



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

**Universidad Latina de Costa Rica
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela de Ingeniería Civil**

Licenciatura en Ingeniería Civil
Tesis de Grado

**Evaluación Hidráulica y Sanitaria del Proceso de Filtración de la
Planta Potabilizadora de San Ramón de Alajuela**

Enrique Mou Wu

Tutor Ing. Leonardo Moya Gonzales

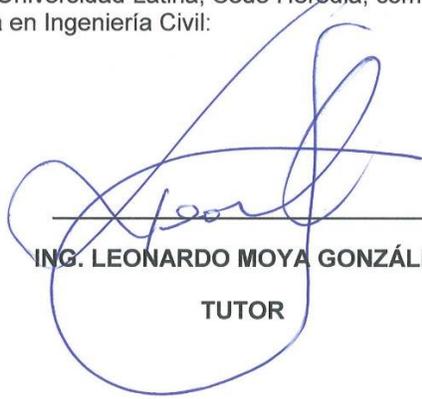
Heredia, enero de 2018



**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y SANITARIA DE LOS PROCESOS DE FILTRACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE SAN RAMON DE ALAJUELA.", fue aprobado por el Tribunal Examinador de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad Latina, Sede Heredia, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil:



ING. LEONARDO MOYA GONZÁLEZ
TUTOR



ING. DANIEL FIGUEROA ARIAS
LECTOR



ING. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ
REPRESENTANTE DE RECTORÍA

COMITÉ ASESOR

ING. LEONARDO MOYA GONZÁLEZ
TUTOR

ING. DANIEL FIGUEROA ARIAS
LECTOR

ING. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ
REPRESENTANTE DE RECTORÍA

**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR TUTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Heredia, 29 de enero, de 2018

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Proyecto de Graduación bajo el título Evaluación Hidráulica y Sanitaria del Proceso de Filtración de la Planta Potabilizadora de San Ramón de Alajuela, por parte del estudiante: Enrique Mou Wu como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,


Leonardo Moya González



**CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL PROFESOR LECTOR DEL
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN MODALIDAD PROYECTO DE GRADUACIÓN**

Heredia, 29 de enero, de 2018

Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad Proyecto de Graduación bajo el título Evaluación Hidráulica y Sanitaria del Proceso de Filtración de la Planta Potabilizadora de San Ramón de Alajuela, por parte del estudiante: Enrique Mou Wu, como requisito para que el citado estudiante pueda optar por la Licenciatura en Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

Daniel Figueroa Arias

CARTA DE REVISIÓN FILOLÓGICA

San José, 30 de enero del 2018

SEÑORES

UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

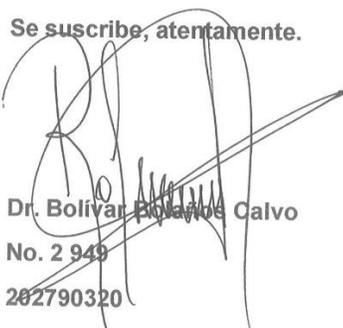
Estimados señores:

Por este medio, yo, Bolívar Bolaños Calvo, mayor, casado, filólogo, incorporado en el Colegio de Licenciados y Profesores, con el número de carné 2 949, vecino de Turrúcares de Alajuela, portador de la cédula de identidad 202790320, hago constar:

1. Que he revisado el **PROYECTO DE GRADUACION (TESIS)** para optar por el grado de **LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL** denominado **EVALUACIÓN HIDRÁULICA Y SANITARIA DEL PROCESO DE FILTRACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE SAN RAMÓN DE ALAJUELA** del estudiante **ENRIQUE MOU WU**.
2. Que se han hecho las correcciones pertinentes en acentuación, ortografía, puntuación, concordancia gramatical y otras del campo filológico.

En espera de que mi participación satisfaga los requerimientos de la universidad.

Se suscribe, atentamente.



Dr. Bolívar Bolaños Calvo
No. 2 949
202790320
solymsa@racsa.co.cr



“Carta Autorización del autor(es) para uso didáctico del Trabajo Final de Graduación”

Vigente a partir del 31 de Mayo de 2016

Instrucción: Complete el formulario en PDF, imprima, firme, escanee y adjunte en la página correspondiente del Trabajo Final de Graduación.

Yo (Nosotros):

Escriba Apellidos, Nombre del Autor(a). Para más de un autor separe con " ; "

Mou Wu, Enrique

De la Carrera / Programa: Ingeniería Civil

autor (es) del (de la) (Indique tipo de trabajo): Proyecto de Graduación
titulado:

Evaluación Hidráulica y Sanitaria del Proceso de Filtración de la Planta Potabilizadora de San Ramón de Alajuela

Autorizo (autorizamos) a la Universidad Latina de Costa Rica, para que exponga mi trabajo como medio didáctico en el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI o Biblioteca), y con fines académicos permita a los usuarios su consulta y acceso mediante catálogos electrónicos, repositorios académicos nacionales o internacionales, página web institucional, así como medios electrónicos en general, internet, intranet, DVD, u otro formato conocido o por conocer; así como integrados en programas de cooperación bibliotecaria académicos dentro o fuera de la Red Laureate, que permitan mostrar al mundo la producción académica de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido.

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley No. 6683 sobre derechos de autor y derechos conexos de Costa Rica, permita copiar, reproducir o transferir información del documento, conforme su uso educativo y debiendo citar en todo momento la fuente de información; únicamente podrá ser consultado, esto permitirá ampliar los conocimientos a las personas que hagan uso, siempre y cuando resguarden la completa información que allí se muestra, debiendo citar los datos bibliográficos de la obra en caso de usar información textual o paráfrasis de esta.

La presente autorización se extiende el día (Día, fecha) 29 del mes enero del año 2018 a las 18:00 .Asimismo declaro bajo fe de juramento, conociendo las consecuencias penales que conlleva el delito de perjurio; que soy el autor(a) del presente trabajo final de graduación, que el contenido de dicho trabajo es obra original del (la) suscrito(a) y de la veracidad de los datos incluidos en el documento. Eximo a la Universidad Latina; así como al Tutor y Lector que han revisado el presente, por las manifestaciones y/o apreciaciones personales incluidas en el mismo, de cualquier responsabilidad por su autoría o cualquier situación de perjuicio que se pudiera presentar.

Firma(s) de los autores Según orden de mención al inicio de ésta carta:

Contenido

Resumen.....	1
Introducción.....	2
Antecedentes	3
Planteamiento del problema.....	4
Objetivos	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
Justificación.....	6
Alcances y Limitaciones	7
Alcance	7
Limitaciones	7
Impacto	8
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	9
1.1 Marco situacional	9
1.1.1 Historia de las plantas potabilizadoras.....	9
1.1.2 Visión	12
1.1.3 Misión	12
1.2.1 Concepto del agua y su calidad	12
1.2.2 Características físicas del agua	12
1.2.2.1 Turbiedad.....	13
1.2.2.2 Sólidos y residuos.....	13
1.2.2.3 Color	14
1.2.2.4 Olor y sabor	14
1.2.2.5 Temperatura	15
1.2.3 Características químicas del agua	15
1.2.3.1 Aceites y grasas	16
1.2.3.2 Agentes espumantes	16
1.2.3.3 Alcalinidad	17
1.2.3.4 Nivel de acidez (pH)	17
1.2.4 Características biológicas del agua	17

1.2.4.1 Bacterias patógenas	18
1.2.4.2 Aspectos biológicos del agua potable.....	19
1.2.5 Concepto de plantas de potabilizadoras	20
1.2.5.1 Transferencia de solidos.....	20
1.2.6 Tipos de plantas de tratamiento.....	21
1.2.6.1 Plantas de filtración rápida.....	21
1.2.7 Mecanismos de la filtración.....	26
1.2.8 Mecanismos de transporte.....	26
1.2.9 Mecanismos de adherencia	29
1.2.9.1 Cinética de la filtración.....	32
1.2.9.2 Modelo matemático para la remoción de partículas	34
1.2.9.3 Pérdida de carga en un medio filtrante	35
1.2.10 Lavado de medios filtrantes	36
1.2.10.1 Fluidificación de medios porosos.....	36
1.2.10.2 Expansión de medios porosos.....	37
1.2.10.3 Pérdida de carga en medios filtrantes expandidos	38
1.2.11 Factores que Influyen en la filtración	38
1.2.11.1 Características de la suspensión	39
1.2.11.2 Tipos de partículas	39
1.2.11.3 Tamaño de partículas	39
1.2.11.4 Densidad de partículas	40
1.2.11.5 Dureza de los flóculos.....	40
1.2.11.6 Temperatura de agua por filtrar	41
1.2.11.7 Concentración de partículas suspendidas en el afluente.....	41
1.2.11.8 Potencial zeta de la suspensión	42
1.2.11.9 pH del afluente.....	42
1.2.12 Características del medio filtrante.....	42
1.2.12.1 Tipo del medio Filtrante	42
1.2.12.2 Características granulométricas del material filtrante	43
1.2.12.3 Espesor de la capa filtrante	44
1.2.13 Características hidráulicas	44
1.2.13.1 Tasa de filtración	44

1.2.13.2 Carga hidráulica disponible.....	46
1.2.13.3 Calidad del efluente	46
1.2.14 Tipos de unidades de filtración	47
1.2.14.1 Clasificación.....	47
1.2.14.2 Filtración por gravedad	48
1.2.14.3 Filtración ascendente.....	48
1.2.14.4 Filtración descendente.....	49
1.2.14.5 Filtración ascendente - descendente	49
1.2.15 Métodos de control operacional	51
1.2.15.1 Tasa constante y nivel variable.....	51
1.2.15.2 Tasa y nivel constante	52
1.2.15.3 Tasa declinante	53
1.2.16 Medios filtrantes	54
1.2.16.1 Filtros de lecho simple	54
1.2.16.2 Filtros de lecho múltiple	55
1.2.16.3 Filtración a presión	55
1.2.17 Filtración directa.....	56
1.2.17.1 Clasificación de la filtración directa.....	56
1.2.17.2 Ventajas de la filtración directa	57
1.2.17.3 Desventajas de la filtración directa	57
1.2.18 Evaluación de baterías de filtro y lavado mutuo.....	57
1.2.18.1 Características de la unidad	58
1.2.18.2 Geometría de la unidad	59
1.2.18.3 Eficiencia del proceso	60
1.2.18.4 Características del proceso de filtración	61
1.2.18.5 Calidad del filtro Inicial	62
1.2.18.6 Duración de carreras de filtración	62
1.2.18.7 Características del sistema de lavado	62
1.2.18.8 Características del medio filtrante.....	64
1.2.19 Criterios de Diseño de Filtros Rápidos.....	66
CAPÍTULO 2. MARCO METODOLOGICO	68
2.1 Tipo de investigación.....	68

2.2 Diseño de la investigación.....	68
2.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	69
2.4 Metodología Aplicada.....	70
2.4.1 Velocidad y caudal de filtración	70
2.4.2 Proceso de Lavado.....	71
2.4.3 Calidad del Filtrado.....	71
2.4.4 Expansión del medio filtrante.....	72
2.4.5 Granulometría del lecho filtrante.....	72
2.4.6 Estado de medio filtrante	73
CAPÍTULO 3. ANALISIS DE RESULTADOS	79
3.1 Calidad de la filtración.....	79
Capacidad Valor Teórico Filtro #1	79
Capacidad Valor Real Filtro #1	80
Capacidad Valor Teórico Filtro #2	82
Capacidad Valor Real Filtro #2.....	83
Capacidad Valor Teórico Filtro #3	85
Capacidad Valor Real Filtro #3.....	86
Capacidad Valor Teórico Filtro #4	88
Capacidad Valor Real Filtro #4.....	89
3.2 Expansión del lecho filtrante	92
3.3 Lavado del lecho filtrante	92
3.4 Granulometría	99
3.5 Estado del medio filtrante.....	101
3.6 Soluciones para los problemas presentes	102
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES.....	104
CAPÍTULO 5. RECOMENDACIONES	105
Bibliografía	106

Tabla de ilustraciones

Ilustración 1 Diferentes mecanismos de transporte	27
Ilustración 2 Mecanismo de impacto inercial	28
Ilustración 3 Mecanismo de acción hidrodinámica.....	29
Ilustración 4 Acción de tensión de cizallamiento.....	29
Ilustración 5 Potencial zeta	30
Ilustración 6 Variación de potencial de atracción o repulsión entre partículas.....	31
Ilustración 7 Pérdida de carga, profundidad del lecho, y porosidad versus velocidad de lavado	37
Ilustración 8 Efecto de resistencia de flóculos en la duración de la carrera de filtración y desarrollo de pérdida de cargas.	40
Ilustración 14 Eficiencia de remoción mayor con el aumento de la concentración, la curva de pérdida carga.	41
Ilustración 15 Influencia de tasa de filtración en la calidad del agua filtrada sin empleo de auxiliar de filtración	45
Ilustración 16 Influencia de tasa de filtración en la calidad del agua filtrada cuando se emplea auxiliar de filtración.....	45
Ilustración 17 Influencia de la variación brusca de la tasa de filtración en la calidad del afluente	46
Ilustración 18 Esquema de flujo ascendente y tasa constante	49
Ilustración 19 Esquema de filtro Bi – Flow	50
Ilustración 20 Arreglo típico de una instalación de súper filtración	50
Ilustración 21 Arreglo típico de entrada y salida de los filtros de tasa constante y nivel variable.....	51
Ilustración 22 Variación de la pérdida de carga en función de tiempo para tasa de filtración constante y nivel de agua constante	52
Ilustración 23 Dispositivo automático de control de caudal y nivel	53
Ilustración 24 Variación de la permeabilidad para diferentes tipos de estratificación.	55
Ilustración 25 Filtro ascendente bajo presión vertical	56
Ilustración 26 Drenaje de vigueta de concreto.....	60
Ilustración 27 Turbidímetro	74
Ilustración 28 Recolector y extensión casera	75
Ilustración 29 Frascos Caseros	75

Ilustración 30 Juego de Mallas Tyler	75
Ilustración 31 Vernier.....	76
Ilustración 32 Recipiente de Proctor Standard	77
Ilustración 33 Vista General de Filtros	77
Ilustración 34 Lavado de filtros con canaleta ahogada	77
Ilustración 35 Lavado de filtro	78

Índice de Tablas

Tabla 1 Olores característicos del agua y su origen.....	15
Tabla 2 Límites de calidad de agua aceptables para el tratamiento mediante filtración rápida completa.....	23
Tabla 3 Límites de calidad de agua para plantas de filtración directa	24
Tabla 4 Otros parámetros de calidad importantes para la filtración rápida.....	25
Tabla 5 Valores Normales de Materiales Filtrantes	44
Tabla 6 Clasificación de filtros rápidos	47
Tabla 7 Resumen de calidad de filtro según relación de velocidades de filtración .	91
Tabla 8 Granulometría en seco	100

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo la evaluación del funcionamiento del proceso de filtración presentes en la planta potabilizadora, localizada en la comunidad de San Ramón de Alajuela, se realizará estudio de los actividades y sistemas implementados durante el proceso de filtración, de tal manera que podamos brindar una solución efectiva para las comunidades que esta planta potabilizadora acoge.

Se deberá tomar en cuenta que el resultado del proceso realizado debe cumplir con una serie de normas establecidas según el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, de lo contrario no será apta para el consumo humano, tampoco para el uso en las distintas áreas agrícolas y agropecuarias del país. El agua debe cumplir con aspectos que requieren valores mínimos o recomendables, los cuales son los siguientes: físicos, químicos, biológicos, organolépticos, y microbiológicos.

El recurso hídrico es de vital importancia para la comunidad que la rodea, tanto como para el sustento de la vida, como para actividades en las cuales se elabora día con día, por lo tanto, es primordial su estudio de tal manera que la planta potabilizadora esté en óptimas condiciones para satisfacer la demanda de su población.

El objetivo principal que busca este proyecto es realizar una investigación para poder evaluar esta nueva planta potabilizadora, específicamente en el proceso de filtración, de tal manera que se dé una solución a una serie de problemas que se encuentran presentes, debido a un mal diseño, planificación y practicas constructivas. Al realizar esta evaluación se podrá brindar una mejora a cuanto a la efectividad de la planta, de esta manera esta podrá cumplir con las demandas del consumo de las comunidades de San Ramón y Palmares.

Introducción

El creciente interés de salvaguardar los recursos naturales han ayudado a desarrollar procesos los cuales se puedan implementar para que se puedan cuidar y recuperar para el beneficio de todos, como por ejemplo el agua que es indispensable para la vida humana, y las actividades que se realizan, por lo cual ha adquirido una gran importancia desde que se descubrió que es un recurso limitado.

La humanidad a través del tiempo ha aprendido que el agua no tratada puede llevar consigo eventos trágicos, los cuales han llevado a desarrollar estudios, procesos y parámetros que determinan si la calidad del agua es óptima para el consumo humano, de aquí nace el concepto de la potabilización del agua.

El agua disponible para el consumo humano es poca en comparación a la cantidad de agua salada que se encuentra en los mares, aproximadamente un 3 % del agua mundial es potable, pero la mayoría de esta se encuentra en los polos, y deja con una cifra de 0.08 % para su consumo, por lo tanto, se han desarrollado plantas potabilizadoras como mecanismos para conservar este recurso de una mejor manera.

La planta potabilizadora presente en San Ramón de Alajuela abastece a esta comunidad junto con la de Palmares, este beneficio que recibían estas comunidades es de gran ayuda, aumentando su calidad de vida, con el paso del tiempo se ha podido determinar que esta planta presenta algunas fallas debido a falta de consideraciones en su diseño, operación inadecuada, los cuales ha afectado directamente a la comunidad.

Se ha podido determinar ciertos problemas en los procesos de filtración, los cuales han afectado la calidad de agua brindada a la comunidad, en los análisis realizados estos últimos meses, el agua potable resultante de los procesos de tratamiento no cumplen con los estándares mínimos planteados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

Al realizar las pruebas de laboratorio pertinentes se determinará en qué estado o situación se encuentra la planta de tratamiento, el muestreo es importante

realizarlo antes, durante y después del proceso de filtración, de tal manera que se pueda determinar la calidad de agua entrante y saliente del mismo proceso en sí.

La finalidad de este proyecto busca como objetivo poder brindarle a las comunidades de San Ramón y Palmares el producto requerido, mediante el mejoramiento de las instalaciones o procesos que permitan alcanzar este fin, no solo se solucionará esta problemática, sino que también se busca la manera de optimizar la operación y el mantenimiento brindado a la planta misma y los procesos que conlleva.

Antecedentes

Desde el principio de los tiempos el agua ha sido un elemento esencial para la vida humana y para el mundo que nos rodea, por lo que la necesidad de la misma se ha incrementado a través del tiempo, su uso ha sido muy extenso desde la recreación hasta para la sustentación de la vida misma. Uno de los aspectos más importantes de este recurso hídrico tan importante es su potabilidad la que la hace apta para el consumo humano sin que exista ninguna repercusión negativa después de su consumo.

La calidad del agua es esencial porque de ella dependen ciudades enteras, donde es totalmente necesaria para llevar el ritmo de vida al cual ya estamos adaptados, por ello es de vital importancia proteger los sistemas de abastecimiento de agua, y para ello se cuenta con estatutos y ayuda gubernamental para salvaguardar aquellas fuentes que son de vital importancia para nuestras comunidades.

En Costa Rica existen diferentes organismos los cuales ayudan a la protección y conservación de este recurso hídrico tan importante, algunos de ellos son Asociación Administradora de Acueductos y Alcantarillados (ASADAS), Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), ESPH S.A. y algunas municipalidades, sin embargo que estas municipalidades traten de mantener y gestionar este recurso y cumplan con todos los estatutos gubernamentales y leyes, no garantiza que la calidad del agua a la población sea de buena calidad, cada una de estas instituciones son diferentes al igual que cada planta potabilizadora, un ejemplo

claro es la planta potabilizadora la cual se va analizar ya que presenta distintos problemas a nivel constructivo, de operación y de diseño.

La presente investigación será realizar una propuesta de mejora para los procesos de filtración en la planta potabilizadora de San Ramón de Alajuela, se realizarán estudios los cuales determinarán los distintos problemas que se encuentran en los procesos de filtración para de esta manera realizar una optimización en sus procesos en el tema ya indicado.

Planteamiento del problema

Las comunidades de San Ramón y Palmares son poblaciones que en conjunto tienen un cifra aproximada de 75 0000 habitantes los cuales han tenido a través de los años problemas con el recurso del agua, habiendo escasez en los últimos años debido a las alta demanda, como solución preventiva el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados han tenido que racionar proporcionalmente el recurso hídrico a la población, realizando la suspensión durante varias horas en el día para el ahorro y la distribución equitativa.

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados plantea una solución para que ambas poblaciones obtengan la demanda requerida sin tener que llegar realizar la suspensión del servicio, esta sería la construcción de una planta potabilizadora la cual permitiría el saneamiento y distribución de 150 litros por segundo, que serían distribuidos de la siguiente manera, 120 litros por segundo a la comunidad de Palmares y 30 litros por segundo a la comunidad de San Ramón de Alajuela.

A partir de que la planta fue puesta en marcha se pudieron ver ciertos problemas en cuanto a la calidad del agua, se realizaron estudios los cuales están establecidos por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, para el cumplimiento de calidad de este recurso hídrico.

Actualmente esta planta potabilizadora lleva en funcionamiento un tiempo estimado de un año, el cual ha afectado ambas comunidades, esto debido a una mala práctica constructiva, y errores de diseño en la planta potabilizadora, ahora es esencial

poder realizar una evaluación y análisis de la problemática, esto con el fin de dar una solución óptima, económica y rápida, de tal manera que estas comunidades puedan acceder a un servicio de calidad y puedan obtener un mejor estilo de vida.

Objetivos

Objetivo General

- ✓ Optimizar el estado hidráulica y sanitaria de los procesos de filtración en la planta potabilizadora de San Ramón de Alajuela.

Objetivos Específicos

1. Evaluar el estado hidráulico y sanitario los procesos de filtración de la planta potabilizadora de San Ramón de Alajuela
2. Analizar las pruebas pertinentes del proceso de filtración de la planta potabilizadora.
3. Definir soluciones óptimas para la problemática presente de manera que se dé el cumplimiento de la normativa de calidad establecida.

Justificación

Tomando en cuenta los hechos presentes en los antecedentes, se puede considerar la susceptibilidad de esta población donde se da esta problemática, viéndose afectada al no disponer de este recurso tan esencial para la vida misma, afectando la vida cotidiana, trabajos y hasta la calidad de sus pobladores.

Debido a la mala construcción y operación, así como los diseños de los procesos de saneamiento de este recurso hídrico, se justifica la evaluación para brindar una mejor solución a esta problemática y mediante el análisis de muestreos de los procesos pertinentes que hacen parte del ciclo de saneamiento de las aguas, y directamente relacionadas con el proceso de la filtración y los elementos relacionados que lo componen.

Mediante estudios preliminares se buscará el origen principal de la problemática, y se realizarán estudios para que la planta de saneamiento cumpla con la normativa y parámetros establecidos por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, que plantea los requisitos mínimos para el cumplimiento de calidad del agua.

La planta de potabilización entró en funcionamiento el 10 de junio del 2016, después de algunos meses se pudo hacer notorio el déficit de su funcionamiento, estaba destinada para el abastecimiento y saneamiento de las aguas de estas dos comunidades, Palmares San Ramón, ambos de la provincia de Alajuela, al darle una solución a este problema, miles de personas obtendrían una mejor calidad de vida y podría darse mejor aprovechamiento de este recurso para actividades agrícolas y/o agropecuarias.

Se busca relacionar los intereses con el objetivo principal de tal manera que se pueda encontrar una respuesta rápida, simple y económica a problemática de

esta de esta planta potabilizadora. Se busca la propuesta para una óptima solución del problema, de manera que el proceso de filtración se realice efectivamente y cumpliendo con todos los estándares establecidos.

Alcances y Limitaciones

Alcance

La presente investigación se centrará en la evaluación hidráulica y sanitaria de los procesos de filtración de la planta potabilizadora de San Ramón de Alajuela, Costa Rica, tomando en cuenta conocimientos obtenidos previamente, junto a bibliografías relacionadas con el tema de filtración y de plantas de saneamiento, y la normativa propuesta por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados para el acatamiento y cumplimiento de las normas establecidas, a fin de dar resolución a la problemática establecida en los procesos de saneamiento de este recurso hídrico.

Limitaciones

El proceso de saneamiento como tal de la planta potabilizadora consiste en varias etapas que se deben llevar a cabo, el cual esta investigación como tal busca dar una evaluación del funcionamiento de la planta, enfocada a las actividades directamente relacionados con los procesos de la filtración.

La investigación que se realizará se basa en la información brindada por funcionarios administrativos y operacionales, debido a que ellos son los que brindan la operación y el mantenimiento y verifican los procesos que se llevan a cabo en esta planta potabilizadora.

La realización de las pruebas efectivas para la revisión de parámetros, se realizarán en campo con equipo presente en el laboratorio de la planta potabilizadora, se deberá utilizar una metodología específica que se realizará junto con una bibliografía de guía para que la prueba se realice de una buena manera.

Las pruebas efectivas son velocidad de filtración, expansión de lecho filtrante, duración de lavado de filtros, granulometría, verificación de lavado y espesor del medio filtrante. La prueba del espesor del medio filtrante no se pudo realizar debido a que el agua de los filtros no se podía vaciar, a causa de que la válvula donde se extrae el agua se escapa mucho material del medio.

Impacto

El objetivo principal de esta investigación se centrará en darle una solución óptima a la problemática de la planta potabilizadora de San Ramón de Alajuela, Costa Rica, que presenta varios inconvenientes con respecto a detalles constructivos, operativos y de diseño el cual provoca que el agua efluente de la planta tratada no cumpla con los parámetros y normativas establecidas de control de calidad por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

El impacto que se busca en este proyecto será el dar una resolución a su problemática relacionados con la filtración, mediante un análisis de sus procesos, el cual permitirá encontrar una solución óptima, de tal manera en que ambas poblaciones tanto San Ramón como Palmares les sea brindado un producto que es de calidad. Se buscará la manera en brindar una respuesta a la problemática en el proceso de filtración de esta planta, si esta se encontrara fuera de los límites de esta investigación, se le brindará sugerencias y orientación adecuadas a tanto operarios administrativos como operacional para encaminar a la resolución de la misma.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 Marco situacional

1.1.1 Historia de las plantas potabilizadoras

La necesidad del humano por la recolección del agua viene desde tiempos muy antiguos, empezando por la época del cazador el cual recolectaba agua para luego beberla de tal manera que no tuviera que recorrer nuevamente grandes distancias para obtenerla, vista la presente necesidad de transporte de este recurso, hace 7 000 años Egipto desarrolla una especie tubos a base de palmeras para transportar el agua, ya después de este logro, el recurso hídrico se utilizaba para el disfrute de las personas debido a que ya no era tan difícil de obtener y transportar.

En la época griega se desarrollaron muchos usos de este recurso para la recreación de los demás como por ejemplo los famosos baños públicos, debido al crecimiento amesurado de la población de Grecia este se ve forzado a la construcción de tanques de almacenamiento y distribución del recurso hídrico, y desarrollo un sistema de retiro de aguas residuales junto con un sistema de embalses para realizar un proceso de purificación aireada.

El imperio Romano fue uno de los grandes desarrolladores de los sistemas hídricos, construyeron miles de kilómetros de acueductos para el transporte del agua para el beneficio de su población, estaban interesados al igual que los griegos la calidad del agua por lo tanto implementaron diversos sistemas de aireación para la potabilización del recurso hídrico, después de la caída del Imperio Romano, debido a la guerra, los sistemas de distribución de agua fueron dañados y el agua saliente del sistema de distribución ya no era potable, esto provocó la muerte de miles de personas, lo que provocó que al pasar del tiempo se inventaran nuevos sistemas de potabilización de agua y consigo procesos nuevos como los de sedimentación, filtración, floculación y otros.

Estas maravillas de la ingeniería, están presentes alrededor de todo el mundo, pero para verlos no tenemos que ir tan lejos, en Costa Rica, específicamente en el parque de Guayabo se descubrió un sistema pluvial de hace más de 1000 años, que fue construido por los indígenas de la región.

Este sistema pluvial se componía de varios tramos de aproximadamente 50 metros cada uno, y pasaba por cinco puntos diferentes de la zona, esta tubería estaba protegida por un empedrado, el periódico La Nación se refirió a esto textualmente de la siguiente manera:

“Al excavar debajo del empedrado, nos topamos con una capa de arcilla y piedras medianas que funciona como un soporte, como un nivel de preparación para recibir este empedrado. Esta capa permite sellar la conducción del agua”

Cabe mencionar que para venir de un sistema de hace miles de años, era un sistema efectivo e innovador. Costa Rica siempre se ha destacado por sus recursos hídricos, se podría decir con base a lo dicho anteriormente, que el aprovechamiento de las antiguas civilizaciones de este recurso fue efectivo, pero de igual manera ha sido un problema hasta hoy día en la actualidad.

Costa Rica, al ser un país privilegiado por la cantidad de agua que posee, no todos sus pobladores son capaces de obtener este recurso tan importante para la vida humana, por ello el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados ha implementado diversos sistemas de distribución de este recurso por todo el país, aun así, ha habido poblaciones las cuales no han sido beneficiadas y por lo tanto se requiere tomar otras medidas alternas para hacerles llegar este servicio.

AyA es una institución que fue creada con el fin de ponerle fin a los problemas de la distribución del recurso hídrico a través del país, este ente es responsable sobre la calidad de un producto que ellos brindan, el agua que se distribuye debe cumplir con una cierta cantidad de normativas de calidad para su debido consumo, con el pendiente de velar por la salud de sus pobladores.

Dicho lo anterior cabe recalcar que el Ministerio de Salud está estrechamente ligado con esta institución, con el paso del tiempo como el AyA, derivaron diversas instituciones, con la administración y bajo cargo del AyA, se ha ayudado a un mejor desarrollo y distribución del recurso hídrico para el beneficio de la población.

Las ASADAS según el Gobierno de la República:

“Las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados comunales en Costa Rica, hoy día ascienden a más de 2000 organizaciones comunales, que funcionan como organizaciones sin fines de lucro, bajo el marco legal de la Ley de Asociaciones.

Las ASADAS en Costa Rica administran los sistemas de acueducto y alcantarillado comunales, bajo un esquema de delegación de la administración, acordado con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, mediante un Convenio de Delegación de Administración.”

Cabe destacar que las ASADAS han ayudado al desarrollo y construcción de diversas redes de distribución a lo largo del país ayudando a miles de personas, de manera que tengan una mejor calidad de vida, brindándoles este recurso tan esencial para la vida, pero no todo puede ser perfecto de manera que existen ciertas poblaciones las cuales la realidad de su día a día, es la falta de este recurso tan importante.

En vista a la problemática de agua, el AyA propone la construcción de una planta depuradora llamada “Los Tajos”, ubicada en la Uruca, San José, uno de los sistemas más grandes de nuestro país y de Centroamérica, la cual tiene como objetivo el saneamiento de las aguas residuales y del ambiente, para el consumo de los costarricenses y que las aguas vertidas en los ríos sean aceptables entre los parámetros de calidad y de tal manera bajar los niveles de contaminación en los mantos acuíferos.

1.1.2 Visión

“Ser la institución pública de excelencia en rectoría y gestión de los servicios de agua potable y saneamiento para toda la población del país.”

1.1.3 Misión

“Asegurar el acceso universal al agua potable y al saneamiento de forma comprometida con la salud, la sostenibilidad del recurso hídrico y el desarrollo económico y social del país.”

1.2 Marco teórico conceptual

1.2.1 Concepto del agua y su calidad

El agua es un recurso muy importante para los seres vivos ya que ayuda a llevar a cabo ciertos procesos los cuales son esenciales para la vida. El agua es un fluido considerado el disolvente por excelencia por que puede diluir la mayoría de los materiales en cualquier estado de la materia en que se encuentren.

La calidad del agua es muy importante debido a que la existencia del agua dulce es miles de veces inferior a la existente en nuestro planeta, tres cuartas partes de nuestro planeta es agua, pero solo un 2.5 a 3 % es dulce. La contaminación que ha estado evolucionando a el paso de los años ha dañado nuestros mantos acuíferos de manera que el agua que poco disponemos para el consumo humano ha sido muy difícil de tratar.

El concepto de Calidad de Agua proviene meramente del estado del agua si es apta para el consumo humano, debido a que debe cumplir ciertos estándares, se dice que el agua es de calidad, si esta puede ser consumida sin poner en riesgo el estado de salud de una persona y a su vez es agradable a los sentidos con la que lo percibimos.

1.2.2 Características físicas del agua

Las características físicas del agua son aquellas las cuales podemos percibir a través de nuestros sentidos y los cuales determinan la aceptabilidad de la misma, las cuales son:

- Turbiedad
- Sólidos Solubles o Insolubles
- Color
- Olor y Sabor
- Temperatura

Estas serán explicadas determinadamente a continuación:

1.2.2.1 Turbiedad

La turbiedad se establece como un sistema formados por partículas suspendidas en el agua, la distribución de esta dependerá del tamaño de la partícula, por lo tanto se puede establecer la turbiedad como un factor que determina la transparencia del fluido, esta se logra medir con un instrumento llamado turbidímetro, lo cual mide los niveles de turbiedad presentes en el fluido en una escala de intensidad llamada Unidades de Turbiedad (UNT) los cuales según el EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos), el agua potable no debe tener más de 5 UTN.

El Autor J. Arboleda Valencia (2000) Menciona que:

La turbiedad es la propiedad óptica que tiene una sustancia líquida o sólida, de diseminar en todas direcciones la luz que pasa por ella, esto implica una interrelación entre la luz incidente y la sustancia diseminante (P.2).

Se puede dar el caso que la variación presente sea uno de los parámetros más importantes presentes en la potabilidad en el agua, por lo tanto, que esta propiedad dentro del productos sea casi nula.

1.2.2.2 Sólidos y residuos

Se determinan como sólidos y residuos aquellos materiales que quedaron después de haber realizado una evaporación del fluido a una temperatura dada. Originalmente estos residuos pueden encontrarse dentro del fluido en suspensión o disueltos.

1.2.2.3 Color

El color del agua puede o no verse directamente ligado a la turbiedad, debido a que la transparencia del agua es un indicativo de calidad de la misma, todavía no se han determinado cuales son los componentes moleculares los cuales determinan el color que puede tomar el agua, pero se puede asegurar que por ciertos factores este puede cambiar de color, los cuales pueden ser cualquiera de los siguientes:

- Descomposición de la materia.
- Extracción de sustancias de origen vegetal.
- La materia orgánica del suelo.
- Presencia de elementos como hierro, magnesio, y otros componentes metálicos que con la presencia del aire se oxiden en el medio acuoso.
- Combinación de todos los procesos anteriores.

Existen muchos métodos aplicados para la remoción del color, pero la mayoría de estos se dan por factores orgánicos que alteran la composición del recurso hídrico. La OMS plantea una escala de medición de intensidad de color el cual determina la calidad de este recurso hídrico, esta intensidad se llama Unidades de color (UC) , la cual deberá ser menor a 15 UC para cumplir con el estándar de calidad.

1.2.2.4 Olor y sabor

El olor y el sabor del agua están estrictamente relacionados debido al desarrollo de nuestros sentidos, un sabor u olor en el agua puede ser algún indicador o parámetro que determine la calidad del agua, como por ejemplo un agua inodora es un indicador indirecto de que el recurso hídrico no presenta contaminantes, en la siguiente tabla se muestra el origen de ciertos olores que pueden presentarse en el agua:

Tabla 1 Olores característicos del agua y su origen.

Naturaleza	Origen
Olor Balsámico	Flores
Dulzor	<i>Coelosphaerium</i>
Olor Químico	Aguas Residuales Industriales
Olor a hidrocarburo	Refinería de Petróleo
Olor a medicamento	Fenol, Yodoformo
Olor a Azufre	Ácido Sulfhídrico
Olor a Pescado	Mariscos, Pescado
Olor Séptico	Alcantarilla
Olor a Tierra	Arcillas Húmedas
Olor Fecaloides	Alcantarillado
Olor a Moho	Cueva Húmeda
Olor a Legumbres	Hierbas, Hojas en descomposición

Fuente: Barrenechea, A. (2004)

Esta tabla explica los diversos olores que puede adquirir el agua dependiendo de su fuente, esto ayuda a reconocer cual es el origen de este recurso y ayuda a determinar el tratamiento el cual se le tiene que dar.

1.2.2.5 Temperatura

Los aspectos físicos del agua son muy importantes para el proceso de saneamiento, múltiples factores, en su mayoría físicos pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente.

1.2.3 Características químicas del agua

El agua, conocida como el solvente universal puede contener cualquier elemento químico en su masa, debido a que este es capaz de formar iones, complejos solubles e insolubles, y coloides debido a la electronegatividad de sus átomos, la

cantidad utilizada de los elementos químicos durante el proceso de saneamiento es tan baja, que sería incapaz de atentar contra la salud del consumidor.

1.2.3.1 Aceites y grasas

La presencia de grasas y aceites dentro del recurso hídrico pueden atentar contra la salud de su consumidor y también pueden alterar el sabor, olor y color de la misma. El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados establece que en el agua para consumo humano debe haber una ausencia de Grasas y Aceites para su aceptabilidad.

1.2.3.2 Agentes espumantes

Los Agentes Espumantes son aquellas que contienen agentes detergentes, se ha determinado que estas afectan en el proceso de saneamiento del agua, el detergente realiza una inhibición del proceso de oxidación química y biológica. Las aguas jabonosas o espumosas se hacen presente mayormente en las aguas de tipo domésticas o comunes, todavía no existe ningún parámetro que establezca el mínimo contenido de detergente presente en el recurso hídrico, pero si se recomienda que este no afecte el olor, sabor y color, de manera que sea apta para su consumo.

Hay que tomar en cuenta un parámetro muy importante que se denomina el azul del metileno, este reacciona con los iones orgánicos para formar sales hidrofóbicas de color azul intenso, pueden extraerse fácilmente con un solvente orgánico y luego cuantificarse por fotometría, esto debido a que la mayoría de detergentes son de naturaleza iónica. El azul del metileno es utilizado para la detección de detergentes, de tal manera que valorar el contenido surfactante en aguas limpias y residuales. Algunas sustancias que reaccionan con el azul de metileno son: sulfatos orgánicos, sulfonatos, carboxilatos, fenoles y otros.

1.2.3.3 Alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad del agua para estabilizar sus contenidos ácidos, mayormente están relacionados con los carbonatos y bicarbonatos. La alcalinidad está relacionada directamente con pH, temperatura y otros factores y esta ayuda al proceso de saneamiento debido a que influye directamente en el proceso de coagulación, debido a su reacción con los coagulantes, la alcalinidad al alcanzar niveles altos afecta al sabor del agua.

1.2.3.4 Nivel de acidez (pH)

el pH del agua no influye directamente en nuestra salud, pero afecta en ciertos procesos para su saneamiento como en los de coagulación y desinfección, por lo general el agua cruda potable debería presentar un pH entre 5.0 y 9.0, si ya este rebasa este rango se considera un agua acida, por lo cual se le adiciona álcali para la regulación de su pH.

1.2.4 Características biológicas del agua

Existen diversos factores que pueden afectar la calidad bacteriológica del agua, este normalmente depende de la actividad con la que se le de uso, por ejemplo un factor muy importante y que actualmente está poniendo en riesgo los mantos acuíferos son las heces fecales, las cuales en países en vía de desarrollo vierten el agua sin tratar con heces fecales directamente en los ríos, incrementando la contaminación en el agua y a su vez las heces fecales contienen ciertos microorganismos que son nocivos para la salud humana.

En el agua existen o viven ciertos microorganismos que altera o modifican la calidad del agua, esto dependiendo de las características físicas del medio en que habitan, debido que dentro de esta agua existen varios tipos de ecosistemas. Estos ecosistemas dependerán de la temperatura, alcalinidad, dureza, luz, entre otros factores que determinarán su supervivencia. Los microorganismos al ser consumidos por un ente humano podrían ser nocivos o no, dependiendo del tipo de organismos que

es consumido, podría provocar en nuestros sistemas desde diarrea hasta una fiebre tifoidea.

Estos son un ejemplo de los organismos que se pueden encontrar presentes en las aguas superficiales:

- **Algas:** son organismos con una organización sencilla, el incremento anormal de este en las aguas superficiales indica un exceso de nutrientes, los cuales dificultan el tratamiento del recurso hídrico, esto podría alterar las características físicas del agua ya tratada y podría no cumplir con los estándares de calidad del agua potable.
- **Bacterias:** Son organismos unicelulares los cuales viven en los estratos terrestres, existen varios tipos de grupos bacterianos, por un lado, existen aquellos que ayudan e incentivan la limpieza y autodepuración de recurso hídrico, pero por otro existen agentes bacterianos patógenos los cuales son nocivos tanto para la salud humana como la salud animal.
- **Protozoarios:** estos se categorizan como agentes unicelulares, tienen como función mantener el equilibrio en el ecosistema acuático, un incremento descontrolado de la misma puede causar un desequilibrio en este ecosistema determinado, existen otro grupo protozoario que son agentes patógenos, el consumo de estos puede ser nocivos para seres humanos y animales.
- **Coliformes totales:** son microorganismos que comúnmente se encuentran en el medio ambiente, por ejemplo, en algunas plantas, el suelo, cascaras de huevos entre otros, generalmente este microorganismo no causa problemas a la salud, y es muy utilizado para la fermentación láctea.
- **Coliformes fecales:** es un subgrupo de bacterias coliformes totales que se encuentran en grandes cantidades en el intestino y eses de los seres humanos y animales de sangre caliente. Este microorganismo puede causar severos daños a la salud, su presencia en el agua es indicador de agua no potable.

1.2.4.1 Bacterias patógenas

Las bacterias son microorganismos unicelulares de diferentes formas, estas pueden ser esféricas, alargadas, espirales, con membranas y paredes celulares que le ayudan a la resistencia en el ambiente que se encuentran, éstas pueden llegar a vivir horas o días. Las bacterias patógenas de transmisión hídrica son generadas por los seres vivos de sangre caliente, se transmiten mediante las heces fecales y estos se desplazan gracias a las descargas de aguas sin tratamiento o por diversas situaciones presentes en la naturaleza.

Se ha comprobado la existencia de estos organismos en aguas superficiales y se ha demostrado la importancia de la remoción de estas en el agua para el consumo humano, categorizando a estos microorganismos como de alta prioridad de remoción, ya que pueden ser letales para los seres vivos, también existen otros organismos que no son dañinos a la salud, pero pueden afectar personas que tengan un deficiente sistema inmune aumentando las posibilidades de infección.

Estas son algunas de las bacterias patógenas que tienen un alto riesgo para la salud humana:

- Vibrio Cholerae
- Escherichia Coli Entrepato-genica
- Salmonella Typhi
- Shigella
- Compylobacter jejune
- Yersinia enterocolitica

1.2.4.2 Aspectos biológicos del agua potable

El aspecto esencial de la potabilidad del agua en el aspecto biológico radica en la nula presencia de coliformes fecales en el recurso hídrico, la prueba realizada para determinar que el agua es potable consisten en tomar una muestra de 100mL, en esta no debe existir la presencia de ningún agente bacteriano o protozoario. La ayuda de la tecnología ha sido importante para la detección de estos entes, y dar un mantenimiento y seguimiento a la calidad del agua, junto a un buen mantenimiento de los sistemas de distribución para dar un servicio y producto de buena calidad.

1.2.5 Concepto de plantas de potabilizadoras

Una planta potabilizadora es un establecimiento donde se llevan a cabo los procedimientos correspondientes para el saneamiento de las aguas que se encuentran contaminadas por diversos procesos en actividades sean domésticas o industriales. Estos procesos se realizan con el fin de remover todos los contaminantes, ya sean sólidos, químicos, biológicos o bacteriológicos, de tal manera que esta cumpla con los parámetros de calidad establecidos por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados para el agua potable, es decir que es la encargada de procesar todas las aguas contaminadas y darles un proceso de saneamiento para que sean aptas para el consumo humano.

Los procesos a los cuales el recurso hídrico se tiene que someter son los siguientes:

1.2.5.1 *Transferencia de solidos*

Consiste en la clasificación de los sólidos por procedimientos de cribado, sedimentación, flotación y filtración.

- **Cribado o Cernido:** Este proceso consiste en pasar el agua por rejillas o tamices de tal manera que atrape los sólidos de mayor tamaño, también en este proceso se considera el proceso de trituración de las algas, para luego realizar su remoción.
- **Sedimentación:** consiste en dejar en reposo el agua para que las partículas más densas caigan gravitacionalmente y luego ser removidas, en este proceso se utiliza como auxiliar el proceso de coagulación y floculación el cual consiste en un proceso físico químico que reúne todas las partículas pequeñas haciendo partículas más densas provocando que estas caigan por gravedad.

- Flotación: durante el proceso de reposo este proceso se lleva a cabo y se remueven todas las partículas que sean menos densas que el agua, también se utilizan agentes químicos como auxiliares.
- Filtración: consiste en pasar el agua a través de un medio poroso para eliminar las partículas más pequeñas que no pudieron ser removidas durante el proceso de sedimentación, normalmente se utiliza arena.
- Aireación: se efectúa mediante la caída del fluido y también aplicando a la masa de agua aire por medio de chorro o aspersión, esto se realiza con el fin de controlar la corrosión y los olores.
- Desinfección: Consiste en la aplicación de desinfectantes como el cloro y el ozono al agua tratada.
- Recarbonatación: consiste en la aplicación de anhídrido carbónico para la regulación del pH del agua

1.2.6 Tipos de plantas de tratamiento

1.2.6.1 Plantas de filtración rápida

Este tipo de plantas de tratamiento se le llaman así debido a que son capaces de procesar entre 80 y 300 m³/m² por día, cada proceso de lavado y retro lavado demora alrededor de los 5 hasta los 15 minutos, se ha determinado que los filtros se tienen que limpiar cada 40 a 50 horas debido que se llenan de sedimentos. De acuerdo a la calidad de agua a tratar se presentan dos tipos de plantas de filtración rápida que son las siguientes:

Planta de Filtración completa

Una planta de filtración rápida normalmente se encuentra conformado por los siguientes procesos:

- Coagulación
- Floculación
- Decantación o Sedimentación
- Filtración
- Desinfección

Los procesos de coagulación se encuentran formados por 2 etapas, una en la cual consiste en una mezcla rápida para obtener una dispersión instantánea y una mezcla lenta para la aglomeración de flóculos, para mejorar el proceso de remoción de partículas, según EPA (Agencia de Protección Ambiental) el agua debe tener menos de 0.10 UTN, para lograr esto es necesario que los decantadores produzcan un agua con un máximo de 2 UTN.

Los procesos de desinfección solo se utilizan para eliminar agentes patógenos ya sean bacterianos o protozoarios los cuales pueden provocar daños a la salud humana como se había mencionado anteriormente, puede que en el agua exista o habite huevos de estos entes patógenos los cuales requiere una desparasitación por medio de cloro u ozono y con ayuda de los procesos de filtración.

A continuación, se explicarán cada uno de los puntos mencionados:

- Coagulación: se puede entender como el proceso de desestabilización eléctrica de algunas partículas mediante sustancias químicas coagulantes, el cual ayuda a la reducción de partículas y coloides de los procesos de filtración.
- Floculación: es el proceso químico, en la cual mediante floculante provoca el aglutinamiento de los coloides presentes en el agua, para que su remoción sea mas sencilla, facilitando su decantación y su posterior filtración.
- Decantación: es la remoción por efecto gravitatorio de las partículas que se encuentran en suspensión presentes en el agua.
- Filtración: es la remoción de partículas suspendidas y coloides presentes en una suspensión acuosa a través de un medio poroso.

- Desinfección: este proceso tiene como objetivo la eliminación de agentes patógenos que podrían estar presentes en el agua mediante agentes químicos, garantizando su calidad y asegurando la salud del consumidor.

Tabla 2 Límites de calidad de agua aceptables para el tratamiento mediante filtración rápida completa

Parámetros	90 % del tiempo	80 % del tiempo	Esporádicamente
Turbiedad (UTN)	<1000	<800	<1500; si excede de este valor considerar pre sedimentación
Color (UC)	<150	<70	
NMP de coliformes termo tolerantes/100mL	<600		Si excede 600, considerar pre desinfectar

Fuente: Vargas, L. (2004)

Filtración Directa

La filtración directa solo es aplicable para aguas de cuencas vírgenes o bien protegidas debido que estas son relativamente claras y poco contaminadas, normalmente se utilizan aguas provenientes de embalses y represas debido a que estas se ven sometidas constantemente a sedimentación los cuales ayudan a la depuración de la misma, los requisitos para que un recurso hídrico sea tratado por una filtración directa son las siguientes:

- UNT de 10 a 20 el 80 % del tiempo
- UNT nunca mayor a 30
- UC no mayor a 25 el 90 % del tiempo

Para ríos se debe considerar las unidades de turbiedades presentes en el afluente, en épocas del año el afluente puede parecer limpio, pero en otros el afluente lleva consigo más turbiedad y no entra en parámetros aptos para realizarse una filtración directa con el recurso hídrico que proviene de ella.

Debido a que no todos los afluentes pueden ser tratados con el mismo método debido a que cada uno presenta diferentes necesidades, se han creado tres métodos alternativos por el cual se pueden tratar los diferentes afluentes dependiendo de la claridad y contaminación contenida, los cuales son los siguientes:

Tabla 3 Límites de calidad de agua para plantas de filtración directa

Alternativa	Parámetros	90 % del tiempo	80 % del tiempo	Esporádicamente
Filtración directa descendente	Turbiedad (UNT)	25 – 30	<20	<50
	Unidad de Color (UC)	<25		
	NMP de Coliformes Fecales Totales (Unidades 100/mL)	<2500		
	Concentración de Algas (unidades/mL)	<200		
Filtración directa ascendente	Turbiedad (UNT)	<100	<50	<400
	Color (UC)	<60		<100
Filtración directa Ascendente - Descendente	Turbiedad (UNT)	<250	<150	<400
	Color (UC)	<60		<100

Fuente: Vargas, L. (2004)

La filtración directa es muy poco utilizada en costa rica debido a que la calidad del agua es muy buena.

Tabla 4 Otros parámetros de calidad importantes para la filtración rápida

Parámetros	Valores recomendables
Sólidos Suspendidos (mg/L)	<50
Carbono Orgánico total (mg/L)	<5
pH	5.5-6.5
Fósforo Total (mg/L)	<0.05
Clorofila ($\mu\text{g/L}$)	<10
Coliformes fecales (colif. /100)	<2500
Nitrógeno Total (mg/L)	<5
Hierro (mg/L)	10
Manganeso (mg/L)	2

Fuente: Vargas, L. (2004)

La tabla anterior considera los valores recomendables resultantes de otros parámetros igualmente importantes, después de haberse realizado la filtración. De esta manera se asegura de la calidad del agua, y se salvaguarda la salud para el consumidor.

Filtración Lenta

Los procesos de filtración lenta normalmente operan entre los 2.4 a 7.2 m^3/m^2 por día (0.10 y 0.30 m/h), en la naturaleza es común que se dé este tipo de filtración de igual manera, en promedio unas 100 veces más lenta que en los procesos de filtración rápida. En una planta de filtración lenta se opera con diversos estratos filtrantes grava, arena, arcilla, entre otros.

Los estratos utilizados en estas plantas dependerán del tipo de agua que se trate, y la cantidad de contaminación dentro del recurso hídrico. El proceso de filtración lenta puede eliminar aproximadamente 500 UNT, pero las partículas en suspensión no deben ser mayor a los 50 UNT.

1.2.7 Mecanismos de la filtración

Los mecanismos de filtración se podrían estipular que consiste en dos tipos, los cuales son el transporte y la adherencia, es decir que el material acarreado dentro del recurso hídrico es transportado a través del lecho filtrante, y de esta manera las partículas que se encontraban en suspensión serán atraídos por los granos que componen el medio en la cual se filtra.

Los mecanismos que pueden realizar el transporte son los siguientes:

- Cernido
- Sedimentación
- Intercepción
- Difusión
- Impacto Inercial
- Acción hidrodinámica
- Mecanismo de transportes combinados

Los Mecanismos que pueden provocar la adherencia son los siguientes:

- Fuerzas de Van der Waals
- Fuerzas electroquímicas
- Puente Químico

1.2.8 Mecanismos de transporte

El mecanismo de transporte realiza el transporte de partículas a través de los poros del medio filtrante, estos mecanismos de filtración se desarrollan dentro de la capa superficial o la capa profunda del medio, todo depende de las acciones físicas o factores dominantes que actúen sobre ellas, los cuales podrían ser los siguientes:

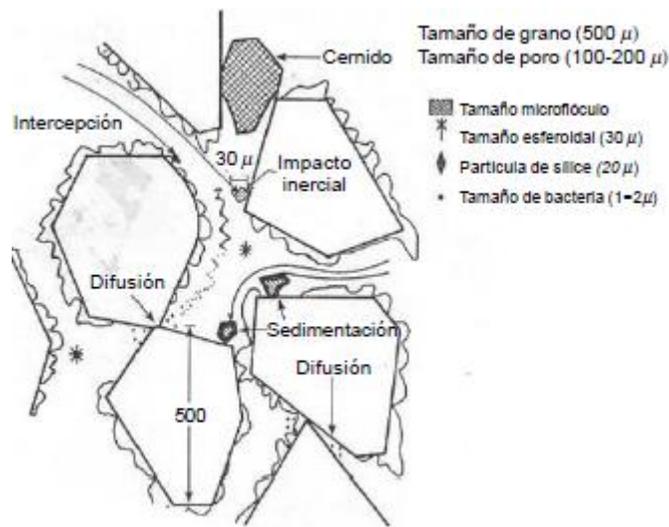


Ilustración 1 Diferentes mecanismos de transporte

Fuente: Maldonado, V. (2004)

- **Cernido:** Esta actúa en la capa superficial del lecho filtrante llevando consigo las partículas de mayor tamaño, esta capa del lecho es capaz de resistir los esfuerzos provocados por el flujo que pasa a través de él. La probabilidad (Pr) de cernido está dada por la siguiente formulación:

$$Pr = \left[\frac{d}{Dc} \right]^{3/2}$$

Donde:

d = Diámetro de partícula

D_c = Diámetro del medio filtrante

- **Sedimentación:** Se considera que los poros del lecho filtrante de los procesos de filtración actúan como pequeños sedimentadores, los cuales son capaces de retener partículas de un tamaño relativamente grande que sean capaces de asentarse a una gran velocidad, en cambio se sugiere que las partículas de menor tamaño se asientan en regiones donde el escurrimiento es mucho menor.
- **Intercepción:** Este proceso consiste en la remoción de partículas cuya densidad de las mismas es aproximadamente igual o menor a la del agua por lo tanto son removidas de la suspensión en el flujo laminar.
- **Difusión:** la difusión consiste en la eliminación de las partículas que se comportan según el movimiento browniano, el cual consiste en un movimiento errático debido a un aumento en la energía termodinámica y a la disminución de la viscosidad del agua, la eficiencia del filtro será directamente proporcional a la temperatura e inversamente proporcional al tamaño de la partícula.
- **Impacto Inercial:** durante el escurrimiento, las partículas tienen un movimiento alrededor de los granos debido al flujo del líquido causando el impacto o colisión de las partículas con los granos como se ilustra en la siguiente imagen.

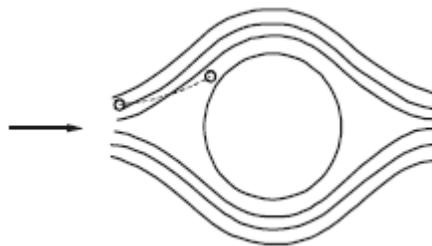


Ilustración 2 Mecanismo de impacto inercial

Fuente: Maldonado, V. (2004)

- **Acción Hidrodinámica:** la remoción de las partículas floculantes de menor tamaño se da gracias a la acción hidrodinámica debido a que la compresión del mecanismo se da en un gradiente de velocidad, el cual estipula que la partícula

se desplaza a distintas velocidades ejerciendo un diferencial, el cual fuerza a la partícula a moverse a una región de menor velocidad, tal y como se muestra en las siguientes imágenes.

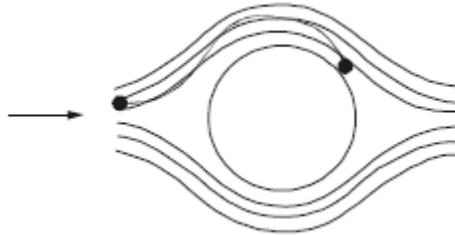


Ilustración 3 Mecanismo de acción hidrodinámica

Fuente: Maldonado, V. (2004)

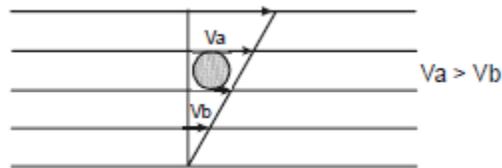


Ilustración 4 Acción de tensión de cizallamiento

Fuente: Maldonado, V. (2004)

- **Mecanismos de transporte combinados:** En este caso en particular todos los mecanismos actúan simultáneamente, pero uno se destacará según el tipo de suspensión y medio filtrante utilizado. La eficiencia del medio filtrante puede expresarse como una función de interceptación, difusión, sedimentación, y acción hidrodinámica. Se han realizado estudios los cuales han logrado determinar que la eficiencia de la colección dependerá de la velocidad, el grano del medio filtrado, y la viscosidad del fluido.

1.2.9 Mecanismos de adherencia

La adherencia que existe entre partículas y los granos son las características de la superficie de la misma, como esta depende directamente a la velocidad en la que viajan, se sugiere la utilización de coagulantes, de manera en que

las partículas viajen a menor velocidad y aumente la posibilidad de adherencia a los granos de lecho filtrante, la ausencia de coagulante representa a una ineficiencia del 20 % en remoción de partículas.

Se han utilizado químicos especiales floculantes que da como una respuesta electroquímica en las partículas de manera que se relacionen mediante una fuerza llamadas Fuerza de Van der Waals.

Las partículas sólidas que se encuentran sumergidas en el agua presentan diversas cargas por las siguientes razones:

- Disociación de iones en la superficie de las partículas.
- Cargas no balanceadas debido a imperfecciones en el cristal.
- Reacciones químicas con iones específicos de la suspensión.
- Sustitución isoformica en la estructura del cristal.

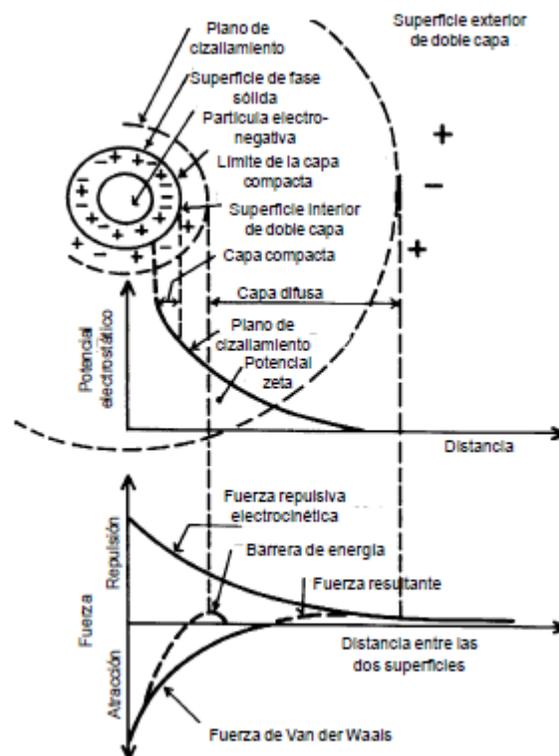


Ilustración 5 Potencial zeta

Fuente: Maldonado, V. (2004)

Dentro del medio sólido líquido existen unas interfaces llamadas capa estacionar y capa difusa, que por medio del contenido de iones esparcidos ayudan a la repulsión entre las partículas que se encuentran en suspensión.

Por medio del potencial zeta que es la fuerza que traslada una carga unitaria a un plano donde se separe la dispersión, y las fuerzas de Van der Waals que plantea la fuerza de atracción entre partículas, ayudan explicar la distribución de las partículas en el medio mediante teorías de atracción y repulsión debido a ionización de partículas y enlaces químicos formados, normalmente se atribuye a esta interacción como una dispersión debido a que actúan en este medio los tres efectos mencionados anteriormente.

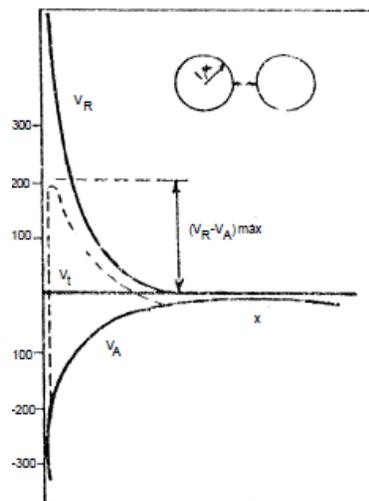


Ilustración 6 Variación de potencial de atracción o repulsión entre partículas

Fuente: Maldonado, V. (2004)

Con la finalidad de que exista una mejor adherencia entre las partículas y los granos del medio filtrante, se plantea una resultante el cual será $(V_R - V_A)_{\text{Max}}$, la cual toma los tres efectos anteriores y su resultado debería ser cercano o igual a cero.

1.2.9.1 Cinética de la filtración

Hoy en día no se logrado realizar un modelo matemático para entender la filtración en sí, pero si ha ayudado a comprender los procesos que se llevan a cabo durante la filtración, de tal manera que se han desarrollado una gran cantidad de variables que hacen parte de los procesos, y la relación que existe entre ellos.

El método matemático de balance de masas tiene una doble finalidad el cual sería la descripción de la remoción de partículas suspendidas, y reconocer la cantidad de sólidos removidos por unidad volumen filtrante, la variación de concentración de la suspensión seria la siguiente:

$$-\Delta C = C_2 - C_1$$

Donde:

ΔC = volumen de partículas suspendidas por volumen de suspensión.

C_1 = Concentración de partículas suspendidas en el afluente (L3/L3).

C_2 = Concentración de partículas suspendidas en el efluente (L3/L3).

Si se considera que un caudal Q pasa por un medio filtrante, entonces se puede plantear que la cantidad de partículas aumentaran en una función ΔQ en un tiempo de Δt , por lo tanto, se puede definir que la cantidad de partículas removidas de la suspensión seria mediante la siguiente expresión:

$$-\Delta C * Q * \Delta t$$

Volumen de partículas acumuladas:

$$-\Delta Q * A * \Delta L$$

Al Igualar ambas expresiones se obtiene los siguiente:

$$-\Delta C * Q * \Delta t = -\Delta Q * A * \Delta L$$

Donde:

Q = caudal (L3T-1)

Δt = intervalo de tiempo (T)

$\Delta\sigma_a$ = variación del depósito específico absoluto (L^3/L^3)

A = área, en planta, del elemento de volumen del medio filtrante (L^2)

ΔL = espesor del elemento de volumen del medio filtrante (L)

De tal manera que si reordenamos la ecuación se expresaría de la siguiente manera:

$$\frac{\partial C}{\partial L} * V = \frac{\partial \sigma_a}{\partial t}$$

Donde:

V = Velocidad de filtración (Q/A)

Esta ecuación representa la relación que hay entre las partículas en suspensión y la profundidad del lecho filtrante, y también la relación que existe entre el depósito específico absoluto y su variación con respecto al tiempo, todo esto en función de una velocidad determinada o considerada.

El depósito absoluto específico efectivo (σ) refleja el volumen que ocupan las partículas removidas.

$$\sigma = \beta * \sigma_a$$

Donde:

σ = Volumen de depósito o Volumen del medio filtrante

β = Relación entre volumen de depósito y los volúmenes removidos

De manera que la porosidad será determinada por la siguiente expresión:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 - \sigma$$

Donde:

ε_0 = Porosidad Inicial

ε = Porosidad del medio filtrante

De tal manera se podría relacionar el término de la porosidad con el término de la velocidad de acumulación de partículas en el medio filtrante, y se expresaría mediante la siguiente formulación matemática:

$$-\frac{\partial C}{\partial L} = \frac{1}{\beta * V} * \frac{\partial \sigma}{\partial t}$$

La ecuación que representa la función del espesor del lecho filtrante y realiza la demostración de la disminución de la tasa de variación con respecto al tiempo de operación del filtro es la siguiente:

$$-\frac{\partial C}{\partial L} = \frac{1}{\beta * V} * \frac{\partial \varepsilon}{\partial t}$$

1.2.9.2 Modelo matemático para la remoción de partículas

La creación de modelos para describir la variación de la concentración de las partículas en suspensión han sido muchas, debido a la necesidad de determinar el comportamiento de estas mediante una formulación general:

$$-\frac{\partial C}{\partial L} = F$$

Mediante estudios que se dieron a través de los años por el investigador Iwasaki propuso que la variedad de partículas discretas a una velocidad menor a $12\text{m}^3/\text{m}^2 \times \text{d}$, sin aplicación de coagulantes para determinar la reducción de la concentración de partículas se determina de la siguiente manera:

$$-\frac{\partial C}{\partial L} = \lambda * C$$

Donde:

λ = Coeficiente de filtro (L-1)

C = Coeficiente remanente de suspensión (L3/L3)

1.2.9.3 Pérdida de carga en un medio filtrante

Al pasar un fluido Q a través de un lecho filtrante a una profundidad L, la fricción del fluido ocasiona la pérdida de una carga determinada (h), como constantemente el afluente contiene sólidos en suspensión, estos irán recubriendo los diámetros y disminuirá la porosidad inicial, causando una pérdida en la carga, las cuales puede haber dos tipos:

- Pérdida de Carga inicial que es la mínima que puede producir el filtro
- Pérdida de Carga por colmatación que será en función de tiempo

$$hf = h_0 + h\varphi(t)$$

La pérdida de carga inicial se puede calcular, pero solo es aplicable a aquellos con esferas en flujos laminar, los cuales presentan un número de Reynolds menor a 10.

$$h_0 = f * \frac{V}{g} * L * \frac{(1 - \varepsilon_0)^2}{\varepsilon_0^3}$$

Donde:

f = constante experimental y adimensional igual a 5

v = viscosidad cinemática

g = aceleración de la gravedad

L = profundidad del lecho

ε_0 = porosidad inicial

V = velocidad de filtración

A/V= relación área de la partícula /volumen de la partícula

Como esta situación se podría decir que se da en un ambiente muy ideal, se tendrá que utilizar un coeficiente, debido a que las partículas no son totalmente esféricas ni el flujo es laminar sino tradicional. Por lo tanto:

$$\frac{A}{V} = \left(\frac{6}{C_e * D}\right)^2$$

De manera que la ecuación quedaría de la siguiente forma:

$$h_0 = f * \frac{V}{g} * L * \frac{(1 - \varepsilon_0)^2}{\varepsilon_0^3} * \left(\frac{6}{C_e * D}\right)^2$$

Si se toma en cuenta la porosidad de las capas y se plantea que cada una es capaz de expandirse, y al estar colocados de una densidad mayor a menor, la porosidad en cada una de estas será diferente. Entonces se debe considerar de la siguiente manera:

$$h_0 = f * \frac{V}{g} * L * \frac{(1 - \varepsilon_0)^2}{\varepsilon_0^3} * \frac{36}{C_e^2} * L * \left[\sum_{i=1}^1 \frac{X_i}{d_i^2} \right]$$

1.2.10 Lavado de medios filtrantes

Durante los procesos de filtración, el lecho filtrante retiene las partículas que contienen los afluentes, y tienden a obstruir los poros y el paso del flujo, por lo tanto, es necesario darle mantenimiento y limpieza periódicamente, esto se realiza invirtiendo el flujo del agua, desde el fondo del lecho hasta el tope, expandiendo el medio, de manera que las obstrucciones y las partículas contenidas se puedan recolectar en la parte superior el agua de lavado.

1.2.10.1 Fluidificación de medios porosos

Para el lavado del medio filtrante se introduce un flujo ascendente en el medio granular, de manera que el fluido produzca una fuerza sobre las partículas adheridas a los granos, en sentido a la fuerza normal para que haya menos resistencia al paso del flujo. Cuando la velocidad del fluido aumenta hasta llegar a superar al peso de la partícula esta provoca la separación de partícula del grano.

El aumentar la velocidad del fluido provoca la expansión del lecho filtrante por lo cual provoca que la porosidad crezca de tal manera que de paso nuevamente al flujo. La pérdida de carga es una función directamente relacionada con la velocidad,

cuando el lecho no está expandido, la pérdida de carga puede alcanzar su valor máximo.

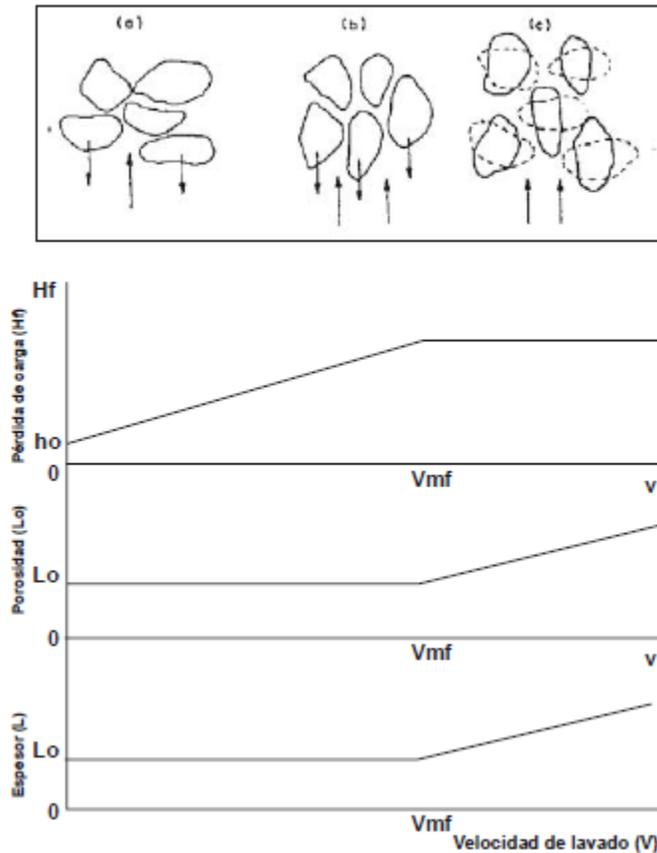


Ilustración 7 Pérdida de carga, profundidad del lecho, y porosidad versus velocidad de lavado

Fuente: Maldonado, V. (2004)

1.2.10.2 Expansión de medios porosos

Esta es representada por una relación entre el número de Reynolds y el número de Galileo para los coeficientes de esfericidad de las partículas y la porosidad del lecho filtrante expandido, para un lavado ascensional debe ser entre una velocidad de 0.9 y 1.3 m/min. La expansión se determina mediante una curva granulométrica y un cálculo de porosidad en las distintas capas.

El número de Reynolds Re se define por:

$$Re = \frac{De * v * \rho}{\mu}$$

El Numero de Galileo Ga se define por

$$Ga = \frac{D_e^3 * \rho(\rho_s - \rho) * g}{\mu^2}$$

Donde:

D_e = diámetro equivalente

V = velocidad del flujo de agua

μ = viscosidad dinámica

ρ = densidad del agua

ρ_s = densidad del material filtrante

g = aceleración de la gravedad

1.2.10.3 Pérdida de carga en medios filtrantes expandidos

La pérdida de carga en medios filtrantes expandidos es igual al peso de los granos del medio filtrante y se determina por la siguiente ecuación:

$$h_i = (1 - \varepsilon_0) * L_0 * \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} \right)$$

Donde:

h_i = pérdida de carga del material expandido

ρ_s = masa específica del material filtrante

ρ_a = masa específica del agua

1.2.11 Factores que Influyen en la filtración

La efectividad con la que se realizará los procesos de la filtración estará relacionada directamente con ciertos factores los cuales son:

- Calidad del afluente

- Características de la suspensión
- Calidad del medio filtrante
- Calidad de la hidráulica de filtración

1.2.11.1 Características de la suspensión

La eficiencia de remoción de partículas se ve directamente relacionado con aspectos característicos la suspensión los cuales son las siguientes:

- Tipo de partículas suspendidas
- Tamaño de partículas suspendidas
- Densidad de partículas suspendidas
- Resistencia de las partículas
- Temperatura del agua a filtrar
- Potencial zeta
- pH del afluente

1.2.11.2 Tipos de partículas

Los tipos de partículas van a afectar los procesos de filtración, debido a que la mayoría de estas que se encuentran en las aguas crudas necesitan ser pre tratadas, la existencia de las algas en agua cruda proveniente de un afluente es muy común, y por ello es necesario realizar un proceso para su remoción, ya terminado el pre tratamiento, se comienza un proceso filtración para eliminar los flóculos restantes.

1.2.11.3 Tamaño de partículas

Los tamaños más críticos de las partículas suspendidas están en el rango de tamaño aproximado de un micrómetro, por lo cual en la mayoría de los casos es necesario el uso de químicos coagulantes o floculantes para ajusta el tamaño de las partículas, de manera que el proceso de remoción de las mismas sea más efectivo.

1.2.11.4 Densidad de partículas

Mientras la densidad de las partículas sea mayor, con mayor facilidad se podrá realizar la remoción de las partículas de mayor tamaño.

1.2.11.5 Dureza de los flóculos

Los flóculos débiles en procesos de filtración rápido o similares tienden a fragmentarse, por lo tanto, es importante la dureza para su remoción, en cambio los flóculos fuertes o duros no se fragmentan por lo tanto ayudan en el proceso, presentan una mayor pérdida de carga, pero no necesitan ayuda de agentes químicos para llevar este proceso de filtración.

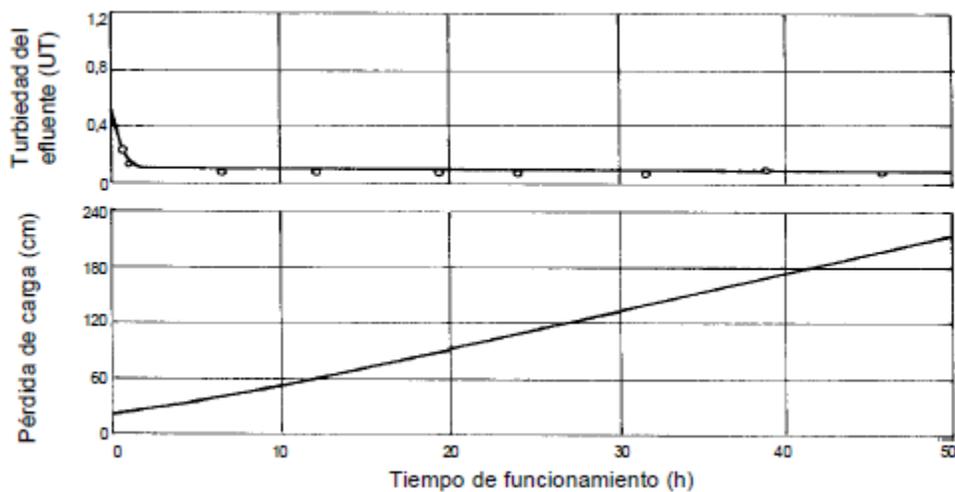


Ilustración 8 Efecto de resistencia de flóculos en la duración de la carrera de filtración y desarrollo de pérdida de cargas.

Fuente: Maldonado, V. (2004)

1.2.11.6 Temperatura de agua por filtrar

La temperatura juega un papel importante en los procesos de filtración ya que al ascender la temperatura aumenta la energía termodinámica, por lo cual aumenta la viscosidad y difusión, por consecuente ayuda a la remoción de partículas de tamaño menor a un micrómetro.

1.2.11.7 Concentración de partículas suspendidas en el afluente

Cuando el medio filtrante se encuentra limpio, la eficiencia de remoción depende de la concentración de partículas suspendidas, debido a que las partículas en aumento son suspendidas en el afluente y retenidas, de esta manera pasan a ser recolectoras de otras partículas cuando se asientan en el lecho filtrante.

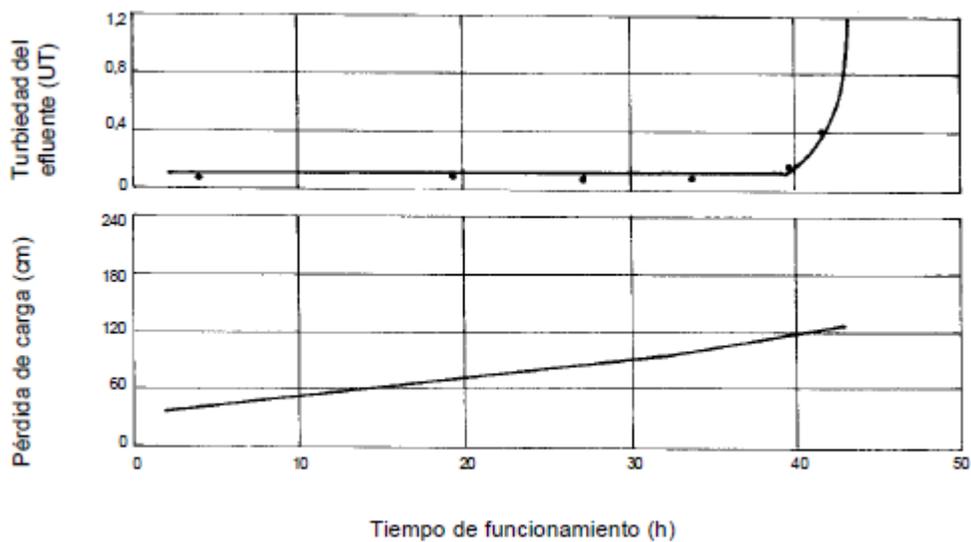


Ilustración 9 Eficiencia de remoción mayor con el aumento de la concentración, la curva de pérdida carga.

Fuente: Maldonado, V. (2004)

1.2.11.8 Potencial zeta de la suspensión

El potencial es la presencia de cargas que dificulta la adherencia de las partículas e interacción entre las capas, de tal manera que la remoción de las mismas es más difícil, la solución para esta problemática es el uso de elementos químicos para alterar cargas, para que se puedan realizar propiamente la adherencia entre capas y realizar la remoción de partículas adecuadamente.

1.2.11.9 pH del afluente

El pH influye en la capacidad de intercambio iónico de las partículas con los granos del medio filtrante, un pH inferior a 7.0 favorece al intercambio de aniones mientras el intercambio de cationes disminuye, cuando es mayor a 7.0 favorece al intercambio de cationes mientras que el intercambio de aniones disminuye

1.2.12 Características del medio filtrante

1.2.12.1 Tipo del medio Filtrante

El medio filtrante debe escogerse de acuerdo a la calidad de agua que se desea filtrar, pero también deben tomarse en cuenta otros factores como lo son la duración de la carrera de filtración, y la facilidad de lavado. La arena ha sido el medio filtrante por excelencia, pero ha presentado problemas cuando presenta estratificaciones, debido a que pueden causar retención de la mayor parte de las partículas en la capa superior por lo tanto provoca que la presión ejercida sea menor que la atmosférica, también cabe la posibilidad de la creación de burbujas de aire, y la compactación del lecho filtrante.

Los problemas de estratificación se pueden controlar por medio de arenas con un coeficiente de uniformidad determinado, en la práctica es muy común utilizar

arenas con un coeficiente de 1,5. Se ha experimentado aumentar la calidad del filtro mediante el uso de varias capas de distintos tipos de arena, se logró obtener un resultado muy bueno, pero no se recomienda debido a que se complica a la hora de realizar el mantenimiento de las mismas, los granos se mezclan entre sí, es difícil la obtención del material.

La elección del lecho filtrante depende de varios factores:

- Calidad deseada para el efluente
- El costo
- Facilidad de adquisición de materiales en el mercado
- Personal calificado para operar las instalaciones

1.2.12.2 Características granulométricas del material filtrante

Los materiales deben ser especificados y para esto se deben emplear los siguientes parámetros:

- Tamaño efectivo: en relación al peso acumulado, esto se refiere al tamaño de granos correspondientes al 10 %
- Coeficiente de uniformidad: es igual a la relación entre tamaños de los granos correspondientes al 60 %
- Forma: este se mide a partir del coeficiente de esfericidad, es la división del área del superficial de la esfera entre área superficial de la partícula.
- Tamaño Mínimo
- Tamaño Máximo

Para la combinación entre distintos materiales para la composición de la capa filtrante, se debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- El tamaño del grano de antracita corresponde al 90 %, y el de la arena a un 10 %, la relación en pesos debe mantenerse en 3
- El tamaño del grano de antracita corresponde al 90 % y la arena a un 10 % la relación debe mantenerse a 2.

Tabla 5 Valores Normales de Materiales Filtrantes

Material	Coefficiente de esfericidad	Peso especifico (g/cm ³)
Arena	0.75 – 0.80	2.65 – 2.67
Antracita	0.70 – 0.75	1.50 – 1.70
Granate	0.75 – 0.80	4.00 – 4.20

Fuente: Maldonado, V. (2004)

1.2.12.3 Espesor de la capa filtrante

Es difícil determinar el espesor de la capa filtrante en lechos que tengan múltiples capas, debido a que la calidad del agua va a variar durante todo el año, por lo tanto, se ha determinado utilizar de un 60 a 80 % de antracita y de 20 a 40 % en arena.

1.2.13 Características hidráulicas

Características hidráulicas que influyen en la filtración son las siguientes:

- Tasa de Filtración
- Carga hidráulica disponible
- Métodos de control de filtros
- Calidad del afluente

1.2.13.1 Tasa de filtración

Una tasa de filtración baja no asegura una mejor producción por carrera de filtración, la calidad depende del pretratamiento que se le da al afluente, a continuación, se muestran unas imágenes que demuestra la variación de las carreras de filtración con diferentes filtros.

En la ilustración 16 podemos apreciar gráficamente la mejora del agua filtrada con la ayuda de un auxiliar llamado polielectrolitos aplicados en pequeñas dosis en el afluente.

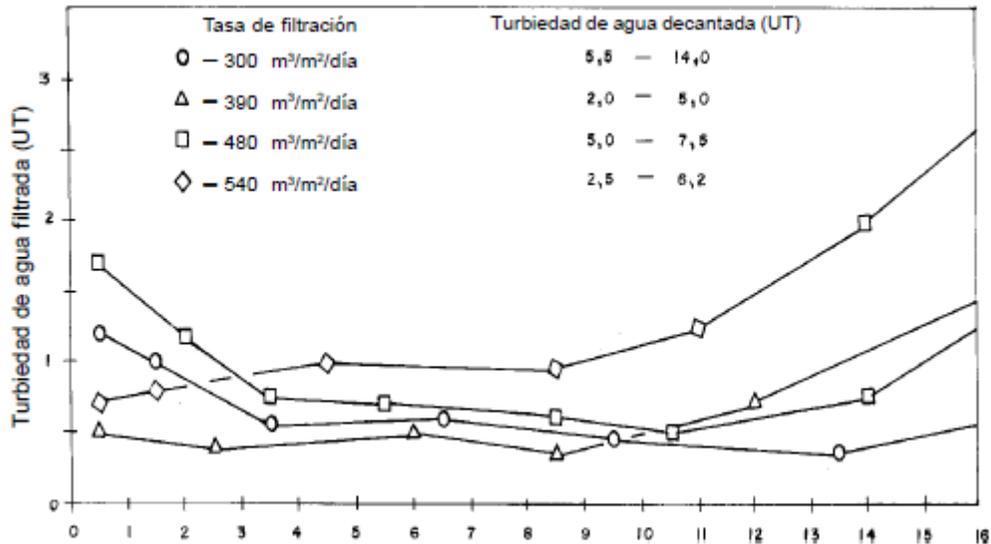


Ilustración 10 Influencia de tasa de filtración en la calidad del agua filtrada sin empleo de auxiliar de filtración
Fuente: Maldonado, V. (2004)

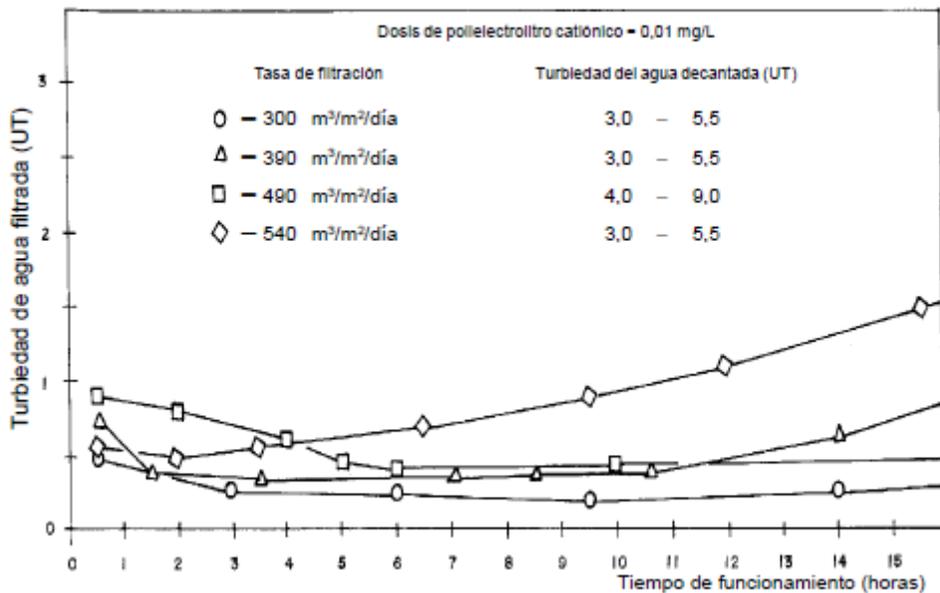


Ilustración 11 Influencia de tasa de filtración en la calidad del agua filtrada cuando se emplea auxiliar de filtración
Fuente: Maldonado, V. (2004)

La tasa de variación durante una carrera de filtración es algo inevitable, estas dependerán de la magnitud de la variación producida, tasa de filtración y la pérdida de carga que se da en el filtro en dado momento, como se muestra en las siguientes imágenes.

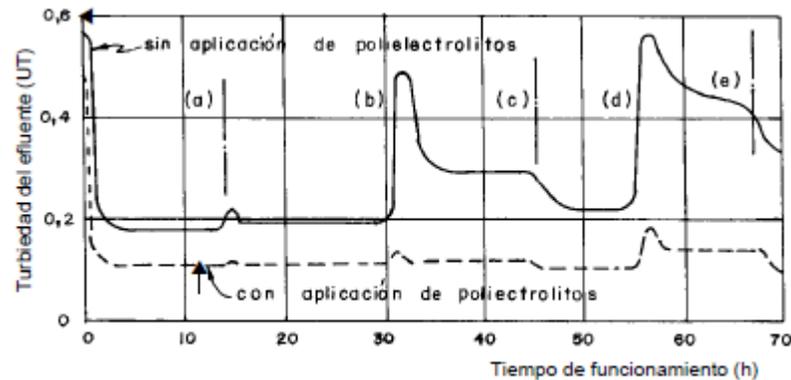


Ilustración 12 Influencia de la variación brusca de la tasa de filtración en la calidad del afluente

Fuente: Maldonado, V. (2004)

1.2.13.2 Carga hidráulica disponible

La carga hidráulica va directamente relacionada con el tiempo de filtración, por lo general es una estimación empírica, pero se ha demostrado que las tasas declinantes producen carreras más largas que las tasas constantes, por lo tanto, las tasas constantes necesitan una carga hidráulica superior disponible, además de otros factores como el espesor, granulometría del lecho filtrantes, factores económicos y otros.

1.2.13.3 Calidad del efluente

La calidad del agua está directamente relacionada con las características filtro utilizado, los patrones de potabilidad dependen mucho de cada país, por lo tanto se solicita que los valores de turbiedad sean menores a 5 UNT y los valores de color sean menor a 5 UC, a lo que respecta con el campo bacteriológico, el arena constituye una barrera debido a que hace una remoción superior al 99 %, sin embargo la calidad

del agua varia de principio a fin sin importar el filtro utilizado, teóricamente lo mejor sería realizar el filtrado por etapas o separadamente, pero en la práctica no es algo que sea posible hacer.

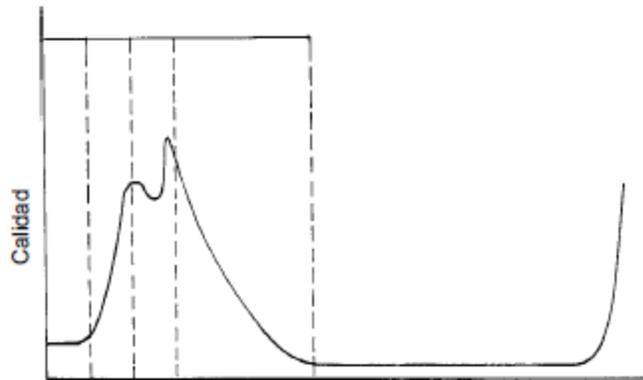


Imagen 18. Variación de la calidad del afluente durante la carrera de filtración.

Fuente: Maldonado, V. (2004)

1.2.14 Tipos de unidades de filtración

1.2.14.1 Clasificación

Los sistemas de filtración pueden ser clasificados de las siguientes formas dependiendo de ciertos parámetros:

Tabla 6 Clasificación de filtros rápidos

Parámetros de Clasificación			
Lecho Flotante	Sentido del Flujo	Carga sobre el Lecho	Control Operacional
Simple (Arena o Antracita)	Descendente	A gravedad	Tasa constante y Nivel variable
Lechos dobles o múltiples	Ascendente	A Presión	Tasa constante y nivel variable

	Ascendente – descendente		Tasa Declinante
--	-----------------------------	--	-----------------

Fuente: Maldonado, V. (2004)

1.2.14.2 Filtración por gravedad

La filtración por gravedad es usualmente utilizada en plantas de abastecimiento público debido a que es muy económico, estas pueden ser de unidades descendentes o ascendentes y ser operadas con una tasa de filtración constante o declinante, con lechos únicos o múltiples, dependiendo de la necesidad de cada una.

1.2.14.3 Filtración ascendente

La filtración ascendente tiene la ventaja que escurre al sentido contrario del grano, pero una de sus desventajas es que en comparación con las de filtro descendente, el proceso de filtración dura más en realizarse, las principales características más comunes de estas unidades son las siguientes:

- Tasa de Filtración de 120 a 200 m³/m²/día
- Fondos de los filtros: Leopold, Tuberías perforadas, y Placas perforadas.
- Distribución del agua: Caja provista de vertederos y Regulador de Caudal

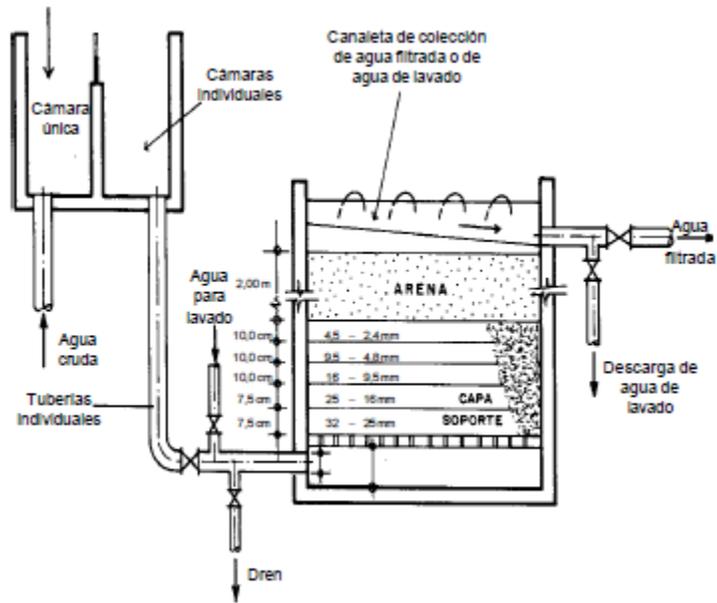


Ilustración 13 Esquema de flujo ascendente y tasa constante
Fuente: Maldonado, V. (2004)

1.2.14.4 Filtración descendente

Esta unidad igualmente se utiliza mayormente en plantas de abastecimiento publico debido a su simplicidad, no requiere un personal altamente capacitado para su mantenimiento.

1.2.14.5 Filtración ascendente - descendente

El proceso antiguo según el filtro Bi - Flow abre paso al agua cruda coagulada, es introducida en la capa superior del lecho filtrante y el resto en la parte inferior del filtro, la colección se hace mediante tuberías y provistas de boca instaladas en el medio filtrante, el único inconveniente es que la boca se puede obstruir y hay que realizar mantenimientos rutinarios.

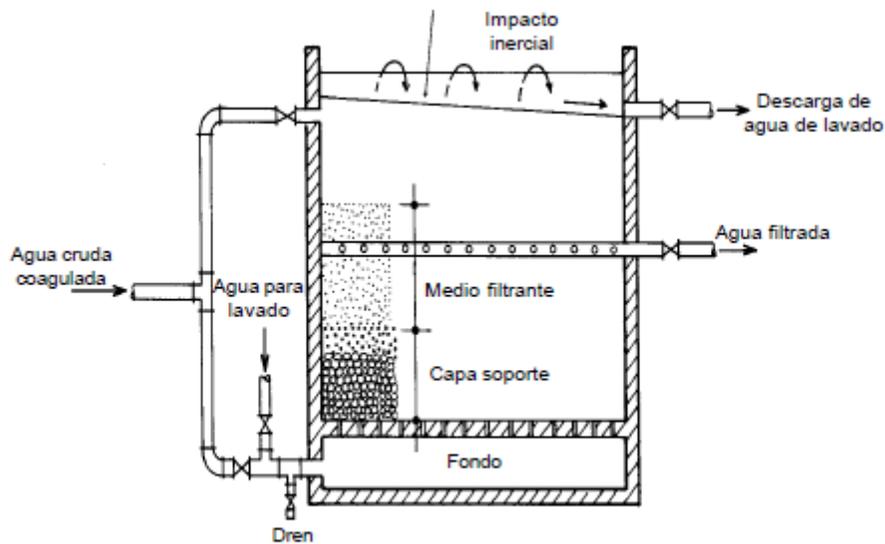


Ilustración 14 Esquema de filtro Bi – Flow

Fuente: Maldonado, V. (2004)

Luego al paso de los años aparecieron los filtros ascendentes – descendentes para arreglar este inconveniente, que primero realiza una filtración ascendente y luego una filtración descendente como se muestra en el siguiente esquema

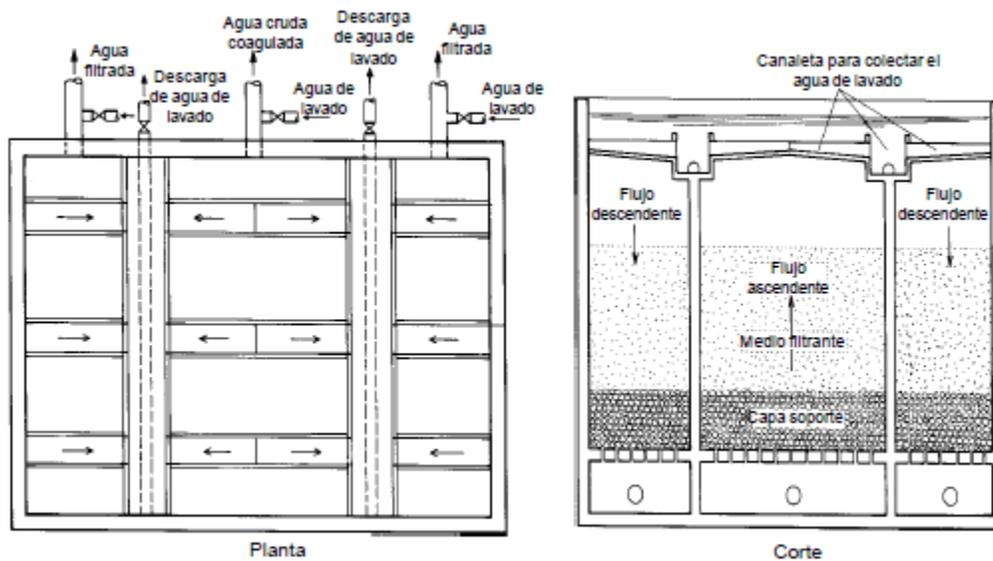


Ilustración 15 Arreglo típico de una instalación de súper filtración

Fuente: Maldonado, V. (2004)

1.2.15 Métodos de control operacional

1.2.15.1 Tasa constante y nivel variable

La distribución equitativa del caudal que consiste en una tasa constante y un nivel variable, funciona de la siguiente manera, la repartición de caudal en los filtros se realiza equitativamente, el caudal de filtración será constante, el nivel de agua del filtro dependerá de la colmatación de los poros del lecho filtrante, hasta que este llegue a su límite y luego halla que limpiarlo. La instalación deberá contar con una válvula que permita ajustar el nivel mínimo.

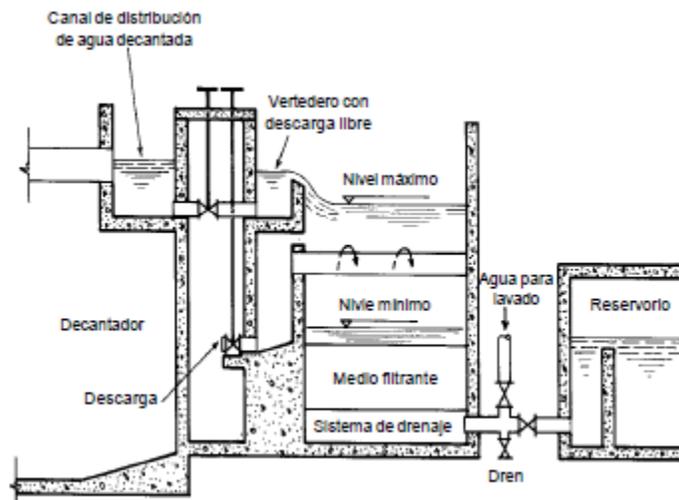


Ilustración 16 Arreglo típico de entrada y salida de los filtros de tasa constante y nivel variable

Fuente: Maldonado, V. (2004)

La presente forma de operación tiene ciertas ventajas respecto al método de tasa y nivel constante:

- Si el afluente es constante, la tasa de filtración será constante igualmente sin necesidad de equipo de control.
- El caudal es distribuido en proporciones iguales entre diversos filtros.
- Cuando un filtro es retirado de operación para ser lavado, el caudal es distribuido equitativamente entre los filtros restantes.

- Después del inicio de operación de un filtro lavado, la disminución de la tasa de filtración en los demás filtros es gradual.
- La pérdida de carga de un filtro se puede verificar visualmente de tal manera que solo se requiere la confirmación de un operario experimentado para que proceda el lavado.
- La ubicación de la cresta del vertedero arriba de la capa filtrante eliminando la posibilidad de que exista una presión inferior a la atmosférica.
- El caudal de cada filtro es fácilmente medido en la entrada del vertedero.

1.2.15.2 Tasa y nivel constante

En este método los filtros de gravedad no varían mucho, la carga hidráulica disponible es aproximadamente constante, manteniendo la resistencia del filtro, el resultado de la filtración será constante, pero es necesario un dispositivo que sea capaz de manipular la carga hidráulica total y la suma de las pérdidas de carga en el lecho filtrante.

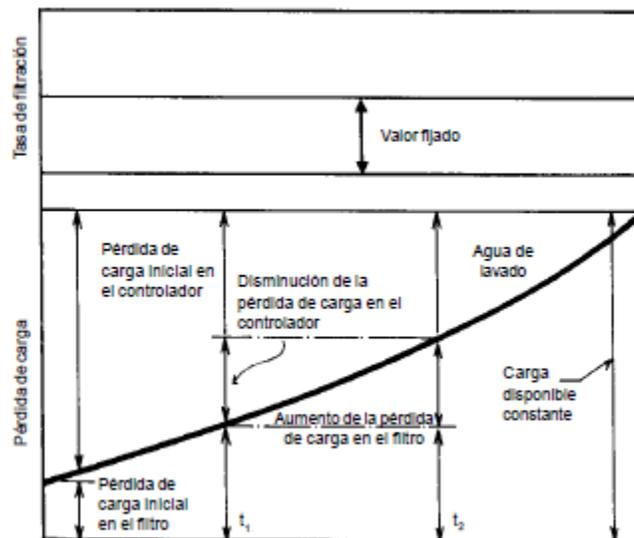


Ilustración 17 Variación de la pérdida de carga en función de tiempo para tasa de filtración constante y nivel de agua constante

Fuente: Maldonado, V. (2004)

Los principales inconvenientes de trabajar con tasas y nivel constante:

- Costo del equipo
- Costo elevado de operación y mantenimiento
- Necesidad de control de nivel
- Posibilidad de deterioro del afluente producido por los ajustes de nivel

La siguiente imagen describe el equipo automático para un caudal y nivel constante:

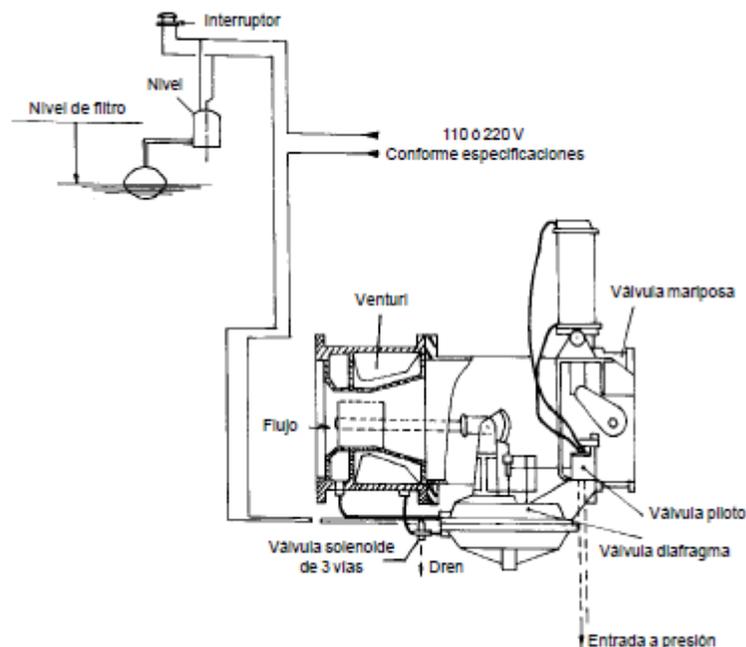


Ilustración 18 Dispositivo automático de control de caudal y nivel
Fuente: Maldonado, V. (2004)

1.2.15.3 Tasa declinante

Este proceso de tasa declinante realiza carreras de filtración de más larga duración que por lo tanto el producto de agua resultante será de mayor calidad que los otros procesos. La distribución del agua se realiza mediante una misma tubería o canal y son relativamente grandes, por lo tanto, el nivel del agua es relativamente el mismo para todos los filtros.

En este proceso se pueden identificar tres niveles de operación llamadas N1, N2 y N3. Nivel N2 corresponde al máximo nivel y corresponde al lavado de un filtro, también conocido como Nivel máximo de operación de filtros.

El Nivel 3 corresponde a cuando un nivel ha alcanzado su nivel máximo, de manera que se deberá realizar la distribución del caudal entrante hacia las demás baterías hasta alcanzar un nivel N3. EL Nivel N1 consiste en la situación donde el filtro es lavado, por lo tanto, es capaz de soportar de nuevo toda la carga hidráulica pasando desde un N3 a un valor mínimo.

Las principales ventajas de la tasa declinante con relación al sistema de tasa constante con controlador de caudal son las siguientes:

- Cuando un filtro es retirado el caudal es distribuido a los demás filtros por lo cual por ello existe una variación de en las tasas de filtración.
- La pérdida de carga es muy evidente, y es notorio a simple vista.
- La calidad del efluente es mayor cuando la tasa de filtración disminuye.
- Es mayor el volumen de agua producida por unidad de pérdida de carga.
- La carga hidráulica necesaria es menor.
- Se evita que la presión producida sea menor que la presión atmosférica.
- Se eliminan los equipos mecánicos de control de toda índole.

1.2.16 Medios filtrantes

1.2.16.1 Filtros de lecho simple

En medios convencionales se utiliza la arena, en la cual la distribución de sus poros es del más pequeño en la capa superior y a medida que desciende los poros se hacen más grandes, por lo cual provoca que la mayoría de los flóculos se encuentren en las capas superiores, por lo que limita el almacenamiento de estos.

1.2.16.2 Filtros de lecho múltiple

Lo que se busca a la hora de la aplicación de lechos múltiples es que la permeabilidad descienda a medida que disminuye la profundidad, de esta forma los flóculos podrán penetrar los medios más finos de la capa inferior. En los lechos de arena y antracita se ha conseguido que acercarse a una estratificación ideal para la filtración como se presenta en la siguiente imagen.

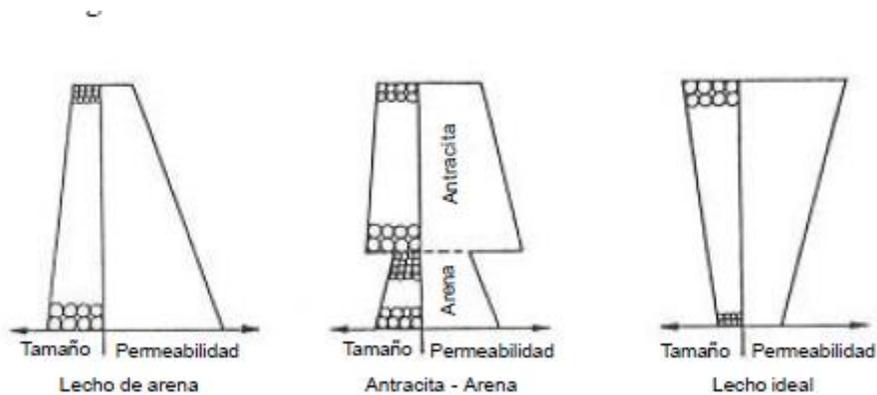


Ilustración 19 Variación de la permeabilidad para diferentes tipos de estratificación.

Fuente: Maldonado, V. (2004)

1.2.16.3 Filtración a presión

La filtración bajo presión es un poco diferente a la de gravedad, ya que se realiza por medio de tanques de laminado de acero y pueden ser por flujo ascendentes o descendentes, construida por una o más capas como se presenta en la siguiente imagen.

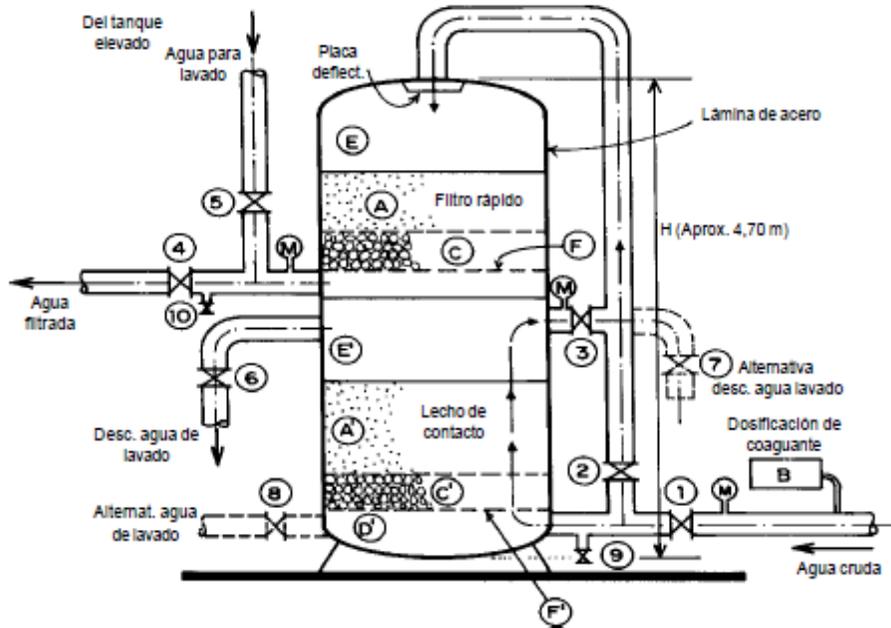


Ilustración 20 Filtro ascendente bajo presión vertical

Fuente: Maldonado, V. (2004)

1.2.17 Filtración directa

La solución para la filtración de aguas superficiales de baja turbiedad y color es la filtración directa, cuando el abastecimiento proviene de un lago las presencias de algas es algo muy común e igual a una cantidad o superior a 1000 unidades por milímetro, los cuales pueden ser tratados perfectamente mediante este proceso. Se ha demostrado que, para tratar aguas superficiales mediante filtración directa, el afluente debe tener menos de 20 UNT y 40 UC.

1.2.17.1 Clasificación de la filtración directa

El sentido por el cual se puede dar una filtración puede ser ascendente, descendente, ascendente – descendente, para cada uno de los tipos podrían estar involucrados los siguientes:

Filtración Directa Descendente: Mezcla rápida y filtración descendente, pre floculación y filtración descendente. La pre floculación es determinada en el laboratorio.

Filtración Directa Ascendente: procesos de mezcla rápida y seguido de la filtración ascendente. En este caso no existe la pre floculación

1.2.17.2 Ventajas de la filtración directa

- El costo de construcción puede disminuir hasta un 50 % con respecto a una planta convencional.
- Menor costo de operación y mantenimiento.
- Reducción sustancial de consumo de coagulantes.
- Menor volumen de lodo producido en la planta.
- Facilidad de tratamiento de agua cruda con turbiedad.

1.2.17.3 Desventajas de la filtración directa

- Dificultad de tratamiento de agua con alto contenido de color o turbiedad.
- Necesidad de monitoreo continuo o control riguroso en los principales parámetros de calidad.
- Tiempo total de retención para el tratamiento es relativamente corto, lo que implica en la reacción a modificaciones en la calidad del agua.
- Posibilidad de paralización temporal de la planta debido a errores en la dosificación de coagulantes.

1.2.18 Evaluación de baterías de filtro y lavado mutuo

El proceso de filtración es un proceso complejo que está compuesto por distintos mecanismos, no se ha podido determinar el impacto de cada uno de estos debido a que cada uno de ellos son muy importantes para el proceso de filtración. Las características del agua aplicada a los filtros determinarán el efluente resultante, debido a que de esta se determinan ciertos factores que ayudan al proceso de filtración en sí.

Las características del medio filtrante juegan un papel importante en cuanto a lo que es la determinación de la calidad y eficiencia del proceso de filtración. Existen ciertas variables las cuales influyen en los procedimientos de una planta de filtración rápida las cuales son las siguientes:

- Características de unidad
- Geometría de la unidad
- Eficiencia del proceso
- Características del proceso de filtración
- Características del medio filtrante
- Características del proceso de lavado

1.2.18.1 Características de la unidad

El análisis consiste en comprobar que las baterías de filtración cumplan con los aspectos básicos del proyecto en la cual está operando con tasa declinante, y comprobar si un filtro se puede lavar con el flujo que producen las otras baterías.

Requisitos de operación de baterías en tasa declinante

- Debe estar integrada por mínimo 4 unidades.
- Debe tener la carga hidráulica necesaria para cuando esta sea lavada y entre en operación, la tasa de filtro no exceda 1.5 veces la tasa del proyecto.
- Debe tener un aliviadero móvil en la entrada del canal
- Los ingresos del agua decantada deben estar ubicados a un nivel inferior al nivel de operación de la batería.

Requisitos Básicos de Baterías con Filtros Auto Lavables

- Al pasar el caudal para realizar el lavado del lecho filtrante este se debe expandir de un 25 % a 30 %.
- La batería debe tener un canal que interconecte todos los filtros.
- Debe ubicarse un vertedero de salida sobre el canal de interconexión, este puede ser individual o una que interconecte todos los filtros.

- El vertedero debe ser móvil.

1.2.18.2 Geometría de la unidad

- **Estructura de entrada:** En caso de que se esté operando con filtración rápida, el agua decantada o coagulada su distribución sería mediante un canal o tubería, y además el filtro debería estar ubicado a un nivel inferior al mínimo de operación para que pueda trabajar libremente con el caudal que puede tratar.
- **Caja de filtro:** En la caja de filtro se encuentran
 - ✓ **El fondo falso:** Un espacio debajo del canal de aproximadamente 40 centímetros de altura
 - ✓ **Drenaje:** Es la estructura que permite el paso del agua ascensional durante el lavado y de forma descendente durante el proceso de filtración

Lo que caracteriza a este tipo de drenajes es una vigueta prefabricada que permite que el lavado sea más uniforme y tiene una gran resistencia estructural, encima de esta vigueta va una base de grava la cual no permite la pérdida de material filtrante y para ello se utilizan granulometrías precisas, tan solo un poco más grandes que los orificios para que no permita la arena pasar

- Cuando el drenaje es de placa porosa no se coloca lecho de grava
- Sobre la base de grava va una base simple de arena o puede ser una base doble, ya sea arena y antracita.
- Por encima del lecho filtrante van los canales de lavado, los cuales recolectan el agua de lavado
- El agua filtrada sale del drenaje al fondo falso y puede pasar a un canal de aislamiento o al canal de interconexión.

1.2.18.4 Características del proceso de filtración

Se debe evaluar principalmente la variación de velocidad de filtración, la duración del proceso en comparación con el resultado obtenido. El caudal de filtración tanto como la velocidad varían para cada una de las baterías las cuales operan en tasa declinante, variando sus condiciones, las colmataciones en cada una de ellas será diferente, el ultimo siempre será el de mayor caudal y mayor velocidad.

Para determinar si la batería de los filtros está funcionando adecuadamente, para que estos cuando sean lavados produzcan un agua de mayor calidad se deben realizar los siguientes procedimientos:

- Revisar bitácoras o el formulario de operación de los filtros y determinar cómo se están lavando.

Revisión de prueba de lavado del filtro:

- Si cada filtro tiene un vertedero al final determinar el caudal 1 a caudal n, y determinar el diferencial de caudales.
- Determinar el área filtrante de cada unidad, estas deberían ser las mismas.
- Tomando en cuenta el filtro que recién se lavó, calcular la velocidad máxima de filtración.

$$Vf_{\max} = Q_{\max} / Af$$

- Se determina la velocidad de filtración promedio en la batería, que es la relación de caudal con el área total de la batería

$$Vf_{\text{Prom}} = Q / At$$

Comprobar que la relación

$$Vf_{\max} / Vf_{\text{Prom}} = 1.5$$

1.2.18.5 Calidad del filtro Inicial

Este procedimiento tiene como fin detectar el comportamiento del filtro inicial y determinar el tiempo que demora en alcanzar la turbiedad normal, se realiza de la siguiente manera:

- Abrir el canal de aislamiento del filtro
- Se toman muestras cada minuto durante 15 minutos al momento que se reinicia el funcionamiento de la operación.
- Grafica la turbiedad versus el tiempo

1.2.18.6 Duración de carreras de filtración

La duración del proceso de filtración dependerá del agua ingresada, dependiendo del agua coagulada o decantada estas podrían durar de 30 a 50 horas para realizar las carreras de filtración, estas hacen referencia al intervalo entre cada lavado de cada filtro.

1.2.18.7 Características del sistema de lavado

El comportamiento del sistema de lavado de las baterías dependerá de la conservación del lecho filtrante, las pruebas que se indicarán a continuación deben efectuarse en la planta a fin de conservar los filtros en buen estado, serían los siguientes:

- Expansión del Medio Filtrante

La expansión del lecho filtrante dependerá directamente del caudal de lavado y el peso de los granos utilizado para el filtro. En un diseño americano el diámetro de la arena va entre 0.45 a 0.55 milímetros de diámetro y se puede expandir efectivamente de un 25 % a un 30 %, mientras la expansión sea menor la limpieza mejora, en sistemas europeos se utilizan arenas de 0.80 a 1 milímetro diámetro y solo tiene una expansión hasta del 10 %.

De la siguiente manera se determina la expansión del lecho filtrante mediante un método experimental, se necesita una varilla con cajas adjuntas cada 5 centímetros.

- ✓ Antes del inicio de lavado, situar la varilla dentro del filtro colocándolo en el extremo inferior del filtro, encima del lecho filtrante.
- ✓ Proceder al lavado normal.
- ✓ Después de 3 minutos, retirar suavemente la varilla, verificar cuantas cajas contienen material filtrante y medir la distancia de la caja más alta que contiene arena al extremo inferior de la varilla.
- ✓ Determinar la altura del lecho filtrante.
- ✓ Determinar la expansión del lecho filtrante.

$$E = \frac{\Delta h}{h} \times 100$$

- ✓ Efectuar este procedimiento en varios sitios para verificar que la expansión es uniforme.

Se recomienda medir los puntos de salida de agua de lavado e inmediato, porque normalmente cuando existe una distribución defectuosa de la expansión del lecho estos son los puntos que normalmente se ven más afectados, solo debe ocurrir como máximo una expansión entre los 25 % a los 30 %.

- Duración del Proceso de Lavado

Cuando se realiza el lavado de un filtro, la turbiedad aumenta súbitamente al principio puede dar como respuesta valores mayores a los 1000 UTN, luego a medida que se va limpiando el filtro este disminuye, analizando de manera gráfica, es decir una curva se puede analizar los tiempos de lavados más eficientes.

Para esto se requerirán aproximadamente 15 envases en las que se pueda realizar un muestreo, a fin de determinar la turbiedad en cada minuto de lavado, se deben seguir los siguientes pasos para realizar la experimentación:

- ✓ Cada Frasco debe ser propiamente enumerado.
- ✓ Apenas se inicie el lavado tomar muestra rápidamente, llenar cada minuto un frasco hasta completar 15 minutos.
- ✓ Determinar el muestreo de turbiedad en una curva de turbiedad versus tiempo
- ✓ Determinar en la curva el punto de inflexión donde esta tiende a ser asintótica con respecto al eje horizontal, el tiempo de lavado optimo corresponderá al punto de inflexión propiamente, donde se obtenga una turbiedad menor a 5 UTN.

1.2.18.8 Características del medio filtrante

El medio filtrante es la parte más importante del filtro, y este depende directamente de la calidad, tamaño y porosidad de los granos utilizados, la porosidad de la arena normalmente esta entre los 0.40 y 0.50, pero lo que afecta directamente el medio filtrante es el tamaño efectivo de las partículas y su coeficiente de uniformidad.

Para determinar la granulometría o tamaños de los granos que lo componen se deberá hacer el siguiente procedimiento, con ayuda de un juego de mallas Tyler.

- ✓ Lavar el filtro normalmente y vaciarlo para poder ingresar.
- ✓ Obtener una muestra representativa de la profundidad del lecho filtrante.
- ✓ Secar y pesar la muestra del material.
- ✓ Colocar la muestra en luego de mallas, y luego agitar manualmente o mecánicamente para que las partículas atraviesen las mallas como su tamaño lo permita.
- ✓ Pasar las proporciones de cada malla retenida y calcular como porcentaje con respecto al total de la muestra
- ✓ Graficar los porcentajes obtenidos, colocando en peso acumulado y el tamaño de los granos en milímetros.

- Estado del Medio Filtrante

Como consecuencia de un lavado deficiente o una frecuencia inadecuada para el lavado de los filtros, se da una acumulación de lodo en el lecho filtrante, este hecho se puede verificar de la siguiente manera:

Con ayuda de un tubo metálico de 75 milímetros de diámetro y 0.15 metros de largo, una malla metálica número 10, y una probeta de 500 mL.

- ✓ Lavar el filtro normalmente hasta que el agua baje a 20 centímetros de la arena.
- ✓ Determinar el volumen de muestreo y extraer 4 muestras del lecho, incrustándolo hasta llegar a la grava y extrayendo suavemente.
- ✓ Extender la arena sobre un plástico con cuidado, para separar en bolsas de lodo dejándolas secar al sol.
- ✓ Colocar las bolsas secas en una probeta, en la cual se ha llenado con una cantidad determinada de agua.
- ✓ El resultado se expresa con respecto al volumen de arena.

$\% \text{ de bolsas de lodo} = \text{Incremento de volumen} \times 100 / \text{Volumen de muestra}$

- Espesor del Medio Filtrante

Cuando el lecho filtrante se expande demasiado se produce una pérdida de material cada vez que este filtro se lave, estos materiales se pueden avistar normalmente en los fondos falsos del filtro. Para evitar que esto suceda se realizan pruebas para controlar la pérdida de lecho filtrante cada seis meses y se aplican medidas correctivas.

Para realizar estas pruebas primero se necesita una varilla de media pulgada con el objetivo de determinar el espesor de la profundidad del medio filtrante en diferentes puntos de un solo filtro.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Después del lavado, se produce una varilla metálica en el primer estrato, hasta encontrar la grava.
- Determinar la longitud de la proporción de la varilla.
- Repetir en varios puntos del lecho.

1.2.19 Criterios de Diseño de Filtros Rápidos

Existen ciertos aspectos mínimos que hay que tomar en cuenta para el diseño de los filtros de una planta potabilizadora, como esta es una infraestructura tan esencial es de extremo cuidado.

Según la ingeniera/autora Lidia Vargas de Cánepa (2004) serían los siguientes:

- La batería debe tener un mínimo de cuatro filtros.4
- La sección de cada filtro es la resultante del caudal de diseño de la batería entre la velocidad de lavado.
- El número de filtros que requiere la batería debe seleccionarse, relacionando el área total de filtración necesaria con el área de un filtro.
- El vertedero que controla la hidráulica del lavado, debe tener la altura necesaria para compensar las pérdidas de carga que se producen durante esta operación.
- La velocidad de lavado seleccionada, debe ser aquella que contrarreste el peso de los granos de arena, produciendo una expansión de alrededor del 30 %.
- La carga hidráulica para el proceso, debe seleccionarse con el criterio de que el filtro recién lavado, no opere con una velocidad mayor de 1.5 veces la tasa de filtración promedio de la batería.
- Las tasas de filtración para filtros de arena sola, varían entre 120 y 200 m³/m²/d, dependiendo de la granulometría de la arena. Si el lecho es de arena gruesa, la velocidad puede ser más alta y el lecho más profundo. Cuando la arena es fina es a la inversa, velocidades más bajas y lechos más superficiales.
- Las tasas de filtración para filtros de lecho doble, puede variar entre 200 y 280 m³/m²/d, dependiendo también de la granulometría del material filtrante.

- La granulometría de la antracita, debe seleccionarse de tal modo que se tenga un grado de intermezcla de 3 entre la capa de arena fina y la de antracita gruesa.
- La sección del falso fondo y la de los orificios del drenaje, deben relacionarse de tal modo que se dé una distribución uniforme del agua de lavado en toda el área filtrante.

Criterios de operación y mantenimiento:

- Al poner en marcha la batería debe instalarse la tasa declinante.
- Después de instalada la tasa declinante, solo debe lavarse un filtro por vez y debe ser el filtro que tiene más horas operando, cuando el nivel del agua llegue al nivel máximo limitado por el aliviadero y siempre se lavarán en forma secuencial; esto es, primero el filtro N°1, después el N°2 y así sucesivamente,
- El vertedero de salida debe calibrarse para que la tasa de expansión de la arena este alrededor de 30 %

CAPÍTULO 2. MARCO METODOLOGICO

2.1 Tipo de investigación

Se buscará implementar distintos tipos de investigación, de manera a que se adapten al estudio realizado, con el fin de llevar a cabo un estudio efectivo y de calidad que permitirá acercarnos a un análisis más realístico de la situación dada. Estos son los siguientes métodos a utilizados:

Método de Investigación acción es aquella que utiliza la realidad de una población en espacio y tiempo, conjunto a una investigación rigurosa, de tal manera que se pueda realizar un análisis del problema de las personas que viven dentro de esta región, de manera en que se pueda dar una resolución optima y efectiva.

Según Cohen y Manion (2002), este tipo de investigación es adecuada siempre que se requiera un conocimiento específico para un problema específico en una situación específica. Dentro de las opciones metodológicas de este método esta la adaptación de la metodología cuantitativa (incluyendo la experimentación, control de variables, análisis estadístico, entre otros) y la posibilidad de contemplarse como una extensión lógica del concepto de “praxis”. Este postulado plantea que el criterio de la verdad solo puede ser la práctica social.

Se realizará un estudio a la planta potabilizadora ubicada en San Ramón de Alajuela, mediante este tipo de investigación la cual permitirá encontrar una solución a la problemática con el cumplimiento del agua potable, el cual le dará beneficios a la población de San Ramón y también de Palmares.

2.2 Diseño de la investigación

Para el estudio de las variables se pretende utilizar metodologías de investigación las cuales involucran la metodología de investigación de campo y de diseño, las cuales serán utilizadas para la formación de documentos y para muestreos, según Gabriela Morán (2010) establece que la investigación es posible categorizarlas en función de tipo de investigación.

Como se mencionó anteriormente, esta investigación se puede definir o establecer como de tipo documental, esto debido a que esta metodología consiste en la recolección de información o datos bibliográficos, para el desarrollo de las variables pertinentes a la investigación, estas variables pueden ser cuantitativas o cualitativas de tal manera que se pueda extraer conclusiones de los datos ya recogidos en la investigación realizada.

Las variables de la investigación son las siguientes:

- Tiempos de Lavado
- Tiempos en los cuales se restablece la turbiedad efluente
- Velocidades de filtración
- Turbiedades presentes en el agua
- Velocidades de caudal
- Expansión del lecho filtrante

2.3 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

Un sistema de técnicas para la recolección de datos es esencial para la investigación, debido a que ayudan a la verificación del problema planteado. Cada tipo de investigación establece una serie de herramientas e instrumentaciones las cuales son de utilidad para llevar acabo la recopilación de datos deseada.

Para que la recopilación y análisis de datos se utilizó una metodología de investigación tipo documental, la cual ayudó a establecer mediante fuentes bibliográficas, y otros tipos de documentaciones, el desarrollo de variables expuestas anteriormente.

Como se menciona anteriormente, se consultaron diversas fuentes bibliográficas, tesis de grado, revistas científicas emitidas por organismo de confianza, para el análisis de datos descritas anteriormente, además este trabajo investigativo, se implementarán herramientas hechas manualmente, de manera con las que podamos recopilar datos con estas herramientas desarrolladas.

2.4 Metodología Aplicada

Para la metodología de este proyecto se van a realizar varios ensayos de laboratorio, los cuales determinarán el estado hidráulico y sanitario de la planta potabilizadora que se está analizando, específicamente en los procesos de filtración.

De todos los posibles ensayos a poderse realizar, solo se realizarán algunos, esto debido a que existía una limitación operacional, la planta potabilizadora se encuentra en marcha y no es posible detener ciertos procesos para realizar los estudios pertinentes, los ensayos que se realizaran son los siguientes:

2.4.1 Velocidad y caudal de filtración

La velocidad de filtración está directamente relacionada con el dimensionamiento de cada filtro, por lo tanto, se realizará las mediciones de cada uno y se obtendrá la velocidad de filtro según dimensionamiento y se realizará una comparación con la velocidad de filtro de diseño.

Herramientas:

- Cinta Métrica
- Cronómetro
- Regla de madera de 5 metros

Procedimientos:

- Se determina el área filtrante mediante medición directa.
- Tomando el caudal, calcular la velocidad de filtración máxima, aplicando la siguiente fórmula:

$$V_{fmax} = \frac{Q_{max}}{\text{Área filtrante}}$$

- Determinar la velocidad promedio

$$V_{fpromedio} = \frac{Q_{max}}{\text{Área filtrante}}$$

- Realizar comparación entre velocidad máxima y velocidad promedio.

2.4.2 Proceso de Lavado

Este proceso se realizará con el objetivo de determinar el tiempo efectivo de lavado de cada filtro.

Herramientas:

- Muestreador
- Cronómetro
- Frascos
- Turbidímetro

Procedimientos:

- Numerar los frascos.
- Iniciar el lavado normal del filtro y apenas el agua de lavado caiga en la canaleta, llenar el primer frasco.
- Repetir este procedimiento 1 vez por minuto hasta obtener las 15 muestras.
- Determinar la turbiedad de cada muestra.
- Realizar un gráfico de turbiedad versus tiempo.

2.4.3 Calidad del Filtrado

Este ensayo se realiza con el fin de comprobar si el tiempo de lavado que se utilizó fue el óptimo, realizando un muestro en la toma de agua en la salida del filtro, justo después de que se reanuda la filtración.

Herramientas:

- Muestreador
- Cronómetro
- Frascos
- Turbidímetro

Procedimientos:

- Utilizando un muestreador de profundidad, a partir del momento en que se reanuda la filtración, se toma una muestra del agua resultante del proceso para verificar su turbiedad.
- Este proceso se repite 1 por cada minuto hasta obtener 15 muestras.
- Se realiza un gráfico de turbiedad versus tiempo.

2.4.4 Expansión del medio filtrante

Este proceso tiene como objetivo determinar la expansión del lecho filtrante durante el proceso de lavado.

Herramientas:

- Una varilla metálica con cajitas soldadas con una separación de 5 centímetros entre los bordes de las cajitas.

Procedimientos:

- Antes de iniciar el lavado, situar la varilla dentro del filtro.
- Proceder a efectuar el lavado normal.
- Después de 3 minutos retirar la varilla.
- Determinar la altura de expansión del lecho filtrante
- Determinar el porcentaje de expansión mediante la siguiente formula:

$$E = \frac{\Delta h}{h} \times 100$$

2.4.5 Granulometría del lecho filtrante

Este proceso se realiza con el fin de determinar el tamaño de los granos que componen una muestra, para obtener una relación entre ellos, llamado grado de intermezcla.

Herramientas:

- Un juego de Mallas Tyler
- Balanzas
- Brochas
- Horno
- Cepillo de bronce
- Agitador mecánico

Procedimientos:

- Lavar el filtro normalmente y vaciarlo para poder ingresar.
- Obtener una muestra representativa en toda la profundidad del lecho.
- Secar y pesar la muestra.
- Colocar la muestra en el juego de mallas Tyler y tamizar.
- Pesar las porciones de cada malla retenidas.
- Graficar los porcentajes obtenidos en papel logarítmico mediante los porcentajes retenidos.

2.4.6 Estado de medio filtrante

Este ensayo se va a realizar un poco diferente a como se determinó anteriormente, se determinará mediante una granulometría con el material lavado seco.

Herramientas:

- Un juego de Mallas Tyler
- Balanzas
- Brochas
- Horno
- Cepillo de bronce
- Agitador mecánico

Procedimientos:

- Lavar el filtro normalmente y vaciarlo para poder ingresar.
- Obtener una muestra representativa en toda la profundidad del lecho.
- Secar y pesar la muestra.
- Lavar la muestra hasta que quede totalmente limpia.
- Colocar la muestra en el juego de mallas Tyler y tamizar.
- Pesar las porciones de cada malla retenidas.
- Graficar los porcentajes obtenidos en papel logarítmico mediante los porcentajes retenidos.

A continuación, se presentarán algunas fotos de herramientas utilizadas para realizar estas pruebas:

Ilustración 22 Turbidímetro



Fuente: Mou, E. (2017)

Ilustración 23 Recolector y extensión casera



Fuente: Mou, E. (2017)

Ilustración 24 Frascos Caseros



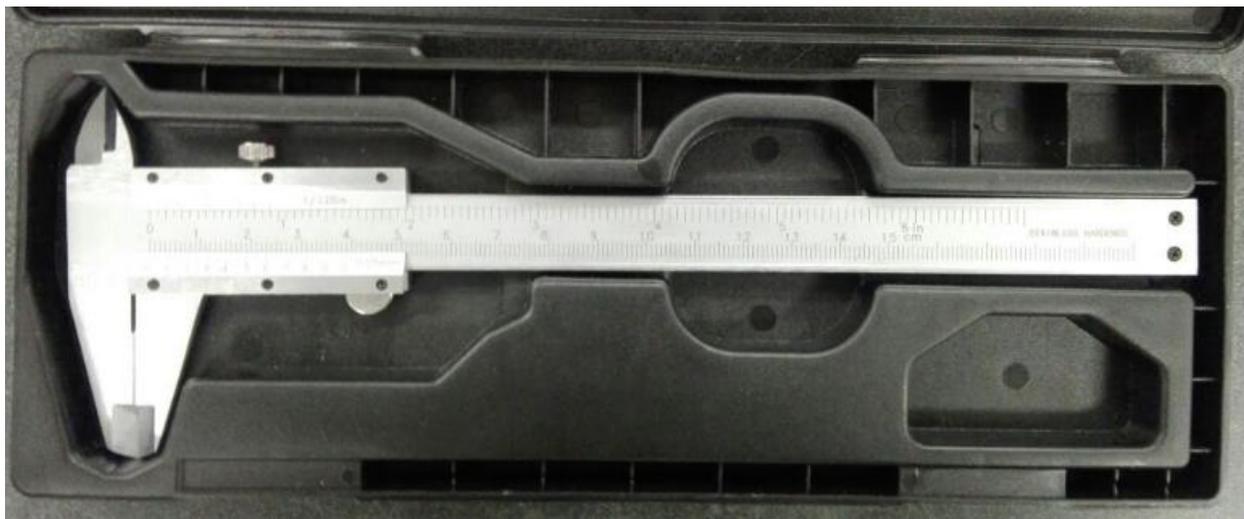
Fuente: Mou, E. (2017)

Ilustración 25 Juego de Mallas Tyler



Fuente: Mou, E. (2017)

Ilustración 26 Vernier



Fuente: Mou, E. (2017)

Ilustración 27 Recipiente de Proctor Standard



Fuente: Mou, E. (2017)

A continuación, se presentarán algunas fotos de la inspección realizada en los filtros de la planta potabilizadora:

Ilustración 28 Vista General de Filtros



Fuente: Mou, E. (2017)

Ilustración 29 Lavado de filtros con canaleta ahogada



Fuente: Mou, E. (2017)

Ilustración 30 Lavado de filtro



Fuente: Mou, E. (2017)

CAPÍTULO 3. ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 Calidad de la filtración

Para realizar la determinación de calidad de filtración vamos a realizar una comparativa de la relación de velocidad máxima de filtración entre la velocidad de filtración, tanto como para los valores de planos, tanto como para las dimensiones de la planta potabilizadora ya construida.

Capacidad Valor Teórico Filtro #1

Dimensiones de baterías de filtración según planos:

- Largo total de filtro: 5.36 m
- Ancho de canaleta: 0.60 m
- Largo de batería: 2.38 m
- Ancho de batería: 2.70 m

Área Filtrante (AF):

$$AF = \text{Ancho de batería} \times \text{largo de batería} \times 2$$

$$AF = 2.70 \times 2.38 \times 2 = 12.852 \text{ m}^2$$

Caudal correspondiente:

$$\text{Caudal} = 37.5 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Se necesita realizar una conversión para determinar el volumen diario mediante un factor de conversión determinado.

$$\text{Caudal} = 37.5 \times 86.4 = 3240 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Luego de ello se determina la velocidad máxima de filtración:

$$V_f \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right) = \frac{\text{Caudal Máximo}}{\text{Área Filtrante}}$$

$$V_f \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right) = \frac{3240}{12.852}$$

$$Vf = 252.10 \frac{m^3}{m^2 \times día}$$

Capacidad Valor Real Filtro #1

Dimensiones de baterías de filtración según medición directa:

- Largo total de filtro: 5.30 m
- Ancho de canaleta: 0.65 m
- Largo de batería: 2.325 m
- Ancho de batería: 2.69 m

Área Filtrante (AF):

$$AF = \text{Ancho de batería} \times \text{largo de batería} \times 2$$

$$AF = 2.69 \times 2.325 \times 2 = 12.5085 m^2$$

Caudal correspondiente:

$$\text{Caudal} = 37.5 \frac{l}{s}$$

$$\text{Caudal} = 37.5 \times 86.4 = 3240 \frac{m^3}{día}$$

Luego de ello se determina la velocidad máxima de filtración:

$$Vf \left(\frac{m^3}{m^2 \times día} \right) = \frac{\text{Caudal Máximo}}{\text{Área Filtrante}}$$

$$Vf \left(\frac{m^3}{m^2 \times día} \right) = \frac{3240}{12.5085}$$

$$Vf = 259.024 \frac{m^3}{m^2 \times día}$$

El caudal promedio se obtendrá por medio de una medición realizada en campo, la cual consistió en la medida del tiempo que tardó en descender un metro de agua del filtro.

- Tiempo Filtro #1: 2 minuto con 13.35 segundos

Conversión

$$Tiempo = 2.1335 \times 60$$

$$Tiempo = 128.01 \text{ segundos}$$

Volumen:

$$Volumen = Largo \times ancho \times (1 \text{ metro de profundidad})$$

$$Volumen = 4.65 \times 2.69 \times 1 = 12.5085 \text{ m}^3$$

Conversión de metros cúbicos a litros

$$Volumen = 12.5085 \times 1000 = 12508.5 \text{ Litros}$$

Cálculo de caudal:

$$Caudal = \frac{12508.5 \text{ Litros}}{128.01 \text{ segundos}}$$

$$Caudal = 97.715 \frac{l}{s}$$

Conversión de litros por segundo a metros cúbicos por día.

$$Caudal = 97.715 \times 86.4$$

$$Caudal = 8442.576 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Luego de ello se determina la velocidad máxima de filtración:

$$Vf \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right) = \frac{Caudal}{\text{Área Filtrante}}$$

$$Vf \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right) = \frac{8442.576}{12.5085}$$

$$Vf = 674.947 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{día}}$$

Relación Velocidad Máxima entre Velocidad Promedio de filtración

$$\text{Relación} = \frac{\text{Velocidad máxima}}{\text{Velocidad Promedio}}$$

$$\text{Relación} = \frac{674.947}{259.024}$$

$$\text{Relación} = 2.60$$

Capacidad Valor Teórico Filtro #2

Dimensiones de baterías de filtración según planos:

- Largo total de filtro: 5.36 m
- Ancho de canaleta: 0.60 m
- Largo de batería: 2.38 m
- Ancho de batería: 2.70 m

Área Filtrante (AF):

$$AF = \text{Ancho de batería} \times \text{largo de batería} \times 2$$

$$AF = 2.70 \times 2.38 \times 2 = 12.852 \text{ m}^2$$

Caudal correspondiente:

$$\text{Caudal} = 37.5 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Se necesita realizar una conversión para determinar el volumen diario mediante un factor de conversión determinado.

$$\text{Caudal} = 37.5 \times 86.4 = 3240 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Luego de ello se determina la velocidad máxima de filtración:

$$V_f \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right) = \frac{\text{Caudal máximo}}{\text{Área Filtrante}}$$

$$Vf \left(\frac{m^3}{m^2 \times \text{día}} \right) = \frac{3240}{12.852}$$

$$Vf = 252.10 \frac{m^3}{m^2 \times \text{día}}$$

Capacidad Valor Real Filtro #2

Dimensiones de baterías de filtración según medición directa:

- Largo total de filtro: 5.05 m
- Ancho de canaleta: 0.65 m
- Largo de batería: 2.2 m
- Ancho de batería: 2.7 m

Área Filtrante (AF):

$$AF = \text{Ancho de batería} \times \text{largo de batería} \times 2$$

$$AF = 2.7 \times 2.2 \times 2 = 11.88 m^2$$

Caudal correspondiente:

$$\text{Caudal} = 37.5 \frac{l}{s}$$

$$\text{Caudal} = 37.5 \times 86.4 = 3240 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Luego de ello se determina la velocidad máxima de filtración:

$$Vf \left(\frac{m^3}{m^2 \times \text{día}} \right) = \frac{\text{Caudal máximo}}{\text{Área Filtrante}}$$

$$Vf \left(\frac{m^3}{m^2 \times \text{día}} \right) = \frac{3240}{11.88}$$

$$Vf = 272.72 \frac{m^3}{m^2 \times \text{día}}$$

- Tiempo Filtro #2: 2 minutos y 13.45 segundos

Conversión

$$Tiempo = 2.1345 \times 60$$

$$Tiempo = 128.07 \text{ segundos}$$

Volumen:

$$Volumen = Largo \times ancho \times (1 \text{ metro de profundidad})$$

$$Volumen = 4.4 \times 2.7 \times 1 = 11.88 \text{ m}^3$$

Conversión de metros cúbicos a litros

$$Volumen = 11.88 \times 1000 = 11880 \text{ Litros}$$

Cálculo de caudal:

$$Caudal = \frac{11880 \text{ Litros}}{128.07 \text{ segundos}}$$

$$Caudal = 92.762 \frac{l}{s}$$

Conversión de litros por segundo a metros cúbicos por día.

$$Caudal = 92.762 \times 86.4$$

$$Caudal = 8014.617 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Luego de ello se determina la velocidad máxima de filtración:

$$V_f \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right) = \frac{\text{Caudal}}{\text{Área Filtrante}}$$

$$V_f \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{día}} \right) = \frac{8014.617}{11.88}$$

$$V_f = 674.631 \frac{m^3}{m^2 \times dia}$$

Relación Velocidad Máxima entre Velocidad Promedio de filtración

$$Relación = \frac{Velocidad\ máxima}{Velocidad\ Promedio}$$

$$Relación = \frac{674.631}{272.72}$$

$$Relación = 2.47$$

Capacidad Valor Teórico Filtro #3

Dimensiones de baterías de filtración según planos:

- Largo total de filtro: 5.36 m
- Ancho de canaleta: 0.60 m
- Largo de batería: 2.38 m
- Ancho de batería: 2.70 m

Área Filtrante (AF):

$$AF = Ancho\ de\ batería \times largo\ de\ batería \times 2$$

$$AF = 2.70 \times 2.38 \times 2 = 12.852\ m^2$$

Caudal correspondiente:

$$Caudal = 37.5 \frac{l}{s}$$

$$Caudal = 37.5 \times 86.4 = 3240 \frac{m^3}{dia}$$

Luego de ello se determina la velocidad máxima de filtración:

$$V_f \left(\frac{m^3}{m^2 \times \text{día}} \right) = \frac{\text{Caudal máximo}}{\text{Área Filtrante}}$$

$$V_f \left(\frac{m^3}{m^2 \times \text{día}} \right) = \frac{3240}{12.852}$$

$$V_f = 252.10 \frac{m^3}{m^2 \times \text{día}}$$

Capacidad Valor Real Filtro #3

Dimensiones de baterías de filtración según medición directa:

- Largo total de filtro: 5.10 m
- Ancho de canaleta: 0.65 m
- Largo de batería: 2.225 m
- Ancho de batería: 2.7 m

Área Filtrante (AF):

$$AF = \text{Ancho de batería} \times \text{largo de batería} \times 2$$

$$AF = 2.7 \times 2.225 \times 2 = 12.015 m^2$$

Caudal correspondiente:

$$\text{Caudal} = 37.5 \frac{l}{s}$$

$$\text{Caudal} = 37.5 \times 86.4 = 3240 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Luego de ello se determina la velocidad máxima de filtración:

$$V_f \left(\frac{m^3}{m^2 \times \text{día}} \right) = \frac{\text{Caudal máximo}}{\text{Área Filtrante}}$$

$$V_f \left(\frac{m^3}{m^2 \times \text{día}} \right) = \frac{3240}{12.015}$$

$$V_f = 269.66 \frac{m^3}{m^2 \times \text{día}}$$

- Tiempo Filtro #3: 2 minutos y 38.13 segundos

Conversión

$$\text{Tiempo} = 2.2813 \times 60$$

$$\text{Tiempo} = 136.878 \text{ segundos}$$

Volumen:

$$\text{Volumen} = \text{Largo} \times \text{ancho} \times (1 \text{ metro de profundidad})$$

$$\text{Volumen} = 4.45 \times 2.7 \times 1 = 12.015 m^3$$

Conversión de metros cúbicos a litros

$$\text{Volumen} = 12.015 \times 1000 = 12015 \text{ Litros}$$

Cálculo de caudal:

$$\text{Caudal} = \frac{12015 \text{ Litros}}{136.878 \text{ segundos}}$$

$$\text{Caudal} = 87.78 \frac{l}{s}$$

Conversión de litros por segundo a metros cúbicos por día.

$$\text{Caudal} = 87.78 \times 86.4$$

$$Caudal = 7584.096 \frac{m^3}{día}$$

Luego de ello se determina la velocidad máxima de filtración:

$$V_f \left(\frac{m^3}{m^2 \times día} \right) = \frac{Caudal}{Área Filtrante}$$

$$V_f \left(\frac{m^3}{m^2 \times día} \right) = \frac{7584.096}{12.015}$$

$$V_f = 631.219 \frac{m^3}{m^2 \times día}$$

Relación Velocidad Máxima entre Velocidad Promedio de filtración

$$Relación = \frac{Velocidad\ máxima}{Velocidad\ Promedio}$$

$$Relación = \frac{631.219}{269.66}$$

$$Relación = 2.34$$

Capacidad Valor Teórico Filtro #4

Dimensiones de baterías de filtración según planos:

- Largo total de filtro: 5.36 m
- Ancho de canaleta: 0.60 m
- Largo de batería: 2.38 m
- Ancho de batería: 2.70 m

Área Filtrante (AF):

$$AF = \text{Ancho de batería} \times \text{largo de batería} \times 2$$

$$AF = 2.70 \times 2.38 \times 2 = 12.852 \text{ m}^2$$

Caudal correspondiente:

$$Caudal = 37.5 \frac{l}{s}$$

$$Caudal = 37.5 \times 86.4 = 3240 \frac{m^3}{día}$$

Luego de ello se determina la velocidad máxima de filtración:

$$Vf \left(\frac{m^3}{m^2 \times día} \right) = \frac{Caudal \text{ máximo}}{Área Filtrante}$$

$$Vf \left(\frac{m^3}{m^2 \times día} \right) = \frac{3240}{12.852}$$

$$Vf = 252.10 \frac{m^3}{m^2 \times día}$$

Capacidad Valor Real Filtro #4

Dimensiones de baterías de filtración según medición directa:

- Largo total de filtro: 5.32 m
- Ancho de canaleta: 0.65 m
- Largo de batería: 2.335 m
- Ancho de batería: 2.7 m

Área Filtrante (AF):

$$AF = \text{Ancho de batería} \times \text{largo de batería} \times 2$$

$$AF = 2.7 \times 2.335 \times 2 = 12.609 m^2$$

Caudal correspondiente:

$$Caudal = 37.5 \frac{l}{s}$$

$$Caudal = 37.5 \times 86.4 = 3240 \frac{m^3}{dia}$$

Luego de ello se determina la velocidad máxima de filtración:

$$Vf \left(\frac{m^3}{m^2 \times día} \right) = \frac{Caudal \text{ máximo}}{\text{Área Filtrante}}$$

$$Vf \left(\frac{m^3}{m^2 \times día} \right) = \frac{3240}{12.609}$$

$$Vf = 256.95 \frac{m^3}{m^2 \times día}$$

- Tiempo Filtro #4: 2 minutos y 22 segundos

Conversión

$$Tiempo = 2.22 \times 60$$

$$Tiempo = 133.2 \text{ segundos}$$

Volumen:

$$Volumen = Largo \times ancho \times (1 \text{ metro de profundidad})$$

$$Volumen = 4.67 \times 2.7 \times 1 = 12.609 m^3$$

Conversión de metros cúbicos a litros

$$Volumen = 12.609 \times 1000 = 12609 \text{ Litros}$$

Cálculo de caudal:

$$Caudal = \frac{12609 \text{ Litros}}{133.2 \text{ segundos}}$$

$$Caudal = 94.66 \frac{l}{s}$$

Conversión de litros por segundo a metros cúbicos por día.

$$Caudal = 94.66 \times 86.4$$

$$Caudal = 8178.624 \frac{m^3}{día}$$

Luego de ello se determina la velocidad máxima de filtración:

$$Vf_{prom} \left(\frac{m^3}{m^2 \times día} \right) = \frac{Caudal}{Área Filtrante}$$

$$Vf_{prom} \left(\frac{m^3}{m^2 \times día} \right) = \frac{8178.624}{12.609}$$

$$Vf_{prom} = 648.63 \frac{m^3}{m^2 \times día}$$

Relación Velocidad Máxima entre Velocidad Promedio de filtración

$$Relación = \frac{Velocidad\ máxima}{Velocidad\ Promedio}$$

$$Relación = \frac{648.63}{256.95}$$

$$Relación = 2.52$$

Tabla 7 Resumen de calidad de filtro según relación de velocidades de filtración

	Filtro #1	Filtro #2	Filtro #3	Filtro #4
Velocidad de filtración teórica $\left(\frac{m^3}{m^2 \times día}\right)$	252.10	252.10	252.10	252.10
Velocidad de Filtración según medidas reales $\left(\frac{m^3}{m^2 \times día}\right)$	259.02	272.73	269.66	256.95
Velocidad de filtración real $\left(\frac{m^3}{m^2 \times día}\right)$	674.95	674.63	631.21	648.63
Relación entre puntos 2 y 3	2.60	2.47	2.34	2.52

Como se puede ver los filtros del 2 al 4 presentan valores mayores a 1.5 en las relaciones entre velocidades y esto puede significar del algún tipo de deterioro dentro de los filtros, ya sea un desacomodo de las capas del filtro o ya sea la

presencia de bolas de lodos dentro del lecho filtrante que esté afectando el proceso como tal.

3.2 Expansión del lecho filtrante

En campo se realizó la medición de la expansión del lecho filtrante durante el lavado de cada filtro correspondientemente y los resultados fueron los siguientes:

Expansión medida en cada filtro:

- Filtro 1: 25 cm
- Filtro 2: 25 cm
- Filtro 3: 25 cm
- Filtro 4: 25 cm

Determinación del porcentaje de Expansión

- Altura de lecho filtrante: 55 cm
- Altura de lecho de diseño: 75 cm

$$Expansion (E) = \frac{\Delta h}{h} \times 100$$

$$Expansion (E) = \frac{25}{55} \times 100 = 45.45 \%$$

$$Expansion (E) = \frac{25}{75} \times 100 = 33.33 \%$$

Se demuestra de esta manera que la expansión del este lecho filtrante no cumple debido a que el porcentaje de expansión del lecho debe ser de entre 20 % y 30 % uniformemente.

3.3 Lavado del lecho filtrante

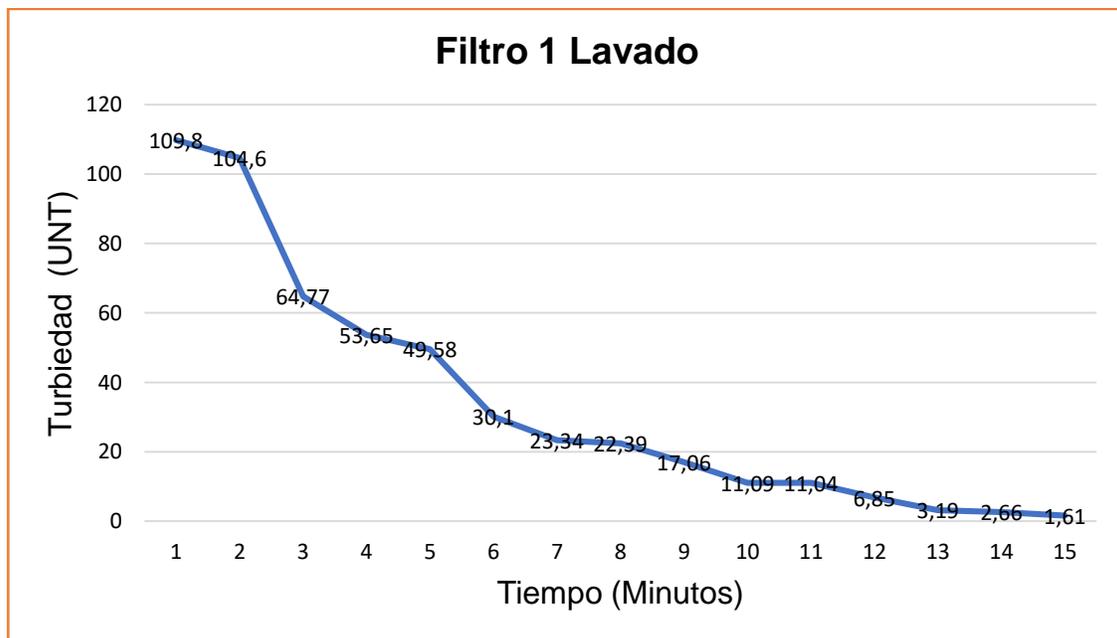
A continuación, se presentarán los datos de cada filtro muestras tomadas en campo durante el lavado del filtro:

Filtro #1:

Prueba de Lavado	
Número de muestra	Turbiedad (UNT)
1	109.80
2	104.60
3	64.77
4	53.66
5	49.58
6	30.10
7	23.34
8	22.36
9	17.06
10	11.09
11	11.04
12	6.85
13	3.19
14	2.66
15	1.61

Estas muestras debían ser tomadas cada minuto de tal manera que era posible hallar el tiempo óptimo para el retro lavado de los filtros, de tal manera que si se graficara quedaría de la siguiente manera:

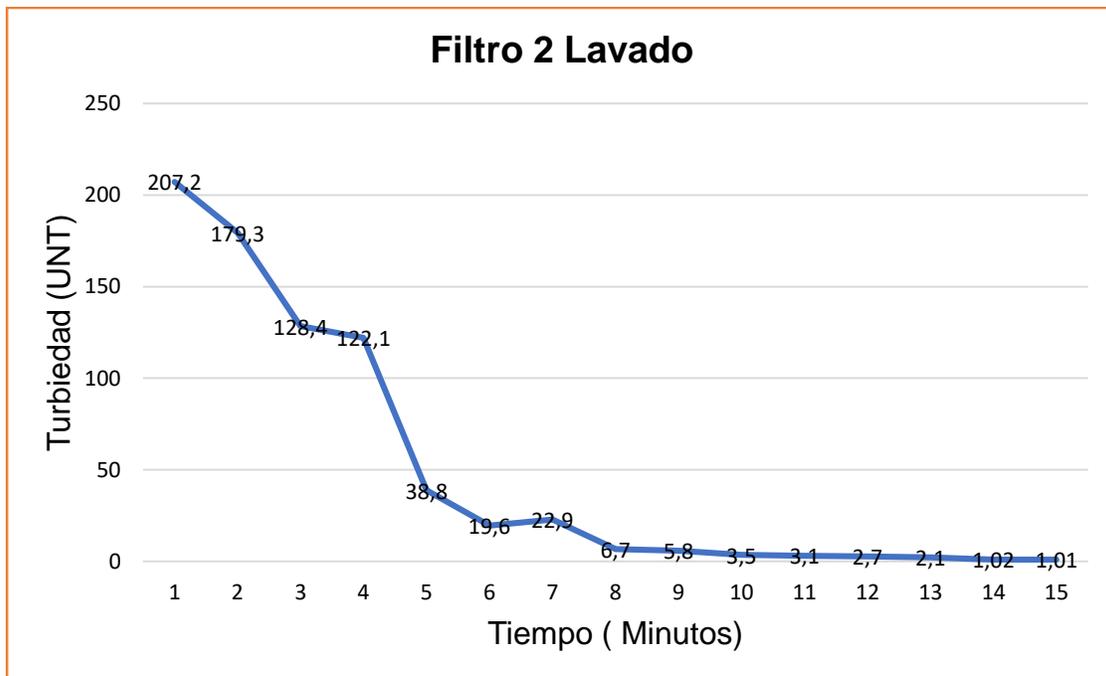
Grafico 1. Tiempo de Lavado de Filtro #1.



Filtro #2

Prueba de Lavado	
Número de Muestra	Turbiedad (UNT)
1	207.20
2	179.30
3	128.40
4	122.10
5	38.80
6	19.60
7	22.9
8	6.70
9	5.80
10	3.50
11	3.10
12	2.70
13	2.10
14	1.02
15	1.01

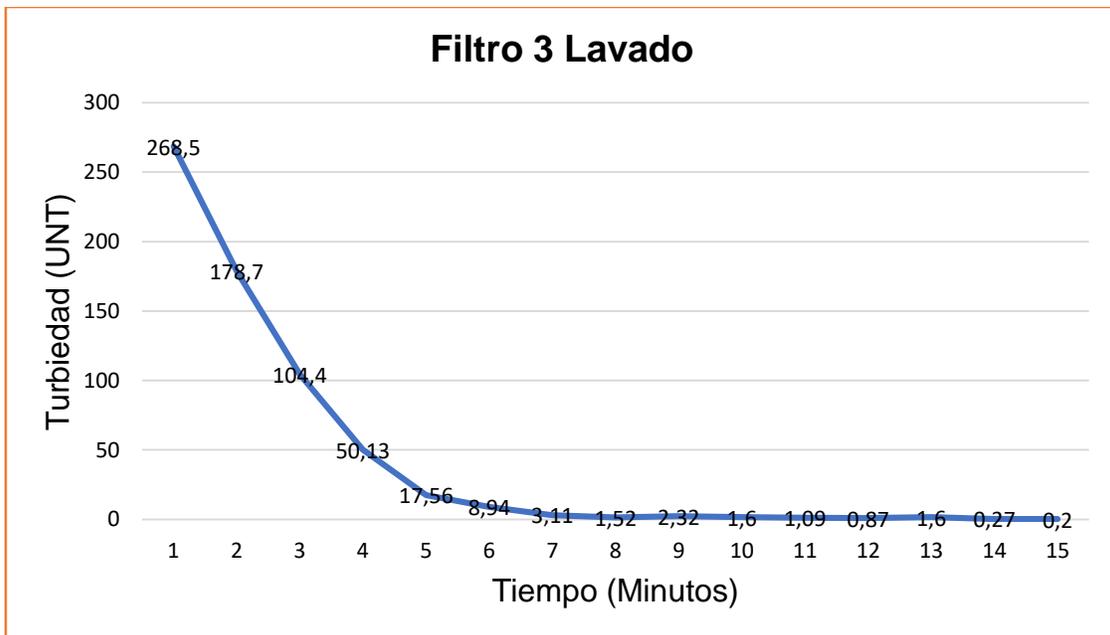
Gráfico 2. Tiempo de Lavado de Filtro #2



Filtro #3

Prueba de Lavado	
Número de Muestra	Turbiedad (UNT)
1	268.50
2	178.7
3	104.4
4	50.13
5	17.56
6	8.94
7	3.11
8	1.52
9	2.32
10	1.60
11	1.09
12	0.87
13	1.60
14	0.27
15	0.20

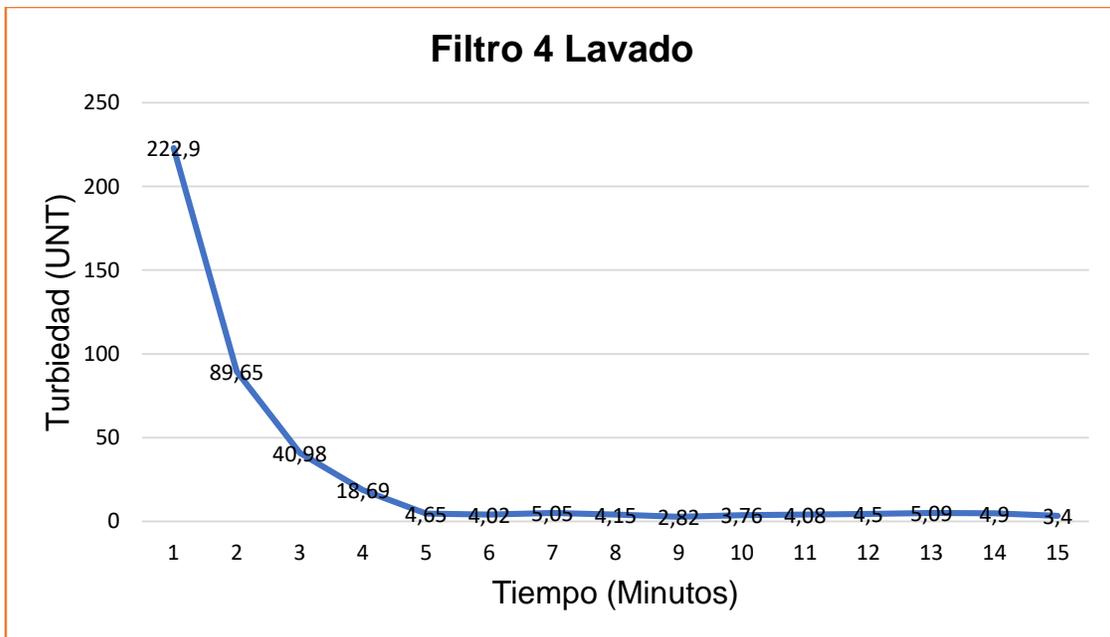
Gráfico 3. Tiempo de Lavado de Filtro #3



Filtro #4

Prueba de Lavado	
Muestra N	Turbiedad
1	222.9
2	89.65
3	40.98
4	18.69
5	4.65
6	4.02
7	5.05
8	4.15
9	2.82
10	3.76
11	4.08
12	4.50
13	5.09
14	4.90
15	3.40

Gráfico 4. Tiempo de Lavado de Filtro #4



Como se puede observar para el filtro 2 el tiempo óptimo de lavado sería aproximadamente 10 minutos, para el filtro 3 el tiempo óptimo sería de 7 minutos, para el filtro 4 sería aproximadamente 8 minutos, lo que tienen estos filtros en común es que tienen un tiempo de lavado anterior inferior a las 48 horas, en cambio el filtro 1 requiere hasta 13 minutos de lavado debido a que no se lavó en 96 horas, estos tiempos de lavado se pueden establecer como óptimos debido a que el nivel de turbiedad alcanzado es inferior a 5 UNT, se dice optimo debido a que es el tiempo más eficiente y correcto para darle al filtro la limpieza adecuada.

Además, se puede comprobar la limpieza del filtro de igual manera haciendo un muestreo en sus vertederos individuales, lo cual es producto resultante del filtro, si se tiene turbiedades bajas, se puede decir que el lavado está bien efectuado, de igual manera se realiza un muestreo cada minuto para ver la evolución de la turbiedad después del lavado.

Gráfico 5. Calidad del Filtrado 1.

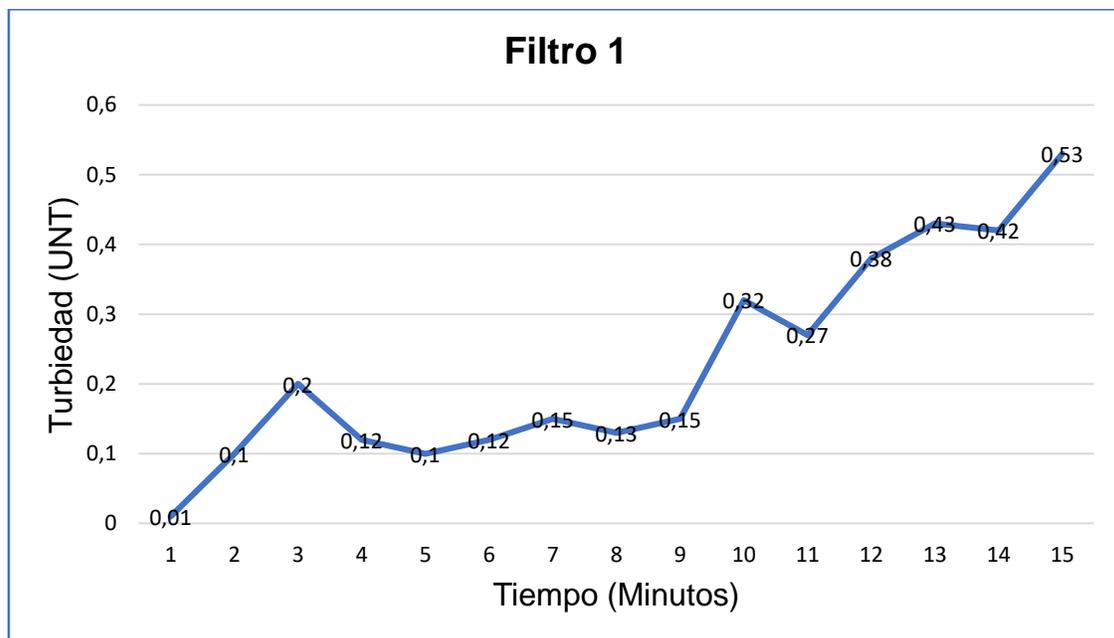


Gráfico 6. Calidad del Filtrado 2.

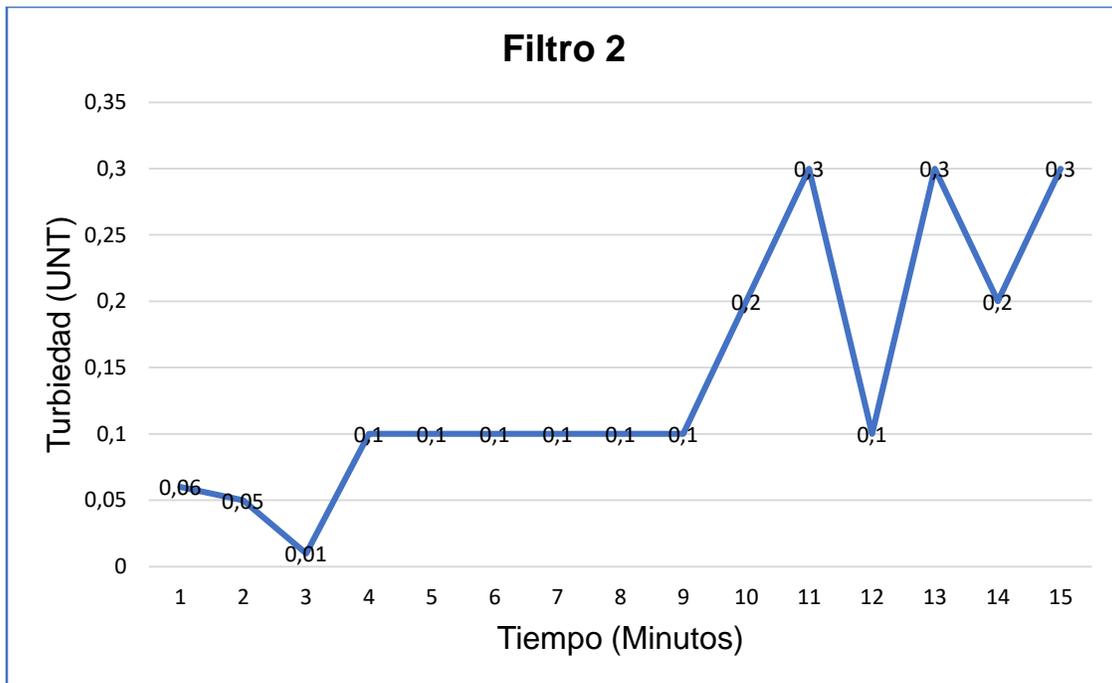


Gráfico 7. Calidad del Filtrado 3.

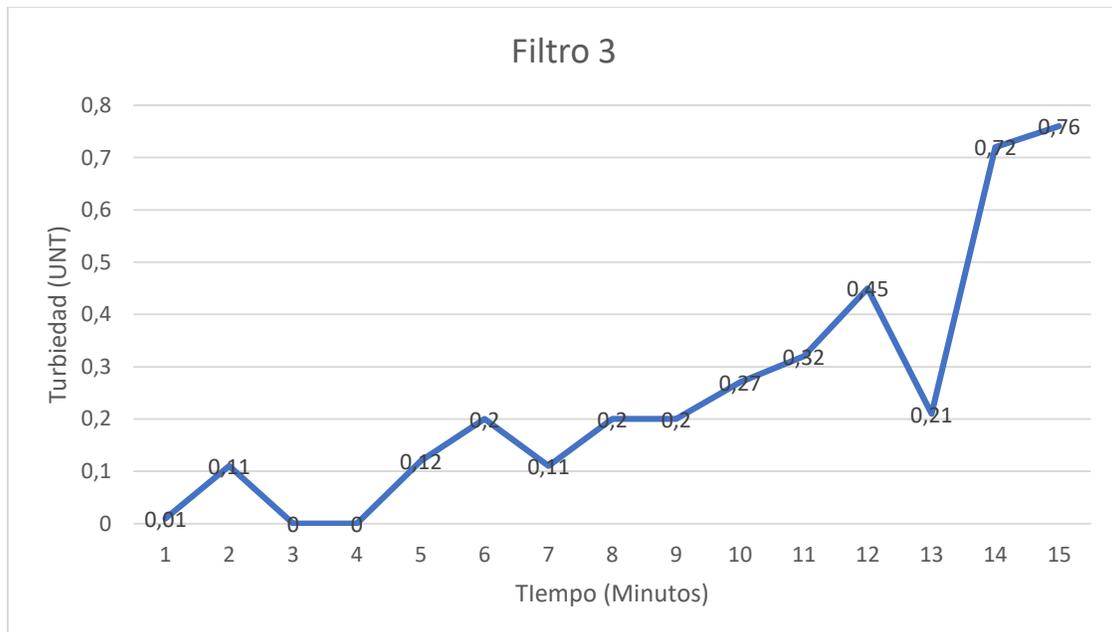
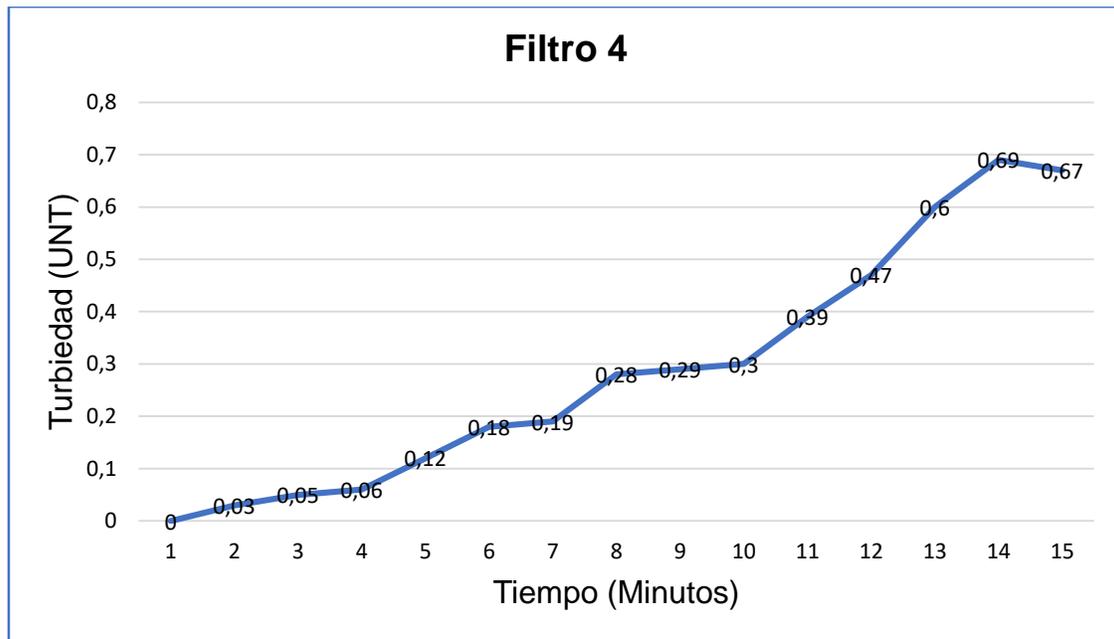


Gráfico 8. Calidad del Filtrado 4.



Según el resultado obtenido, la calidad del filtrado se buena, debido que da valores inferiores al 3,5 UNT, esto significa que el lavado es correcto, también cabe mencionar que al dar valores inferiores en a los 0.10 UNT se podría decir que la zona donde se opera es libre de parasitosis endémica.

3.4 Granulometría

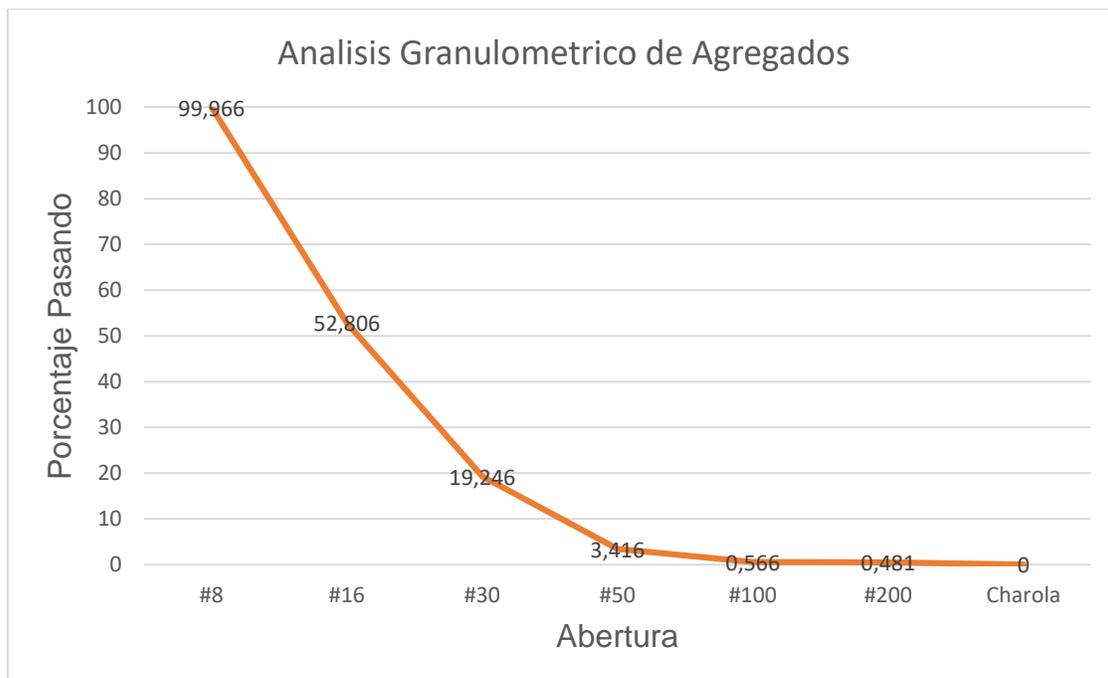
Se realizaron las pruebas pertinentes a la muestra de agregado que se extrajo en campo y se realizó la granulometría correspondiente para determinar el grado de intermezcla, y el porcentaje de cada agregado en un volumen determinado, para determinar la efectividad del filtro en comparación a parámetros anteriormente establecidos.

A continuación, se presenta una granulometría que se realizó en seco, sin lavado en la malla 200:

Tabla 8 Granulometría en seco

Análisis Granulométrico de Agregados					
Tamiz	W.Ret +b (g)	W. Ret (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasando (%)
#8	143.16	0.06	0.034	0.034	99.966
#16	225.6	82.5	47.16	47.194	52.806
#30	201.8	58.7	33.56	80754	19.246
#50	170.8	27.7	15.83	96.587	3.416
#100	148.1	5	2.85	99.434	0.566
#200	143.25	0.15	0.085	99.519	0.481
Charola	149.9	0.8	0.45	100	0

Gráfico 9. Análisis Granulométrico en Seco



Diametro Efectivo = 1.18 mm

Grado de Intermezcla: $\frac{1.18}{0.3}$

Grado de Intermezcla: 3.93

La filtración depende de la relación de intermezcla que estas puedan tener, debido a que este va a depender de la combinación de ambos agregados. Como se puede observar se establece como diámetro efectivo el agregado de mayor y menor tamaño con mayores porcentajes de retenidos los cuales establece la relación entre estos.

La Ingeniera Lidia de Cánepa establece que la relación óptima entre estos agregados debería de ser aproximado a 3.0, el cual en este caso 3.93, da a notar la mala relación de proporciones en los agregados.

3.5 Estado del medio filtrante

Análisis Granulométrico de Agregados					
Tamiz	W.Ret +b (g)	W. Ret (g)	Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasando (%)
#8	140.04	0.04	0.02	0.02	99.98
#16	225.8	85.8	44	44.02	55.98
#30	200.5	60.5	31.02	75.04	24.96
#50	173.5	33.5	17.18	92.22	7.78
#100	148.6	8.6	4.41	96.63	3.37
#200	146.6	6.6	0.39	97.02	3.38
Charola	140.7	0.7	0.36	96.99	3.01

La prueba de lodos se realizó de la siguiente manera, se realizó una granulometría del material muestreado, se lavó el material y el material que paso la malla 200 se considera como la cantidad de lodos que contenía la muestra, se realizó de la siguiente manera debido al bajo contenido de arenas de la muestra. Como resultado se vio que el material contenía un 3.38 % de lodos.

Como observación del resultado 3.38 % se considera un nivel de lodos altos, y a este punto se debe tomar decisiones con el lecho filtrante debido a que el máximo de contenidos de lodo que puede tener, es un 5 %, se debe considerar seriamente el cambio del lecho filtrante.

3.6 Soluciones para los problemas presentes

Debido a que la planta potabilizadora de San Ramón de Alajuela presenta los problemas previamente mencionado, se plantea las siguientes recomendaciones para que su funcionamiento se optimice y cumpla con los requerimientos mínimos de potabilización.

Todos los procedimientos que serán mencionados tienen carácter obligatorio para el buen funcionamiento de la planta potabilizadora, específicamente en los procesos de filtración.

Planta Potabilizadora:

1. Es necesario la creación de un manual de mantenimiento y operaciones para que los procesos sean congruentes, y sus operadores puedan tener una guía de como realizar ciertas actividades necesarias en la planta potabilizadora.
2. Implementar un programa de capacitación con duración de tres meses, esto con el fin de que los operarios sepan los conceptos básicos de mantenimiento de la planta potabilizadora.
3. Llevar registros diarios de niveles de turbiedad del afluente resultado del proceso de filtración.

El manual previamente mencionado deberá contemplar los siguientes aspectos:

1. Las válvulas de lavado deberán ser sometidas a un mantenimiento rutinario cada dos meses para verificar el estado de las mismas.
2. El personal requerirá darles lavado a los filtros cada 40 o 50 horas hasta las 72 horas como máximo, siempre y cuando este sea totalmente necesario.
3. Realiza un mantenimiento mensual de las paredes del filtro.

Válvulas:

1. Las válvulas deberán ser revisadas periódicamente, mínimo cada dos meses para verificar el estado de su funcionamiento
2. Las válvulas de lavado deberán trabajar con una apertura de 50 a 60 grados.
3. Se deberá llevar un registro de mantenimiento de las válvulas.

Lecho Filtrante:

1. Se deberá realizar un muestreo cada 6 meses de la expansión del filtro.
2. El lecho filtrante deberá ser lavado con un tiempo mínimo de 10 minutos.
3. Se deberá realizar una vez al año una prueba de lodos para verificar el porcentaje de saturación del medio filtrante.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

- Al evaluar el estado hidráulico y sanitario de los procesos de filtración se dio a notar la falta de mantenimiento y limitaciones de la planta potabilizadora en sí, esto debido a que los operarios no trabajan con un manual establecido, de manera que los procedimientos sean consecuentes unos con otros.
- El realizar las pruebas pertinentes del proceso de filtración se logró determinar:
 1. La expansión del lecho filtrante supera al 30 %
 2. El tiempo de lavado no es el óptimo.
 3. La relación entre las dimensiones de los agregados no es la óptima para el buen funcionamiento de los filtros.
 4. Los contenidos de lodos del medio filtrante son altos, acercándonos al 3.5%.
- La granulometría demostró que la relación de intermezcla de los materiales no es eficiente, lo cual afecta directamente en los niveles de turbiedad.
- El lecho filtrante se encuentra desgastado, debido a los procesos de lavado deficiente que se ha realizado durante este periodo de tiempo que se ha encontrado en funcionamiento la planta potabilizadora. La causa principal de esta problemática es debido a la inexistencia de una normativa para los operadores en cuanto el procedimiento de lavado, tanto como para la operación de las válvulas de limpieza.
- Las soluciones optimas que se le puede dar a la problemática de esta planta potabilizadora es seguir las recomendaciones dadas por este proyecto.

CAPÍTULO 5. RECOMENDACIONES

- Realizar un manual de procedimientos y mantenimiento tomando en cuenta los siguientes aspectos:
 1. Las válvulas de limpieza todas deben trabajar de 50 a 60 grados de apertura como máximo, esto con el fin de no ahogar la canaleta.
 2. El lavado de cada filtro debe ser en orden declinante.
 3. Las paredes del filtro deberán ser lavadas manualmente una vez al mes debido a que la presencia de algas, en la planta potabilizadora ha sido un problema que no han podido resolver y esto afecta directamente los filtros.
 4. El lavado del filtro deberá ser mínimo de 10 minutos.
 5. Los filtros serán lavados cuando estén sucios, pero el tiempo de espera para el lavado no debe exceder las 72 horas.
- Realizar una limpieza y reparación de paredes del filtro esto debido a que las paredes actualmente se encuentran con un exceso de algas, y también presentan fisuras longitudinales extensas.
- Realizar el cambio de las válvulas de lavado, las cuales actualmente dos de cuatro se encuentran en mal estado, y programar un mantenimiento de las mismas cada cierto tiempo.
- Es necesario cambiar el lecho filtrante debido a la cantidad de lodos presentes en el medio, y también debido a que el espesor de las capas del lecho no son las que se establecieron en el diseño.

Bibliografía

- Alcantarillados, I. C. (2016). Plan Estratégico Institucional. AyA.
- Astoga, Y. (30 de Marzo de 2015). *GobiernoCR*. Obtenido de <http://gobierno.cr/a-y-a-construye-la-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-mas-grande-de-centroamerica/>
- Barrenchea Martel, A., & Lidia, d. (2005). *Desinfección*. Lima: Cepis.
- Cánepa, ., I. (2002). *Plantas de Tratamiento de Filtros Rápidos*. Lima: OPS.
- Cohen, L., & Manion, L. (2002). METODOS DE INVESTIGACION EDUCATIVA. LA MURALLA.
- Esparza, M. L. (2000). Parámetros físico-químicos que influyen en la calidad y en el tratamiento del agua. En M. L. Esparza. Lima : CEPIS.
- Martel, A. B. (2004). ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA. En A. B. Martel. Lima: Cepis.
- Nacion, L. (8 de Septiembre de 2014). Supuesto acueducto en Guayabo intriga a la ciencia. *Supuesto acueducto en Guayabo intriga a la ciencia*.
- Norte, D. d. (Septiembre de 2009). *EPI*. Obtenido de http://epi.publichealth.nc.gov/oe/docs/Las_Bacterias_Coliformes_WellWaterFactSt.pdf
- Pérez, G. A. (2005). *Problemática ambiental*. Monterrey: ITESM.
- Rojas, R., & Guevara, S. (2005). <http://www.ingenieroambiental.com>. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/capitulo5.pdf>
- Valencia, J. A. (2000). Teoría y práctica de la purificación del agua. Vol. 2. En J. A. Valencia. Colombia : Acodal.
- Vargas, L. C. (2002). Fotos de archivo y sistemas evaluados. Lima: Cepis.
- Vargas, L. C. (2005). *OPERACIÓN DE PLANTAS CONVENCIONALES*. Lima : Cepis.
- Vargas, L. d. (2004). PROCESOS UNITARIOS Y PLANTAS DE TRATAMIENTO. En L. d. Vargas. Lima : Cepis.
- Vargas, L. d. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima : OPS.
- Vargas, L. d. (2005). BATERÍA DE FILTROS DE TASA DECLINANTE. En *Diseño de plantas de tecnología apropiada*. Lima: Cepis.
- Yactayo, V. M. (2004). *Coagulación*. Lima: OPS.

Yactayo, V. M. (2004). *La Filtracion*. Lima : OPS.