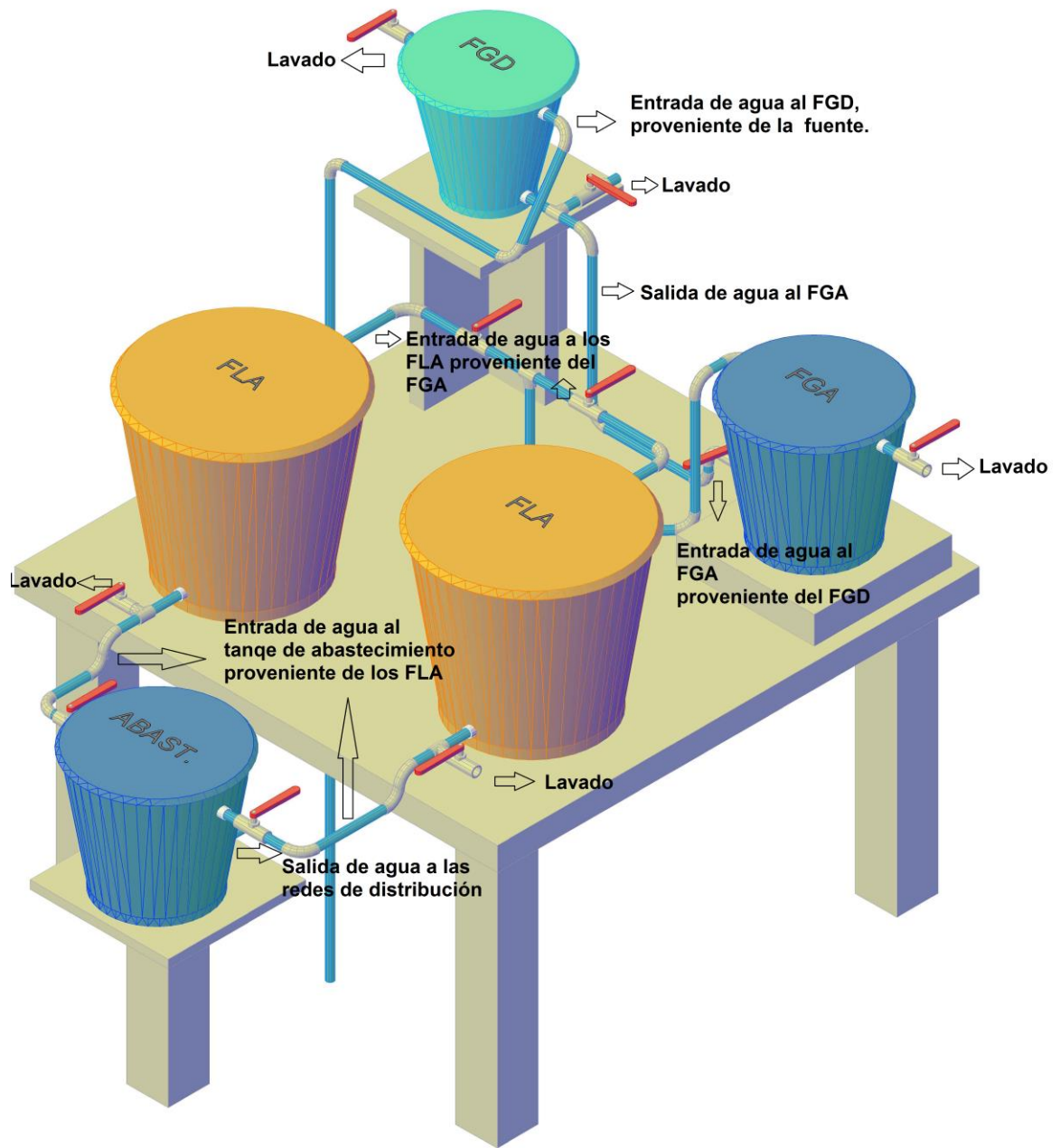


Imagen 5. Estado actual de la planta.

Fuente: autor.

Cuadro 10. Parámetros de funcionamiento del sistema de filtración nuevo.

<b>Parámetros de funcionamiento del sistema de Filtración</b>			
<b>Filtro Grueso Dinámico</b>		<b>Filtro Grueso Ascendente</b>	<b>Filtro lento en arena</b>
<b>Caudal (m³/s)</b>	0,000147	0,000147	0,000147
<b>Área del tanque (m²)</b>	0,55541	0,8824	1,32732
<b>Longitud (m)</b>	0,76	0,85	1,06
<b>Velocidad (m/s)</b>	0,000265	0,000166	0,000111
<b>Conducto Principal Tubería P.V.C de 1"</b>			
<b>Velocidad (m/s)</b>		0,2915	
<b>Caudal (m³/s)</b>		0,000147	
<b>Área del Tubo (m²)</b>		0,000506	
<b>Espesor de la capa del lecho filtrante</b>	40	50	50
<b>Lámina de agua</b>	36	35	56

Fuente: Autor.

### 5.2.2. Detalles de diseño

En los siguientes ítems se muestra con detalle el diseño de cada uno de los filtros que componen la planta; con entradas y salidas de agua, accesorios y tubería utilizada para la adecuación.

#### 5.2.2.1. Filtro grueso dinámico

En la imagen 6 se muestra el filtro grueso dinámico, primer componente que integra la planta. Para el diseño de éste se tuvo en cuenta la entrada y salida de agua, se utilizaron tres tipos de medios filtrantes con diferentes espesores dejando la medida necesaria para la lámina de agua.

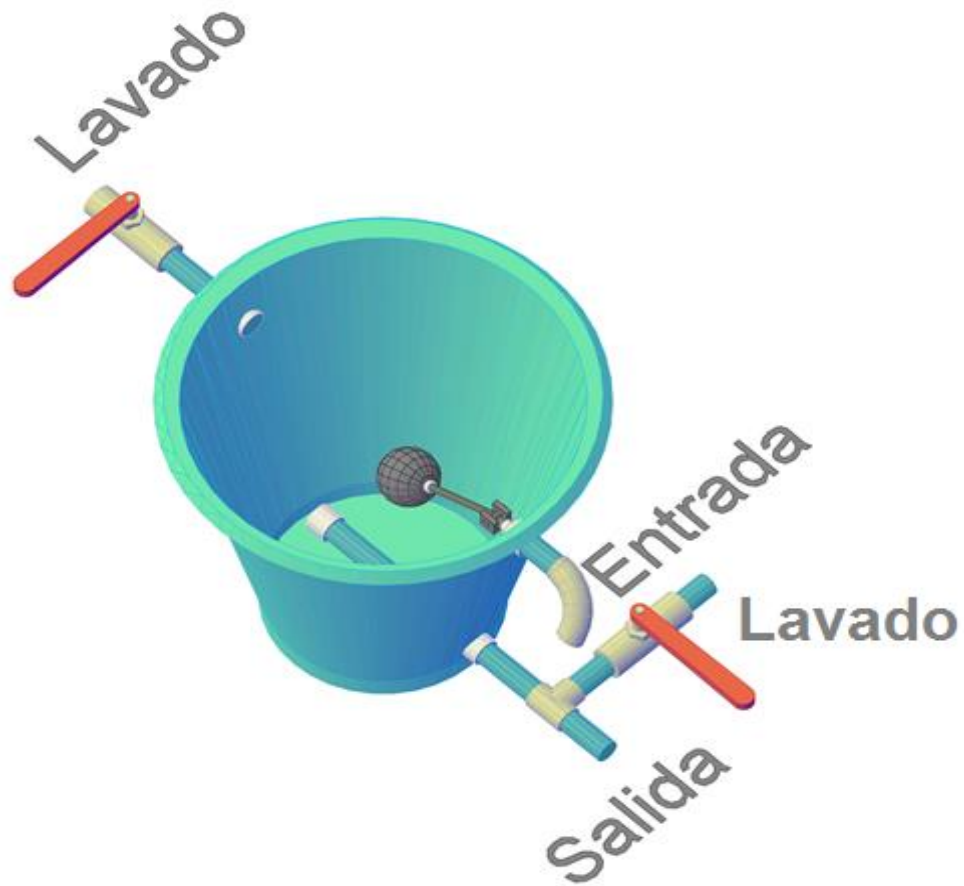


Imagen 6. Diseño interno del Filtro Grueso Dinámico

Fuente: autor

En la estimación del diámetro del medio filtrante se tuvo en cuenta lo especificado en el texto mencionado anteriormente [20], tales como la altura de los filtros y la lámina de agua, escogiendo así los diámetros óptimos y necesarios.

#### ✓ **Lecho filtrante**

El material filtrante que se utilizó fue grava en diferentes diámetros ubicados del diámetro más fino al más grueso como se evidencia en la tabla 7.

**Tabla 7. Tamaño de grava y Espesor en el Filtro Grueso Dinámico**

DIÁMETRO (PULGADAS)	ESPESOR DE LA CAPA (METROS)
¼	0,15
¾	0,15
1	0,10

Fuente: Autor

### ✓ Pérdida de Carga

Para la determinación de la pérdida de carga se utilizó la fórmula 3 mencionada anteriormente en la metodología, arrojando los resultados expuestos en la tabla 8.

$$h_f = \frac{0,0608 (L_o)(V)}{d^2} [20]$$

**Tabla 8. Pérdida de Carga en el filtro grueso dinámico.**

FILTRO GRUESO DINAMICO					
L <sub>s</sub> (cm)	V (cm/s)	D (pulgadas)	D (cm)	D <sup>2</sup>	hf (cm)
15	0,0277	0,25	0,635	0,403225	0,0627
15		0,75	1,905	3,629025	0,0070
15		1	2,54	6,4516	0,0039
<b>Total pérdida del F.D.G</b>					<b>0,0735</b>

Fuente: Autor

### 5.2.2.2. Filtro grueso ascendente

En la imagen 7 se ilustra el filtro grueso ascendente, este se compone de dos áreas de lavado; la entrada de agua se realiza por la parte inferior y la salida por la parte superior que va dirigida a los filtros lentos donde se realiza la última etapa de filtración, cuenta también con tres tipos de medios filtrantes de diferentes diámetros, y espesores.

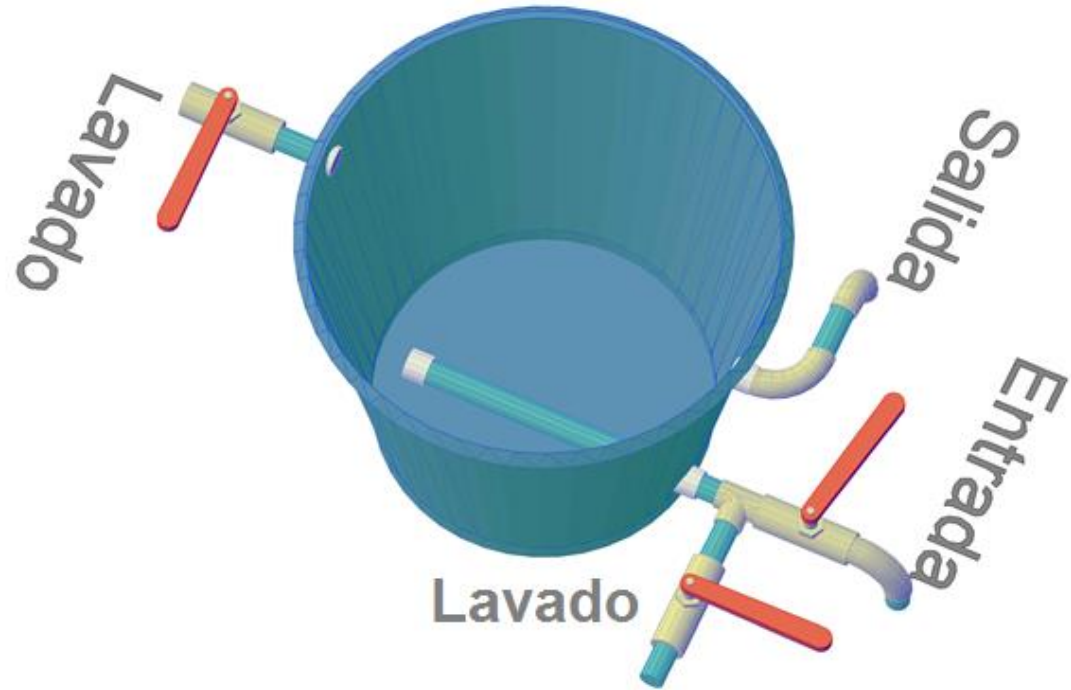


Imagen 7. Diseño interno del Filtro Grueso Ascendente.

Fuente: autor

### ✓ Lecho filtrante

El material filtrante que se utilizó es grava en diferentes diámetros ubicados del diámetro más grueso al más fino, como se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9. Tamaño de grava y Espesor en el Filtro Grueso Ascendente**

DIÁMETRO (PULGADAS)	ESPESOR DE LA CAPA (METROS)
1	0,10
3/4	0,20
Arena gruesa	0,20

Fuente: Autor

✓ **Pérdida de carga**

En la tabla 10 se evidencia los resultados obtenidos del cálculo de la pérdida de carga para el filtro grueso ascendente.

**Tabla 10. Pérdida de carga en el filtro grueso ascendente.**

FILTRO GRUESO ASCENDENTE					
L <sub>s</sub> (cm)	V (cm/s)	D (pulgadas)	D (cm)	D <sup>2</sup>	hf (cm)
20	0,0166	Arena gruesa	0,1	0,01	2,0186
20		0,75	1,905	3,629025	0,0056
20		1	2,54	6,4516	0,0031
<b>Total pérdida del F.D.A</b>					<b>2,0273</b>

Fuente: Autor.

**5.2.2.3. Filtro lento en arena**

En el diseño de los filtros lentos en arena fue primordial la búsqueda de los medios filtrantes, por lo cual se escogieron dos medios uno de diámetro elevado y el otro de diámetro fino y diminuto (arena), se tomaron en cuenta las entradas de agua, donde se tuvo mayor precaución con el caudal con el fin de llenar con el mismo tiempo y velocidad de llenado, a su vez posee un área de lavado de lodos como se observa en la figura 9.

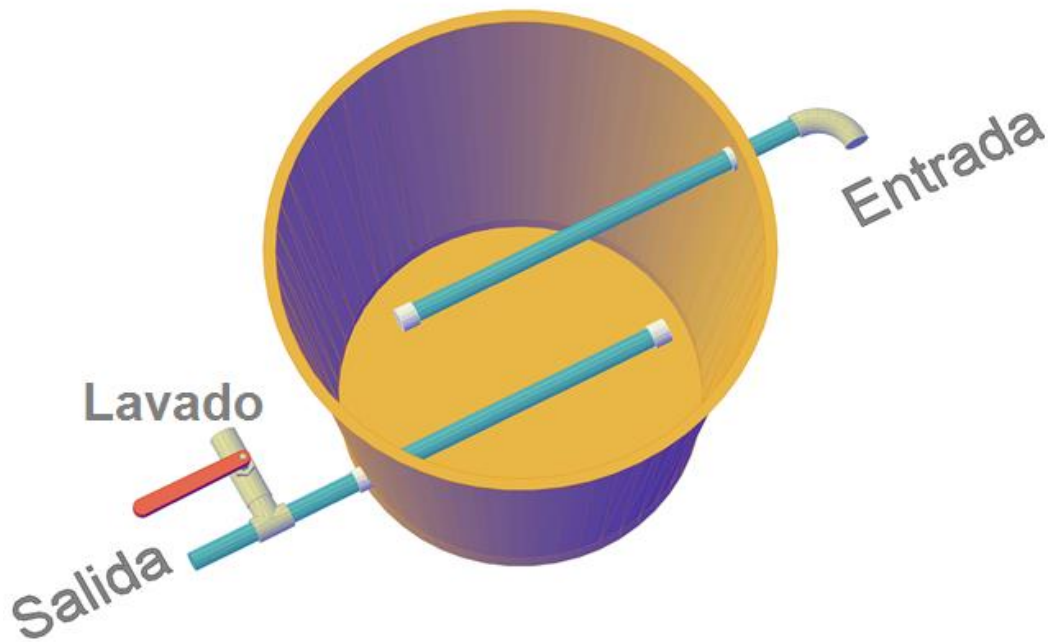


Imagen 8. Diseño interno del Filtro Lento en Arena.

Fuente: autor.

Las tablas 11 y 12 se muestran el diámetro de la grava que se va a utilizar y el valor calculado para la pérdida de carga del filtro lento.

✓ **Lecho filtrante**

**Tabla 11. Tamaño de grava y Espesor en el Filtro lento en arena.**

DIÁMETRO (PULGADAS)	ESPESOR DE LA CAPA (METROS)
Arena fina	0,30
1	0,20

Fuente: Autor

✓ **Perdida de carga.**

**Tabla 12. Perdida de carga en el filtro lento en arena.**

<b>FILTRO LENTO EN ARENA</b>					
<b>L<sub>s</sub> (cm)</b>	<b>V (cm/s)</b>	<b>D (pulgadas)</b>	<b>D (cm)</b>	<b>D<sup>2</sup></b>	<b>hf (cm)</b>
30	0,00555	Arena fina	0,05	0,0025	4,0493
20		1	2,54	6,4516	0,0010
<b>Total perdida del F.L.A</b>					<b>4,0503</b>

Fuente: Autor

**5.2.2.4. Tanque de distribución.**

El tanque de abastecimiento se diseñó con dos entradas de agua provenientes de los filtros lentos, este tanque cuenta con dos flotadores los cuales cumplen la función de evitar que el agua se rebose y se produzcan perdidas innecesarias, de este tanque sale el agua ya tratada para ser conducida por la tubería que llega al colegio y al convento como se muestra en la imagen 9.

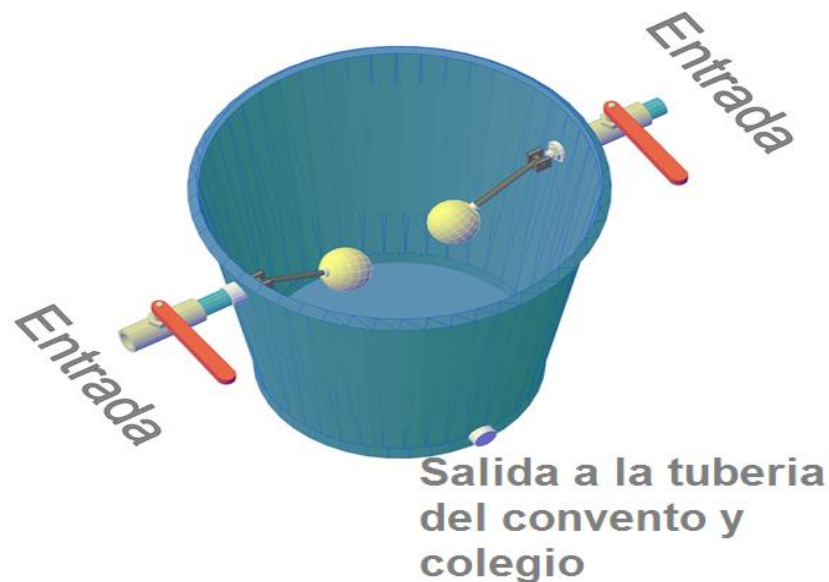


Imagen 9. Diseño interno del tanque de abastecimiento de las redes de distribución.

Fuente: autor

Para cada uno de los sistemas de filtración se realiza el cálculo de la pérdida de carga teórica siendo de 0,0735 cm para el filtro grueso dinámico, para el filtro grueso ascendente de 2,0273 cm y de 4,0503 cm la del filtro lento en arena; indicando la altura de la lámina de agua que se presentarán dentro de los filtros, esto se debe al taponamiento de los poros por el floc que trae el agua filtrada, al momento en que la pérdida de carga teórica sea igual o superior en los filtros en funcionamiento es indicador para que se realice el lavado de los mismos, con esto se removerán las impurezas que contienen los poros, dejándolos limpios y libres para que se empiece una nueva carrera de filtración y de esta manera tenga un desempeño eficiente durante su funcionamiento.

#### 5.2.2.5. Cantidad de material filtrante

En las tablas 13, 14 y 15 se muestran las cantidades de material filtrante requerido para cada uno de los filtros y los datos necesarios para hallar estas cantidades.

En el cálculo del número de bultos que se necesitaron se tomó en cuenta que cada bulto tiene un peso de 40 kg, y en el filtro lento en arena las cantidades de material que se necesitarían serían el doble puesto que son dos filtros los que hay que llenar.

**Tabla 13. Cantidad de material filtrante para el FGD**

FILTRO GRUESO DINAMICO						
TAMAÑO DE LA GRAVA	ESPESOR DE LA CAPA (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	DENSIDAD DE LA GRAVA (Kg/m <sup>3</sup> )	PESO (Kg)	# DE BULTOS
1/4"	0,15	0,5541	0,08312	1450	120,51675	3
3/4"	0,15		0,08312		120,51675	3
1"	0,15		0,08312		120,51675	3

Fuente: Autor.

**Tabla 14. Cantidad de material filtrante para el FGA**

<b>FILTRO GRUESO ASCENDENTE</b>						
<b>TAMAÑO DE LA GRAVA</b>	<b>ESPESOR DE LA CAPA (m)</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>)</b>	<b>DENSIDAD DE LA GRAVA (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>PESO (Kg)</b>	<b># DE BULTOS</b>
Arena gruesa (3,93")	0,20	0,8824	0,17648	1450	255,896	6
3/4"	0,20		0,17648		255,896	6
1"	0,20		0,17648		255,896	6

Fuente: Autor.

**Tabla 15. Cantidad de material filtrante para el FLA**

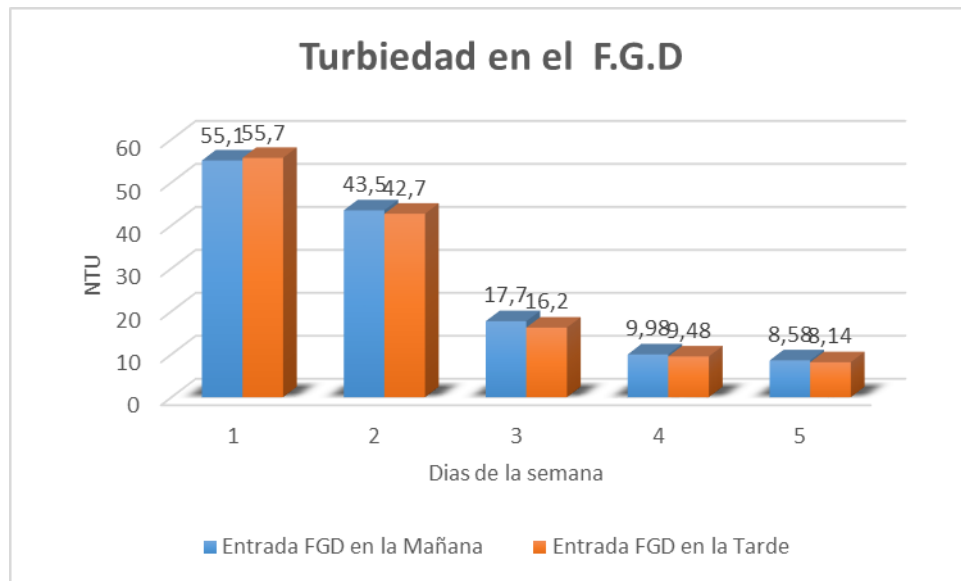
<b>FILTRO LENTO EN ARENA</b>						
<b>TAMAÑO DE LA GRAVA</b>	<b>ESPESOR DE LA CAPA (m)</b>	<b>AREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUMEN (m<sup>3</sup>)</b>	<b>DENSIDAD DE LA GRAVA (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>PESO (Kg)</b>	<b># DE BULTOS</b>
Arena fina (1,96")	0,30	1,32732	0,398196	1450	577,3842	14
1"	0,20		0,265464		384,9228	10

Fuente: Autor.

### **5.3. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DEL TRATAMIENTO DE LA FIME**

#### **5.3.1. COMPORTAMIENTO INICIAL DEL FGD**

En la gráfica 1 se expone la turbiedad de entrada al filtro grueso dinámico, siendo este el primer filtro que compone el sistema se observa claramente que en los tres primeros días la turbiedad supera las 10 NTU, Se puede observar que no hay mayor diferencia de turbiedad en las horas de la mañana y de la tarde, lo que indica que no existe un cambio externo brusco en la fuente por día.

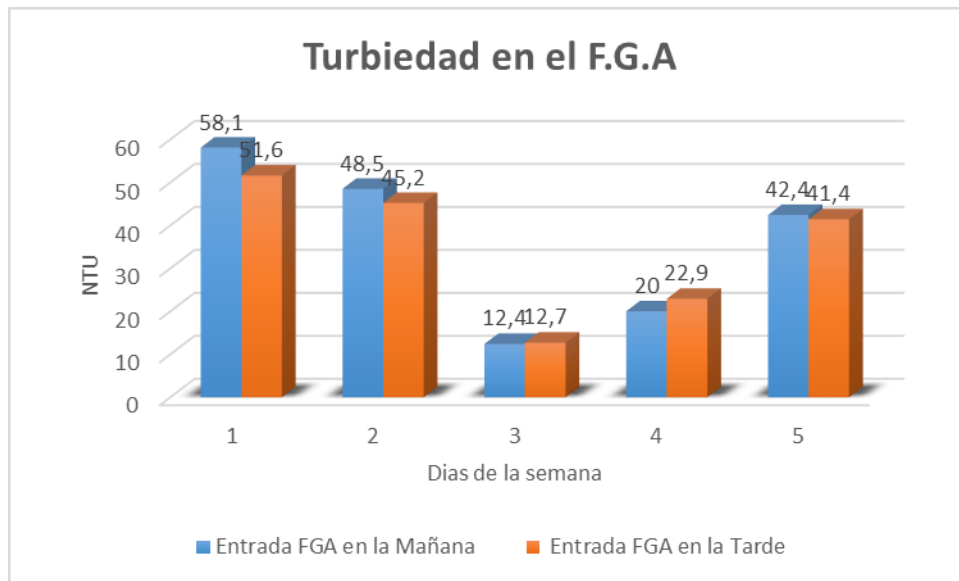


Gráfica 1. Turbiedad tomada en el F.G.D en horas de la mañana y tarde durante 5 días.

Fuente: Autor.

La gráfica 2 muestra la turbiedad de salida del filtro grueso dinámico (entrada al filtro grueso ascendente), los dos primeros días el FGD no estaba funcionando adecuadamente puesto que la turbiedad de entrada era la misma de la salida, el tercer día trabajo presentó una notable mejora disminuyendo la turbiedad de 48,5 NTU a 12,4 NTU.

Las labores de mantenimiento se dejaron a cargo del operador del sistema para hacer una adecuada transferencia de la tecnología, sin embargo, en días siguientes se evidenció subida de turbiedad a la salida, (turbiedad de entrada menor a turbiedad de salida); estos resultados indicaron mala operación del sistema, la limpieza realizada al sistema no eran las adecuadas, el mal lavado podía estar ocasionando problemas con las capas filtrantes; causando que la turbiedad que proviene de la fuente de abastecimiento del sistema no se retenga. El caudal que se manejaba al inicio de la evaluación en la entrada el filtro grueso dinámico era de 0,1 L/s y se disminuyó a 0,04 L/s, haciendo que la turbiedad de entrada se redujera y así evitar que entraran gran cantidad de sólidos.

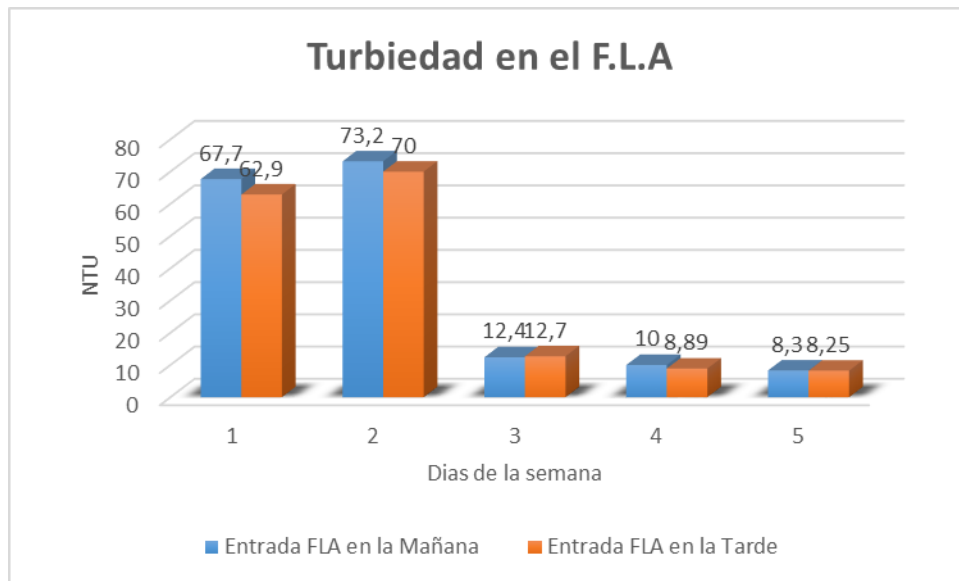


Gráfica 2. Turbiedad tomada en el F.G.A en horas de la mañana y tarde durante 5 días.

Fuente: Autor

### 5.3.2. COMPORTAMIENTO INICIAL DEL FGA

La gráfica 3 expone la turbiedad con la que sale el agua del filtro grueso ascendente (entrada al filtro lento en arena); comparando las gráficas 2 y 3 se observa que el funcionamiento del filtro grueso ascendente no era el adecuado los dos primeros días, entraba con turbiedades entre 45,2 y 58,1 NTU y salía con turbiedades entre 62,9 y 73,2 NTU siendo estas las turbiedades de entrada al filtro lento en arena, por posibles impurezas del material filtrante que fueron arrastradas los primeros días de funcionamiento, los días siguientes se ve que el filtro grueso ascendente se estabilizó y logró bajar turbiedades de 22,9 NTU a 8,89 NTU, siendo este el filtro con el mejor rendimiento.



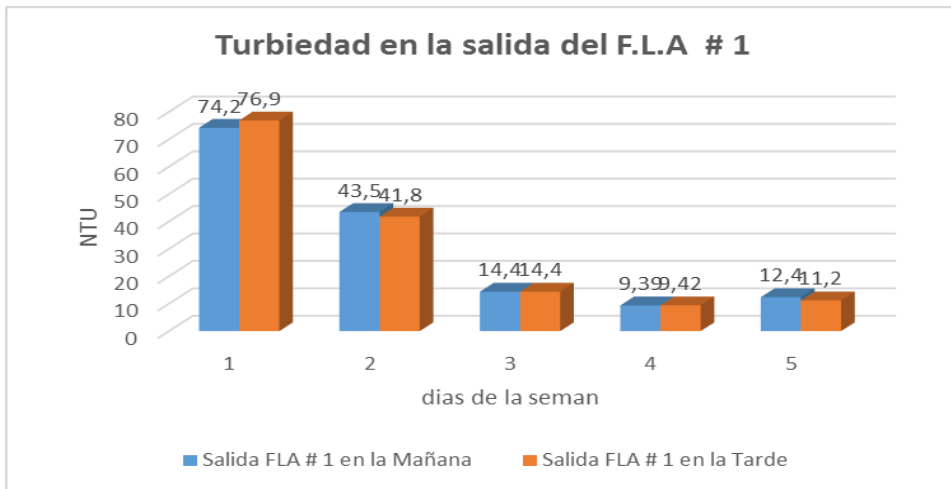
Gráfica 3. Turbiedad tomada en el F.L.A en horas de la mañana y tarde durante 5 días.

Fuente: Autor

### 5.3.3. COMPORTAMIENTO INICIAL DEL FLA

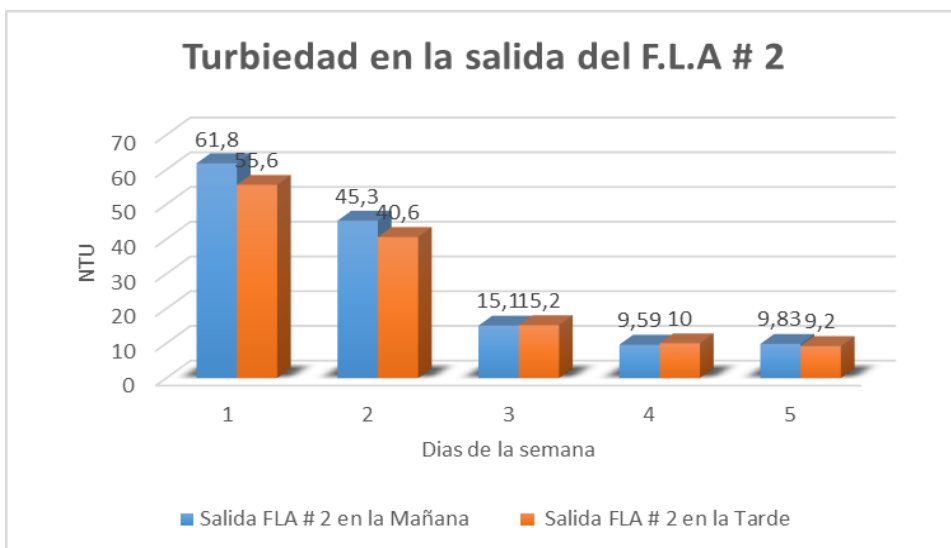
En la gráfica 4 y 5 se muestra el funcionamiento de los filtros lentos en arena, al comparar la gráfica de la entrada de agua al filtro con la de la salida se observa que los filtros lentos no estaban cumpliendo con lo establecido en la literatura puesto que el agua salía con turbiedades mayores a las que entraba durante toda la semana. Los lavados realizados no habían removido las impurezas del material filtrante ocasionando un aumento en la turbiedad.

Si comparamos el funcionamiento del F.L.A # 1 con el F.L.A # 2 se puede ver que ambos filtros trabajan prácticamente igual, es decir que en los dos casos hay un aumento de la turbiedad en el filtro lento en arena y entre estos dos no hay mayor variación en la turbiedad de salida.



Gráfica 4. Turbiedad tomada en la salida del F.L.A numero 1 en horas de la mañana y tarde durante 5 días.

Fuente: Autor

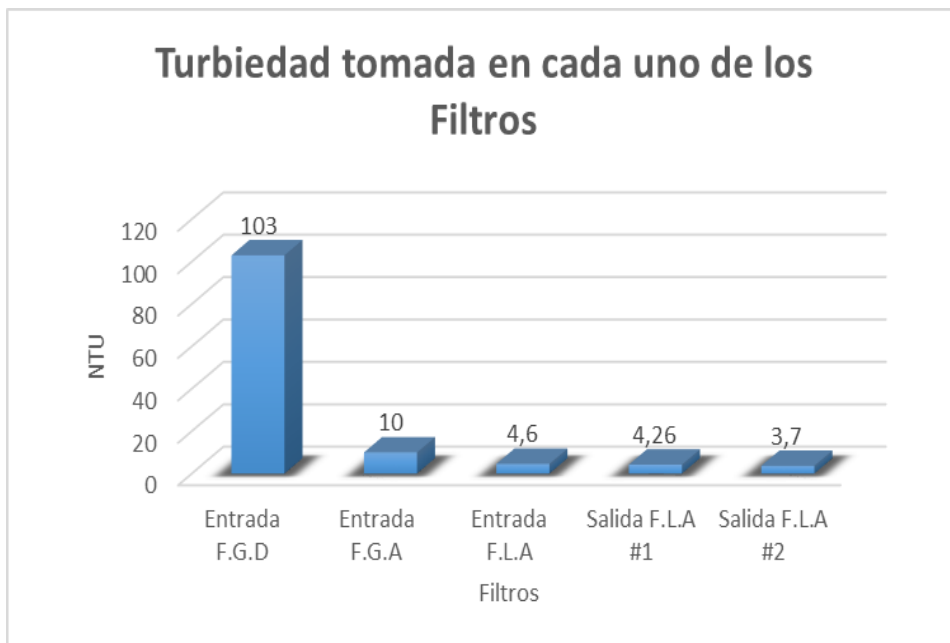


Gráfica 5. Turbiedad tomada en la salida del F.L.A número 2 en horas de la mañana y tarde durante 5 días.

Fuente: Autor.

Finalizada la primera semana de seguimiento se tomaron medidas necesarias en cuanto a limpieza, consiguiendo el mejoramiento total del sistema, en los datos expuestos en la gráfica 6, se puede observar los filtros más estables y con un funcionamiento adecuado cumpliendo cada uno con la función para la cual fueron diseñados.

El cambio en las condiciones climáticas aumentaron la turbiedad en la fuente con valores cercano a 103 NTU, a pesar de ello el sistema respondió adecuadamente y se lograron turbiedades finales cercanas a 3,7 NTU en el filtro lento en arena # 2, con lo cual se puede decir que el sistema presta un servicio de agua con una calidad buena para el abastecimiento. Sin embargo, los valores de turbiedad al final no alcanzan valores de cumplimiento de la normatividad, por lo cual es necesario tomar medidas de control para su operación. Siendo necesario evaluar menores tasas de filtración (Disminución de caudal)



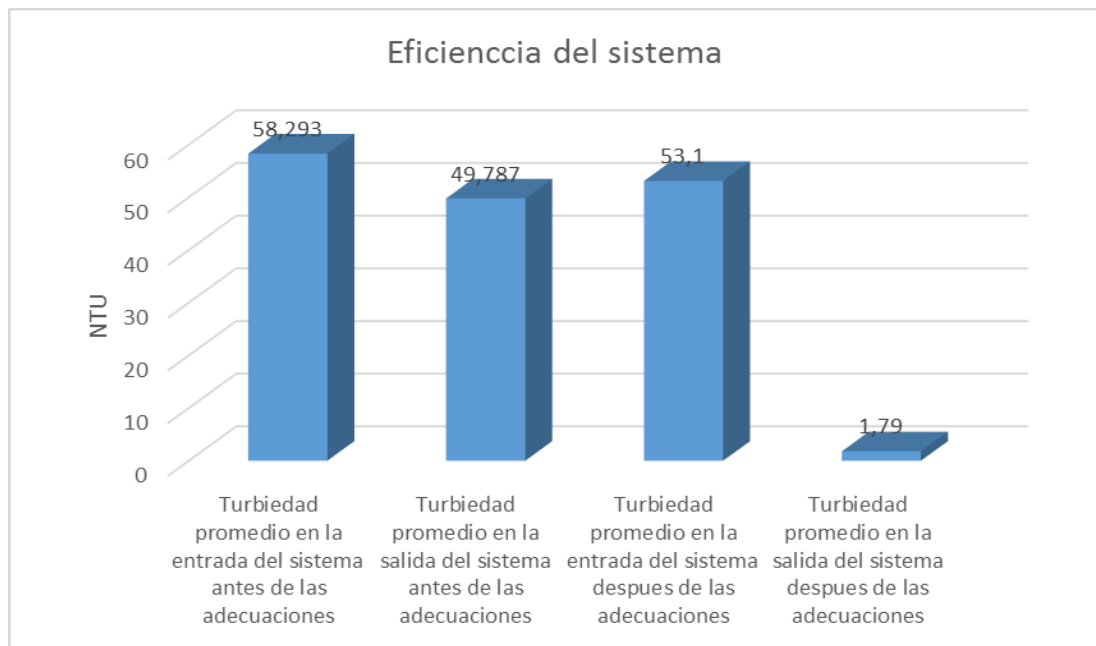
Grafica 6. Turbiedad tomada al finalizar el seguimiento

Fuente: Autor

Al realizar las pruebas de turbiedad y observar los resultados obtenidos en la primera semana de seguimiento, estos valores eran superiores a los que debe manejar este sistema, por lo cual se procedió a disminuir el caudal de entrada haciendo que redujera la turbiedad con la que entra el agua al filtro grueso dinámico y así poder tratar el agua de una forma adecuada, evitando que el sistema sufra algún daño.

### 5.3.4. OPERACIÓN DEL SISTEMA CON CAUDALES MENORES

En el Anexo C se registran los datos tomados con la operación del sistema con un caudal de 0,04 L/s con este caudal se logró tener eficiencias que disminuyeron el caudal de entrada al sistema en 1,78 UNT en promedio a la salida. La operación del sistema en estas condiciones garantiza agua segura en términos de turbiedad. Sin embargo, no se puede garantizar agua potable, pues en el sistema por condiciones presupuestales, no fue posible la aplicación de cloro en línea para garantizar la eliminación de microorganismos. Es importante que en futuro el colegio busque fuentes de financiación para implementar dicho sistema.



Grafica 7. Eficiencia del sistema

Fuente: autor

La gráfica 7 evidencia que el sistema instalado, está cumpliendo con los objetivos propuestos de brindarle a la comunidad un agua con la calidad especificada por la ley en la resolución 2115 del 2007; antes de iniciar la adecuación se presentaba una turbiedad promedio en la entrada al filtro de 58,293 NTU y en la salida del tanque de abastecimiento de 49,786 NTU y ahora, es decir, después de que se realizó la adecuación del sistema el agua entra al FGD con un promedio de turbiedad de 53,1 NTU, sale al tanque de abastecimiento con una turbiedad promedio de 1,79 NTU indicando que este sistema está removiendo la contaminación por turbiedad ya que los valores obtenidos se encuentran por debajo de 2 NTU.

Los promedios mostrados en la gráfica 7, se obtuvieron de la suma de todos los resultados de la turbiedad en las entradas y salidas de los muestreos realizados antes y después del mejoramiento de la planta, se evidencia en el anexo B y C.

Para analizar la dureza y la alcalinidad y poder realizar una comparación se tomaron muestras al inicio del proyecto y al final, obteniendo datos expuestos en el cuadro 11 y 12

Cuadro 11. Dureza antes y después de las adecuaciones del sistema.

	Dureza en la Entrada al FGD (mg/LCaCO <sub>3</sub> )	Dureza en la Salida medida en los baños (mg/LCaCO <sub>3</sub> )
<b>Antes la adecuación</b>	72	25
	54	33
<b>Después de la adecuación</b>	40	36
	42	29

Fuente: Autor

Cuadro 12. Alcalinidad antes y después de las adecuaciones.

<b>ALCALINIDAD</b>	
Antes de la adecuación	40
después de la adecuación	20

Fuente: Autor

La adecuación del sistema evidenció una disminución de la dureza en la entrada al filtro grueso dinámico, antes era 72 mg/LCaCO<sub>3</sub> y ahora es de 40 mg/LCaCO<sub>3</sub>; para la salida de los baños se muestra que antes de las adecuaciones la dureza era de 25 mg/LCaCO<sub>3</sub> y después llegó a ser de 36 mg/LCaCO<sub>3</sub>, en cuanto a la alcalinidad que se presenta en el cuadro 12 se observa que antes de las adecuaciones es de 40 mg/LCaCO<sub>3</sub>, y la alcalinidad presente después es de 20 mg/LCaCO<sub>3</sub>, mostrando una disminución de la alcalinidad a la mitad, pero este valor de dureza y alcalinidad no excede la máxima permisible por la resolución 2115 de 2007, así que no presenta ningún problema significativo para el funcionamiento de la FIME.

La comparación de todos los datos arrojados en las pruebas tomando como referencia el resultado del promedio de la turbiedad antes de iniciar el montaje y el promedio al final de todas las adecuaciones, llegando a evaluar el funcionamiento de la nueva línea; los resultados que se obtuvieron fueron satisfactorios, logrando cada uno de los objetivos plateados, brindándoles un agua con una turbiedad de 1,23 NTU y un color totalmente transparente.

## 6. CONCLUSIONES

- ✓ Durante el proceso de filtración los resultados del filtro grueso dinámico, el filtro grueso ascendente y los filtros lentos en arena no fueron satisfactorios, debido a que estos filtros demoraron para acoplarse, después de cinco días de seguimiento y de los lavados necesarios para la expulsión de impurezas, lograron presentar buenos resultados en los datos finales.
- ✓ En cuanto a la eficiencia de la FIME después de la adecuación del sistema, permite cumplimiento en la normatividad en términos de turbiedad, con lo que se concluye que el sistema de tratamiento modificado mejoró la calidad de agua que abastece a la comunidad.
- ✓ En cuanto a las características de dureza y de alcalinidad, se evidencia que el sistema de tratamiento de la FIME no modificó significativamente los valores de dichas características, sin embargo se presencian algunos cambios, posiblemente por que dichos elementos se encuentran presentes en los sólidos removidos.
- ✓ La turbiedad obtenida en el mejoramiento de la planta cumple con los requerimientos estipulados por ley debido que los valores arrojados en las pruebas fueron por debajo de 2 NTU, lo cual es el máximo valor permitido para el agua de consumo humano según la resolución 2115 del 2007.

## 7. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda hacer un lavado previo al material filtrante con una mezcla de ácido y agua con el fin de eliminar materia orgánica e impurezas del material. De esta manera, se darán mejores resultados durante al funcionamiento del sistema.
- ✓ En el tanque de abastecimiento se indica añadir una bomba dosificadora de cloro, la cual se encargue de dosificar correctamente el agua saliente del FLA manteniéndose constante.
- ✓ Para la compra de la bomba dosificadora es aconsejable invertir en una bomba digital, puesto que no es necesario estarla ajustando, ya que con solo presionar los botones indicados basta para calibrar la dosis correcta llegando a ser mucho más exacta que una bomba manual.

## 8. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] A. Galvis, "Tratamiento de agua sin productos químicos.," Lima, 2004
- [2] J. Latorre, L. D. Sánchez, A. Sánchez, and G. Galvis, "Filtración en múltiples Etapas." 2007.
- [3] G. Galvis and L. Jorge, FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS tecnología innovativa para el tratamiento de agua. santiago de cali, 1999.
- [4] J. Fernández, "CONSTRUCCIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO TIPO FiME EN EL CORREGIMIENTO DE TITUMATE, UNGUÍA-CHOCÓ.," 2012. [Online]. Available: <https://prezi.com/z-f1rja0wipv/construccion-planta-de-tratamiento-tipo-fime-en-el-corregimiento-de-titumate-unguia-choco/>.
- [5] M. P. Ojeda, L. M. F. Ordeñana, A. G. Herrera, and A. M. Domínguez, "Filtración en Múltiples Etapas para abastecimiento de agua en sistemas municipales del Estado de Morelos, México," no. 1.
- [6] C. Mejía, "Taller de Operacion y Mantenimiento de FiME en San Agustin Copan," 2012. [Online]. Available: <http://ypholandaycolombia.blogspot.com/2012/05/taller-de-operacion-y-mantenimiento-de.html>.
- [7] L. Di Bernardo and A. Di Bernardo, MÉTODOS E TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE ÁGUA. Sao Carlos, 2005, pp. 994– 1147.
- [8] Organización Panamericana de la Salud, "Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas," 2005.
- [9] Sena, "PROGRAMA DE CAPACITACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO." 2012.
- [10] J. V. Arboleda, Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. 2000, pp. 439–440.
- [11] M. de A. V. y D. T. Ministerio de la Protección Social, "Resolución número 2115." Colombia, 2007.
- [12] F. R. Spellman and J. Drinan, Manual del Agua Potable. Florida, 2004, pp. 75–152.
- [13] C. Madera, M. Peña, Y. Solarte, "Trasmisión de protozoarios patógenos a través del agua para consumo humano," 2006. [Online]. Available:

<http://colombiamedica.univalle.edu.co/index.php/comedica/article/view/415/101>.

- [14] "Metodo para la determinacion de bacterias coliformes, coliformes fecales y echerichia coli por la tecnica de diluciones en tubo multiple (numero mas probable o NPM)", 2009.[Online]. Available: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP\\_6529.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf).
- [15] E. Carrillo, A. Lozano, "validación del método de detección de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando agar chromocult", 2008.[Online]. Available: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis203.pdf>.
- [16] "Enfermedad: la criptosporidiosis" [Online]. Available: [http://www.tnrelaciones.com/cm/preguntas\\_y\\_respuestas/content/172/560/es/enfermedad-la-criptosporidiosis.html](http://www.tnrelaciones.com/cm/preguntas_y_respuestas/content/172/560/es/enfermedad-la-criptosporidiosis.html)
- [17] M. Sandoval, "HELMINTOS," 2011. [Online]. Available: <http://helmentoseneo.blogspot.com/>.
- [18] "Turbidez." [Online]. Available: <http://www.lenntech.es/turbidez.htm#%C2%BFCu%C3%A1les son las consecuencias de una alta turbidez>.
- [19] "Determinación de solidos" [Online]. Available: <file:///D:/Downloads/1209953401.determinacion-de-solidos.pdf>
- [20] "Parametros fisico-quimicos: alcalinidad".[Online]. Available: <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p2-alcalinidad.pdf>
- [21] C. A. Sierra Ramírez, Calidad del Agua Evaluación y Diagnostico. 2011, pp. 55–90.
- [22] C. y T. Ministerio de Vivienda, Reglamento Tecnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS TÍTULO B Sistemas de Acueducto. .
- [23] Ajoever, "Tanques Multiusos," 2012. [Online]. Available: <http://www.ajover.co/es/construccion/tanques-multiuso/tanques-multiusos>.
- [24] F. S. a la Vida, "PLANTA DE TRATAMIENTO ACUEDUCTOS LA Balsa Y PALO BLANCO MUNICIPIO DE BUENOS AIRES CAUCA." Caloto.
- [25] R. C. Pérez, Diseño de Instalaciones Hidrosanitarias y de Gas para Edificaciones. Bogota, 2001, pp. 3–26.

**Anexo B. Tabla de valores de turbiedad antes de la iniciación del proyecto.**

<b>TURBIEDAD TOMADA ANTES DE INICIAR EL NUEVO SISTEMA</b>	
<b>ENTRADA (NTU)</b>	<b>SALIDA (NTU)</b>
116	105
101,1	86,2
110	103,7
84,6	65,8
45,3	40,5
9,4	8
75,2	61,7
8,1	7,9
34	29,6
10,3	8,3
38,4	22
81	75,4
13,6	10
64,5	57
82,9	65,7
<b>TURBIEDAD PROMEDIO</b>	
<b>58,293</b>	<b>49,787</b>

**Anexo C. Tabla de valores de turbiedad después de las mejoras de la planta.**

<b>TURBIEDAD TOMADA DESPUÉS DE FINALIZAR EL NUEVO SISTEMA</b>	
<b>ENTRADA (NTU)</b>	<b>SALIDA (NTU)</b>
98,5	3,6
103	2,5
99,2	2,3
109	2,4
89,3	2,56
75,2	1,8
110	1,43
47,2	2
36,5	1,9
80,2	1,99
91,2	1,84
100	1,34
100	1,92
45,6	1,4
38,6	2
30,5	1,3
30,4	1,8
25,5	1,3
35,6	1,6
15,4	1,89
16,5	1,45
18,6	1,38
10,6	1,65
10,8	1,8
15,8	1,4
20,8	1,34
30,5	1,32
35	1,76
35,6	1,4
38	1,23
<b>TURBIEDAD PROMEDIO</b>	
<b>53,1</b>	<b>1,79</b>