

UCUENCA

**Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Ingeniería Química**

Evaluación técnica del proceso de filtración rápida y cloración en la Planta de Tratamiento de Agua Tixán

Trabajo de titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Químico

Autores:

Daniela Isabel Abad Durán

CI: 0106686124

daniabad3982@gmail.com

Jonnathan Edmundo Guaraca Vásquez

CI: 0104651344

jonnathan-1992@hotmail.com

Director:

Ing. Alexandra Elizabeth Guanuchi Quito

CI: 0104604665

Cuenca - Ecuador

15 – julio - 2022

RESUMEN

La planta potabilizadora Tixán es una planta de tipo convencional, que pertenece a la empresa ETAPA EP, misma que se encuentra ubicada en la parroquia Chiquintad del cantón Cuenca, con una capacidad máxima de caudal de 1940l/s los módulos I y II, esta planta, pretende abastecer a una población proyectada de 549646 habitantes, hasta el año 2045. El siguiente trabajo se realizó una evaluación a los procesos de filtración rápida y de cloración dentro de la Planta potabilizadora, para cumplir con este objetivo se recopiló y analizó los datos históricos de la planta pertenecientes a los años 2019, 2020 y 2021, en donde se considerarán los caudales de entrada además de los parámetros físicos del agua durante el proceso de filtración y cloración, con la finalidad de cuantificar el rendimiento de los filtros perteneciente a los módulos en operación de la planta, el cual se expresa como porcentaje de remoción, considerando los factores que inciden en la colmatación en cada uno de los filtros de la planta y de verificar la dosis óptima de cloro dentro de las cámaras de cloración mediante los datos de cloro residual.

Para realizar la evaluación de los filtros y de las cámaras de cloración se estableció procedimientos estandarizados obtenidos (CEPIS), con el uso del Manual III, que recibe el título de "Evaluación de las Plantas de tecnología aplicada), las pruebas efectuadas fueron: granulometría del medio filtrante, calidad del filtrado inicial, turbiedad del agua filtrada, velocidad y caudal de filtración, además de la caracterización del sistema de lavado, tiempo de lavado, carreras de filtración, perfil del lecho filtrante, expansión del lecho filtrante, bolas de lodo, características de las cámaras de cloración y características del medio filtrante.

Palabras clave:

Evaluación. Filtros rápidos. Potabilización. Filtración. Cloración. CEPIS. Tixán.

ABSTRACT

The Tixán water treatment plant is a conventional type plant, which belongs to the ETAPA EP company, which is located in the Chiquintad parish of the Cuenca canton, with a maximum flow capacity of 1940 l / s in modules I and II, this plant, aims to supply a projected population of 549646 inhabitants, until the year 2045. The following work was carried out an evaluation of the rapid filtration and chlorination processes within the water treatment plant, to meet this objective the historical data was collected and analyzed of the plant belonging to the years 2019, 2020 and 2021, where the inlet flows will be considered in addition to the physical parameters of the water during the filtration and chlorination process, in order to quantify the performance of the filters belonging to the modules in operation of the plant, which is expressed as a percentage of removal, considering the factors that affect the clogging of each of the filters of the plant and verify the optimal dose of chlorine in each of the chlorination chambers using the residual chlorine data.

To carry out the evaluation of the filters and the chlorination chambers, standardized procedures obtained from Manual III from (CEPIS), were established, the tests carried out were: Speed and filtration flow rate, Initial filtration quality, Turbidity of the filtered water, Duration of filtration strokes, Characteristics of the washing system, Duration of the washing process, Characteristics of the filter medium, Granulometry of the filter medium, Filter bed profile, Expansion of the filter bed, mud balls, characteristics of chlorination chambers.

Keywords

Evaluation. Rapid filters. Purification. Filtration. Chlorination. CEPIS. Tixán.

Contenido

RESUMEN	2
ABSTRACT.....	3
AGRADECIMIENTO	12
DEDICATORIA	13
CAPITULO I	14
GENERALIDADES	14
1.1. Antecedentes	14
1.2. Introducción	15
CAPITULO II	17
MARCO TEORICO.....	17
2.1. Propiedades del agua	17
2.2. Estructura química del agua	17
2.3. Parámetros del agua	17
2.3.1. Parámetros físicos	17
2.3.1.1. Color	17
2.3.1.2. Olor y sabor	18
2.3.1.3. Turbidez.....	18
2.3.1.4. Temperatura.....	19
2.3.1.5. pH.....	19
2.3.1.6. Conductividad y Resistividad	19
2.3.2. Parámetros químicos.....	19
2.3.2.1. Dureza	19
2.3.2.2. Alcalinidad	20
2.3.2.3. Aniones.....	21
2.3.2.4. Cloro libre residual	21
2.3.2.5. Cloruros	21
2.3.2.6. Fluoruro.....	22
2.3.2.7. Nitritos y Nitratos	22
2.3.2.8. Sulfatos.....	22
2.3.2.9. Cationes.....	22
2.3.2.10. Sólidos Totales.....	23
2.3.3. Parámetros biológicos	23
2.3.3.1. Coliformes Totales.....	23
2.3.3.2. Coliformes Fecales.....	23

2.4. Filtración.....	24
2.4.1 Mecanismo de filtración.....	24
2.4.1.1 Mecanismos de transporte.....	24
2.4.1.2. Mecanismos de adherencia.....	25
2.4.2. Clasificación de los filtros.....	25
2.4.3. Filtros de Tasa declinante.....	25
2.4.4. Lavado de medios filtrantes.....	27
2.4.4.1. Fluidización de medios porosos.....	27
2.4.5. Factores que afectan el proceso de filtración.....	28
2.4.5.1. Características de la suspensión.....	28
2.4.5.2. Características del medio filtrante.....	29
2.4.5.3. Estructura del lecho.....	30
2.4.5.4. Características hidráulicas.....	31
2.5. CLORACION.....	32
2.5.1. Cloro.....	32
2.5.1.1. Cloración.....	33
2.5.1.2. Reacciones del cloro.....	34
2.5.2. Trihalometanos.....	35
2.5.3. Demanda de cloro.....	36
2.5.5. Principales formas de aplicación.....	36
2.5.6. Determinación de cloro residual, método de la DPD – FERROSO (Colorimetría).....	36
CAPITULO III.....	38
METODOLOGÍA.....	38
3.1. Descripción del área de estudio.....	38
3.1.1. Descripción del proceso de operación de los filtros.....	38
3.1.1.2 Proceso de lavado.....	41
3.1.2. Dosificación de cloro/gas en la PTAT.....	42
3.2. Procedimiento a realizar según el CEPIS.....	44
3.2.1. Actividades para filtración.....	44
3.2.1.1. Actividad 1: Análisis de datos históricos de filtración.....	44
3.2.1.2. Actividad 2: Velocidad y caudal de filtración.....	45
3.2.1.3. Actividad 3: Calidad de filtrado inicial.....	45
3.2.1.4. Actividad 4: Turbiedad del agua filtrada.....	46
3.2.1.5. Actividad 5: Duración de las carreras de filtración.....	46
3.2.1.6. Actividad 6: Duración del proceso de lavado.....	46

3.2.1.7.	Actividad 7: Granulometría del medio filtrante	46
3.2.1.8.	Actividad de filtración 8: Perfil del lecho filtrante	47
3.2.1.9.	Actividad 9: Expansión del medio filtrante	49
3.2.1.10.	Actividad 10: Bolas de lodo.....	50
3.2.2.	Actividades para Cloración	50
3.2.2.1.	Actividad 1: Análisis de datos históricos	50
3.2.2.2.	Actividad 2: Verificación de la concentración óptima de cloro	51
3.2.2.3.	Actividad 3: Verificar las características de las instalaciones de cloración.....	51
3.3.	Parámetros de evaluación	51
3.3.1.	Parámetros de evaluación del proceso de filtración.....	51
3.3.2.	Parámetros establecidos para el sistema de cloración (CEPIS).....	53
CAPITULO IV		55
RESULTADOS Y ANÁLISIS		55
4.1.	Filtración	55
4.1.1.	Actividad 1: Datos Históricos.....	55
	Análisis de datos históricos 2019 - 2021 FILTRACIÓN.....	55
	ANÁLISIS 2019 MÓDULO I	55
	ANÁLISIS 2020 MÓDULO II	63
	ANÁLISIS 2021 MÓDULO I Y MÓDULO II	69
4.1.2.	Actividad 2: Velocidad y caudal de filtración	74
4.1.3.	Actividad 3: Calidad de filtrado inicial	79
4.1.4.	Actividad 4: Turbiedad del agua filtrada.....	83
4.1.5.	Actividad 5: Duración de las carreras de filtración	85
4.1.6.	Actividad 6: Duración del proceso de lavado.....	89
4.1.7.	Prueba de aplicación 7: Granulometría del lecho filtrante	92
4.1.8.	Prueba de aplicación 8: Perfil del lecho.....	97
4.1.9.	Prueba de aplicación 9: Expansión del medio filtrante.....	105
4.1.10.	Prueba de aplicación 10: Bolas de lodo	109
4.2.	CLORACION	110
4.2.1.	Prueba de aplicación 1: Análisis de los datos históricos del cloro residual.....	110
	PUNTO MAS CERCANO	110
	PUNTO INTERMEDIO	112
	PUNTO MAS ALEJADO	114
4.2.2.	Prueba de aplicación 2: Verificación de la Dosis óptima de cloro.....	116
4.2.3.	Prueba de aplicación 3: Características del sistema de aplicación.....	117

UCUENCA

a) Características de las instalaciones de cloración	118
Capítulo V.....	122
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	122
5.1. CONCLUSIONES	122
5.2. RECOMENDACIONES	124
BIBLIOGRAFÍA.....	125
Anexos.....	128

Cláusula de Propiedad Intelectual

Daniela Isabel Abad Durán autor/a del trabajo de titulación "Evaluación técnica del proceso de filtración rápida y cloración en la Planta de Tratamiento de Agua Tixán", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 15 – julio - 2022



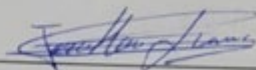
Daniela Isabel Abad Durán

C.I: 0106686124

Cláusula de Propiedad Intelectual

Jonnathan Edmundo Guaraca Vásquez autor/a del trabajo de titulación "Evaluación técnica del proceso de filtración rápida y cloración en la Planta de Tratamiento de Agua Tixán", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 15 – julio - 2022



Jonnathan Edmundo Guaraca Vásquez

C.I: 0104651344

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Daniela Isabel Abad Durán, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación técnica del proceso de filtración rápida y cloración en la Planta de Tratamiento de Agua Tixán", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 – julio - 2022



Daniela Isabel Abad Durán

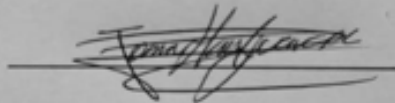
C.I: 0106686124

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Jonnathan Edmundo Guaraca Vásquez, en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación técnica del proceso de filtración rápida y cloración en la Planta de Tratamiento de Agua Tixán", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 – julio - 2022



Jonnathan Edmundo Guaraca Vásquez

C.I: 0104651344

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi familia que han sido la base y pilares integrales de nuestra formación, impulso de nuestra vida, a nuestra Tutora Ing. Alexandra Guanuchi Quito, el cual ha sabido tener la paciencia y sabiduría para encaminarnos en todo este proceso. De igual manera queremos agradecer a la Planta de Tratamiento de Agua Tixán, a través de su Jefe de Plantas, Ing. Juan Diego Espinoza, por abrirnos las puertas en la planta de tratamiento de agua Tixán, aportarnos sus conocimientos y a todos quienes lo conforman, por su acogida y ayuda para la elaboración de nuestro trabajo de titulación, a todos ustedes gracias.

DEDICATORIA

Este proceso ha requerido esfuerzo, disciplina y entrega. Por ello dedicamos este resultado rebotante de alegría, al temple de quienes nos apoyaron y acompañaron en cada parte del trabajo, su energía lo hizo posible.

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

La planta de Tratamiento de Agua TIXAN (PTAT), pertenece al proyecto realizado por la Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y saneamiento de Cuenca (ETAPA EP), perteneciente a la provincia del Azuay cantón Cuenca, que inició la construcción del módulo I en el año de 1994, y que concluyó en abril de 1996, inaugurándose en el mes de noviembre de dicho año, con una capacidad de máxima de tratamiento de 840l/s.

Debido a la creciente demanda del agua potable en la población, se creó un segundo módulo de potabilización, mismo que pretende abastecer a la población hasta el año 2045, dicho módulo fue inaugurado el 13 de mayo del 2019, con una capacidad de procesamiento máxima de 1100l/s, dicho módulo inició operaciones en diciembre del 2019, con estos dos módulos se pretende abastecer a una población proyectada de 549 646 habitantes.

Ambos módulos cuentan con un sistema de filtración rápida, y con un sistema de cloración que usan cámaras de contacto con cloro gas. La PTAT, tiene la certificación ISO 9001-2015. El agua potable obtenida se sale de los estándares de turbiedad planteados de manera interna, estos estándares internos sirven para que, a la salida de la red de distribución, cumpla con los parámetros estipulados en la Norma INEN 1108 5ta ed.

La PTAT, de acuerdo a los registros diarios emitidos de forma interna, evidencian niveles de turbiedad que sobrepasan los parámetros internos de la planta; mismos que, se deben a la perdida de lecho en el proceso de lavado dentro de la etapa de filtración. Dentro del proceso de cloración, se comparte un suministro de cloro que sirve tanto para la desinfección del agua obtenida del módulo I y II, pero no se cuenta con los medidores de concentración adecuado, por lo que la regulación de flujo másico de cloro no se lo puede realizar de manera efectiva, impidiendo un flujo de agua de ingreso diferente al actual.

Objetivo General

- Evaluar y diagnosticar el proceso de filtración y cloración pertenecientes a los módulos I y II de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán.

Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros óptimos del módulo de filtración y cloración de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Tixán.
- Establecer el caudal óptimo de trabajo para los módulos de filtración y cámaras de cloración.
- Revisar y analizar la eficiencia de los módulos de filtración y las cámaras de cloración a través de los datos históricos del último año a través del programa estadístico SPSS

1.2. Introducción

Realizar una evaluación de los sistemas de filtración y cloración implica un análisis profundo y detallado de la operación y el funcionamiento de cada una de estas unidades. Esto permitirá obtener datos e información de suma relevancia, la misma que nos permitirá establecer las condiciones óptimas para el correcto funcionamiento de las unidades antes mencionadas.

La PTAT, es una planta de tipo convencional, cuyos filtros actúan por gravedad, se encuentra constituido por etapas para la obtención de agua potable, estas son: coagulación, floculación, sedimentación, filtración rápida, y desinfección.

Para la preparación de químicos y soluciones la planta cuenta con un área de almacenamiento y dosificación, un laboratorio encargado de la parte microbiológica. Además del departamento de operación, mismo que controla los caudales de ingreso mediante sensores, en este espacio los operadores son los que se encargan de la toma y medición de las muestras en lo que compete turbiedad y color del agua en cada una de las etapas mencionadas, y la medida de cloro residual en cada uno de los tanques de almacenamiento, contando con cinco tanques de reserva de agua tratada.

Los filtros son uno de los elementos más delicados y complejos dentro de una planta, ya que de ellos depende el estado de la calidad de agua final, los mismos que deben

UCUENCA

trabajar de la manera más óptima posible para obtener la mayor eficiencia dentro del proceso. Por esta razón se realizó el presente trabajo de titulación que lleva por tema: "EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO DE FILTRACIÓN RÁPIDA Y CLORACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA TIXÁN", para esto se aplicó los procedimientos establecidos por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), los cuales permiten la identificación de los factores que provocan la colmatación temprana de los filtros y la verificación de la dosis óptima de cloro gas, además de las características de las cámaras de almacenamiento de cloro.

MARCO TEORICO

2.1. Propiedades del agua

2.2. Estructura química del agua

El agua posee distintos estados como: líquida, además que su estructura es amorfa y estados sólidos con una constitución muy compleja que constituye cualquier estructura compuesta por agua pura, independientemente del número de moléculas.

2.3. Parámetros del agua

Los parámetros del agua se clasifican en: físicos, químicos, biológicos y bacteriológicos [7].

2.3.1. Parámetros físicos

Algunas propiedades del agua son perceptibles para los sentidos como el olfato, la vista o el gusto y poseen un impacto directo en la recepción positiva del agua provenientes de sus consumidores.

2.3.1.1. Color

Esta propiedad del agua suele ser relacionada con la turbidez u ocurrir independientemente de ella. Usualmente se da porque el agua contiene ciertas sustancias que provienen de la naturaleza como son los taninos, que se encuentran usualmente en la corteza de los árboles o en las plantas en sí, además de la materia orgánica presente en el medio, un ejemplo claro es la presencia de ácido húmico. Existen algunas causas en específico que originan o son las causantes de color del agua que naturalmente se conoce como:

- Materia- degradación.
- MO (materia orgánica) proveniente de las capas de sedimento.
- La presencia de metales dentro del medio acuoso, como por ejemplo el hierro que le da un color amarillento-anaranjado al igual que el manganeso con una coloración marrón - negro.
- Residuos industriales como de la industria textil y papel [8].

El color se clasifica en color aparente y color verdadero.

El color verdadero es un parámetro que depende solamente del agua y de las sustancias que permanecen en suspensión dentro de ella, sin embargo, el color aparente además

UCUENCA

de las sustancias disueltas también incluye aquellas partículas suspendidas en el medio acuoso. El color verdadero es lo que queda después de filtrar el agua. La desinfección debe realizarse después de haber eliminado la mayoría del color [5].

El instrumento comúnmente utilizado para esta medida se llama colorímetro, utiliza colorimetría a base de platino y cobalto y la unidad es Platino-Cobalto (Pt-Co) [9].

2.3.1.2. Olor y sabor

El gusto y el olfato son dos parámetros estrechamente relacionados y se considera la principal razón del rechazo de los consumidores. La ausencia de olor puede ser una indicación indirecta percibida por los consumidores, que les indica que el agua que se consume está libre de contaminantes. Los problemas de sabor presentados en los sistemas de abastecimiento de agua potable se dan por deficiencias en el proceso de distribución y estos representan el mayor número de quejas de los consumidores [8].

Para eliminar el olor presente en el agua se usan algunos métodos como: el método de aireación o por la acción de carbón activado granular o en polvo.

La ilustración 1, representa la tabla en la cual, se indica el origen de donde pueden provenir los diferentes olores.

Naturaleza	Origen
Olor balsámico	Flores
Dulzor	<i>Coelosphaerium</i>
Olor químico	Aguas residuales industriales
Olor a cloro	Cloro libre
Olor a hidrocarburo	Refinería de petróleo
Olor medicamentoso	Fenol, yodoformo
Olor a azufre	Ácido sulfhídrico, H ₂ S
Olor a pescado	Pescado, mariscos
Olor séptico	Alcantarilla
Olor a tierra	Arcillas húmedas
Olor fecaloide	Retrete, alcantarilla
Olor a moho	Cueva húmeda
Olor a legumbres	Hierbas, hojas en descomposición

Ilustración 1. Agua(olores-origen).

Fuente: Quim. Ada Barrenechea Martel, aspectos fisicoquímicos de la calidad de agua.

2.3.1.3. Turbidez

Se produce por partículas o coloides suspendidos. Lo que indica que son causadas por las partículas que permanecen en suspensión como consecuencia de su tamaño y reducen en gran manera la transparencia característica del agua tratada. La medición se realiza con un turbidímetro, dando como resultado valores expresados en (NTU) Unidad de Turbidez [8].

2.3.1.4. Temperatura

Se encuentran entre los factores más relevantes, que a menudo afectan la desaceleración o al aumento de la actividad biológica, la absorción de O₂, la sedimentación de compuestos, la conformación de sedimentos, la floculación, la sedimentación y la filtración. Existen varios factores de los cuales consideramos los más importantes, entre ellos los ambientales, que afectan la variación de la temperatura promedio del agua que fluye en la naturaleza [8].

2.3.1.5. pH

El pH del agua afecta determinados fenómenos, los cuales ocurren dentro del mismo medio, como la corrosión y las incrustaciones en la red de distribución. Si bien es seguro decir que no incide de manera directa en la salud, puede afectar los procesos que se llevan a cabo para la potabilización del agua, como por ejemplo la floculación y la desinfección. El agua natural (no contaminada) generalmente tiene un pH entre 6 y 9 [8].

Cuando se trata agua ácida, la adición de una sustancia alcalina (generalmente cal) es común para mejorar la coagulación. Durante el tratamiento del agua potable, es necesario restablecer el pH del agua hasta que este no cause efectos corrosivos [8].

El equipo de medición utilizado es el potenciómetro (pHmetros) o indicadores (papel de Litmus, papel tornasol) [9].

2.3.1.6. Conductividad y Resistividad

El agua posee cierta capacidad para conducir la electricidad, este parámetro es conocido como conductividad, siendo este un indicador de la suma de sustancias ionizadas (aniones y cationes) presentes en el agua. Para medir la conductividad se utiliza el conductímetro, que se fundamenta en medir la resistencia de la corriente eléctrica entre dos lados opuestos de un prisma rectangular, que se ven comparados con una solución estándar de KCl o NaCl. Las unidades para su cálculo usualmente son el micro Siemens por cm (micro-Siemens / cm) [9].

2.3.2. Parámetros químicos

Constituyen uno de los principales requisitos para caracterizar el agua. Entre los contaminantes químicos, los que generan especial inquietud son los que tienen propiedades tóxicas acumulativas, como los metales pesados. A continuación, se menciona los principales [9].

2.3.2.1. Dureza

Este parámetro se basa en la suma de cationes, en específico aquellos que son polivalentes, es decir que cuantifica aquellos que poseen más de una valencia y se mide

en cantidades equivalentes de carbonato cálcico, mismos que se consideran dentro de esta medición y siendo los más comunes los iones de calcio y de magnesio. La dureza está relacionada con la acidez y la alcalinidad; es decir, depende de ambos [5].

El agua dura puede hacer que se formen depósitos en las tuberías e incluso bloquearlas por completo. La dureza se elimina en este proceso por precipitación de cal o por la combinación de cal y carbonato, conocido como ablandamiento de cal sodada. En general, el agua puede considerarse blanda cuando su dureza es inferior a 100 mg/L; dureza moderada, cuando contiene 100-200 mg/L; y de larga duración, cuando contiene de 200 a 300 mg/L (en cualquier caso, como carbonato cálcico $CaCO_3$) [5].

- Dureza Total: mide el contenido de iones Calcio (Ca^{++}) y Magnesio (Mg^{++}).
- Dureza permanente: hace referencia a la presencia de iones calcio y magnesio luego de llevar la muestra de agua a ebullición, como paso posterior se hace la recuperación del volumen inicial con agua destilada.
- Dureza temporal: misma que se relaciona a la medición de los iones HCO_3^- obtenidos al eliminarse por ebullición y se obtiene a partir de la diferencia entre la dureza total y permanente.

Existen algunas maneras de determinar estas concentraciones, los más comunes son el uso de espectrofotómetro de absorción atómica o la titulación realizada con EDTA.

Las Unidades de medida son los miligramos por litro (mg/L) o su representación equivalente de partes por millón (ppm) de $CaCO_3$ [9].

2.3.2.2. Alcalinidad

La alcalinidad se define como la capacidad del agua para neutralizar los ácidos. Pero, los aniones débilmente ácidos (bicarbonatos, carbonatos, hidróxidos, azufres, disulfuros, silicatos y fosfatos) pueden favorecer a la alcalinidad [5].

Un factor de suma importancia que afectan la alcalinidad es el potencial hidrógeno, también conocido como pH [5].

Dentro de los tratamientos de agua, la alcalinidad juega un papel fundamental debido a que permite las reacciones coagulantes hidrolizables (por ejemplo, sales de hierro y aluminio) mediante la coagulación. Además, esto actúa sobre las propiedades corrosivas o incrustantes del agua, y si es alto, puede tener un efecto negativo en el sabor. Durante el procesamiento, el agua cruda con valores de alcalinidad bajos puede requerir la adición de una sustancia alcalina de partida como el hidróxido de calcio [5].

2.3.2.3. Aniones

En el apartado posterior se enlistan los iones negativos que normalmente se encuentran presentes en el agua:

- Cloruros (Cl^-): presentes en aguas dulces con valores y concentraciones de 10 a 250 ppm.
- Sulfatos (SO_4^{2-}) como los cloruros los sulfatos se encuentran presentes o contenidos en las aguas dulces con valores que oscilan entre (2 - 150) ppm.
- (HCO_3^-) Bicarbonatos.
- (CO_3^{2-}) Carbonatos [9].

Iones en menor proporción:

- Nitratos (NO_3^-) < 10 ppm
- Fosfatos (PO_4^{3-}) = 1ppm
- Fluoruros (F^-) [9].

2.3.2.4. Cloro libre residual

La Organización Mundial de la Salud, ha establecido un valor tomado como referencia de 5 mg/L como valor máximo permitido. Este valor tiende a no superarse, manteniéndose las concentraciones de cloro residual entre 0,5 y 1 mg/L. No es raro encontrar agua super clorada. Los límites de sabor a cloro son 5 y 2 mg/L en agua destilada, respectivamente. Se sabe que un gran porcentaje de las personas prueban el cloro y sus derivados (cloraminas) en concentraciones menores de 5 mg/L y hasta 0.3 mg/L. Según la Norma INEN 1108, 5ta ed. El rango se mantiene entre 0,3 y 1.5 mg/L [10].

2.3.2.5. Cloruros

En el agua potable, su presencia se debe a la adición de cloro para las plantas de tratamiento de agua como desinfectante. El cloruro, como el cloro, son de los principales aniones inorgánicos en el agua, pero con la obtención concentraciones más altas, el agua puede adquirir un sabor salado mismo que es detectado debido a los cationes conjugados generados por el Na y K, en cambio que, si se encuentran cationes de calcio o compuestos como el Cl_2Mg , el sabor del agua no cambia debido a que su presencia es en cantidades pequeñas.

El alto contenido de cloro incrementa la corrosión del sistema de la red de distribución. La concentración de este gas es de 250 (mg/L), valor de referencia que fue establecido por la OMS [8].

2.3.2.6. Fluoruro

Los fluoruros son beneficiosos en concentraciones adecuadas para los seres humanos sin embargo una alta concentración del mismo puede causar "fluorosis" además de daños a los huesos de las personas que lo consumen en concentraciones por encima de las recomendadas, y se producen efectos tóxicos en concentraciones muy altas. El valor indicativo dado por la Organización Mundial de la Salud corresponde a 1,5 mg/L y puede eliminarse mediante precipitación con cal, dolomita y alumbre. [8].

2.3.2.7. Nitritos y Nitratos

Existen ciertas zonas en donde los valores de nitritos y nitratos exceden los valores normales presentes en el agua, normalmente las aguas de zonas rurales contienen valores superiores, esto debido al contacto del agua con la MO, misma que proviene de animales y trazas de algunos elementos provenientes de los fertilizantes. La temperatura incide en el proceso de nitrificación, así como oxígeno disuelto y el pH del agua [8].

2.3.2.8. Sulfatos

Los sulfatos forman parte de las aguas superficiales en su gran mayoría, con concentraciones sumamente pequeñas, mismas que no cambian o deterioran la calidad de estas aguas, se deduce que los estos pueden surgir debido a la oxidación de los sulfuros presentes en el medio.

Los sulfatos en especial de los de calcio y magnesio, contribuyen a la dureza del agua. Los niveles altos de sulfato pueden dar al agua un sabor amargo y pueden tener un efecto laxante, especialmente en presencia de magnesio. Cuando el sulfato está muy concentrado, se vuelve corrosivo. [8].

2.3.2.9. Cationes

Los más comunes son:

- Calcio (Ca): Como se sabe este ion forma parte de los iones que aportan a la dureza del agua, este ion usualmente está en el agua en una concentración del 10 y 250 ppm.
- Magnesio (Mg): este ion posee propiedades parecidas al ion calcio, pero su sal es más soluble impidiendo su precipitación.
- Sodio (Na): este ion está estrechamente relacionado con los iones cloruros en una relación 1:1, se sabe que en el agua dulce está presente entre 1 a 150 ppm.

- Potasio (K): el agua dulce generalmente su concentración no superan las 10 ppm, categorizándolo como un catión menos importante.
- Hierro (Fe): el ion proveniente del Fe puede presentarse como iones férricos (2) o en forma de iones férricos altamente oxidados (3), que pueden afectar la potabilidad del agua además de la presencia de cal.
- Manganeso (Mn): el comportamiento de este ion puede ser explicado por medio de los iones producidos por el Fe, debido a que comparten una similitud en su comportamiento [9].

2.3.2.10. Sólidos Totales

Los sólidos totales son la suma de los sólidos disueltos y de los sólidos suspendidos.

- Sólidos disueltos: Mide la cantidad de soluto en el agua determinada por la evaporación de un volumen pre filtrado [10].
- Suspendido: mide la materia en suspensión que puede ser capturada por el filtro (0.45 micrones) [10].

2.3.3. Parámetros biológicos

Se refiere a la presencia de microorganismos patógenos de diferentes tipos: bacterias, virus, y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, gastroenteritis, hepatitis, etc. [10].

2.3.3.1. Coliformes Totales

Los coliformes se han utilizado como indicador de la potabilidad porque son fáciles de detectar y también cuantificables. Los coliformes incluyen todas las bacterias y bacilos gramnegativos que se proliferan en las sales binarias [10].

2.3.3.2. Coliformes Fecales

Se engloba a los bacilos de vida corta que viven en temperaturas entre 44 y 45 grados centígrados. Esta lista incluye los géneros de Escherichia. Pero solo E. coli se deriva específicamente de las heces y casi siempre se encuentra en las heces de mamíferos y aves [10].

La ausencia de los coliformes fecales se debería a que no existe una contaminación de origen fecal, además que su tiempo de vida es menor en comparación de los coliformes totales. La eliminación de las coliformes se puede dar por medio del uso de cloro, como uno de los métodos desinfectantes [10].

2.4. Filtración

Este proceso implica la eliminación de partículas coloidales y en suspensión que se encuentran dentro de la suspensión acuosa que se drena por la acción de un medio poroso. La filtración es el proceso de limpieza final que tiene lugar en una planta y, por lo tanto, es el principal responsable de producir agua de alta calidad que cumpla con los estándares actuales de los consumidores [13].

2.4.1 Mecanismo de filtración

La filtración se caracteriza por la remoción de partículas que se encuentran suspendidas a través de un medio filtrante, esto se atribuye a la acción de dos mecanismos que trabajan conjuntamente, estos son los mecanismos de transporte y adherencia. El agua antes de atravesar el lecho contiene una gran variedad de partículas de distinto tamaño y carga, estas partículas pueden ser de carácter electropositivas, electronegativas, o inclusive neutras. Dentro de las partículas que se encuentran en suspensión se identifican dos, la primera conocida como floc, que se caracteriza por un gran volumen y cuya retención se realiza en los intersticios superiores del medio filtrante, y las partículas de menor diámetro que se encuentran libres dentro de los intersticios en una etapa inicial y atraviesan cierta distancia o profundidad antes de ser retenidos [13].

2.4.1.1 Mecanismos de transporte

Este mecanismo es considerado como una remoción hidráulica, las partículas en suspensión que se encuentran presentes en el agua colisionan con las partículas sólidas pertenecientes al lecho, que usualmente son partículas de arena. Para entender lo antes mencionado se refiere a la Ilustración 2, que muestra los distintos tipos de mecanismo de transporte, además muestra el comportamiento del fluido al atravesar las partículas de arena, se puede apreciar como las partículas presentes en el fluido colisionan con la partícula sólida provocando la adherencia de sus superficies, y de esta manera provocando la remoción [14].

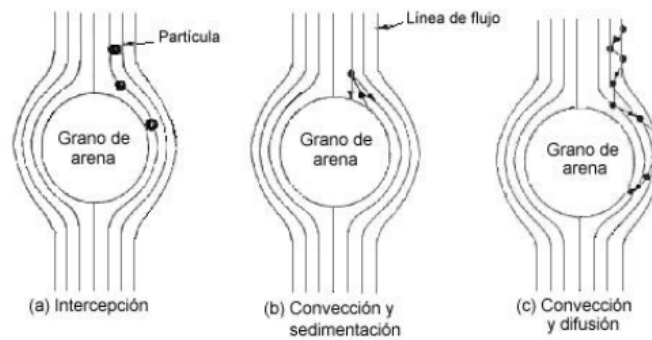


Ilustración 2 mecanismos de transporte
Fuente: Canepa de Vargas. L., *Filtración lenta como proceso de desinfección*

2.4.1.2. Mecanismos de adherencia

Este mecanismo es de gran importancia debido a que de este depende la remoción, este fenómeno se da por medio del desarrollo de la película biológica que se forma después de que el filtro se pone a trabajar, esta película hace que los granos de arena sean más adsorbentes y permiten que la adherencia sea mucho mayor. Al inicio, esta película es inexistente, lo que provoca una remoción nula de coliformes, luego de un tiempo de su funcionamiento esta película se forma y su tasa de remoción aumenta en una escala logarítmica [10].

Los factores que intervienen dentro de este mecanismo son las fuerzas de Van der Waals, los puentes de Hidrógeno y las fuerzas electroestáticas [13].

2.4.2. Clasificación de los filtros

Los filtros pueden ser clasificados de acuerdo a algunos criterios, uno de ellos es por la velocidad o tasa de filtración, como una subclasificación dentro de esta categoría se tienen los filtros rápidos y filtros lentos. Dependiendo de la presión, los filtros se pueden clasificar en filtros a presión y filtros por gravedad. Un filtro de gravedad suele ser un filtro abierto donde se succiona agua por medio de la arena, que se puede operar tanto automática como manualmente. Según el método operacional estos pueden ser de tasa constante y tasa declinante [14].

2.4.3. Filtros de Tasa declinante

Cuando se habla de tasa declinante, ilustración 3, la carga hidráulica se aplica desde el comienzo de la carrera del filtro hasta su final, esto provoca que el flujo del filtro

disminuya con el tiempo. Poseen una excelente calidad de agua obtenida y ciclos de filtración más prolongados si los comparamos con los filtros de flujo continuo.

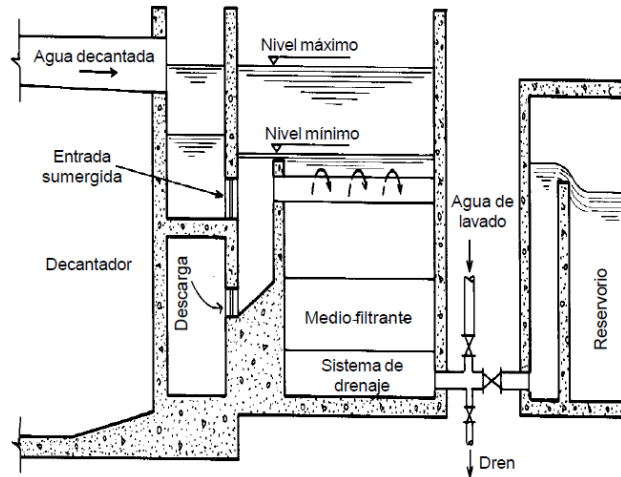


Ilustración3. Esquema -sistema de filtración -tasa declinante.

Fuente: Maldonado, V. Filtración. Capítulo 9. Cinética de filtración.

El flujo total se distribuye uniformemente, como se muestra en la ilustración 3, sin embargo, los niveles de agua dentro de los filtros cambian independientemente de los niveles de las otras unidades, de esta manera el flujo del filtro permanecerá constante. En la caja del filtro existe una variación en lo que respecta al nivel de agua, puede adquirir un valor mínimo cuando esté completamente limpio y un valor máximo cuando el medio filtrante esté listo para lavarse. Este tipo de unidad de filtrado tiene algunas ventajas de flujo continuo y nivelado. El flujo de entrada y el flujo de salida del filtro son constantes y no necesita utilizar ningún mecanismo de control. Cuando un filtro entra a mantenimiento, el flujo de este filtro se distribuye uniformemente por medio de los filtros restantes con la finalidad de que este proceso no se vea afectado. Después del mantenimiento de un filtro, la tasa de filtración de los que siguen, disminuye gradualmente hasta que el filtro se equilibra [13].

- Cuando se para la operación de un filtro para lavarlo, el nivel de agua aumenta gradualmente en los otros filtros como consecuencia el cambio en la tasa de flujo del filtro es gradual.
- El operador puede ver inmediatamente la caída de presión debido al nivel de líquido dentro de los filtros.
- Cuando la tasa de filtración se ve disminuida en el transcurso de la carrera de filtración, garantiza una mejor pureza en las aguas tratadas que atraviesan el filtro.
- La cantidad de agua obtenida o producida por unidad de caída de presión se ve incrementada por este factor [13].

2.4.4. Lavado de medios filtrantes

Este proceso se realiza invirtiendo la dirección del flujo, es decir que se suministra agua desde la parte inferior del filtro, específicamente desde el falso fondo, el proceso mencionado expande el medio filtrante y el agua que se desborda por la parte superior, es recolectada por los canales de vaciado del filtro. El lavado se realiza por tiempo de carrera de filtración de cada filtro, ya que las partículas del medio filtrante atrapan gradualmente el material y esto provoca la saturación del lecho.

2.4.4.1. Fluidización de medios porosos

Cuando un flujo ascendente pasa a través de un medio granular, hace que las partículas sean redirigidas a una posición donde hay menos resistencia al flujo. Es así, que, a valores muy pequeños de velocidad de lavado, la antracita o el medio filtrante no produce expansión y por tanto su porosidad no cambia significativamente [11].

Ocurre lo contrario cuando aumenta la velocidad de lavado, esto provoca que las partículas se eleven a medida que superan su peso y quedan suspendidas en el líquido [11].

La velocidad de lavado es proporcional a la altura del lecho filtrante, con un aumento de porosidad y con una resistencia al paso del agua que es aproximadamente la misma. Cuando el medio poroso no se expande, la caída de presión es lineal con la velocidad del flujo, pero no cuando ocurre la expansión del mismo la caída de presión tomará el máximo valor [11].

Para obtener los valores de la expansión del medio poroso es requerido, (Re), siglas que se usan para representar el número de Reynolds y también se usa (Ga) siglas que se usan para designar a el número de Galileo, es así como se presentan las siguientes fórmulas para el desarrollo de la expansión del medio filtrante:

$$Re = \frac{De * V * \rho}{\mu} \quad \text{Ec. 1 - 1.}$$

$$Ga = \frac{De^3 * \rho * (\rho_s - \rho) * g}{\mu^2} \quad \text{Ec. 1 - 2.}$$

De donde:

De = diámetro equivalente.

V = velocidad del flujo proveniente del agua

μ = viscosidad dinámica.

ρ = densidad del agua

ρ_s = densidad del material filtrante.

g= gravedad.

Fórmula para el cálculo del lecho expandido:

$$\varepsilon_e = 1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{1 - \varepsilon_i}} \quad \text{Ec. 1 - 3.}$$

Expresión para el cálculo de la expansión total (E):

$$E = \frac{\varepsilon_e - \varepsilon_o}{1 - \varepsilon_o} = \frac{l_e - l_o}{l_o} \quad \text{Ec. 1 - 4.}$$

De donde:

ε_i = porosidad expandida perteneciente a la capa

ε_o = porosidad del lecho estático.

X_i = fracción en peso del material retenido entre dos tamices consecutivos.

l_o = espesor del lecho estático.

l_e = espesor del lecho expandido.

Las pérdidas de carga que se generan se van a calcular a partir del peso de las partículas de cada material presente en el filtro, o en otras palabras de cada material filtrante que compone el lecho, la ecuación con la que se puede obtener dicho valor es la siguiente:

$$h_i = (1 - \varepsilon_o) L_o \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} \right) \quad \text{Ec. 1 - 5.}$$

De donde:

h_i = representa las pérdidas de carga correspondiente al material expandido.

ρ_s = es usado para expresar o representar la masa específica del material filtrante.

ρ_a = usado para representar la masa específica del agua

2.4.5. Factores que afectan el proceso de filtración

La eficiencia de la filtración depende en gran manera de las características y propiedades de la suspensión, el medio filtrante, la hidráulica del proceso de filtración y la calidad del agua residual.

2.4.5.1. Características de la suspensión

La eliminación de partículas suspendidas posee ciertos niveles de eficacia mismos que dependen de las siguientes propiedades:

- a) gránulos en suspensión;
- b) el tamaño de partícula en la suspensión;

- c) la densidad de las partículas en suspensión.
- d) resistencia o dureza de partículas en suspensión (fragmentos);
- e) la temperatura del agua filtrada;
- f) pH del afluente.

2.4.5.2. Características del medio filtrante

Se deben considerar las características del medio filtrante, algunas son de gran impacto dentro del proceso de filtración, por lo que se mencionan las más importantes:

a) Tipo de medio filtrante

El medio filtrante que desea utilizar depende de los logros o datos que se desean obtener, y también debe considerar la duración de los ciclos de filtrado, así como la facilidad de lavado. Los medios filtrantes son ideales cuando las partículas de cierto tamaño y peso pueden eliminar la mayor cantidad posible de partículas en suspensión para obtener agua de buena calidad [13].

La arena, se usa a menudo para una filtración rápida, en todos los casos ocurre la estratificación de la arena. La estratificación ocurre debido a la diferencia de tamaño de las partículas, dentro del proceso de retro lavado, las partículas más grandes desarrollarán una tendencia a quedarse en la base del filtro, mientras que las partículas más finas estarán dispuestas más cerca de la superficie. Con la estratificación de arena, la mayoría de partículas presentes en el fluido son retenidas en las capas superiores del lecho donde predominan las partículas finas de la arena [16].

b) Características del tamaño de las partículas de los medios filtrantes

Parámetros utilizados:

- Tamaño efectivo: Es el tamaño de partícula por el cual el 10% de ese material tiene tamaño menor.
- Coeficiente de uniformidad (CU): Se utiliza para evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas de un suelo.
- Forma: Característica visual de la partícula.
- Tamaño mínimo: Se define como la máxima abertura de tamiz, por el que pasa menos del 10% en peso de la muestra.

- Tamaño máximo: Se define como la abertura del menor tamiz, por el que pasa el 100% de la muestra [16].

2.4.5.3. Estructura del lecho

Un lecho puede estar constituido por algunas zonas, como se muestra en la ilustración 4, las cuales serán explicadas a continuación:

- Zona de saturación: esta zona está ubicada en la parte superior del lecho, aquí entran en contacto el lecho y el agua reteniendo el material en suspensión. Así aquellos sólidos atrapados se filtran a las capas inferiores [17].
- Transición: Esta zona se caracteriza debido a que la cantidad de partículas retenidas es moderada, sin embargo, aún cuenta con la capacidad de retener la materia perteneciente al fluido entrante [17].
- Zona de seguridad: Esta zona está llena solo de agua limpia. Esta zona asegura una calidad satisfactoria del agua filtrada [17].

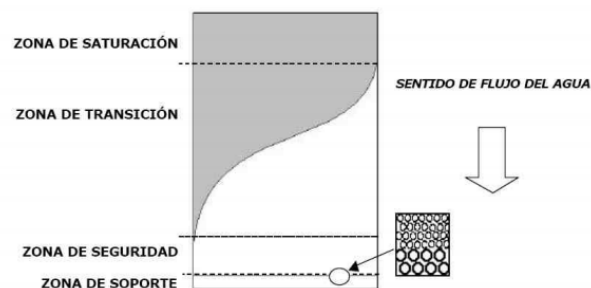


Ilustración 4. Estructura -lecho.

Fuente: Pérez, F. (2006).

d) Zona de soporte: Se encuentra ubicada en el nivel más bajo del filtro, como se indica en la ilustración 4, se encarga de recibir toda el agua filtrada, además cuando el filtro es lavado este sistema distribuye de manera uniforme el agua y aire destinados a la fluidización del lecho, la misma puede estar formada por el mismo material que el medio filtrante, pero con un tamaño de partícula mayor. Se describen a continuación:

- La zona de transición tiene la dirección del flujo de agua.
- La altura de la región de saturación aumenta.
- Se reduce la altura del área no utilizada.
- Al mismo tiempo, la caída de presión aumenta con la saturación del filtro [17].

2.4.5.4. Características hidráulicas

a) Tasa de filtración

No es correcto asegurar que el uso de un bajo flujo de filtración produzca agua de mejor calidad y una mayor cantidad de agua generada por el proceso de filtración, esto quiere decir que puede existir un caso en que una filtración con un alto flujo de agua y otra con un bajo flujo de agua arrojen resultados similares en su resultado final de calidad.

La tasa definitivamente puede variar y esto puede afectar la calidad del agua potable, estos cambios dependerán del área de filtración, así como del volumen del agua tratada y del tiempo en que se demora dicho proceso [13].

Lo que se menciona en el párrafo anterior se puede observar en la ilustración 5, en donde se correlaciona el tiempo de funcionamiento con la turbiedad del agua obtenida, siendo las gráficas las representaciones de distintas tasas de filtración.

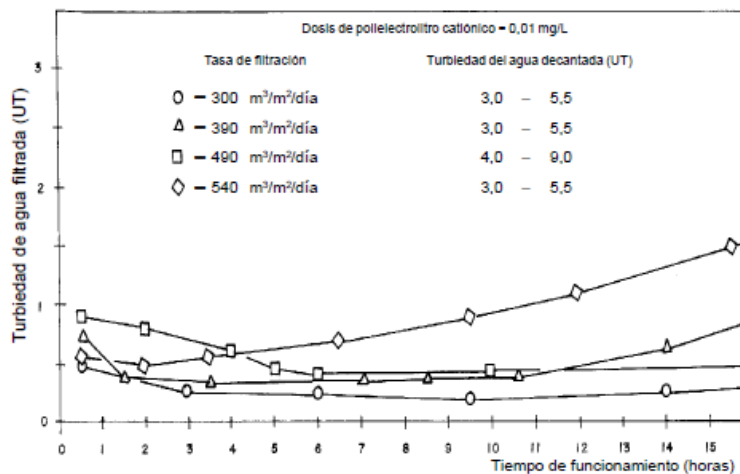


Ilustración 5. filtración y la calidad del agua filtrada.

Fuente: Maldonado, V. Filtración. Capítulo 9. Cinética de filtración

Un cambio en la tasa durante el ciclo de filtración usualmente es inevitable y puede afectar significativamente la calidad del agua filtrada.

b) Carga hidráulica disponible

La carga hidráulica es la suma de la elevación del punto de medida del agua y la carga de presión. Este factor afecta la filtración y el tiempo en el que se realiza dicho proceso, y cabe señalar que estos datos se recopilan de forma experimental y son determinados por la persona que realizará el estudio. Los estudios han demostrado que aquellos filtros

poseedores de un flujo bajo hacen que su carrera de filtración sea aún más larga que aquellos filtros poseedores de un flujo fijo con la misma caída de presión dentro de su medio filtrante y con igual tasa de filtración promedio [13].

c) Calidad del filtrado

Este factor se relaciona con las características naturales del filtro, además del uso de agua filtrada y la obtención de un proceso eficiente. Los valores permitidos de resistencia al agua varían según el país, pero en general la turbidez no debe exceder las 5 NTU y se la consideraría ideal si este valor estuviera por debajo de 1 NTU. Estas condiciones mencionadas se pueden obtener con el uso de dos capas de arena, pero el agua que se filtra no presenta una calidad constante esto porque a medida que avanza la filtración, la calidad disminuye gradualmente. A nivel bacteriano, los filtros son una barrera higiénica para los microorganismos, eliminando más del 99% [16].

b) Método de control de los filtros

Es un parámetro de suma importancia, debido a que afecta la eficiencia del dispositivo, es decir de los filtros, los que menciona el autor son: tasa constante y relación descendente.

2.5. CLORACION

2.5.1. Cloro

Es un gas de color amarillo verdoso, que tiene una densidad de 2,48 veces la del aire a temperatura y presión ambiente. El cloro viene de la raíz griega (chloros) que significa verde y amarillo. El cloro usualmente se encuentra en la naturaleza en forma de sal como cloruro de sodio u otras sales. También se utiliza en el tratamiento de aguas para controlar las algas, el olor y el color, también se usa para reducir microorganismos y como oxidante para reducir el hierro y el manganeso entre otros [22].

En la tabla 1, se presentan las propiedades del cloro y sus derivados.

Tabla 1. Propiedades del cloro y sus derivados.

Símbolo o fórmula	Cl ₂	Cl ₂	NaOCl	Ca(OCl) ₂
Peso molecular	70.90	70.90	74.45	142.99
Estado	Gas	Líquido	Líquido	Granular
Color	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo
Peso específico (aire=1, agua= 1)	2.48 0°C y at	1.41 (20°C)	1.2	0.8
Punto de congelación		- 100.98		
Punto de licuefacción (ebullición)	- 34.5°C (1 at)	- 35.5°C (1 at)		
Cloro disponible	99.8 %	99.8 %	12 - 15 %	70%
Forma de empaque		Cilindros de 100, 150 y 2000 lb	Barriles	Barriles, sacos.
Materiales que resisten el ataque:	Seco: hierro negro, cobre y acero. Húmedo: vidrio, plata, caucho.	Seco: hierro negro, cobre y acero. Húmedo: PVC, teflón, polietileno.	Cerámica, vidrio, plástico o caucho.	Cerámica, vidrio, plástico o caucho.

Fuente: Arboleda, J. (2000). *TEORIA Y PRACTICA DE LA PURIFICACION DEL AGUA*.

2.5.1.1. Cloración

Esto se puede hacer usando cloro gaseoso licuado, solución de hipoclorito de sodio, gránulos de hipoclorito de calcio (proporcionados en forma de tableta) y un generador de cloro en el lugar. El objetivo principal de la cloración es la desinfección de microorganismos. Los inconvenientes del cloro radican en su capacidad para reaccionar con la materia orgánica natural para producir trihalometanos y subproductos de desinfección (SPD). Sin embargo, la formación de subproductos se puede controlar optimizando el sistema de procesamiento [11].

Los factores que alteran la eficacia de la cloración están relacionados con:

- Propiedades del agua.
- Características del sistema de cloración.

Ciertas características poseen un impacto notorio cuando a eficiencia del proceso de cloración se refiere, estas características son:

- a. La temperatura y el pH.

A mayor temperatura del agua menor es la solubilidad del cloro, como se ve en la ilustración 6.

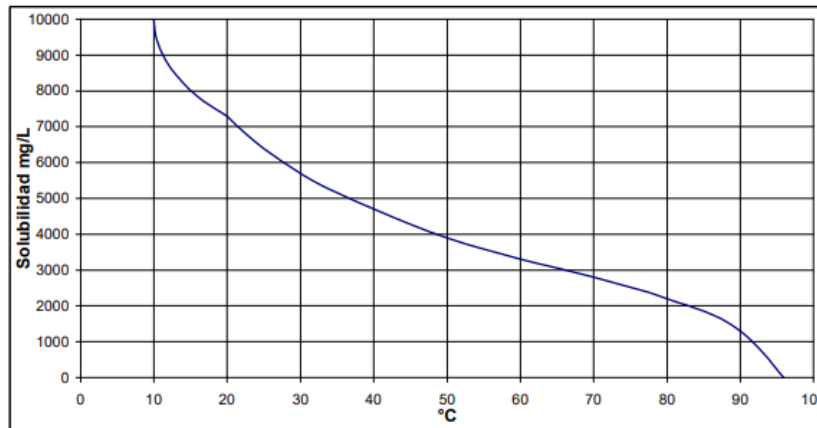


Ilustración 6. Solubilidad del cloro en el agua en función de la temperatura.

Fuente: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15728/u236792.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

b. concentraciones (turbiedad, color, MO) [11].

c. microorganismos [11].

Características del sistema:

- Tiempo de contacto.
- Dosis de cloro.
- Características del SI (sistemas de aplicación).
- El compuesto de cloro utilizado.
- Características de la caseta de cloración [14].

2.5.1.2. Reacciones del cloro

Estas reacciones se pueden resumir en: hidrólisis y reacciones Re-Dox.

a) Reacciones hidrolíticas del cloro

La siguiente reacción explica el comportamiento del cloro gaseoso al entrar en contacto con el agua:



A partir de la reacción presentada anteriormente se puede ver que el HClO en conjunto con el HCl son denominados como cloro libre. En el caso del HCl, el ion cloruro pierde su capacidad para oxidarse, de esta manera puede capturar el electrón de un átomo de hidrógeno. En el HClO, el cloro no se reduce, lo que provoca una gran cantidad de reacciones oxidativas mismas que sirven para ganar electrones. [23].

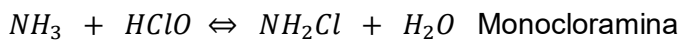
El ácido HClO es el mejor desinfectante debido a su neutralidad eléctrica que le permite penetrar en la pared celular de los microorganismos. [23].

b) Reacciones de oxidación – reducción

El cloro es un agente oxidante fuerte que puede reaccionar con sustancias orgánicas e inorgánicas en el agua, especialmente compuestos nitrogenados. El cloro puede producir dos tipos de reacciones. En el primer nivel, uno o más de los siete electrones del tercer nivel de energía pueden ceder para formar la cloramina o cloro complejo [23].

c) Reacción del cloro con nitrógeno amoniacal

Usualmente ocurren cuando el pH es bajo y hay una alta concentración de HClO. Las reacciones dependen de la concentración de la dosis de cloro, nitrógeno amoniacal, pH, temperatura y tiempo de reacción [23].



Los más comunes resultan ser la monocloramina y la dicloramina como se observan en las reacciones anteriores. Por su naturaleza son usados como desinfectantes, sin embargo, son considerados de baja efectividad. Siendo su ventaja la estabilidad además de su permanencia y durabilidad en ambientes acuáticos. La dicloramina produce un olor desagradable a cloro [23].

d) Reacción del cloro con materia orgánica

Una de las reacciones que se pueden dar es la del cloro con el nitrógeno, obteniendo como producto el ion cloruro, ácido clorhídrico, óxido nitroso, compuestos orgánicos clorados entre otros. Como bien se sabe las proteínas, peptonas, aminoácidos y MO están formadas por nitrógeno orgánico, mismos que reaccionan de manera lenta con el cloro [23].

2.5.2. Trihalometanos

Los trihalometanos se obtienen como subproductos comunes. Se forma al momento que se sustituyen 3 de los hidrógenos de una molécula de metano CH₄, por cloro, bromo y posiblemente yodo [24].

Los trihalometanos se subdividen en triclorometanos (cloroformo, CHCl₃), bromodiclorometano (BDCM, CHBrCl₂), clorodibromometano (CHBr₂Cl) y tribromometano (CHBr₃). El cloroformo es el más común dentro de este grupo, y es considerado el principal subproducto de la desinfección del agua orientada al consumo humano [24].

2.5.3. Demanda de cloro

Es la cantidad de cloro usado para desinfectar el agua generalmente se determina mediante el método de demanda de cloro y el método de punto de quiebre. Cuando se suministra el cloro en el agua, este reacciona con los compuestos dejando una menor cantidad para que pueda reaccionar como desinfectante. Otra sustancia que a menudo es encontrada debido a su afinidad son las cloraminas que se obtiene a partir del agua en reacción con el amoníaco, que son capaces de desinfectar el agua en menor medida. El control completo de la desinfección se obtiene mediante análisis bacteriológico del agua, y una verificación rápida del contenido de cloro libre y combinado dentro del agua tratada se analiza la concentración de cloro residual. Identificar el método DPD, ya sea midiendo yodo y titulándolo. Dentro del agua tratada el cloro presente es denominado como cloro residual, aunque también puede ser conocido como cloro libre residual o cloro libre combinado. El cloro residual se compone principalmente de iones de ácido hipocloroso e hipoclorito [25].

2.5.5. Principales formas de aplicación

Dependiendo del método de aplicación del desinfectante, existen tres formas principales de aplicación:

- a) Cloro gaseoso: utilizado por una boquilla de alta presión directamente sobre el agua. Se utiliza principalmente en sistemas de agua potable.
- b) Cloro sólido: cloro en forma sólida o cloro granular.
- c) Cloro líquido: cloro líquido en forma de hipoclorito de sodio. También en forma sólida disuelve el cloro. Su aplicación es relativamente simple y se aplica directamente en una cámara o tanque de cloro mediante un aparato de gravedad o mediante una bomba dosificadora [22].

2.5.6. Determinación de cloro residual, método de la DPD – FERROSO (Colorimetría)

El cloro libre reacciona rápidamente con el amoníaco y ciertos compuestos nitrogenados para formar cloro combinado disponible. La presencia y concentración de las formas combinadas dependen de varias condiciones, principalmente del pH, temperatura y de la relación inicial cloro nitrógeno [28].

El cloro combinado, en los abastecimientos de agua puede formarse al reaccionar con el amoníaco presente en el agua cruda, o con sales de amonio agregadas en la

precloración o por la producción del cloro residual combinado en el sistema de distribución [28].

El uso de la NN dietil p fenilendiamina, DPD, como indicador en el método ferroso, permite la determinación del cloro libre disponible y por estimación es posible determinar el cloro combinado.

Para su determinación se usa el método de titulación con una solución indicadora de NN dietil p fenilendiamina, DPD, y se titula con una solución valorada de sulfato de hierro II y amonio. Existen kits de análisis para mayor facilidad [28].

Procedimiento utilizando un kit de análisis

1. Verificar que el Kit para análisis de cloro libre residual se encuentre en buen estado y calibrado.
2. Encerar el equipo con la muestra sin reactivo como blanco:
 - a. Llene la celda hasta la marca con 10 ml aprox. con la muestra.
 - b. Limpiar bien el exterior del vial, luego ubicar correctamente en la celda; con la marca del diamante mirando hacia el teclado, ponga la tapa del instrumento sobre el compartimento para tapar la cubeta.
 - c. Pulsar la tecla ZERO/SCROLL
3. Enjuagar con la muestra la celda utilizada para medir el cloro libre residual.
Llenar la celda hasta la marca con la muestra (aprox. 10 ml.)
4. Añadir con el dispensador el D.P.D. para cloro libre residual y agitar hasta su disolución (si queda polvo no disuelto, no afecta a la lectura).
5. Limpiar el exterior de la celda, colocar correctamente en el compartimento porta muestras con la marca del diamante dirigida al teclado y cubrir la celda con la tapa del instrumento. Pulsar la tecla READ/ENTER
6. El equipo muestra en la pantalla el contenido de Cloro libre residual contenido en la muestra en mg/L [20].

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio

Delimitar el área de estudio es importante dentro del proceso, debido a que permite determinar el alcance del mismo, para la evaluación se han considerado la descripción de los procesos de operación tanto para el filtro como para la cloración además de la dosificación de cloro gas dentro de las cámaras respectivas.

3.1.1. Descripción del proceso de operación de los filtros

Los procedimientos realizados dentro de la PTAT para el manejo de los filtros y de la cámara de cloración son de vital importancia, debido a que una correcta manipulación permite realizar las actividades adecuadas para cada una de las pruebas que se llevaron a cabo.

3.1.1.1. Principales componentes de los filtros

Dentro de la PTAT, existen filtros que se encuentran conformados por:

- a) Caja del filtro.
- b) Tubería de distribución de agua decantada.
- c) Canal de desagüe de agua de retro lavado.
- d) Canal de interconexión de la batería.
- e) Lecho filtrante.
- f) Drenaje, capa soporte de grava y falso fondo.

a) Caja del filtro

Esta es la parte más importante del colector, como se muestra en la Ilustración 7. La caja de filtro consta de abajo hacia arriba: un falso fondo, una zanja de drenaje para la

UCUENCA

viga de hormigón prefabricado, una capa de soporte de grava, una capa de filtro de arena - antracita, un canal de lavado y un receptor de agua a contracorriente.



Ilustración 7. Caja de filtro modulo I (Izquierda), modulo II (Derecha). En un proceso de lavado.
Fuente: Abad – Guaraca

b) Tubería de distribución de agua decantada

Esta es la parte que alimenta los medios filtrantes mediante el uso de válvulas de entrada ubicadas en cada unidad (Ilustración 8, izquierda).

Cuando el nivel de agua de un filtro alcanza el nivel marcado como se muestra en la ilustración 8, la pérdida de carga del filtro es alta y como consecuencia necesita ser lavado. En cada unidad de filtración, mientras más cercano este el nivel de agua a la marca, la calidad del agua filtrada disminuye y por ende cambia la turbiedad porque ya no existe una adecuada filtración.



Ilustración 8. Tubería de ingreso de agua hacia los filtros (Izquierda). Marca azul en cada unidad de filtración (Derecha). Referencia modulo II. Fuente: Abad – Guaraca

c) Canal de desagüe de agua de retro lavado

Está ubicado por debajo del filtro, ilustración 9, este cumple con el papel de recibir agua proveniente del retro lavado de los filtros. En la parte frontal de este canal se encuentran los desagües pertenecientes a los decantadores, mismos que constituyen el canal emisor de la planta donde sale también el agua cuando se lava los sedimentadores.



Ilustración 9. Canal de desagüe modulo I (Izquierda). Tuberías de salida, sobre el canal de desagüe, modulo II (Derecha) Fuente: Abad – Guaraca

d) Canal de interconexión de la batería

Cumple con dos funciones:

Cuando el proceso de filtración funciona de manera normal, este reúne el efluente proveniente de cada uno de los filtros, para luego sacarlo a la cámara de contacto por medio de un vertedero (Anexo 1), además de asegurar el nivel del agua por debajo del nivel del vertedero de salida, por lo que existe una tubería de 30" de diámetro, misma que lleva el agua hacia el canal de aislamiento para luego posteriormente ubicarse en posición de lavado.

e) Lecho filtrante

Aquí se encuentra la etapa de filtrado (Anexo 2), que es la parte fundamental dentro de esta unidad donde se lleva a cabo la filtración. Todos los demás componentes son accesorios para el correcto funcionamiento y mantenimiento del equipo. El lecho es una capa doble formada por arena y antracita. La tasa de filtración, para el caso de la capa de arena y antracita de la planta de Tixán, tiene un promedio de $260 \frac{m^3}{m^2}/d$ para el módulo I y $280 \frac{m^3}{m^2}/d$ para el módulo II.

f) Drenaje, capa soporte de grava y falso fondo

Este sistema consta de losas de hormigón prefabricado con boquillas de plástico tipo EIMCO para el suministro de aire y agua se encuentran orificios de 0,15 mm de diámetro, mismos que están ubicados en la parte central. Los agujeros se crean con asas de PVC con un diámetro de " ½ in".

El soporte de grava (Anexo 2), se encuentra sobre el falso fondo, este último es la base de todo el lecho y de toda la grava usada como soporte, además se encarga de recoger el agua filtrada y posee los orificios de donde sale agua y aire para el retro lavado.

3.1.1.2 Proceso de lavado

El proceso de lavado es utilizado cuando ocurre la colmatación del lecho filtrante, es decir que su capacidad de retención de partículas desciende de forma significativa, por este motivo se procede al proceso de lavado, que permite restaurar el lecho filtrante, luego de este proceso el filtro puede funcionar normalmente.

Actualmente se tiene el siguiente cronograma de operación, mismo que incluyen los filtros del 1 al 8 para el módulo I y desde el 9 al 16 para el módulo II, la forma de lavado puede ser:

- SIST. SCADA
- USO DE AUTO-INSITU
- USO MANUAL [20]

Estos tres tipos de sistemas se diferencian por el modo de operación, el sistema SCADA se caracteriza por ser completamente automático, todas las órdenes son enviadas a través de un monitor. El método de AUTO-INSITU, se caracteriza por el manejo del proceso dentro de los cuartos de control de cada filtro, estos poseen una pantalla programable en donde los operadores introducen las especificaciones para el lavado de cada filtro. El USO MANUAL, se da mediante el trabajo físico del operador, en donde el sujeto antes mencionado, acciona manualmente cada una de las válvulas de forma manual como su nombre lo indica, mide el tiempo de lavado mediante un cronómetro, a diferencia de los dos casos anteriores donde el tiempo es programado y este corre de manera automática. El método más usado dentro de la PTAT es el SCADA, este método se detalla a continuación.

a) Uso del sistema SCADA

El sistema SCADA permite la automatización de procesos, y en este caso en particular permite el lavado de un filtro, este sistema permite registrar y almacenar datos, por lo que es ideal para generar informes, por esta razón es el método usado por excelencia para el proceso de lavado de filtros dentro de la PTAT. Para poder lavar un filtro se deben seguir una serie de pasos, mismos que se encuentran detallados a continuación:

1. En el monitor se pueden apreciar algunas opciones de las cuales se procede a elegir aquella que lleva por título: **FILTROS** [20]. Ilustración 10.

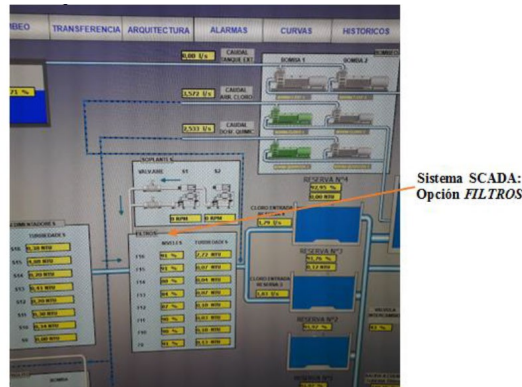


Ilustración 10. Monitor. Control de Filtrros.

Fuente: Manual de los Módulos de Oxidación, preparación de Químicos y MÓDULO I.

2. Verificar la información del sistema en conjunto con el diario de actividades que maneja cada operador para verificar que el filtro y la hora de lavado es la correcta, luego de verificar la información se debe hacer clic en la opción (**LAVAR FILTRO**). Ilustración 11 [20].

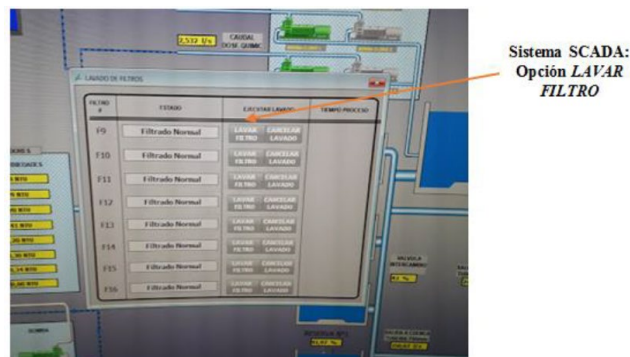


Ilustración 11. Control Automático -SCADA.

Fuente: Manual de los Módulos de Oxidación, preparación de Químicos y MÓDULO II.

3.1.2. Dosificación de cloro/gas en la PTAT

En la Planta de Tratamiento de Agua de Tixán, se realiza en primer lugar un control preliminar, este incluye una revisión de las bombas de cloro, que nos permite saber si los tanques de cloro están disponibles, para de esta manera asegurar que la dosis de cloro sea continua en la cámara de cloración [20].

Los pasos para la dosificación son los siguientes:

1. Se debe ingresar al sistema SCADA, con la finalidad de entrar en la pestaña de bombeo (ilustración 12), en esta opción se verifica el correcto funcionamiento de

las bombas de cloro, mismas que se encargan de dosificar el gas de una manera precisa y adecuada [20].

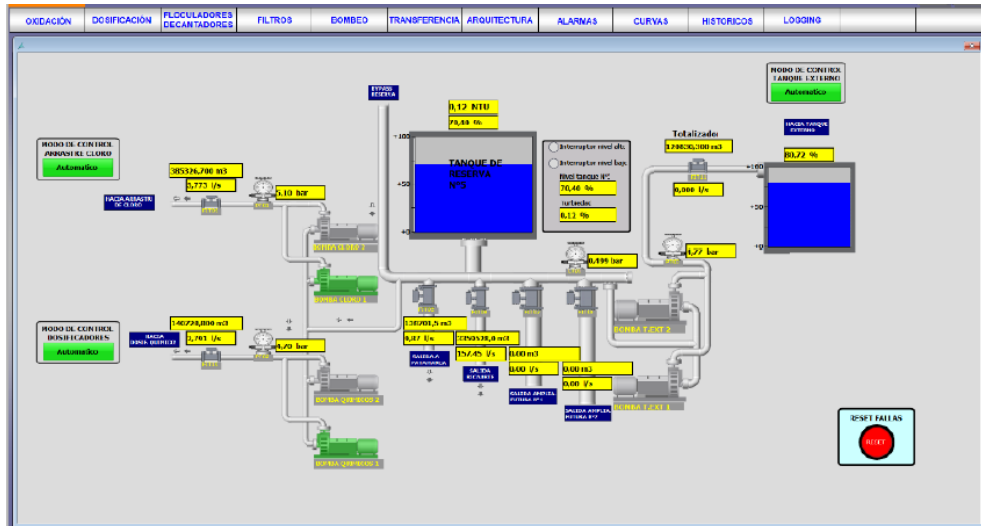


Ilustración 12. Sistema SCADA, funcionamiento de bombas de Cloro.
Fuente: Abad – Guaraca

2. Cuando el caudal aumenta o disminuye, el operador procede a ajustar el rotámetro (Ilustración 13) a la cantidad de kg/h para mantener los rangos de cloro residual entre 0,8 - 1,5 mg / L, según el caudal de ingreso. Ver gráfica de cloro gas vs caudal de ingreso, Anexo 3 [20].



Ilustración 13. Rotámetro. Dosificador de Cloro.
Fuente: Abad – Guaraca

3. Después de aproximadamente 30 minutos de configurar el dispensador, mida el cloro residual en las cámaras de contacto (Ilustración 14) y registre estos valores en las notas de control de calidad diario. Además, se registra el proceso de disminución de peso del cilindro [20]. (Ilustración 14).



Ilustración 14. Dosificación Cl₂. (IZQUIERDA). Peso del cilindro de Cloro. (DERECHA). Fuente: Abad – Guaraca

4. Si estos valores incumplen lo que está especificado en el plan de control se debe regresar al paso 2.
5. Toda modificación que se haga por parte de los operadores de planta debe constar en el registro [20].

3.2. Procedimiento a realizar según el CEPIS

Se ha tomado como referencia el CEPIS, las diferentes pruebas con las que se han desarrollado el presente trabajo de titulación, con estos parámetros de referencia se pueden comparar y analizar los datos obtenidos, las cuales ya han sido replicadas años atrás cuando iniciaron las operaciones del módulo I, que ahora serán aplicadas tanto para el módulo I como para el módulo II.

3.2.1. Actividades para filtración

Las pruebas de filtración fueron realizadas tanto para el módulo I como para el módulo II, en los Anexos 4 y 5 se pueden observar de manera detallada las unidades de filtración. Estos anexos corresponden a los planos de dichas unidades.

3.2.1.1. Actividad 1: Análisis de datos históricos de filtración.

La finalidad de esta actividad fue la determinación del rendimiento de los filtros de los módulos I y II durante los años 2019, 2020 y 2021. Para este análisis se accedió a los registros de datos históricos de la planta, con referencia a los datos de turbiedad a la entrada y salida de los filtros. Los datos fueron llevados al programa estadístico SPSS, para su respectivo análisis.

Cálculo:

$$\% \text{Rendimiento} = \text{turbiedad final} / \text{turbiedad inicial} * 100 \quad \text{Ec 3-1}$$

3.2.1.2. Actividad 2: Velocidad y caudal de filtración.

La finalidad de esta actividad fue la obtención de la velocidad y caudal de filtración, para esto se empleó una varilla graduada, misma que fue colocada dentro de los filtros. Luego se cerró la válvula de ingreso del agua proveniente del sedimentador. El tiempo que se demoró en disminuir cierta altura (H), es registrado por medio de un cronómetro, dato que posteriormente es registrado. De esta prueba se realizaron 3 réplicas por cada filtro, obteniendo 3 tiempos de descenso de altura, tomando como dato el promedio de los 3 tiempos obtenidos.

Cálculo:

$$vf = \frac{vf}{Tf * Af}$$

Ec. 3-2.

vf= velocidad o tasa de filtración ($m^3/m^2/d$)

Vf = Volumen filtrado (m^3)

A f = Área correspondiente al lecho filtrante (m^2)

Tf = tiempo que se demora en descender la altura H (s)

$$.vf = Ap * H$$

Ec. 3– 3.

Ap = área total del tanque de filtración (m^2)

H = altura filtro (m)

3.2.1.3. Actividad 3: Calidad de filtrado inicial

La calidad de filtrado inicial se obtuvo midiendo la turbiedad de 15 muestras de agua, estas muestras deben ser tomadas luego del lavado del filtro, la primera muestra se tomó al inicio de la marcha de lavado del filtro, luego se esperó 1 minuto para tomar la siguiente y así sucesivamente hasta completar las 15 muestras. Luego de realizar la medida de turbiedad de cada una, se procedió a realizar una gráfica en hoja logarítmica, correlacionando la turbiedad contra el tiempo.

3.2.1.4. Actividad 4: Turbiedad del agua filtrada

Para esta actividad se tomaron muestras del sedimentador con la ayuda de un muestreador, que consistía en un recipiente metálico unido a un hilo de nylon, mismo que fue lanzado dentro de los puntos de muestreo, esta muestra fue tomada en la parte posterior del sedimentador, debido a que en este punto el agua cae hacia los canales que van hacia los filtros, luego se tomaron las muestras a la salida del filtro, en el canal que conduce el agua hacia las cámaras de cloración. Una vez obtenidas las muestras, estas son llevadas al turbidímetro para su respectiva lectura de turbiedad, la finalidad de esta actividad es la determinación de estos valores antes y después del proceso de filtración.

3.2.1.5. Actividad 5: Duración de las carreras de filtración

Para poder establecer la duración de carreras de filtración se solicitó a los operadores encargados los registros de lavado de cada uno de los filtros, con estos datos, se extrajo el promedio en horas de esta actividad, conociendo el tiempo que se demora un filtro en ser lavado nuevamente. Para la tabulación de datos y la obtención de la gráfica se usó el programa estadístico SPSS.

3.2.1.6. Actividad 6: Duración del proceso de lavado

Para poder establecer la duración del proceso de lavado se procedió a tomar 10 muestras de agua con ayuda de un muestreador, la primera muestra se tomó en el momento inicial en el cual el agua comenzó a caer por el canal, y se procedió a tomar una muestra cada 2 minutos, este tiempo que fue registrado por un cronómetro hasta completar las 10 muestras, estas fueron llevadas al laboratorio con la finalidad de medir la turbiedad de cada una de ellas. Ya con los datos obtenidos se procedió a realizar una gráfica de turbiedad contra el tiempo para de esta manera obtener el tiempo óptimo de lavado para cada módulo.

3.2.1.7. Actividad 7: Granulometría del medio filtrante

Como parte del medio filtrante se tiene: grava, arena, y antracita. Para la determinación de su granulometría se procedió a tomar 500g de muestra de cada elemento del lecho filtrante. Cada muestra fue colocada en una serie de tamices Tyler debidamente

seleccionados. Luego se registraron los porcentajes de masa retenidos y los porcentajes pasantes, estos datos fueron graficados y llevados a una escala logarítmica.

Para calcular D10, D60 y CU, se utilizan las siguientes expresiones matemáticas.

(ecuación utilizada para D60 y D10)

$$D_x = \left[\frac{(D_2 - D_1)}{(\log\%2 - \log\%1)} \right] * (\text{Log}\%x - \text{Log}\%1) + D_1 \quad \text{Ec. 3- 4.}$$

$$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \text{Ec. 3- 5.}$$

3.2.1.8. Actividad de filtración 8: Perfil del lecho filtrante

El objetivo de esta actividad fue la obtención del mapa superficial (ilustración 23) de la cama de grava, que corresponde al soporte del material filtrante, para esto se debieron considerar distintos puntos en los filtros de cada módulo, en cada punto se tomó la altura del lecho con la varilla graduada, luego se procedió a restar esta altura medida de la altura total, que es la altura del lecho más la grava, al hacer esta operación se obtienen las alturas de la grava en cada punto como se muestra a continuación:

a) MODULO I

Para poder graficar el perfil de lecho filtrante, se procedió a tomar las alturas del lecho en distintos puntos del mismo. Los filtros del módulo I, a diferencia del módulo II, están divididos en dos partes, en el módulo I, las dos secciones del lecho miden 2,35m de ancho con 6,09m de largo, la profundidad del lecho es de 1m, se tomaron 18 puntos de muestreo en cada sección teniendo un total de 36 puntos para todo el filtro, en la ilustración 15 se muestran cómo se encuentran distribuidos los puntos de muestreo, los mismos que permitirán mediante la modelación con Matlab obtener la distribución del lecho de grava en todo el filtro. Para esto se introdujo una varilla de acero graduada con la cual se midieron las alturas de los lechos de arena y antracita, con la finalidad de conocer el perfil del lecho de grava.

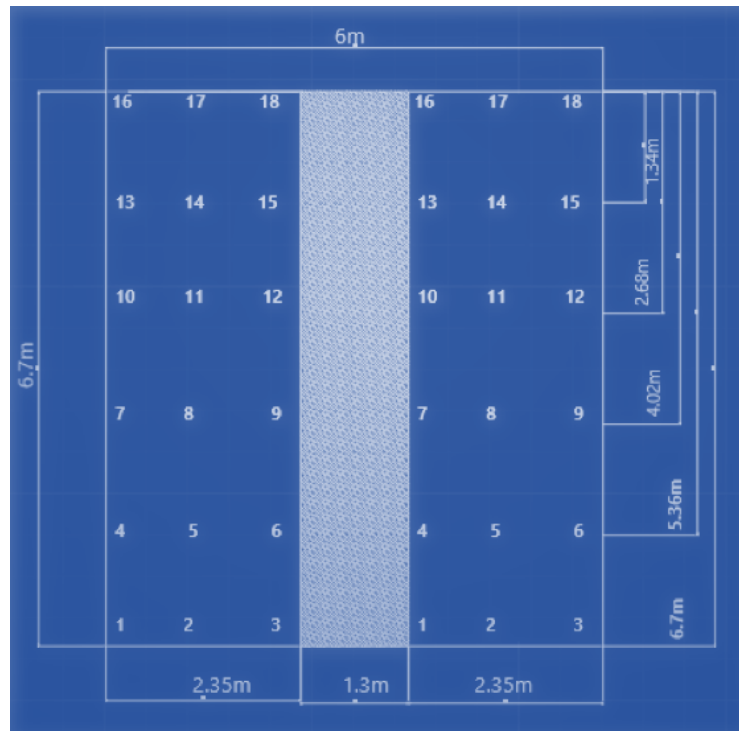


Ilustración 15. Distribución de los puntos de muestreo, Módulo I.

b) MÓDULO 2

Los filtros que constituyen el módulo II, constan de un solo lecho filtrante a diferencia del módulo uno que se encontraba constituido por dos secciones, para este filtro, se tomaron un total de 18 puntos como se muestran a continuación en la ilustración 16. Para esto se introdujo una varilla de acero graduada con la cual se midieron las alturas de los lechos de arena y antracita como el caso anterior, con la finalidad de conocer el perfil del lecho de grava.

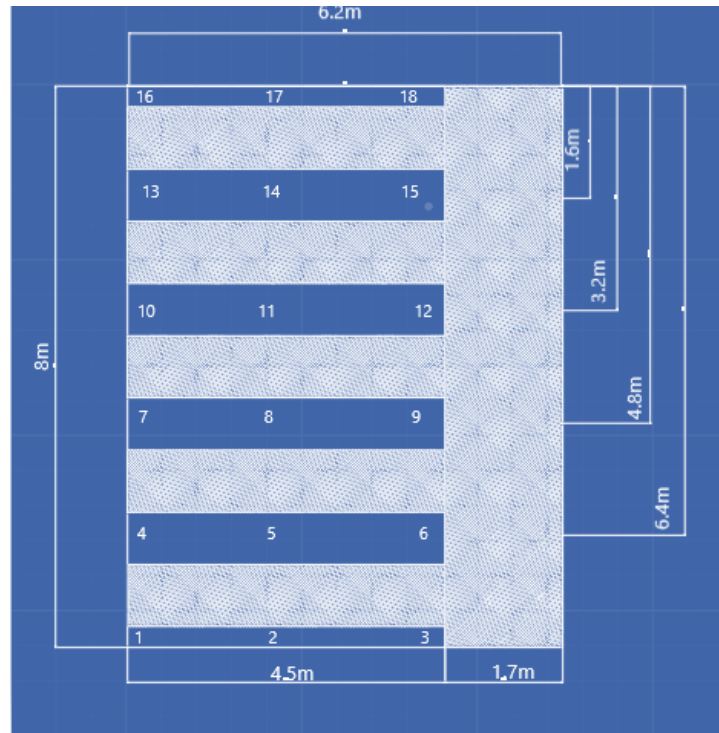


Ilustración 16. Distribución de los puntos de muestreo, Modulo II.

3.2.1.9. Actividad 9: Expansión del medio filtrante

Para determinar la expansión del medio filtrante, se introdujo una varilla dentro de la cámara que contiene el lecho, la varilla metálica posee cavidades metálicas añadidas a sus costados, separadas 3cm entre ellas, como se muestra en la ilustración 17, este proceso se realizó durante el lavado normal de los filtros, se introdujo la varilla y se la mantuvo durante 3 minutos, tiempo que fue medido con un cronómetro, luego esta fue removida y se registraron los datos de (Δh) , con un flexómetro, que corresponde a la altura en donde se observó la presencia de material filtrante. Dentro de esta actividad se tomaron las expansiones generadas en el momento de la fluidización del lecho, con el uso de aire y de agua.

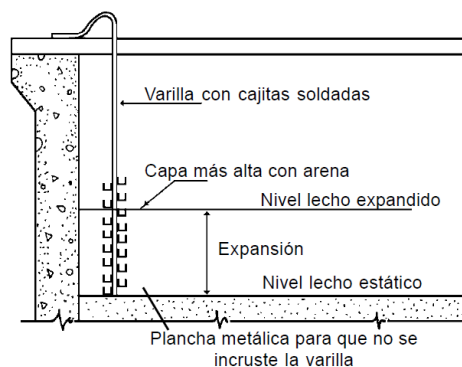


Ilustración 17. Medido de expansión.

Cálculo:

$$E = \frac{\Delta h}{h} * 100 \quad \text{Ec.3-6}$$

Donde h: altura de lecho filtrante.

3.2.1.10. Actividad 10: Bolas de lodo

Para esta prueba se requirió un tubo metálico de 37,5mm de radio y 0,5m de altura; con este equipo se procedió a tomar cuatro muestras del lecho filtrante, el tubo se introdujo en la parte más baja del lecho y se extrajo hasta la superficie. Las muestras de lecho fueron puestas sobre un plástico para que se puedan secar. Una vez secas, los gránulos de arcilla fueron separados de forma cuidadosa del material filtrante, esta arcilla fue colocada en una probeta con un volumen de agua definido, el aumento de volumen es registrado para posteriormente calcular el porcentaje de bolas de lodo.

Cálculos:

$$\% \text{ de bolas de lodo} = \frac{\text{incremento del volumen}}{\text{volumen de la muestra}} * 100 \quad \text{Ec.3 – 7.}$$

3.2.2. Actividades para Cloración

Las actividades fueron realizadas tanto en las cámaras 1 y 2 pertenecientes al módulo I y a las cámaras 3 y 4, pertenecientes al módulo 2, además de un quinto tanque que recibe la totalidad del agua tratada, es decir que almacena el agua clorada de los módulos I y II respectivamente.

3.2.2.1. Actividad 1: Análisis de datos históricos

La finalidad de esta actividad fue el análisis de datos mediante el programa estadístico SPSS, para esta actividad se accedió al registro de datos históricos de cloro residual pertenecientes a los módulos I y II durante los años 2019, 2020 y 2021, dichos datos fueron analizados en 3 puntos, el primero dentro de las cámaras de cloración, el segundo en un punto medio de distribución, y el tercero en el punto más alejado de la red de distribución.

3.2.2.2. Actividad 2: Verificación de la concentración óptima de cloro

Como primer punto de muestreo se procedió a tomar una muestra de agua filtrada a la salida del filtro y se determinó la cantidad de cloro residual presente en el agua. Seguido se procede a muestrear el agua clorada que es obtenida a la salida de las cámaras de cloración para luego cuantificar la cantidad de cloro residual presente, después se procedió a fijar el punto más lejano dentro de la planta y se midió la cantidad de cloro residual mediante un colorímetro de cloro residual. Esta prueba tiene como finalidad evaluar el cumplimiento de la norma INEN 1108 5ta ed.

3.2.2.3. Actividad 3: Verificar las características de las instalaciones de cloración

Al evaluar la instalación o el entorno en el que opera este proceso, se deben considerar los siguientes criterios generales:

- a) Las instalaciones con consumo de cloro superior a 50 kg / día deben utilizar un tanque de cloro de 1 tonelada.
- b) Con las mismas propiedades físicas y químicas, alrededor de 50 kg / día, cloro y concentraciones por perdidas, en el mismo rango. En instalaciones de mayor capacidad, deben ubicarse en áreas separadas [14].

3.3. Parámetros de evaluación

Los parámetros de evaluación aportan indicadores o rangos óptimos para cada uno de los resultados de las pruebas realizadas, de esta manera permite conocer si los valores obtenidos son los adecuados, además de identificar las posibles causas del funcionamiento deficiente si fuera el caso.

3.3.1. Parámetros de evaluación del proceso de filtración

Cada una de las pruebas realizadas dentro del proceso de filtración, posee valores permisibles y óptimos, a continuación, se muestran los valores adecuados para cada una de las pruebas realizadas. En la tabla 2, se muestran las características de diseño de los filtros pertenecientes al módulo I y II.

Tabla 2. Características de los filtros

Característica de diseño	MÓDULO I	MÓDULO II
Año de construcción	1994	2017
Año de inicio de operaciones	1996	2019
Flujo de entrada por módulo	280l/s	750l/s
Dimensiones del filtro	6,7m X 6m	8m X 6,2m
Área de cada unidad	40,5 m ²	49,6 m ²
Área de lecho filtrante	32,53 m ²	23,58 m ²

Fuente: Manual de operaciones PTAT 2021

a) Velocidad y caudal de filtración.

Generalmente se deben aplicar valores conforme se explica en la siguiente tabla 3.

Tabla 3. Tasa de filtración

	Filtración rápida descendente con tasa declinante	Tasa de filtración (m ³ /m ² /d)
A	De agua decantada, en medio filtrante único de arena con tamaño efectivo (T. E.) de 0,50 a 0,60 mm y espesor alrededor de 0,80 metros.	120 - 150
B	De agua floculada o pre floculada, en medio filtrante grueso y único, con espesor superior a un metro y uso de polímero como auxiliar	240 - 360
C	De agua decantada en medio filtrante doble, con espesor total igual o inferior a 0,80 metros y buen nivel de operación y mantenimiento.	240 - 360

Fuente: García, F. (2010). Evaluación de la batería de filtros de tasa declinante y lavado mutuo de la planta de tratamiento de agua potable.

b) Calidad de filtrado inicial

Justo después de lavar el filtro, la turbidez del efluente suele ser mayor que la turbidez que se produce posteriormente, durante la carrera de filtración. Cuando la turbidez alta persiste durante más de 30 minutos, es un indicador de que el proceso de filtración es deficiente, esto se determinó con la metodología explicada en el apartado 3.2.1.3.

c) Tiempos de las carreras de filtración

Obedeciendo al CEPIS, en baterías de filtro que funcionan correctamente, su carrera de filtración puede estar comprendida de 30 a 50 horas, dependiendo de las características del agua que se deposita dentro del filtro, dentro de la PTAT sin embargo se establecieron rangos de 50-60 horas, como se indica en la actividad 5 [14].

d) Porcentaje de expansión del medio filtrante

Para lavar el medio filtrante, debe producirse un porcentaje de expansión entre el 25 - 30% uniformemente sobre toda el área del filtro [14].

e) Tiempo de proceso de lavado

Se recomienda utilizar agua con una turbidez no superior a 5 NTU. El procedimiento para su determinación se detalla en el capítulo de metodología en el apartado 3.2.1.6

f) Características granulométricas

Con estas características se muestra los tamaños óptimos de las partículas que constituyen el medio filtrante, la tabla 4 indica los parámetros granulométricos para un lecho mixto. Revisar apartado 3.2.1.7.

Tabla 4. Características del lecho

Características	Símbolo	Lecho	
		Arena	Antracita
Tamaño efectivo (mm)	(TE) D10	0.50 – 0.60	0.75 – 0.9
Coefficiente de uniformidad	CU	≤ 1.5	≤ 1.5
Tamaño más fino (mm)		0.42	0.59
Tamaño más grueso (mm)	D90	1.41	2.0

Fuente: Caranqui, D. (2016)

g) Bolas de lodo

Dentro de una planta de potabilización las bolas de lodo no son deseadas, debido a que su presencia entorpece el proceso de filtración, una gran cantidad de bolas de lodo indica que el filtro no está siendo lavado de forma correcta, lo que favorece a una acumulación de lodo en el lecho filtrante, los valores pueden ser catalogados de acuerdo a la tabla 5, una vez obtenidos a través de la metodología detallada en el punto 3.2.1.10

Tabla 5. Medio filtrante - porcentaje de bolas de lodo

% de Volumen de bolas de lodo	Condiciones del medio filtrante
0 – 0.1	Excelente
0.1 – 0.2	Muy bueno
0.2 – 0.5	Bueno
0.5 – 1.0	Regular
1.0 – 2.5	De regular a malo
2.5 – 5.0	Malo
7.5	Muy malo

Fuente: Caranqui, D. (2016).

3.3.2. Parámetros establecidos para el sistema de cloración (CEPIS)

a) Valores óptimos de cloro

Según INEN 1108 5ta Ed, los valores de cloro residual presentes en el agua potable deben estar entre 0,3-1,5 mg/L, usualmente a la salida de las cámaras de cloración el agua tratada debe poseer valores cercanos a 1,5mg/L, el agua al pasar a las líneas de

distribución disminuyen su cantidad de cloro residual, sin embargo, este valor no debe ser inferior a 3 mg/L [14].

b) Sistema de aplicación-características

Una correcta aplicación del cloro conlleva la aplicación de ciertas condiciones las cuales se pueden resumir a continuación:

- Debe ser aplicada en forma sumergida [14].

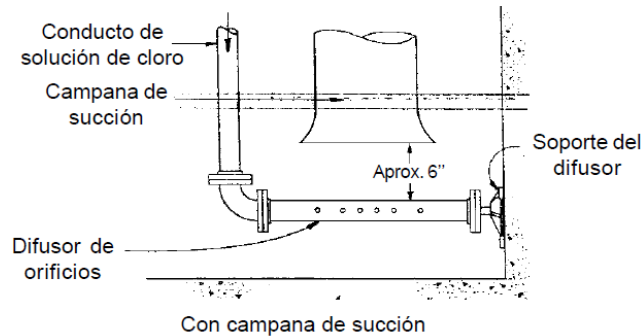


Ilustración 18. Difusores de Cloro

Fuente: Recuperado de: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/filtrarap1.html>

La distribución debe realizarse de forma uniforme en toda la masa de agua (Ilustración 18) [14].

- Tiempo - contacto
- Características de la tasa de cloración.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Filtración

4.1.1. Actividad 1: Datos Históricos

Análisis de datos históricos 2019 - 2021 FILTRACIÓN

Para realizar el análisis histórico, se tomaron en cuenta los datos de los años 2019, 2020 y 2021, los datos obtenidos del año 2019 corresponden a los datos del módulo I, los del año 2020 pertenecen a los datos del módulo II, los datos 2021, pertenecen a los dos módulos en operación conjunta. Dentro del análisis propuesto, se tomó en consideración como dato relevante la turbiedad y color de agua al ingreso de la planta, adicional se considerarán los datos ya mencionados, antes y después del proceso de filtración, estos son de suma importancia para conocer el comportamiento de la turbiedad durante todo el año tanto en el invierno como en el verano, desde el momento que ingresa a la planta hasta que atraviesa el proceso de filtración y al momento que es almacenada para su posterior distribución.

Nota: Para las gráficas y tablas presentadas a continuación, las etiquetas de la fila corresponden a los 12 meses de año, los mismos que han sido abreviados de la siguiente manera; siendo ubicado la primera letra del mes que se analiza seguido de la numeración del mes correspondiente por ejemplo E01, corresponde al mes de enero, D12 corresponde al mes de diciembre.

ANÁLISIS 2019 MÓDULO I

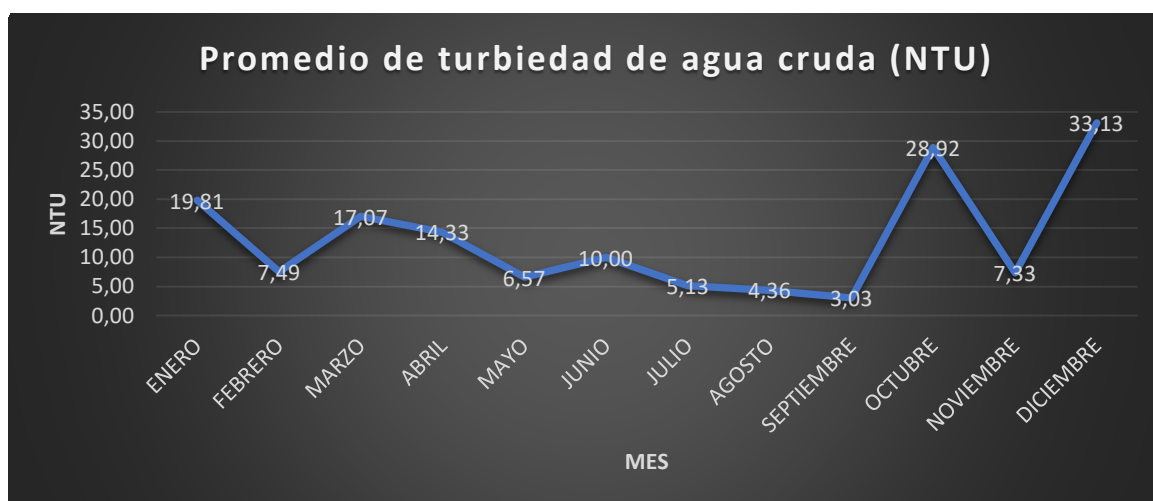
→ Ingreso del agua cruda proveniente de la captación - Módulo I

La turbidez del agua es un dato importante debido a que, indica la cantidad en sólidos en suspensión presentes en el agua. Los datos que se obtienen en la planta son registrados de manera diaria, los mismos que se presentan como un promedio en forma mensual (tabla 6). El color a su vez también es un indicador de la calidad del agua, siendo expresado como UC (unidades de color).

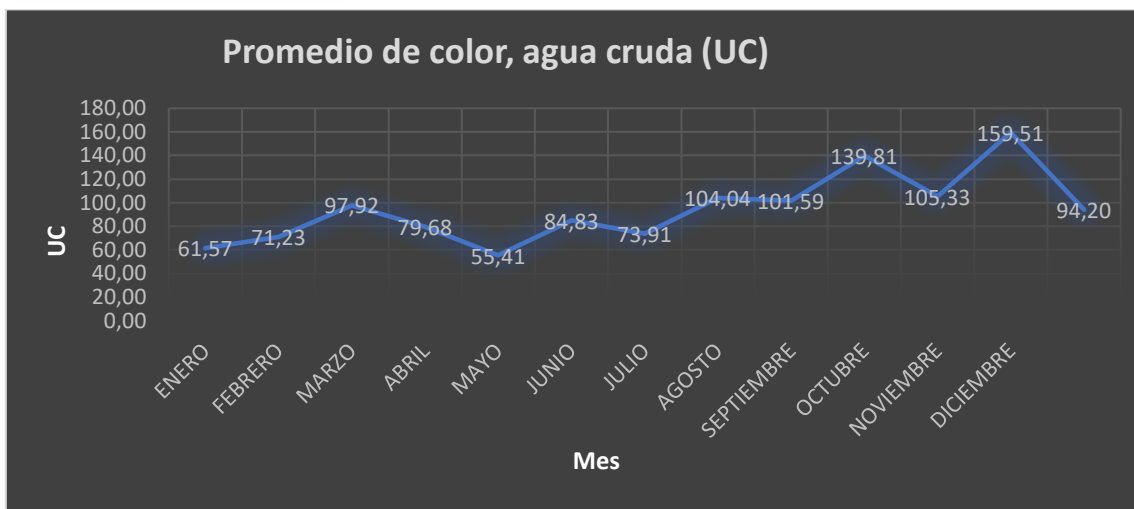
Tabla 6. Datos de turbidez y color de agua cruda, Año 2019.

Etiquetas de fila	Promedio de turbiedad agua cruda (NTU)	Promedio de color agua cruda (UC)
E01	19,81	61,57
F02	7,49	71,23
M03	17,07	97,92
A04	14,33	79,68
M05	6,57	55,41
J06	10,00	84,83
J07	5,13	73,91
A08	4,36	104,04
S09	3,03	101,59
O10	28,92	139,81
N11	7,33	105,33
D12	33,13	159,51
Promedio general	13,17	94,20

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 1. Turbiedad del agua cruda, Año 2019. Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 2. Promedio del color del agua cruda, Año 2019. Fuente: Abad – Guaraca

Como se puede apreciar la tabla 6, y en los gráficos (Gráfica 1 y 2), la turbiedad como el color van en aumento desde el mes de julio debido al inicio de las épocas lluviosas que se perciben en el austro ecuatoriano, estas fechas inician desde junio, con lo cual las precipitaciones producidas por la lluvia provoca un aumento del caudal del río Machángara, haciendo que el mismo arrastre mayor cantidad de materia orgánica, lo que se evidencia en el aumento de los sólidos suspendidos en el agua del río que será sometida a tratamiento. Destacando los valores más altos en los meses de octubre y diciembre que alcanza un promedio 28,92 NTU y 33,13 NTU respectivamente. Mientras que el color adquiere los valores de 139,81 y 159,51 UC en los meses antes mencionados. Los valores mínimos obtenidos para estos dos parámetros son obtenidos durante el mes de septiembre para la turbiedad y en el mes de mayo para el color, con 3,03 NTU Y 55,41 UC respectivamente, de esta manera se aprecia que el intervalo para el año 2019 de turbiedad es [3,03 NTU- 33,13 NTU] y el intervalo de color es de [55,41 UC – 159,51 UC].

▢ **Turbiedad en los sedimentadores - Módulo I**

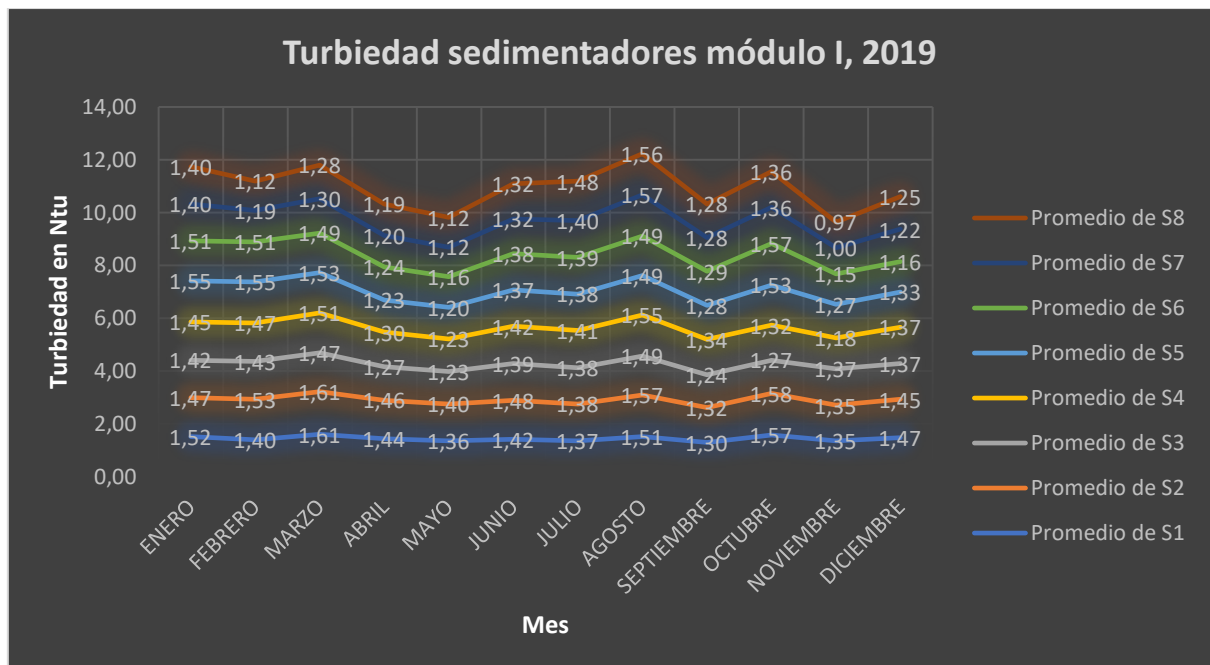
Los sedimentadores en el módulo I, están numerados del 1 al 8 respectivamente y el agua que se obtiene de los mismos están conectados a los filtros que llevan el mismo número de los sedimentadores, aquellos valores de turbiedad están dentro del límite permitido según la norma INEN 1108, sin embargo, los valores deseados deben ser cercanos a cero. En la tabla 7 se representaron los promedios mensuales de las mediciones realizadas de manera interna en la PTAT, las cuales fueron registradas en el diario de actividades. Dentro de este grupo de datos se rescató el intervalo de

turbiedad correspondiente al año 2019, con valores de [0,97-1,61] NTU. Para mejor observación se presenta la gráfica 3.

Tabla 7. Promedio mensual de turbiedad en sedimentadores, Año 2019

Etiquetas de fila	Prom S1	Prom S2	Prom S3	Prom S4	Prom S5	Prom S6	Prom S7	Prom S8
E01	1,52	1,47	1,42	1,45	1,55	1,51	1,40	1,40
F02	1,40	1,53	1,43	1,47	1,55	1,51	1,19	1,12
M03	1,61	1,61	1,47	1,51	1,53	1,49	1,30	1,28
A04	1,44	1,46	1,27	1,30	1,23	1,24	1,20	1,19
M05	1,36	1,40	1,23	1,23	1,20	1,16	1,12	1,12
J06	1,42	1,48	1,39	1,42	1,37	1,38	1,32	1,32
J07	1,37	1,38	1,38	1,41	1,38	1,39	1,40	1,48
A08	1,51	1,57	1,49	1,55	1,49	1,49	1,57	1,56
S09	1,30	1,32	1,24	1,34	1,28	1,29	1,28	1,28
O10	1,57	1,58	1,27	1,32	1,53	1,57	1,36	1,36
N11	1,35	1,35	1,37	1,18	1,27	1,15	1,00	0,97
D12	1,47	1,45	1,37	1,37	1,33	1,16	1,22	1,25
Prom, general	1,44	1,47	1,36	1,38	1,39	1,36	1,28	1,28
máximo	1,61							
mínimo	0,97							

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 3. Promedio mensual de turbiedad en los sedimentadores, Año 2019. Gráfica expuesta desde el ángulo superior.

Fuente: Abad – Guaraca

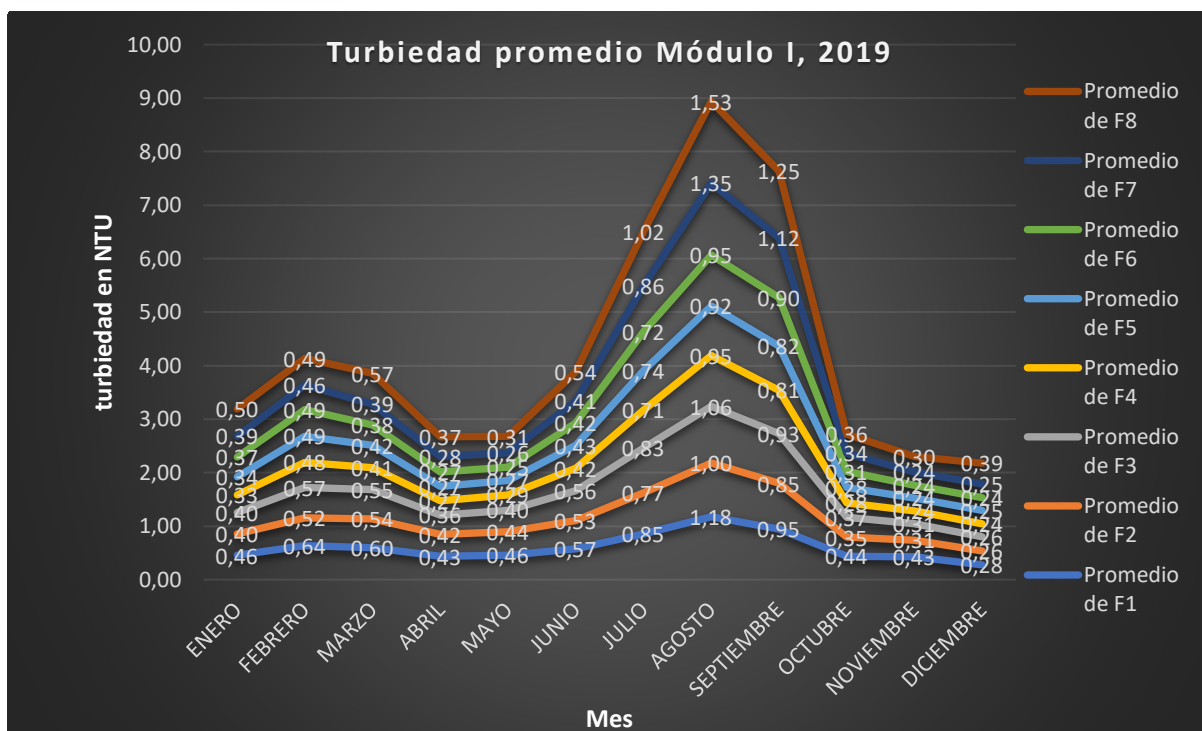
▢ Turbiedad - filtros de remoción Módulo I

La turbiedad en esta etapa es de vital importancia, debido a que esta será la turbiedad con la cual el agua ingrese al proceso de cloración para las cámaras 1 y 2 respectivamente, los valores obtenidos en su mayoría presentan una disminución de su valor inicial, siendo su valor mínimo de 0,24 y con un valor máximo de 1,35. Se pudo determinar que en los meses de julio, agosto y septiembre, los valores se incrementan drásticamente, así mismo se pudo observar que el filtro 8 posee valores más altos de turbiedad en comparación a los otros filtros. La representación de mencionados datos se muestra en la gráfica 4.

Tabla 8. Promedio mensual de la turbiedad en los filtros, Año 2019

Etiquetas de fila	Prom F1	Prom F2	Prom F3	Prom F4	Prom F5	Prom F6	Prom F7	Prom F8
E01	0,46	0,40	0,40	0,33	0,34	0,37	0,39	0,50
F02	0,64	0,52	0,57	0,48	0,49	0,49	0,46	0,49
M03	0,60	0,54	0,55	0,41	0,42	0,38	0,39	0,57
A04	0,43	0,42	0,36	0,27	0,27	0,27	0,28	0,37
M05	0,46	0,44	0,40	0,29	0,27	0,25	0,26	0,31
J06	0,57	0,53	0,56	0,42	0,43	0,42	0,41	0,54
J07	0,85	0,77	0,83	0,71	0,74	0,72	0,86	1,02
A08	1,18	1,00	1,06	0,95	0,92	0,95	1,35	1,53
S09	0,95	0,85	0,93	0,81	0,82	0,90	1,12	1,25
O10	0,44	0,35	0,37	0,28	0,28	0,31	0,34	0,36
N11	0,43	0,31	0,31	0,24	0,24	0,24	0,24	0,30
D12	0,28	0,26	0,26	0,24	0,25	0,24	0,25	0,39
Prom, general	0,61	0,54	0,55	0,46	0,46	0,46	0,53	0,66
	MINIMO	0,24						
	MAXIMO	1,53						

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 4. Promedio mensual de turbiedad en los filtros, Año 2019. Gráfica expuesta desde el ángulo superior. Fuente: Abad – Guaraca

– Rendimiento del filtro Módulo I

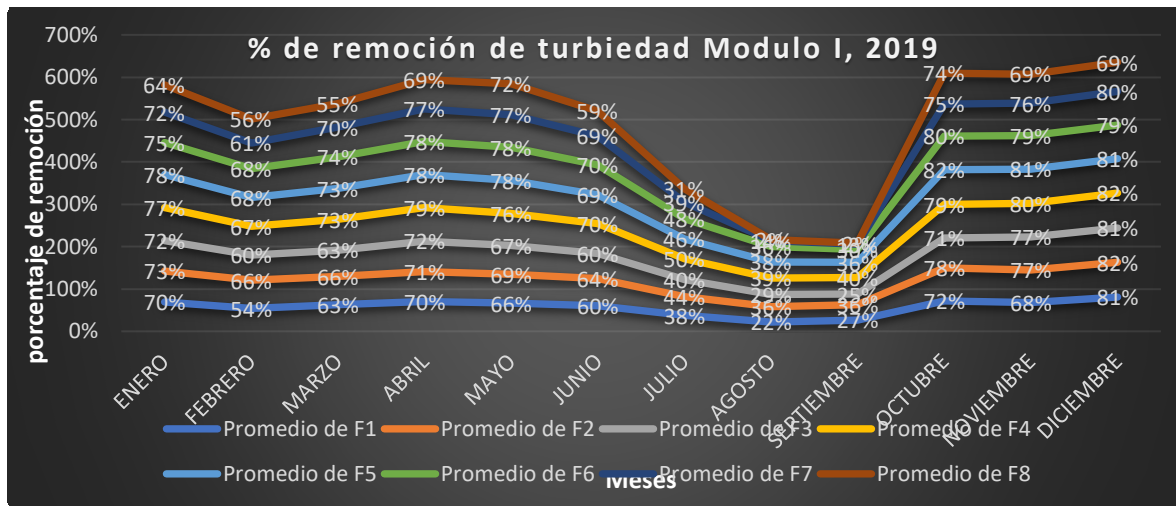
A partir de los datos en los sedimentadores y de los filtros se pudo obtener como dato el rendimiento de los filtros, esos resultados se presentan como porcentaje de remoción de turbiedad en cada uno de ellos, dentro de la tabla 9 y dentro de la gráfica 5, se observa como el porcentaje de remoción descienden drásticamente en los meses de agosto y septiembre, removiendo un máximo del 40% en el filtro F4 en el mes de septiembre; frente a un valor mínimo del 2% proveniente del F8 en los meses de agosto y de septiembre. Esto debido a un mal proceso de floculación que impidió la correcta formación del flóculo en los respectivos floculadores y por consiguiente una mala acción de los sedimentadores, esta información fue registrado en los libros del diario de actividades de la PTAT, por este motivo los flóculos al no tener un diámetro adecuado no pudieron ser retenidos en el lecho filtrante lo que provocó una retención tan baja dentro de los filtros, resaltando sobre estos el filtro número 8 que presenta los valores menos eficientes durante este período.

Tabla 9. Porcentaje de retención en el proceso de filtración, Año 2019

Etiquetas de fila	Prom de F1	Prom de F2	Prom de F3	Prom de F4	Prom de F5	Prom de F6	Prom de F7	Prom de F8
E01	70%	73%	72%	77%	78%	75%	72%	64%
F02	54%	66%	60%	67%	68%	68%	61%	56%
M03	63%	66%	63%	73%	73%	74%	70%	55%

UCUENCA

A04	70%	71%	72%	79%	78%	78%	77%	69%
M05	66%	69%	67%	76%	78%	78%	77%	72%
J06	60%	64%	60%	70%	69%	70%	69%	59%
J07	38%	44%	40%	50%	46%	48%	39%	31%
A08	22%	36%	29%	39%	38%	36%	14%	2%
S09	27%	36%	25%	40%	36%	30%	13%	2%
O10	72%	78%	71%	79%	82%	80%	75%	74%
N11	68%	77%	77%	80%	81%	79%	76%	69%
D12	81%	82%	81%	82%	81%	79%	80%	69%
Promedio general	58%	64%	60%	68%	67%	66%	60%	52%



Gráfica 5. Porcentajes de adsorción en los filtros; Año 2019. Gráfica expuesta desde el ángulo superior.
Fuente: Abad – Guaraca

▢ Caudal de agua tratada - Módulo I

En la tabla 10, se aprecia el promedio mensual de caudal de ingreso a la planta, para el módulo I. Durante el año 2019, el mínimo caudal receiptado es de 553,78l/s perteneciente al mes de octubre y tiene un valor máximo de 723,58l/s correspondiente al mes de agosto, esto indica un rango de variación de caudal de 169,8 litros. Además, se presentan conjuntamente los volúmenes tratados por día, y por mes, en este último en litros (l) y metros cúbicos (m^3) tabla 10. Coincidiendo con los meses antes mencionados respecto a los máximos y mínimos de caudal, los mismos meses se registran los volúmenes de agua máximos y mínimos distribuidos, siendo para octubre 1 483 232,416 m^3 /mes de agua tratada y de 1 938 024 m^3 /mes para el mes de agosto.

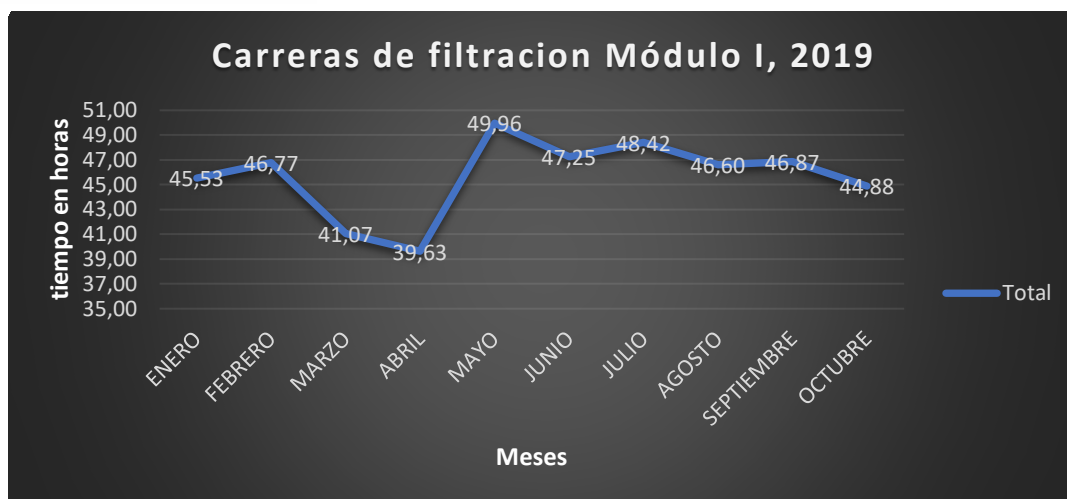
Tabla 10. Caudal tratado, Año 2019

MES	Promedio de caudal agua cruda (l/s)	Volúmenes en (l/día)	Volúmenes en (l/mes)	(m ³ /mes)
E01	619,36	53512848,58	1658898306	1658898,306
F02	607,52	52489940,12	1469718323	1469718,323
M03	619,83	53553131,71	1660147083	1660147,083
A04	597,54	51627740,78	1600459964	1600459,964
M05	598,01	51667669,57	1601697757	1601697,757
J06	598,77	51733342,37	1603733614	1603733,614
J07	677,30	58518929,03	1814086800	1814086,8
A08	723,58	62516903,23	1938024000	1938024
S09	698,71	60368672,27	1871428840	1871428,84
O10	553,78	47846206,96	1483232416	1483232,416
N11	570,33	49276596,32	1527574486	1527574,486
D12	616,12	53232839,01	1650218009	1650218,009
Promedio general	623,80			

Fuente: Abad – Guaraca

– Carreras de filtración Módulo I

Las carreras de filtración proporcionan el intervalo de tiempo en horas en el cual se dan los lavados de los filtros, de acuerdo a la política interna este tiempo debe estar comprendido en un intervalo de 45 a 55 horas, de acuerdo a la gráfica 6, se observa un incumplimiento de las carreras de filtración en los meses de marzo, abril y octubre, meses en los cuales el tiempo de las carreras de filtración son menores a las estipuladas; esto se debe a la época de precipitación de lluvias, lo que provoca la colmatación más rápida del filtro ya que el agua de ingreso presenta mayor turbidez.



Gráfica 6. Carreras de filtración, Año 2019. Fuente: Abad – Guaraca

ANÁLISIS 2020 MÓDULO II

Los análisis realizados durante el año 2020 corresponden al módulo 2, debido a que el módulo I estuvo fuera de operación durante este año, los filtros que entraron en funcionamiento fueron el filtro 9 al 16, los mismos que se encontraron durante ese año en períodos de prueba para la observación del comportamiento del mismo bajo las condiciones que rigen en el caudal del río Machángara durante el año.

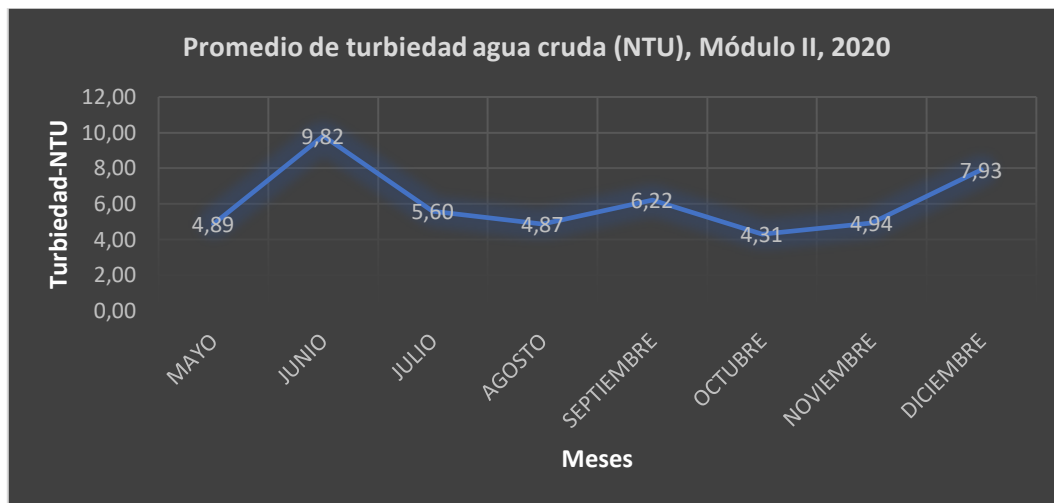
— Turbiedad y color del agua cruda - Módulo II

Los datos en la Tabla 11, constan a partir del mes de mayo, mismos que fueron tomados a partir de este mes por la emergencia sanitaria que atravesaba nuestro país. El promedio de turbiedad del agua cruda es de 6,12 NTU; presentando un valor máximo en el mes de junio con un valor de 9,82 NTU; y un valor mínimo de 4,31 NTU en el mes de octubre, (Gráfica 7), para los valores obtenidos de color, el promedio anual presenta un valor promedio de 61,67 UC y durante el año presenta un valor máximo de 77,91 UC, registrado en el promedio del mes de junio, y un valor obtenido mínimo de 49,22 UC correspondiente al mes de agosto (Gráfica 8).

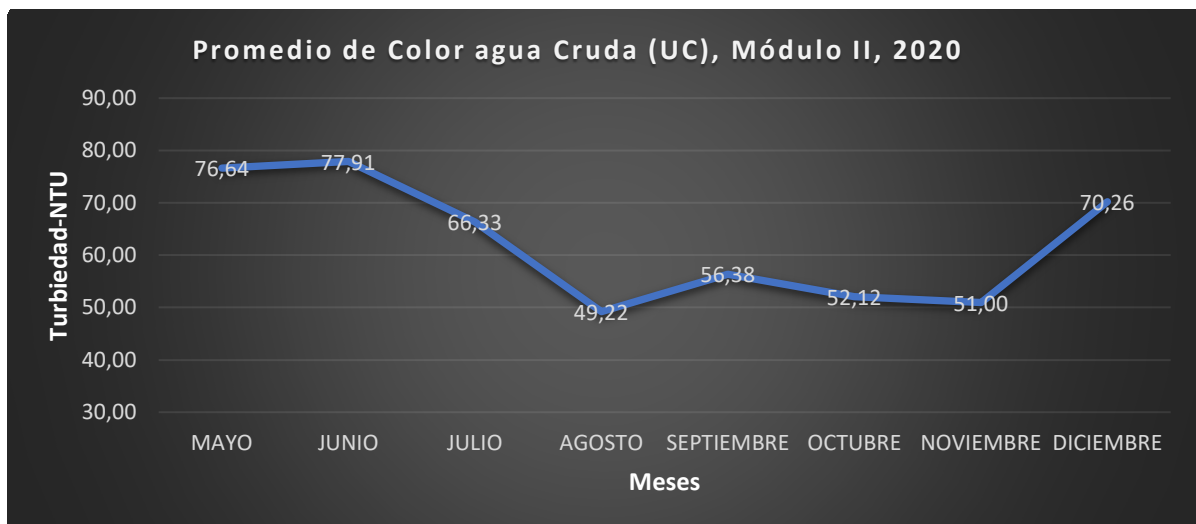
Tabla 11. Análisis de turbiedad y color de agua cruda, Año 2020

Etiquetas de fila	Promedio de turbiedad agua cruda (NTU)	Promedio de color agua cruda (UC)
M05	4,89	76,64
J06	9,82	77,91
J07	5,60	66,33
A08	4,87	49,22
S09	6,22	56,38
O10	4,31	52,12
N11	4,94	51,00
D12	7,93	70,26
Promedio general	6,12	61,67

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 7. Turbiedad de agua cruda, Año 2020. Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 8. Color del agua cruda, Año 2020. Fuente: Abad – Guaraca

→ Medida de turbiedad en los sedimentadores - Módulo II

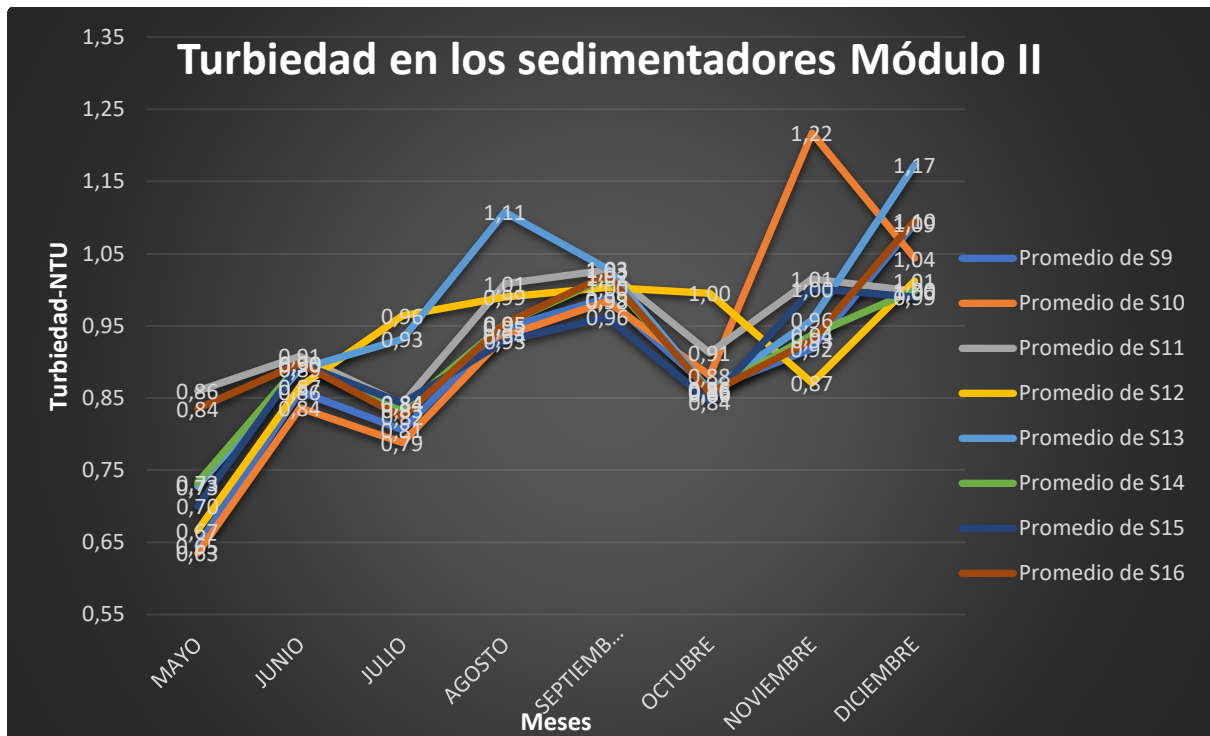
Al realizar el análisis de los datos de turbiedad de los sedimentadores se puede determinar el valor mínimo de turbiedad registrado durante el año 2020, que

corresponde a 0,63NTU, correspondientes al mes de mayo en el S10, y un valor máximo registrado de 1,22NTU, correspondientes al mes de noviembre en el mismo sedimentador, de esta manera se obtiene un rango de turbiedad de 0,59NTU, estos valores están representados en la Tabla 12 y la Gráfica 9.

Tabla 12. Promedio de turbiedad en sedimentadores, Año 2020

Etiquetas de fila	Prom de S9	Prom de S10	Prom de S11	Prom de S12	Prom de S13	Prom de S14	Prom de S15	Prom de S16
M05	0,65	0,63	0,86	0,67	0,73	0,73	0,70	0,84
J06	0,86	0,84	0,91	0,87	0,89	0,90	0,90	0,90
J07	0,81	0,79	0,84	0,96	0,93	0,83	0,84	0,82
A08	0,95	0,94	1,01	0,99	1,11	0,95	0,93	0,95
S09	0,99	0,98	1,03	1,00	1,03	1,02	0,96	1,02
O10	0,86	0,88	0,91	1,00	0,86	0,86	0,84	0,86
N11	0,92	1,22	1,01	0,87	0,96	0,94	1,00	0,93
D12	1,09	1,04	1,00	1,01	1,17	1,00	0,99	1,10
Promedio general	0,90	0,93	0,95	0,93	0,97	0,91	0,91	0,93
máximo	1,22							
mínimo	0,63							

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 9. Turbiedad en sedimentadores, Año 2020. Fuente: Abad – Guaraca

En el gráfico anterior (Tabla 12 y Gráfica 9) se puede apreciar que durante los primeros meses el valor de turbidez se mantuvo por debajo del nivel de consenso y a partir de

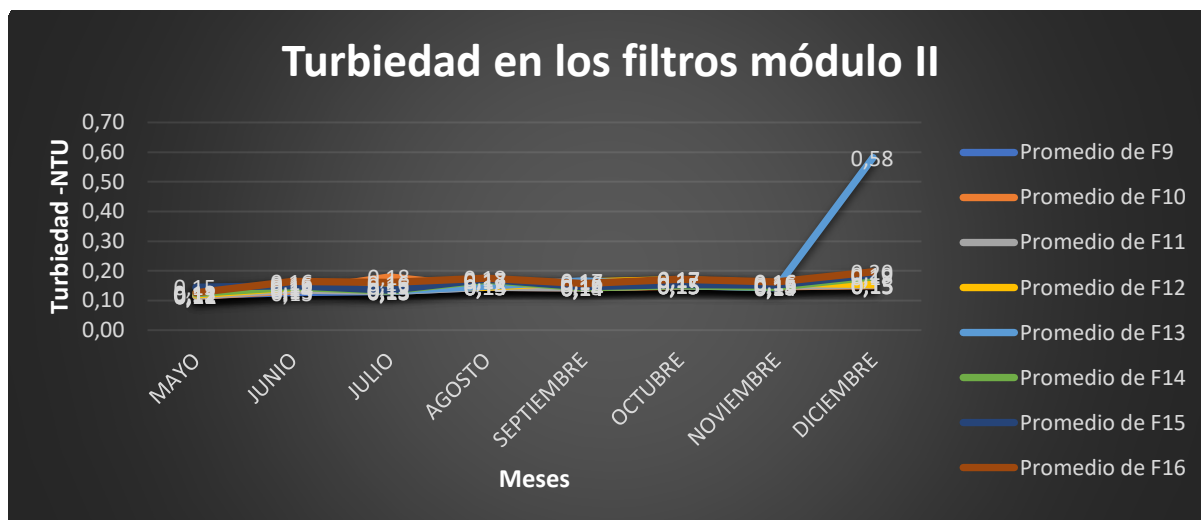
agosto hubo un ligero aumento, y el valor de turbidez disminuyó. En diciembre pertenece a la media mensual, por lo que el valor de turbidez de los meses anteriores supera o se acerca al valor de 1 NTU.

Medida de turbiedad en los filtros - Módulo II

Tabla 13. Turbiedad en filtros, Año 2020

Etiquetas de fila	Prom F9	Prom F10	Prom F11	Prom F12	Prom F13	Prom de F14	Prom F15	Prom F16
M05	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,15	0,13
J06	0,13	0,13	0,14	0,14	0,16	0,14	0,15	0,16
J07	0,13	0,18	0,13	0,15	0,13	0,13	0,13	0,16
A08	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15	0,17	0,17	0,18
S09	0,14	0,14	0,14	0,16	0,17	0,14	0,15	0,16
O10	0,17	0,15	0,15	0,17	0,15	0,15	0,15	0,17
N11	0,15	0,15	0,15	0,16	0,14	0,15	0,15	0,16
D12	0,15	0,15	0,15	0,15	0,58	0,18	0,19	0,20
Promedio general	0,14	0,15	0,14	0,15	0,21	0,15	0,16	0,17
MAXIMO		0,58						
MINIMO		0,11						

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 10. Turbiedad en los filtros, Año 2020. Fuente: Abad – Guaraca

Durante la operación del módulo II, se observa que en la Tabla 13 y la Gráfica 10, de esto se pueden apreciar que en el filtro 10 y 11 se encuentran los valores mínimos de turbiedad con un valor 0,11 NTU correspondientes al mes de Mayo, y un valor máximo de turbiedad de 0,58 NTU correspondientes al filtro 14 en el mes de diciembre, siendo este último valor el más elevado con respecto al resto de filtros que durante los meses

expuestos no superan los valores de turbiedad de 0,20NTU. El rango de turbiedad establecido en esta etapa es de 0,47 NTU.

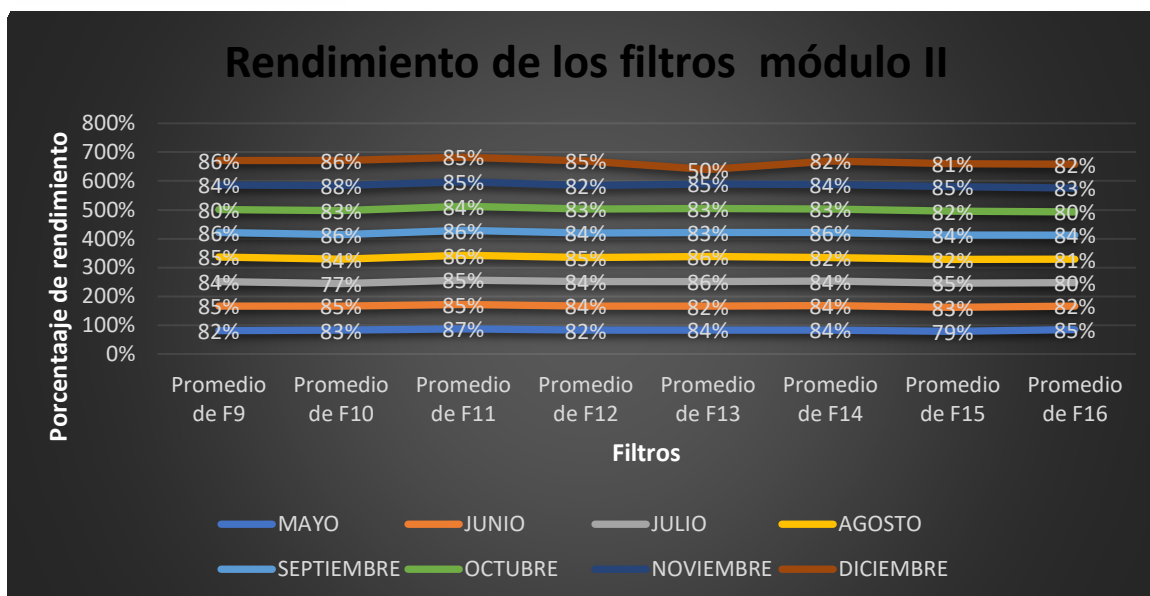
– Rendimiento de los filtros - Módulo II

Los rendimientos de los filtros en el módulo II, expresados en la tabla 14 y gráfica 11, se encuentran por encima del 50%, el valor más bajo de rendimiento corresponde al filtro 13 en el mes de diciembre, el resto de los filtros superan claramente el rendimiento del 70% de acuerdo a la siguiente tabla. El mayor rendimiento lo posee el filtro 10 con un porcentaje de remoción del 88% durante el mes de noviembre, el resto de los datos corresponden a los otros filtros que presentan valores próximos, sin mucha variabilidad a diferencia de filtro 13 que se mencionó anteriormente.

Tabla 14. Rendimiento de remoción los filtros, Año 2020

Etiquetas de fila	Prom F9	Prom F10	Prom F11	Prom F12	Prom F13	Prom F14	Prom F15	Prom F16
M05	82%	83%	87%	82%	84%	84%	79%	85%
J06	85%	85%	85%	84%	82%	84%	83%	82%
J07	84%	77%	85%	84%	86%	84%	85%	80%
A08	85%	84%	86%	85%	86%	82%	82%	81%
S09	86%	86%	86%	84%	83%	86%	84%	84%
O10	80%	83%	84%	83%	83%	83%	82%	80%
N11	84%	88%	85%	82%	85%	84%	85%	83%
D12	86%	86%	85%	85%	50%	82%	81%	82%
Promedio general	84%	84%	85%	84%	80%	84%	83%	82%
MINIMO	50%							
MAXIMO	88%							

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 11. Rendimiento de adsorción de los filtros, Año 2020. Gráfica expuesta desde el ángulo superior.
Fuente: Abad – Guaraca.

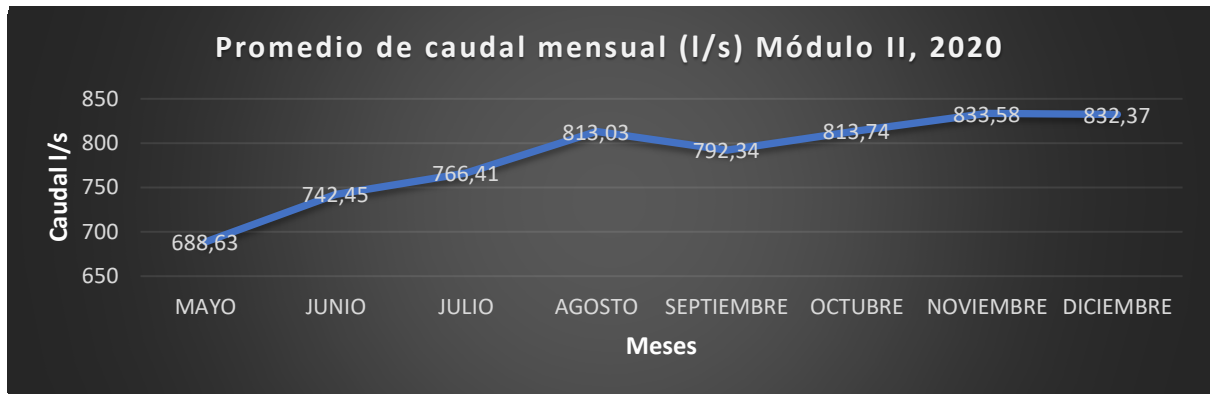
➤ Caudal del agua tratada - Módulo II

El flujo producido por la segunda unidad se divide en ciertas áreas de distribución, como se muestra en la Tabla 15, el flujo de salida se divide en 4 flujos y el flujo de producción total. Durante el primer mes fue de 688,63 l/s, a partir de este mes se incrementó el caudal tratado hasta alcanzar los 833,37 l/s, que es el mayor valor registrado para el período y este es el promedio de noviembre, además del caudal anual medio. Caudal de procesamiento 806,26 l/s, como se muestra en la gráfica 12.

Tabla 15. Caudal de agua tratada, Año 2020

Etiquetas de fila	Promedio de CAUDAL 1 (l/s)	Promedio de CAUDAL 2 (l/s)	Promedio de CAUDAL 3 (l/s)	Promedio de CAUDAL Ricaurte(l/s)	Promedio total (l/s)
M05	473,54	29,11	18,28	167,7	688,63
J06	371,45	200,06	7,41	163,53	742,45
J07	338,56	256,67	8,53	162,65	766,41
A08	343,84	275,49	14,21	179,49	813,03
S09	326,42	271,84	25,1	168,98	792,34
O10	335,02	277,34	24,45	176,93	813,74
N11	336,43	290,03	27,47	179,65	833,58
D12	332,65	300,62	14,79	184,31	832,37
Promedio general	350,84	264,45	17,35	173,62	806,26

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 12. Promedio de caudal mensual, Año 2020. Fuente: Abad – Guaraca

ANÁLISIS 2021 MÓDULO I Y MÓDULO II

Para el año 2021, se empieza a operar los 2 módulos, el módulo I empezó operando con 270 l/s y el módulo II con 750 l/s; a continuación, se obtienen los análisis de los 2 módulos en funcionamiento en conjunto.

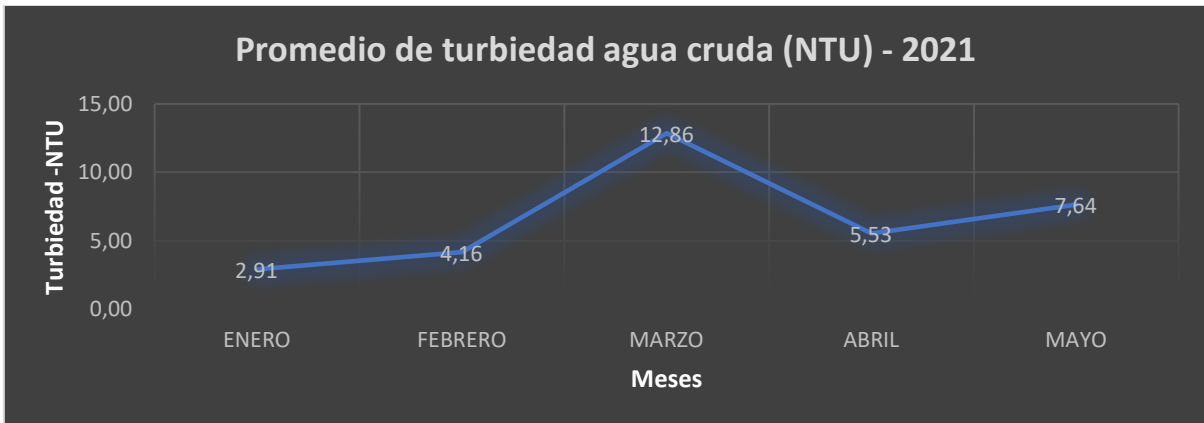
➤ Análisis de agua cruda Módulo I y Módulo II

El análisis del agua cruda durante el año 2021 se lo realizó hasta el mes de mayo, con los promedios diarios son obtenidos a su vez los promedios mensuales, de esta manera se puede visualizar los valores máximos y mínimos de turbiedad y color en el agua de ingreso, la misma que en esta etapa se distribuirá a los 16 sedimentadores y filtros pertenecientes a los módulos I y II. Durante este periodo de tiempo se puede apreciar que en el mes de enero se recibe el agua cruda con la turbiedad más baja de 2,91 NTU, sin embargo, durante el mes de marzo la turbiedad del agua cruda aumenta a un valor de 12,86 NTU, así mismo los valores de color de agua cruda presentan su menor valor en el mes de enero con 56,95 UC, y su valor máximo de 119,32 UC, pertenecientes al mes de marzo. Todos estos datos están expresados en la tabla 16 y las gráficas 13 y 14.

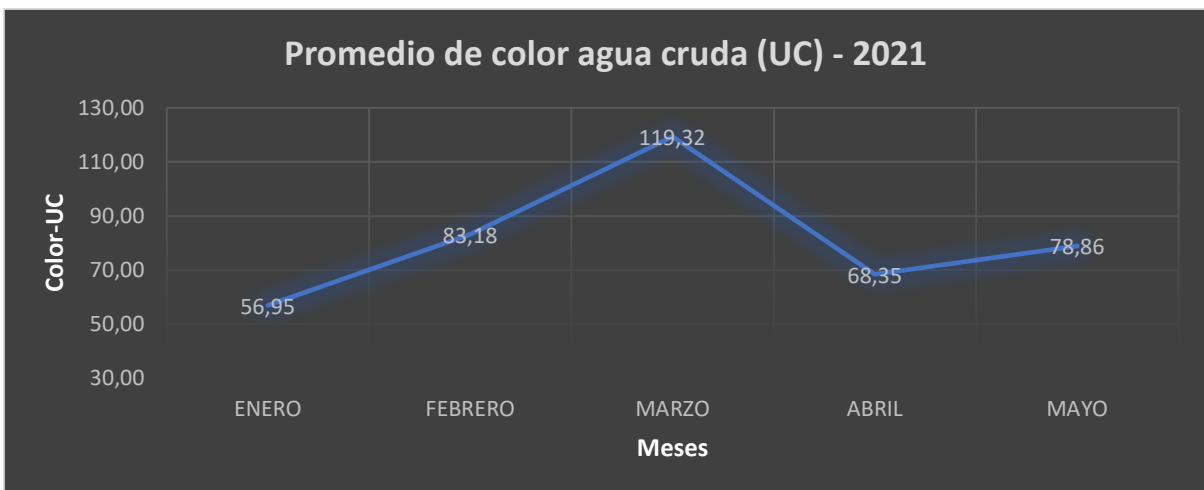
Tabla 16. Promedio de color y turbiedad del agua cruda, Año 2021

Etiquetas de fila	Promedio de Turbiedad agua Cruda NTU	Promedio de Color agua Cruda UC
E01	2,91	56,95
F02	4,16	83,18
M03	12,86	119,32
A04	5,53	68,35
M05	7,64	78,86
Promedio general	6,46	81,69

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 13. Promedio de turbiedad del agua cruda, Año 2021. Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 14. Promedio de color en agua cruda, Año 2021. Fuente: Abad – Guaraca

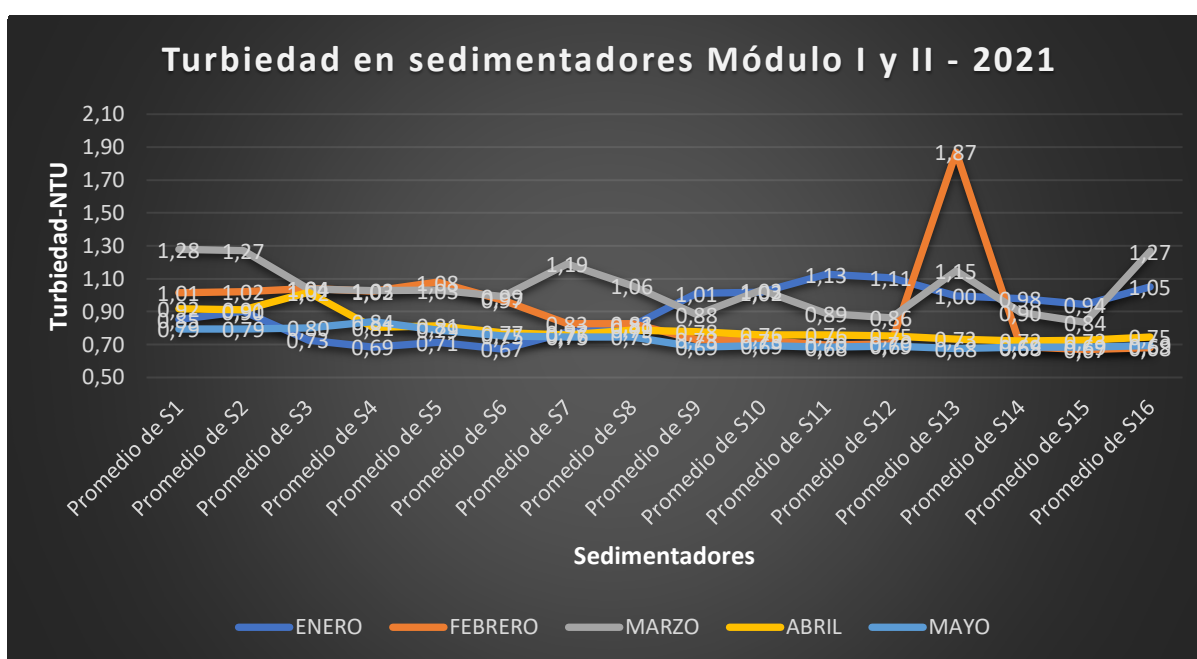
→ Turbiedad del sedimentador

Durante esta etapa de la PTAT, se operan con los dos módulos de manera simultánea, en los cuales intervienen los 16 sedimentadores (tabla 17), se realizaron las mediciones de las turbiedades del agua presente en esta etapa, de aquí se seleccionaron los valores máximos y mínimos y el rango de los mismos, el valor mínimo obtenido es de 0,67 NTU, pertenecientes al sedimentador 15 (S15) durante el mes de febrero, el valor más alto registrado es de 1,87 NTU, medido en el sedimentador 13 (S13) en el mes de febrero, manejando un rango de 1,2 NTU. Mediante la gráfica 15, se puede observar que el sedimentador 13 (S13) mantiene valores ligeramente superiores a los obtenidos en el resto.

Tabla 17. Valor de turbiedad de los 16 Sedimentadores. Año 2021

Etiquetas de fila	Prom S1	Prom S2	Prom S3	Prom S4	Prom S5	Prom S6	Prom S7	Prom S8	Prom S9	Prom S10	Prom S11	Prom S12	Prom S13	Prom S14	Prom S15	Prom S16
E01	0,85	0,90	0,73	0,69	0,71	0,67	0,77	0,81	1,01	1,02	1,13	1,11	1,00	0,98	0,94	1,05
F02	1,01	1,02	1,04	1,02	1,08	0,97	0,83	0,83	0,73	0,73	0,70	0,70	1,87	0,69	0,67	0,68
M03	1,28	1,27	1,04	1,03	1,03	0,99	1,19	1,06	0,88	1,03	0,89	0,86	1,15	0,90	0,84	1,27
A04	0,92	0,91	1,02	0,81	0,81	0,77	0,76	0,79	0,78	0,76	0,76	0,75	0,73	0,72	0,73	0,75
M05	0,79	0,79	0,80	0,84	0,79	0,75	0,75	0,75	0,69	0,69	0,68	0,69	0,68	0,68	0,69	0,69
Promedio general	1,06	1,06	1,01	0,94	0,96	0,90	0,92	0,88	0,88	0,91	0,92	0,90	1,13	0,85	0,82	0,96

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 15. Valores de Turbiedad en los 16 Sedimentadores. Año 2021. Fuente: Abad – Guaraca

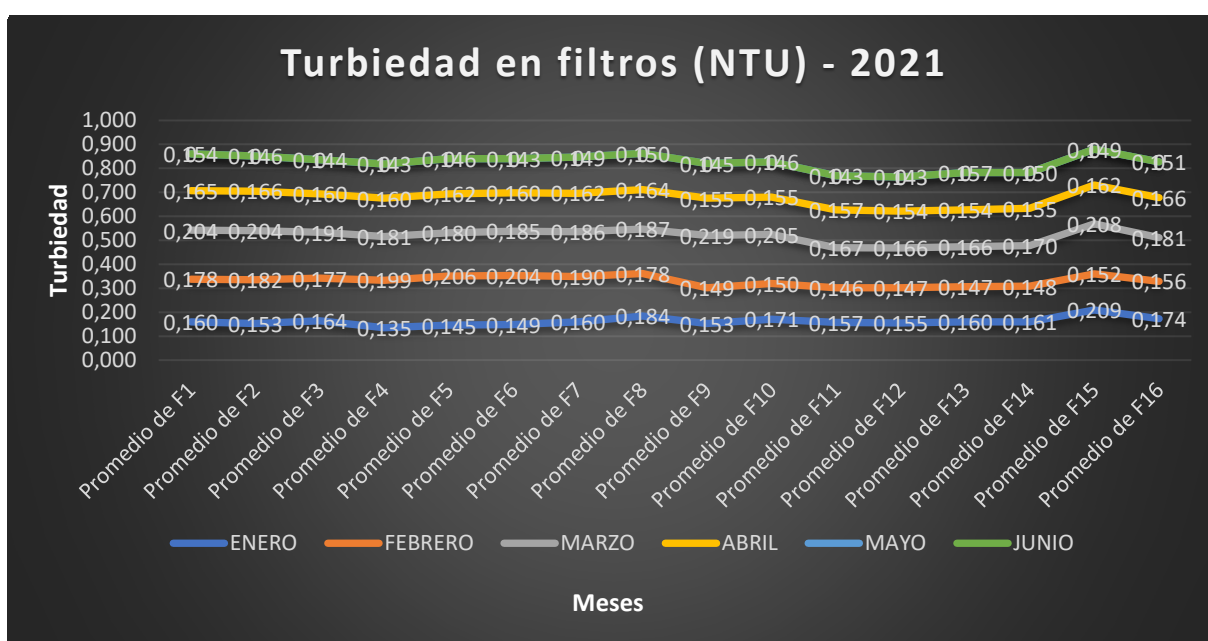
→ Turbiedades de los filtros

Mediante los datos obtenidos por el promedio mensual de turbidez de los filtros, se obtuvo el mínimo de turbidez, registrado en el mes de mayo y estos valores pertenecen a los filtros F-3, F-4, F-6, F-11 y F-12. El filtro con el valor máximo de turbiedad es F-9 durante el mes de marzo, el rango existente es de 0,08 NTU. Estos valores están reflejados en la tabla 18 y en la gráfica 16.

Tabla 18. Turbiedades de los 16 Filtros hasta mayo 2021.

Etiquetas de fila	Prom F-1	Prom F-2	Prom F-3	Prom F-4	Prom F-5	Prom F-6	Prom F-7	Prom F-8	Prom F-9	Prom F-10	Prom F-11	Prom F-12	Prom F-13	Prom F-14	Prom F-15	Prom F-16
E01	0,16	0,15	0,16	0,14	0,15	0,15	0,16	0,18	0,15	0,17	0,16	0,15	0,16	0,16	0,21	0,17
F02	0,18	0,18	0,18	0,20	0,21	0,20	0,19	0,18	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16
M03	0,20	0,20	0,19	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,22	0,20	0,17	0,17	0,17	0,17	0,21	0,18
A04	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,16	0,16	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17
M05	0,15	0,15	0,14	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,16	0,15	0,15	0,15
Total, general	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,19	0,17
MINIMO				0,14												
MAXIMO				0,22												

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 16. Turbiedades en los 16 filtros, hasta mayo 2021. Gráfica expuesta desde el ángulo superior.

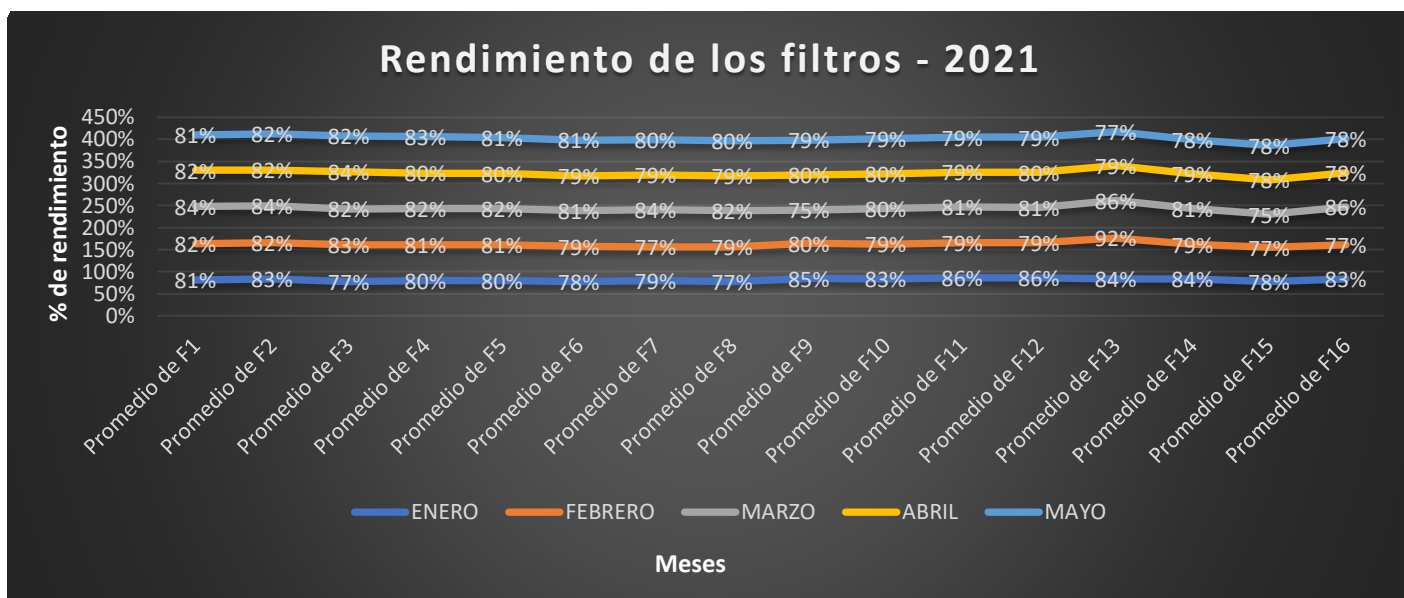
Fuente: Abad – Guaraca

→ Rendimiento de los filtros

Los rendimientos de los filtros mantienen valores cercanos entre sí, y no poseen valores irregulares, de esto se puede rescatar los valores máximos y mínimos presentes en la tabla 19, el valor menor obtenido es de 75% de remoción, acción hecha por el filtro F15 en el mes de marzo, y el valor más alto registrado es de 92% de remoción realizado por el filtro F13 perteneciente al mes de febrero (gráfica 17).

Tabla 19. Porcentajes de rendimiento de los 16 Filtros hasta mayo 2021.

Etiquetas de fila	Prm F-1	Prm F-2	Prm F-3	Prm F-4	Prm F-5	Prm F-6	Prm F-7	Prm F-8	Prm F-9	Prm F-10	Prm F-11	Prm F-12	Prm F-13	Prm F-14	Prm F-15	Prm F-16
E01	81%	83%	77%	80%	80%	78%	79%	77%	85%	83%	86%	86%	84%	84%	78%	83%
F02	82%	82%	83%	81%	81%	79%	77%	79%	80%	79%	79%	79%	92%	79%	77%	77%
M03	84%	84%	82%	82%	82%	81%	84%	82%	75%	80%	81%	81%	86%	81%	75%	86%
A04	82%	82%	84%	80%	80%	79%	79%	79%	80%	80%	79%	80%	79%	79%	78%	78%
M05	81%	82%	82%	83%	81%	81%	80%	80%	79%	79%	79%	79%	77%	78%	78%	78%



Gráfica 17. Rendimientos de los 16 Filtros, Mayo 2021. Gráfica expuesta desde el ángulo superior

Fuente: Abad – Guaraca

ANÁLISIS

Se toma en cuenta el análisis de datos históricos tomados del año 2019 hasta mediados del año 2021, cuya información fue detallada al inicio de este capítulo, en la misma que se muestra valores de turbiedad de agua cruda, agua sedimentada, agua filtrada; dados desde la tabla 6 – 19, respectivamente.

A continuación, se presenta la tabla 20, con los máximos y mínimos de la turbiedad de cada módulo de filtración por año.

Tabla 20. Análisis máximos y mininos de turbiedad por año de recopilación de datos históricos. NTU

AÑO	MODULO I		MODULO II	
	MIN	MAX	MIN	MAX
2019	0,24	1,53	--	--
2020	--	--	0,11	0,58
2021	0,17	0,21	0,14	0,20
Promedio general	0,17	0,21	0,13	0,39

Fuente: Abad – Guaraca

De acuerdo con los datos obtenidos, los valores de la turbiedad promedio del agua filtrada son menores a 1 NTU, cumpliendo con el requerimiento del CEPIS, mismo que indica que el valor de turbiedad debe ser ≤ 5 NTU; por lo tanto, se puede decir que el agua es de buena calidad ya que la turbiedad se encuentra muy por debajo del límite máximo permitido también cumpliendo con la norma INEN 1108 5ta Ed.

Los valores del año 2019 donde opera solo el módulo I, se encuentran por encima del valor de la unidad, su máximo se encuentra en un valor de 1,53 NTU, esto se debe a que los lechos ya se encontraban terminando su vida útil; para el periodo del 2020, entra en operación y fase de prueba el módulo II, el mismo que a pesar de estar en periodo de prueba su valor promedio mínimo es 0,11 NTU y su máximo es de 0,58 NTU, con lo cual están cumpliendo el requerimiento del CEPIS y la norma INEN 1108. Para el año 2021, sigue operando el módulo II y entra nuevamente en operación el módulo I con una renovación del material en los lechos; dando para el módulo I un valor mínimo de 0,17NTU y un máximo de 0,21NTU, estando dentro del rango de las normativas mencionadas, esta renovación del medio filtrante mejoro en gran medida el rango de filtración comparado con el último año de operación. En el módulo II nos da un valor mínimo de 0,13 NTU y un máximo de 0,39 NTU, estos valores son menores de 1NTU, por lo cual cumplen el requisito del CEPIS.

Con lo mencionado se puede asegurar que la calidad de filtrado de los dos módulos de operación de la PTAT, está cumpliendo el rango determinado por el CEPIS y por la norma INEN 1108, 5ta ed.

4.1.2. Actividad 2: Velocidad y caudal de filtración

En la PTAT, se realizó la evaluación de la velocidad y caudal de filtración en los 16 filtros pertenecientes a los módulos I y II, siguiendo la metodología que se encuentra descrita en el apartado 3.2.1.2. Los resultados obtenidos se detallan en la tabla 21 y 22 que se muestra a continuación, que corresponden a los módulos ya mencionados.

Tabla 21. Resultados de la tasa de filtración del Módulo I

Velocidad y caudal de filtración- MÓDULO I							
No. Filtro	Variación de altura (m)	Tiempo(s)	Volumen de agua filtrada (m ³)	Área de filtro (m ²)	Área de lecho filtrante (m ²)	Velocidad de filtración (m ³ /m ² /d)	Caudal de filtración (l/s)
F-1	0,2	162	8,1	40,5	32,53	132,80	50
F-2	0,2	164	8,1	40,5	32,53	131,18	49,39
F-3	0,2	166	8,1	40,5	32,53	129,60	48,79
F-4	0,2	214	8,1	40,5	32,53	100,53	37,85
F-5	0,2	170	8,1	40,5	32,53	126,55	47,64
F-6	0,2	157	8,1	40,5	32,53	137,03	51,59
F-7	0,2	173	8,1	40,5	32,53	124,36	46,82
F-8	0,2	170	8,1	40,5	32,53	126,55	47,64
Q TOTAL							379,74

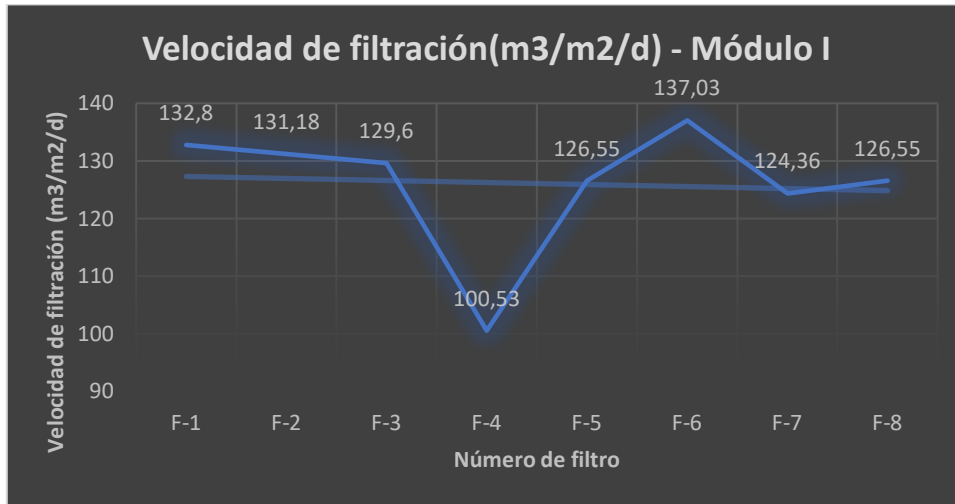
Fuente: Abad – Guaraca

Tabla 22. Resultados de la tasa de filtración del Módulo I

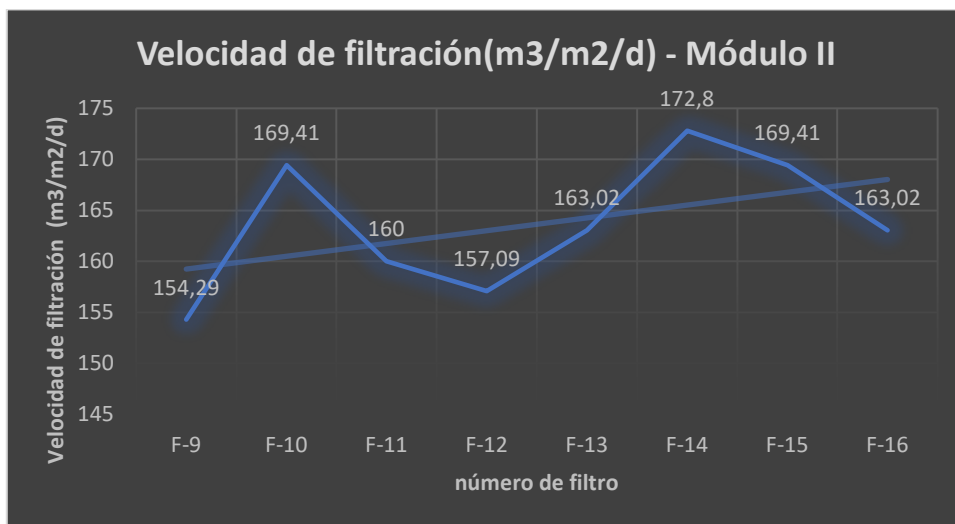
Velocidad y caudal de filtración - MÓDULO II							
No. Filtro	Variación de altura (m)	Tiempo(s)	Volumen de agua filtrada (m ³)	Área de filtro (m ²)	Área de lecho filtrante (m ²)	Velocidad de filtración (m ³ /m ² /d)	Caudal de filtración (l/s)
F-9	0,1	56	4,96	49,6	23,58	154,29	88,57
F-10	0,1	51	4,96	49,6	23,58	169,41	97,25
F-11	0,1	54	4,96	49,6	23,58	160,00	91,85
F-12	0,1	55	4,96	49,6	23,58	157,09	90,18
F-13	0,1	53	4,96	49,6	23,58	163,02	93,58
F-14	0,1	50	4,96	49,6	23,58	172,80	99,20
F-15	0,1	51	4,96	49,6	23,58	169,41	97,25
F-16	0,1	53	4,96	49,6	23,58	163,02	93,58
Q TOTAL							751,48

Fuente: Abad – Guaraca

A partir de los datos obtenidos en las tablas anteriores, se pudo graficar la tasa de filtración de cada uno de los filtros, en el eje X están representados los números de los filtros, mientras que el eje Y, posee los valores de la tasa o velocidad de filtración como se muestra en la gráfica 18 y 19. A partir de estas gráficas se pudo obtener una línea de tendencia, la que indica que la velocidad de filtración puede ser considerada en 126,075 m³/m²/d para el módulo I, y de 163,63 m³/m²/d para el módulo II, además de un caudal de 379,74 l/s y 751,48 l/s respectivamente.



Gráfica 18. tasa de filtración del módulo I



Gráfica 19. Tasa de filtración del módulo I

Análisis

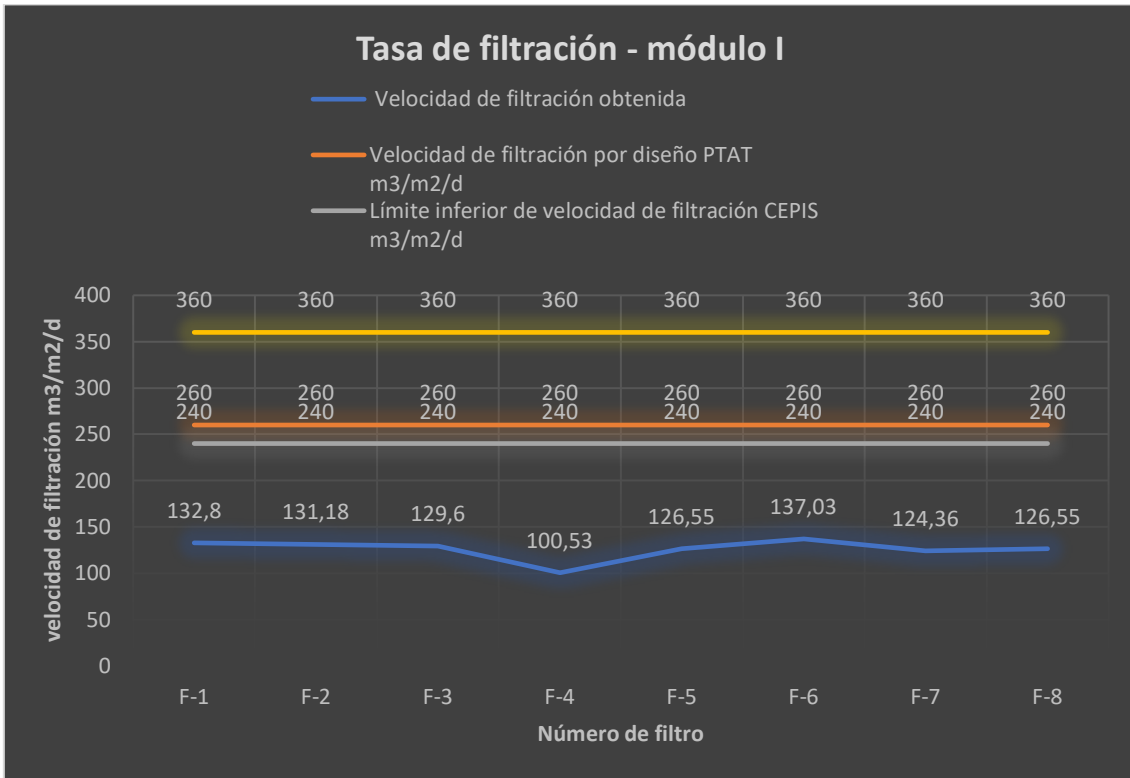
En la tabla 23, se muestra las velocidades de filtración que se obtuvieron en cada filtro, pertenecientes a los módulos I y II, cada uno de los valores pertenecientes a la tasa de filtración no alcanzan al cumplimiento tanto del CEPIS como, la tasa de filtración de diseño fijado por la planta; en el módulo I, el filtro con la tasa de filtración más bajo de entre los 8 que lo componen es el filtro F4, mismo que posee una velocidad de filtración de 100,53 m³/m²/d; en el módulo II de los 8 filtros que lo constituyen, el filtro con la menor tasa de filtración es el F9 con una tasa de filtración de 154,29 m³/m²/d.

Tabla 23. Velocidad de filtración obtenida vs la recomendada

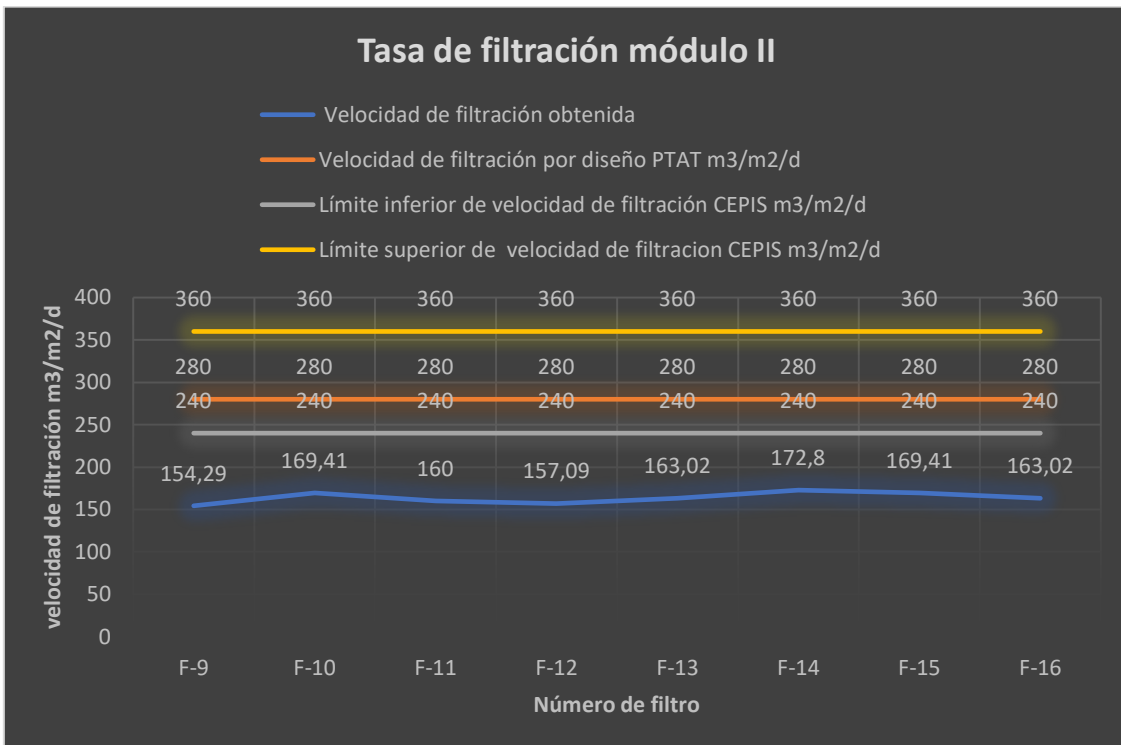
No. Filtro	De	Velocidad de filtración m ³ /m ² /d			
		Datos de los ensayos	CEPIS	DISEÑO	UNIDAD
MÓDULO I					
F-1		132,80	240-360	260	m ³ /m ² /d
F-2		131,18	240-360	260	m ³ /m ² /d
F-3		129,60	240-360	260	m ³ /m ² /d
F-4		100,53	240-360	260	m ³ /m ² /d
F-5		126,55	240-360	260	m ³ /m ² /d
F-6		137,03	240-360	260	m ³ /m ² /d
F-7		124,36	240-360	260	m ³ /m ² /d
F-8		126,55	240-360	260	m ³ /m ² /d
promedio		126,07			
MÓDULO II					
F-9		154,29	240-360	280	m ³ /m ² /d
F-10		169,41	240-360	280	m ³ /m ² /d
F-11		160,00	240-360	280	m ³ /m ² /d
F-12		157,09	240-360	280	m ³ /m ² /d
F-13		163,02	240-360	280	m ³ /m ² /d
F-14		172,80	240-360	280	m ³ /m ² /d
F-15		169,41	240-360	280	m ³ /m ² /d
F-16		163,02	240-360	280	m ³ /m ² /d
promedio		163,63			

Fuente: Abad – Guaraca

Lo mencionado en el párrafo anterior puede ser verificado con las gráficas 20 y 21, que indican los rangos fijados por la CEPIS y la PTAT. Los filtros con la mayor tasa de filtración son los filtros F6 y F14, con una tasa de filtración de 137,03 m³/m²/d y 173,8 m³/m²/d respectivamente.



Gráfica 20. Tasa de filtración del módulo I. Fuente: Abad - Guaraca



Gráfica 21. Tasa de filtración del módulo II. Fuente: Abad - Guaraca

4.1.3. Actividad 3: Calidad de filtrado inicial

Los resultados de turbiedad obtenida en el momento que el filtro comienza su funcionamiento, pueden ser observados en la tabla 24 y 25, para el módulo I y II, respectivamente, adicional, dentro de estas tablas se pueden observar las fechas en las cuales se realizaron dichas mediciones y el caudal de operación.

Tabla 24. Datos de calidad de filtrado inicial, Modulo I.

Calidad de filtrado inicial- módulo I								
Fecha	10/7/2021	30/6/2021	30/6/2021	30/6/2021	3/7/2021	3/7/2021	13/7/2021	11/7/2021
Caudal (l/s)	270	270	270	270	270	270	270	270
Tiempo(min)	Medida de turbiedad (NTU)							
	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8
0	1,10	0,90	1,02	0,94	0,92	0,95	1,03	0,72
1	0,80	0,85	0,98	0,93	0,92	0,91	0,52	0,62
2	0,80	0,74	0,95	0,91	0,86	0,90	0,51	0,56
3	0,75	0,73	0,92	0,90	0,85	0,86	0,42	0,47
4	0,72	0,72	0,81	0,87	0,84	0,86	0,40	0,46
5	0,70	0,70	0,73	0,86	0,79	0,79	0,38	0,45
6	0,63	0,69	0,73	0,73	0,75	0,77	0,38	0,45
7	0,54	0,66	0,68	0,72	0,73	0,72	0,35	0,43
8	0,52	0,65	0,68	0,70	0,72	0,70	0,29	0,42
9	0,49	0,60	0,66	0,69	0,69	0,66	0,28	0,39
10	0,42	0,58	0,62	0,68	0,65	0,65	0,27	0,38
11	0,39	0,46	0,60	0,59	0,65	0,64	0,26	0,33
12	0,37	0,43	0,47	0,56	0,57	0,58	0,24	0,32
13	0,37	0,38	0,39	0,47	0,57	0,53	0,22	0,31
14	0,29	0,30	0,37	0,46	0,48	0,44	0,22	0,29
15	0,29	0,25	0,32	0,33	0,40	0,31	0,21	0,22

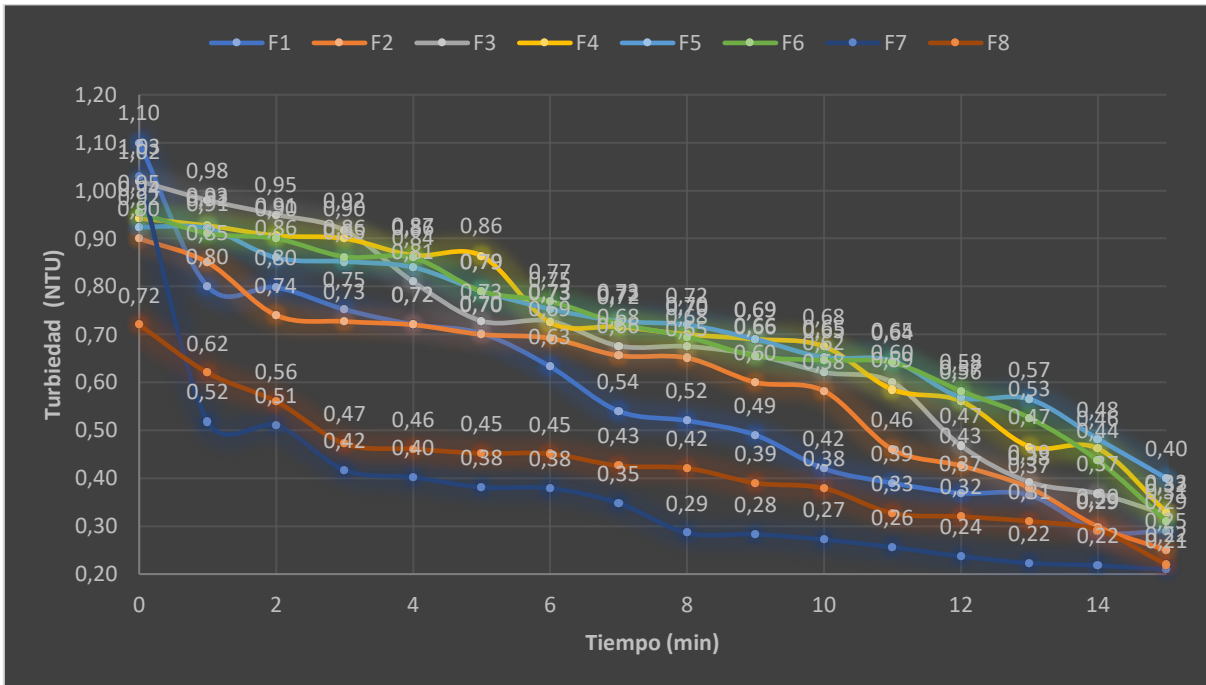
Fuente: Abad – Guaraca

Tabla 25. Datos de calidad de filtrado inicial, Módulo II.

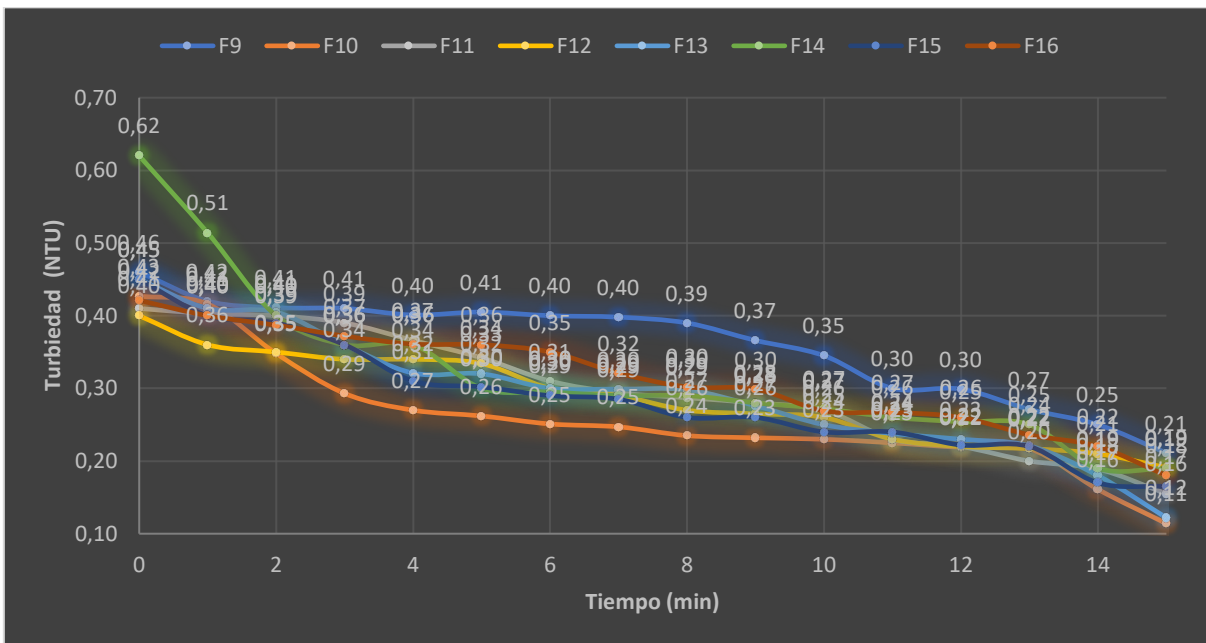
Calidad de filtrado inicial- módulo II								
FECHA	8/7/2021	8/7/2021	14/7/2021	2/7/2021	9/7/2021	13/7/2021	10/7/2021	12/7/2021
CAUDAL (lt/s)	500	500	500	500	500	500	500	500
TIEMPO (min)	Medida de turbiedad (NTU)							
	F-9	F-10	F-11	F-12	F-13	F-14	F-15	F-16
0	0,46	0,43	0,41	0,40	0,45	0,62	0,45	0,42
1	0,42	0,42	0,40	0,36	0,41	0,51	0,40	0,40
2	0,41	0,35	0,40	0,35	0,41	0,40	0,39	0,39
3	0,41	0,29	0,39	0,34	0,36	0,36	0,36	0,37
4	0,40	0,27	0,37	0,34	0,32	0,36	0,31	0,36
5	0,41	0,26	0,34	0,33	0,32	0,30	0,30	0,36
6	0,40	0,25	0,31	0,30	0,30	0,30	0,29	0,35
7	0,40	0,25	0,29	0,29	0,30	0,29	0,29	0,32
8	0,39	0,24	0,29	0,27	0,30	0,29	0,26	0,30
9	0,37	0,23	0,28	0,27	0,28	0,28	0,26	0,30
10	0,35	0,23	0,27	0,26	0,25	0,27	0,24	0,27
11	0,30	0,23	0,23	0,23	0,24	0,26	0,24	0,27
12	0,30	0,22	0,22	0,22	0,23	0,25	0,22	0,26
13	0,27	0,22	0,20	0,22	0,22	0,25	0,22	0,24
14	0,25	0,16	0,19	0,21	0,18	0,19	0,17	0,22
15	0,21	0,11	0,16	0,19	0,12	0,19	0,17	0,18

Fuente: Abad – Guaraca

En base a los datos de turbiedad obtenidos en las tablas 24 y 25, se procedió a realizar las gráficas respectivas, mismas que indican el comportamiento de la turbiedad en función del tiempo, de esta manera el eje X representa el tiempo transcurrido en minutos, mientras que el eje Y representa la turbiedad de las muestras en NTU, cada línea obtenida es la representación de cada uno de los filtros, y el comportamiento de la turbiedad dentro de los mismos, como se refleja en las gráficas 22 y 23 pertenecientes al módulo I y II respectivamente.



Gráfica 22. Turbiedad Modulo I. Fuente: Abad - Guaraca



Gráfica 23. Turbiedad Modulo II. Fuente: Abad - Guaraca

Análisis

Cuando se obtiene valores de turbiedades iniciales demasiado altas, esto se puede asumir como principal causa, que el filtro no fue lavado de la manera correcta. Esto, no se considera como una regla absoluta, ya que este efecto puede referirse al estado del lecho filtrante.

En la tabla 26 y 27 se muestran los valores recomendados por la normativa CEPIS y los valores obtenidos en los ensayos tanto del Módulo I y II respectivamente.

Tabla 26. Calidad de filtrado inicial, Módulo I.

No. Filtro	Turbiedad en t=0min	Turbiedad en t=15min	CEPIS	Unidad
F-1	1,10	0,29	<1	NTU
F-2	0,90	0,25	<1	NTU
F-3	1,02	0,32	<1	NTU
F-4	0,94	0,33	<1	NTU
F-5	0,92	0,40	<1	NTU
F-6	0,95	0,31	<1	NTU
F-7	1,03	0,21	<1	NTU
F-8	0,72	0,22	<1	NTU

Fuente: Abad – Guaraca

Tabla 27. Calidad de filtrado inicial, Módulo II.

No. Filtro	Turbiedad en t=0min	Turbiedad en t=15min	CEPIS	Unidad
F-9	0,46	0,21	<1	NTU
F-10	0,43	0,11	<1	NTU
F-11	0,41	0,16	<1	NTU
F-12	0,40	0,16	<1	NTU
F-13	0,45	0,12	<1	NTU
F-14	0,62	0,19	<1	NTU
F-15	0,45	0,17	<1	NTU
F-16	0,42	0,18	<1	NTU

Fuente: Abad – Guaraca

Analizando la tabla 26, correspondiente al módulo I, los valores de turbiedad al inicio del ensayo sobrepasan los valores estipulados por el CEPIS, en el filtro 1, filtro 3 y filtro 7. Al analizar la tabla 27, correspondiente al módulo II, se puede observar que sus valores de turbiedad en el instante inicial están muy por debajo de la unidad, por lo cual cumplen con lo estipulado con la sugerencia mencionada anteriormente.

En la Ilustración 19, los equipos necesarios para desarrollar este ensayo.

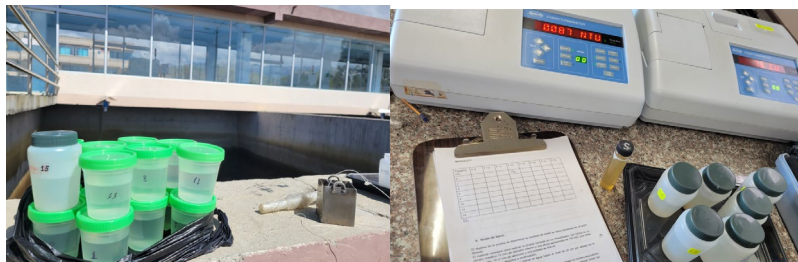


Ilustración 19. Envases de muestreo (IZQUIERDA), Lectura de las muestras (DERECHA)

4.1.4. Actividad 4: Turbiedad del agua filtrada

De acuerdo al proceso descrito en el apartado 3.2.1.4. las turbiedades del agua se obtuvieron de manera exitosa, como se puede apreciar en la tabla 28 para el módulo I y la tabla 29 para el módulo II, los valores considerados de turbiedad fueron de las muestras que se tomó antes y después del proceso de filtración.

Tabla 28. Datos de Turbiedad de agua filtrada, Módulo I.

Módulo I		
N° Filtro	Turbiedad de la muestra antes del proceso de filtración (NTU)	Turbiedad de la muestra después del proceso de filtración (NTU)
F-1	0,844	0,19
F-2	0,91	0,18
F-3	0,968	0,17
F-4	0,801	0,2
F-5	0,8	0,19
F-6	0,842	0,2
F-7	0,795	0,18
F-8	0,924	0,17

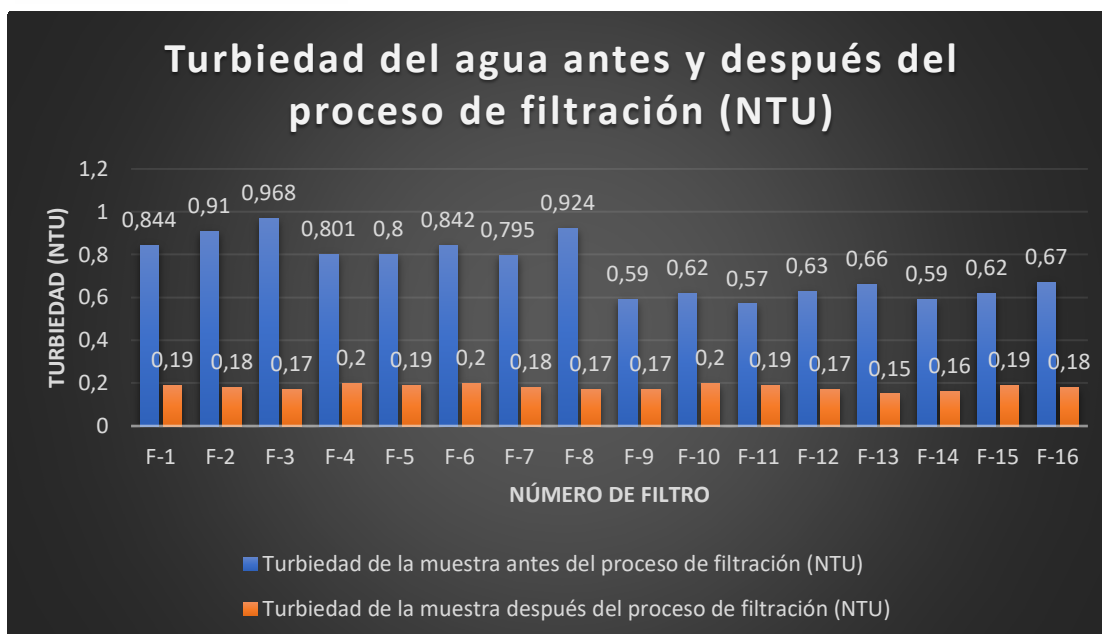
Fuente: Abad – Guaraca

Tabla 29. Datos de Turbiedad de agua filtrada, Módulo II.

Módulo II		
N° FILTRO	Turbiedad de la muestra antes del proceso de filtración (NTU)	Turbiedad de la muestra después del proceso de filtración (NTU)
F-9	0,59	0,17
F-10	0,62	0,2
F-11	0,57	0,19
F-12	0,63	0,17
F-13	0,66	0,15
F-14	0,59	0,16
F-15	0,62	0,19
F-16	0,67	0,18

Fuente: Abad – Guaraca

Con los datos registrados en las tablas anteriores, se graficó las turbiedades de cada uno de los filtros, antes y después del proceso de filtración tanto para el módulo I y II pertenecientes a la PTAT, como se muestra en la gráfica 24.



Gráfica 24. Turbiedad en los filtros del Módulo I y II. Fuente: Abad – Guaraca

Análisis

Con los datos recopilados se representa el siguiente análisis.

Tabla 30. Datos de Turbiedad de agua filtrada, Módulo I.

MÓDULO I				
Nº FILTRO	Turbiedad antes	Turbiedad después	CEPIS	UNIDAD
F-1	0,844	0,19	<1	NTU
F-2	0,91	0,18	<1	NTU
F-3	0,968	0,17	<1	NTU
F-4	0,801	0,2	<1	NTU
F-5	0,8	0,19	<1	NTU
F-6	0,842	0,2	<1	NTU
F-7	0,795	0,18	<1	NTU
F-8	0,924	0,17	<1	NTU

Fuente: Abad – Guaraca

Tabla 31. Datos de Turbiedad de agua filtrada, Módulo II.

MÓDULO II				
Nº FILTRO	Turbiedad antes	Turbiedad después	CEPIS	UNIDAD
F-9	0,59	0,17	<1	NTU
F-10	0,62	0,2	<1	NTU
F-11	0,57	0,19	<1	NTU
F-12	0,63	0,17	<1	NTU
F-13	0,66	0,15	<1	NTU
F-14	0,59	0,16	<1	NTU
F-15	0,62	0,19	<1	NTU
F-16	0,67	0,18	<1	NTU

Fuente: Abad – Guaraca

Analizando la tabla 30 y 31, se puede observar que en todos los filtros tanto del módulo I y módulo II, los valores de turbiedad cumplen con lo recomendado por la normativa CEPIS.

En la Ilustración 20, se observa el desarrollo del ensayo.

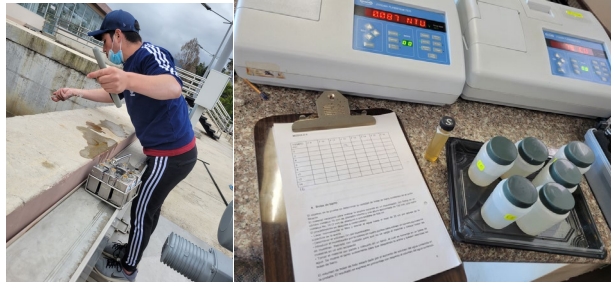


Ilustración 20. Toma de muestra (IZQUIERDA), Lectura de muestras (DERECHA).

4.1.5. Actividad 5: Duración de las carreras de filtración

En las siguientes tablas 32, 33 y 34, se encuentran los promedios mensuales de las carreras de filtración en los años 2019, para el módulo I, del año 2020 para el módulo II, y en el año 2021 para ambos módulos, respectivamente, cabe resaltar que se consideraron los años mencionados debido a que en el año 2019 solo operaba el módulo I, mientras que en el año 2020 que inició su funcionamiento el módulo II, solo estaba en funcionamiento este, para el año 2022 se puso en operación ambos módulos, es decir que los 16 filtros trabajaban de manera simultánea y continua. El principal criterio para el lavado de los filtros son los límites en horas para las carreras de filtración, que son 50-60 horas establecidos por la PTAT, sin embargo, estas carreras de filtración han sido modificadas debido a la colmatación temprana del medio filtrante.

En la tabla 32, se muestra el promedio obtenido del año 2019, cuyos datos de carrera de filtración en horas pertenecen al módulo I, la PTAT estableció los límites inferiores y superiores de las carreras de filtración, que corresponden a 50 horas y 60 horas respectivamente, como se muestra a continuación todos los promedios durante el año no cumplen con las especificaciones de la PTAT, siendo Abril el mes en el cual se encuentra el promedio de las carreras de filtración más bajo del año 2019 con un promedio de 35,69 horas. El mes con el promedio más alto en horas le corresponde a mayo con una carrera de filtración de 48,96 horas.

Tabla 32. Carreras de filtración, módulo I

MES	Carreras de filtración Módulo I -2019(h)	Límite inferior PTAP(h)	Límite superior PTAT(h)
Enero	44,84	50	60
Febrero	45,29	50	60
Marzo	39,67	50	60
Abril	35,69	50	60
Mayo	48,96	50	60
Junio	46,92	50	60
Julio	46,69	50	60
Agosto	45,94	50	60
Septiembre	46,14	50	60
Octubre	44,58	50	60

Fuente: Abad – Guaraca

En la tabla 33, se muestran los valores obtenidos al promediar el número de horas correspondientes a las carreras de filtración del módulo II, como se puede apreciar en la tabla, el mes con el menor promedio de carrera de filtración es septiembre, con un valor de 28,64 horas, en contraparte el mes con el promedio más alto en horas es mayo con 55,22 horas.

Tabla 33. Carrera de filtración, módulo II

MES	Carreras de filtración Módulo II- 2020 (h)	Límite inferior PTAP(h)	Límite superior PTAT(h)
Enero	48,75	50	60
Febrero	52,70	50	60
Marzo	48,32	50	60
Abril	50,52	50	60
Mayo	55,22	50	60
Junio	37,25	50	60
Julio	38,52	50	60
Agosto	33,81	50	60
Septiembre	28,64	50	60
Octubre	31,73	50	60
Noviembre	30,97	50	60
Diciembre	42,27	50	60

Fuente: Abad – Guaraca

En la tabla 34, se muestran los valores de las carreras de filtración para el año 2021, en donde entraron en funcionamiento ambos módulos, la carrera de filtración más baja es registrada en el módulo I, con un valor de 15,61 horas, el valor más extenso le pertenece al mismo módulo en el mes de marzo, con un valor de 58,41 horas.

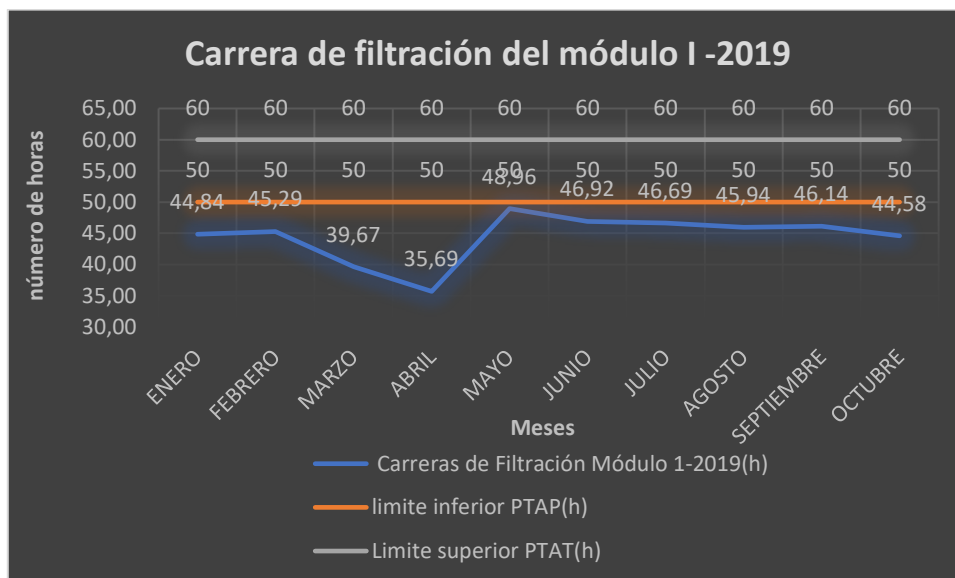
Tabla 34. Carreras de filtración, año 2021.

Mes	Carreras de filtración Módulo I- 2021 (h)	Carreras de filtración Módulo II- 2021 (h)	Límite inferior PTAP(h)	Límite superior PTAT(h)	Desviación media módulo I	Desviación media módulo II
Enero	15,61	51,23	50	60	3,49	0,19
Febrero	48,58	49,73	50	60	1,57	0,27
Marzo	58,41	49,54	50	60	2,59	0,21
Abril	36,62	47,24	50	60	3,62	0,77

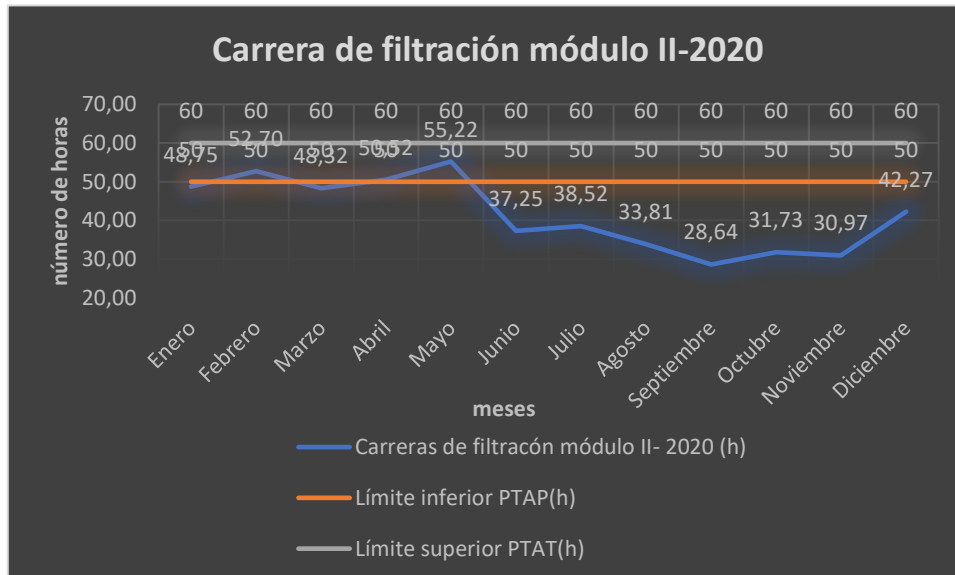
Fuente: Abad – Guaraca

Análisis

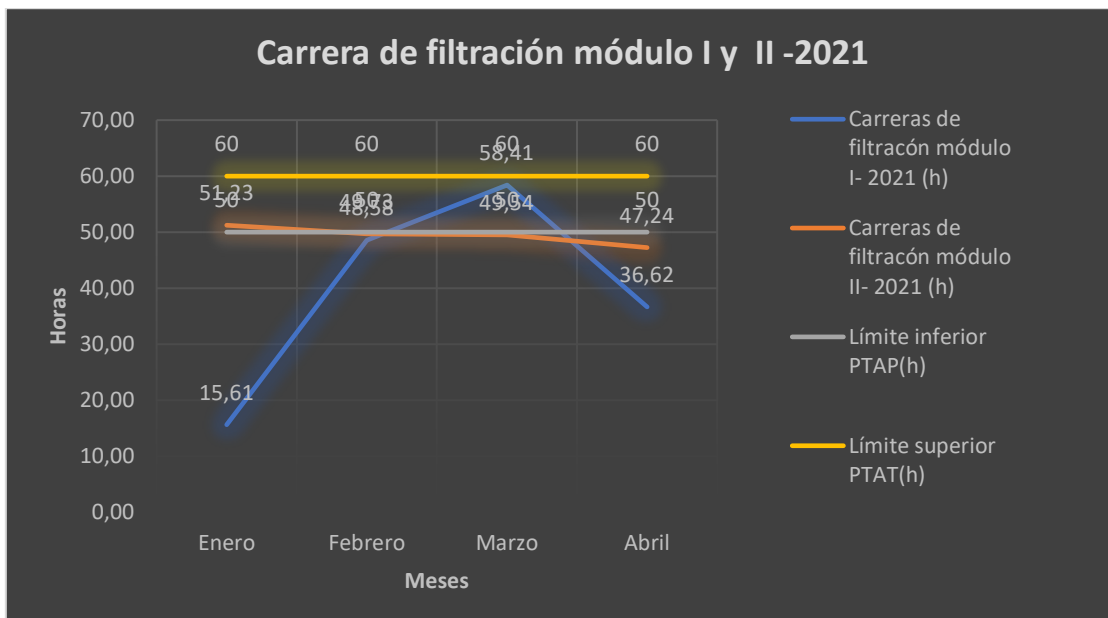
A partir de los datos tabulados anteriormente, se obtuvo las gráficas 25, 26 y 27, en donde se pueden apreciar los comportamientos de las carreras de filtración en cada uno de los meses durante los años 2019, 2020 y 2021, respectivamente. Además de los límites inferiores y superiores establecidos por la PTAT, con la estructura mencionada se obtuvo las líneas pertenecientes a las carreras de filtración.



Gráfica 25. Carrera de filtración, módulo I, año 2019



Gráfica 26. Carrera de filtración, módulo II, año 2020



Gráfica 27. Carrera de filtración, módulo I y II, año 2021

Como se puede apreciar en las gráficas anteriores, se visualiza que las carreras de filtración para el año 2019, 2020 y 2021, se encuentran fuera de los rangos establecidos por la PTAT. Para el módulo I durante el año 2019, el promedio de las carreras de todos los meses obtenidos no cumple con los requerimientos. En el año 2020, los datos promediados pertenecientes al módulo II, indicaron que los meses en los cuales si se cumplieron con los parámetros establecidos fueron febrero, abril y mayo. En la gráfica 27, donde se presentaron los datos para el año 2021 y en donde se encuentran los

UCUENCA

valores para ambos módulos, se puede apreciar que los datos para las carreras de filtración del módulo I son irregulares y poseen valores muy bajos, para el mes de enero con una carrera de filtración de 15,61 horas, esto se regula un poco para los meses de febrero y marzo, estando con valores por encima del límite inferior establecido, sin embargo, en Abril el valor desciende a 36,62 horas. En el módulo II se aprecia que la línea está por debajo del límite inferior establecido, y cumple a duras penas con lo estipulado por la PTAT, para la justificación de los promedios se obtuvo la desviación media en donde se puede asegurar que los promedios son valores representativos de las carreras de los filtros.

4.1.6. Actividad 6: Duración del proceso de lavado

Los datos de turbiedad se muestran la tabla 35 para el módulo I y la tabla 36 para el módulo II, en estas se pueden apreciar los valores de turbiedad a través del tiempo, para lo cual se consideró 16 minutos de lavado para el módulo I y para el Módulo II se toman 12 minutos.

Tabla 35. Datos para la prueba de duración del proceso de lavado, Modulo I.

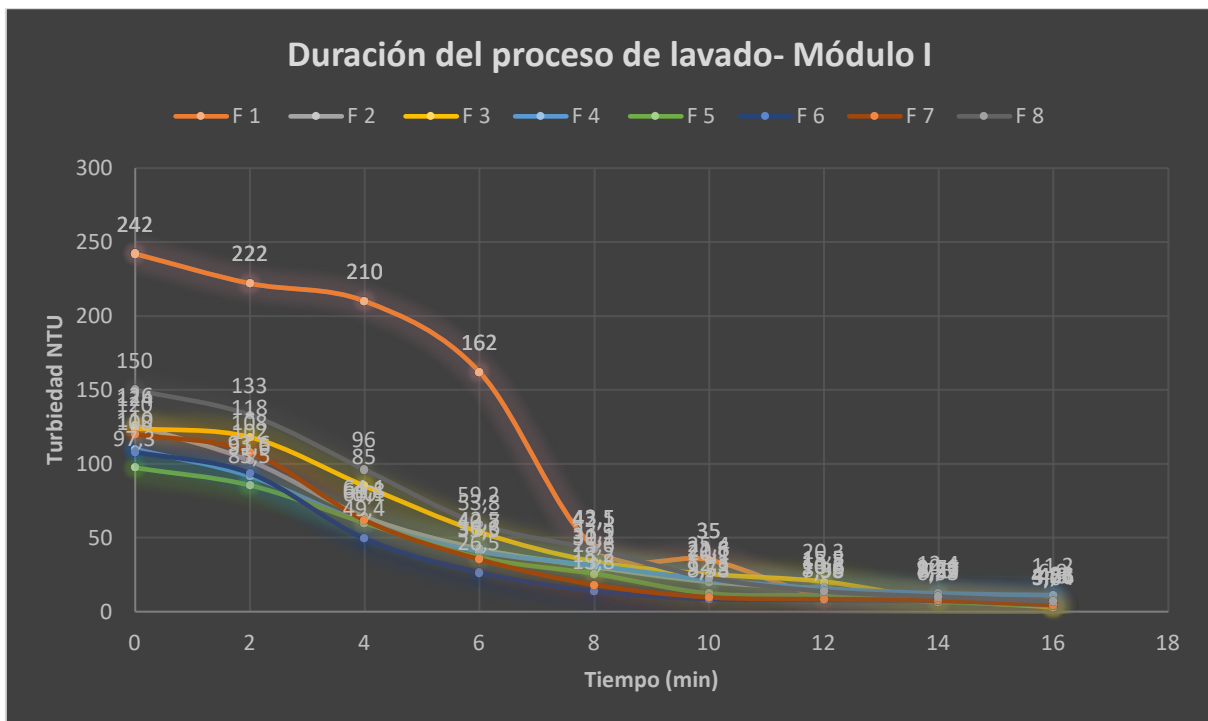
Módulo I								
Fecha	10-07-21	30-06-21	30-06-21	30-06-21	03-07-21	03-07-21	13-07-21	11-07-21
Caudal (l/s)	270	270	270	270	270	270	270	270
Tiempo (min)	Datos de turbiedad en cada filtro (NTU)							
	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8
0	242	126	124	110	97,3	108	120	150
2	222	102	118	91,6	85,5	93,6	108	133
4	210	64,1	85	60,1	60	49,4	61,8	96
6	162	42,5	53,8	40,7	36,6	26,5	35,3	59,2
8	43,5	30,3	33,9	31,1	25,6	13,8	18,2	42,1
10	35	20,1	25,4	21,6	12,3	8,58	9,73	22,8
12	10,6	15,5	20,3	15,5	10,8	7,98	8,36	13,7
14	8,27	9,76	8,23	12,4	6,53	7,5	7,53	10,1
16	4,3	3,76	3,04	11,2	4,21	4,83	4,56	6,9

Fuente: Abad – Guaraca

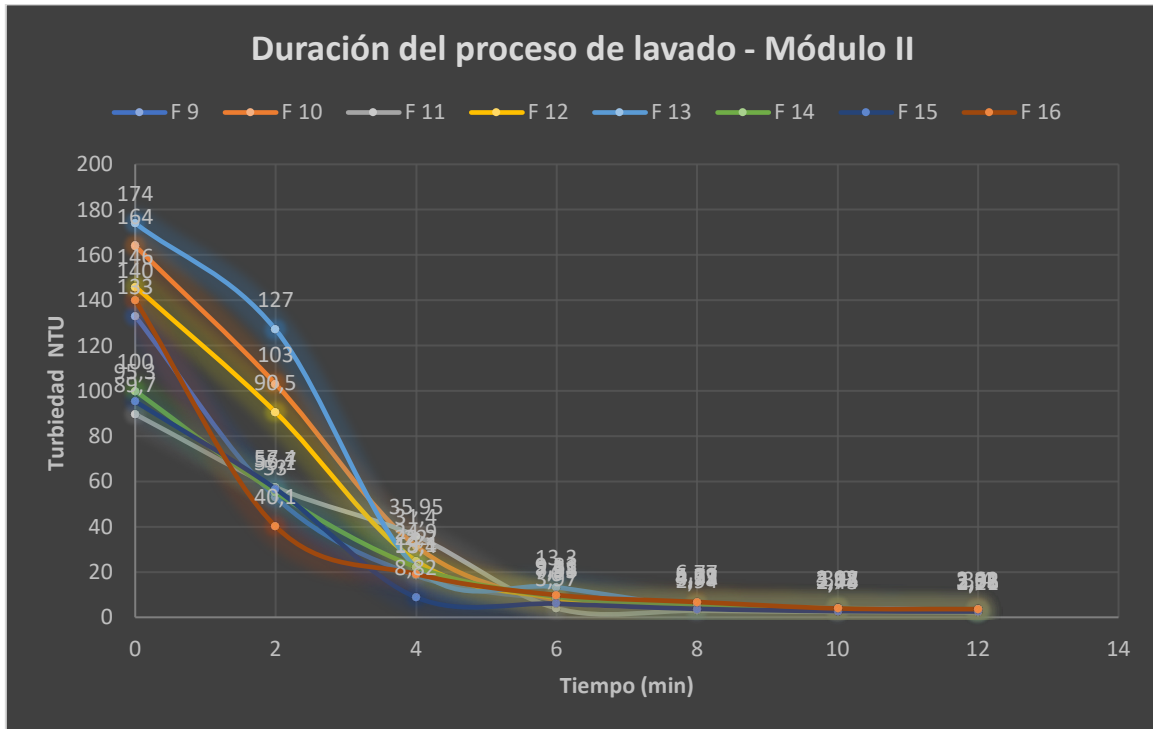
Tabla 36. Datos para la prueba de duración del proceso de lavado, Modulo II.

MODULO II								
Fecha	08-07-21	08-07-21	14-07-21	02-07-21	09-07-21	13-07-21	10-07-21	12-07-21
Caudal (l/s)	500	500	500	500	500	500	500	500
Tiempo (min)	Datos de turbiedad en cada filtro (NTU)							
	F-9	F-10	F-11	F-12	F-13	F-14	F-15	F-16
0	133	164	89,7	146	174	100	95,3	140
2	53	103	57,4	90,5	127	55,1	56,7	40,1
4	18,4	31,4	35,95	24,9	22	22,2	8,82	19,1
6	7,98	7,55	3,97	8,51	13,3	9,11	6	9,83
8	4,57	5,11	2,94	4,72	4,93	5,29	3,75	6,77
10	4,17	3,9	2,44	3,62	3,98	3,93	2,73	3,92
12	3,02	3,4	2,21	2,95	3,32	2,78	2,56	3,61

Con los datos tabulados se obtuvo las respectivas gráficas, mismas que indican el descenso de la turbiedad a través del tiempo, las gráficas 28 y 29, muestran la curva de lavado de los filtros de los módulos I y II, el tiempo fue colocado en el eje X, mientras que la turbiedad fue colocada en el eje Y.



Gráfica 28. Duración del proceso de lavado, Modulo I. Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 29. Duración del proceso de lavado, Modulo II. Fuente: Abad – Guaraca

Análisis

La PTAT cuenta con un tiempo de lavado de 10 min para el módulo I, cuando inicia el proceso de lavado de los filtros, la turbiedad del agua de enjuague aumenta rápidamente sus valores a 100 NTU o incluso más, a medida que el tiempo transcurre, la turbiedad del agua de retro lavado disminuye de manera periódica.

Al estudiar la gráfica 28, en donde están representados los valores de turbiedad vs el tiempo del módulo I, su proposito que el tiempo de lavado óptimo es de 12 a 14 minutos, debido a que el descenso de los valores de turbiedad después de este tiempo no es significativo. A continuación, se muestra la tabla 37, donde se observa el tiempo recomendado por la normativa CEPIS y la propuesta con el ensayo realizado.

Tabla 37. Datos para la prueba de duración del proceso de lavado, Modulo I.

No. Filtro	Datos de duración del proceso de lavado obtenidos de los ensayos	CEPIS	Unidad
F-1	12 - 14	10 - 15	minuto
F-2	12 - 14	10 - 15	minuto
F-3	12 - 14	10 - 15	minuto
F-4	12 - 14	10 - 15	minuto
F-5	12 - 14	10 - 15	minuto
F-6	12 - 14	10 - 15	minuto
F-7	12 - 14	10 - 15	minuto
F-8	12 - 14	10 - 15	minuto

Fuente: Abad – Guaraca

Se procedió a la realización de la gráfica 29, aplicado para el módulo II. Se determinó según las líneas de tendencia de dicha gráfica que el tiempo óptimo de lavado se encuentra en 8 minutos; el tiempo utilizado para el retro lavado en la PTAT- Modulo II es de 8 minutos. A continuación, se muestra la tabla 38, donde se observa el tiempo recomendado por la normativa CEPIS y la propuesta con el ensayo realizado.

Tabla 38. Datos para la prueba de duración del proceso de lavado, Modulo II.

No. Filtro	Datos obtenidos de los ensayos	CEPIS	Unidad
F-9	8	10 - 15	Minuto
F-10	8	10 - 15	Minuto
F-11	8	10 - 15	Minuto
F-12	8	10 - 15	Minuto
F-13	8	10 - 15	Minuto
F-14	8	10 - 15	Minuto
F-15	8	10 - 15	Minuto
F-16	8	10 - 15	Minuto

Fuente: Abad – Guaraca

Según lo observado con la normativa CEPIS el tiempo que se recomienda según el ensayo realizado es menor, esto se debe a la nueva estructura y equipos actualizados que están colocados en el módulo II, mismos que permiten un tiempo más rápido de lavado y así mismo una mayor eficiencia y ahorro de agua dentro del proceso.

4.1.7. Prueba de aplicación 7: Granulometría del lecho filtrante

La granulometría fue obtenida en el laboratorio de Energía e Ingeniería de la Reacción de la Universidad de Cuenca. A continuación, se muestran los resultados granulométricos de la arena, grava y antracita respectivamente que constituyen el lecho de los filtros de la PTAT. Por el dimensionamiento de los filtros no se extrae el material directamente del filtro, aprovechando que existe remanente de material con el que se llenaron los filtros del módulo II a inicios del 2020, se procede a tomar las muestras de los materiales almacenados.

ARENA

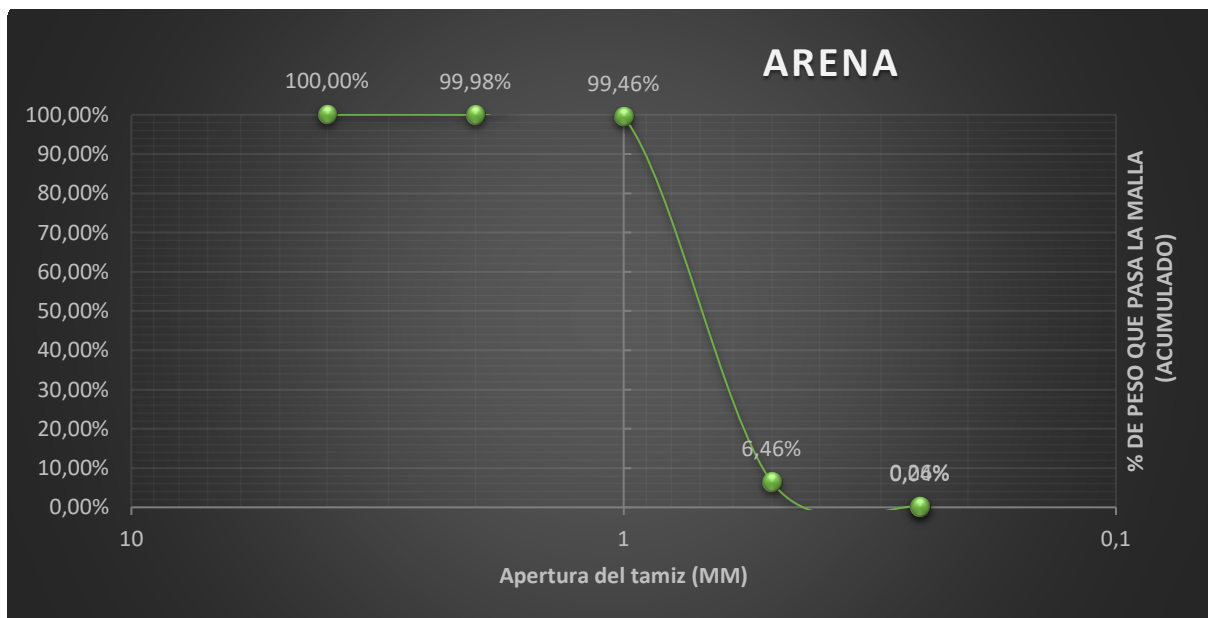
En la tabla 39, se presenta los datos obtenidos, así como los porcentajes de retención y el porcentaje que pasa de la arena.

Tabla 39. Datos de la prueba de tamizado, ARENA

TAMIZ			ARENA			
No.	mm	Peso en vacío (gr)	Peso Ret + Tamiz (gr)	Retenido (gr)	% Retenido	% Pasa
5	4	462,1	462,1	0	0,00%	100,00%
10	2	448,7	448,8	0,1	0,02%	99,98%
18	1	403,9	406,5	2,6	0,52%	99,46%
35	0,5	373,2	838,09	464,89	93,00%	6,46%
60	0,25	356,4	387,4	31	6,20%	0,26%
120	0,25	336,9	338	1,1	0,22%	0,04%
150	0	949,3	949,5	0,2	0,04%	0%
Total				499,89	100,00%	

Fuente: Abad – Guaraca

Con la tabla anterior se obtiene la siguiente gráfica 30.



Gráfica 30. Porcentaje de retención de ARENA. Fuente: Abad – Guaraca

De la gráfica 30, se determinó el diámetro efectivo o tamaño efectivo (D10), así como el coeficiente de uniformidad (CU) de la arena, misma que integra el doble medio filtrante ocupado en los filtros de la PTAT, como se muestra en la tabla 40.

Tabla 40. Características granulométricas de la arena

Características	Arena
D10	0,9
D60	1,1
CU	1,2

Fuente: Abad – Guaraca

ANTRACITA

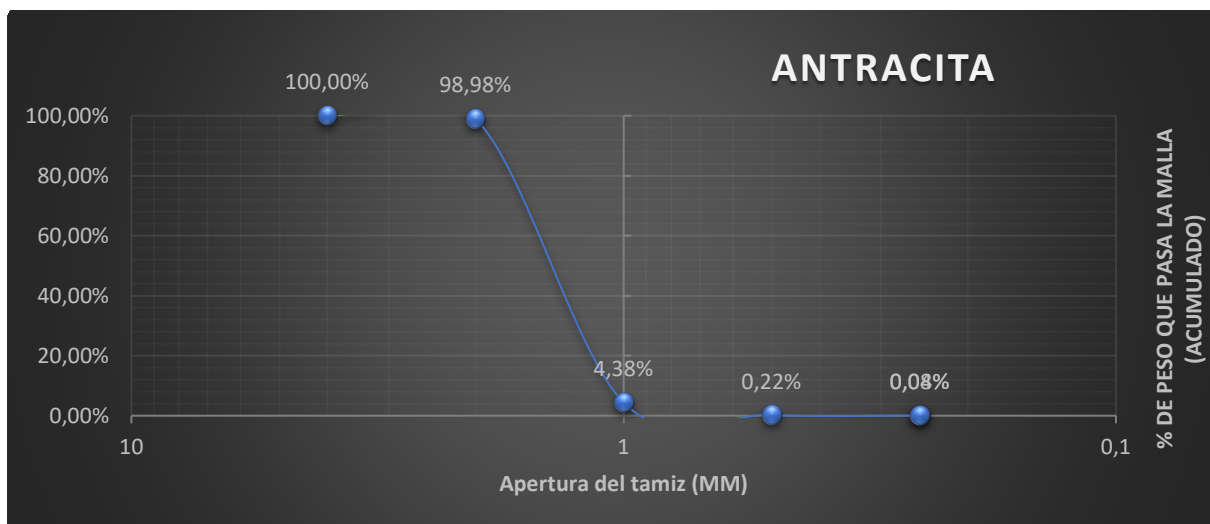
En la tabla 41, se presenta los datos obtenidos, así como los porcentajes de retención y el porcentaje que pasa de la antracita.

Tabla 41. Datos de la prueba de tamizado, ANTRACITA.

TAMIZ			ANTRACITA			
No.	mm	Peso en vacío (gr)	Peso Ret + Tamiz (gr)	Retenido (gr)	% Retenido	% Pasa
5	4	462,1	462,1	0	0,00%	100,00%
10	2	448,7	453,8	5,1	1,02%	98,98%
18	1	403,9	876,9	473	94,60%	4,38%
35	0,5	373,2	394	20,8	4,16%	0,22%
60	0,25	356,4	357,1	0,7	0,14%	0,08%
120	0,25	336,9	337,1	0,2	0,04%	0,04%
Base	0	949,3	949,5	0,2	0,04%	0,00
Total				500	100,00%	

Fuente: Abad – Guaraca

Con la tabla anterior se obtiene la siguiente grafica 31.



Gráfica 31. Porcentaje de retención de ANTRACITA. Fuente: Abad – Guaraca

De la gráfica 31, se calculó el diámetro efectivo o tamaño efectivo (D10), así como el coeficiente de uniformidad (CU) de la antracita que integra el doble medio filtrante ocupado en los filtros de la PTAT, como se muestra en la tabla 42.

Tabla 42. Características granulométricas de la antracita

Características	Antracita
D10	1,7
D60	2,1
CU	1,2

Fuente: Abad – Guaraca

GRAVILLA

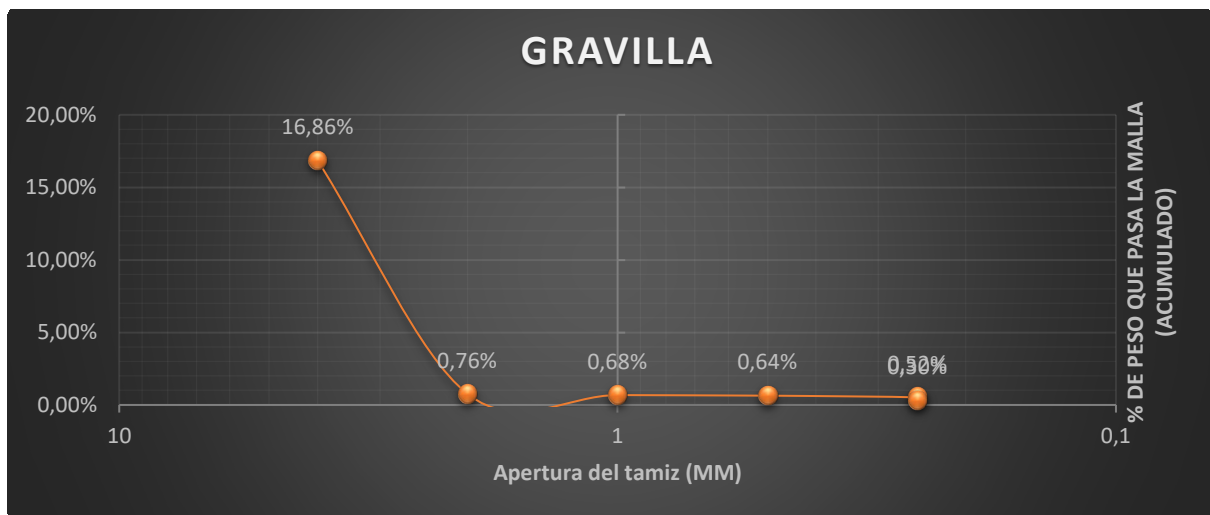
En la tabla 43, se presenta los datos obtenidos, así como los porcentajes de retención y el porcentaje que pasa de la gravilla.

Tabla 43. Datos de la prueba de tamizado, GRAVILLA.

TAMIZ			GRAVILLA			
No.	mm	Peso en vacío (gr)	Peso Ret + Tamiz (gr)	Retenido (gr)	% Retenido	% Pasa
5	4	462,1	877,4	415,3	83,14%	16,86%
10	2	448,7	529,1	80,4	16,10%	0,76%
18	1	403,9	404,3	0,4	0,08%	0,68%
35	0,5	373,2	373,4	0,2	0,04%	0,64%
60	0,25	356,4	357	0,6	0,12%	0,52%
120	0,25	336,9	338	1,1	0,22%	0,30%
Base	0	949,3	950,8	1,5	0,30%	0,00%
Total				499,5	100,00%	

Fuente: Abad – Guaraca

Con la tabla anterior se obtiene la siguiente grafica 32.



Gráfica 32. Porcentaje de retención de GRAVILLA. Fuente: Abad – Guaraca

De la gráfica 32, se pudo determinar el diámetro efectivo o tamaño efectivo (D10), tabla 44, en este caso no se puede determinar el coeficiente de uniformidad, ya que la gravilla solo es un material de soporte que se ubica en la base del filtro.

Tabla 44. Características granulométricas de la gravilla

Características	Gravilla
D10	66,564
D60	--
CU	--

Fuente: Abad – Guaraca

En la Ilustración 21, se pueden apreciar el pesado de muestras de los diferentes materiales.



Ilustración 21. Pesado de materiales a usar, Arena, Antracita y Gravilla respectivamente.

En la Ilustración 22, se observa el ensamblaje de los equipos necesarios para este ensayo.



Ilustración 22. Proceso de Tamizado.

ANÁLISIS

A partir del análisis de precisión de ARENA, los resultados de las pruebas se presentan en la Tabla 45, comparados con los recomendados por la norma CEPIS.

Tabla 45. Características – ARENA

Características de la Arena			
Tamaño efectivo (mm)		Coeficiente de Uniformidad	
Datos obtenidos de los ensayos	CEPIS	Datos obtenidos de los ensayos	CEPIS
0,90	0,50 – 0,60	1,2	≤ 1,5

El tamaño efectivo de la arena que se encuentra colocada en los filtros de la PTAT, es superior al valor mencionado por la normativa CEPIS. Esto indica que existen granos de arena de mayor tamaño, por lo cual el lecho tiende a expandirse menos, dando así un mayor porcentaje de vacíos entre los granos de arena, estos pueden afectar en la calidad del agua filtrada; cabe mencionar que el tamaño obtenido en la prueba está

dentro del límite superior definido por el CEPIS. El coeficiente de uniformidad cumple con el requerimiento de la normativa CEPIS y este nos indica que existe arena uniforme en todo el lecho del filtro.

A partir del análisis de precisión de la ANTRACITA, los resultados presentados en la Tabla 46, se compararon con los recomendados por la norma CEPIS.

Tabla 46. Características de la ANTRACITA

Características de la Antracita			
Tamaño efectivo (mm)		Coeficiente de Uniformidad	
Datos obtenidos de los ensayos	CEPIS	Datos obtenidos de los ensayos	CEPIS
1,7	0,75 – 0,90	1,2	≤ 1,5

La antracita que se colocó en los filtros es de tamaño superior al recomendado por la normativa CEPIS, se corrobora con el valor obtenido en el diámetro efectivo. Por lo cual se puede afirmar que existen granos de antracita que superan el diámetro recomendado, provocando que el lecho tienda a expandirse menos, teniendo así un mayor porcentaje de vacíos entre los granos de antracita, pudiendo estos afectar en la calidad del agua filtrada. Se debe tomar en cuenta que este diámetro está dentro del límite de grueso otorgado por el CEPIS. El coeficiente de uniformidad cumple con el requerimiento de la normativa CEPIS y este nos indica que existe una antracita uniforme en todo el lecho del filtro.

4.1.8. Prueba de aplicación 8: Perfil del lecho

El perfil del lecho filtrante es de gran relevancia ya que muestra la distribución del soporte de grava a lo largo del lecho, este se construye a partir de las alturas obtenidas mediante el procedimiento detallado en la parte experimental, el perfil del lecho se encuentra modelado con la herramienta MatLab, en este programa se introdujeron los datos en forma de una matriz de 6X3 para cada lecho, que luego mediante la función contour se obtiene una gráfica de los perfiles de los lechos de grava de los filtros. La función countour ayuda a la representación de la superficie, en este caso se indica como están distribuida la grava en todo el filtro, utilizando colores cálidos (azules) para los valores de los relieves que se forman dentro del filtro, y colores fríos (naranjas) para las zonas con menor altura, además de proporcionar los valores y la posible distribución de la grava a lo largo del lecho.

En la tabla 47, se muestran los valores medidos de la altura del lecho de arena y antracita, se considera una sola medición debido a que los dos materiales no están separados, sino más bien mezclados entre sí en ambas secciones del lecho filtrante, para este proceso se siguieron los pasos propuestos por el CEPIS.

Tabla 47. Valores medidos de la altura del lecho de arena y antracita, módulo I.

MÓDULO I- Medidas tomadas (cm)																
Punto / #filtro	FILTRO 1		FILTRO 2		FILTRO 3		FILTRO 4		FILTRO 5		FILTRO 6		FILTRO 7		FILTRO 8	
	F 1,0	F1,1	F 2,0	F2,1	F 3,0	F3,1	F 4,0	F4,1	F 5,0	F5,1	F 6,0	F6,1	F 7,0	F7,1	F 8,0	F 8,1
P1	54	50	43	46	48	56	67	55	54	53	40,5	58	45	52,5	44,5	45
P2	53,5	53	47,5	47	53	53	53	49	38	52	42	50	38	53	44	44,5
P3	44,5	47	61	45	38	57	41,5	52	41	53	43	45	41	50	44,5	41
P4	44,5	42	53	48	44	42	40	55,5	40	48	43,5	52	45	39	43	45
P5	55	54	50	42	45	40	44	52,5	44	45	46,5	54	44	41	44,5	43,5
P6	54,5	56	43	41	48,5	42	67	51	42	40,5	44	39	47	46	45,5	43
P7	55	52	42,5	39	55	50	48	56	40	39	42	41	52	52	41,5	41
P8	51	51	46	35	48	55	46	57	48	46	46	46	44	53	42,5	42
P9	45	50	42,5	41	41,5	53	54	45	46	55	44	47	46	59	44	40,5
P10	41	47	42	45	42	52,5	69	39	66	57	65	42	43	45	41	46
P11	53	38	45	45,5	41	40	70	42	42	56	62	45	47	53	43	47
P12	51	40	52	39	45	41,6	43	41	48	48	61	42	39	61	41	44
P13	52	45	51	40,5	43	47	42	56	49	43	42	55,5	44	48	44	42
P14	43	41	52	42	48	49	41	52	55	46,5	44	56	43	52	44	42,5
P15	41	45	54	47	51	50	56	50	53	41	43	61	41	56	41	43,5
P16	45	41	41	49	52	51	62	47	52	40	42	53	40	63	40	44
P17	56	39	45	51	59	53	57	55	49	44	45	49	47	54	45	41
P18	55	40	52	53	61	55	50	53	50	41	46	50	46	49	42,5	45

Fuente: Abad – Guaraca

La siguiente Tabla 48, muestra los valores de las alturas de los lechos de grava que se obtuvieron al restar la altura del lecho total (1m) menos las alturas medidas, que se encontraban en la tabla anterior y representan las alturas de los lechos de arena y de antracita respectivamente, como ya lo mencionamos anteriormente.

Tabla 48. Altura de lecho, Modulo I.

Modulo I- Alturas del lecho de grava (cm)																
Punto / #filtro	FILTRO 1		FILTRO 2		FILTRO 3		FILTRO 4		FILTRO 5		FILTRO 6		FILTRO 7		FILTRO 8	
	F 1 ,0	F1,1	F 2 ,0	F2,1	F 3,0	F3,1	F 4 ,0	F4,1	F 5,0	F5,1	F 6,0	F6,1	F 7,0	F7,1	F 8 ,0	F 8 ,1
P1	46	50	57	54	52	44	33	45	46	47	59,5	42	55	47,5	55,5	55
P2	46,5	47	52,5	53	47	47	47	51	62	48	58	50	62	47	56	55,5
P3	55,5	53	39	55	62	43	58,5	48	59	47	57	55	59	50	55,5	59
P4	55,5	58	47	52	56	58	60	44,5	60	52	56,5	48	55	61	57	55
P5	45	46	50	58	55	60	56	47,5	56	55	53,5	46	56	59	55,5	56,5
P6	45,5	44	57	59	51,5	58	33	49	58	59,5	56	61	53	54	54,5	57
P7	45	48	57,5	61	45	50	52	44	60	61	58	59	48	48	58,5	59
P8	49	49	54	65	52	45	54	43	52	54	54	54	56	47	57,5	58
P9	55	50	57,5	59	58,5	47	46	55	54	45	56	53	54	41	56	59,5
P10	59	53	58	55	58	47,5	31	61	34	43	35	58	57	55	59	54
P11	47	62	55	54,5	59	60	30	58	58	44	38	55	53	47	57	53
P12	49	60	48	61	55	58,4	57	59	52	52	39	58	61	39	59	56
P13	48	55	49	59,5	57	53	58	44	51	57	58	44,5	56	52	56	58
P14	57	59	48	58	52	51	59	48	45	53,5	56	44	57	48	56	57,5
P15	59	55	46	53	49	50	44	50	47	59	57	39	59	44	59	56,5
P16	55	59	59	51	48	49	38	53	48	60	58	47	60	37	60	56
P17	44	61	55	49	41	47	43	45	51	56	55	51	53	46	55	59
P18	45	60	48	47	39	45	50	47	50	59	54	50	54	51	57,5	55

Fuente: Abad – Guaraca

Alturas máximas y mínimas del soporte de grava del módulo I.

Tabla 49. Alturas máximas y mínimas, Módulo I.

FILTRO	FILTRO 1		FILTRO 2		FILTRO 3		FILTRO 4		FILTRO 5		FILTRO 6		FILTRO 7		FILTRO 8	
	F 1 ,0	F1,1	F 2 ,0	F2,1	F 3,0	F3,1	F 4 ,0	F4,1	F 5,0	F5,1	F 6,0	F6,1	F 7,0	F7,1	F 8 ,0	F 8 ,1
H mínima cm	44	44	39	47	39	43	30	43	34	43	35	39	48	37	55	53
H máxima cm	59	62	59	65	62	60	60	61	62	61	60	61	62	61	60	60
Rango de H cm	15	18	20	18	23	17	30	18	28	18	25	22	14	24	5,5	6,5

Fuente: Abad – Guaraca

UCUENCA

Las alturas medidas del lecho de arena y antracita tomadas en el módulo II, están representadas en la tabla 50 y de los lechos de grava, están representados en la tabla 51, estos nos permitirán conocer el perfil del lecho de cada uno de los filtros y nos dará una apreciación clara de la distribución de la grava en medio del filtro del módulo II.

Tabla 50. Valores medidos de la altura del lecho de arena y antracita, Módulo II.

Filtros módulo II - Alturas medidas(cm)								
PUNTO / #FILTRO	F-16	F-15	F-14	F-13	F-12	F-11	F-10	F-9
P1	91	73	72,5	80,5	91	76,5	86,5	82,5
P2	90	68	74	79,5	94	77	87,5	83,5
P3	92,5	66	75	80	94,5	80	88,5	80
P4	89	70	69,5	80,5	90,5	79	86,5	81,5
P5	89,5	66	72,5	79,5	91,5	80,5	91,5	82
P6	91	68	72	80	87,5	77,5	92	81
P7	90	71	74,5	82	94	81	88	82,5
P8	87	70	69,5	69	90	76,5	90,5	81
P9	80	80	90	75,5	91	88	93,5	71
P10	80,5	70	88	91	92	91	93	75
P11	88	53	90	85	95	90	92	66
P12	89	50	78	87	94	88	89,5	68
P13	88	51	87	90	88	87	90,5	72
P14	89,5	52	90	93	93,5	85	85,5	71
P15	87	74	91,5	93	90,5	94	86,5	62
P16	88	75	93,5	94	91	93	91	66
P17	89	80	86	90	88	80	92	70
P18	88	75	88	91	89	87	88	74

Fuente: Abad – Guaraca

Tabla 51. Altura del lecho, Modulo II.

FILTROS MODULO II - Altura de la base de grava (cm)								
PUNTO / #FILTRO	F-16	F-15	F-14	F-13	F-12	F-11	F-10	F-9
P1	29	47	47,5	39,5	29	43,5	33,5	37,5
P2	30	52	46	40,5	26	43	32,5	36,5
P3	27,5	54	45	40	25,5	40	31,5	40
P4	31	50	50,5	39,5	29,5	41	33,5	38,5
P5	30,5	54	47,5	40,5	28,5	39,5	28,5	38
P6	29	52	48	40	32,5	42,5	28	39
P7	30	49	45,5	38	26	39	32	37,5
P8	33	50	50,5	51	30	43,5	29,5	39
P9	40	40	30	44,5	29	32	26,5	49
P10	39,5	50	32	29	28	29	27	45
P11	32	67	30	35	25	30	28	54
P12	31	70	42	33	26	32	30,5	52
P13	32	69	33	30	32	33	29,5	48
P14	30,5	68	30	27	26,5	35	34,5	49
P15	33	46	28,5	27	29,5	26	33,5	58
P16	32	45	26,5	26	29	27	29	54
P17	31	40	34	30	32	40	28	50
P18	32	45	32	29	31	33	32	46

Fuente: Abad – Guaraca

Resumen de alturas máximas y mínimas de los filtros del módulo II

Tabla 52. Alturas máximas y mínimas, Modulo II.

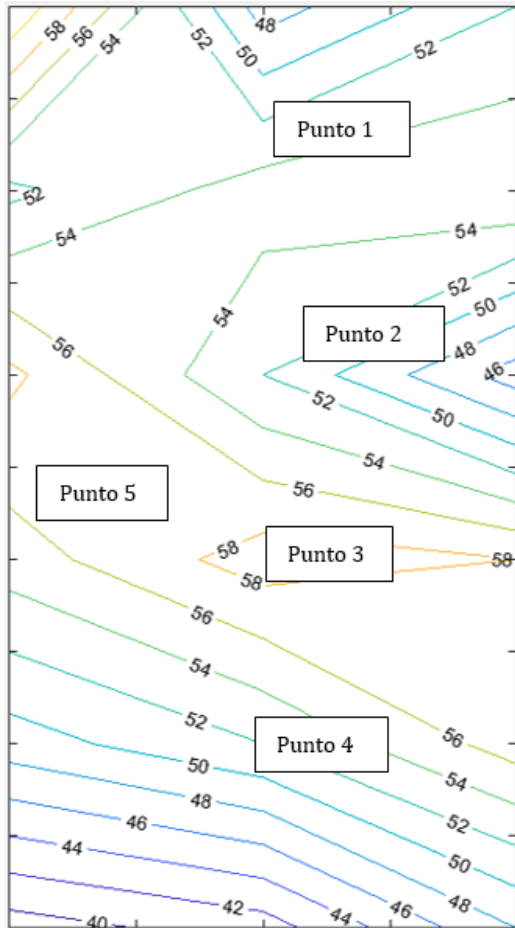
FILTRO	F-16	F-15	F-14	F-13	F-12	F-11	F-10	F-9
H mínima cm	27,5	40	26,5	26	25	26	26,5	36,5
H máxima cm	40	70	50,5	51	32,5	43,5	34,5	58
Rango de H cm	12,5	30	24	25	7,5	17,5	8	21,5

Fuente: Abad – Guaraca

Análisis

La tabla 48 y 51, contienen los datos ingresados en la matriz en el programa Matlab, la cual nos da como resultado las siguientes gráficas, las mismas que pertenecen al lecho del filtro número 3 (F3) y al lecho del filtro número 13 (F13). Como se visualiza en la ilustración 23, estas contienen una serie de números, los mismos que cuantifican la altura de la grava en cm en ese punto, la gráfica ubicada a la derecha, que recibe el título de “Perfil del lecho del filtro tres, lado derecho” nos muestra como están distribuidas las alturas en este lado del filtro. Para poder comprenderlo se marcó por puntos y explicó cada uno de ellos.

Perfil del lecho del filtro tres (F3), lado derecho



Perfil del lecho del filtro trece (F13), completo

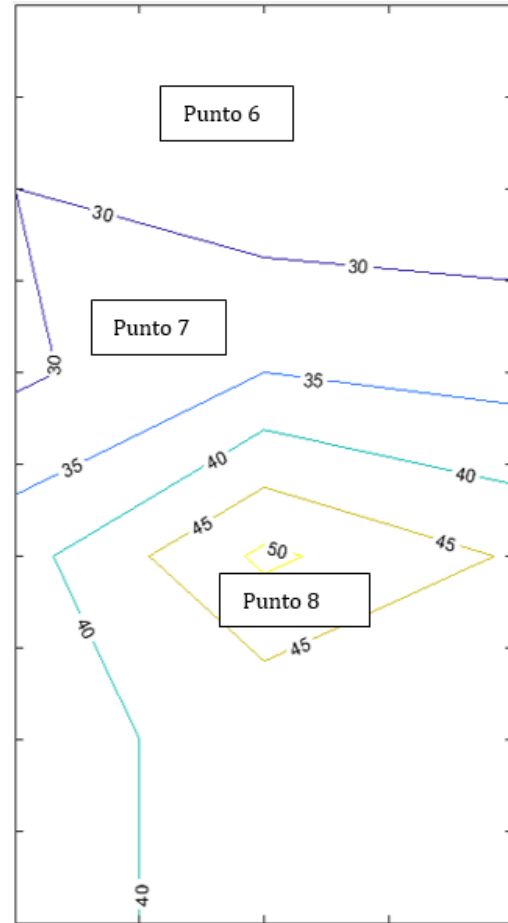


Ilustración 23. Perfil del lecho. Filtro 3 y 13.
Fuente: Abad – Guaraca

Punto 1: Nos indica un comportamiento declinante, que se extiende hasta el extremo superior derecho-central, se evidencian alturas de 52cm, y mientras se avanza al extremo derecho esta altura desciende en 4cm hasta una altura de 48cm.

Punto 2: Al igual que el punto 1, nos muestra un comportamiento declinante sin embargo este es más crítico que el anterior, debido a que está en una altura de 54cm y desciende hasta un valor de 46cm.

Punto 3: En esta zona, se observa la formación de un relieve, el mismo que supera los 58cm.

UCUENCA

Punto 4: Este punto nos muestra el descenso del lecho de grava en toda la zona inferior, si bien en el punto medio (punto 3), tiene una altura mayor a 58cm, la misma va descendiendo hasta llegar a una altura menor a 40cm, evidenciada en el extremo inferior izquierdo.

Punto 5: Este punto se encuentra a lado del punto 3 y nos indica un descenso de la altura respecto al punto 3, sin embargo, no es una gran diferencia debido a que la variación de altura tiene un margen máximo de 3cm.

Punto 6: Este punto nos indica una zona relativamente uniforme con una altura predominante de 30cm en toda el área superior del filtro 13.

Punto 7: En este punto se puede observar un incremento de altura con respecto al punto 6, sin embargo, el mismo no resulta tan crítico, debido a que su aumento es de 5cm.

Punto 8: Este punto nos muestra un relieve en la superficie del filtro alcanzando una altura superior a los 50 cm, esta altura está concentrada en un solo punto, lo que indica una elevación súbita dentro del filtro, en la parte inferior se ve un descenso de la misma hasta estabilizarse a una altura entre 35 y 45cm.

MÓDULO I y II

Nota: Las gráficas de cada uno de los filtros representadas en Matlab se encuentran en Anexos)

En el lecho filtrante del filtro 1 (F1), perteneciente al módulo I, en el anexo 1, se logra visualizar una distribución irregular, debido a que el módulo está constituido por dos columnas de lecho filtrante los datos y la gráfica reflejan picos altos que nos indican aglomeraciones de grava formando montículos del mismo, si analizamos los valores obtenidos en este primer filtro se aprecia que la altura mínima es de 44cm, en cambio la altura máxima es de 62cm, esto nos da una diferencia de altura entre los dos de 18 cm, esto se produjo por una obstrucción y por una falta de mantenimiento de las tuberías que envían el flujo de agua y aire de manera ascendente para el proceso de retro lavado, al existir agujeros taponados, la fuerza de ascenso del aire y del agua llega a ser mayor en algunas áreas lo que provoca que el lecho de soporte sea demasiado irregular, además esto indica un punto débil en las zonas de menos altura debido a que, puede permitir el paso del material filtrante como la arena y antracita que contribuirían a una mayor obstrucción de los canales de distribución presentes en cada filtro.

El anexo 7, corresponde al filtro F2, dentro de este filtro existe una aglomeración de grava en la parte central con un cúmulo de gravilla que alcanza una altura de 56 cm en

UCUENCA

la primera columna y de 64 cm en la otra columna , en los extremos superior e inferior de la columna dos, se aprecia un descenso, en cambio que en la columna uno en las esquinas superiores e inferiores derechas se observa un montículo de grava que alcanza una altura más prominente que la observada en el centro de la gráfica, los factores que pueden producir esta redistribución se mencionaron anteriormente en el F1, y serán los mismos que regirán los cambios en el perfil del lecho en el resto de filtros.

De esta manera se identificó que en el F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7,F8, existe un perfil de soporte totalmente irregular, en donde los colores sean amarillo, anaranjado y rojo; representan aumentos de alturas, en cambio que los verdes, azules, y violetas; indican una disminución de altura, o alturas bajas, de una manera contundente se pueden apreciar en cada una de ellas una irregularidad del lecho, lo que provoca una variabilidad en las alturas del lecho de arena y antracita, por lo tanto, como consecuencia una variación de rendimiento en cada punto del filtro, lo que nos indica que la capacidad de filtración no es regular en todo el filtro, además de las diferencias de alturas que son tan representativas, como se muestran en la tabla 52. La altura de las capas de grava no debe exceder los 40cm, por lo que en este caso ningún filtro coincide con la recomendación, tiene valores inferiores o superiores a lo sugerido por el CEPIS, de donde se hizo referencia a F4 (Anexo 9), que tiene la mayor variación de altura, es decir, es el más irregular, y el F8 (Anexo 13), posee una regularidad muy aceptable, debido a que la variación de altura corresponde a solo 5 cm.

Para el análisis del módulo II, se debe considerar que el mismo constaba de una sola columna y los puntos tomados fueron considerados de una manera diferente al módulo I, en este caso al igual que el anterior la irregularidad del lecho se produce al momento de fluidizarlo, aunque este módulo es relativamente nuevo, de acuerdo a los datos obtenidos se pudo comprobar que los 8 filtros pertenecientes al módulo II poseen un lecho de grava irregular, aunque a diferencia del módulo I, sus alturas son más pequeñas, la irregularidad más alta se da dentro del filtro F15 (Anexo 20), con una altura mínima de 40 cm y una altura máxima de 70cm.

En la Ilustración 24, se muestran el equipo necesario para este ensayo.



Ilustración 24. Muestreador

En la Ilustración 25, se muestra el desarrollo de este ensayo.

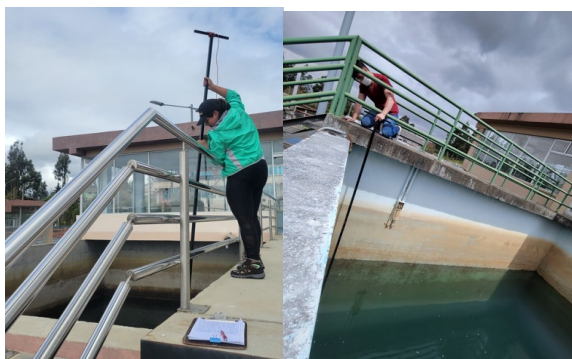


Ilustración 25. Desarrollo del ensayo

4.1.9. Prueba de aplicación 9: Expansión del medio filtrante

En la PTAT, se procede a evaluar la expansión del medio filtrante tanto del Módulo I como del Módulo II, con la metodología explicada en el capítulo anterior y se obtienen las siguientes tablas con las mediciones realizadas.

Tabla 53. Porcentaje de expansión de lecho, Módulo I.

MÓDULO I				
FECHA	N° FILTRO	H lavado aire (m)	H lecho fluidizado (m)	% de expansión
30/6/2021	F-1	1,11	0,21	19%
10/7/2021	F-2	1,05	0,27	26%
30/6/2021	F-3	1	0,16	16%
30/6/2021	F-4	0,8	0,13	16%
25/6/2021	F-5	0,9	0,23	26%
25/6/2021	F-6	1	0,19	19%
13/7/2021	F-7	1,1	0,12	11%
11/7/2021	F-8	1,12	0,27	24%
			Promedio	20%

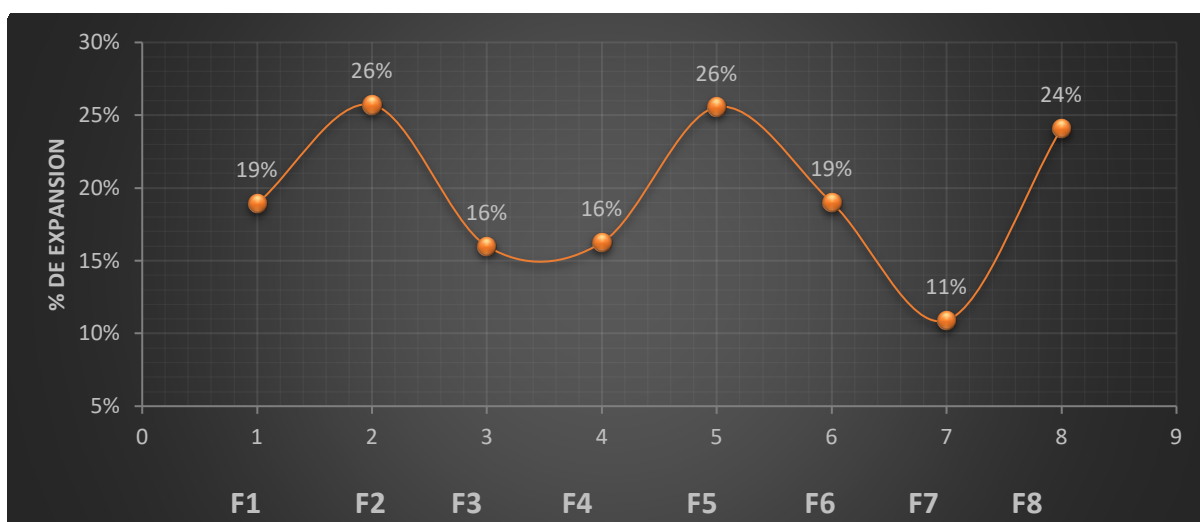
Fuente: Abad – Guaraca

Tabla 54. Porcentaje de expansión de lecho, Módulo II.

MÓDULO II				
FECHA	N° FILTRO	H lavado aire (m)	H lecho fluidizado (m)	% de expansión
30/6/2021	F-9	0,905	0,21	23%
10/7/2021	F-10	0,9	0,19	21%
30/6/2021	F-11	1	0,17	17%
30/6/2021	F-12	0,8	0,2	25%
25/6/2021	F-13	0,9	0,27	30%
25/6/2021	F-14	1	0,26	26%
13/7/2021	F-15	0,9	0,23	26%
11/7/2021	F-16	0,95	0,28	29%
			Promedio	25%

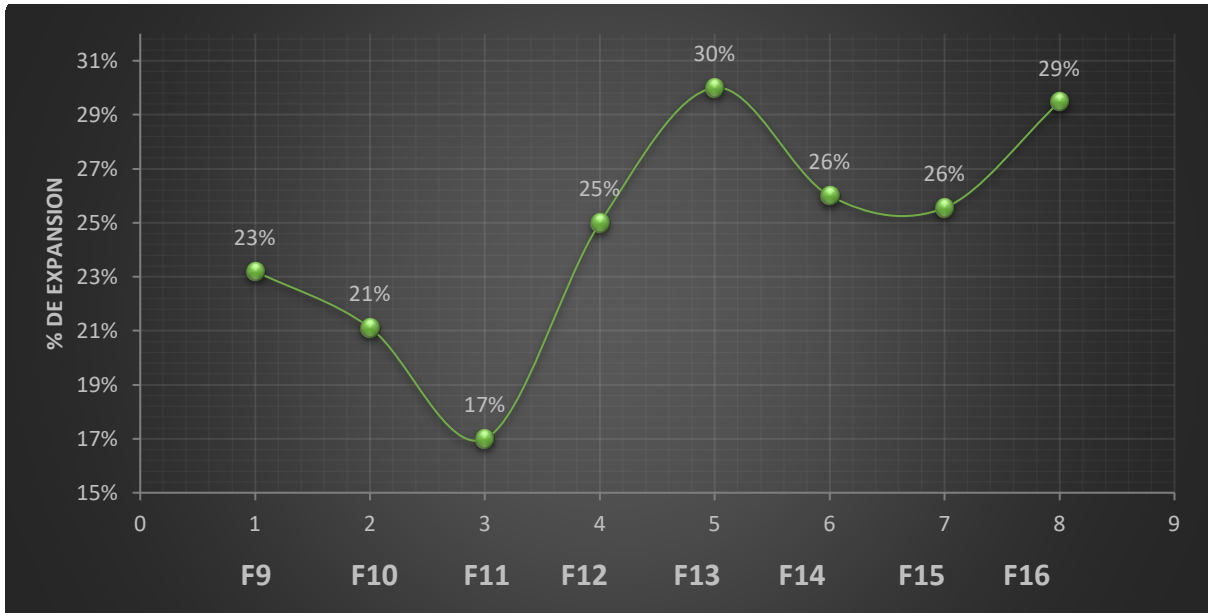
Fuente: Abad – Guaraca

Con los datos de las tablas 53 y 54, tanto para el Módulo I (Gráfica 33) como para el Módulo II (Gráfica 34), se pudo obtener una curva de expansión de cada filtro.



Gráfica 33. Porcentaje de expansión de cada filtro, Módulo I.

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 34. Porcentaje de expansión de lecho, Módulo II.

Fuente: Abad – Guaraca

En la Ilustración 24, se muestran el equipo necesario para este ensayo.



Ilustración 24. Muestreador.

En la Ilustración 25, se muestra el desarrollo de este ensayo.



Ilustración 25. Desarrollo del ensayo

Análisis

Según la normativa y la bibliografía consultada el porcentaje de expansión de lecho debe estar entre el 25 - 30% porcentaje de expansión. Para el módulo I, se presenta una expansión por debajo del nivel mínimo, es decir de acuerdo al CEPIS, no llega a 25 % de expansión, esto se debe en conjunto con los análisis anteriores, a un tiempo de

lavado insuficiente, es decir que se lo debe incrementar. El mínimo de expansión esta presentado en el filtro 7, mismo que presenta un porcentaje de expansión de 11%, seguido de los filtros 3 y 4 que tienen una expansión de 16%, siendo el máximo valor de expansión el correspondiente al filtro 5 que cumple con lo requerido por el CEPIS; estos valores se observan en la tabla 55.

Tabla 55. Porcentaje de expansión de lecho, Módulo I.

Módulo I	
N° filtro	% de expansión
F-1	19%
F-2	26%
F-3	16%
F-4	16%
F-5	26%
F-6	19%
F-7	11%
F-8	24%

Fuente: Abad – Guaraca

En el módulo II, se presenta un mejor porcentaje de expansión siendo su valor mínimo de 17% correspondiente al filtro 11 y un máximo correspondiente al filtro 13. Esto se debe a que en este módulo se está utilizando un mejor tiempo de lavado. A continuación, se presenta la tabla 56, correspondiente al módulo II.

Tabla 56. Porcentaje de expansión de lecho, Modulo II.

Módulo II	
N° filtro	% de expansión
F-9	23%
F-10	21%
F-11	17%
F-12	25%
F-13	30%
F-14	26%
F-15	26%
F-16	29%

Fuente: Abad – Guaraca

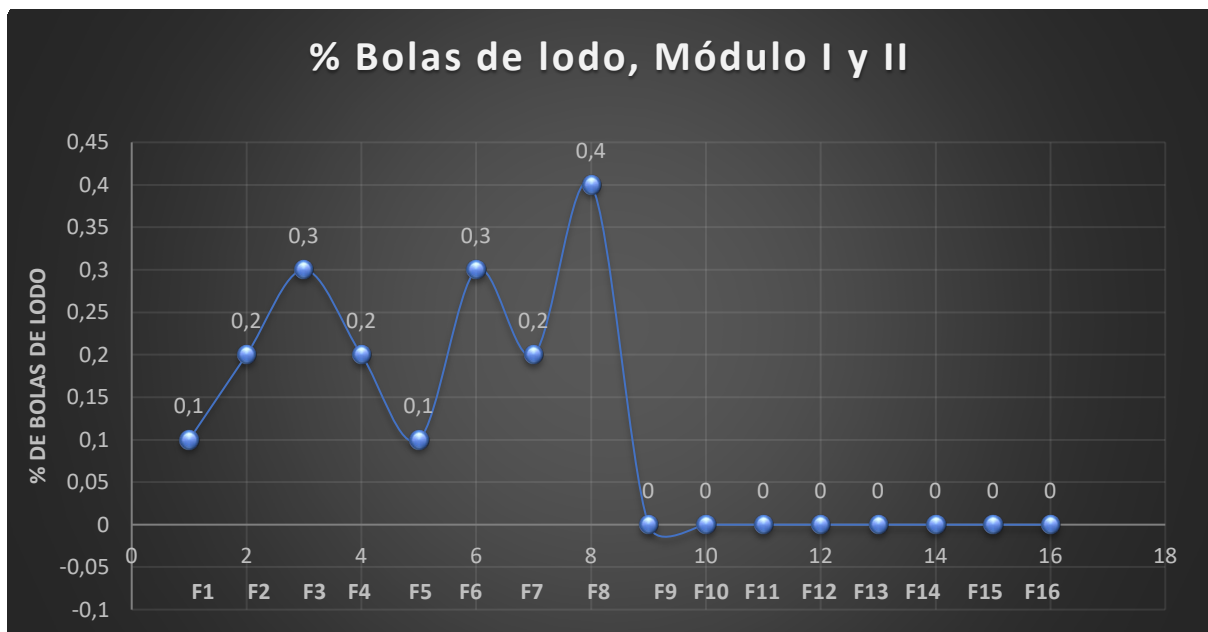
4.1.10. Prueba de aplicación 10: Bolas de lodo

A partir de los datos que se obtuvieron en la parte experimental se rellanaron las siguientes tablas, en donde se pudo observar el porcentaje de bolas de lodo obtenidos de cada uno de los filtros que se encontraban en operación.

Tabla 57. prueba de bolas de lodo.

N filtro	Volumen de la muestra (ml)	Incremento (volumen) la probeta (ml)	% bolas de lodo
1	500	0,5	0,1
2	500	1	0,2
3	500	1,5	0,3
4	500	1	0,2
5	500	0,5	0,1
6	500	1,5	0,3
7	500	1	0,2
8	500	2	0,4
9	500	0	0
10	500	0	0
11	500	0	0
12	500	0	0
13	500	0	0
14	500	0	0
15	500	0	0
16	500	0	0

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 35. Representación de % de Bolas de lodo en los dos módulos.

Fuente: Abad – Guaraca

Análisis

UCUENCA

A partir de los resultados, la tabla 57, indica la ausencia de partículas de lodo (arcilla) en la capa filtrante de las ocho unidades de investigación del módulo II y en el módulo I, la presencia de partículas arcillosas es mínima, teniendo valores que oscilan entre 0,1 y 0,4% observada, solo en el menor número de partículas de lodos en los primeros ocho filtros.

El Centro Interamericano de Ingeniería en Ciencias Ambientales y Saneamiento (CEPIS) clasifica los filtros de acuerdo con las proporciones de bolas de arcilla, como se muestra en la tabla 5, en el capítulo 3.3.1.

El filtro en buen estado no debe contener partículas de lodo; sin embargo, con el transcurso de los años es posible llegar al 1% de acumulación de lodo, esto, sin afectar el rendimiento del filtro. Esto ocurre con los valores obtenidos en el módulo I, lo cual está catalogado como bueno dentro del CEPIS.

4.2. CLORACION

4.2.1. Prueba de aplicación 1: Análisis de los datos históricos del cloro residual

PUNTO MAS CERCANO

Se toma en consideración un punto más cercano a la red de distribución, siendo este el Tanque 5 de almacenamiento ubicado dentro de los predios de la PTAT, estos valores resultan al promediar los datos que se obtienen de forma semanal, mismos que se encuentran detallados en las tablas 59 y 60 respectivamente, estos corresponden al promedio del cloro residual de los años 2020 y 2021 respectivamente, estas tablas a su vez se encuentran acompañadas de sus respectivos gráficos, que son la gráfica 36 y 37, que nos indican los ascensos y descensos mensuales del cloro residual en el tanque 5.

Tabla 58. Promedio cloro residual en un punto más cercano (tanque 5) 2020

Promedio cloro residual, punto más cercano (TANQUE 5) 2020	
MES	CLORO RESIDUAL (mg/L)
E01	1,23
F02	1,10
M03	1,23
A04	1,29
M05	1,29
J06	1,29

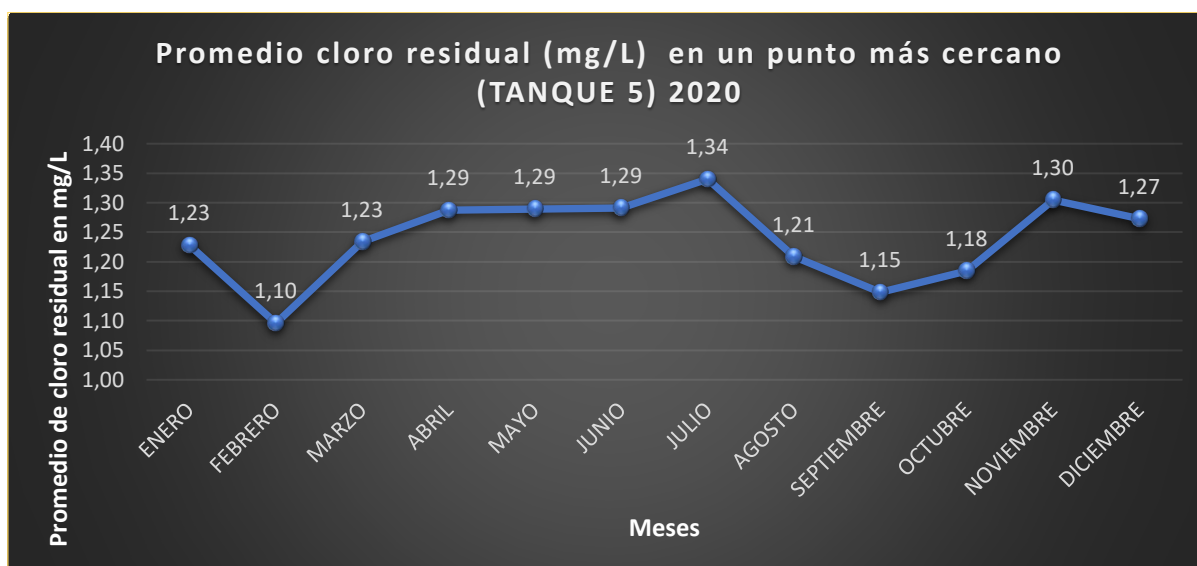
J07	1,34
A08	1,21
S09	1,15
O10	1,18
N11	1,30
D12	1,27

Fuente: Abad – Guaraca

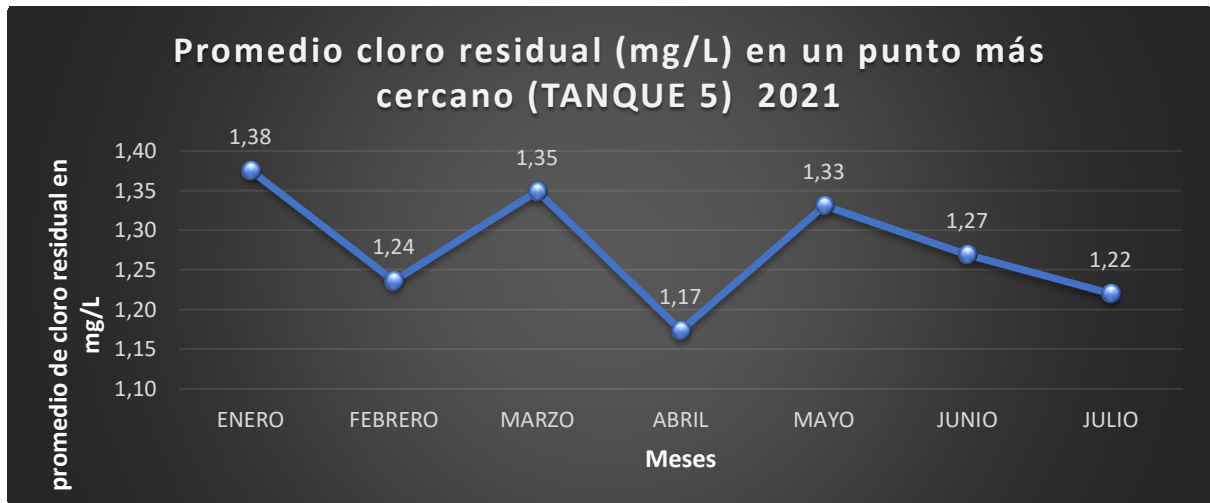
Tabla 59. Promedio cloro residual en un punto más cercano (tanque 5) 2021

Promedio cloro residual, punto más cercano (TANQUE 5) 2021	
MES	COLOR RESIDUAL (mg/L)
E01	1,38
F02	1,24
M03	1,35
A04	1,17
M05	1,33
J06	1,27
J07	1,22

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 36. Promedio cloro residual en el punto más cercano (Tanque 5) 2020. Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 37. Promedio color residual en el punto más cercano (Tanque 5) 2021.

Fuente: Abad – Guaraca

PUNTO INTERMEDIO

Considerando como punto intermedio el sector de MILCHICHIG, los datos que se muestran en las tablas 61 y 62, que corresponden al promedio del cloro residual de los años 2020 y 2021 respectivamente, estas tablas a su vez se encuentran acompañadas de sus respectivos gráficos, que son la gráfica 38 y 39, que nos indican los ascensos y descensos mensuales del cloro residual en este sector.

Tabla 60. Promedio cloro residual del punto intermedio (Milchichig) 2020

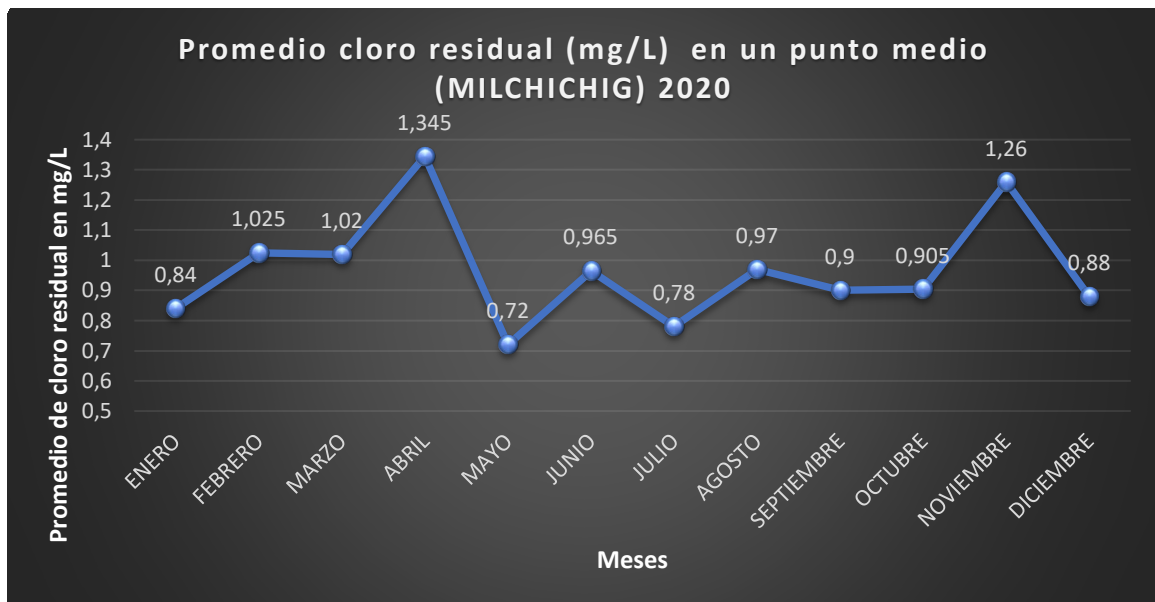
Promedio cloro residual en un punto medio (MILCHICHIG) 2020	
MES	COLOR RESIDUAL (mg/L)
E01	0,84
F02	1,025
M03	1,02
A04	1,345
M05	0,72
J06	0,965
J07	0,78
A08	0,97
S09	0,9
O10	0,905
N11	1,26
D12	0,88

Fuente: Abad – Guaraca

Tabla 61. Promedio cloro residual del punto intermedio (Milchichig) 2021

Promedio cloro residual en un punto medio (MILCHICHIG) 2021	
MES	COLORO RESIDUAL (mg/L)
E01	0,91
F02	1,265
M03	0,89
A04	0,86
M05	1,015
J06	1,04
J07	1,17

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 38. Promedio cloro residual en el punto medio (Milchichig) 2020. Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 39. Promedio cloro residual en el punto medio (Milchichig) 2021.

Fuente: Abad – Guaraca

PUNTO MAS ALEJADO

Para nuestro análisis se consideró el punto más alejado al cual la PTAT abastece de agua potable, este punto pertenece al sector de NULTI, los datos registrados de cloro residual se indican en la tabla 63 y 64, que pertenecen a los años 2020 y 2021 respectivamente, además de las gráficas 40 y 41; que son las representaciones de las tablas anteriores, lo que nos permite observar el comportamiento del cloro residual en esta área durante los años mencionados.

Tabla 62. Promedio cloro residual en un punto más alejado (Nulti) 2020

Promedio cloro residual en un punto más alejado (NULTI) 2020	
MES	COLOR RESIDUAL (mg/L)
E01	0,545
F02	0,735
M03	0,705
A04	0,53
M05	0,79
J06	0,81
J07	0,84
A08	0,77
S09	0,58
O10	0,56
N11	1,14
D12	0,94

Fuente: Abad – Guaraca

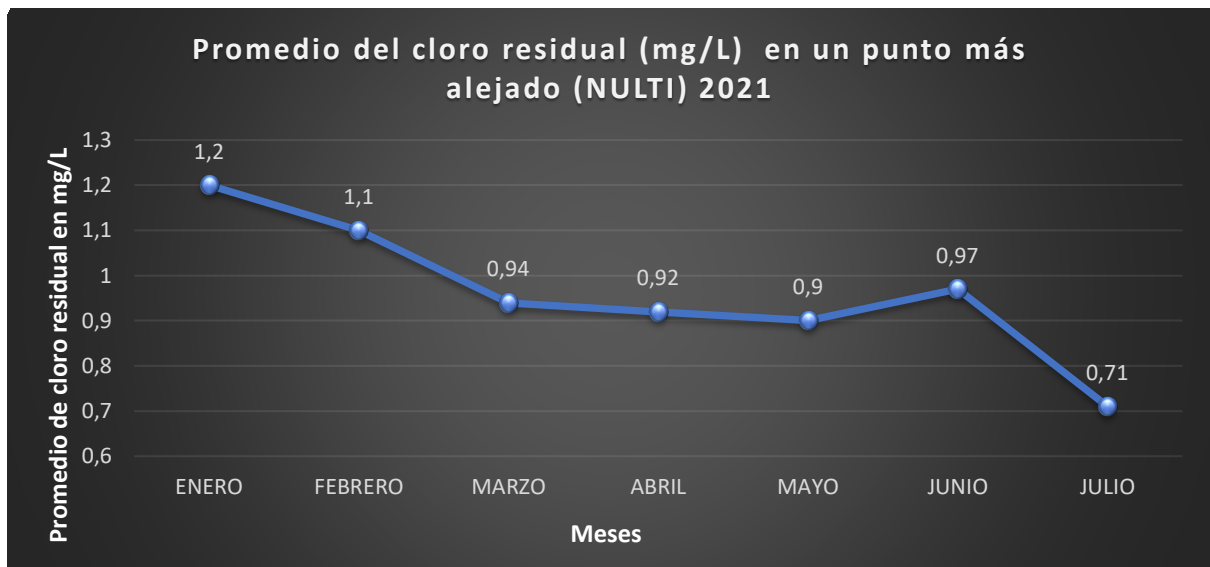
Tabla 63. Promedio cloro residual en un punto más alejado (Nulti) 2021

Promedio cloro residual en el punto más alejado (NULTI) 2021	
MES	COLOR RESIDUAL (mg/L)
E01	1,2
F02	1,1
M03	0,94
A04	0,92
M05	0,9
J06	0,97
J07	0,71

Fuente: Abad – Guaraca



Gráfica 40. Promedio cloro residual en el punto más alejado (Nulti) 2020.



Gráfica 41. Promedio cloro residual en el punto más alejado (Nulti) 2021.

Análisis

Dentro de la Norma INEN 1108 5ta ed. Se especifica para cloro residual el rango comprendido entre 1,5 – 0,3 mg/L. Con los datos presentados en la tabla 59, del punto más cercano, se tiene un valor para el año 2020 de 1,18 – 1,34 mg/L; cumpliendo con lo estipulado en la normativa. Dentro de la planta, el cloro residual de los tanques debe ser siempre superior de 1 mg/L, ya que con este valor se asegura que a la línea domiciliaria llegue en un valor aproximado de 0,3 mg/L, considerando las pérdidas de cloro por la trayectoria de tubería, mismo que es lo idóneo y estipulado en la normativa. Para el año 2021, se observa valores relativamente más bajos comparados con el año 2020, debido a que para este año se mantiene en operación simultanea los dos módulos

de la PTAT, lo que produjo variabilidad en la dosificación de cloro hasta lograr llegar a la proporción correcta en conjunto.

En el punto medio ubicado en el sector de Milchichig, se tiene valores comprendidos entre 0,84 – 1,26 mg/L, como se observa en la gráfica 38 y 39.

Para el punto más alejado de la red de distribución de la PTAT, se toma el sector de Nulti, como se observa en la gráfica 40, para el año 2020, se tiene un rango comprendido entre 0,53 – 1,14 mg/L, mismo que cumple con la norma INEN 1108. Para el año 2021 los valores de cloro residual oscilan entre 0,71 – 1,2 mg/L, de igual forma cumplen con la normativa; por lo tanto, se maneja una correcta dosificación de cloro en la PTAT asegurando que la concentración de cloro libre residual en la línea domiciliaria más lejana sea superior a 0,3 mg/L.

4.2.2. Prueba de aplicación 2: Verificación de la Dosis óptima de cloro

Esta es la dosis que produce cloro residual según se define en la medición en el punto de la red de distribución con la prueba del colorímetro. El punto más alejado de la red de distribución a tomar es el grifo en el departamento de operaciones y control; además de estos datos internos, existe un estudio de datos históricos sobre cloro residual del sistema Machángara, los cuales se discuten en la prueba de aplicación 1 (numeral 4.2.1).

Cabe señalar que el sistema de cloración es independiente de cada módulo, y el módulo I, a su vez, incluye los tanques 1 y 2; el segundo módulo incluye el tanque 3 y 4; y el tanque 5, que es un reservorio compartido con agua de los 4 tanques mencionados.

En la tabla 65, se muestra los datos obtenidos en el Módulo I.

Tabla 64. Dosis optima de Cloro, Módulo I.

Lugar de muestreo	Cloro Residual
Salida del filtro	0,01
Cámara de contacto	1,50
Tanque de Reserva 1	0,86
Tanque de Reserva 2	1,37

Fuente: Abad – Guaraca

En la tabla 66, se muestra los datos obtenidos en el Módulo II

Tabla 65. Dosis optima de Cloro, Módulo II.

Lugar de muestreo	Cloro Residual
Salida del filtro	0,02
Cámara de contacto	0,66
Tanque de Reserva 3	1,30
Tanque de Reserva 4	0,99

Fuente: Abad – Guaraca

En la tabla 67, se muestra los datos del tanque de reserva 5, mismo que es la unión de los tanques de reserva de los dos módulos; y el punto más alejado dentro de la PTAT.

Tabla 66. Dosis optima de Cloro, Punto cercano y alejado.

Lugar de muestreo	Cloro Residual
Tanque de Reserva 5	1,27
Punto más alejado, departamento de Operación y Control	1,15

Fuente: Abad – Guaraca

En la Ilustración 26, se muestra el equipo necesario para este ensayo.



Ilustración 26. Medidor de Cloro Residual

De las pruebas realizadas, se tiene la siguiente tabla resumen, tabla 68, misma que muestra que en todos los cinco tanques se está cumpliendo con lo estipulado en la norma INEN 1108. En promedio de los cinco tanques mencionados en la tabla 68, es de 1,16 mg/L; se debe tener en cuenta que los tanques de reserva 1, 2, 3, 4 están conectados con el tanque de reserva 5 del cual es el punto de salida para la red de distribución.

Tabla 67. Dosis óptima de Cloro, en los diferentes tanques de reserva.

Lugar de muestreo	Cloro Residual (mg/L)
Tanque de Reserva 1	0,86
Tanque de Reserva 2	1,37
Tanque de Reserva 3	1,30
Tanque de Reserva 4	0,99
Tanque de Reserva 5	1,27

Fuente: Abad – Guaraca

4.2.3. Prueba de aplicación 3: Características del sistema de aplicación

Se observó que se aplica de forma correcta ya que se está aplicando en la turbulencia que se produce en el interior del vertedero de entrada a la cámara de cloración y la inmersión del difusor está a una altura de agua de al menos 1,50 m (información

UCUENCA

verificada del modelado - Unidad de Instrucción de Operación II), que es mantenida por la ubicación del vertedero de salida de la cámara. Ilustración 27.

A menudo, cuando el método no se aplica correctamente, cuando la cámara de cloración no es hermética, el gas se siente fuertemente en el ambiente porque no se mezcla con el agua.



Ilustración 27. Representación correcta de aplicación.

a) Características de las instalaciones de cloración

Con las especificaciones dadas por el CEPIS, se presenta las siguientes características: Las salas de cloración y los almacenes deben cumplir un conjunto de especificaciones para facilitar el funcionamiento seguro del sistema y evitar riesgos para los operadores del sistema.

La ilustración 28, muestra una sala de cloración completamente abierta con ventilación natural, donde si hay una pequeña fuga de cloro gaseoso que se esparce rápidamente al medio ambiente, es un área separada de las unidades de filtración para que, en caso de emergencia, los efectos corrosivos del cloro no dañen los equipos y otras estructuras adyacentes.



Ilustración 28. Sala de cloración abierta.

La entrada trasera es igual a la altura del maletero del camión para facilitar el transporte de cilindros de cloro gaseoso.

Ventilación a la altura del piso, sea natural o forzada, la sala, ilustración 28, cumple con este requerimiento.

UCUENCA

Se debe designar una sala de cloro para esto. No se deben colocar otros materiales en este entorno, ya que esto interferirá con el manejo de los cilindros en caso de una emergencia. Ilustración 29.



Ilustración 29. Sala de cloración, Tixán.

La PTAT, cuenta con un sistema alternativo de cloración (Hipoclorito de sodio), en el caso que la dosificación por cloro gas no se pudiera realizar. Ilustración 30.



Ilustración 30. Hipoclorito de Sodio.

Se comprobó que si hay alarmas y su estado para indicar fugas del sistema. Sistema de detección de cloro REGAL incorporado, capaz de detectar mg / ml, con capacidad para activar alertas de alarma para toda la instalación. Ilustración 31.

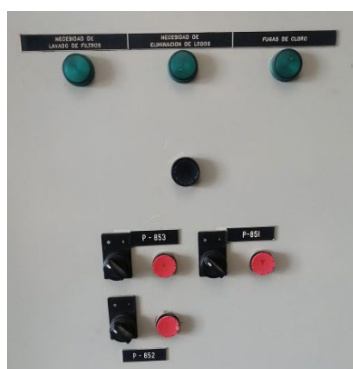


Ilustración 31. Alarma del Sistema de Cloración.

UCUENCA

Verifique que el respirador esté en buenas condiciones y colocado correctamente fuera de la estación de cloración, así como la botella de amoníaco (ilustración 32), para detectar fugas y equipo de reparación de fugas.

Este equipo debe ser de fácil acceso para el operador en todo momento. Asegúrese de que el operador esté capacitado para utilizar correctamente el dispositivo de sellado.



Ilustración 32. Botella de amoniaco.

Verificar la existencia y el estado de la balanza que controla el peso del cilindro que está siendo utilizado, como se verifica en la ilustración 33.



Ilustración 333. Control de peso de cilindros de cloro.

Compruebe si la capacidad del almacén es suficiente, cuántos cilindros llenos y vacíos se almacenan y cómo están aseguradas para evitar caídas en caso de terremoto.

La PTAT, cuenta con el Sistema SCADA, el mismo que al desplegar la pestaña de BOMBEO, se verifica el correcto funcionamiento de las bombas de Cloro. Ilustración 34.

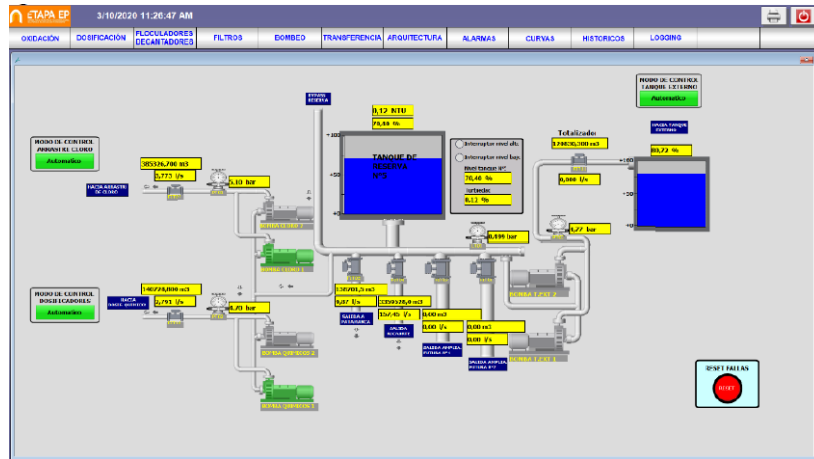


Ilustración 34. Sistema SCADA, control de Bombas.

ANÁLISIS

Con los datos verificados en la evaluación anterior para las características del sistema de aplicación de cloro en la PTAT, se obtiene la siguiente tabla resumen. Tabla 69.

Tabla 68. Resumen de las características de aplicación de cloro.

Parámetro	Aplicado en la Planta de Tixán	Cumple con la normativa CEPIS
Característica del sistema de aplicación	Aplicación por difusor sumergido con una altura mínima de agua de 1.50metros, en turbulencia.	Si cumple
Características de las instalaciones	Sala de cloración totalmente abierta y con ventilación natural.	Si cumple
	Cámara de cloración ubicada en una zona alejada del resto de instalaciones, de tal manera si se presentara una emergencia, el efecto corrosivo del cloro no cause daños a los demás equipos e instalaciones cercanas.	Si cumple
	El ingreso posterior tiene la altura de la plataforma del camión para facilitar el traslado de los cilindros de cloro gas.	Si cumple
	La sala de cloro debe ser exclusivamente para este fin.	Si cumple
	La PTAT, cuenta con un sistema alterno de cloración (Hipoclorito de Sodio), en el caso que la dosificación por cloro gas no se pudiera realizar.	Si cumple
	Alarmas para indicar la presencia de fugas en el sistema. Se tiene incorporado el sistema de detección de Cloro REGAL. Adicional la botellita de amoniaco para detectar fugas y el equipo para reparar fugas.	Si cumple
	Existencia y estado de la balanza para controlar el peso del cilindro en uso.	Si cumple
La PTAT, cuenta con el Sistema SCADA, el mismo que al desplegar la pestaña de BOMBEO, se verifica el correcto funcionamiento de las bombas de Cloro.	Si cumple	

Capítulo V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Mediante el siguiente trabajo de investigación se pudieron determinar los parámetros óptimos para las cámaras de filtración, es así que para cada ensayo realizado se estableció los puntos de muestreo y los rangos de valores adecuados para un correcto funcionamiento interno. La eficiencia del proceso de filtración para el año 2019 no es buena, debido a que los porcentajes de rendimiento en ciertos meses decaen significativamente, y todos los promedios de remoción están por debajo del 70%, en el año 2021 existen valores aceptables de rendimiento, a excepción de diciembre donde el F13 posee un 50% de rendimiento.

La batería de filtros del módulo I, no cumple con la normativa, debido a que los porcentajes de expansión están por debajo del 25% con un promedio de 20%. La velocidad de filtración no alcanza lo establecido con valores de $126,07 \frac{m^3}{m^2}/d$ y $163,63 \frac{m^3}{m^2}/d$ para el módulo I y II respectivamente. La granulometría óptima del lecho de arena y antracita no cumplen con las especificaciones de D10 con valores de 0,9 y 1,7 respectivamente, teniendo valores más altos de lo recomendado, aunque si se cumple con el CU. El porcentaje de las bolas de lodo están dentro de los rangos, con un valor por debajo de 0.5% que lo categorizan como excelente dentro de este ensayo.

Dentro de la cloración se ubicó los puntos de muestreo pertenecientes a las cámaras de cloración, además de la revisión del espacio y la disposición física de los implementos necesarios para este proceso. Debido a los resultados obtenidos en los datos históricos y por las mediciones realizadas en la planta y fuera de ella de cloro residual, se constató que los valores de cloro residual están en perfecto estado y control por lo que se descartó cualquier prueba adicional. Los valores de cloro residual dentro de los tanques se encontraban entre 0,8-1,5mgCl/L, mientras que la medición del punto más alejado de la red de distribución dio valores superiores a 0,3mgCl/L, la forma de aplicación es sumergida, usando cilindros de 1 tonelada, es decir que la Planta de Tratamiento de Agua Tixán, cumple con cada uno de los parámetros establecidos dentro de la normativa INEN 1108, y las especificaciones de diseño propuestas por el CEPIS.

UCUENCA

Por medio de las pruebas realizadas se determinaron los factores que influyen en la colmatación temprana del lecho, siendo el primero a considerar la altura de los lechos, que estaban por debajo de los niveles fijados para el filtro, esto indica una disminución del lecho filtrante y una rápida colmatación para el módulo I pero que si es cumplido por el módulo II, otro factor que influye dentro de la rápida colmatación del medio filtrante es el diámetro óptimo de las partículas, que son superiores a las recomendadas por el CEPIS, además de un lavado irregular dentro del lecho, afirmación que es respaldada por la disposición irregular del soporte de graba que indica una obstrucción en los dispensadores de agua y de aire en el retro lavado, provocando un lavado irregular en ambos módulos, seguido de esto se tienen los tiempos de lavado que no son los adecuados, esto debido a que los ensayos indican un tiempo de 12min.

Se determinó el caudal de ingreso en cada uno de los filtros, con un caudal dentro del módulo I de 380 l/s, siendo el caudal óptimo de operación establecido por el diseño de la plantas de 600-860l/s, el caudal registrado no cumple con las especificaciones, sin embargo este se puede justificar con el funcionamiento e implementación del módulo II, cuyo caudal óptimo es de 1000-1200l/s. Dentro de la planta, el módulo II opera con 750 l/s, por lo que cumple con las especificaciones de caudal óptimo de operación. El funcionamiento del módulo I, se ve justificado debido a que una suspensión total del mismo provocaría daños al módulo I, convirtiéndolo a futuro en inoperable, de esta manera, aunque no se trabaje al cien por ciento de su capacidad máxima, el módulo I opera con un caudal óptimo actual de 300-500l/s.

Al recopilar y analizar los datos históricos se pudo determinar el comportamiento de los filtros tanto del módulo I como del módulo II, mismos datos que fueron recopilados del año 2019 para el primer caso y 2020 para el segundo, cabe mencionar que los datos del año 2021 hasta el mes de Junio, los cuales abarcaban los datos de los dos módulos de manera simultánea, con esto se concluyó que los mayores valores de turbiedad se encuentran en los últimos 4 meses, debido a las temporadas de lluvia que se llevan en esta temporada, se analizaron los datos de turbiedad y se observó que el rendimiento para el año 2019, decae a un 2% durante los meses de agosto y septiembre en el filtro 8. Para el módulo II, el rendimiento se encuentra en un rango de 50-80%, y para el año 2021 los valores del módulo I y II se regularizan con un rendimiento mayor al 70%, con estos valores se reconoció que el rendimiento de la planta es regular y confiable.

5.2. RECOMENDACIONES

- Al momento de evaluar los tiempos de lavado de los módulos I y II, se recomienda considerar un tiempo máximo de lavado de 16 min de prueba para el módulo I y un tiempo de 12 min para el módulo II, debido a que los caudales de lavado son mayores en el módulo I y por diseño difieren entre ambos módulos, teniendo una mayor eficiencia en el módulo I debido al caudal utilizado, se recomienda cambiar los tiempos de lavado de 10min (tiempo actual) a 12 min para el módulo I.
- Para la prueba del perfil del lecho filtrante se recomienda que la barra tenga una terminación en punta para que la misma pueda introducirse de una manera fácil y efectiva dentro del filtro, además de tener la varilla bien graduada para disminuir errores que se pueden producir al momento de la medición, antes de hacer esta prueba se deben fijar de manera muy precisa los puntos para las medidas de las alturas, debido a que si no se lo hacen de forma correcta el instrumento puede provocar daños en la base del filtro dañando los sistemas de distribución de aire y de agua y a su vez el falso fondo del filtro.
- Se recomienda hacer pruebas una vez cada año de los filtros para determinar los tiempos óptimos de lavado, debido a que durante este tiempo por los caudales de retro lavado, se pierde material filtrante, por consiguiente, las alturas de los lechos disminuyen además que se desgastan, esto ayudará a determinar el mantenimiento del filtro y el tiempo en el cual se debe cambiar el lecho.
- Es de vital importancia que todos los equipos estén funcionando de manera correcta para el control del proceso de potabilización, por esta razón cada válvula, accesorio, equipos, deben estar en óptimas condiciones, por lo cual se recomienda reparar o sustituir los manómetros que controlan los caudales de ingreso del agua hacia las cámaras de cloración de manera inmediata.
- Para el análisis de datos históricos se recomienda tomar los datos de todo el año para apreciar el comportamiento de la turbiedad y el caudal tratado, tanto en las épocas de invierno y verano para poder determinar si los cambios de estación afectan los valores ya mencionados, aunque también se recomienda hacer un estudio de la dosis óptima de polímero y sulfato de aluminio, debido a que de estos dependen la formación del flóculo y la disminución de la turbiedad.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Etapa.net.ec. 2021. Available at: <https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Documentos/convocatoriatixan/12.MEMORIAS_TECNICAS_PARTE_1.pdf> [Accessed 21 May 2021].

[2] Who.int. 2021. Available at: <https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf> [Accessed 21 May 2021].

[3] Unipamplona.edu.co. 2021. [online] Available at: <http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_191/recursos/general/07092018/organica1.pdf> [Accessed 21 May 2021].

[4] The National Academies. (2020). Sistemas de filtración. AGUA POTABLE. <https://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Filtration-Systems.html>

[5] Martel, A. B. (2018). ASPECTOS FISICOQUÍMICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA. <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>

[6] Azcona. A; Gonzales. M. (2012). Propiedades y funciones biológicas del agua. Recuperado de: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-Carbajal-Gonzalez-2012-ISBN-978-84-00-09572-7.pdf>

[7] Delgado. J. (27.03.2012). Las moléculas de agua, la química y la vida. Recuperado de: <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&sqj=2&ved=0CFYQFjAJ&url=http%3A%2F%2Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F3958691.pdf&ei=EC1VVeL2Au7IsATvqoCACQ&usg=AFQjCNESdsZpbHvXFNjoiEV42M6pBquCTg>

[8] Pradillo, B. (2016, septiembre 12). Parámetros de control del agua potable [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>

[9] Pérez. Francisco, U., Mario. (2011, julio 13). Abastecimiento de aguas: Características fisicoquímicas del agua. <https://ocw.bib.upct.es/>. <https://ocw.bib.upct.es/mod/resource/view.php?id=5694>

- [10] Comisión Nacional del Agua. (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Recuperado de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/11DisenoDePlantasPotabilizadorasTipoDeTecnologiaSimplificada.pdf>.
- [11] García, F. (2010). Evaluación de la batería de filtros de tasa declinante y lavado mutuo de la planta de tratamiento de agua potable Mahuarcay. 264.
- [12] Vela, G. R. R. (2004). REHABILITADA DE AGUA POTABLE SANTA LUISA DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA. 112.
- [13] Maldonado, V. Filtración. Capítulo 9. Cinética de filtración. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias de Ambiente CEPIS/OPS
- [14] CEPIS. (2005). Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada. Recuperado de: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/filtrarap1.html>
- [15] García, F. (2010). Evaluación de la batería de filtros de tasa declinante y lavado mutuo de la planta de tratamiento de agua potable Mahuarcay. 264.
- [16] Carangui, D. (2016). "DESARROLLO DE UN PLAN PARA EVALUACION DEL SISTEMA DE FILTRACION RAPIDA DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE LA JUNTA DE AGUA POTABLE DE BAYAS.". 148.
- [17] Pérez, F. (2006). ABASTECIMIENTO DE AGUAS. Tema 6. Filtración. Recuperado de: <http://www.elaguapotable.com/Tema%2006%20FILTRACI%C3%93N.pdf>
- [18] Trejo V. Espinoza A, & Córdova, V. O. T. (2015). Caracterización de un filtro de arena para potabilización de agua mediante la obtención de curvas experimentales basadas en sus parámetros de funcionamiento. 2015, 125.
- [19] Reyes, G. (2004). EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FILTRACIÓN DE LA PLANTA REHABILITADA DE AGUA POTABLE SANTA LUISA DE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA (EMPAGUA) DE LA CIUDAD DE GUATEMALA [Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2493_C.pdf

[20] Espinoza, J. (2021) Manual de Operación y Mantenimiento de los Módulos de Oxidación, preparación de Químicos y MÓDULO II. ETAPA EP. 114.

[21] Arboleda, J. (2000). TEORIA Y PRACTICA DE LA PURIFICACION DEL AGUA. Tercera edición. Tomo 2. Capitulo X. Mc Graw Hill. 763.

[22] Landeo, A. (2018). "RELACIÓN DE LOS MÉTODOS POR GOTEO Y LA EFICIENCIA DEL CLORO RESIDUAL EN LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE CLORACIÓN EN ZONAS RURALES" [Universidad Nacional de Huancavelica]. 132.

[23] Castro, L. (2002). MODELO DE DOSIFICACION DE CLORO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA FRANCISCO WIESNER DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA – EAAB. 101.

[24] Montero – Campos, V. (2013). Evaluación en el agua para consumo humano de subproductos de cloración y su relación como inductores de mutagénesis (mutaciones celulares). Tecnología en Marcha. Instituto tecnológico de Costa Rica. 29.

[25] Ramírez, F. (2017). Cloración. El agua potable. <http://www.elaguapotable.com/cloracion1.htm>

[26] Rogel, O. E. C., García, F. J. R., & Flores, P. R. S. (2019). MODELACIÓN Y SIMULACIÓN DE PROCESOS DE TRASFERENCIA DE MASA EN INGENIERÍA QUÍMICA. 288.

[27] NTE INEN 2149. (1998). Aguas. Medios filtrantes granulares utilizados en el tratamiento de aguas. www.normalizacion.gob.ec. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2149.pdf>

[28] NTE INEN 977. (1998). AGUA POTABLE. DETERMINACIÓN DE CLORORESIDUAL. METODO DE LA DPD - FERROSO. www.normalizacion.gob.ec. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/977.pdf>

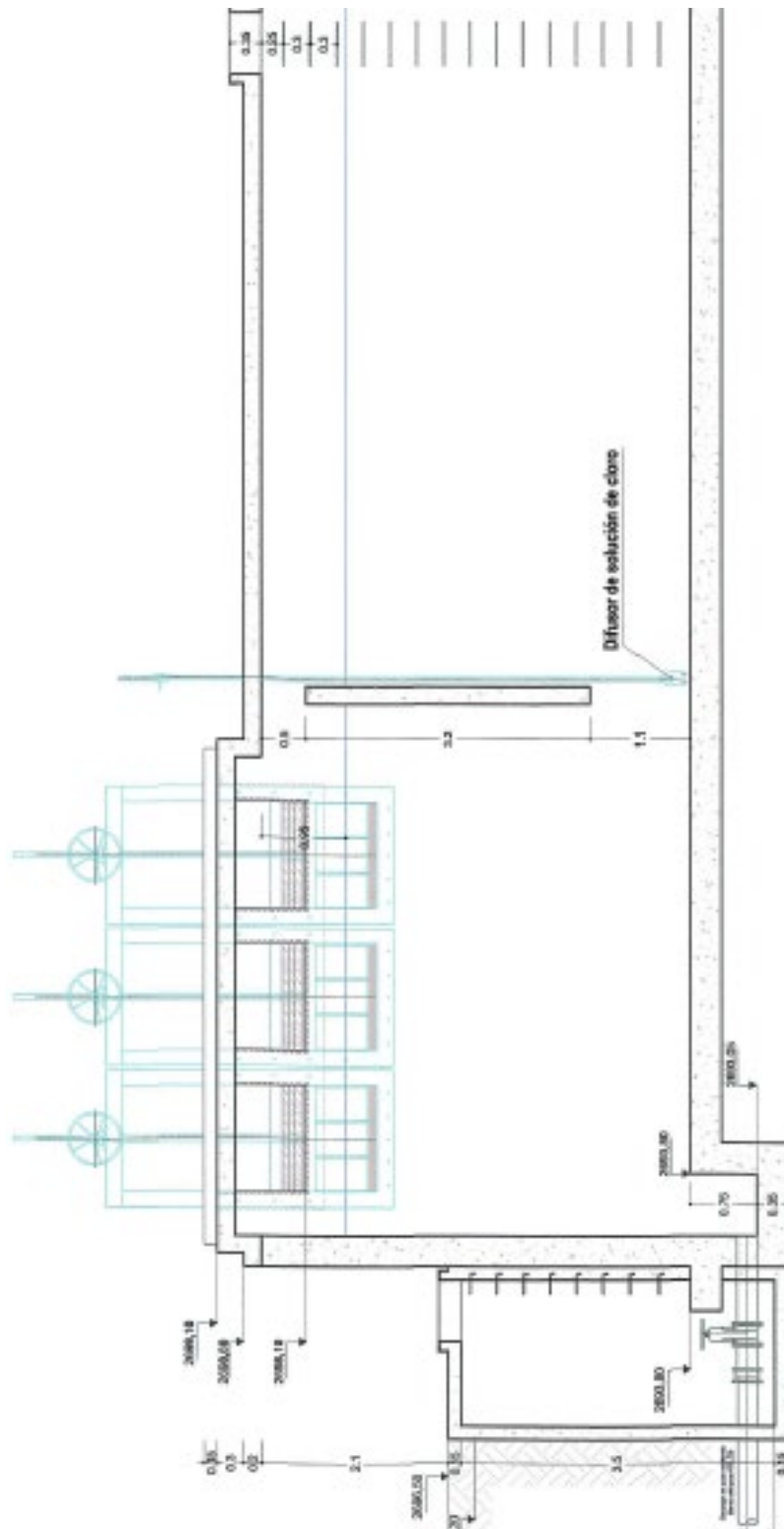


Ilustración 35. Plano del canal de interconexión.
Fuente: Manual de operaciones Modulo II

Anexo 2

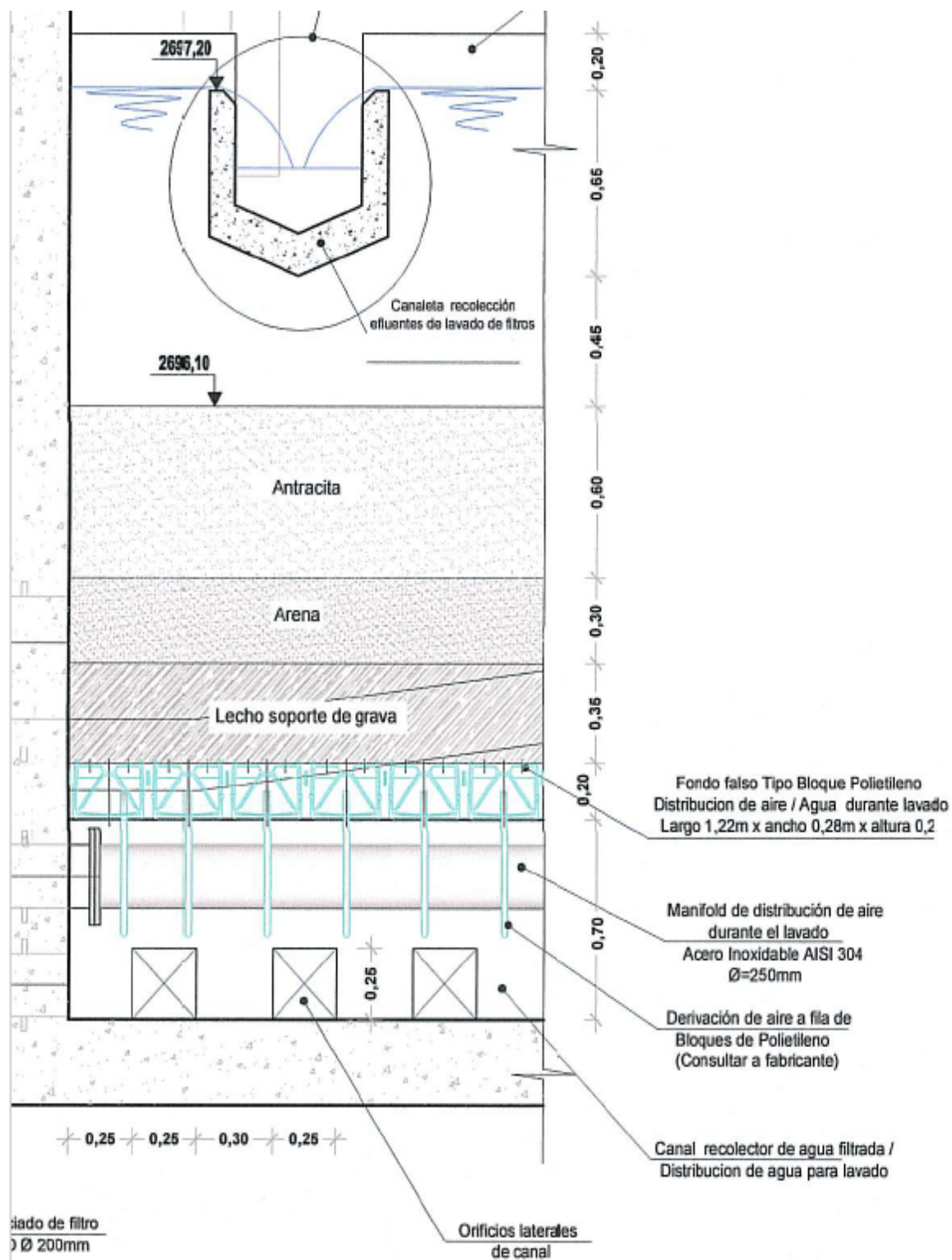


Ilustración 36. Descripción del lecho filtrante.
Fuente: Manual de operaciones Modulo II

Anexo 3

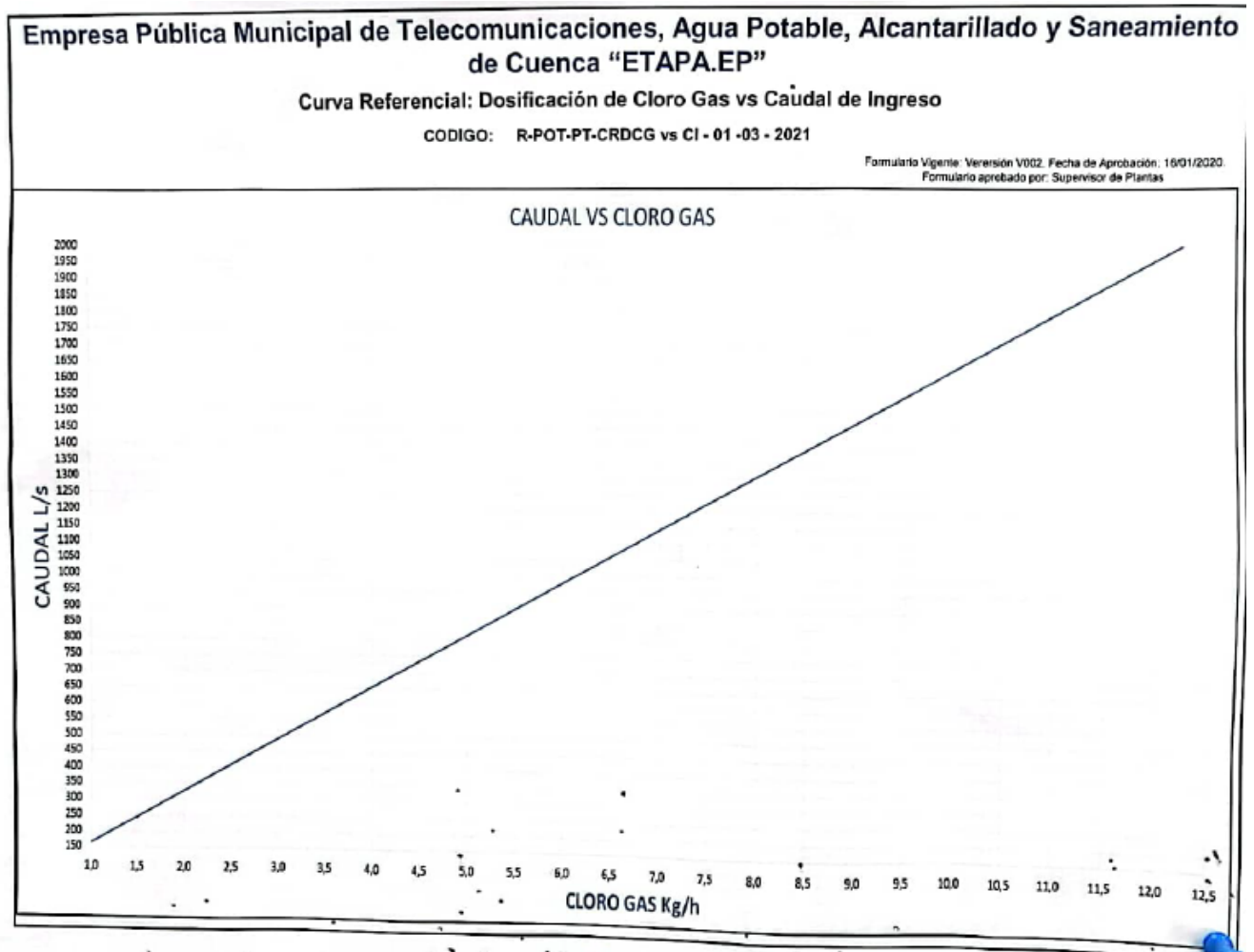


Ilustración 37. Dosificación de cloro gas vs Caudal de ingreso. Fuente: Manual de operaciones Modulo II

Anexo 4

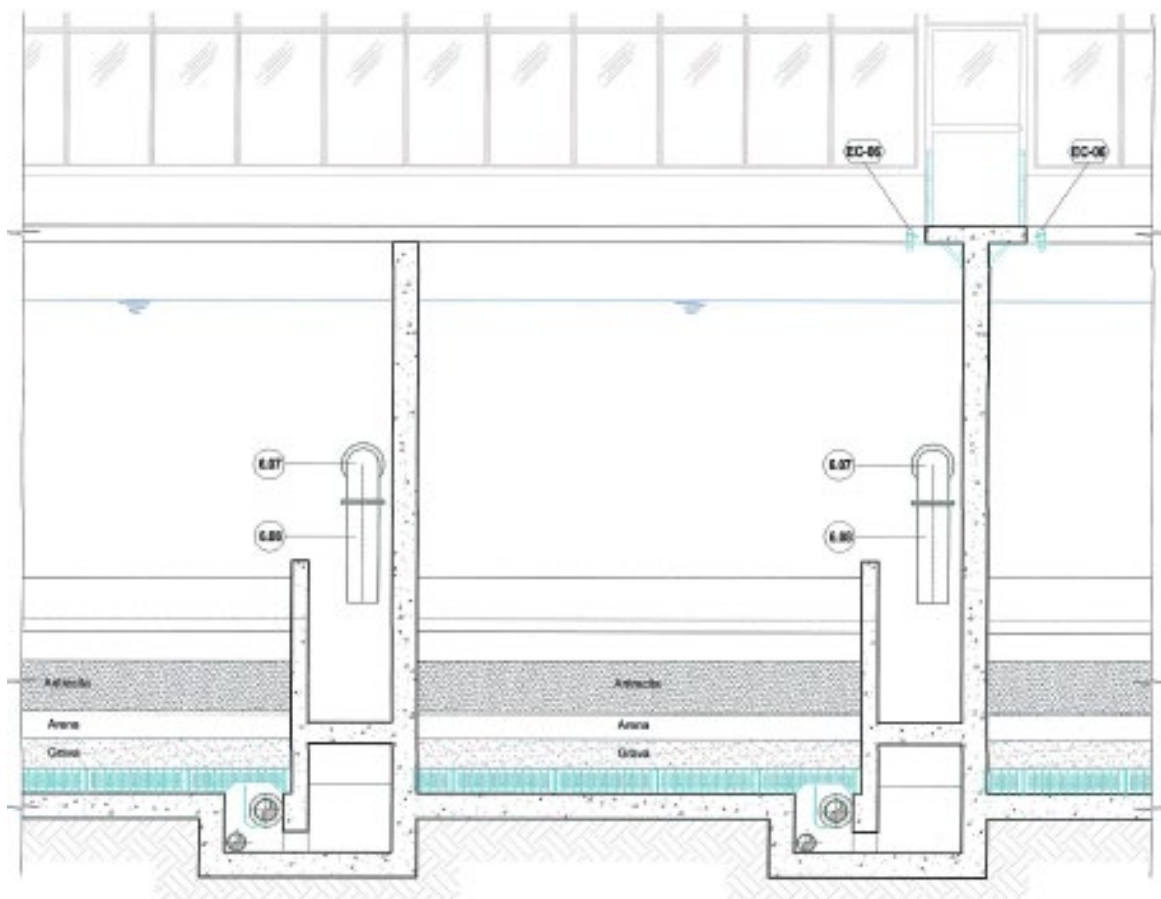


Ilustración 38. Disposición del filtro de estudio, módulo I.
Fuente: Manual de operaciones Modulo II

Anexo 5

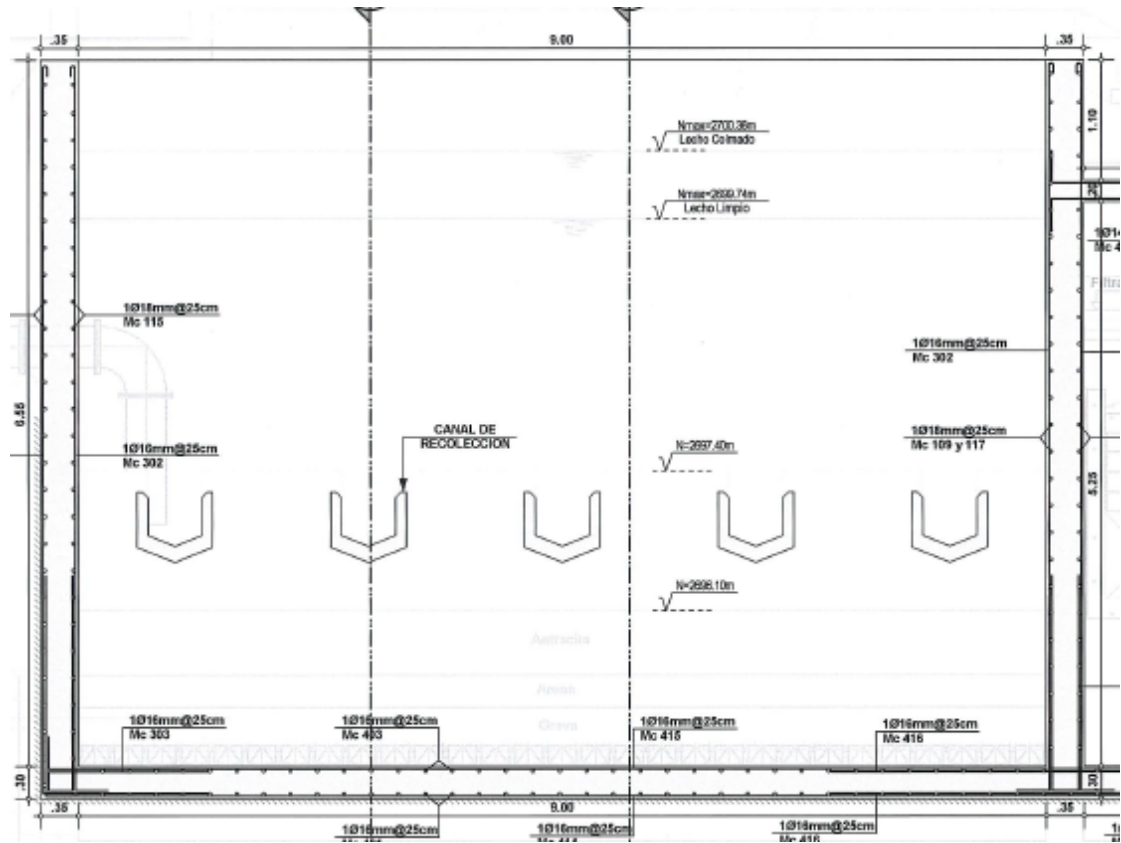


Ilustración 38. Plano del filtro de estudio, módulo II.
Fuente: Manual de operaciones Modulo II

Anexo 6

Filtro 1

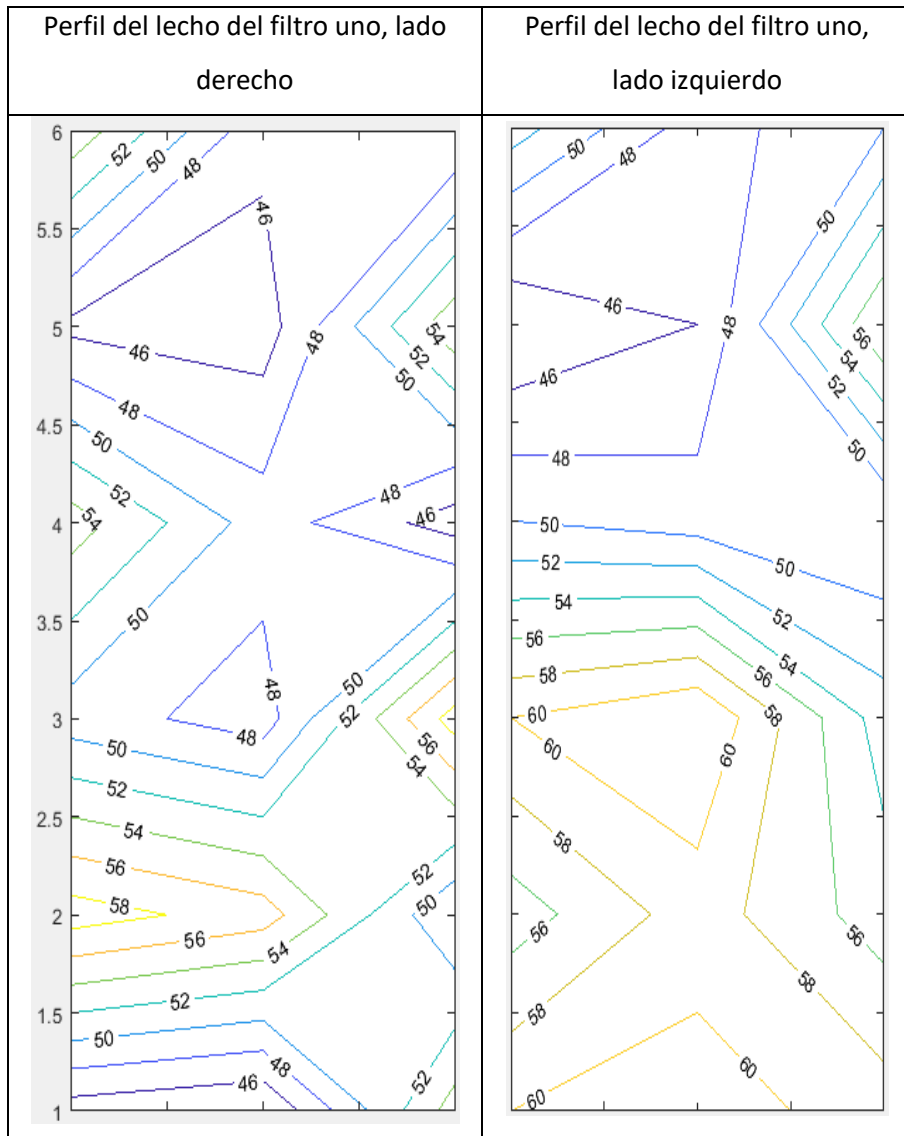


Ilustración 39. Perfil del lecho. Filtro 1. Fuente: Abad – Guaraca

Anexo 7

Filtro 2

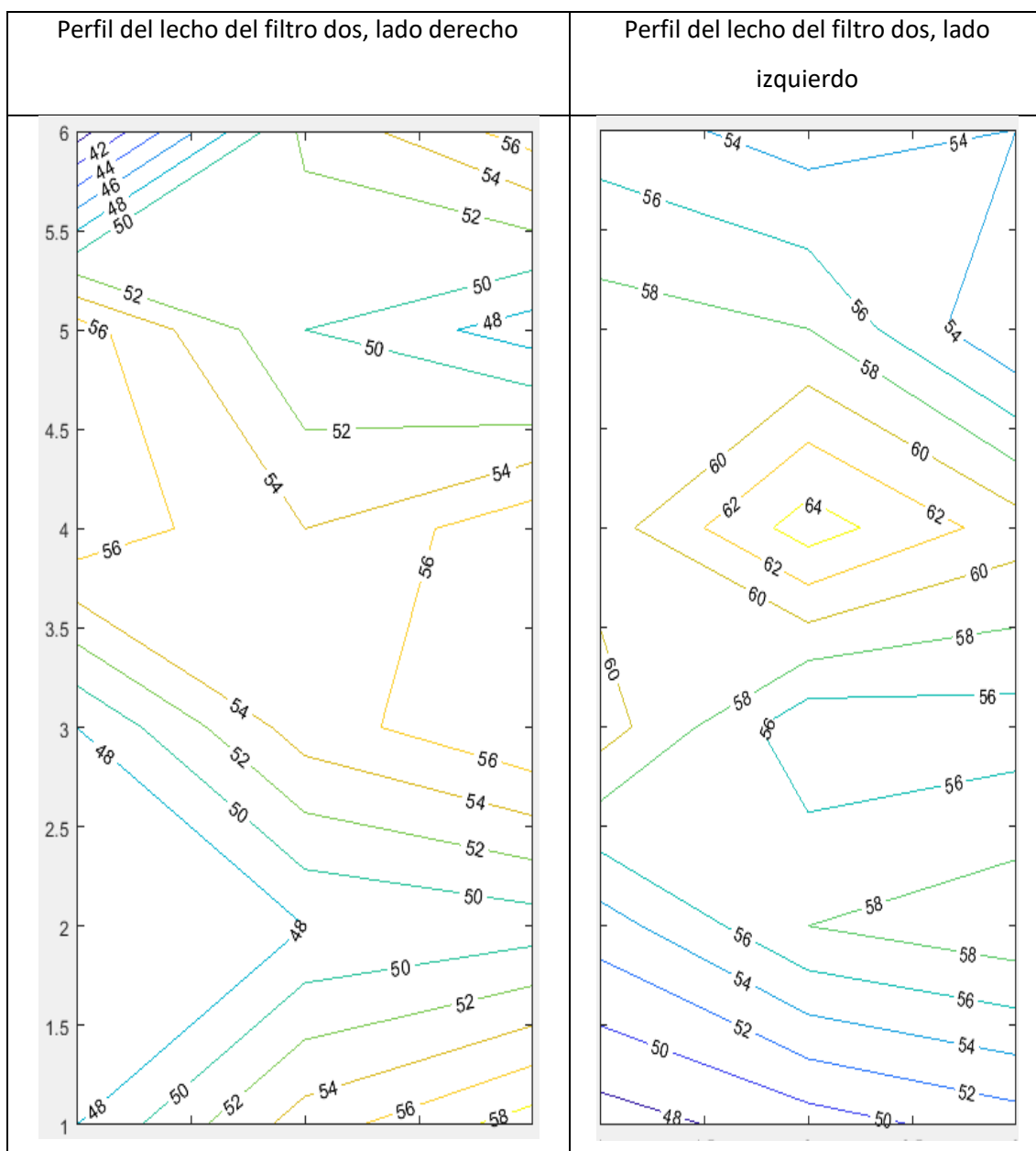


Ilustración 40. Perfil del lecho. Filtro 2. Fuente: Abad – Guaraca

Filtro 3

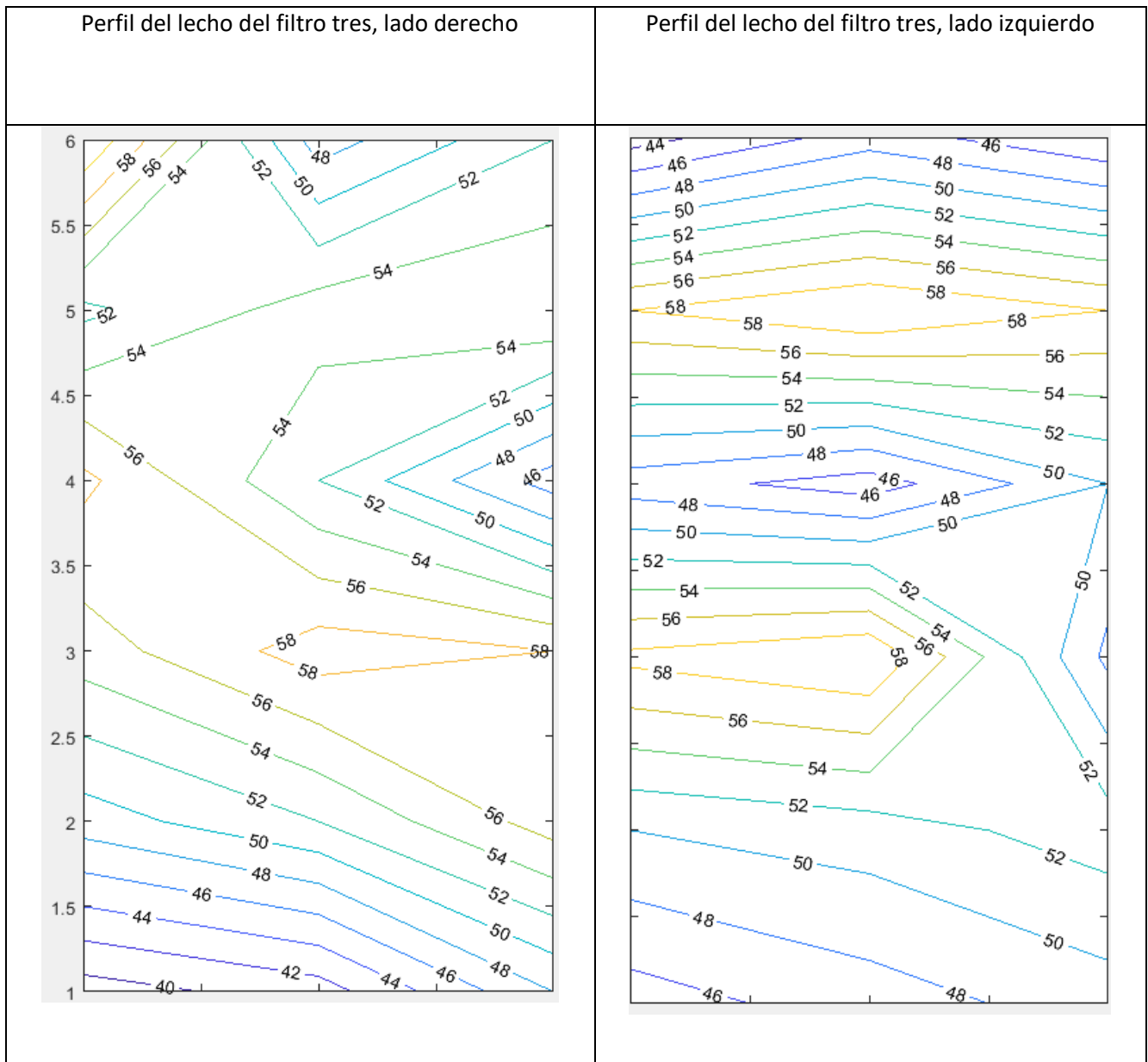


Ilustración 41. Perfil del lecho. Filtro 3. Fuente: Abad – Guaraca

Filtro 4

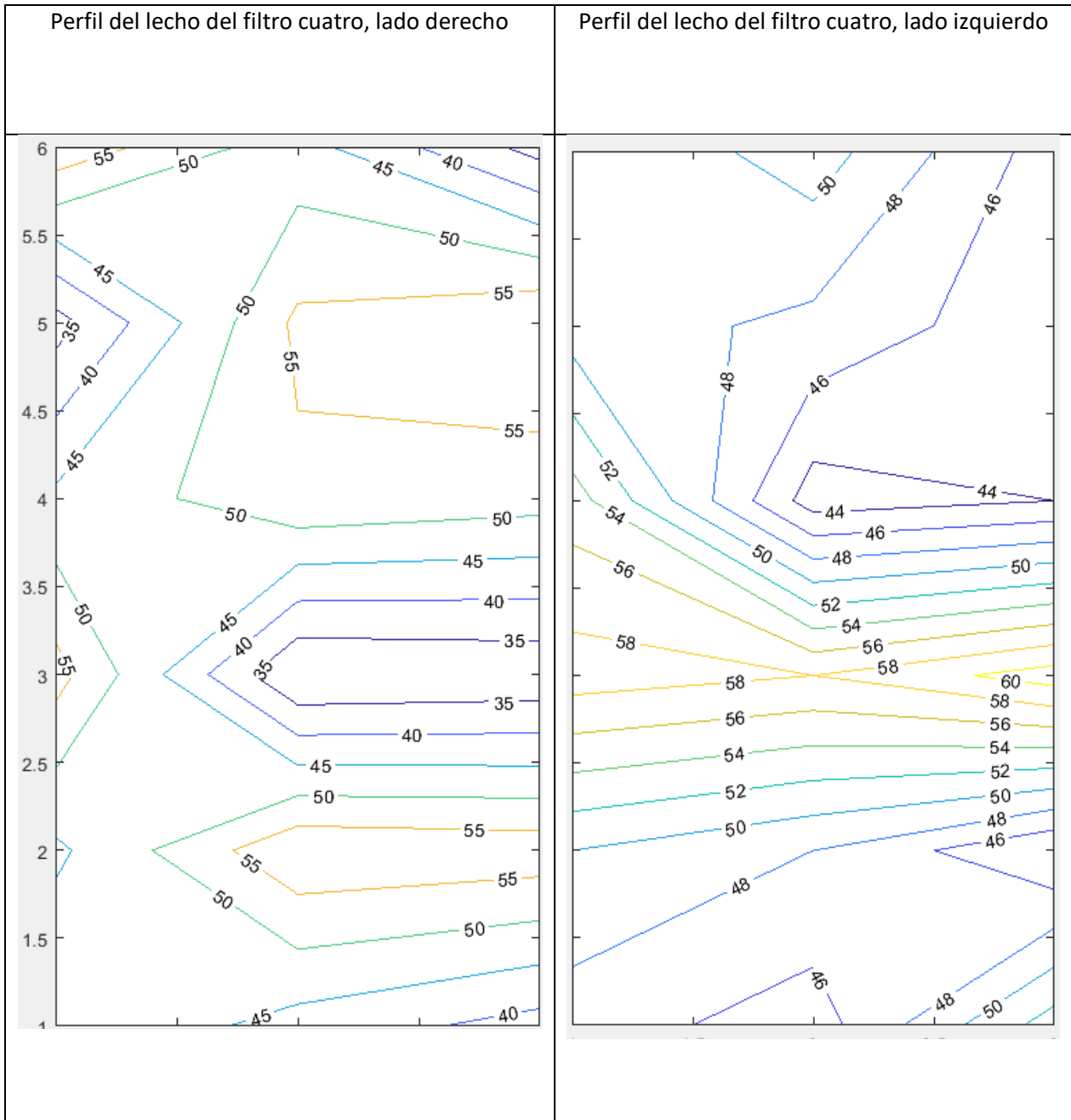


Ilustración 42. Perfil del lecho. Filtro 4. Fuente: Abad – Guaraca

Filtro 5

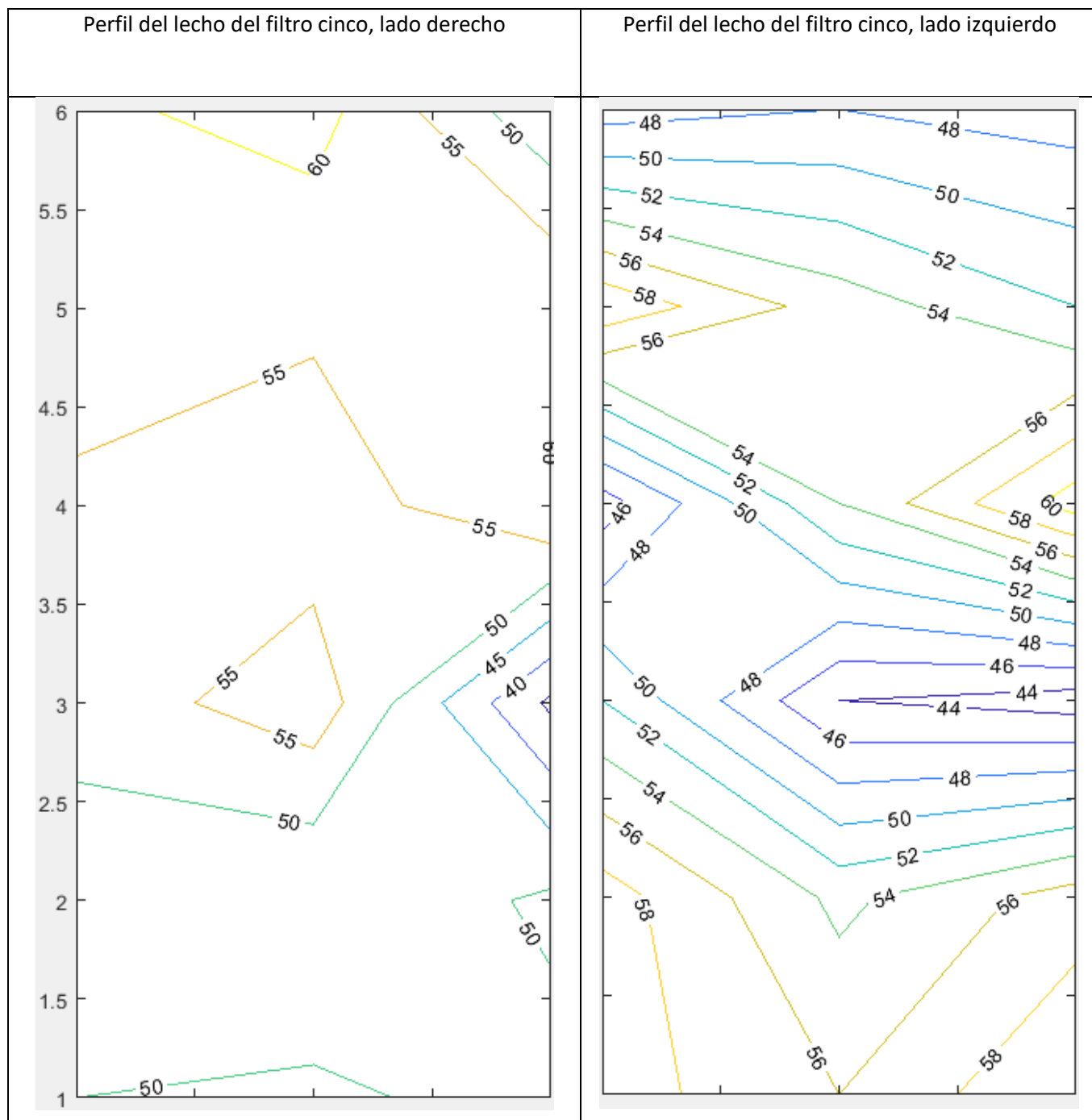


Ilustración 43. Perfil del lecho. Filtro 5. Fuente: Abad – Guaraca

Anexo 11

Filtro 6

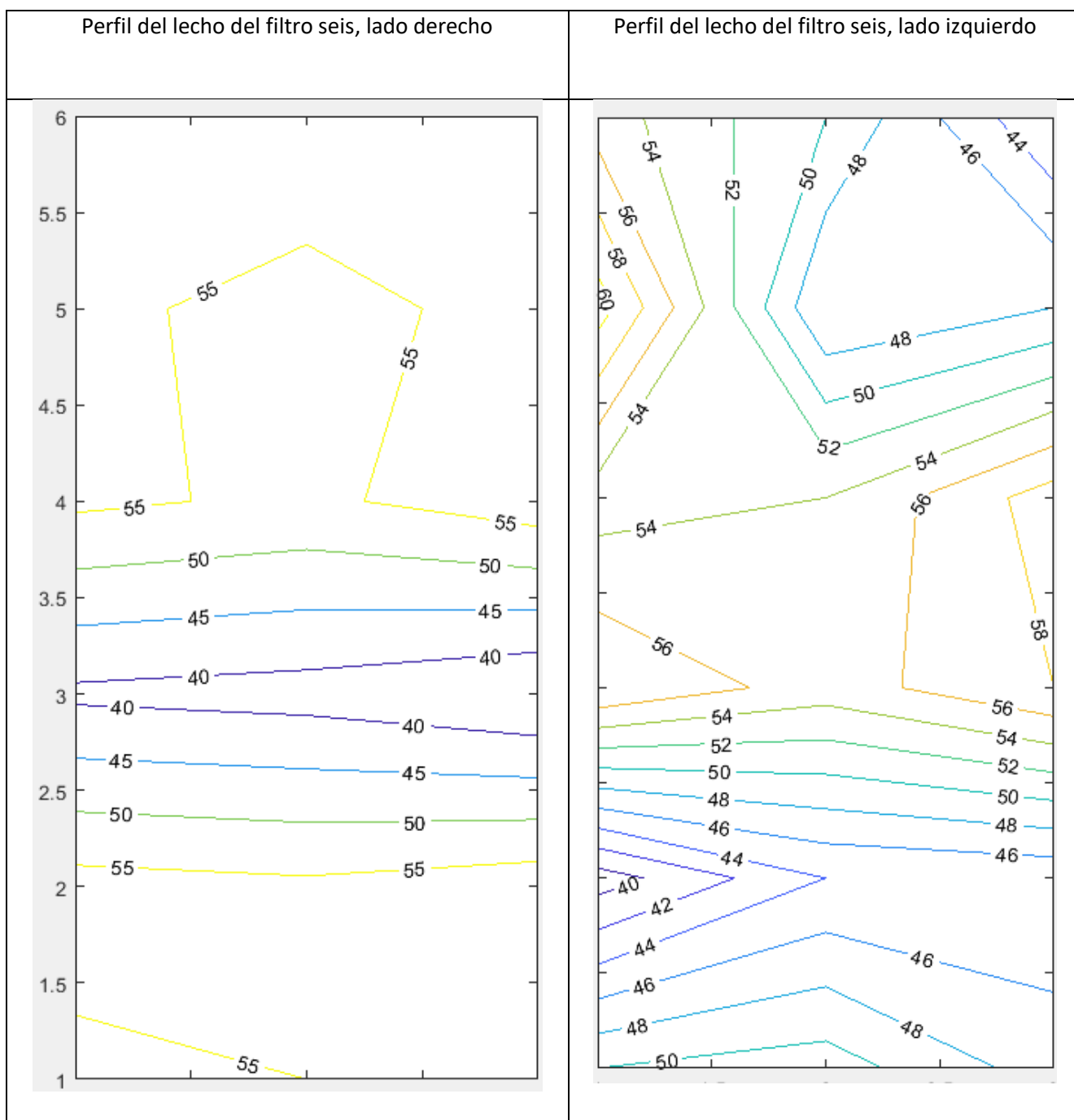


Ilustración 44. Perfil del lecho. Filtro 6. Fuente: Abad – Guaraca

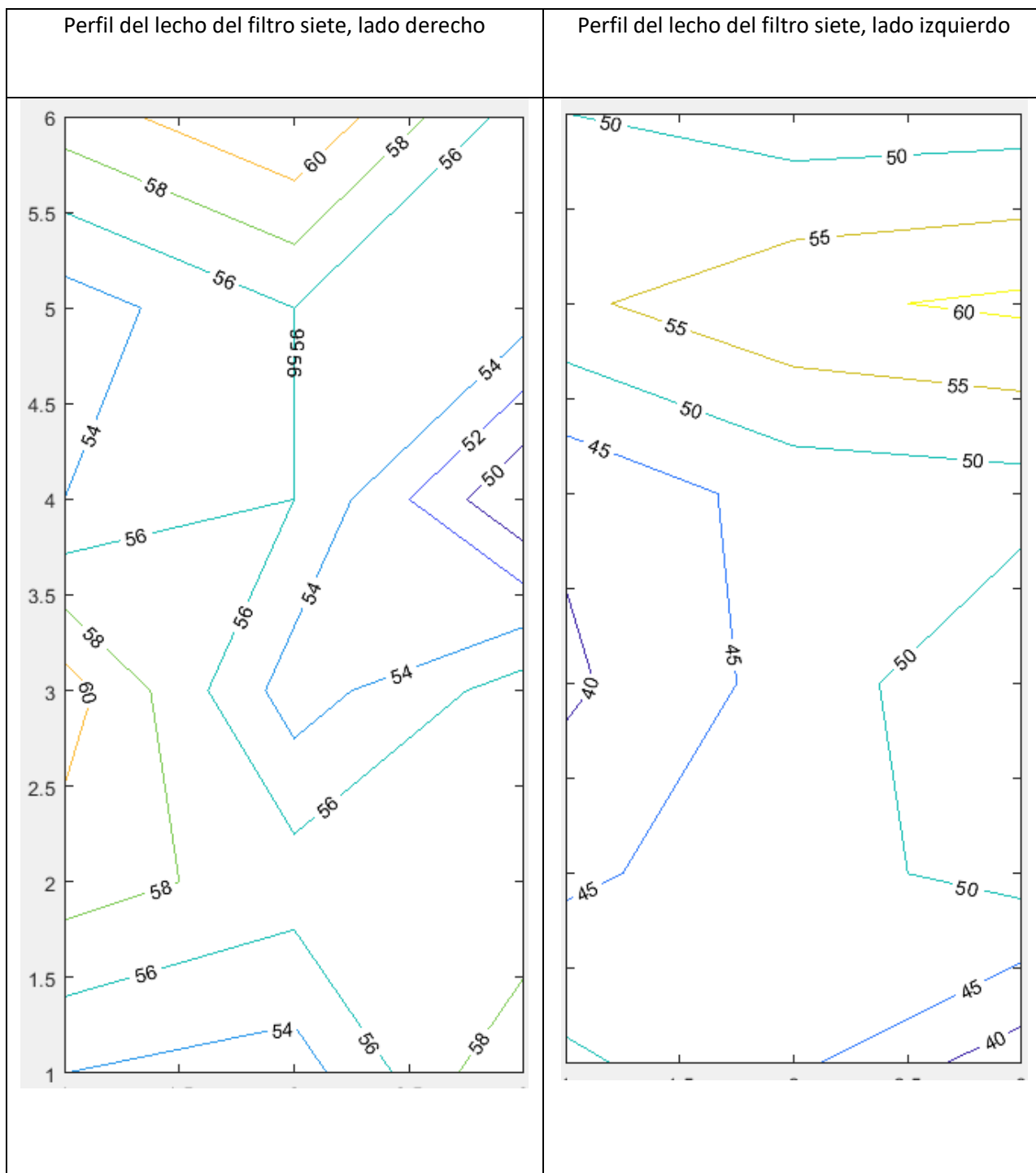


Ilustración 45. Perfil del lecho. Filtro 7. Fuente: Abad – Guaraca

Filtro 8

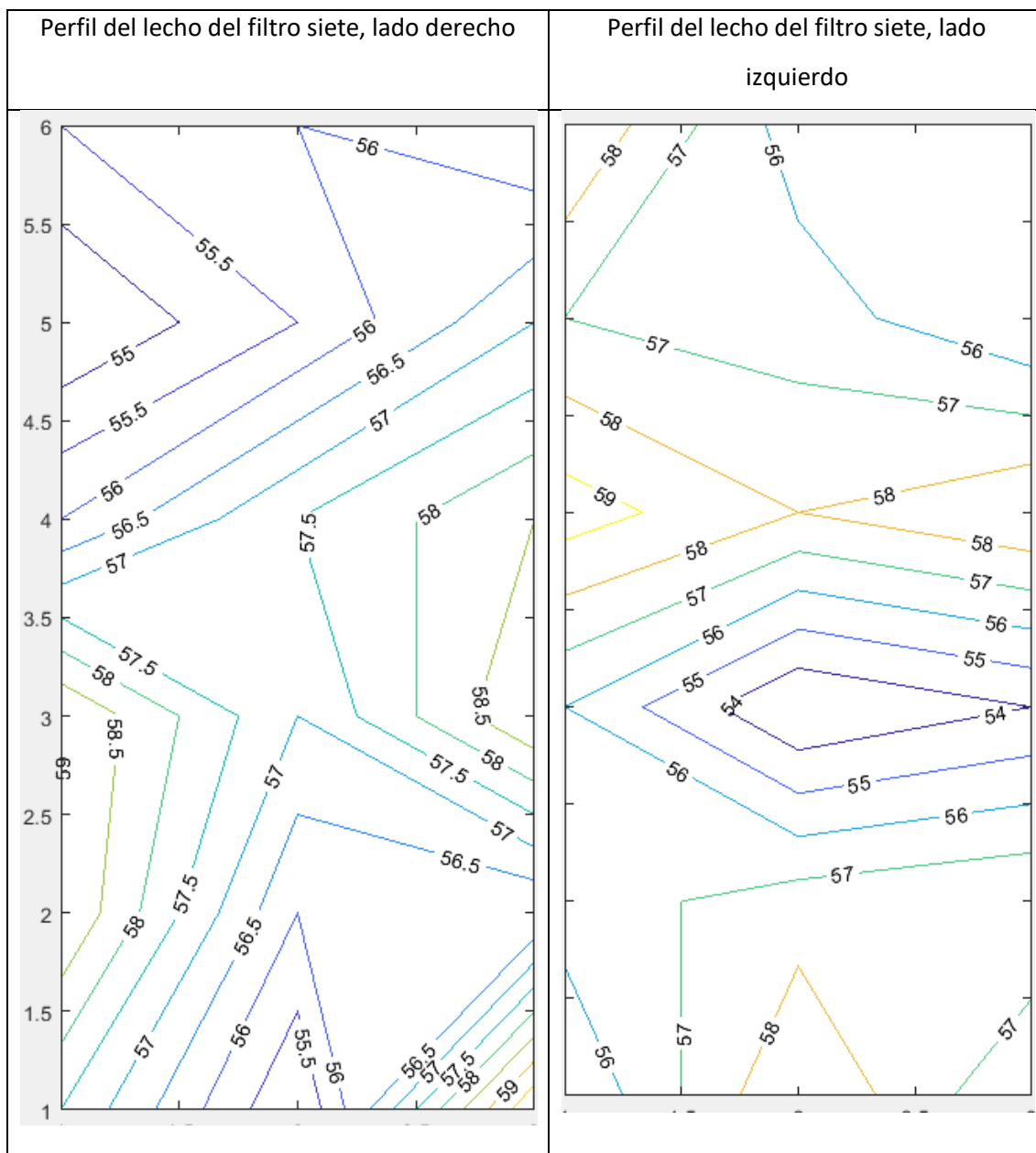


Ilustración 46. Perfil del lecho. Filtro 8. Fuente: Abad – Guaraca

Anexo 14

Filtro 9

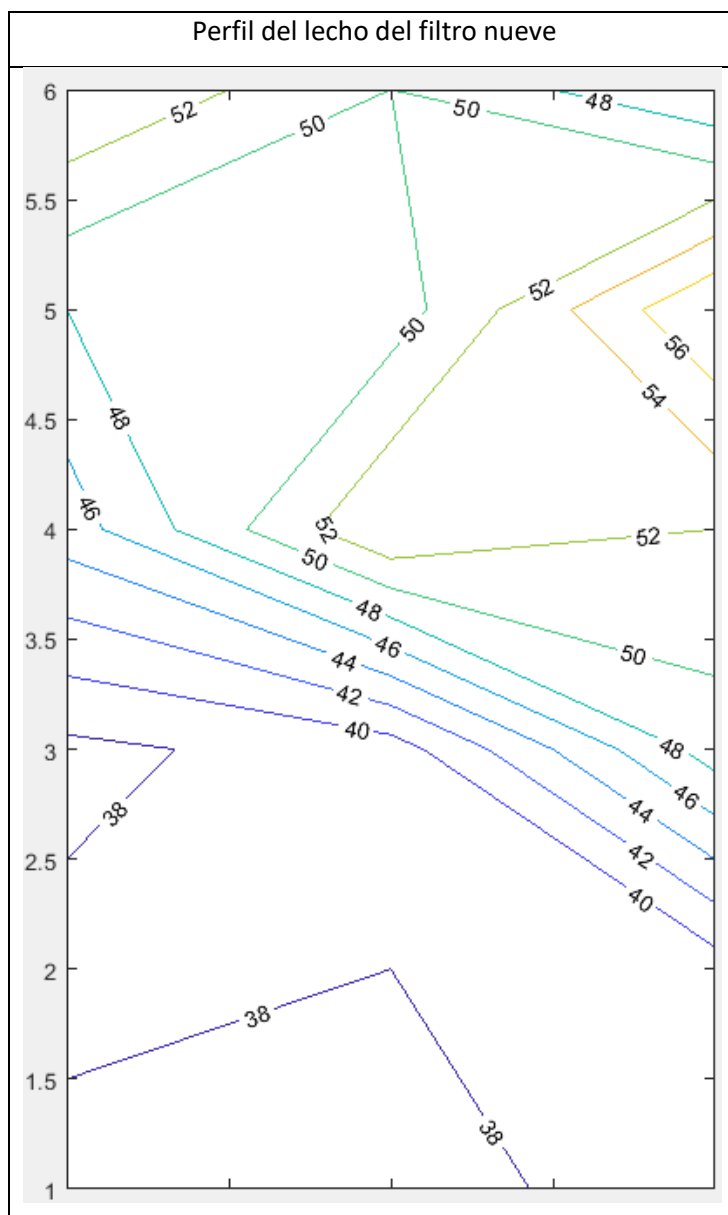


Ilustración 47. Perfil del lecho. Filtro 9. Fuente: Abad – Guaraca

Filtro 10

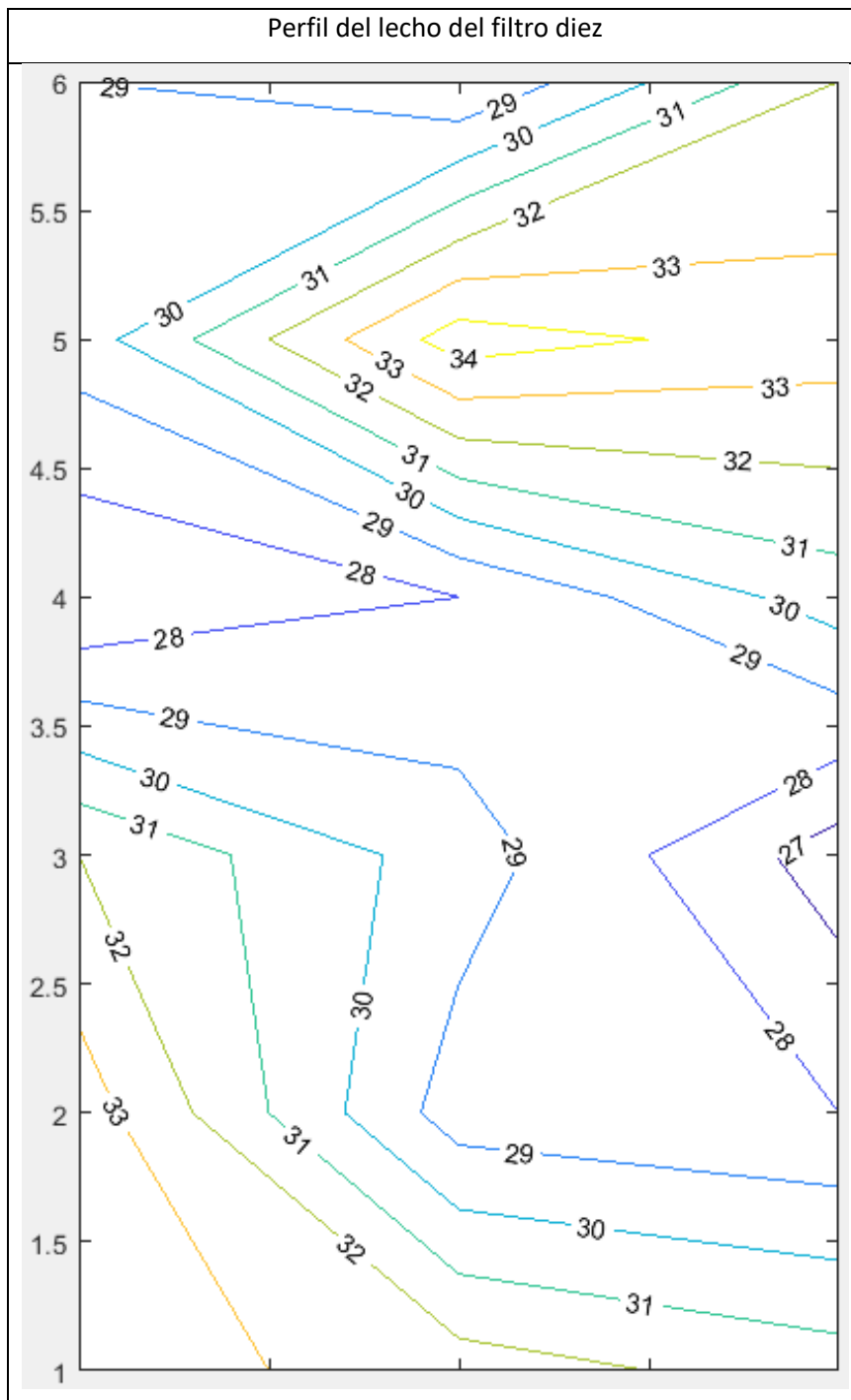


Ilustración 48. Perfil del lecho. Filtro 10. Fuente: Abad – Guaraca

Filtro 11

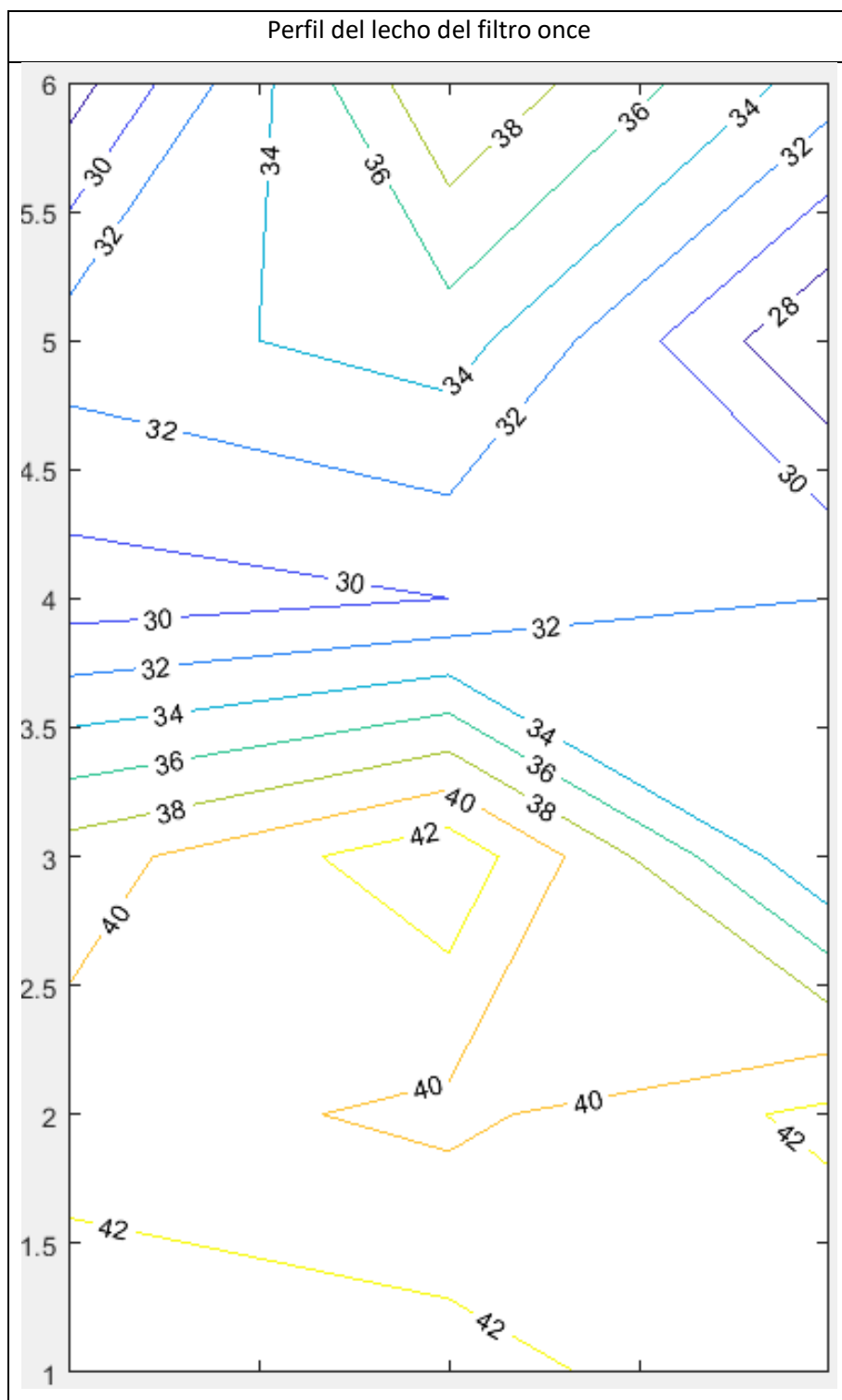
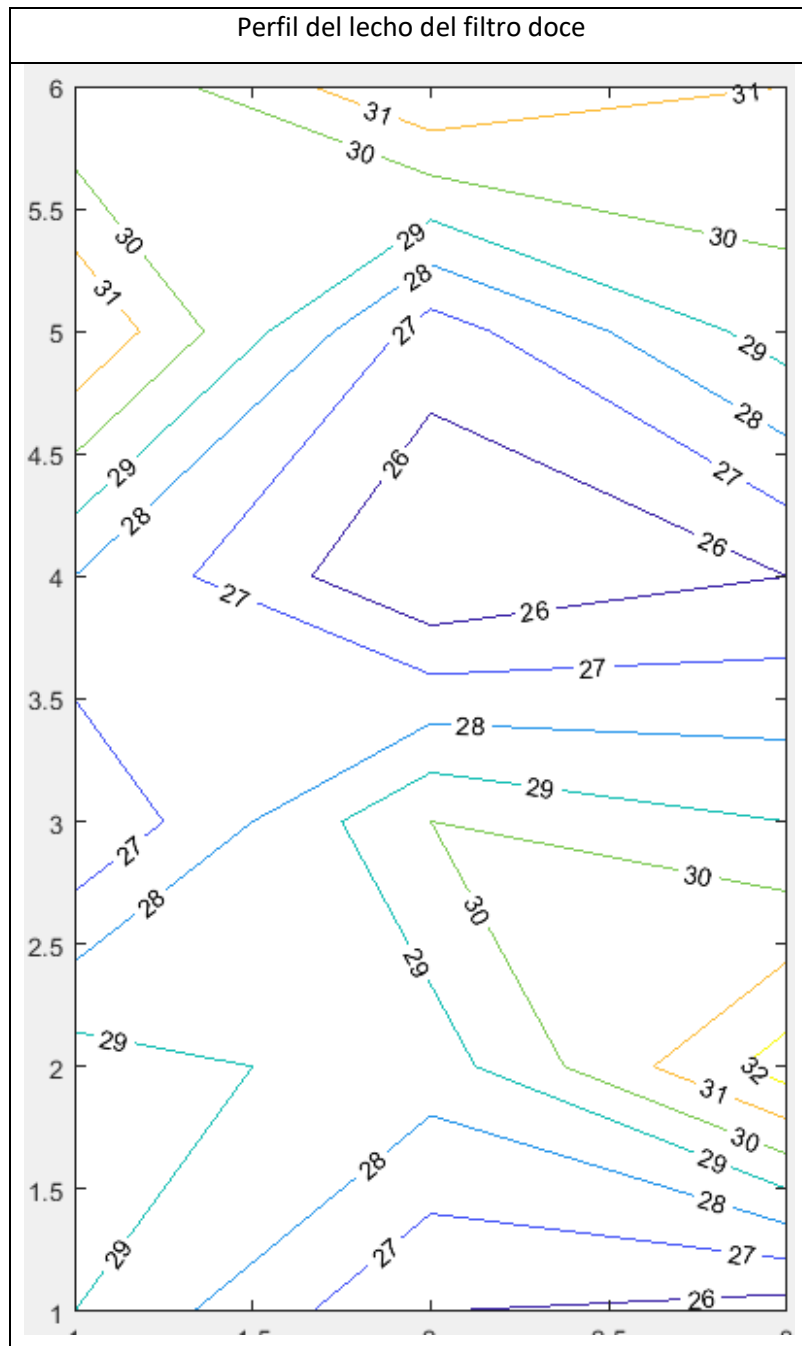


Ilustración 49. Perfil del lecho. Filtro 11. Fuente: Abad – Guaraca

Anexo 17

Filtro 12



Filtro 13

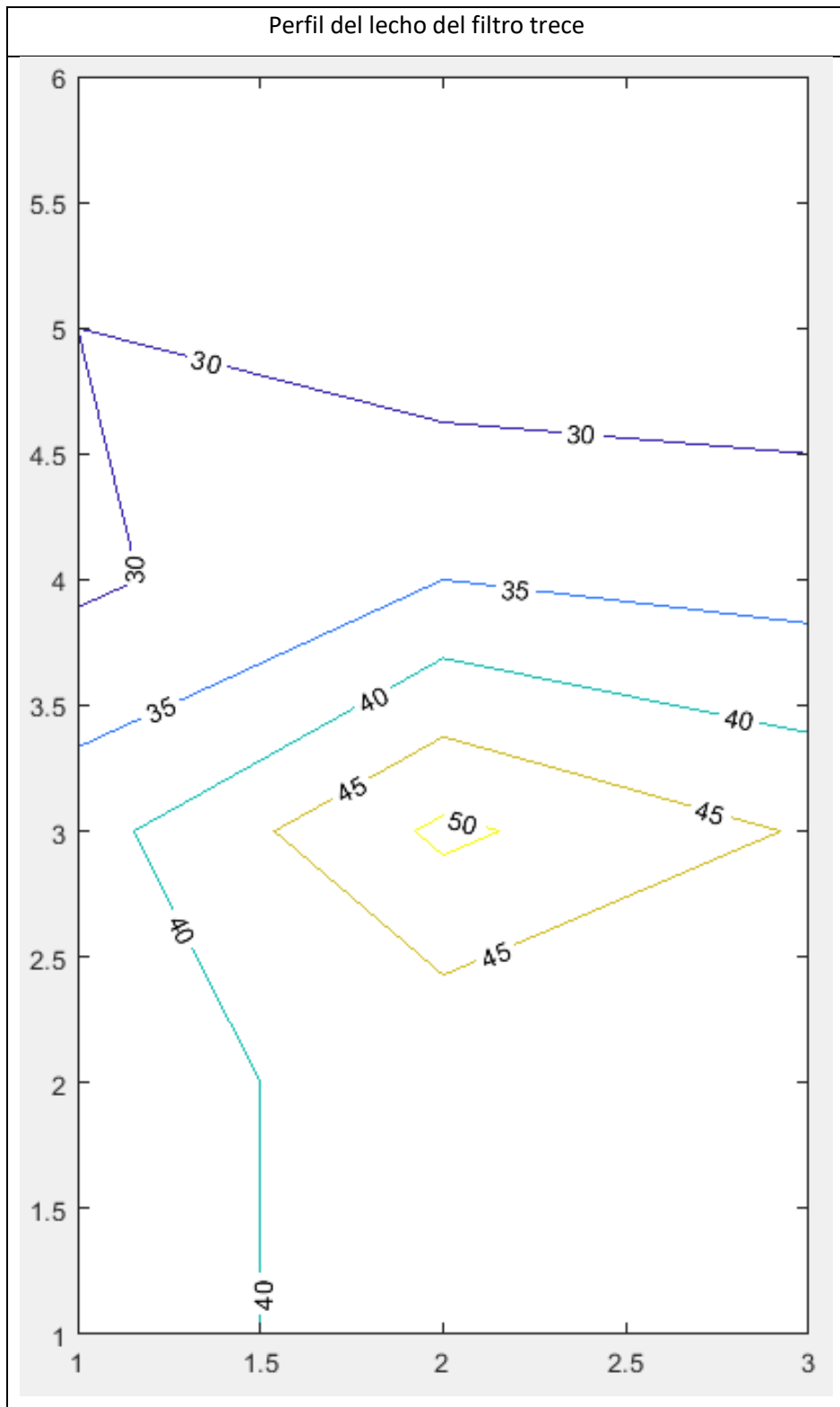


Ilustración 51. Perfil del lecho. Filtro 13. Fuente: Abad – Guaraca

Filtro 14

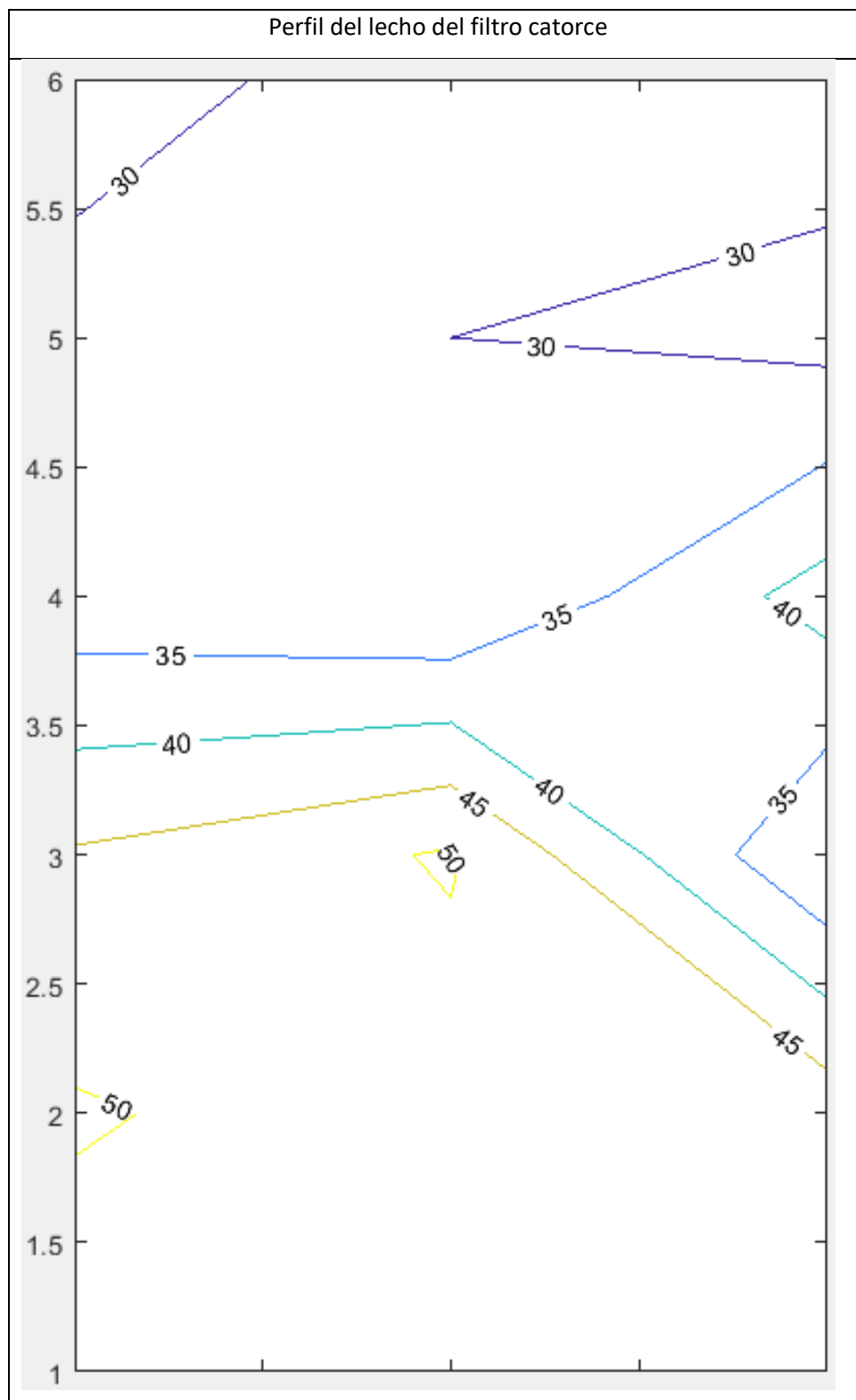


Ilustración 51. Perfil del lecho. Filtro 14. Fuente: Abad – Guaraca

Filtro 15

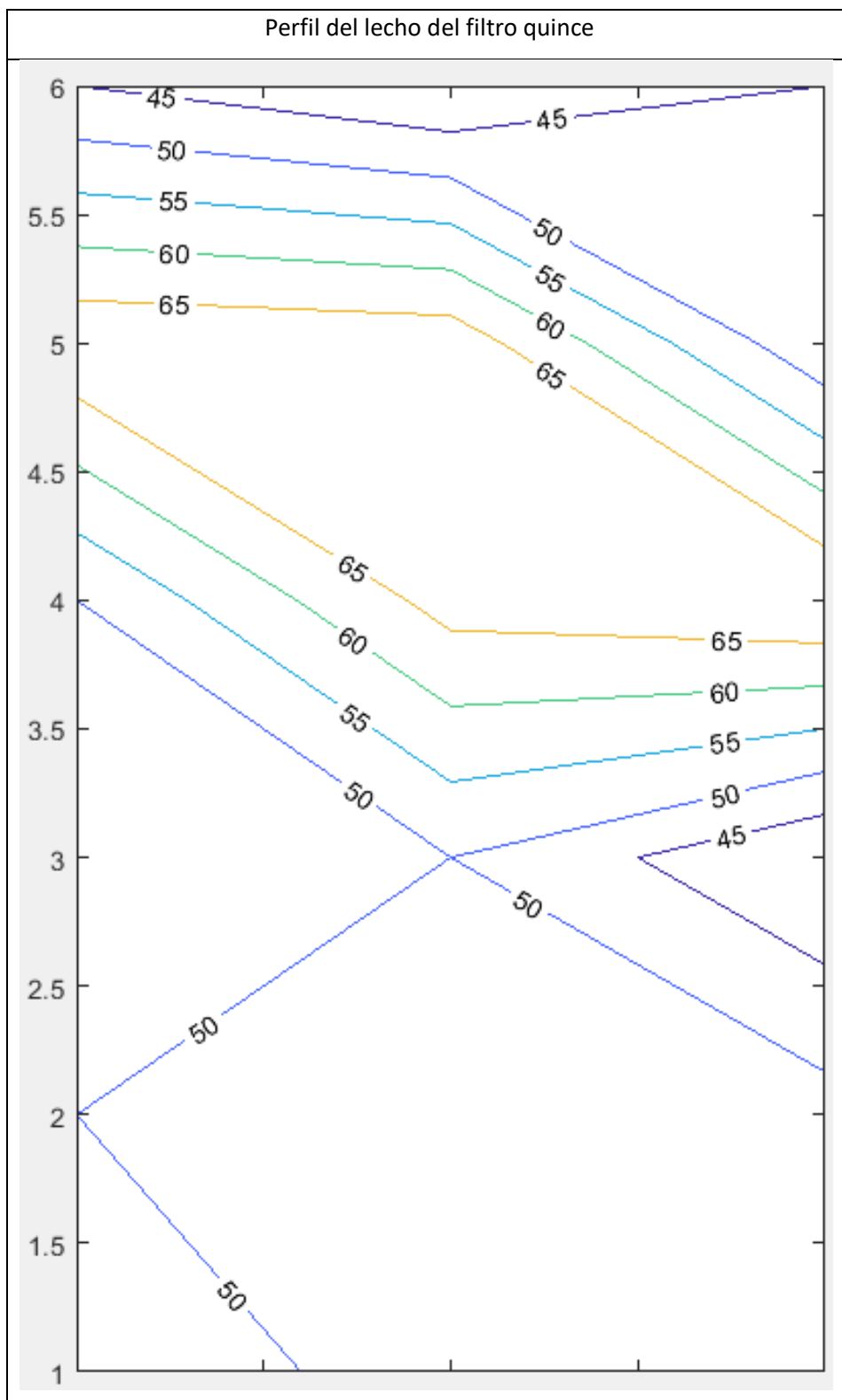


Ilustración 52. Perfil del lecho. Filtro 15. Fuente: Abad – Guaraca

Filtro 16

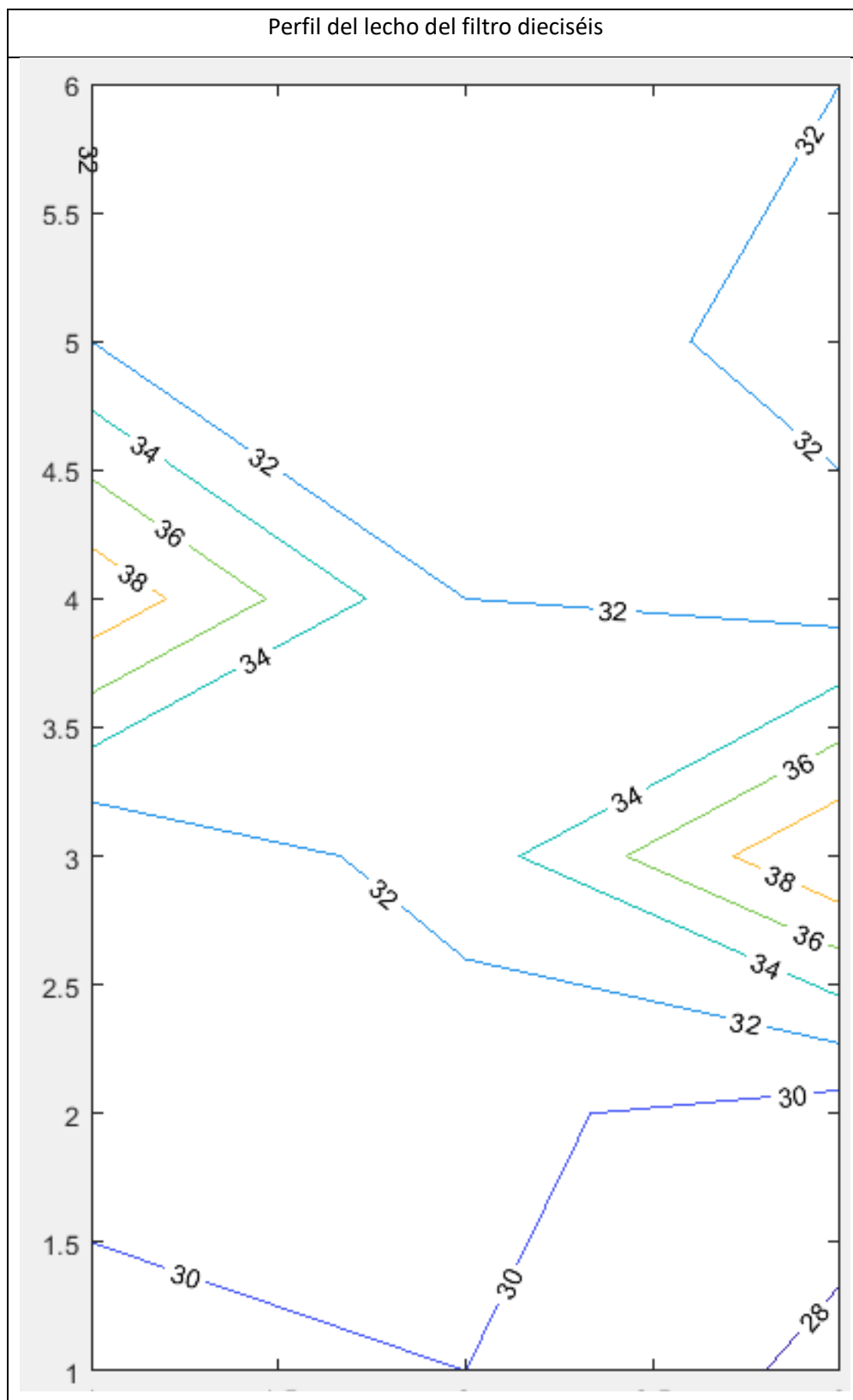


Ilustración 53. Perfil del lecho. Filtro 16. Fuente: Abad – Guaraca