



UNIVERSIDAD LATINA DE COSTA RICA

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS
COMUNICACIONES**

Licenciatura en Ingeniería Civil

Proyecto Final de Graduación

**EVALUACIÓN PRELIMINAR EN LAS ÁREAS DE HIDRÁULICA Y
SANEAMIENTO DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE
BARRANCA DE PUNTARENAS**

Autora

Patty Vanessa Mora Solera

Heredia, mayo 2019



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Centro de Documentación e Información
UEN Investigación y Desarrollo

BOLETA DE AUTORIZACIÓN DEL AUTOR PARA PUBLICAR INFORMACIÓN

Yo, **Patty Vanesa Mora Solera**

N° Cédula: 1-1352-619

Dependencia: Particular

Autorizo al Centro de Documentación e Información del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados para incluir y publicar en el sitio Web del AyA y la Base de Datos del SICEDI la siguiente información:

Título: Evaluación preliminar de en las áreas de hidráulica y saneamiento de la planta potabilizadora de Barranca, Puntarenas.

E-mail: pvmoras@hotmail.com **N° Teléfono:** 8823-65-11

Firma: _____



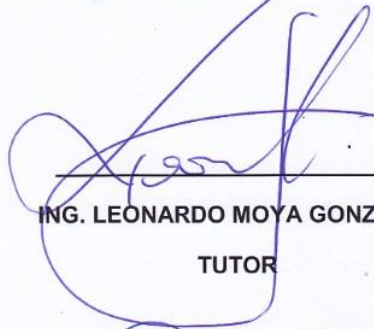




**UNIVERSIDAD LATINA
DE COSTA RICA**
LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES®

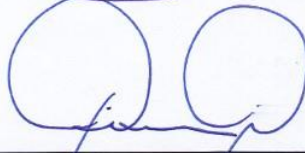
TRIBUNAL EXAMINADOR

Este proyecto titulado: "EVALUACIÓN PRELIMINAR EN LAS ÁREAS DE HIDRÁULICA Y SANEAMIENTO DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE BARRANCA DE PUNTARENAS.", 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. ALBERTO GONZÁLEZ SOLERA

LECTOR



ING. SIRLEY ALVAREZ GONZÁLEZ

REPRESENTANTE DE RECTORÍA

COMITÉ ASESOR

ING. LEONARDO MOYA GONZÁLEZ

TUTOR

ING. ALBERTO GONZÁLEZ SOLERA

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, 10 de mayo de 2019

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 Preliminar en las áreas de hidráulica y saneamiento de la Planta Potabilizadora de Barranca de Puntarenas por parte del estudiante: Patty Vanessa Mora Solera, como requisito para que el citado estudiante puedan 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,



Ing. Leonardo Moya González

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

Heredia, 10 de mayo de 2019

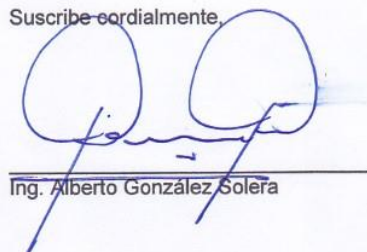
Sres.
Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación
SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, modalidad (Proyecto de Graduación) bajo el título Evaluación Preliminar en las áreas de hidráulica y saneamiento de la Planta Potabilizadora de Barranca de Puntarenas por parte del estudiante: Patty Vanessa Mora Solera, como requisito para que el citado estudiante puedan 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,



Ing. Alberto González Solera

Carta de filóloga

18 de mayo, 2019.

Señores
Facultad de Ingeniería y Tecnologías de Información y Comunicaciones
Universidad Latina de Costa Rica

Estimados señores

El suscrito Edith Raissa Pizarro Alfaro con cédula de identidad número 401780133, profesional en Filología, hace constar que revisó el documento denominado **"EVALUACIÓN PRELIMINAR EN LAS ÁREAS DE HIDRÁULICA Y SANEAMIENTO DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE BARRANCA DE PUNTARENAS"**, de la estudiante Patty Vanessa Mora Solera cédula 1 1352 0619, al cual se le aplicaron las revisiones y observaciones relacionadas con aspectos de construcción gramatical, ortografía, redacción, entre otros.

Dado lo anterior, certifico que el documento contiene las observaciones y correcciones solicitadas, quedando de conformidad con lo pactado.

Atentamente,



Licda. Edith Raissa Pizarro Alfaro
Código del Colegio 35554





“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 " ; "

Patty Vanessa Mora Solera

De la Carrera / Programa: Ingeniería Civil

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

EVALUACIÓN PRELIMINAR EN LAS ÁREAS DE HIDRÁULICA Y SANEAMIENTO DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE BARRANCA DE PUNTARENAS

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)* 20 del mes mayo del año 2019 a las 17 horas. 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:*

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy infinitas gracias a Dios por darme la fuerza, entendimiento, sabiduría y valor para poder culminar con éxito la carrera de Ingeniería Civil.

A todos los profesores que estuvieron presentes durante mi formación como ingeniera, dándome consejos y transmitiéndome su conocimiento, en especial a mi tutor el Ing. Leonardo Moya González por toda la ayuda y apoyo brindado durante la realización del proyecto.

Al operador de la planta Édgar Cruz y al jefe de la planta José Cubillo por toda la ayuda que me brindaron durante la realización de cada una de las pruebas.

A la Profesora Sirley Álvarez González por toda la ayuda y consejos brindados durante los años de estudio y en especial en el curso de Métodos de Investigación.

A mi familia, compañeros y amigos.

DEDICATORIA(S)

A mi madre Isabel Solera Vargas, por su apoyo incondicional, su amor sincero y desinteresado, porque nunca perdió la fe en mí y porque siempre me motivó a no rendirme y a dar lo mejor.

A mi esposo Ronny Reyes Romero que fue un apoyo incondicional, sin él no lo hubiera logrado, siempre estuvo ahí dándome palabras de aliento en los momentos más difíciles de mi carrera, siendo luz cuando todo era oscuridad y por haber creído siempre en mí.

A mi hermano Víctor Mora Solera, por todos los consejos, por estar siempre en cada una de las etapas de mi vida y por ser siempre mi ejemplo a seguir.

RESUMEN

El presente trabajo se enfoca en desarrollar una evaluación preliminar en las áreas de hidráulica y saneamiento de la Planta Potabilizadora de Barranca de Puntarenas.

El análisis de los principales parámetros hidráulicos (tipo flujo, tiempo real de retención, corto circuitos y tiempos muertos) de las unidades de floculación y sedimentación. Se realizó mediante una prueba de trazadores, utilizando sal como trazador, también se utilizaron hojas de cálculo, gráficos y el modelo matemático denominado método de análisis de la curva de tendencia.

Para evaluar la parte sanitaria se llevó a cabo ensayos, como la expansión del medio filtrante, duración del proceso de lavado en los filtros, granulometría de los filtros, mediciones de turbiedad en el agua, así como el ensayo de dosis óptima de cloro.

El propósito de la investigación es analizar los procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección de la Planta Potabilizadora de Barranca de Puntarenas mediante la realización de ensayos o pruebas de laboratorio y de esa forma determinar qué deficiencias se están presentando en cada uno de los procesos, para poder dar las soluciones más óptimas, con el fin de mejorar su funcionamiento y principalmente para que las comunidades abastecidas cuenten con agua de calidad potable y así garantizar la salud de todos los pobladores.

Palabra clave: hidráulica, saneamiento, planta, trazador, ensayos, agua, salud, procesos, evaluación

SUMMARY

The present work focuses on developing a preliminary evaluation in the areas of hydraulics and sanitation of the Potabilizadora Plant of Barranca de Puntarenas.

The analysis of the main hydraulic parameters (flow type, real time of retention, short circuits and downtime) of the units of Flocculation and sedimentation was carried out by means of a tracer test, using salt as tracer, also used spreadsheets, graphs and the mathematical model called the trend curve analysis method.

To evaluate the sanitary part, tests were carried out, such as the expansion of the filter medium, duration of the washing process in the filters, granulometry of the filters, turbidity measurements in the water, as well as the optimal chlorine dose test.

The purpose of the research is to analyze the processes of rapid mixing, flocculation, sedimentation, filtration and disinfection of the Potabilizadora Plant of Barranca de Puntarenas by carrying out tests or laboratory tests and in this way to determine what deficiencies are being presented in each one. Of the processes, to be able to give the most optimal solutions, in order to improve their functioning and mainly so that the communities supplied have water of potable quality and thus guarantee the health of all the inhabitants.

Keyword: Hydraulics, Sanitation, Plant, plotter, trials, water, health, processes, evaluation

ÍNDICE

Contenido

INTRODUCCIÓN	17
1.1 Antecedentes	18
1.2 Planteamiento del Problema	19
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo General	19
1.3.2 Objetivos Específicos	20
1.4 Justificación	20
1.5 Alcance y Limitaciones	21
1.6 Impacto	21
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	22
2.1 Marco Teórico – Conceptual	23
2.1.1 Agua Potable	23
2.1.2 Características del agua	23
2.1.2.1 Físicas:	23
2.1.3 Fuentes de abastecimiento de agua	25
2.1.3.1 Sistema por gravedad:	25
2.1.3.2 Sistema por bombeo:	25
2.1.3.3 Aguas Subterráneas:	26
2.1.3.4 Aguas Superficiales:	26
2.1.4 Concepto de Planta de Tratamiento de agua o Sistema de Potabilización	26
2.1.4.1 Plantas de Filtración lenta:	27
2.1.4.2 Plantas de Filtración Rápida:	27
2.1.5 Etapas del Proceso de Potabilización	28
2.1.5.1 Captación	28
2.1.5.2 Coagulación	29
2.1.5.3 Floculación	30
2.1.5.4 Sedimentación	31
2.1.5.5 Filtración	33
2.1.5.6 Desinfección	36

2.2 Marco Situacional	40
2.2.1 Contexto Geográfico	40
2.2.3 Contexto temporal:	41
2.2.4 Historia de la potabilización en Costa Rica:	41
CAPÍTULO II. MARCO METODOLÓGICO	43
3.1 Marco Metodológico	44
3.1.1 Paradigma	44
3.1.2 Enfoque Metodológico	45
3.1.3 Métodos de investigación	45
3.1.4 Categoría de análisis de la investigación	46
3.1.5 Población y muestra	46
3.1.6 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	46
3.1.7 Técnicas e instrumentos para el procesamiento y Análisis de datos	54
3.1.8 Cronograma de Trabajo	60
CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
4.1 Análisis de Resultados	62
4.1.1 Mezcla Rápida	62
4.1.1.1 Geometría de la Unidad	62
4.1.1.2 Tiempo Real de Retención de la mezcla	62
4.1.1.3 Intensidad de la mezcla	63
4.1.2 Floculación	64
4.1.2.1 Caudal de Operación	64
4.1.2.2 Cálculo tiempo teórico de retención	67
4.1.2.3 Tiempo de Retención Real y Características de la Unidad	71
4.1.2.4 Tiempo formación inicial del flóculo:	74
4.1.2.5 Tamaño del Flóculo producido:	74
4.1.3 Sedimentación	75
4.1.3.1 Cálculo tiempo teórico de retención	75
4.1.3.2 Determinación de Condiciones Hidráulicas	76
4.1.3.3 Determinación de carga superficial real	77
4.1.3.4 Medición de Turbiedad	78
4.1.4 Filtración	79
4.1.4.1 Velocidad de filtración antes del lavado y caudal de lavado	79

4.1.4.2 Velocidad de filtración después del lavado.....	81
4.1.4.3 Tiempo óptimo de lavado del filtro	83
4.1.4.4 Calidad del filtrado inicial.....	83
4.1.4.5 Espesor del Medio Filtrante.....	85
4.1.4.6 Expansión Lecho Filtrante	86
4.1.4.7 Granulometría del medio filtrante	87
4.1.5 Desinfección	89
4.1.5.1 Tiempo real de contacto	89
4.1.5.2 Dosis óptima de cloro o Curva de Demanda de Cloro	89
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	94
BIBLIOGRAFÍA	95
ANEXOS	98
GLOSARIO	128

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Diagrama de Captación y Potabilización.....	28
Ilustración 2: Modelo esquemático proceso coagulación	30
Ilustración 3: Proceso de Floculación	31
Ilustración 4 Proceso de Sedimentación	33
Ilustración 5 Proceso de Filtración	34
Ilustración 6 Filtro Lento para el medio Rural.....	35
Ilustración 7 Filtro Lento de arena en zona rural	38
Ilustración 8 Esquema básico del proceso de ozonización.....	40
Ilustración 9: Uso de trazadores en una unidad de floculación	47
Ilustración 10 Colorímetro portátil	52
Ilustración 11 Pastilla DPD	52
Ilustración 12 Potenciómetro.....	53
Ilustración 13 Cronómetro	54
Ilustración 14 Concentración del trazador en el efluente de un reactor.....	55
Ilustración 15 Cloro residual vrs cloro agregado.....	89

Índice Tablas

Tabla 1. Parámetros de Calidad del agua.....	57
Tabla 2. Porcentaje de trazador y distribución del caudal en los floculadores	66
Tabla 3. Dimensiones Floculador según planos	67
Tabla 4. Dimensiones Reales Floculador 1	68
Tabla 5. Dimensiones Reales Floculador 2	69
Tabla 6. Dimensiones Reales Floculador 3.....	69
Tabla 7. Dimensiones Reales Floculador 4.....	70
Tabla 8. Resumen Tiempo Teórico vs Tiempo Real	71
Tabla 9. Parámetros de la curva de tendencia de concentración del trazador.....	72
Tabla 10. Parámetros principales.....	72
Tabla 11. Relaciones de los parámetros de la Curva de Tendencia de Concentración del Trazador	72
Tabla 12. Floculador 1 resumen relaciones parámetros	73
Tabla 13. Floculador 2 resumen relaciones de parámetros.....	73
Tabla 14. Floculador 3 resumen relaciones de parámetros.....	73
Tabla 15. Floculador 4 resumen relaciones de parámetros.....	74
Tabla 16. Dimensiones sedimentador según planos	75
Tabla 17. Parámetros de la curva de tendencia de concentración del trazador.....	76
Tabla 18. Parámetros Principales	77
Tabla 19. Relaciones de los parámetros de la curva de tendencia de concentración del trazador.....	77
Tabla 20. Medición de turbiedades	78
Tabla 21. Dimensiones filtro según planos	80
Tabla 22. Dimensiones filtro según planos	82
Tabla 23. Evolución de la turbiedad del agua calidad del filtrado inicial	84
Tabla 24. Lectura espesores medio filtrante	85
Tabla 25. Datos granulometría de la antracita y arena.....	88
Tabla 26. Datos ensayo dosis óptima de cloro	90

Índice de gráficos

<i>Gráfico 1. Distribución del caudal.....</i>	<i>66</i>
<i>Gráfico 2. Tiempo óptimo de Lavado.....</i>	<i>83</i>
<i>Gráfico 3. Turbiedad vs Tiempo.....</i>	<i>84</i>
<i>Gráfico 4. Dosis óptima de cloro</i>	<i>91</i>

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El acueducto de la ciudad de Puntarenas, fue construido en 1936 y era administrado por el Ferrocarril Eléctrico al Pacífico. En ese entonces, se abastecía con un caudal de 100 l/s de una naciente ubicada en Ojo de Agua de San Antonio de Belén.

A finales de 1972 el sistema de Puntarenas pasó a ser administrado por el hoy Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. A partir de esa fecha se hicieron una serie de perforaciones de pozos y se diseñó el proyecto, que hoy está finalizado.

En el año de 1981, la empresa de consultores israelíes TAHAL, elaboró una investigación la cual fue denominada “Plan Maestro de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario del Gran Puntarenas”.

Dicha investigación tenía como propósito estudiar las diferentes alternativas para el abastecimiento de agua potable del sector ubicado hacia al este de la ciudad de Puntarenas.

Se determinó que la alternativa de mayor factibilidad y de más bajo costo era la captación de las aguas superficiales del río Barranca.

El sistema de abastecimiento de la ciudad de Puntarenas, denominada Gran Puntarenas, se divide en dos sectores:

- El primero comprende la parte este de la ciudad de Puntarenas
- El segundo comprende la parte oeste de dicha ciudad.

El proyecto se constituyó básicamente de dos etapas, para atención del sector este, a saber:

- La primera consistía en utilizar 175 l/s, caudal que cubría la demanda hasta el año 2000.
- La segunda consistía en utilizar otros 175 l/s, caudal que cubriría la demanda hasta el año 2010.

La primera etapa fue puesta en funcionamiento a principios del año 1990 y tuvo un costo $\text{¢}258.000.000$.

En el año 1995 la población que abastecía era aproximadamente de 40.000 habitantes.

La planta se abastece del río Barranca, los sitios que abastece dicha planta son Barrana, Chacarita y el Roble.

1.2 Planteamiento del Problema

¿Qué recomendaciones se pueden proponer en la Planta Potabilizadora de Barranca de Puntarenas tanto para mejorar la operación hidráulica como para que se cumplan los parámetros establecidos y así garantizar la calidad del agua potable?

¿Qué incidencia tiene la granulometría y la expansión del medio filtrante para garantizar la calidad del agua filtrada?

¿Qué efecto puede llegar a tener la prueba de trazadores para mejorar la operación hidráulica de la planta?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar una evaluación preliminar en las áreas de Hidráulica y Saneamiento de la Planta Potabilizadora de Barranca de Puntarenas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los elementos constructivos que componen la estructura existente.
- Analizar el funcionamiento de los procesos mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración y desinfección a partir de los ensayos y las inspecciones de las condiciones Hidráulicas y Sanitarias.
- Plantear soluciones viables a los problemas que se presenten.

1.4 Justificación

El agua es un recurso básico de salud esencial para la existencia del ser humano, sin embargo, también puede ser un factor causante de enfermedades.

El desarrollo humano depende mucho del estado sanitario de sus aguas, en algunas ocasiones se encuentran pestes o plagas que han arruinado poblaciones enteras, para mitigar y eliminar la mayoría de las epidemias provocadas por patógenos de origen hídrico, se ha creado el proceso de potabilización, incluyendo la desinfección, el cual acondiciona las aguas para que sean consumibles o aptas para el ser humano sin causar daños ni enfermedades.

Por otro lado, la contaminación de las fuentes de agua por agentes químicos se ha convertido en un tema de importancia en los últimos tiempos. Las industrias producen y usan toneladas de compuestos químicos que, en unión a los compuestos químicos utilizados en la agricultura y las ciudades, llegan a los cuerpos de agua a través de la escorrentía o descarga directa, por ese motivo cada vez es más necesario recurrir a sistemas que faciliten el acceso al agua potable, además lo vital de disponer de un recurso hídrico de calidad para los poblados de Barranca, Chacarita y el Roble de la ciudad de Puntarenas, es lo que justifica la evaluación hidráulica y sanitaria de la planta.

El objetivo principal de la evaluación es garantizar la salud de la población de las comunidades abastecidas, proporcionar un mayor desarrollo social en la comunidad, dar solución a la problemática y procurar un sistema óptimo de agua potable, así como asegurar una mejor calidad de vida para los pobladores.

De igual modo las evaluaciones permitirán verificar si en realidad dicha planta está cumpliendo con los parámetros establecidos por las normas de calidad del agua potable, así como con los tiempos de retención, dosificación de coagulante y distribución del caudal adecuado y si por algún motivo no cumple con los antes mencionado se podrán hacer las recomendaciones respectivas.

1.5 Alcance y Limitaciones

El presente proyecto tiene como propósito la evaluación preliminar tanto en el área hidráulica como en el área sanitaria de la Planta Potabilizadora de Barranca de Puntarenas.

La condición hidráulica de la planta se determinará mediante la realización de la prueba de trazadores, empleando sal como trazador.

De igual modo la condición sanitaria se evaluará mediante las mediciones de turbiedad del agua, así como con el ensayo de dosis óptima de cloro.

1.6 Impacto

Las plantas potabilizadoras de agua son un mecanismo que permite solucionar problemas sociales, económicos y ambientales, ya que proporcionan mayores índices de salud, mayor desarrollo social en la comunidad, mejor calidad de vida, así como también un desarrollo cultural en cuanto a la temática del cuidado del agua como bien social.

Por lo anterior, la evaluación que se realizará va a ser de suma importancia para la población de la ciudad de Puntarenas, ya que se buscará la solución óptima para otorgar solución a problemas como los antes mencionados.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Teórico – Conceptual

2.1.1 Agua Potable

De acuerdo con el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, esta se define como “toda agua que, empleada para la ingesta humana, no causa daño a la salud y cumple con las disposiciones de valores recomendables o máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos emitidos mediante el presente reglamento y que al ser consumida por la población no causa daño a la salud”.

2.1.2 Características del agua

2.1.2.1 Físicas:

Son conocidas como características organolépticas ya que pueden ser percibidas con los sentidos, tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas y aceptabilidad del agua. Entre ellas están las siguientes:

- Turbiedad.
- Sólidos solubles e insolubles.
- Color.
- Olor y sabor.
- Temperatura.
- pH
- **Turbiedad**

Es la suciedad que se le puede ver al agua, está formada por partículas coloidales, se produce principalmente por la escorrentía en tiempo de lluvia.

La medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son, por lo general, unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Lo recomendado es que la turbiedad debe de ser menor a 1.

- **Color:**

Esta característica del agua puede estar relacionada con la turbiedad o mostrarse independiente, por lo cual no es posible establecer las estructuras químicas responsables del color. Se considera que el cambio del color en el agua puede originarse por las siguientes causas:

- La extracción acuosa de sustancias de origen vegetal.
- La descomposición de la materia.
- La materia orgánica del suelo.
- La presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos.
- Una combinación de los procesos descritos (Loría, D.2018)

- **Olor y sabor:**

Estas características forman el motivo principal de rechazo por parte del consumidor, en otros términos, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes, tales como los compuestos fenólicos. Por otra parte, la presencia de olor a sulfuro de hidrógeno puede indicar una acción séptica de compuestos orgánicos en el agua (Loría, D.2018).

- **pH:**

A nivel general, el pH es un indicador de la acidez de una sustancia, la escala de pH varía de 0 a 14, siendo 7 el rango neutro. Un pH menor a 7 indica acidez, mientras que uno mayor a 7 indica un rango básico. Por definición el pH es en

realidad una medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua. Se considera que el pH de aguas crudas debe estar comprendida entre 6.5 y 8.5 y de aguas tratadas debería estar entre 6.5 y 9. Por lo general este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua. El pH tiene una gran influencia en la coagulación. Valores por encima o debajo del pH óptimo producen malos resultados.

- **Temperatura:**

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua ya que influye en la demora o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. La temperatura alta del agua fortalece la proliferación de microorganismos y puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión.

2.1.3 Fuentes de abastecimiento de agua

Las fuentes de agua son el elemento primordial en el diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable, antes de dar cualquier paso es necesario definir su ubicación, tipo, cantidad y calidad.

De acuerdo con la ubicación y naturaleza de la fuente de abastecimiento, así como la topografía del terreno, se consideran dos tipos de sistemas: los de gravedad y los de bombeo.

2.1.3.1 Sistema por gravedad:

La fuente de agua debe estar ubicada en la parte alta de la población para que el agua fluya a través de tuberías, usando solo la fuerza de la gravedad.

2.1.3.2 Sistema por bombeo:

La fuente de agua se encuentra localizada en elevaciones inferiores a las poblaciones de consumo, siendo necesario transportar el agua mediante sistemas de bombeo a reservorios de almacenamiento ubicados en elevaciones superiores al centro poblado.

Las fuentes de abastecimiento de agua pueden ser:

- Manantiales, pozos, nacientes (subterráneas).
- Lagos, ríos, canales, entre otros (superficiales).
- Aguas de lluvia (pluviales) (OPS 2009).

2.1.3.3 Aguas Subterráneas:

Son las aguas que se filtran en el terreno pudiendo aflorar en forma de manantiales. Se pueden captar por medio galerías filtrantes, pozos poco profundos y pozos profundos (Pérez, R.1988).

2.1.3.4 Aguas Superficiales:

Son aquellas que se encuentran en el seno de los ríos, lagos, lagunas, o las de una cuenca de embalse, presas, entre otros. Las aguas de los ríos. (Pérez, R.1988).

2.1.4 Concepto de Planta de Tratamiento de agua o Sistema de Potabilización

Es un conjunto de estructuras destinadas al tratamiento de agua cruda con el fin de hacerla apta para consumo humano, preservando las condiciones de salud de la población.

Existen diferentes tipos de plantas potabilizadoras, se pueden clasificar de acuerdo con el tipo de proceso involucrado o por la clase de tecnología empleada, entre ellas están las siguientes:

2.1.4.1 Plantas de Filtración lenta:

Es el sistema de tratamiento más antiguo utilizado por la humanidad. Copia exactamente el proceso de purificación que se da en la naturaleza al atravesar el agua de lluvia a los estratos de la corteza terrestre hasta encontrar los acuíferos o ríos subterráneos.

2.1.4.2 Plantas de Filtración Rápida:

Lidia de Vargas menciona que:

Estas plantas se denominan así porque los filtros que las integran operan con velocidades altas, entre 80 y 300 m³/m²/d, de acuerdo con las características del agua, del medio filtrante y de los recursos disponibles para operar y mantener estas instalaciones.

De acuerdo con la calidad del agua por tratar, se presentan dos soluciones dentro de este tipo de plantas: plantas de filtración rápida completa y plantas de filtración directa.

Liga de Vargas menciona que:

- **Una planta de filtración rápida completa** normalmente está integrada por los procesos de coagulación, decantación, filtración y desinfección. El proceso de coagulación se realiza en dos etapas: una fuerte agitación del agua para obtener una dispersión instantánea de la sustancia coagulante en toda la masa de agua (mezcla rápida) seguida de una agitación lenta para promover la rápida aglomeración y crecimiento del flóculo (etapa de floculación).
- **Filtración directa** Es una alternativa a la filtración rápida, constituida por los procesos de mezcla rápida y filtración, apropiada solo para aguas claras.

Son ideales para este tipo de solución las aguas provenientes de embalses o represas, que operan como grandes presedimentadores y proporcionan aguas constantemente claras y poco contaminadas.

De acuerdo con el tipo de tecnología empleada las plantas de filtración se clasifican en:

- Sistemas de tecnología convencional clásica o antigua.
- Sistemas convencionales de alta tasa o de tecnología CEPIS/OPS.
- Sistemas de tecnología patentada, normalmente importada de los países desarrollados.

2.1.5 Etapas del Proceso de Potabilización

2.1.5.1 Captación

Fibras y Normas de Colombia menciona que:

Esta es la primera fase del proceso de potabilización, en la cual el agua es extraída de fuentes naturales (ríos, lagos, lagunas, etc.) en estado crudo.

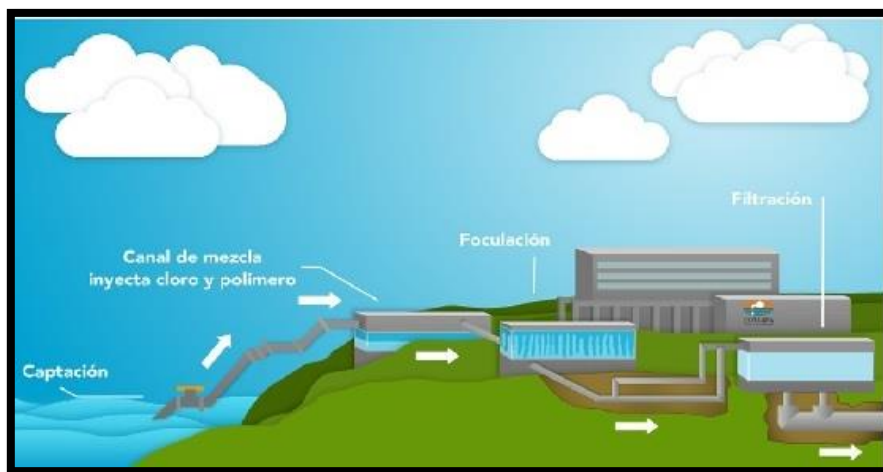


Ilustración 1 Diagrama de Captación y Potabilización

Fuente: Fibras y Normas de Colombia

2.1.5.2 Coagulación

La coagulación tiene por objeto desestabilizar las partículas en suspensión para facilitar su aglomeración. En la práctica este procedimiento es caracterizado por la inyección y dispersión rápida de productos químicos (Andia, Y.2000)

La coagulación consiste en la adición de un coagulante para la desestabilización o neutralización de las partículas coloidales.

Dicho proceso también es conocido como mezcla rápida, puede efectuarse mediante turbulencia, ya sea por medios hidráulicos o mecánicos, como resaltos hidráulicos en canales o canaletas Parshall, vertederos rectangulares, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, entre otras.

- **Mezcladores Rápidos Mecánicos:** consisten en hélices, paletas, turbinas u otros elementos similares acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza motriz cualquiera. Los ejes giran a un número alto de revoluciones lo cual agita el agua en forma violenta y propicia la mezcla rápida y uniforme del coagulante (Romero,J.1999.).
- **Mezcladores Rápidos Hidráulicos:** se utilizan cuando se dispone de suficiente cabeza o energía en el flujo de entrada. En general se utilizan resaltos hidráulicos, canaletas Parshall, entre otros, para disipar energía en turbulencia y aprovecharla para la mezcla del coagulante (Romero,J.1999.).

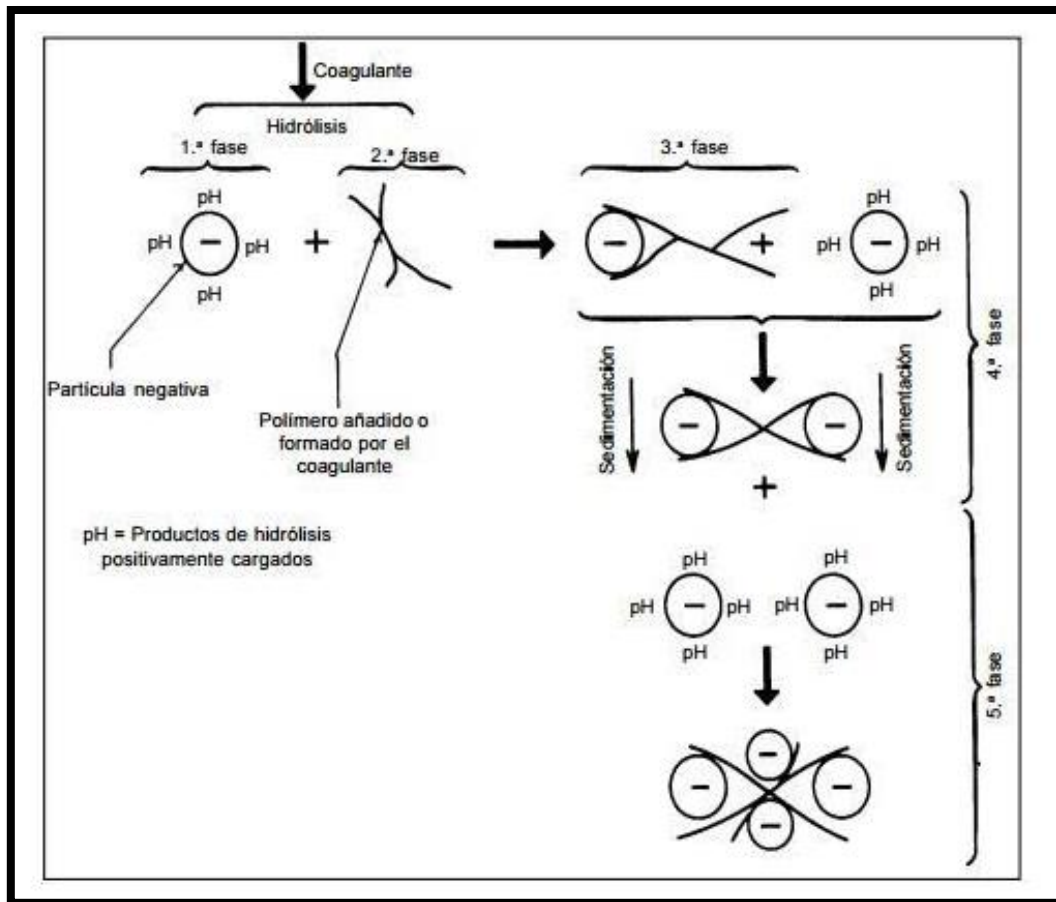


Ilustración 2: Modelo esquemático proceso coagulación

Fuente: Ing. Leonardo Moya González

2.1.5.3 Floculación

Fibras y Normas de Colombia menciona que:

Durante la ejecución de este proceso químico, son eliminadas las partículas o sustancias que se encuentren en suspensión, utilizando productos químicos tales como coagulantes, los cuales producen que tales partículas se unan en forma de flóculos. Esta aglomeración permite la clarificación del agua, puesto que al unirse todas las partículas en su elemento resultan más pesadas que de manera individual, logrando que se asienten y eliminando la turbiedad para dar paso a agua más clara.

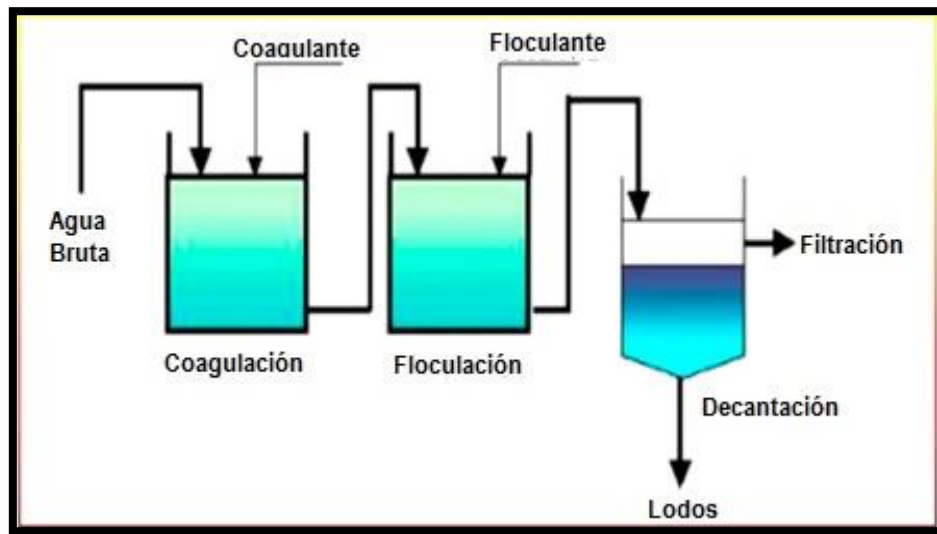


Ilustración 3: Proceso de Floculación

Fuente: Revista de Saneamiento Ambiental en México

2.1.5.4 Sedimentación

Es la forma de tratamiento de agua más antigua, emplea el asentamiento por gravedad para separar las partículas del agua.

El autor Maldonado, V. (2004), menciona que:

El proceso de sedimentación es conocido como la remoción por efecto gravitacional de las partículas de suspensión presentes en el agua. La remoción de partículas en suspensión puede conseguirse por sedimentación o filtración, de allí que ambos procesos se consideren como complementarios. La sedimentación remueve las partículas más densas, mientras que la filtración remueve las partículas las cuales tienen una densidad muy cercana al agua.

En esencia la sedimentación es un fenómeno netamente físico y constituye uno de los procesos más utilizados para el tratamiento de agua para conseguir su

clarificación, está relacionada exclusivamente con las propiedades de caída de las partículas en el agua (p.3).

La sedimentación se puede aplicar ya sea después del proceso de coagulación o el proceso de floculación para aguas muy turbias, u omitirse en aguas de turbiedad moderada.

2.1.5.4.1 Tipos de sedimentación según sus características y concentración:

- **Sedimentación de partículas discretas:**

Son aquellas partículas que no cambian sus características (forma, tamaño y densidad) durante la caída. Se denomina sedimentación o sedimentación simple al proceso de depósito de partículas discretas. Esta forma de sedimentación, con este tipo de partículas se presenta en los desarenadores, en los sedimentadores y en los presedimentadores, como paso previo a la coagulación en las plantas de filtración rápida y también en sedimentadores como paso previo a la filtración lenta (Maldonado, V. 2004).

- **Sedimentación de partículas floculantes:**

Partículas floculentas son aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloides desestabilizadas a consecuencia de la aplicación de agentes químicos. A diferencia de las partículas discretas, las características de este tipo de partículas como forma, tamaño, densidad sí cambian durante la caída (Maldonado, V. 2004).

- **Sedimentación por caída libre e interferida**

Cuando existe una baja concentración de partículas en el agua, estas se depositan sin interferir. Se denomina a este fenómeno caída libre. En cambio,

cuando hay altas concentraciones de partículas, se producen colisiones que las mantienen en una posición fija y ocurre un depósito masivo en lugar de individual. A este proceso de sedimentación se le denomina depósito o caída interferida o sedimentación zonal (Maldonado, V. 2004).

2.1.5.4.2 Factores que influyen en el proceso de sedimentación

- Calidad del agua
- Condiciones Hidráulicas
- Factores Externos

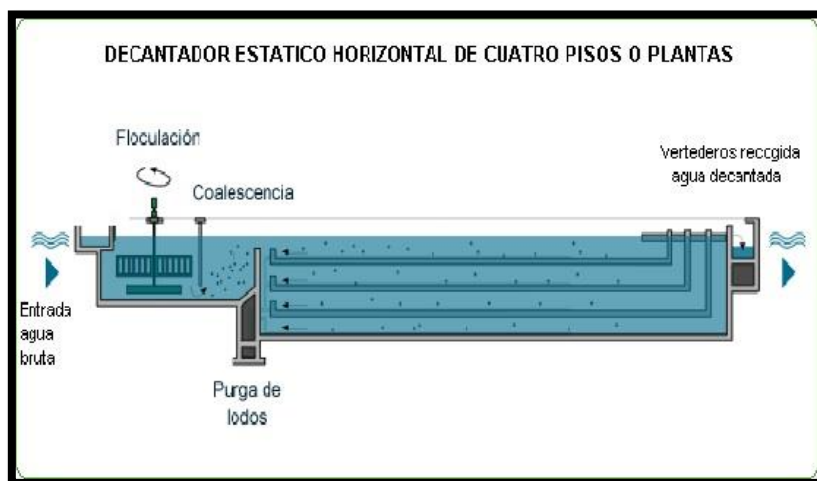


Ilustración 4 Proceso de Sedimentación

Fuente: Fibras y Normas de Colombia

2.1.5.5 Filtración

Cerca del 90 % de la turbiedad y el color son removidos en los procesos de coagulación y sedimentación, sin embargo, cierta cantidad de flóculos superan el tanque de sedimentación por lo que se requiere su remoción.

Para lograr la clarificación final se usa la filtración a través de medios porosos, generalmente dichos medios son de arena o arena antracita.

En la planta la filtración remueve el material suspendido, medido en la práctica como turbiedad, compuesto de flóculo, suelo, metales oxidados y microorganismos. La remoción de microorganismos es de gran importancia puesto que muchos de ellos son extremadamente resistentes a la desinfección (Romero,J.1999.).

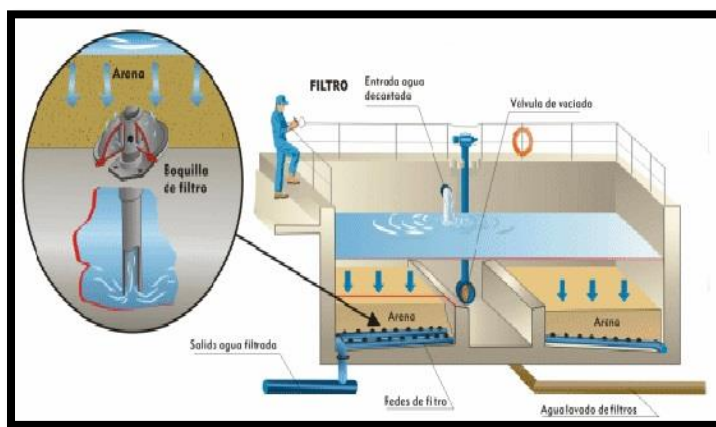


Ilustración 5 Proceso de Filtración

Fuente: Fibras y Normas de Colombia

2.1.5.5.1 Mecanismos de Remoción

- **Filtro Rápido:** el filtro rápido, comparativamente con el filtro lento, requiere de áreas más pequeñas para tratar el mismo caudal y, por lo tanto, tiene menor costo inicial, pero es más complejo y costoso de operar (Cánepa,L.(s.f)).
- **Filtro Lento:** La filtración biológica (o filtración lenta) se consigue al hacer circular el agua cruda a través de un manto poroso de arena. Durante el proceso las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen a la materia retenida a

formas más simples, las cuales son llevadas en solución o permanecen como material inerte hasta un subsecuente retiro o limpieza (Cánepa,L (s.f)).

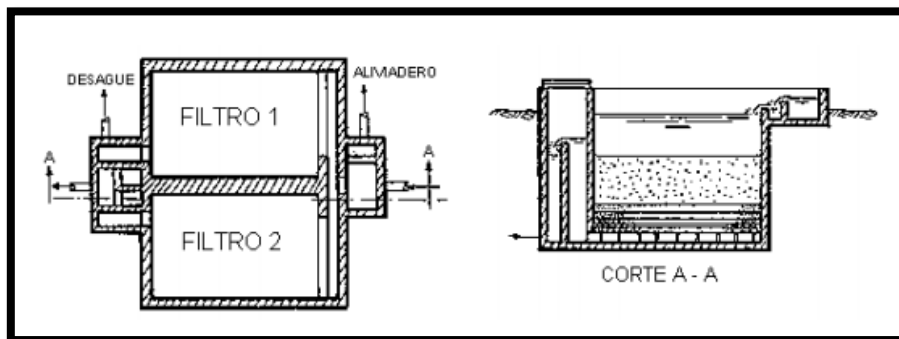


Ilustración 6 Filtro Lento para el medio Rural

Fuente: CEPIS

2.1.5.5.2 Medios Filtrantes

El medio filtrante ideal deberá ser de un tamaño tal que suministre un efluente satisfactorio, retenga una cantidad máxima de sólidos con una pérdida de cabeza mínima, y sea fácilmente limpiado con una mínima cantidad de agua (Terence, J.2000).

Los lechos de los filtros pueden ser contruidos de un solo medio o con medios de características diferentes o con una mezcla de más de dos medios. Son denominados monomedios, medio doble o multimedio.

Tipos de medios filtrantes más comunes:

- **Arena:** se considera el medio filtrante más barato. La arena usada en filtros rápidos debe de estar libre de mugre, ser dura y resistente a la abrasión y se prefiere que sea de cuarzo o cuarcita. En la práctica actual, en filtros rápidos se usa arena con un tamaño efectivo de 0.45 a 0.55 mm y un coeficiente de uniformidad de 1.2 a 1.7 (Terence,J.2000).

- **Antracita:** es un carbón duro, ha sido usado como un sustituto para la arena en filtros monomedio y a menudo es usada como un componente de los diseños de medio doble y multimedio. La antracita triturada usada en filtros tiene un tamaño efectivo de 0.7 milímetros o más y un coeficiente de uniformidad menor a 1.75 (Terence,J.2000).

2.1.5.6 Desinfección

La desinfección es la destrucción de los microorganismos patógenos. En el proceso las bacterias coliformes y otras especies indicadoras serán también destruidas, reduciéndose sustancialmente el conteo total bacteriano. La esterilización del agua no se busca de ordinario si no se logra en el proceso de desinfección (Terence,J.2000).

Los factores que influyen en la desinfección son:

- Los microorganismos presentes y su comportamiento
- La naturaleza y concentración del agente desinfectante.
- La temperatura del agua.
- La naturaleza y calidad del agua.
- El pH del agua.
- El tiempo de contacto. (Chulluncuy.C.2011).

Natalia Chulluncuy menciona que:

El cloro es el agente desinfectante más importante; puede utilizarse en forma de gas, de líquido o de sal (hipoclorito de sodio). Es de fácil aplicación, manejo sencillo y bajo costo. En dosis adecuadas no produce riesgos para el hombre ni para los animales. Su efecto residual protege al agua de contaminarse en las redes de distribución.

2.1.5.6.1 Métodos de desinfección más utilizados y reconocidos

2.1.5.6.1.1 Desinfección Solar:

Es una solución simple, de bajo costo y ambientalmente sostenible para el tratamiento del agua. Consiste en utilizar la energía solar para destruir los microorganismos patógenos que causan enfermedades transmitidas por el agua.

2.1.5.6.1.2 Desinfección por Cloración:

La cloración es el método más utilizado para la desinfección tanto de aguas potables como residuales. Se basa en la adición de cloro, o uno de sus derivados al agua, luego de un tiempo de contacto (aprox. 30 minutos) con el fin de destruir los microorganismos patógenos que causan enfermedades.

Ventajas de la desinfección con cloro:

- Se obtiene fácilmente como gas, líquido o polvo.
- Es barato.
- Es fácil de aplicar debido a su relativa alta solubilidad.
- Deja una concentración residual en el agua potable, que no es dañina para el hombre y protege el sistema de distribución.
- Es muy tóxico para la mayoría de los microorganismos, ya que detiene las actividades metabólicas.

2.1.5.7.1.3 Desinfección por Radiación Ultravioleta:

Aunque la radiación ultravioleta no es popular en el tercer mundo, es el único método físico práctico que puede usarse para la desinfección del agua en comunidades pequeñas (con sistema centralizado de agua). Las aplicaciones prácticas de la radiación ultravioleta comenzaron en 1901 cuando se consiguió producir esta luz artificialmente.

El mecanismo de desinfección se basa en un fenómeno físico por el cual las ondas cortas de la radiación ultravioleta inciden sobre el material genético (ADN) de los microorganismos y los virus, y los destruye en corto tiempo, sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada.

Ventajas de la desinfección:

- Sencillez de operación y mantenimiento
- No requiere productos químicos.
- El tiempo de exposición requerido es muy corto en comparación con la duración del contacto necesario para los desinfectantes químicos convencionales, por lo que no requiere de tanques de contacto.

2.1.5.8.1.4 Desinfección por Filtración Lenta:

La filtración lenta en arena es el sistema de tratamiento de agua más antiguo del mundo. Copia el proceso de purificación que se produce en la naturaleza cuando el agua de lluvia atraviesa los estratos de la corteza terrestre y forma los acuíferos o ríos subterráneos. El filtro lento se utiliza principalmente para eliminar la turbiedad del agua, pero si se diseña y opera convenientemente puede ser considerado como un sistema de desinfección del agua.



Ilustración 7 Filtro Lento de arena en zona rural

Fuente: CEPIS

2.1.5.9.1.5 Desinfección por ozono:

El ozono es conocido desde hace más de cien años. En 1840 se le dio el nombre actual "ozein", que significa heder, oler. En 1857 se diseñó un generador y en 1906 se usó por primera vez en una planta de tratamiento de agua, en Niza, Francia.

La desinfección por ozonización consiste en agregar cantidades suficientes de ozono lo más rápidamente que sea posible, de manera que satisfaga la demanda y mantenga un residuo de ozono durante un tiempo suficiente para asegurar la inactivación o destrucción de los microorganismos. La demanda de ozono en la mayoría de los sistemas de abastecimiento de agua suele ser mayor a la del cloro, debido a su gran potencial de oxidación. Los procesos de desinfección por ozono normalmente tratan de mantener un residual mínimo de 0,4 a 0,5 ppm después de 10 a 20 minutos de contacto con el agua.

El ozono (O_3) es un gas alótropo del oxígeno. A la temperatura y presión del ambiente es un gas inestable que se descompone rápidamente para volver a la molécula de oxígeno (O_2). Debido a esta característica, no se puede almacenar o envasar, sino que debe generarse in situ y usarse inmediatamente. Por lo general, la ozonización se utiliza cuando se requiere su propiedad más importante: su elevado potencial oxidante, que permite eliminar los compuestos orgánicos que dan color, sabor u olor desagradables al agua y, al mismo tiempo, cuando se desea inactivar los microorganismos patógenos del agua.

Una característica importante de la ozonización es la ausencia de efecto residual, lo cual es un beneficio porque si el ozono se mantuviese en el agua le daría un sabor desagradable, pero a la vez es una desventaja, ya que, como se ha expresado, es necesario asegurar la calidad del agua hasta que llegue al consumidor mediante algún efecto residual (Solsona, F. 2000).

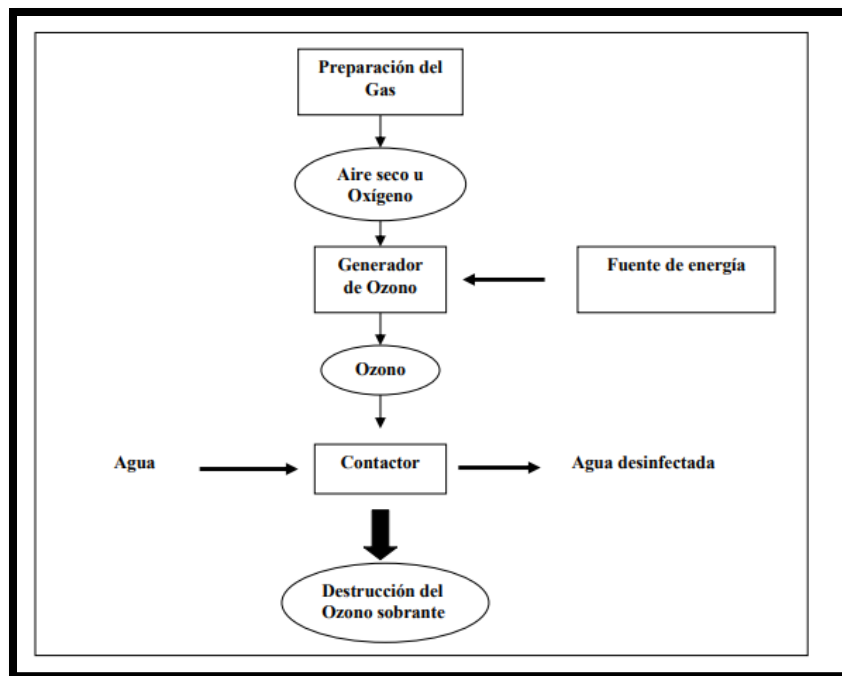


Ilustración 8 Esquema básico del proceso de ozonización

Fuente: Ing. Leonardo Moya González

2.2 Marco Situacional

2.2.1 Contexto Geográfico

El presente proyecto se enfoca en la planta potabilizadora, ubicada en la provincia de Puntarenas, específicamente en el cantón de Puntarenas, distrito número 8 Barranca.

El sistema de abastecimiento de agua potable del Gran Puntarenas, abastece dos sectores de la ciudad de Puntarenas, el primero comprende la parte este de dicha provincia desde el sitio conocido como la Angostura hasta Barranca, mientras que la segunda comprende la parte oeste desde la Angostura hasta la Punta.

2.2.3 Contexto temporal:

El Proyecto contempló dos etapas de desarrollo, la primera fue puesta en funcionamiento a principio del año 1990, la ampliación de la planta potabilizadora en estudio (II etapa) comenzó su operación a mediados del año 1998.

2.2.4 Historia de la potabilización en Costa Rica:

En Costa Rica la importancia del agua ha quedado simbolizada en el Centro Histórico Arqueológico de Guayabo, en donde la red hidráulica está compuesta por un sistema de acueductos, tanto abiertos como subterráneos, tanques de captación y almacenamiento de agua, puentes y pozos verticales de drenaje. Dichas obras aseguraban el aprovisionamiento de agua potable y el drenaje de aguas pluviales (Coto y Sánchez, 1998).

En octubre de 1868, en la administración de Don Juan Rafael Mora, se inauguró la cañería de la ciudad capital, junto con la fuente ubicada en el Parque Central de San José, cuyo objetivo era brindar agua potable a los vecinos (Coto y Sánchez, 1998).

Los expresidentes Cleto González Víquez (1906-10, 1928-32) y Ricardo Jiménez Oreamuno (1910-14, 1924-28, 1932-36), se preocuparon por mejorar las condiciones sanitarias de los habitantes de Costa Rica. Sus esfuerzos se materializaron en múltiples acueductos y cañerías, y constituyeron la base para los excelentes índices de salud del país. Así, González Víquez impulsó la construcción de tanques de sedimentación, filtración y cloración de San José. Don Ricardo Jiménez, consciente de la importancia de dotar de agua potable a los pueblos para prevenir enfermedades, destinó una suma importante del Tesoro Público a la construcción de nuevas cañerías, mejoras y otros servicios de abastecimiento de agua potable (Coto y Sánchez, 1998).

En 1940 en Tres Ríos se construyó, durante la administración de Calderón Guardia, una planta de tratamiento y un tanque de almacenamiento, con el fin de mejorar la distribución y el servicio. En 1941 nació la Ley de Aguas, que entre otras

cosas encargó a la Secretaría de Salubridad Pública de todos los asuntos relativos al agua potable.

Ante la crisis de escasez y mala calidad del agua, en la década de los cincuenta, se construyeron plantas de tratamiento en otras localidades y acueductos en las provincias de Alajuela, Heredia, Guanacaste, Puntarenas y Limón. Por otro lado, se demostró que los gobiernos locales no tenían capacidad técnica, administrativa, ni financiera para manejar el suministro de agua potable a la población, por lo que en 1961 se creó mediante la Ley 2726 el Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillado (SNAA) considerada por don Mario Echandi como “la medida de mayor trascendencia nacional en favor de la salud pública durante los últimos 50 años” (AyA, 1996). Para solucionar la crisis se perforaron pozos, se ampliaron plantas, se cambiaron filtros lentos por filtros rápidos, se mejoraron redes de distribución, se aumentó la capacidad de los tanques de almacenamiento y se aprovecharon otras fuentes de abastecimiento. Así, en 1970 se inauguró el primer acueducto y en 1977 el segundo acueducto metropolitano. El SNNA intervino en otras provincias con mayor fuerza para reforzar o reconstruir los acueductos.

En la gestión de Carazo Odio (1978-1982) se proyectó el Programa de acueductos rurales y se estableció un programa de apoyo a las municipalidades, se ampliaron los controles de calidad del agua y se incorporó nueva tecnología al Laboratorio Central de Tres Ríos, centro desde el cual el AyA ejerce el control de calidad del agua de todos los acueductos. En la gestión de Arias Sánchez (1986-1990) se inauguró el acueducto de Orosi, tercer acueducto metropolitano, con el propósito de garantizar el abastecimiento de agua potable a la GAM hasta fines del siglo y logrando abastecer en esa fecha al 100 % de la población urbana y el 93.6 % de toda la población incluyendo las áreas rurales (Coto y Sánchez, 1998).

CAPÍTULO II. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Marco Metodológico

3.1.1 Paradigma

El agua ya no es un recurso inagotable como lo hacían saber en años anteriores, debido al mal uso que ha hecho el ser humano, datos oficiales afirman que solo el 0.007 % del agua existente en la Tierra es potable, y esa cantidad se reduce año tras año debido a la contaminación que provoca el ser humano.

Se calcula que el 97 % es agua salada y solo el 2.5 % del agua que existe en la Tierra se considera dulce.

Esa agua dulce en nuestro país es tratada mediante la desinfección por cloración, sin embargo, va a llegar un momento que se va a acabar y se van a tener que tomar medidas como las que ya se están aplicando en países como la India donde un equipo de ingenieros ganó un premio de 140.000 dólares por idear un sistema para que las comunidades rurales de lugares como la India tuvieran acceso a este preciado líquido.

El método consistía en desalinizar el agua marina mediante energía solar.

El sistema propuesto por el equipo de ingenieros es, en verdad, simple. Utiliza paneles solares para cargar una serie de baterías, que se utilizan para eliminar la sal del agua mediante electrodiálisis. Las partículas de sal disueltas en el agua, a diferencia del líquido, tienen una pequeña carga eléctrica. Esta propiedad puede utilizarse para extraerlas aplicando una corriente eléctrica. En otras palabras, estas partículas son atraídas como si se utilizara un imán para limpiar una piscina llena de clavos de hierro. Además, el líquido es expuesto a luz ultravioleta durante el proceso, para así desinfectarlo y volverlo apto para el consumo.

La desalinización a gran escala es uno de los grandes retos al que se enfrenta la humanidad, como solución ante una población cada vez más numerosa. De hecho, es una de las diez tecnologías emergentes que el MIT considera que cambiarán el mundo. No obstante, antes de transformar el planeta entero es necesario dar los primeros pasos, y un sistema como este podría abastecer de agua a comunidades aisladas y empobrecidas por poco dinero y sin apenas consumir energía. Todo gracias a la electrodiálisis y a nuestro vecino el Sol.

3.1.2 Enfoque Metodológico

Se dice que la investigación cuantitativa se basa en la medición numérica, analiza el comportamiento de una serie de causas y efectos a partir de los datos numéricos obtenidos.

En vista de eso y por la naturaleza del presente proyecto, su alcance y los objetivos propuestos se consideró apropiado desarrollarlo mediante el enfoque cuantitativo, ya que primeramente se deben de recopilar los datos e información relacionada con la planta como por ejemplo revisión de planos, memorias descriptivas, fichas técnicas, entre otros, para conocer la principales características de la misma, para posteriormente procesarlos y analizarlos de acuerdo con una tabulación y finalmente realizar la respectiva interpretación de los mismos.

3.1.3 Métodos de investigación

Para el presente proyecto se utilizará el método de investigación experimental específicamente los cuasiexperimentos, ya que el desarrollo del proyecto en su mayoría se basará en la realización de pruebas de laboratorio como la prueba de trazadores, así como el ensayo de dosis óptima de cloro, también se tomarán muestras de agua para luego proceder a realizar los ensayos respectivos.

3.1.4 Categoría de análisis de la investigación

En el presente proyecto se tienen como variables independientes las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua.

Las características físicas también son conocidas como organolépticas es decir, puede ser percibidas a través de los sentidos, entre ellas están las siguientes:

- Turbiedad
- Color
- Temperatura
- Olor
- Sabor

El pH, la alcalinidad y la dureza pertenecen a las características químicas.

En relación con las características bacteriológicas tenemos los coliformes fecales, virus y bacterias.

Entre las variables dependientes tenemos la medición de la dosis del coagulante y la medición de los tiempos de retención.

3.1.5 Población y muestra

La población y la muestra para el presente proyecto es la planta potabilizadora como un todo.

3.1.6 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

La fuente primaria para la recolección de información y datos serán los registros del manejo operacional de la planta potabilizadora, así como los históricos del funcionamiento de esta en cada una de sus etapas para potabilizar el agua.

Para determinar la condición hidráulica de la planta, especialmente de floculadores y sedimentadores, se realizará la prueba de trazadores, utilizando sal como trazador.

Dicha prueba consiste en agregar la sustancia trazadora en el afluente del tanque o reactor que se quiere analizar, con una concentración conocida y determinando a la salida la forma como dicha concentración se distribuye a través del tiempo.

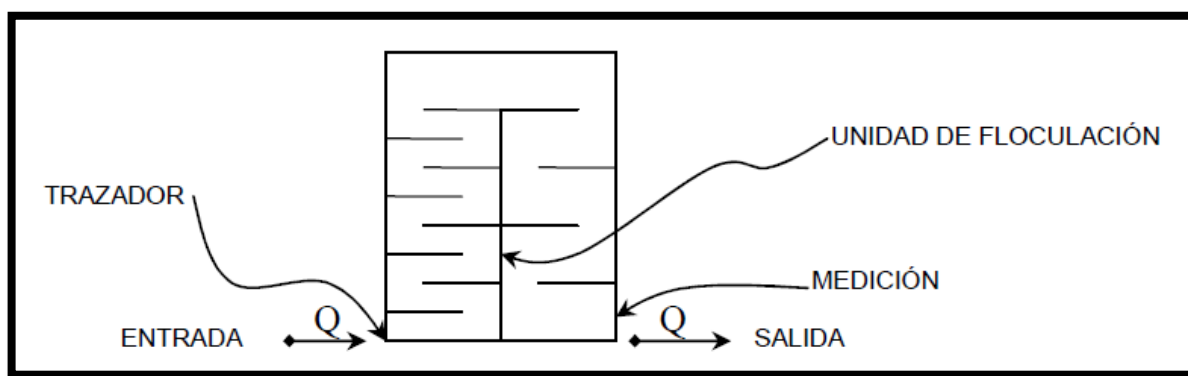


Ilustración 9: Uso de trazadores en una unidad de floculación

Fuente: Erick Fernando Hernández Ramírez

En plantas de tratamiento su uso ha sido limitado, pero muy útil para determinar la distribución del flujo en unidades paralelas y evaluar las condiciones hidráulicas. En la actualidad estos ensayos se utilizan principalmente para determinar los tiempos reales de retención y sus principales características concomitantes: tipos de flujo, espacios muertos y cortocircuitos hidráulicos en unidades de tratamiento como mezcladores rápidos, floculadores, sedimentadores, así como en modelos de reactores en etapa de diseño para conocer su comportamiento hidráulico y deficiencias en forma previa a su construcción, lo cual es de enorme utilidad práctica. También tienen aplicación los ensayos de trazadores para la medición de caudal.

Para la evaluación sanitaria se llevará a cabo el ensayo de dosis óptima de cloro, así como medición de turbiedades, también se hará uso de instrumentos como, comparador de cloro digital, turbidímetros, entre otros.

De acuerdo con el capítulo 3 de las normas CEPIS denominado Evaluación de plantas convencionales y tecnología apropiada, para cada uno de los procesos de la planta se desarrollará los siguientes ensayos.

Para determinar el comportamiento de las Unidades de Mezcla Rápida se llevarán a cabo los siguientes ensayos:

Evaluación Hidráulica

1. Geometría de la Unidad:

Consiste en determinar si la unidad fue correctamente proyectada, se debe observar que el resalto se produzca al pie de la rampa y que el coagulante se esté distribuyendo uniformemente a todo lo ancho del resalto, exactamente en el punto en que este se inicia.

2. Tiempo Real de retención:

El tiempo real de retención puede determinarse por medio del ensayo con trazadores. Corresponde al tiempo de presentación de la máxima concentración del trazador.

3. Intensidad de la mezcla:

Se determinará el gradiente de velocidad de la unidad de mezcla rápida. Para calcular el gradiente de velocidad se debe de obtener la pérdida de carga, el tiempo de retención mediante trazadores y la temperatura del agua.

Para evaluar las características del proceso de Floculación se llevarán a cabo los siguientes ensayos:

Evaluación Hidráulica

1. Caudal de Operación:

Para todos los cálculos que se van a efectuar, se requiere conocer el caudal de operación de la unidad. Cuando hay una sola unidad, el caudal de operación será igual al caudal de operación de toda la planta, sin embargo, si se tienen varias unidades operando en paralelo, será necesario efectuar una prueba de distribución de caudales aplicando trazadores.

2. Tiempo de retención real y características hidráulicas de la unidad:

La determinación del tiempo real de retención se efectuará mediante la aplicación de trazadores.

Evaluación Sanitaria

3. Tiempo formación inicial del flóculo:

Este ensayo tiene como finalidad determinar el tiempo que demora el flóculo en empezar a formarse.

4. Tamaño del flóculo producido:

El ensayo consiste en determinar el tamaño del flóculo formado en la unidad de floculación.

La evaluación de una Unidad de Sedimentación comprende los siguientes ensayos:

Evaluación Hidráulica

1. Determinación de Condiciones Hidráulicas:

Para determinar las condiciones hidráulicas que se presentan en las unidades, se sugieren los siguientes ensayos de caracterización de flujo:

- a) Determinación del porcentaje de flujos de pistón y mezclado.
- b) Determinación de espacios muertos y cortocircuitos.
- c) Determinación del tiempo real de retención.
- e) Carga superficial real.

2. Determinación de Carga Superficial Real:

Con la ayuda del ensayo de trazadores, primero se determina el tiempo real de la unidad y finalmente se obtiene la carga Superficial Real.

Para la evaluación del proceso de filtración se llevarán a cabo los siguientes ensayos:

Evaluación Sanitaria

1. Características del proceso de filtración

Se evalúa principalmente las variaciones de la velocidad de filtración durante el proceso, la calidad del filtrado inicial que se obtiene y la duración de las carreras de filtración.

2. Características del proceso de lavado:

Durante la puesta en marcha de la planta, a fin de efectuar los ajustes necesarios para que los filtros se conserven en buen estado, se deben efectuar las siguientes pruebas:

- **Expansión del Medio Filtrante:** Consiste en determinar el porcentaje de aumento de espesor del lecho filtrante durante la operación de lavado.
- **Duración del Proceso del lavado:** Determinar el tiempo óptimo en que debe ejecutarse la operación de lavado.

3. Características del Medio Filtrante:

Para conocer las características del medio filtrante se deben de efectuar las siguientes pruebas.

- **Granulometría del Medio Filtrante:** Determinar el tamaño de los granos que componen una muestra del medio filtrante.

Para evaluar las características de las instalaciones de desinfección se deben de llevar a cabo los siguientes ensayos:

Evaluación Sanitaria

1. **Tiempo real de contacto:** consiste en determinar el tiempo en que el cloro permanece en contacto con la masa de agua, antes de que esta empiece a distribuirse.
2. **Dosis Óptima de Cloro o Curva de Demanda de Cloro:** Determinar la dosis de cloro que satisface la demanda de todo el sistema produciendo el residual apropiado en el punto más alejado.

Para la toma de muestras y la realización de los ensayos respectivos se hará uso de instrumentos como comparador de cloro, turbidímetro, potenciómetro, analizador de agua, equipo de buretas, cronómetro, entre otros.

Evaluación del cloro residual

La prueba más común es el indicador de DPD (dietil-para-fenil-diamina) mediante un kit de comparación. Esta prueba es el método más rápido y sencillo para evaluar el cloro residual. En esta prueba, se añade una tableta de reactivo a una muestra de agua, que la tiñe de rojo. La intensidad del color se compara con una tabla de colores estándar para determinar la concentración de cloro en el agua, o mediante un comparador de cloro digital. Cuanto más intenso el color, mayor es la concentración de cloro en el agua.

R-Chemical expertos en tratamiento de agua menciona que:

Cuando se requiere determinar si el agua es apta para consumo humano antes de abastecerla a una población, es preciso tener herramientas de control muy rápidas y muy seguras. Pues no podemos esperar los resultados de una

prueba bacteriológica que toma 24 horas, dado que el abastecimiento de agua potable es constante e ininterrumpido.

Para descartar de cierto modo un caso de contaminación bacteriana, resulta muy práctico realizar una prueba de Cloro Residual Libre, por el método colorimétrico (DPD). Este es el método por excelencia, elegido por miles de Plantas Potabilizadoras dada la sencillez en la determinación y en especial por la facilidad con que se encuentran los equipos, kits y reactivos para los ensayos.



Ilustración 10 Colorímetro portátil

hualix.com.pe

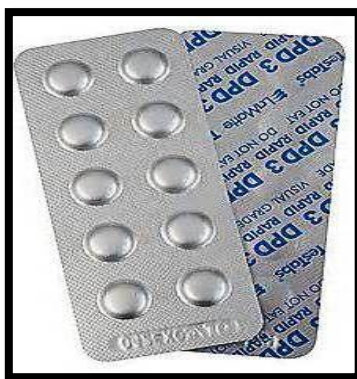


Ilustración 11 Pastilla DPD

Corporación Química AyL

El turbidímetro es un instrumento que a través del análisis óptico determina la cantidad de sustancias en un líquido, se emplea en la medición de partículas en suspensión en un líquido o gas disuelto.

Puede ser un instrumento portátil o fijo.

El Potenciómetro es un dispositivo conformado por 2 resistencias en serie, permite medir la diferencia de potencial eléctrico.

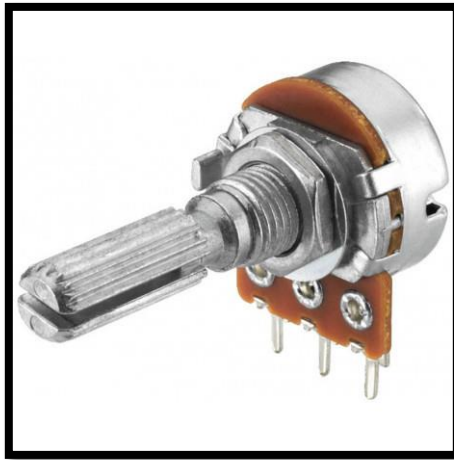


Ilustración 12 Potenciómetro

Fuente: www.ecobadajoz.es

Bureta: es un instrumento para trasvasar determinados volúmenes de líquidos. Puede tener una llave de cierre y está graduada en mililitros (ml).

Cronómetro: son utilizados para medir el tiempo, que es una variable muy importante, cuando se realizan ciertas prácticas experimentales en el laboratorio.



Ilustración 13 Cronómetro

Fuente: www.ecoyoga.es

Se trabajará con el equipo que se encuentra en el laboratorio de la planta, considerando que dichos equipos están calibrados adecuadamente.

3.1.7 Técnicas e instrumentos para el procesamiento y Análisis de datos

Una vez recolectado los datos, se procede a la revisión, sistematización, análisis, digitalización y procesamiento de estos, los cuales se tabularán de manera simple en un Software como lo es el Microsoft Excel, que permite el manejo de base de datos, elaboración de diagramas, tablas, aplicación de fórmulas, entre otros.

Por otra parte, no se descarta la utilización de otro software que facilite el procesamiento de estos.

Se hará uso de normativa como el Reglamento para la Calidad del Agua Potable, así como las Normas de Control de Calidad de Agua (CEPIS).

Para evaluar las condiciones hidráulicas tanto en los floculadores como en los sedimentadores se hará uso del método de análisis de la curva de tendencia.

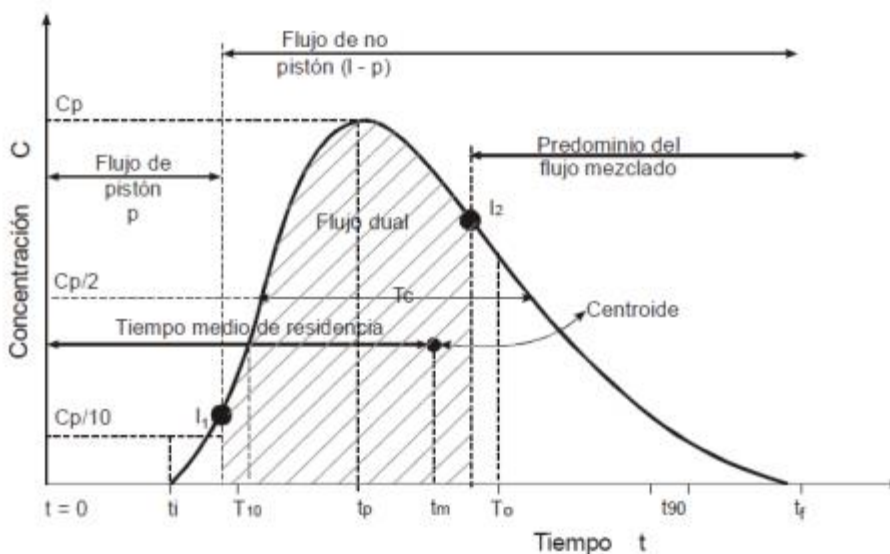


Ilustración 14 Concentración del trazador en el efluente de un reactor

Fuente: Marisabel Vivas Morales

Al aplicar trazadores ya sea a un floculador o un sedimentador y analizar las muestras tomadas a la salida, se obtienen una serie de valores de concentración que aumentan hasta llegar a un máximo y luego disminuyen progresivamente, originando una curva como la presentada en la ilustración 14.

El método consiste en analizar la eficiencia hidráulica de un reactor a partir de la tendencia de la curva de concentración del trazador, de acuerdo con las relaciones de los parámetros obtenidos se puede identificar cuáles son las condiciones del flujo que presenta dicho reactor.

Modelos de Flujo

En las unidades de tratamiento de una planta, desde el punto de vista hidráulico, el flujo del líquido puede ser de dos tipos: discontinuo o intermitente y continuo.

- **Flujo intermitente:** es el menos habitual y consiste en llenar la unidad y dejar un tiempo el líquido en ella mientras se produce el proceso correspondiente, que puede realizarse con o sin mezcla, vaciar la unidad y repetir el ciclo.

Este tipo de flujo, en la mayoría de los casos, no es práctico y generalmente lo procesos en una planta de tratamiento son de flujo continuo.

- **Flujo continuo:** este tipo de flujo es el habitual en las plantas de tratamiento de agua, teniendo esta característica, los reactores pueden ser de flujo pistón, mezclado o ideal.
 - a. **Flujo de pistón:** se describe como aquel en el que todas las partículas del fluido que entran a la unidad permanecen en ella el mismo tiempo. De esta manera, los elementos de fluido pasan a través del sistema y son descargados en la misma secuencia en que fueron introducidos y no hay ningún tipo de mezcla entre el fluido que ingresa y el fluido que está en la unidad.
 - b. **Flujo mezclado:** es aquel en el que todo elemento que ingresa al reactor se dispersa inmediatamente dentro de él. Además, se cumplirá que la concentración de una sustancia a la salida de la unidad es igual a la existente en todo el reactor. En la práctica es muy difícil lograr un flujo con estas características; solo se presentará bajo condiciones ideales.
 - c. **Flujo no ideal:** este tipo de flujo corresponde a cualquier grado intermedio entre flujo a pistón y mezcla completa con otras posibles alteraciones como la presencia de zonas muertas, cortos circuitos hidráulicos. Viene a ser el tipo de flujo que se encuentra usualmente en las unidades de tratamiento en las plantas.

De igual modo durante el desarrollo de los ensayos se tomará en consideración los siguientes parámetros:

Tabla 1. Parámetros de Calidad del agua

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Coliforme fecal	NMP/100 mL o UFC/100 mL	Ausente	Ausente
<u>Escherichia coli</u> ^a	NMP/100 mL o UFC/100 mL	Ausente	Ausente
Color aparente	mg/L (U - Pt-Co)	5	15 ²
Turbiedad	UNT	<1	5 ²
Olor	--	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Sabor	--	Debe ser aceptable	Debe ser aceptable
Temperatura	°C	18	30
pH ^c	Valor pH	6,5	8,5
Conductividad	µS/cm	400	
Cloro Residual Libre	mg/L	0,3	0,6
Cloro Residual Combinado	mg/L	1,0	1,8

a) El indicador bacteriológico más preciso de contaminación fecal es la Escherichia coli
 b) VMA en no más del 10% de las muestras analizadas durante el año
 c) Las aguas deben ser estabilizadas de manera que no produzcan efectos corrosivos ni incrustantes en los acueductos o en los utensilios domésticos, utilizados para calentar o hervir el agua

Fuente: Reglamento para la Calidad del Agua Potable

Para la evaluación de cada uno de los procesos de la potabilización del agua se tomarán en cuenta los siguientes parámetros:

Coagulación / Mezcla Rápida:

Parámetros

- El coagulante debe mezclarse lo más rápido posible: tiempo de retención mezcla rápida (1 a 2 s).
- Coagulante debe mezclarse lo más eficiente posible: agitación intensa: gradiente de velocidad G (2 000 s⁻¹).

Floculación / Mezcla Lenta

Parámetros

- El choque se promueve lentamente: tiempo de retención mezcla lenta (20 a 30 min).
- El choque se da a baja intensidad: gradiente de velocidad G (30 a 80 s⁻¹).

Sedimentación (Decantación)

Parámetros

- El proceso se promueve a una baja velocidad del agua, generalmente en régimen laminar (Re < 2 000).
- Proceso físico de sedimentación.

Filtración

Parámetros

- El proceso se promueve a una velocidad que permita la retención de los flóculos, de acuerdo con la constitución del lecho filtrante.
- Proceso físico de cernido.

Desinfección

Parámetros

- El proceso se promueve a un tiempo de retención que permita la eliminación de los patógenos, de acuerdo con el tipo de desinfectante usado.
- Proceso químico o físico, según caso.

Finalmente, después de recolectados los datos mediante los ensayos se hará uso de fórmulas como las siguientes:

Cálculo tiempo de retención

$$P = \frac{V}{Q} \text{ (s)}$$

$V =$ volumen (m^3)

$Q =$ caudal (m^3/s)

Determinación Cargas Superficial Real

$$q = \frac{H}{T_0} \quad (m^3/m^2/d)$$

$H =$ Profundidad (m)

$T_0 =$ Tiempo de retención (s)

Cálculo velocidad de filtración antes y después del lavado

$$V = \frac{Q}{A} \quad (m^3/m^2/d)$$

$Q =$ Caudal (m^3/s)

$A =$ Área (m^2)

Expansión del lecho filtrante

$$\% \text{ Expansión} = \frac{h * 100}{H}$$

Intensidad de la mezcla

$$G = \sqrt{\frac{\delta}{\mu}} * \sqrt{H/Tr} \quad (s^{-1})$$

$$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}} = \text{Relación que depende de la temperatura}$$

$H =$ Pérdida de carga (cm)

$Tr =$ Tiempo Real de Retención de la mezcla (s)

CAPÍTULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Análisis de Resultados

4.1.1 Mezcla Rápida

4.1.1.1 Geometría de la Unidad

De acuerdo con la inspección realizada se pudo observar que el funcionamiento de la unidad de mezcla rápida era correcto, ya que el resalto se produce al pie de la rampa y el coagulante se distribuye de manera uniforme a todo lo ancho de la zona en turbulencia.

4.1.1.2 Tiempo Real de Retención de la mezcla

Se determinó el volumen del resalto hidráulico. Con dicho volumen obtenido y el caudal que estaba ingresando a la planta, se logró determinar el tiempo real de retención aplicando la siguiente fórmula.

$$t = \frac{V}{Q} \quad (1)$$

Donde:

V = volumen del resalto hidráulico (m^3)

Q = caudal real que estaba ingresando a la planta (m^3/s)

$$V = \frac{(h_1 + h_2) * l}{2} * b \quad (2)$$

Donde:

h_1 = altura 1 (m)

h_2 = altura 2 (m)

l = largo (m)

b = ancho (m)

$$V = \frac{(0.60 \text{ m} + 0.585 \text{ m}) * 4 \text{ m}}{2} * 0.84 \text{ m}$$

$$V = 1.99 \text{ m}^3$$

$$t = \frac{1.99 \text{ m}^3}{0.29 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$t = 6.86 \text{ s}$$

En ese momento la planta estaba operando con bajas turbiedades, es decir, se estaba dando coagulación por barrido, por lo que el dato de tiempo real de retención obtenido es correcto, ya que la teoría indica que cuando se da coagulación por barrido el tiempo de mezcla puede variar desde menos de uno hasta 7 segundos.

Es importante mencionar que la planta no estaba operando con el caudal para lo cual fue diseñada, es decir, el caudal al momento en que se realizó la prueba era de 290 l/s, lo que se logra ver que dicho caudal era menor que el de diseño 350 l/s.

4.1.1.3 Intensidad de la mezcla

Con el tiempo de retención obtenido anteriormente, la pérdida de carga y la temperatura, se determinó la intensidad de la mezcla aplicando la siguiente fórmula:

$$G = \sqrt{\frac{\delta}{\mu}} * \sqrt{H/Tr} \quad (3)$$

Donde:

$$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}} = \text{Relación que depende de la temperatura}$$

$H =$ Pérdida de carga (cm)

T_r = Tiempo Real de Retención de la mezcla (s)

Temperatura (°C)	$\sqrt{\gamma\mu}$
0	2,337
4	2,502
10	2,737
15	2,920
17	2,998
20	3,115
25	3,267

Fuente: CEPIS

$$H = h_1 - h_2$$

$$H = 60 \text{ cm} - 58.5 \text{ cm}$$

$$H = 1.5 \text{ cm}$$

$$G = 3267 * \sqrt{1.5 \text{ cm} / 6.86 \text{ s}}$$

$$G = 1528 \text{ s}^{-1}$$

4.1.2 Floculación

4.1.2.1 Caudal de Operación

La prueba de trazadores permite calcular la distribución del caudal en los floculadores.

Al momento de la prueba, la planta estaba operando con un caudal de 300 l/s

El cálculo de la distribución se realiza de la siguiente forma:

Total de trazador que ingresó a las 4 floculadores

$$\text{Total trazador} = F1 + F2 + F3 + F4$$

$$\text{Total trazador} = 2435 + 2615 + 3330 + 2972$$

$$\text{Total trazador} = 11352 \text{ Mv/h}$$

Los porcentajes de trazador que pasaron por cada unidad son los siguientes:

$$\text{Floculador 1} = \frac{2435 * 100}{11352}$$

$$\text{Floculador 1} = 21 \%$$

$$\text{Floculador 2} = \frac{2615 * 100}{11352}$$

$$\text{Floculador 2} = 23 \%$$

$$\text{Floculador 3} = \frac{3330 * 100}{11352}$$

$$\text{Floculador 3} = 29 \%$$

$$\text{Floculador 4} = \frac{2972 * 100}{11352}$$

$$\text{Floculador 4} = 26 \%$$

Cálculo de caudales

Floculador 1

$$\frac{21}{100} = \frac{X}{300}$$

$$Q1 = 63 \text{ l/s}$$

Floculador 2

$$\frac{23}{100} = \frac{X}{300}$$

$$Q2 = 69 \text{ l/s}$$

Floculador 3

$$\frac{29}{100} = \frac{X}{300}$$

$$Q3 = 87 \text{ l/s}$$

Floculador 4

$$\frac{26}{100} = \frac{X}{300}$$

$$Q3 = 78 \text{ l/s}$$

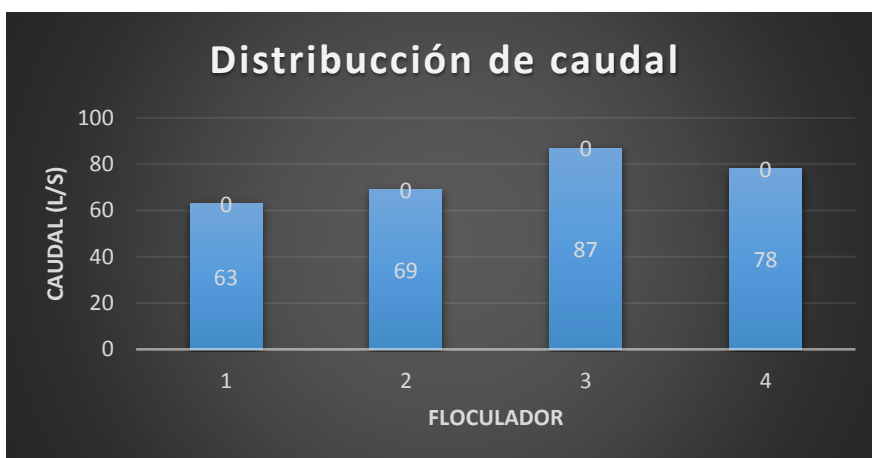
Los cálculos de los resultados realizados se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2. Porcentaje de trazador y distribución del caudal en los floculadores

Parámetros	Floculador 1	Floculador2	Floculador3	Floculador4
Trazador (%)	21	23	29	26
Caudal (l/s)	63	69	87	78

Fuente: Propia

Gráfico 1. Distribución del caudal



Fuente: Propia

De los datos obtenidos de la tabla 2 se puede observar que el caudal no se está distribuyendo en partes iguales en los 4 floculadores, por ejemplo, el floculador 3 es el que conduce el mayor caudal y el floculador 1 es el que conduce menos caudal.

4.1.2.2 Cálculo tiempo teórico de retención

Para dar inicio al ensayo de trazadores primeramente se debe calcular el tiempo de retención teórico el cual es calculado con la siguiente ecuación:

$$t_0 = \frac{V}{Q} \quad (4)$$

Donde

V= volumen de la unidad (m³)

Q= caudal (m³/s)

Dimensiones según planos

Tabla 3. Dimensiones Floculador según planos

Floculador	
L	9.75 m
A	9.6 m
P	1.75 m
V pantallas	46 m³

Fuente: Propia

$$V = L * A * P \quad (5)$$

$$V = 9.75 * 9.6 * 1.75$$

$$V = 164 \text{ m}^3$$

$$V_{final} = V - V_{pantallas} \quad (6)$$

$$V_{final} = 164 - 46$$

$$V_{final} = 118 \text{ m}^3$$

$$t_o = \frac{V}{Q}$$

$$t_o = \frac{118}{0.075/60}$$

$$t_o = 26 \text{ min}$$

Dimensiones tomadas en sitio

Tabla 4. Dimensiones Reales Floculador 1

Floculador 1	
L	9.74 m
A	9.58 m
P	1.73 m
V pantallas	46 m ³

Fuente: Propia

$$V = L * A * P \quad (7)$$

$$V = 9.74 * 9.58 * 1.73$$

$$V = 161.42 \text{ m}^3$$

$$V_{final} = V - V_{pantallas} \quad (8)$$

$$V_{final} = 161 - 46$$

$$V_{final} = 115.42 \text{ m}^3$$

$$t_o = \frac{V}{Q}$$

$$t_o = \frac{115.42}{0.075/60}$$

$$t_o = 25.6 \text{ min}$$

Tabla 5. Dimensiones Reales Floculador 2

Floculador 2	
L	9.74 m
A	9.58 m
P	1.73 m
V pantallas	46 m ³

Fuente: Propia

$$V = L * A * P \quad (9)$$

$$V = 9.74 * 9.58 * 1.73$$

$$V = 161.42 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{final}} = V - V_{\text{pantallas}} \quad (10)$$

$$V_{\text{final}} = 161 - 46$$

$$V_{\text{final}} = 115.42 \text{ m}^3$$

$$t_o = \frac{V}{Q} \quad (11)$$

$$t_o = \frac{115.42}{0.075/60}$$

$$t_o = 25.6 \text{ min}$$

Tabla 6. Dimensiones Reales Floculador 3

Floculador 3	
L	9.75 m
A	9.57 m
P	1.73 m
V pantallas	46 m ³

Fuente: Propia

$$V = L * A * P \quad (12)$$

$$V = 9.75 * 9.57 * 1.73$$

$$V = 161.42m^3$$

$$V_{final} = V - V_{pantallas} \quad (13)$$

$$V_{final} = 161 - 46$$

$$V_{final} = 115.42 m^3$$

$$t_o = \frac{V}{Q} \quad (14)$$

$$t_o = \frac{115.42}{0.075/60}$$

$$t_o = 25.6 \text{ min}$$

Tabla 7. Dimensiones Reales Floculador 4

Floculador 4	
L	9.74 m
A	9.56 m
P	1.73 m
V pantallas	46 m ³

Fuente: Propia

$$V = L * A * P \quad (15)$$

$$V = 9.74 * 9.56 * 1.73$$

$$V = 161.08m^3$$

$$V_{final} = V - V_{pantallas} \quad (16)$$

$$V_{final} = 161.08 - 46$$

$$V_{final} = 115.08 m^3$$

$$t_o = \frac{V}{Q} \quad (17)$$

$$t_o = \frac{115.08}{0.075/60}$$

$$t_o = 25.5 \text{ min}$$

Tabla 8. Resumen Tiempo Teórico vs Tiempo Real

Tiempo Teórico		Tiempo Real	
Floculador 1	26 min	Floculador 1	25.6 min
Floculador 2	26 min	Floculador 2	25.6 min
Floculador 3	26 min	Floculador 3	25.6 min
Floculador 4	26 min	Floculador 4	25.5 min

Fuente: Propia

Según las mediciones plasmadas en los planos y de acuerdo con las mediciones tomadas en sitio se observó que hay diferencias significativas, lo que provoca una variación 0.5 segundos en el dato de tiempo de retención, es decir, según planos se obtuvo un tiempo de 26 minutos y de acuerdo con las mediciones en sitio se obtuvo un tiempo de 25.5 minutos.

4.1.2.3 Tiempo de Retención Real y Características de la Unidad

Para obtener el tiempo de retención real y las características de la unidad se realizó una prueba de trazadores.

Primeramente, se agregó una sustancia trazadora, se escogió sal de mesa. Se vertieron 70 kg en la canaleta de entrada de la planta.

Luego de pasados 20 minutos (tiempo anterior al de retención teórico), se comenzaron a tomar muestras a la salida de los floculadores cada 5 minutos durante 2 horas, luego de tomadas las 25 muestras se procedió a medir la conductividad a cada una, mediante un conductímetro digital proporcionado por la planta.

En el anexo B se encuentran todos los datos, tablas y gráficos obtenidos a partir de la utilización del método matemático denominado curva de tendencia (curva de Gauss).

Tabla 9. Parámetros de la curva de tendencia de concentración del trazador

Tiempos (min)	To	ti	Tp	tf	Tc	Tb	t50
Floculador 1	26	20	20	140	43.5	67	65
Floculador 2	26	20	20	140	57	87	30
Floculador 3	26	20	25	140	22.5	63	30
Floculador 4	26	20	25	140	18	34	35

Fuente: Propia

Tabla 10. Parámetros principales

Variable	Significado
To	Tiempo medio de retención o tiempo teórico de retención
Ti	Tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente
tp	Tiempo modal, correspondiente a la presentación de la máxima concentración
tf	Tiempo que transcurre hasta que atraviesa la totalidad del trazador al reactor
tc	Representa la distancia dentro de la curva en el punto $C = C_p/2$
tb	Representa la distancia dentro de la curva en el punto $C = C_p/10$
t50	Tiempo mediano, correspondiente al paso del 50% de la cantidad del trazador

Fuente: Propia

Tabla 11. Relaciones de los parámetros de la Curva de Tendencia de Concentración del Trazador

Reactor	ti/to	t50/to	tp/to	tc/to	tb/to	e	Im
Floculador 1	0.76	2.5	0.76	1.6	2.5	4.8	16.4
Floculador 2	0.76	1.1	0.76	2.2	3.3	4.8	18.4
Floculador 3	0.76	1.1	0.96	0.8	2.4	4.4	273
Floculador 4	0.76	1.3	0.96	0.6	1.3	4.4	231

Fuente: Propia

Tabla 12. Floculador 1 resumen relaciones parámetros

Variable	Dato	Condición
ti/to	0.76 > 0.3	no hay evidencia de cortos circuitos
t50/to	2.5 > 1	existencia de espacios muertos donde se queda retenido el trazador
%	76%	Flujo pistón
%	24%	Flujo mezclado

Fuente: Propia

Tabla 13. Floculador 2 resumen relaciones de parámetros

Variable	Dato	Condición
ti/to	0.76 > 0.3	no hay evidencia de cortos circuitos
t50/to	1.15 > 1	existencia de espacios muertos donde se queda retenido el trazador
%	76%	Flujo pistón
%	24%	Flujo mezclado

Fuente: Propia

Tabla 14. Floculador 3 resumen relaciones de parámetros

Variable	Dato	Condición
ti/to	0.76 > 0.3	no hay evidencia de cortos circuitos
t50/to	1.15 > 1	existencia de espacios muertos donde se queda retenido el trazador
%	96%	Flujo pistón
%	3%	Flujo mezclado

Fuente: Propia

Tabla 15. Floculador 4 resumen relaciones de parámetros

Variable	Dato	Condición
ti/to	0.76 > 0.3	no hay evidencia de cortos circuitos
t50/to	1.3 > 1	existencia de espacios muertos donde se queda retenido el trazador
%	96%	Flujo pistón
%	3%	Flujo mezclado

Fuente: Propia

De acuerdo con los datos obtenidos de la tabla 10 se puede observar que los floculadores presentan un comportamiento hidráulico de flujo dual, es decir, una porción del flujo es de pistón y la otra mezclado.

Las unidades no presentan problemas hidráulicos por cortos circuitos, sin embargo, si presentan espacios muertos donde pueda quedar retenido el trazador, el tiempo real de retención es muy cercano al teórico.

4.1.2.4 Tiempo formación inicial del flóculo:

Este ensayo no fue posible realizarlo, ya que el desarrollo del proyecto se hizo en época seca, lo que provoca que la planta trabaje con bajas turbiedades, un ejemplo de ello es que las mediciones de las turbiedades en el efluente estaban en un rango de 1.8 UNT a 2.0 UNT.

4.1.2.5 Tamaño del Flóculo producido:

De igual modo este ensayo no fue posible realizarlo, por las mismas razones del ensayo del punto 4.1.2.4.

4.1.3 Sedimentación

4.1.3.1 Cálculo tiempo teórico de retención

Para dar inicio al ensayo de trazadores primeramente se debe calcular el tiempo de retención teórico el cual es calculado con la siguiente ecuación:

$$t_o = \frac{V}{Q} \quad (18)$$

Donde

V = volumen de la unidad (m^3)

Q = caudal (m^3/s)

Tabla 16. Dimensiones sedimentador según planos

Sedimentador	
L	9.85 m
A	7.85 m
P	3 m
V tolva	12 m^3
V pantallas	22 m^3

Fuente: Propia

$$V = L * A * P \quad (19)$$

$$V = 9.85 * 7.85 * 3$$

$$V = 231 \text{ m}^3$$

$$V_{final} = V - V_{tolva} - V_{pantallas} \quad (20)$$

$$V_{final} = 231 - 12 - 22$$

$$V_{final} = 197 \text{ m}^3$$

$$t_o = \frac{V}{Q} \quad (21)$$

$$t_o = \frac{197}{0.075/60}$$

$$t_o = 43 \text{ min}$$

4.1.3.2 Determinación de Condiciones Hidráulicas

Para obtener las condiciones hidráulicas de la unidad se realizó una prueba de trazadores.

Esta prueba fue realizada en conjunto con la prueba de trazadores de los floculadores.

Luego de pasados 33 min (tiempo anterior al de retención teórico), se comenzaron a tomar muestras a la salida de uno de los sedimentadores cada 5 minutos durante dos horas, luego de tomadas las 25 muestras se procedió a medir la conductividad, mediante un conductímetro digital proporcionado por la planta.

En el anexo B se encuentran todos los datos, tablas y gráficos obtenidos a partir de la utilización del método matemático denominado curva de tendencia (curva de Gauss).

Tabla 17. Parámetros de la curva de tendencia de concentración del trazador

Tiempos (min)	To	Ti	Tp	tf	Tc	tb	t50
Sedimentador	43	53	53	173	54	143	78

Fuente: Propia

Tabla 18. Parámetros Principales

Variable	Significado
To	Tiempo medio de retención o tiempo teórico de retención
Ti	Tiempo inicial desde que se aplica el trazador hasta que aparece en el efluente
Tp	Tiempo modal, correspondiente a la presentación de la máxima concentración
Tf	Tiempo que transcurre hasta que atraviesa la totalidad del trazador al reactor
Tc	Representa la distancia dentro de la curva en el punto $C = C_p/2$
Tb	Representa la distancia dentro de la curva en el punto $C = C_p/10$
t50	Tiempo mediano, correspondiente al paso del 50% de la cantidad del trazador

Fuente: Propia

Tabla 19. Relaciones de los parámetros de la curva de tendencia de concentración del trazador

Reactor	ti/to	t50/to	tp/to	tc/to	tb/to	e	Im
Sedimentador	1.2	1.8	1.2	1.3	33	3	3.02

Fuente: Propia

De acuerdo con los datos obtenidos de la tabla 14 se puede observar que el decantador presenta un comportamiento hidráulico de flujo dual, es decir una porción del flujo se comporta como pistón y la otra como mezclado.

La unidad no presenta problemas hidráulicos por cortos circuitos, sin embargo, si presenta espacios muertos donde pueda quedar retenido el trazador, el tiempo real de retención es mayor al teórico.

4.1.3.3 Determinación de carga superficial real

El ensayo de trazadores ayudó a determinar el tiempo real de la unidad y con la profundidad de dicha unidad, aplicando la siguiente fórmula se pudo determinar la carga superficial real:

$$q = \frac{H}{t_o} \quad (22)$$

Donde

H = Profundidad de la unidad (m)

To = Tiempo real de la unidad (min)

$$q = \frac{3 * 100}{53 * 60} * 864$$

$$q = 81.5 \text{ m}^3/\text{m}^2/$$

4.1.3.4 Medición de Turbiedad

Tabla 20. Medición de turbiedades

Sedimentador	
Unidad	Turbiedad
Sedimentador 1	2.4 UNT
Sedimentador 2	2.7 UNT
Sedimentador 3	2.5 UNT
Sedimentador 4	2.3UNT

Fuente: Propia

Cuadro 3-10. Clasificación en función de la calidad del agua producida (1)

Eficiencia	Turbiedad del agua decantada (UNT)
Excelente	< 5
Muy buena	5 - 10
Buena	10 - 15
Regular	> 15

Fuente: CEPIS

Según las turbiedades registradas en cada unidad y tomando como parámetro para comparar el cuadro de arriba, se puede decir que el agua producida por los sedimentadores es de excelente calidad.

4.1.4 Filtración

4.1.4.1 Velocidad de filtración antes del lavado y caudal de lavado

Para poder determinar la velocidad de filtración, se tomó el tiempo que duran en bajar el nivel del agua hasta una altura de 50 cm sobre el material del filtro. Con esa altura, el área del filtro y el tiempo es posible calcular la velocidad de lavado y el caudal de lavado de acuerdo con las siguientes igualdades:

$$Q = \frac{A*H}{t} \quad (23)$$

Donde:

A= área (m²)

H= profundidad (m)

t = tiempo que duran en bajar el nivel del agua hasta una altura de 50 cm.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (24)$$

Donde:

Q= caudal m³/min

A= área m²

Tabla 21. Dimensiones filtro según planos

Filtro	
L	3.15 m
A	4 m
P	0.50 m
Canaleta	
L	3.15 m
A	0.475 m

Fuente: Propia

$$Q = \frac{(A1+A2)-AC*H}{t} \quad (25)$$

$$Q = \frac{6.3 \text{ m}^2 + 6.3 \text{ m}^2 - 1.5 \text{ m}^2 * 0.50 \text{ m}}{21 \text{ min}}$$

$$Q = \frac{0.26 \text{ m}^3}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$Q = \frac{15.85 \text{ m}^3}{\text{h}}$$

$$Q = \frac{15.85 \text{ m}^3}{\text{h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}}$$

$$Q = \frac{381 \text{ m}^3}{\text{d}}$$

Q= 381 m³/d

$$V = \frac{Q}{A} \quad (26)$$

$$V = \frac{381 \text{ m}^3/\text{dia}}{11.1 \text{ m}^2}$$

$$V = 34 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$$

4.1.4.2 Velocidad de filtración después del lavado

Para poder determinar la velocidad de filtración después del lavado, se tomó el tiempo que duran en bajar el nivel del agua hasta una altura de 40 cm sobre el material del filtro. Con esa altura, el área del filtro y el tiempo es posible calcular la velocidad de filtración después del lavado y el caudal de lavado de acuerdo con las siguientes igualdades:

$$Q = \frac{A \cdot H}{t} \quad (27)$$

Donde:

A= área m²

H= profundidad (m)

t = tiempo que duran en bajar el nivel del agua hasta una altura de 40 cm.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (28)$$

Donde

Q= caudal m³/min

A= área m²

Tabla 22. Dimensiones filtro según planos

Filtro	
L	3.15 m
A	4 m
P	0.40 m
Canaleta	
L	3.15 m
A	0.475 m

Fuente: Propia

$$Q = \frac{A1+A2-AC*H}{t} \quad (29)$$

$$Q = \frac{6.3 \text{ m}^2 + 6.3 \text{ m}^2 - 1.5 \text{ m}^2 * 0.40}{2.70 \text{ min}}$$

$$Q = \frac{1.65 \text{ m}^3}{\text{min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}$$

$$Q = \frac{99 \text{ m}^3}{\text{h}}$$

$$Q = \frac{99 \text{ m}^3}{\text{h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}}$$

$$Q = 2376 \text{ m}^3/\text{d}$$

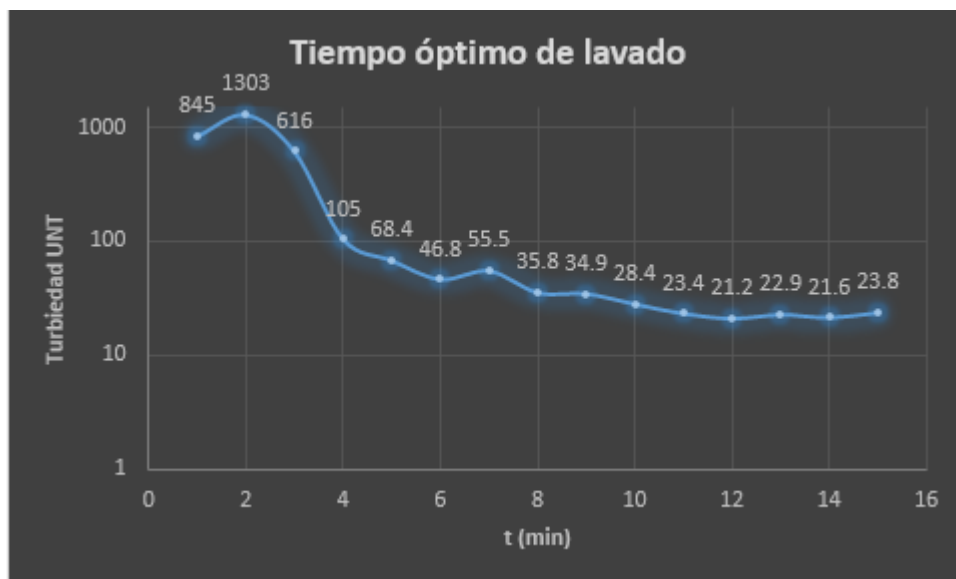
$$V = \frac{Q}{A} \quad (29)$$

$$V = \frac{2376 \text{ m}^3/\text{dia}}{11.1 \text{ m}^2}$$

$$V = 214 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$$

4.1.4.3 Tiempo óptimo de lavado del filtro

Gráfico 2. Tiempo óptimo de Lavado



Fuente: Propia

La teoría indica que el tiempo óptimo de lavado se da en el punto de inflexión inferior donde la curva tiende a ser asintótica con respecto al eje horizontal, también se dice que a partir de ese momento no se gana nada con prolongar el proceso y que sería deseable que en ese punto se obtuviera un agua con una turbiedad no mayor a 5 UNT.

De acuerdo con la gráfica se puede observar que el punto de inflexión se da a los 8 minutos, lo que indica que el tiempo óptimo de lavado es el anteriormente mencionado.

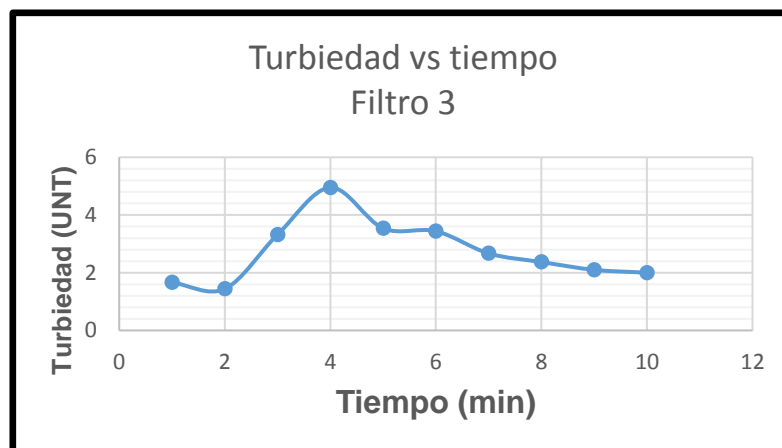
4.1.4.4 Calidad del filtrado inicial

Tabla 23. Evolución de la turbiedad del agua calidad del filtrado inicial

Filtro 3		
Muestra	Tiempo (min)	Turbiedad (UNT)
1	1	1.66
2	2	1.44
3	3	3.32
4	4	4.95
5	5	3.54
6	6	3.44
7	7	2.67
8	8	2.37
9	9	2.1
10	10	2

Fuente: Propia

Gráfico 3. Turbiedad vs Tiempo



Fuente: Propia

La teoría indica que después del proceso del lavado, el primer efluente que produce el filtro por lo general tiene una turbiedad mayor que la del resto de la carrera, en este caso la primera muestra presentó una turbiedad menor que la tomada en el minuto 3, en el minuto 4 subió y en el minuto 5 comenzó a bajar hasta que se obtuvo una medición aceptable de 2 UNT.

Como la turbiedad del primer efluente fue menor que todas las demás se puede decir que el filtro quedó bien lavado.

4.1.4.5 Espesor del Medio Filtrante

Después del lavado del filtro, se dejó secar la superficie, luego se procedió a introducir una varilla hasta encontrar la capa de grava en varios puntos del lecho filtrante y finalmente se determinó la longitud de la porción de la varilla introducida.

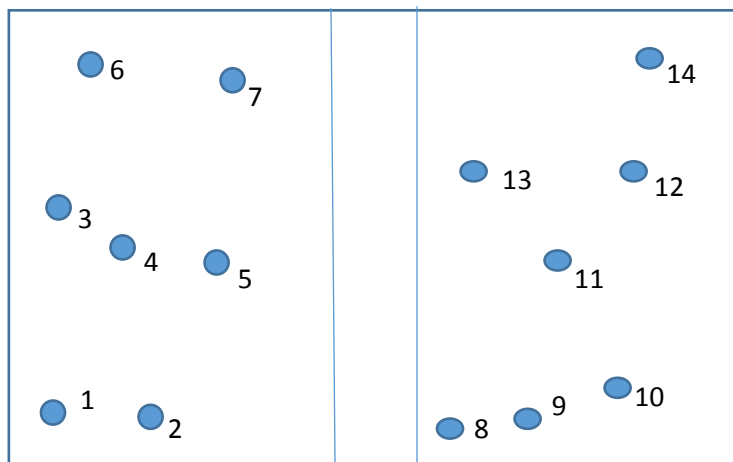


Tabla 24. Lectura espesores medio filtrante

Lectura	Medida cm.
1	79
2	95
3	79
4	83
5	85
6	85
7	88
8	88
9	76
10	74
11	74
12	76
13	76
14	79
Promedio	81

Fuente: Propia

De acuerdo con los planos el espesor de la antracita y la arena sumadas es de 70 cm.

Según las mediciones obtenidas, se puede observar que el lecho filtrante presenta grandes desniveles en su superficie.

Las lecturas que presentan mayor desnivel son la 2 la 7 y la 8, como por ejemplo la 2 tiene un desnivel de más de 25 cm de lo estipulado en planos.

4.1.4.6 Expansión Lecho Filtrante

Para que el medio filtrante se lave bien se debe de producir una expansión entre el 25 % y 30 %.

El porcentaje de expansión se determina con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Expansión} = \frac{h * 100}{H} \quad (30)$$

Donde

h= distancia entre la cazuela más alta que contenga arena y el extremo inferior de la varilla (cm)

H= altura del lecho filtrante (81 cm promedio lectura espesor medio filtrante)

$$\% \text{ Expansión} = \frac{20 \text{ cm} * 100}{81 \text{ cm}}$$

$$\% \text{ Expansión} = 24 \%$$

De acuerdo con el resultado obtenido se puede decir que no se está realizando un lavado adecuado, ni tampoco se está dando una correcta distribución del agua de lavado ya que dio un porcentaje de expansión del 24 % y la norma indica que debe de estar entre el rango del 25 % y 30 %.

También se puede concluir que existe presencia de depósitos de barro.

4.1.4.7 Granulometría del medio filtrante

Cuadro 3-25. Características usuales de los lechos filtrantes (2)

Características	Simple de arena	Lecho doble	
		Arena	Antracita
Espesor del medio filtrante (m)	0,70–1,00	0,25–0,30	0,45–0,50
Tamaño efectivo (T. E.) (mm)	0,50–0,70	0,50–0,60	0,75–0,90
Coef. de uniformidad (CU)	< 1,5	< 1,5	< 1,5

Cálculo coeficiente de uniformidad

Antracita

$$\text{Coeficiente de Uniformidad UC} = \frac{P_{60}}{P_{10}} \quad (31)$$

$$\text{Coeficiente de Uniformidad UC} = \frac{1.57}{1}$$

$$\text{Coeficiente de Uniformidad UC} = 1.6$$

Arena

$$\text{Coeficiente de Uniformidad UC} = \frac{P_{60}}{P_{10}} \quad (32)$$

$$\text{Coeficiente de Uniformidad UC} = \frac{1.78}{0.88}$$

$$\text{Coeficiente de Uniformidad UC} = 2$$

$$\text{Grado de intermezcla} = \frac{d_{90 \text{ antracita}}}{d_{10 \text{ arena}}} \quad (33)$$

$$\text{Grado de intermezcla} = \frac{2.64}{0.88}$$

$$\text{Grado de intermezcla} = 3$$

Tabla 25. Datos granulometría de la antracita y arena

Parámetros Granulométricos	Antracita	Arena
Tamaño efectivo (T.E) mm (D10)	1,00 mm	0,88 mm
D(60)	1,57 mm	1,78 mm
Coefficiente de Uniformidad	1,6	2,0
Grado de intermezcla		3

Fuente: Propia

Según lo estipulado por las normas CEPIS la granulometría de la antracita con respecto al parámetro de tamaño efectivo no está cumpliendo ya que se está pasando un 0,1 mm de lo estipulado y el coeficiente de uniformidad está dando mayor a 1,5.

En lo que se refiere a la granulometría de la arena se está dando un comportamiento algo parecido, esto debido a que el tamaño efectivo se está pasando por 0.28 mm de los estipulado y de igual modo el coeficiente de uniformidad está dando mayor a 1,5.

Cuando el tamaño efectivo no cumple con las especificaciones, puede afectar grandemente el proceso de filtración, ya que si es demasiado grande muchas de las partículas de menor tamaño presentes en el agua pasarán directamente a través del filtro y no podrán ser eliminadas. Con el paso del tiempo el material granular perdió adherencia, provocando la pérdida de finos como la arena y la antracita, predominando el material granular más grueso.

Como el dato del coeficiente de uniformidad tanto de la antracita como de la arena dio mayor a 1,5 se deduce que dicho material es poco uniforme.

La norma establece que para que el grado de intermezcla sea aceptable debe de dar 3, por consiguiente el dato obtenido es aceptable lo que indica que no se presenta mezcla de materiales.

4.1.5 Desinfección

4.1.5.1 Tiempo real de contacto

EL ensayo del tiempo real de contacto, no fue posible realizarlo en vista que el tiempo de contacto se genera en los tanques de almacenamiento y el tiempo de retención es de prácticamente 7 horas por lo cual de sobra está actuando el cloro.

4.1.5.2 Dosis óptima de cloro o Curva de Demanda de Cloro

El cálculo de la dosis necesaria para una efectiva cloración se hace mediante una prueba de laboratorio que consiste en determinar el punto de quiebre. (Vargas, L.S.f).

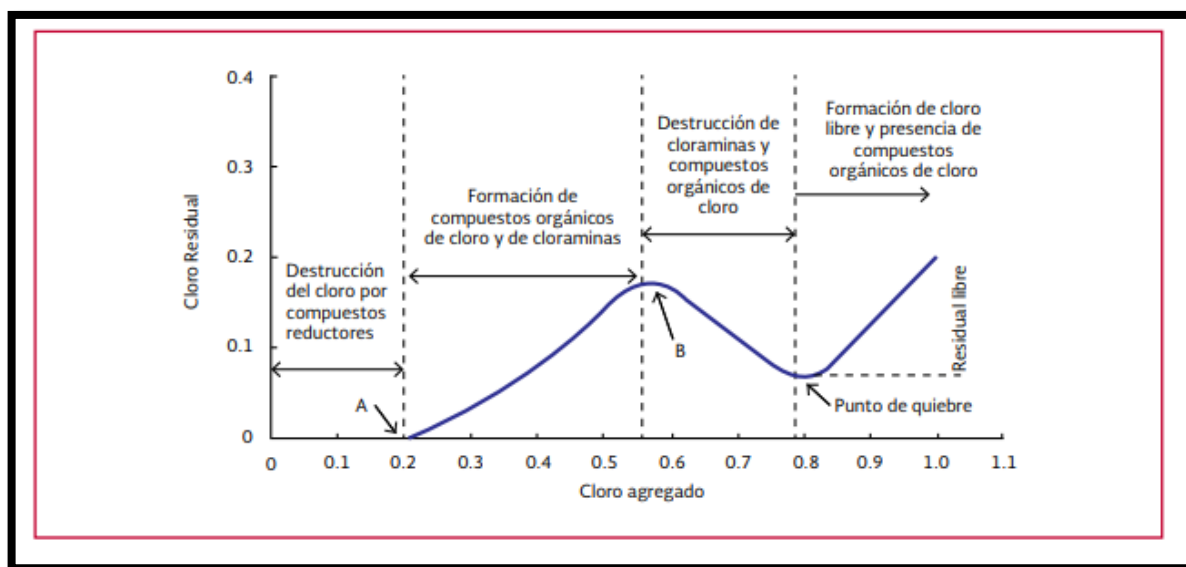


Ilustración 15 Cloro residual vs cloro agregado

Al aplicar cloro a un agua que contiene agentes reductores, amoníaco y aminas orgánicas, si se mide y se construye una gráfica de la dosis aplicada contra los residuales obtenidos resulta una curva semejante a la de la ilustración 15 comúnmente conocida como curva de demanda de cloro.

Inicialmente el cloro reacciona con los agentes reductores presentes y no forma un residual detectable, una vez satisfecha la demanda ejercida por los agentes reductores, este reacciona con todo el amoníaco y las aminas orgánicas presentes para formar un residual de cloro combinado. Cuando todo el amoníaco y las aminas orgánicas han reaccionado con el cloro, comienza a aparecer el cloro residual, el cual va aumentando hasta un valor máximo, luego comienza a descender hasta llegar al punto mínimo de cloro residual libre llamado punto de quiebre; el cloro residual libre es el agente más efectivo.

Para determinar la dosis óptima de cloro, primeramente, se preparó una solución madre al 1 % es decir se mezclaron 10 gramos de cloro en un litro de agua, se utilizó cloro en polvo como hipoclorito de calcio con una concentración del 65 %.

El agua utilizada fue tomada de la cámara del primer filtro.

Se realizaron 15 muestras de un litro de agua filtrada, donde a cada muestra se le agregaron concentraciones desde 0.2 mg/l hasta 3 mg/l.

Una vez agregadas las concentraciones a las 15 muestras y pasados los 30 minutos de contacto, se procedió a medir el cloro residual a cada muestra, esto mediante un comparador de cloro digital.

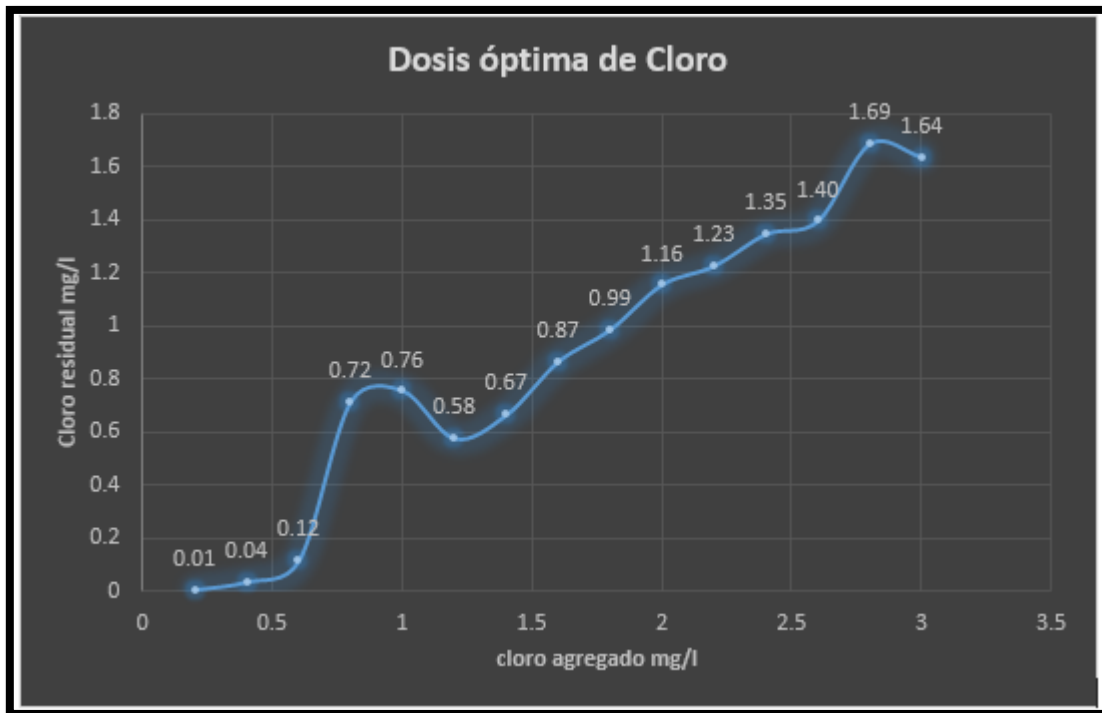
Tabla 26. Datos ensayo dosis óptima de cloro

Turbiedad: 1.86 U.N.T		Cl ₂ (mg)		Volumen ml	
Fecha: 04/04/2019	Concentración madre al 0.65 % CL ₂	6500		1000	
Muestra agua filtrada				Jeringa	
				1 ml = 100 uds	
No. Muestra	Hora Dosificación	Dosis Cl ₂ (mg/L)	Volumen ml	↓	Cloro residual mg/l
1	12:28	0.2	0.03	3	0.01
2	12:32	0.4	0.06	6	0.04
3	12:34	0.6	0.09	9	0.12
4	12:38	0.8	0.12	12	0.72
5	12:42	1	0.15	15	0.76

6	12:44	1.2	0.18	18	0.58
7	12:48	1.4	0.22	22	0.67
8	12:52	1.6	0.25	25	0.87
9	12:55	1.8	0.28	28	0.99
10	12:59	2	0.31	31	1.16
11	01:02	2.2	0.34	34	1.23
12	01:06	2.4	0.37	37	1.35
13	01:10	2.6	0.40	40	1.40
14	01:13	2.8	0.43	43	1.69
15	01:16	3	0.46	46	1.64

Fuente: Propia

Gráfico 4. Dosis óptima de cloro



Fuente: Propia

De acuerdo con la gráfica el punto de quiebre se observa en la muestra 6 donde se aplicó una dosis de 1.4 mg/l, dando como resultado 0.58 mg/l de cloro residual, lo que quiere decir que se debe adicionar una dosis de cloro siempre superior a 1.4 mg/l, además se cumple con el contenido de cloro residual estipulado en el Reglamento para la Calidad del Agua Potable

CONCLUSIONES

En la primera vista se realizó un recorrido por toda la planta, lo que permitió identificar los elementos constructivos, es decir la planta potabilizadora de Barranca de Puntarenas está constituida por 4 floculadores, 4 sedimentadores, 8 filtros, 2 tanques de almacenamiento y una caseta de cloración.

El Proceso de Mezcla rápida cumplió en cuanto a geometría de la unidad, tiempo de retención e intensidad de la mezcla

Mediante la prueba de trazadores se logró determinar que el caudal en los floculadores no se está distribuyendo en partes iguales.

En cuanto a las condiciones hidráulicas en los 4 floculadores se da un comportamiento similar, esto debido a que ninguno presenta evidencia de cortos circuitos, sin embargo, si hay existencia de espacios muertos donde pueda quedar retenido el trazador, además el flujo se comporta una parte como flujo pistón y otra parte como flujo mezclado.

En cuanto al tiempo real de retención es muy cercano al teórico en las 4 unidades de floculación.

El decantador presentó un comportamiento hidráulico de flujo dual, una porción del flujo se comporta como pistón y la otra como mezclado, no presenta problemas hidráulicos por cortos circuitos, sin embargo, si presenta espacios muertos donde pueda quedar retenido el trazador, el tiempo real de retención es mayor al teórico.

Con las mediciones de turbiedad que se realizaron al agua de los sedimentadores, se logró determinar que las unidades estaban produciendo agua de excelente calidad ya que el dato de las mediciones fue menor a 5 UNT.

La velocidad de filtración antes del lavado del filtro no está cumpliendo con lo que especifica la norma, sin embargo, la velocidad de filtración después del lavado sí.

De acuerdo con las mediciones de espesor realizadas al lecho filtrante, se determinó que presenta grandes desniveles en su superficie.

En cuanto a la dosis óptima o demanda de cloro, se concluye que se debe adicionar una dosis de cloro siempre superior a 1.4 mg/l, esto porque el punto de quiebre se dio en la muestra 6 donde se aplicó una dosis de 1.4 mg/l, dando como resultado 0.58 mg/l de cloro residual.

De acuerdo con el análisis granulométrico, se determinó que el lecho filtrante presenta una granulometría inadecuada, predominando el material grueso, incumpliendo el tamaño efectivo y el coeficiente de uniformidad.

RECOMENDACIONES

Actualizar el equipo de laboratorio, como por ejemplo el de prueba de jarras, para que los operadores puedan llevar a cabo ensayos como el de dosis óptima de coagulante y de esa forma poder actualizar los datos del histórico. Además de que para desarrollar algunos de los ensayos se tuvo que solicitar el equipo al laboratorio de la Planta de San Mateo.

Hacer un mantenimiento periódico de cada una de las estructuras de la planta, ya que, al estar diseñada en concreto reforzado, está expuesta a esfuerzos como sismos y los propios esfuerzos del agua, el mantenimiento periódico va permitir visualizar fallas que puedan ser reparadas y así evitar daños futuros que puedan comprometer el funcionamiento de la misma.

Realizar pruebas de dosis óptimas de cloro de forma continua, verificar la calidad de las mismas, tabular los datos obtenidos, con el fin de que haya un mejor control y un histórico de cuánto cloro se debe de aplicar de acuerdo con las diferentes turbiedades, no solo quedarse con la toma de muestras cada hora y verificarlo en el comparado de cloro digital.

Para mejorar la distribución del flujo en los floculadores, se recomienda graduar o estrangular las compuertas de entrada, con el fin de regular el caudal que ingresa a cada uno de modo que ninguno opere sobrecargado como sucede actualmente.

Como la velocidad de filtración antes del lavado del filtro no está cumpliendo, se recomienda lavar los filtros más seguido, es decir cada dos días y no cada tres días como se ha venido haciendo.

Se recomienda sustituir el material del lecho filtrante, pues presenta características más gruesas de lo requerido, es decir se ha dado la pérdida del material más fino.

Dar capacitaciones a los operadores de forma periódica, implementado nuevas ideas e investigando sobre nuevas tecnologías.

BIBLIOGRAFÍA

Coronado,A.(diciembre 1997) *Análisis de alternativa de aprovechamiento de aguas superficiales para el abastecimiento futuro a la ciudad de Puntarenas, Informe Proyecto final para graduación.*

Mata, A. (julio 1999). *Evaluación Preliminar y Operacional de la Planta de Tratamiento de Agua Potabilizadora de la Ciudad de Puntarenas.*
Recuperado de:
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/917/1/19185.pdf>

Fibras y Normas de Colombia, Potabilización: *definición, etapas del proceso e importancia*
Recuperado de
<https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/potabilizacion-definicion-etapas-del-proceso-e-importancia/>

Ingeniería y Servicios ambientales.2009,Prueba de jarras. Recuperado de:
<http://www.isa.ec/index.php/va-viene/entry/prueba-de-jarras>

Reglamento para la Calidad del Agua Potable. MINSA

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Hernández Sampieri, Roberto. (2014). *Metodología de la investigación. quinta edición, Editorial McGraw-Hill*

Romero Rojas, Jairo Alberto (1999). *Potabilización del agua. Tercera edición, Alfaomega*

Terence J.McGhee (2000). *Abastecimiento de agua y alcantarillado.Sexta Edicion,MacGrawHill*

Andía, Y. (Abril 2000) *Evaluación de Plantas y Desarrollo Tecnológico, tratamiento de agua coagulación floculación* Recuperado de: http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

Maldonado, V. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida*. Recuperado de: http://www.ingenieriasanitaria.com/web15/manual1/tomo2/ma1_tomo2_cap7.pdf

Cánepa, L. *Filtración lenta como proceso de desinfección*. Recuperado de: <http://www.elaguapotable.com/FILTRACI%C3%93N%20LENTA%20COMO%20PROCESO%20DE%20DESINFECI%C3%93N.pdf>

Coto y Sánchez. (1998). "Abastecimiento de Agua en Costa Rica" *Monografía, Agua limpia con Energía Limpia. Programa CYTED. Red Iberoamericana de electrificación rural (RIER)*. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/agua.pdf>

Solsona, F. (2002). *Desinfección del agua*. Recuperado <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/fulltext/libro.pdf>

Loria, D. (2018). *Evaluación Hidráulica y Sanitaria del Proceso de Sedimentación de la Planta Potabilizadora de San Ramón de Alajuela. Tesis de Grado. Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Latina. Heredia, Costa Rica*

Barrantes, J. (2018). *Evaluación Hidráulica y Sanitaria del Proceso de desinfección de la nueva Planta Potabilizadora de San Ramón de Alajuela*. Proyecto Final de Graduación. Licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad Latina. Heredia, Costa Rica.

Sánchez, M. (2016). *Elimina la Turbiedad del agua*. Recuperado de <https://aguayambiente.com/2016/01/10/turbiedad-del-agua/>

Vivas, M. (2016). *Evaluación de la eficiencia de la planta de potabilización de Las Mesas, estado Táchira. Trabajo de Grado. Título en Estudios y Evaluación de Impacto Ambiental. Universidad Nacional Experimental, Táchira*

Chulluncuy,N (2011) *Tratamiento de agua para consumo humano*. Recuperado de https://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/viewFile/232/208

Inversiones Hualix. Recuperado de <https://hualix.com.pe/producto/pocket-colorimeter-ii-colorimetro-pocket-ii-zinc/>

Ecoyoga (2015). Recuperado de <https://www.ecoyoga.es/pantalones-para-yoga/352-cronometro-con-cuenta-regresiva.html>

Moya.L(2018).*Presentación Sistema agua Potable- Potabilización*

Hernández, E. (2003). *Análisis por medio de ensayos del tiempo de retención y gradiente hidráulico del proceso de floculación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Lo de Coy, Guatemala*.

R-Chemical(s.f),*Control de Calidad del agua-Determinación de Cloro Residual con DPD*. Recuperado de: <http://www.r-chemical.com/control-de-calidad-de-aqua-determinacion-de-cloro-residual-con-dpd>

Corporación Química AyL (s.f). Recuperado de: <https://corquimalsac.es.tl/Medici%F3n-de-Cloro.htm>

Vargas.L(s.f), *Capítulo 10 Desinfección* Recuperado de: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/diez.pdf>

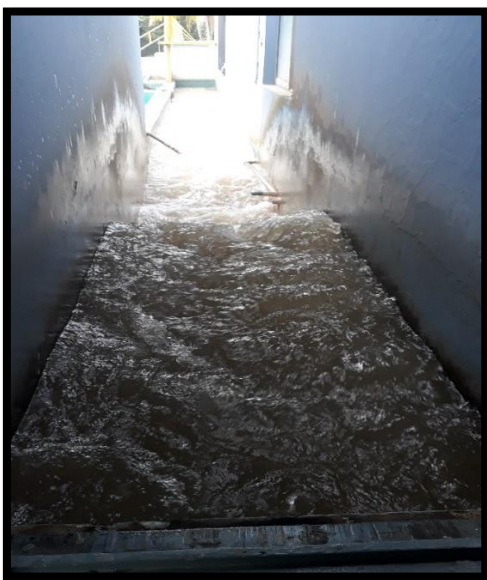
ANEXOS

Anexo A. Fotos



Entrada principal Planta

Fuente: Propia



Cámara de entrada

Fuente: Propia



Floculadores
Fuente: Propia



Sedimentadores
Fuente: Propia



Filtros
Fuente: Propia



Tanques de Almacenamiento
Fuente: Propia



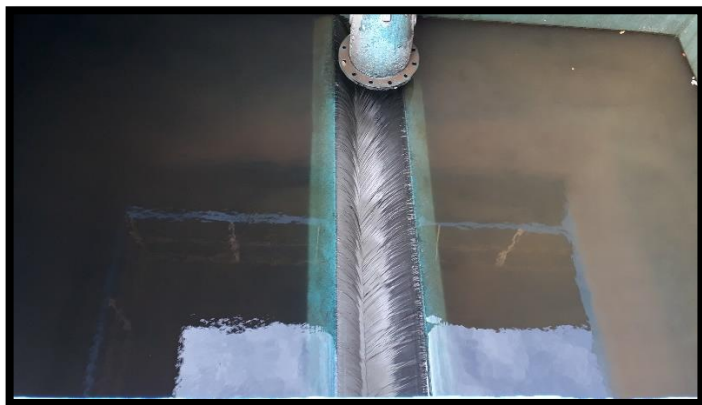
Caseta de cloración
Fuente: Propia



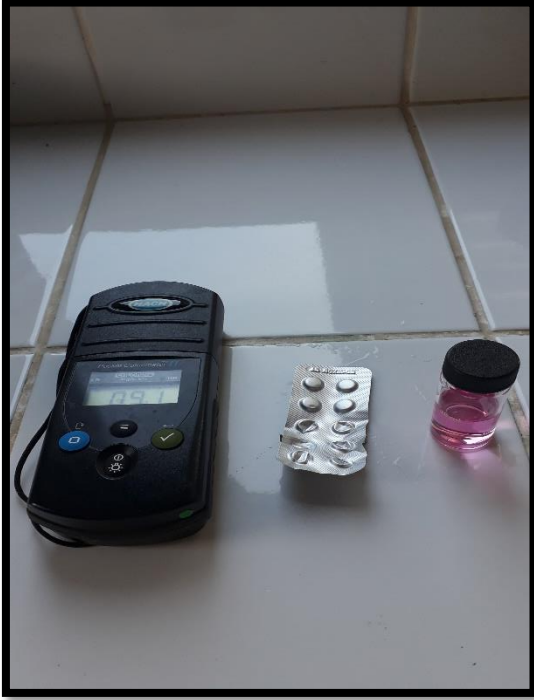
Toma de muestras prueba de trazadores
Fuente: Propia



Expansión Medio Filtrante-Velocidad de Filtración
Fuente: Propia



Lavado del filtro
Fuente: Propia



Medición Cloro Residual
Fuente: Propia

Anexo B. Prueba de Trazadores

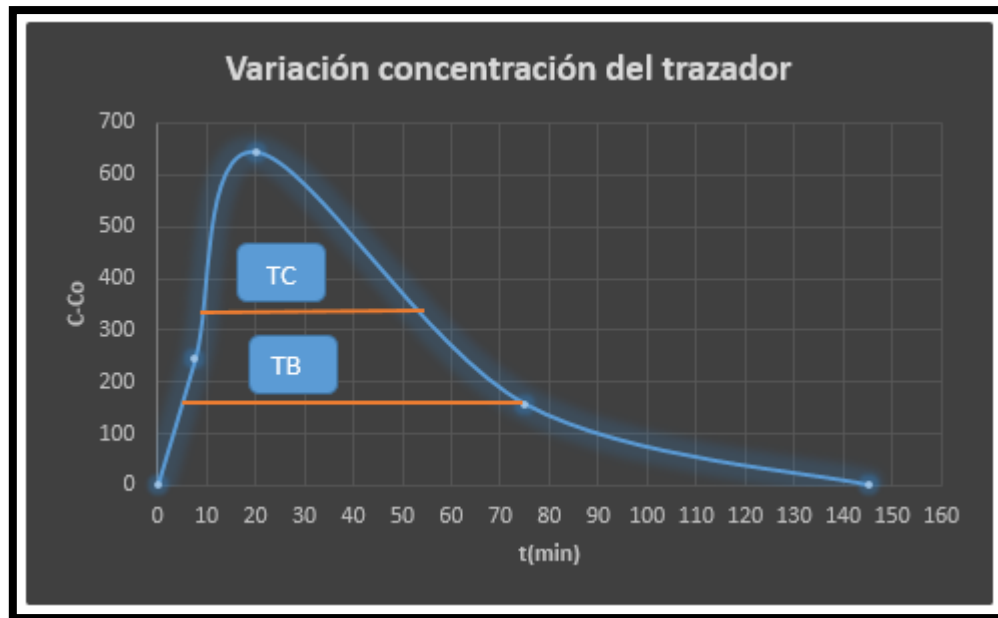
Características hidráulicas de los floculadores

Floculador 1

TABLA B-1							
Prueba de Trazadores							
Floculador 1							
to	26						
Muestra	t	t/to	C	C-CO	Σ (C-CO)	F(t)	1-F(t)
0	0	0	174	0	0	0	100
1	20	0.77	818	644	644	26.45	73.55
2	25	0.96	102	-72	572	23.49	76.51
3	30	1.15	280	106	678	27.84	72.16
4	35	1.35	260	86	764	31.38	68.62
5	40	1.54	250	76	840	34.50	65.50
6	45	1.73	249	75	915	37.58	62.42
7	50	1.92	245	71	986	40.49	59.51
8	55	2.12	248	74	1060	43.53	56.47
9	60	2.31	251	77	1137	46.69	53.31
10	65	2.50	254	80	1217	49.98	50.02
11	70	2.69	260	86	1303	53.51	46.49
12	75	2.88	330	156	1459	59.92	40.08
13	80	3.08	240	66	1525	62.63	37.37
14	85	3.27	244	70	1595	65.50	34.50
15	90	3.46	245	71	1666	68.42	31.58
16	95	3.65	247	73	1739	71.42	28.58
17	100	3.85	250	76	1815	74.54	25.46
18	105	4.04	252	78	1893	77.74	22.26
19	110	4.23	261	87	1980	81.31	18.69
20	115	4.42	260	86	2066	84.85	15.15
21	120	4.62	250	76	2142	87.97	12.03
22	125	4.81	246	72	2214	90.92	9.08
23	130	5.00	245	71	2285	93.84	6.16
24	135	5.19	250	76	2361	96.96	3.04
25	140	5.38	248	74	2435	100.00	0.00

Fuente: Propia

Gráfico B1
Floculador 1



Fuente: Propia

Relaciones de los parámetros de la curva de tendencia de concentración del trazador:

$$\frac{t_i}{t_o} = \frac{20}{26}$$

$\frac{t_i}{t_o} = 0.76 > 0.3$ no hay evidencia de cortos circuitos

$$\frac{t_{50}}{t_o} = \frac{65}{26}$$

$\frac{t_{50}}{t_o} = 2.5 > 1$ existencia de espacios muertos donde se queda retenido el trazador

$$\frac{t_p}{t_o} = \frac{20}{26}$$

$\frac{t_p}{t_o} = 0.76$ Existe predominio de flujo pistón

$$\frac{t_c}{t_o} = \frac{43.5}{26}$$

$$\frac{tc}{to} = 1.6 \text{ Se aproxima a flujo mezclado}$$

$$\frac{tb}{to} = \frac{67}{26}$$

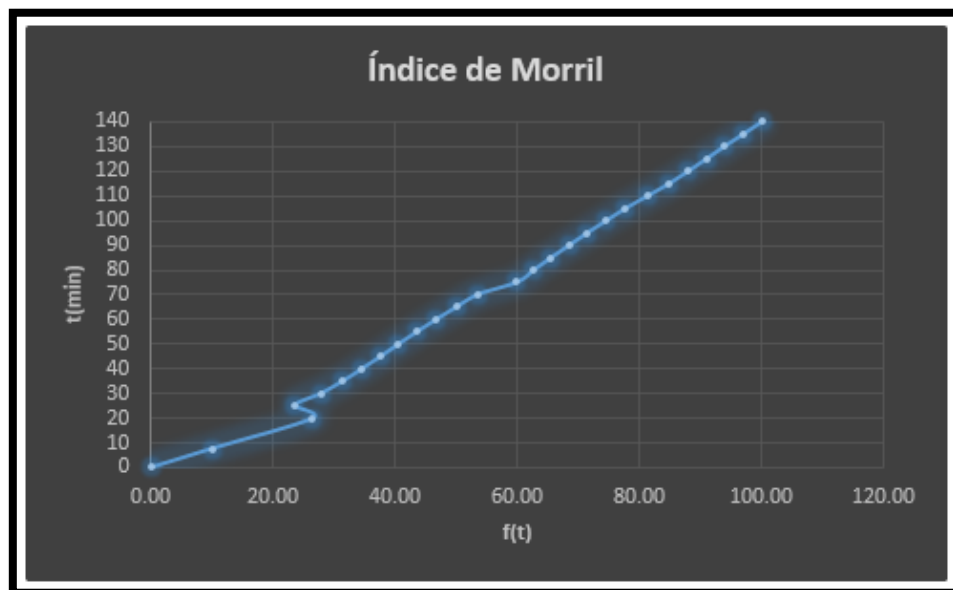
$$\frac{tb}{to} = 2.5 \text{ Se aproxima a flujo mezclado}$$

$$e = \frac{(tf - tp) - (tp - ti)}{to}$$

$$e = \frac{(140 - 20) - (20 - 20)}{26}$$

$$e = 4.6 > 2.3 \text{ Existe Flujo mezclado ideal}$$

Gráfico B-2



Fuente: Propia

Cálculo tiempo paso 10 % trazador

Tiempo	ft
0	0
20	26.45
20	26.45
X	(10-0)= 10

$$t_{10} = \frac{10 * 20}{26.45}$$

$$t_{10} = 7.6$$

$$IM = \frac{t_{90}}{t_{10}}$$

$$IM = \frac{125}{7.6}$$

$$IM = 16.44$$

Floculador 2

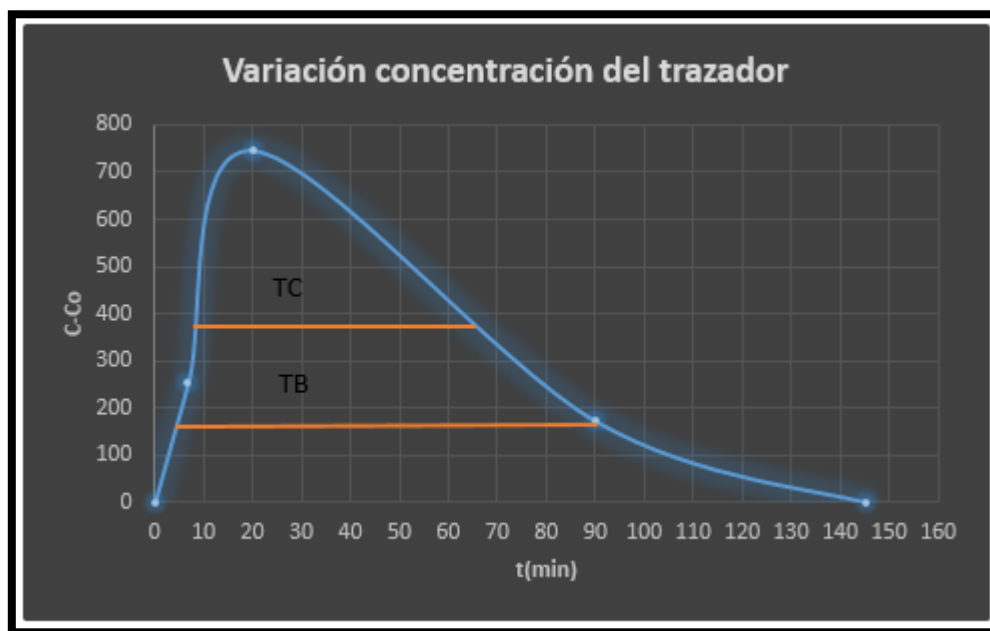
TABLA B-2 Prueba de Trazadores Floculador 2							
To	26						
Muestra	t	t/to	C	C-CO	Σ (C-CO)	F(t)	1-F(t)
0	0	0	174	0	0	0	100
1	20	0.77	920	746.00	746.00	29.33	70.67
2	25	0.96	649	475.00	1221.00	48.01	51.99
3	30	1.15	261	87.00	1308.00	51.43	48.57
4	35	1.35	267	93.00	1401.00	55.09	44.91
5	40	1.54	276	102.00	1503.00	59.10	40.90
6	45	1.73	118	-56.00	1447.00	56.90	43.10
7	50	1.92	262	88.00	1535.00	60.36	39.64
8	55	2.12	254	80.00	1615.00	63.50	36.50
9	60	2.31	249	75.00	1690.00	66.45	33.55
10	65	2.50	253	79.00	1769.00	69.56	30.44
11	70	2.69	263	89.00	1858.00	73.06	26.94
12	75	2.88	275	101.00	1959.00	77.03	22.97
13	80	3.08	276	102.00	1989.00	78.21	21.79

14	85	3.27	204	30.00	2019.00	79.39	20.61
15	90	3.46	1.7	-172.30	1846.70	72.61	27.39
16	95	3.65	276	102.00	1948.70	76.62	23.38
17	100	3.85	193.5	19.50	1968.20	77.39	22.61
18	105	4.04	212	38.00	2006.20	78.88	21.12
19	110	4.23	278	104.00	2110.20	82.97	17.03
20	115	4.42	277	103.00	2213.20	87.02	12.98
21	120	4.62	217	43.00	2256.20	88.72	11.28
22	125	4.81	258	84.00	2340.20	92.02	7.98
23	130	5.00	211	37.00	2377.20	93.47	6.53
24	135	5.19	258	84.00	2461.20	96.78	3.22
25	140	5.38	256	82.00	2543.20	100.00	0.00

Fuente: Propia

Gráfico B3

Floculador 2



Fuente: Propia

Relaciones de los parámetros de la curva de tendencia de concentración del trazador:

$$\frac{t_i}{t_o} = \frac{20}{26}$$

$$\frac{t_i}{t_o} = 0.76 > 0.3 \text{ no hay evidencia de cortos circuitos}$$

$$\frac{t_{50}}{t_o} = \frac{30}{26}$$

$$\frac{t_{50}}{t_o} = 1.15 > 1 \text{ Existencia de espacios muertos donde se queda retenido el trazador}$$

$$\frac{t_p}{t_o} = \frac{20}{26}$$

$$\frac{t_p}{t_o} = 0.76 \text{ Existe predominio de flujo pistón}$$

$$\frac{t_c}{t_o} = \frac{57}{26}$$

$$\frac{t_c}{t_o} = 2.1 \text{ Se aproxima a flujo mezclado}$$

$$\frac{t_b}{t_o} = \frac{87}{26}$$

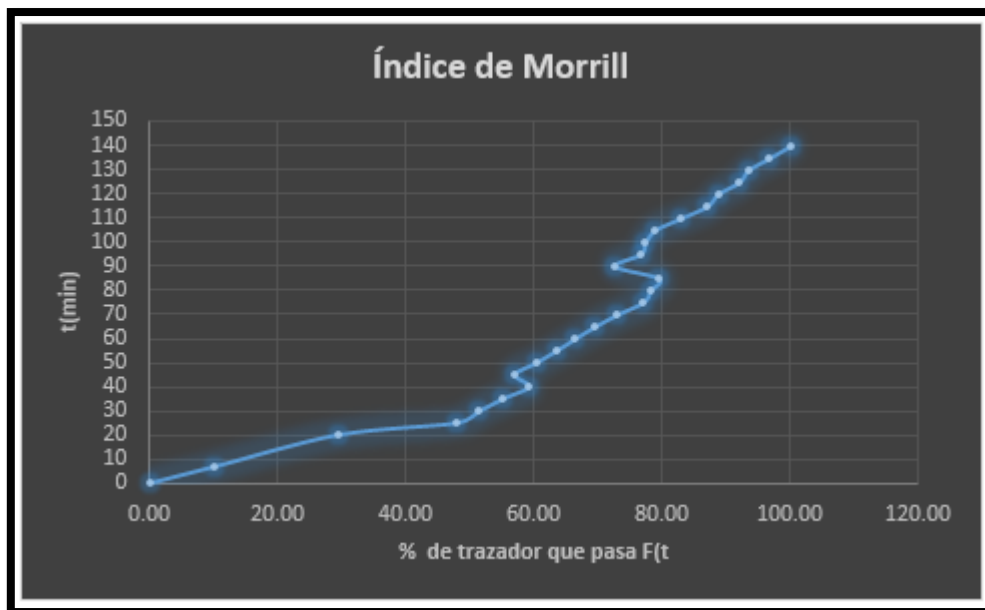
$$\frac{t_b}{t_o} = 3.3 \text{ Se aproxima a flujo mezclado}$$

$$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_i)}{t_o}$$

$$e = \frac{(140 - 20) - (20 - 20)}{26}$$

$$e = 4.6 > 2.3 \text{ Existe Flujo mezclado ideal}$$

Gráfico B-4



Fuente: Propia

Cálculo tiempo paso 10 % trazador

Tiempo	f_t
0	0
20	29.3
20	29.3
X	$(10-0)= 10$

$$t_{10} = \frac{10 * 20}{29.3}$$

$$t_{10} = 6.8$$

$$IM = \frac{t_{90}}{t_{10}}$$

$$IM = \frac{125}{6.8}$$

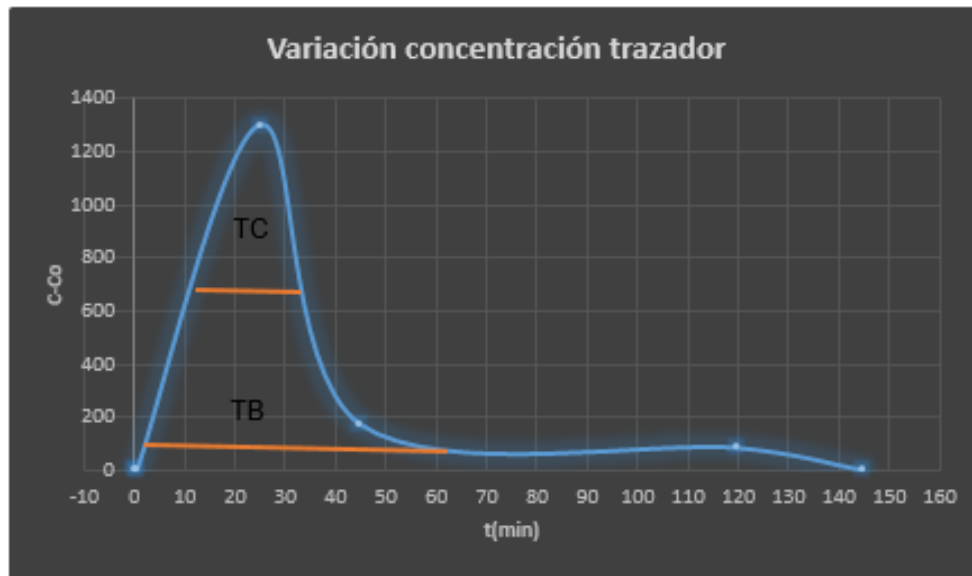
$$IM = 18.4$$

Floculador 3

TABLA B-3 Prueba de Trazadores Floculador 3							
To	26						
Muestra	T	t/to	C	C-CO	$\Sigma (C-CO)$	F(t)	1-F(t)
0	0	0	174	0	0	0	100
1	20	0.77	392	218	218	6.55	93.45
2	25	0.96	1474	1300	1518	45.58	54.42
3	30	1.15	343	169	1687	50.66	49.34
4	35	1.35	289	115	1802	54.11	45.89
5	40	1.54	272	98	1900	57.06	42.94
6	45	1.73	2.7	-171.3	1729	51.91	48.09
7	50	1.92	289	115	1844	55.36	44.64
8	55	2.12	282	108	1952	58.61	41.39
9	60	2.31	281	107	2059	61.82	38.18
10	65	2.50	269	95	2154	64.67	35.33
11	70	2.69	259	85	2239	67.23	32.77
12	75	2.88	264	90	2329	69.93	30.07
13	80	3.08	267	93	2422	72.72	27.28
14	85	3.27	278	104	2526	75.84	24.16
15	90	3.46	223	49	2575	77.32	22.68
16	95	3.65	285	111	2686	80.65	19.35
17	100	3.85	156.8	-17.2	2669	80.13	19.87
18	105	4.04	269	95	2764	82.99	17.01
19	110	4.23	264	90	2854	85.69	14.31
20	115	4.42	259	85	2939	88.24	11.76
21	120	4.62	258	84	3023	90.76	9.24
22	125	4.81	264	90	3113	93.47	6.53
23	130	5.00	273	99	3212	96.44	3.56
24	135	5.19	288	114	3326	99.86	0.14
25	140	5.38	178.6	4.6	3330	100.00	0.00

Fuente: Propia

Gráfico B-5
Floculador 3



Fuente: Propia

Relaciones de los parámetros de la curva de tendencia de concentración del trazador:

$$\frac{t_i}{t_o} = \frac{20}{26}$$

$$\frac{t_i}{t_o} = 0.76 > 0.3 \text{ no hay evidencia de cortos circuitos}$$

$$\frac{t_{50}}{t_o} = \frac{30}{26}$$

$$\frac{t_{50}}{t_o} = 1.15 > 1 \text{ Existencia de espacios muertos donde se queda retenido el trazador}$$

$$\frac{t_p}{t_o} = \frac{25}{26}$$

$$\frac{t_p}{t_o} = 0.96 \text{ Existe únicamente flujo pistón}$$

$$\frac{t_c}{t_o} = \frac{22.5}{26}$$

$$\frac{tc}{to} = 0.86 \text{ se aproxima a flujo mezclado}$$

$$\frac{tb}{to} = \frac{63}{26}$$

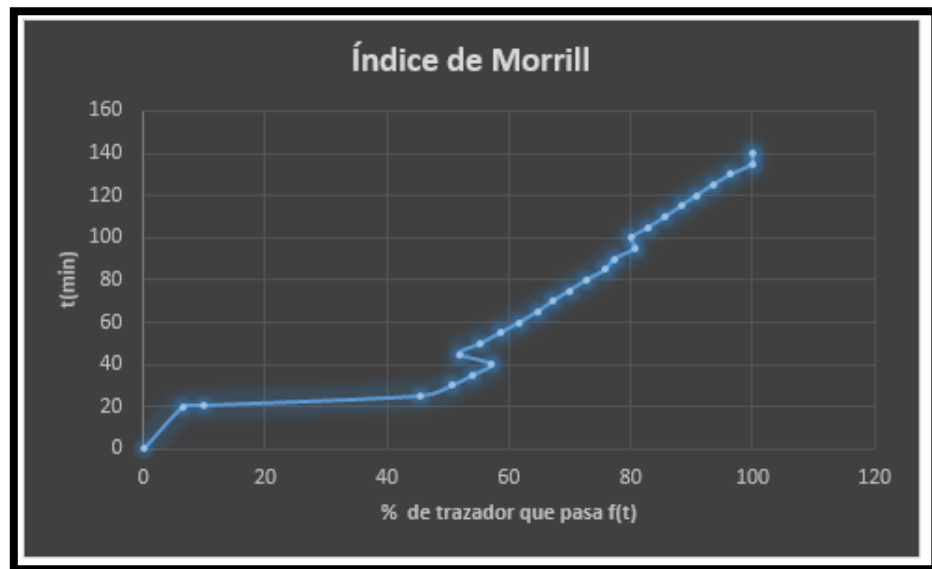
$$\frac{tb}{to} = 2.4 \text{ se aproxima flujo mezclado}$$

$$e = \frac{(tf - tp) - (tp - ti)}{to}$$

$$e = \frac{(140 - 25) - (25 - 20)}{26}$$

$$e = 4.2 > 2.3 \text{ Existe Flujo mezclado ideal}$$

Gráfico B-6



Fuente: Propia

Cálculo tiempo paso 10 % trazador

Tiempo	ft
20	6.55
25	45.58
5	39.03
X	(10-6.55)= 3.45

$$t_{10} = \frac{3.45 * 5}{39.03}$$

$$t_{10} = 0.44$$

$$t_{10} = 0.44 + 20$$

$$\mathbf{t_{10} = 20.44}$$

$$IM = \frac{t_{90}}{t_{10}}$$

$$IM = \frac{120}{20.44}$$

$$\mathbf{IM = 5.8}$$

Floculador 4

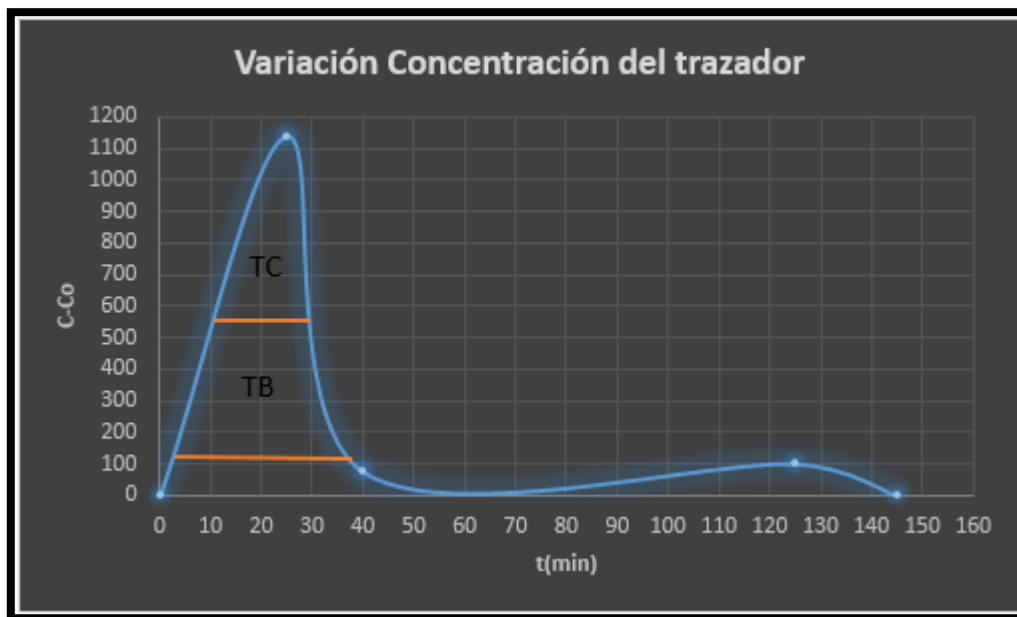
TABLA B-4 Prueba de Trazadores Floculador 4							
To	26						
Muestra	T	t/to	C	C-CO	Σ (C-CO)	F(t)	1-F(t)
0	0	0	174	0	0	0	100
1	20	0.77	347	173	173	5.82	94.18
2	25	0.96	1311	1137	1310	44.08	55.92
3	30	1.15	312	138	1448	48.72	51.28
4	35	1.35	249	75	1523	51.24	48.76
5	40	1.54	250	76	1599	53.80	46.20
6	45	1.73	248	74	1673	56.29	43.71
7	50	1.92	251	77	1750	58.88	41.12
8	55	2.12	243	69	1819	61.20	38.80
9	60	2.31	249	75	1894	63.72	36.28
10	65	2.50	238	64	1958	65.88	34.12
11	70	2.69	245	71	2029	68.27	31.73
12	75	2.88	239	65	2094	70.45	29.55
13	80	3.08	235	61	2155	72.51	27.49
14	85	3.27	242	68	2223	74.79	25.21

15	90	3.46	109.2	-64.8	2158.2	72.61	27.39
16	95	3.65	254	80	2238.2	75.30	24.70
17	100	3.85	250	76	2314.2	77.86	22.14
18	105	4.04	251	77	2391.2	80.45	19.55
19	110	4.23	248	74	2465.2	82.94	17.06
20	115	4.42	252	78	2543.2	85.57	14.43
21	120	4.62	261	87	2630.2	88.49	11.51
22	125	4.81	276	102	2732.2	91.93	8.07
23	130	5.00	260	86	2818.2	94.82	5.18
24	135	5.19	251	77	2895.2	97.41	2.59
25	140	5.38	251	77	2972.2	100.00	0.00

Fuente: Propia

Gráfico B-7

Floculador 4



Fuente: Propia

Relaciones de los parámetros de la curva de tendencia de concentración del trazador:

$$\frac{t_i}{t_o} = \frac{20}{26}$$

$$\frac{t_i}{t_o} = 0.76 > 0.3 \text{ no hay evidencia de cortos circuitos}$$

$$\frac{t_{50}}{t_o} = \frac{35}{26}$$

$$\frac{t_{50}}{t_o} = 1.3 > 1 \text{ Existencia de espacios muertos donde se queda retenido el trazador}$$

$$\frac{t_p}{t_o} = \frac{25}{26}$$

$$\frac{t_p}{t_o} = 0.96 \text{ Existe únicamente flujo pistón}$$

$$\frac{t_c}{t_o} = \frac{18}{26}$$

$$\frac{t_c}{t_o} = 0.7 \text{ Flujo mezclado}$$

$$\frac{t_b}{t_o} = \frac{34}{26}$$

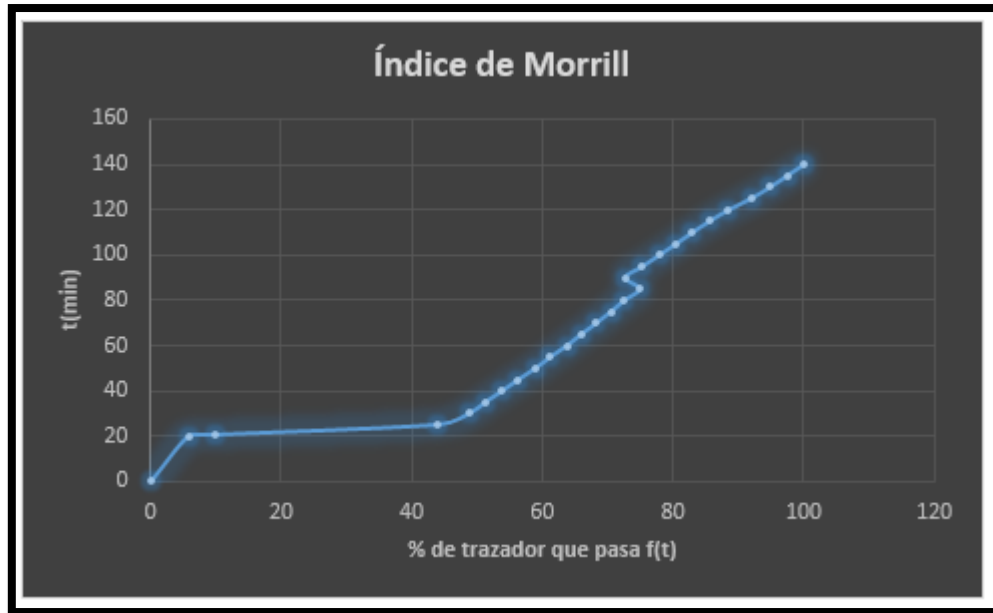
$$\frac{t_b}{t_o} = 1.3 \text{ no existe flujo mezclado ideal}$$

$$e = \frac{(t_f - t_p) - (t_p - t_i)}{t_o}$$

$$e = \frac{(140 - 25) - (25 - 20)}{26}$$

$$e = 4.2 > 2.3 \text{ Existe Flujo mezclado ideal}$$

Gráfico B-8



Fuente: Propia

Cálculo tiempo paso 10 % trazador

Tiempo	$f(t)$
20	5.82
25	44.08
<u>5</u>	<u>38.26</u>
X	$(10-5.82)= 4.18$

$$t_{10} = \frac{4.18 * 5}{38.26}$$

$$t_{10} = 0.54$$

$$t_{10} = 0.54+20$$

$$\mathbf{t_{10} = 20.54}$$

$$IM = \frac{t_{90}}{t_{10}}$$

$$IM = \frac{125}{20.54}$$

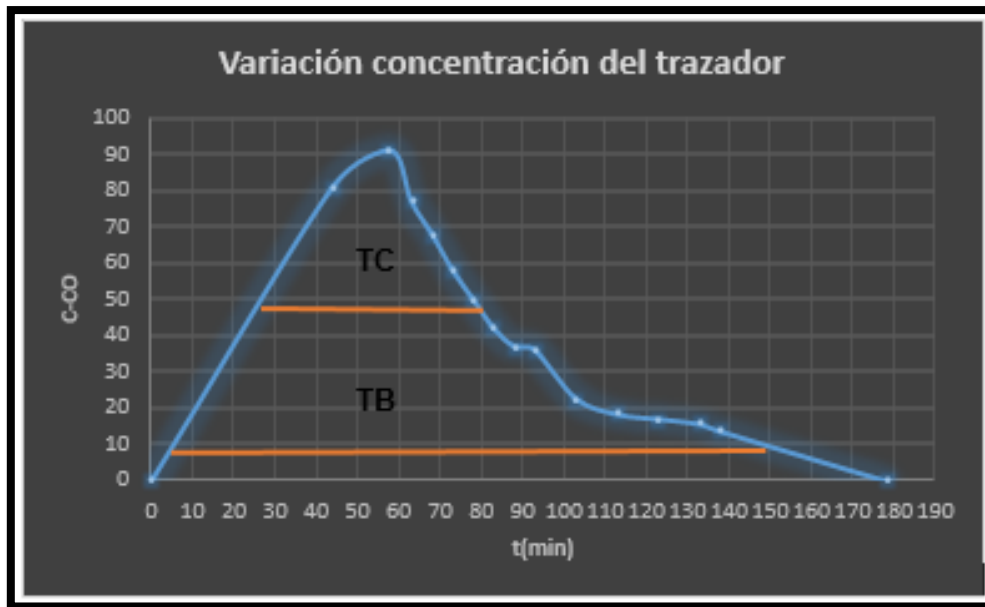
$$\mathbf{IM = 6.0}$$

Sedimentador

TABLA B-5							
Prueba de Trazadores							
Sedimentador							
to	43						
Muestra	t	t/to	C	C-CO	Σ (C-CO)	F(t)	1-F(t)
0	0	0	174	0	0	0	100
1	53	1.33	272	98	98	12.14	87.86
2	58	1.45	265	91	189	23.41	76.59
3	63	1.58	251	77	266	32.95	67.05
4	68	1.70	242	68	334	41.37	58.63
5	73	1.83	232	58	392	48.56	51.44
6	78	1.95	224	50	442	54.75	45.25
7	83	2.08	216	42	484	59.95	40.05
8	88	2.20	211	37	521	64.54	35.46
9	93	2.33	210	36	557	69.00	31.00
10	98	2.45	197.6	23.6	580.6	71.92	28.08
11	103	2.58	196.6	22.6	603.2	74.72	25.28
12	108	2.70	193.8	19.8	623	77.17	22.83
13	113	2.83	192.3	18.3	641.3	79.44	20.56
14	118	2.95	192.4	18.4	659.7	81.72	18.28
15	123	3.08	191	17	676.7	83.82	16.18
16	128	3.20	203	29	705.7	87.41	12.59
17	133	3.33	189.6	15.6	721.3	89.35	10.65
18	138	3.45	187.6	13.6	734.9	91.03	8.97
19	143	3.58	186.4	12.4	747.3	92.57	7.43
20	148	3.70	186	12	759.3	94.05	5.95
21	153	3.83	185.2	11.2	770.5	95.44	4.56
22	158	3.95	184.3	10.3	780.8	96.72	3.28
23	163	4.08	183	9	789.8	97.83	2.17
24	168	4.20	182.5	8.5	798.3	98.89	1.11
25	173	4.33	183	9	807.3	100.00	0.00

Fuente: Propia

Gráfico B-9
Sedimentador



Fuente: Propia

Relaciones de los parámetros de la curva de tendencia de concentración del trazador:

$$\frac{t_i}{t_o} = \frac{53}{43}$$

$\frac{t_i}{t_o} = 1.2 > 0.3$ no hay evidencia de cortos circuitos

$$\frac{t_{50}}{t_o} = \frac{78}{43}$$

$\frac{t_{50}}{t_o} = 1.8 > 1$ Existencia de espacios muertos donde se queda retenido el trazador

$$\frac{t_p}{t_o} = \frac{53}{43}$$

$\frac{t_p}{t_o} = 1.2$ Existe únicamente flujo pistón

$$\frac{tc}{to} = \frac{54}{43}$$

$\frac{tc}{to} = 1.3$ se aproxima a flujo mezclado

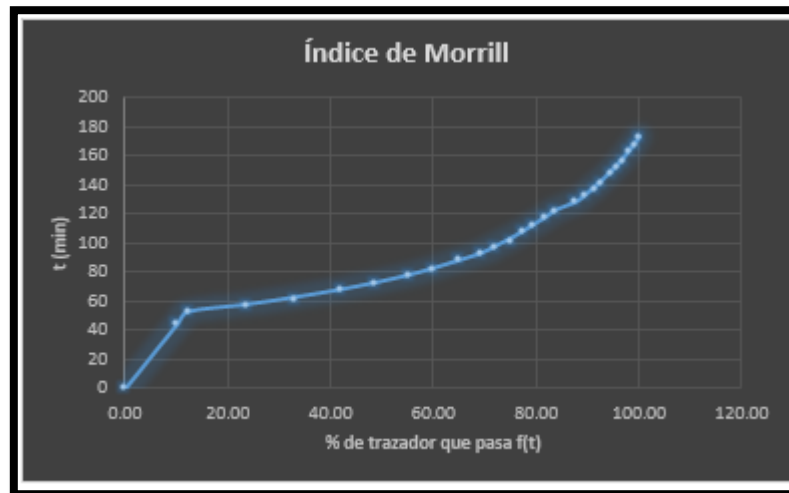
$$\frac{tb}{to} = \frac{143}{43} \approx 3.3$$

$$e = \frac{(tf - tp) - (tp - ti)}{to}$$

$$e = \frac{(173 - 53) - (53 - 53)}{40}$$

$e = 3 > 2.3$ Existe Flujo mezclado ideal

Gráfico B-10



Fuente: Propia

Cálculo tiempo paso 10 % trazador

Tiempo	ft
0	0
53	12.14
5	38.26
X	(10-0)= 10

$$t_{10} = \frac{10 * 53}{12.14}$$

$$\mathbf{t_{10} = 44}$$

$$IM = \frac{t_{90}}{t_{10}}$$

$$IM = \frac{133}{44}$$

$$\mathbf{IM = 3.02}$$

Anexo C. Granulometría medio filtrante

Análisis granulométrico antracita

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Laboratorio Nacional de Aguas

Control de Calidad de Materiales y Productos Químicos para Tratamiento del Agua

Fecha	15/04/2019
Fecha de recolección	Aportada por el solicitante
Tipo de Muestra	Antracita
Recolectada por	Aportada por el solicitante
Solicitado por	Leonardo Moya Gonzalez
Localización (provincia)	-
Procedencia de la Muestra	Aportada por el solicitante
Punto de Recolección	Aportada por el solicitante
#Muestra	1
Otras Señas	-

Cuadro I. Determinación de los parámetros granulométricos de la muestra analizada

Apertura (mm)	Serie	Arena Retenida (g)	% Acumulado pasando
	U.S. No.		
2,000	10	1,47	99,7
1,190	16	387,52	22,9
0,841	20	96,23	3,8
0,595	30	8,99	2,0
0,500	35	4,57	1,1
0,297	50	3,33	0,5
	Fondo	2,37	0,0

Observaciones

Tamaño Efectivo (D10) = 1,00 mm
D (60) = 1,57 mm
Coeficiente de Uniformidad = 1,6


Yuliana Solís Castro
Ingeniera Química Responsable

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas AyA

Análisis granulométrico arena

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Laboratorio Nacional de Aguas


**Control de Calidad de Materiales y Productos Químicos para
Tratamiento del Agua**

Fecha	15/04/2019
Fecha de recolección	Aportada por el solicitante
Tipo de Muestra	Arena
Recolectada por	Aportada por el solicitante
Solicitado por	Leonardo Moya Gonzalez
Localización (provincia)	-
Procedencia de la Muestra	Aportada por el solicitante
Punto de Recolección	Aportada por el solicitante
#Muestra	1
Otras Señas	-

Cuadro I. Determinación de los parámetros granulométricos de la muestra analizada

Apertura (mm)	Serie	Arena Retenida (g)	% Acumulado pasando
	U.S. No.		
2,360	8	126,07	74,9
2,000	10	32,82	68,4
1,400	14	138,44	40,8
1,180	16	60,61	28,7
1,000	18	57,28	17,3
0,850	20	46,09	8,1
Fondo		40,88	0,0

Observaciones

Tamaño Efectivo (D10) = 0,88 mm D (60) = 1,78 mm Coeficiente de Uniformidad = 2,0	 Yuliana Solís Castro Ingeniera Química Responsable
-----------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas AyA

GLOSARIO

Planta de tratamiento: Es un conjunto de estructuras destinadas al tratamiento de agua cruda con el fin de hacerla apta para consumo humano, preservando las condiciones de salud de la población.

Agua Potable: Es toda aquella agua que, empleada para la ingesta humana, no causa daño a la salud y cumple con las disposiciones de valores recomendables o máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos.

Caudal: Es la medida de la cantidad de volumen de agua que fluye en una sección determinada en unidades de tiempo.

Corto circuito: Se define como aquella parte de flujo que tiene una velocidad infinita y un tiempo de retención igual a cero.

Tiempo de retención: Es el tiempo que tardaría una partícula cualquiera de fluido en entrar y salir de la unidad.

Flóculo: Son sólidos en suspensión que deben de ser eliminados.

Floculadores: Son las unidades de la planta de tratamiento en donde se da el proceso de floculación, pueden ser mecánicas o hidráulicas.

Floculación: Proceso químico que tiene como objetivo la aglutinación de las sustancias coloidales para la formación de los flóculos.

Sedimentadores: Son las unidades de la planta de tratamiento usadas para separar, por gravedad, las partículas en suspensión en una masa de agua.

Sedimentación: Es la operación encargada de remover partículas sólidas en suspensión, usando la fuerza de la gravedad.

Filtro: Son unidades de materia porosa, en las que se hace pasar un fluido para clarificarlo y depurarlo.

Filtración: Proceso químico que promueve la remoción final de los flocos no eliminados en el proceso de sedimentación.

Desinfección: Es proceso final de la purificación del agua, consiste en eliminar los microorganismos o contenido bacteriológico patógeno no eliminado en los procesos anteriores.