



UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Civil**

**“Evaluación hidráulica-sanitaria de la planta de tratamiento de agua potable del
cantón El Tambo- Cañar”**

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

Autores:

Jonnathan Adrián Piña Fernández.

C.I. 0302292495

Iván Jesús Ochoa Ochoa.

C.I. 0302299482

Director:

Dra. Gladys Guillermina Pauta Calle.

C.I:0300691045

Cuenca – Ecuador

22/04/2019



RESUMEN

El propósito de esta evaluación es verificar que los procesos de potabilización realizados en la planta de Agua Potable del cantón El Tambo se realicen de manera correcta. Para la evaluación se empleó métodos experimentales y técnicas de análisis, se realizaron análisis físico, químico y microbiológico durante 5 meses. Estos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de la planta y en el laboratorio de sanitaria de la universidad de Cuenca utilizando los instrumentos necesarios para encontrar los parámetros requeridos.

Mediante ensayos en planta se evidenció problemas constructivos en las unidades los cuales perjudican los procesos de potabilización. Además, no se realiza una correcta dosificación de los coagulantes, polímero y cloro. Por lo tanto, se presentan alternativas de corrección en las unidades tanto estructural como funcional.

Se concluye que con la evaluación de la planta de agua potable los responsables de la Empresa de Agua Potable y Alcantarillado de EL Tambo (EMAPAT) capacitará al personal de la planta para que lleven a cabo un eficiente control de calidad del agua distribuida y se realicen las correcciones necesarias con el propósito de abastecer a la población de agua de calidad para garantizar su salud y bienestar.

Palabras claves: Tambo. Agua. Potable. Evaluación. Unidades. Dosificación. Calidad. Salud.



ABSTRACT

The purpose of this evaluation is to verify that the purification process made in the water purification plant from El Tambo, were correctly applied. For this evaluation there were used experimental methods and analysis techniques, like physical, chemical and microbiological during a five month period, these analysis were made at the plant laboratory and at the Universidad de Cuenca's sanitary laboratory, using the adequate instruments to find the required parameters.

Through trials at the plant, it was exhibited some constructive problems on the units, which harm the purification process, besides there is a wrong dosage of coagulants, polymer and chlorine. Therefore this study presents corrective alternatives for the units, as much as structural and functional corrections.

The analysis conclude that, with the purification plant evaluation, the responsible people from the "Empresa de agua potable y alcantarillado del Tambo (EMAPAT)" will train the plant workers, so they can make an efficient quality control of the distributed water, and the necessary corrections with the purpose of provide with quality water to the population and guarantee their health and wellbeing.

Keywords: Tambo. Water. Evaluation. Units. Dosage. Quality. Health.



ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	10
Capítulo 1. Introducción.....	21
1.1 Antecedentes.....	22
1.2 Justificación.....	23
1.3 Objetivos.....	23
Capítulo 2. Marco Teórico.....	24
2.1 Calidad de Agua.....	24
2.2 Características del agua cruda.....	24
2.3 Agua Potable.....	25
2.4 Características físicas.....	25
2.4.1 Color.....	25
2.4.2 Turbiedad.....	26
2.4.3 Olor y sabor.....	26
2.5 Características químicas.....	27
2.5.1 Potencial de Hidrógeno (PH).....	27
2.5.2 Conductividad.....	27
2.5.3 Dureza.....	28
2.5.4 Cloruros.....	28



Universidad de Cuenca

2.5.5	Hierro.	28
2.5.6	Alcalinidad.	29
2.5.7	Manganeso.	29
2.6	Calidad Bacteriológica.	29
2.7	Estudios de caracterización.	29
2.8	Sistema Convencional de Tratamiento.	30
2.8.1	Estructura de Captación.	30
2.8.2	Filtros de Pretratamiento.	31
2.8.3	Coagulación.....	31
2.8.4	Floculación.....	32
2.8.5	Sedimentación.	33
2.8.6	Filtración.	34
2.8.7	Desinfección.....	35
Capítulo 3.	Metodología.....	36
3.1	Captación.	36
3.1.1	Descripción.....	36
3.1.2	Evaluación.....	36
3.2	Filtros de grava horizontal para pretratamiento.....	37
3.2.1	Descripción.....	37
3.2.2	Evaluación.....	37



Universidad de Cuenca

3.3	Conducción.....	37
3.3.1	Descripción.....	37
3.3.2	Evaluación.....	37
3.4	Planta de tratamiento.....	38
3.4.1	Unidad Coagulación.....	38
3.4.2	Unidad de Mezcla Rápida.....	41
3.4.3	Unidad de Mezcla lenta. Floculación.....	43
3.4.4	Unidades de Sedimentación.....	45
3.4.5	Unidades de Filtración.....	47
3.4.6	Unidad de Desinfección.....	48
3.4.7	Tanque de reserva.....	49
3.5	Ensayos realizados.....	54
3.5.1	Ensayo de trazadores.....	54
3.5.2	Ensayo de jarras.....	54
Capítulo 4.	Resultados.....	57
4.1	Captación.....	57
4.1.1	Ubicación de la captación.....	57
4.1.2	Estado actual de la infraestructura.....	58
4.1.3	Geometría de la estructura.....	60
4.1.4	Estado del cerramiento.....	62



Universidad de Cuenca

4.1.5	Presencia de válvula de control.....	62
4.2	Filtro de Pretratamiento.....	63
4.2.1	Estado actual de los filtros y cerramiento.....	64
4.2.2	Granulometría de la grava de los filtros.....	66
4.2.3	Evaluar la eficiencia de los filtros.....	68
4.3	Conducción.....	69
4.4	Planta de Tratamiento.....	69
4.4.1	Coagulación.....	70
4.4.2	Mezcla rápida.....	76
4.4.3	Floculación.....	82
4.4.4	Sedimentadores.....	90
4.4.5	Filtros.....	97
4.4.6	Unidad de cloración.....	103
4.4.7	Tanque de reserva.....	106
4.5	Caracterización del agua.....	108
4.5.1	Ensayos de tratabilidad.....	108
4.5.2	Análisis bacteriológico.....	109
Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones.....		113
Bibliografía.....		116
Anexos.....		118



ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Tiempo de Asentamiento para diversas partículas.....	34
Tabla 2 Relación de Temperatura	43
Tabla 3 Gradientes óptimos de mezcla	43
Tabla 4 Dotaciones recomendadas.....	51
Tabla 5 Dotación de agua contra incendios	52
Tabla 6. Granulometría del árido grueso.....	66
Tabla 7. Granulometría del árido fino.....	67
Tabla 8. Tabla de color de agua cruda y filtrada.....	68
Tabla 9. Tabla de color de agua cruda y filtrada.....	68
Tabla 10 Volumen del tanque de disolución.....	72
Tabla 11 Caudal del dosificador	74
Tabla 12 Concentraciones	74
Tabla 13 Calibración del dosificador 1 de sulfato.....	75
Tabla 14 Calibración del dosificador 2 de sulfato.....	75
Tabla 15 Calibración del dosificador de polímero.....	75
Tabla 16. Rango de Trabajo	76
Tabla 17 Dimensionamiento de la tubería en la mezcla rápida.	80
Tabla 18. Cálculo del gradiente de velocidad de la mezcla rápida.	82
Tabla 19. Cálculo de gradiente de velocidad en la cámara 2 con dimensiones reales.	87
Tabla 20. Cálculo del gradiente de velocidad en la cámara 2 con dimensiones del diseño.....	88



Universidad de Cuenca

Tabla 21. Cálculo de gradiente de velocidad en la cámara 2 con dimensiones reales.	89
Tabla 22. Carga superficial real y teórica	95
Tabla 23. Aforo filtros.....	102
Tabla 24. Registro de cloro residual en la red de distribución.....	106
Tabla 25 Volúmenes de diseño	108
Tabla 26 Resultado del ensayo de jarras.	109



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Esquema de la Planta	38
Ilustración 2 Esquema de la planta.....	50
Ilustración 3 Equipo de jarras.	55
Ilustración 4.Ubicación de la captación.	57
Ilustración 5. Captación.	57
Ilustración 6 Muro de encauzamiento.	58
Ilustración 7. Vertedero del cauce del rio.	58
Ilustración 8. Vertedero de rebase.....	59
Ilustración 9. Cámara de captación.	59
Ilustración 10. Dimensiones de la cámara de captación y vertedero de rebose en Planta.	60
Ilustración 11. Dimensiones del muro de contención.	61
Ilustración 12. Dimensiones del vertedero del cauce del rio.	61
Ilustración 13 Corte A-A.....	61
Ilustración 14. Cerramiento de la captación.....	62
Ilustración 15. Cámara de captación sin válvula.....	63
Ilustración 16. Ubicación de los filtros de pretratamiento.	63
Ilustración 17 Estado filtros de pretratamiento	64
Ilustración 18. Cerramiento de los filtros de pretratamiento.....	65
Ilustración 19 Estado de los Filtros de pretratamiento (29 de noviembre del 2018)	65
Ilustración 20 Filtros inundados (05 de enero del 2019).....	66



Universidad de Cuenca

Ilustración 21 Curva granulométrica de los prefiltros.....	67
Ilustración 22 Tubería de la conducción.	69
Ilustración 23 Esquema de la planta.....	70
Ilustración 24 Ubicación de la bodega.	71
Ilustración 25. Interior de la bodega.	71
Ilustración 26 Tanque de disolución.	72
Ilustración 27 Dosificador.....	73
Ilustración 28 Sistema por número de vueltas.	73
Ilustración 29 Dimensiones del diseño de la estructura en planta.	77
Ilustración 30 Corte transversal A-A de la estructura de la mezcla rápida (Diseño).....	77
Ilustración 31 Dimensiones reales de la estructura.	78
Ilustración 32 Corte transversal B-B de la estructura de la mezcla rápida (Real)	78
Ilustración 33 Punto de aplicación del coagulante.	79
Ilustración 34 Gráfica Conductividad vs Tiempo	81
Ilustración 35 Dimensiones del diseño de la estructura.....	83
Ilustración 36 Dimensiones reales de la estructura	83
Ilustración 37 Vista lateral de la cámara 2 (Diseño)	84
Ilustración 38 Vista lateral de la cámara 2 (Real)	84
Ilustración 39 grafica de conductividad vs Tiempo en la zona 1	86
Ilustración 40 grafica de conductividad vs Tiempo en la unidad.....	86
Ilustración 41. Color agua cruda y agua sedimentada (Enero 2018).	90
Ilustración 42. Color agua cruda y agua sedimentada (Febrero 2018).	90
Ilustración 43. Color agua cruda y agua sedimentada (Marzo 2018).	91



Universidad de Cuenca

<i>Ilustración 44. Color agua cruda y agua sedimentada (Julio 2018).</i>	91
Ilustración 45 Color agua cruda y agua sedimentada (Agosto 2018).....	91
Ilustración 46. Color agua cruda y agua sedimentada (Septiembre 2018).....	92
<i>Ilustración 47. Color agua cruda y agua sedimentada (Octubre 2018).</i>	92
Ilustración 48. Color agua cruda y agua sedimentada (noviembre 2018).....	92
Ilustración 49. Color agua cruda y agua sedimentada (Enero 2019).	93
Ilustración 50. Color agua cruda y agua sedimentada (Promedio mensual).	93
Ilustración 51 Dimensiones de diseño de los sedimentadores.	94
Ilustración 52 Dimensiones reales de los sedimentadores.	94
Ilustración 53 Dimensiones de la estructura de conexión.....	95
Ilustración 54 Esquema de las tuberías recolectoras.....	96
Ilustración 55. Color agua sedimentada y agua filtrada (Enero 2018).....	97
Ilustración 56.Color agua sedimentada y agua filtrada (Febrero 2018).....	97
Ilustración 57. Color agua sedimentada y agua filtrada (Marzo 2018).....	98
Ilustración 58. Color agua sedimentada y agua filtrada (Julio 2018).	98
Ilustración 59. Color agua sedimentada y agua filtrada (Agosto 2018).....	99
Ilustración 60. Color agua sedimentada y agua filtrada (Septiembre 2018).....	99
Ilustración 61. Color agua sedimentada y agua filtrada (Octubre 2018).	99
Ilustración 62. Color agua sedimentada y agua filtrada (Noviembre 2018).	100
Ilustración 63. Color agua sedimentada y agua filtrada (Enero 2019).....	100
Ilustración 64. Color agua sedimentada y agua filtrada (Promedio mensual).	101
Ilustración 65. Dimensiones especificadas en los planos de diseño.	101
Ilustración 66. Dimensiones reales de los filtros.	102



Universidad de Cuenca

Ilustración 67 Esquema de la entrada de la cámara de cloración.....	103
Ilustración 68 Aplicación del cloro	104
Ilustración 69 Ventilación de la caseta de cloración.....	104
Ilustración 70 Almacenamiento del cloro gas.....	105
Ilustración 71 Tanque de reserva 1	107
ilustración 72 Filtración de tanque de reserva 2.....	107



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Jonnathan Adrián Piña Fernández en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Evaluación hidráulica-sanitaria de la planta de tratamiento de agua potable del cantón El Tambo- Cañar”, 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, abril 2019.

Jonnathan Adrián Piña Fernández

C.I: 0302292495



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Iván Jesús Ochoa Ochoa en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Evaluación hidráulica-sanitaria de la planta de tratamiento de agua potable del cantón El Tambo- Cañar”, 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, abril 2019.

Iván Jesús Ochoa Ochoa

C.I: 0302299482



Cláusula de Propiedad Intelectual

Jonnathan Adrián Piña Fernández autor del trabajo de titulación "Evaluación hidráulica-sanitaria de la planta de tratamiento de agua potable del cantón El Tambo- Cañar", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, abril 2019.

Jonnathan Adrián Piña Fernández

C.I:0302292495



Cláusula de Propiedad Intelectual

Iván Jesús Ochoa Ochoa autor del trabajo de titulación "Evaluación hidráulica-sanitaria de la planta de tratamiento de agua potable del cantón El Tambo- Cañar", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, abril 2019.

Iván Jesús Ochoa Ochoa

C.I:0302299482



DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres Roberto y Marcela, quienes me han brindado su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi vida y constituyen el pilar fundamental de este logro académico

Iván Ochoa



DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este logro a Dios y a la Virgen que me regalaron la sabiduría, humildad y valentía para culminar mi carrera profesional. Por apoyarme en los momentos más difíciles, en las noches de estudio y devolverme la esperanza para no rendirme para poder darlo todo hasta el final. Gracias por su presencia.

A mis padres José y Narcisa, quienes fueron un pilar fundamental para poder alcanzar mis metas. Quienes me apoyaron en todos los sentidos, sacrificándose todos los días para que no tenga ninguna necesidad con el propósito de verme triunfar. Por impulsarme a ser una mejor persona corrigiendo mis errores y equivocaciones desde pequeño, brindándome sus consejos y enseñanzas. Por confiar en mis sueños y apoyar mis decisiones. Gracias por el amor y por acompañarme en este camino.

A Jhovanny y Alex, por ser mis compañeros, amigos y sobre todo hermanos. Son los que me impulsan a seguir luchando por mis metas, por enseñarme que todo se puede lograr si te lo propones; compartiendo buenos y malos momentos dentro y fuera de nuestro hogar. Gracias por el apoyo.

Finalmente, dedico mi logro a mi abuelo Rosendo, Johana, Wilson, Enma quienes me brindaron su apoyo y ánimos para seguir adelante ante los obstáculos que se presentaban. Por



Universidad de Cuenca

último, a toda mi familia, mis amigos y compañeros de clase con quienes compartí los mejores momentos de mi vida universitaria. ¡Gracias a todos por estar presentes!

Jonnathan Adrián

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer de manera muy especial a nuestra directora la Dra. Guillermina Pauta Calle docente de la facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, por su ayuda y orientación para la realización de esta tesis. Su sabiduría, experiencia, conocimiento y paciencia han sido fundamentales para culminar con éxito este proyecto.

A las doctoras Gabriela Vásquez y Andrea Abril del laboratorio de sanitaria de la Universidad de Cuenca por su valioso aporte y colaboración en la realización de este trabajo.

A todos nuestros amigos y compañeros con quienes pasamos nuestra vida universitaria.

Iván Ochoa y Adrián Piña



Capítulo 1. Introducción.

El acceso al agua potable es fundamental para la salud, uno de los derechos humanos básicos y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud. “El agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible)”(Héctor Quiñones, 2012). La mejora del acceso al agua potable puede proporcionar beneficios tangibles para la salud. (Héctor Quiñones, 2012). El agua contaminada puede transmitir enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502 000 muertes por diarrea al año (OPS/OMS,2010).

El agua es un recurso de vital importancia para el desarrollo y crecimiento de cualquier comunidad, por ende, la empresa municipal de Agua Potable y Alcantarillado de El Tambo debe garantizar la dotación del servicio en calidad y cantidad. Con esta preocupación surge la necesidad de realizar una evaluación detallada de los aspectos técnicos y operativos de la planta de tratamiento de agua potable, la cual abastece únicamente a la población urbana del Cantón. La evaluación tiene por objeto comprobar si las operaciones y procesos aplicados, permiten obtener un producto final satisfactorio, y sugerir soluciones a problemas que se puedan evidenciar (Velásquez & Pascuas, 2015).

La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPAT EP) de la ciudad de El Tambo en la provincia del Cañar, opera una planta convencional, con una capacidad de tratamiento de 15 l/seg, construida hace 10 años, y al momento ejecuta un “Plan Maestro de Agua Potable” que prevé la repotenciación de la misma en base a un diagnóstico previo, y la construcción de un nuevo módulo para ampliar la cobertura del servicio, con una capacidad de procesamiento de 30 l/seg, que le permita un abastecimiento a la población para los próximos 20 años, a partir del 2017.

El objetivo del presente trabajo es realizar la “Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la ciudad del Tambo-Cañar”, la cual contempla parámetros de orden hidráulico,



Universidad de Cuenca

sanitario, constructivo, de mantenimiento, operación y vulnerabilidad; el estudio describe el estado físico de las unidades hasta el nivel administrativo y organización propio de la planta, a fin de conocer si la calidad del agua distribuida cumple los requisitos de calidad establecidos en la Normativa Ecuatoriana NTE-1108-2011(Iza María, 2014).

1.1 Antecedentes.

Según informes de EMAPAT EP entre los años 1985 y 1995, la población del Tambo se vio afectada por la calidad del agua distribuida, debido a la emanación de un olor característico sobre todo cuando llegan a temperaturas mayores a 35 °C, es decir el olor era más detectable en el agua que pasa por instrumentos de calentamiento como: calefones, cocinas entre otras. Estudios relacionados al caso demostraron que la fuente de abastecimiento (Sistema Lagunar del Culebrillas), presentaba un grado de eutrofización considerable, debido a la presencia de nutrientes de nitrógeno y fósforo que favorecen el desarrollo de organismos acuáticos indeseables como las algas; algunas de las cuales son capaces, cuando el agua se calienta de emitir sustancias olorosas como ácidos esenciales. Investigaciones demostraron que la especie de alga predominante no era tóxica, situación que tranquilizó a la población consumidora; desde ese entonces no se han registrado nuevos episodios (EMAPAT,2014).

El Tambo es un cantón muy joven (24 de enero de 1991), anteriormente cuando era una parroquia del Cantón Cañar, la atención que se le brindaba en todo lo que tenía que ver con infraestructura pública era mínima, prácticamente no existía atención pública, es decir que se le trataba en forma muy discriminada por lo que el servicio de agua potable se le tenía abandonado, los trabajos se los realizaba sin ninguna planificación, ni con proyectos técnicamente adecuados. Las intervenciones que se han realizado para mejorar el sistema, ha sido muy puntuales, ya sea en áreas administrativas, financieras y en algunas de la infraestructura.

Con financiamiento del MIDUVI, se construyó una planta de tratamiento convencional, que dispone de una caja recolectora, canal de floculación, dos cámaras de sedimentación y una cámara de cloración, complementada con una casa de guardianía y bodegas.

La planta durante estos años opera con valores de color muy elevados (>50 Unidades de color) y con turbidez con valores menores a 5 NTU, debido a las características del agua



Universidad de Cuenca

mencionadas representan una de las condiciones más difícil para este tipo de tratamiento (EMAPAT,2014).

1.2 **Justificación.**

El presente trabajo plantea un diagnóstico y evaluación de las operaciones y procesos integrados de la planta de tratamiento de agua potable, de la Ciudad de El Tambo, a fin de verificar la calidad del agua producida, aspecto importante en toda comunidad; el agua destinada a consumo humano debe ser estéticamente aceptable, y bacteriológicamente segura, esto significa que no debe tener sustancias nocivas para la salud ni microorganismos patógenos capaces de causar las enfermedades hídricas. Garantizar la calidad del agua distribuida es proteger la salud de la población.

1.3 **Objetivos.**

- **Objetivo General.**
 - Realizar una evaluación Hidráulica-Sanitaria del Sistema Integrado de la planta de Tratamiento de Agua Potable del Cantón El Tambo.
- **Objetivos Específicos.**
 - Realizar la caracterización del agua cruda en diferentes condiciones climatológicas.
 - Evaluar la eficiencia de los diferentes procesos de tratamiento en la planta.
 - Realizar una evaluación hidráulica de las unidades de tratamiento, basada en parámetros como: períodos de retención, medición de caudales, etc.
 - Encontrar las dosis óptimas de coagulante y ayudante de floculación.



Capítulo 2. Marco Teórico.

2.1 Calidad de Agua

El término calidad del agua depende del uso del recurso. La calidad es muy variable en la naturaleza dado que, depende de factores como: condiciones geográficas y climáticas, temperatura, flora microbiana, y de la contaminación producida por la actividad agrícola y la industrial.

Referente al agua potable, los principales requisitos de calidad están relacionados con sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

2.2 Características del agua cruda.

El agua que ingresa a la planta de tratamiento tal como proviene de la fuente, se denomina agua cruda o agua bruta. Las características del agua cruda dependen de la naturaleza y localización de las fuentes.

Cuando la fuente es superficial, generalmente requiere un pretratamiento para retirar los sólidos suspendidos sedimentables y facilitar la potabilización. Un aspecto importante es la localización del sitio de captación, para lo cual es necesario delimitar un perímetro de protección.

La composición química del agua es variable, depende de diferentes factores y condiciones; dependen del tipo de suelo dado que tiene compuestos en forma de iones, partículas u organismos vivos. La calidad varía con respecto al tiempo es decir en lluvias y estiajes o aleatoria. Las variaciones extremas en la calidad del agua bruta presentan las denominadas “puntas de contaminación” que suelen presentarse en forma estacional.



Universidad de Cuenca

2.3 **Agua Potable.**

Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido corregidas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano según la norma NTE INEN 1108 quinta revisión. Se la considera agua potable al agua dulce que fue sometida al proceso de potabilización, siendo apta para el consumo humano sin ninguna restricción.

2.4 **Características físicas.**

Por lo general los consumidores evalúan la calidad del agua basándose únicamente en sus sentidos. Las principales características físicas son: color, turbiedad, olor y temperatura. Desde el punto de vista sanitario no presentan riesgo significativo puesto que engloban aspectos de orden estético.

2.4.1 **Color.**

La aceptabilidad del agua depende del color, el cual en las aguas superficiales se debe a la presencia de iones metálicos naturales disueltos como: el hierro y manganeso coloidal o en solución, humus, turba, plancton, vegetales y desechos industriales.

El color varía de acuerdo con el tipo de contaminación a la que está expuesta el agua, por ejemplo, el crecimiento de algas o microorganismos producen color. Esto interfiere en los procesos químicos dado que la aplicación de cloro en aguas coloreadas da origen a la formación de trihalometanos (efectos cancerígenos).

Es necesario distinguir el color real o verdadero del aparente.



Universidad de Cuenca

- **Color verdadero.** Producido por las sustancias en estado coloidal y en solución en el agua cuando no presenta turbiedad.
- **Color aparente** Es el color producido por las sustancias disueltas y materiales en suspensión en el agua.

Las mediciones se realizan en laboratorio utilizando equipos que comparan el color con soluciones de cloroplatinato de potasio en agua destilada, (escala platino-cobalto); se expresa en unidades de color UC. (Pt-Co)

2.4.2 **Turbiedad.**

La turbiedad en el agua es ocasionada por la variedad de material suspendido de diferente tamaño como son: material orgánico, arcillas, limo, plancton y sedimentos.

La suspensión de partículas son las que impiden el paso de luz y las remiten en distintas direcciones, con la misma longitud de onda de la luz incidente. En el agua potable es recomendable alcanzar el nivel más bajo de turbiedad, puesto que está vinculado a la calidad bacteriológica, los microorganismos se escudan en las partículas de turbiedad, dificultando la desinfección. La turbidez se expresa en “Unidades Nefelométricas de turbidez, o Nephelometric Turbidity Unit (NTU)”. Y se mide con nefelómetro o turbidímetro.

2.4.3 **Olor y sabor.**

El olor y el sabor son parámetros importantes al ser prácticamente indistinguibles se evalúa en conjunto. Por lo general se producen por: compuestos orgánicos en solución, cloruro de sodio,



Universidad de Cuenca

sulfato de sodio y magnesio, hierro y manganeso, aceites, fenoles, productos de cloro, diferentes especies de algas, hongos, etc. Para eliminarlos se utiliza la aeración, oxidación química (cloración), adsorción con carbón activado, etc.

El exceso de olor y sabor provoca en los consumidores rechazo y pueden recurrir a fuentes de mejores características organolépticas pero peligrosas desde el punto de vista sanitario. Este aspecto debe ser muy controlado en el agua cruda y determinar las situaciones de riesgo que pueden provocar este efecto. Para medir el olor se utiliza la NORMA MEXICANA NMX-AA-83-1982. (Anexo 1)

2.5 Características químicas.

2.5.1 Potencial de Hidrógeno (PH).

El potencial de hidrogeno es la concentración de iones de hidrogeno presente en el agua; el principal aspecto que determina el valor del pH en las aguas naturales es el sistema buffer carbonato-bicarbonato. Para el agua potable el rango permitido está entre 6.5 a 8.5; valores mayores o menores son motivo de preocupación y deben ser investigados.

2.5.2 Conductividad.

La conductividad del agua es la capacidad que tiene para conducir la electricidad. Esta capacidad se da por los iones presentes en el agua; mientras la cantidad de iones sea mayor la conductividad será más alta. La presencia de los iones se debe a los ácidos, bases y sales que se encuentran en la fuente procedente de los terrenos por los cuales recorre. En la norma ecuatoriana no presenta un valor máximo, pero organizaciones internacionales recomienda que la conductividad no sea mayor a $400\mu\text{S}/\text{cm}$; valores elevados pueden generar efectos de sabor.



Universidad de Cuenca

2.5.3 **Dureza.**

La dureza del agua se debe a la presencia de varios minerales, principalmente del calcio y magnesio. El calcio es transmitido al agua por simple disolución cuando se encuentra en el yeso o silicatos y por el ataque de las calizas o dolomitas. Las aguas duras causan problemas en los usos del agua: no produce espuma con el jabón, produce manchas en la ropa y tiene un sabor desagradable. Todos estos factores afectan en la aceptabilidad del agua por parte del usuario por lo que se recomienda valores máximos de 300mg/l, como CaCO_3 . La dureza puede ser temporal, es decir aquella que puede eliminarse por calentamiento o mediante la adición de cal; en cambio la permanente ya requiere procesos más complejos y difícil de aplicar en suministros pequeños.

2.5.4 **Cloruros.**

Se presentan en el agua en forma natural o por contaminación con agua residual y vertidos industriales; el principal problema es el sabor salado que transmite al agua, está catalogado como un parámetro de corrosión en las tuberías de distribución del agua; se recomienda un valor máximo de 250 mg/l.

2.5.5 **Hierro.**

Se debe a que en el suelo existe una gran cantidad de este elemento y el agua al filtrarse por los diferentes suelos y rocas los disuelve y los acarrea. El principal problema es la producción de manchas en la ropa y en los accesorios del sistema hidrosanitario, también puede producir coloración y turbidez en el agua. La norma recomienda que la concentración no sea mayor a 0.3 mg/l de hierro total.



Universidad de Cuenca

2.5.6 **Alcalinidad.**

La capacidad ácido neutralizante de una solución. La alcalinidad indica la cantidad de cambio que ocurrirá en el pH con la adición de cantidades moderadas de ácido. Debido a que la alcalinidad de la mayoría de las aguas naturales está compuesta casi íntegramente de iones de bicarbonato y de carbonato, las determinaciones de alcalinidad pueden dar estimaciones exactas de las concentraciones de estos iones.

2.5.7 **Manganeso.**

El manganeso es uno de los minerales más abundante dentro de la corteza terrestre, su presencia se encuentra asociada al hierro; su presencia produce un sabor indeseable en el agua, manchas negras o de color café en la ropa como en accesorios hidrosanitarios, además de obstrucción en las tuberías.

2.6 **Calidad Bacteriológica.**

La determinación de la calidad bacteriológica reviste gran importancia en el ámbito de la salud pública ya que permite garantizar la inocuidad del agua destinada al consumo evitando así epidemias gastrointestinales. Por lo que la protección de la salud requiere que no existan fuentes de contaminación microbiológicas que no estén situadas cerca de las fuentes de agua potable para eliminar o reducir el riesgo que representan (Robles, Ramírez, Durán, & Martín, 2012).

2.7 **Estudios de caracterización.**

Para conocer la capacidad de respuesta del agua frente a este mecanismo de tratamiento convencional, es necesario realizar ensayos de laboratorio, como las pruebas de jarras a través de los cuales se determinan los parámetros necesarios para el diseño de las unidades de coagulación, floculación y sedimentación como: dosis de químicos, tiempos de retención y gradientes de



Universidad de Cuenca

velocidad. Es importante que esta caracterización se realice en diferentes períodos climatológicos puesto que la calidad del agua cruda es variable dependiendo de esta condición.

2.8 Sistema Convencional de Tratamiento.

El sistema de las plantas convencionales es considerado como el más antiguo; se ha utilizado desde principios del siglo pasado (1910-1920).(Cánepa de Vargas, 2005) Este tipo de plantas cuentan con los siguientes procesos para el tratamiento del agua potable: Coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

El sistema de tratamiento se aplica para mejorar las características físicas y microbiológicas del agua, sin embargo, el proceso puede también remover sustancias químicas como hierro y manganeso en estado coloidal.

A continuación, se explica los componentes y procesos que se evaluarán:

2.8.1 Estructura de Captación.

Es la estructura que se encarga de derivar una parte del caudal de la fuente de agua a la conducción, esta estructura debe garantizar el caudal suficiente de agua para la población a la que va a servir; existen varios tipos de captación:

- Captación convencional
- Captación en lagos, lagunas y embalses
- Captación flotante
- Captación móvil
- Captación manantial
- Captación de alta montaña
- Captación de agua de mar
- Captación de aguas lluvias



Universidad de Cuenca

El diseño de la captación dependerá del terreno y principalmente de la fuente de donde se captará el agua ya sea está superficial o subterránea. Otro factor que influye en el tipo de captación a seleccionar es la cantidad de agua de la fuente.

2.8.2 Filtros de Pretratamiento.

Dependiendo de la fuente y las características que presenta el agua cruda, esta puede ser sometida a un pretratamiento pasando por un filtro de grava gruesa el cual reduce de una manera considerable el nivel de turbidez y color debido a que se eliminan partículas relativamente grandes al retenerse en el lecho poroso. Estos filtros mejoran el funcionamiento de potabilización de las plantas de tratamiento de agua potable en la época de invierno donde generalmente el agua ingresa con elevados niveles de color y turbiedad, complicando el tratamiento.

2.8.3 Coagulación.

Este proceso desestabiliza las partículas coloidales causantes del color natural del agua. Estas partículas se caracterizan por su pequeño tamaño, entre 1 y 400 nm; por su gran área superficial (Pauta,1998) esto significa que, en un pequeño volumen de ellas, existe una gran superficie que le confiere propiedades de adsorción; y finalmente poseen cargas eléctricas negativas que las mantienen en un constante estado de repulsión y por lo tanto de gran estabilidad.

La desestabilización de las partículas coloidales se consigue mediante la adición de una sustancia que aporte cargas positivas capaces de neutralizar las cargas negativas de ellas; estas sustancias, se denominan coagulantes, entre los cuales el más utilizado por su inocuidad, facilidad de manejo, costo, y aplicación, es el sulfato de aluminio en forma de alumbre ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$); para que la reacción sea eficiente se requiere una dosis óptima de coagulante



Universidad de Cuenca

y gran energía de agitación que permita una mezcla íntima entre la masa de agua a tratar y el coagulante aplicado.

Otros coagulantes usados, son: sales de hierro, sulfato ferroso y cal, los cuales pueden ser aplicados dependiendo de las características particulares de cada agua.

Dentro de la planta, la coagulación se lleva a cabo en una estructura denominada cajón de mezcla rápida, en donde se produce un alto gradiente de velocidad con valores recomendados de 700 a 1300 s^{-1} para unidades con resalto hidráulico para favorecer la mezcla rápida y uniformemente del coagulante con todo el caudal de agua a tratar. (Cánepa de Vargas,2005) Esta etapa del tratamiento es la más importante del proceso, y ocurre a nivel atómico y molecular; es decir el proceso es netamente químico.

El dimensionamiento se efectúa a través de métodos hidráulicos o mecánicos, los cuales provocan turbulencia generado por los resaltos hidráulicos que se producen por los canales, canaletas, vertederos rectangulares, tuberías de succión, bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipos de mezcla rápida. Normalmente el tiempo requerido para esta etapa, es de un minuto (Cánepa de Vargas,2006).

2.8.4 **Floculación.**

Este proceso tiene por objeto aglomerar las partículas de coloides desestabilizadas en la fase anterior; esto se consigue con una suave turbulencia que se aplica al agua, a fin de permitir el impacto de las partículas para aumentar su peso y tamaño, y constituir flóculos grandes, pesados, que puedan sedimentar con facilidad. En este proceso de aglomeración intervienen fuerzas del tipo Van der Vals y otras que ayudan en la aglomeración. Este proceso se realiza en los floculadores, el tiempo requerido para esta operación, así como el gradiente de velocidad



Universidad de Cuenca

aplicado, depende de la naturaleza propia de cada agua; generalmente puede variar de 20 a 50 minutos, y el gradiente puede ser descendente o constante, y varía entre 80 a 20 seg^{-1} .

Para optimizar el proceso de floculación se usan los polímeros o polielectrolitos; estos químicos ayudan a la formación de partículas mayores de buena sedimentación. Los polímeros usados pueden clasificarse según su naturaleza: en minerales u orgánicos, según su carga: en aniónicos y catiónicos, y según su origen: en naturales o sintéticos.

Entre los floculadores más conocidos se citan, los de pantallas de flujo vertical y los de flujo horizontal; existen otros tipos como: los de medios porosos, de tipo Alabama y Cox, y los floculadores de mallas.

2.8.5 Sedimentación.

La sedimentación es utilizada para la remoción de partículas en suspensión, las partículas con un diámetro mayor a 0.01 mm se decantan por efecto de la fuerza de gravedad, este proceso se denomina sedimentación simple. Cuando el diámetro de la partícula es menor es necesario utilizar agentes químicos dado que el tiempo de sedimentación es alto y poco eficiente, a esto se le conoce como “precipitación química”.

Esta unidad también se encarga de eliminar las impurezas tales como: la dureza, el hierro y el manganeso.

El tiempo requerido para el asentamiento de las partículas depende de su diámetro como se muestra a continuación en la tabla 1.



Tabla 1. Tiempo de Asentamiento para diversas partículas.

Diámetro de partícula (mm)	Tipo de partícula	Tiempo que se requiere en base a la profundidad de asentamiento de 0,3m
Sedimentables		
10	Grava	0,3 s
1	Arena Gruesa	3s
0,1	Arena fina	38s
0,01	Limo	33 min
No-sedimentables		
0,001	Bacterias	55 horas
0,0001	Color	230 días
0,00001	Coloides	6,3 años
0,000001	Coloides	63 años

Fuente: Pérez 2005

Los sedimentadores presentan vertederos o tubos de recolección en su tramo final con el objetivo de captar la capa superior del agua que contiene menor turbiedad pasando a la zona de filtración.

2.8.6 Filtración.

Se denomina filtración cuando el agua pasa por un material fino llamado filtro. En esta unidad se retienen los flóculos o partículas de menor tamaño que no se han eliminado en los procesos anteriores.

Cuando el agua presenta poca turbiedad, menores a 5 NTU se puede utilizar la filtración para la remoción de partículas suspendidas o eliminación de patógenos para una posterior desinfección. Por lo que este proceso se realiza luego de los procesos de coagulación y/o sedimentación.



Universidad de Cuenca

También puede realizarse una filtración directa, en la que se añade al agua un coagulante y, a continuación, ésta se hace pasar directamente por el filtro en el que se separa el floculo precipitado. (OMS, 2006)

2.8.7 **Desinfección.**

La desinfección es un proceso de importancia en el tratamiento de agua potable pues permite la remoción de organismos patógenos que puede llevar consigo el agua. Este proceso se debe utilizar en todos los tipos de agua a tratar.

La desinfección es necesaria dado que no es posible asegurar la remoción total de los microorganismos por los procesos fisicoquímicos. Los agentes desinfectantes dependen de diferentes factores: tiempo de contacto, calidad de agua, e instalaciones y recursos disponibles. El agente de desinfección más empleado es el cloro, debido a su fácil disponibilidad en forma de gas, líquido o sólido, es capaz de destruir la mayoría de los microorganismos patógenos.



Capítulo 3. Metodología.

3.1 Captación.

3.1.1 Descripción.

La planta de agua potable del cantón El Tambo se abastece del río San Antonio, este río se origina en la laguna de Culebrillas. La captación está ubicada a 500 metros al suroeste de la laguna, es una captación convencional la cual consta de:

- Un azud, situado en todo el cauce del río, cuya función es mantener un nivel constante del agua para controlar el caudal de ingreso.
- Un muro lateral de encauzamiento, que protege la entrada de agua al conducto y en el que se ubica la rejilla que retiene los sólidos con tamaño mayor a 5 mm.
- Vertedero de rebose, ubicado en la cámara de captación que permite el retorno del caudal remanente, al río.
- Cámara de captación, es una estructura de hormigón que recolecta el agua para luego ser transportada mediante las tuberías de conducción hacia la planta de agua potable.

3.1.2 Evaluación.

En esta unidad se evaluará lo siguiente:

- Se inspeccionará el estado actual de toda la infraestructura.
- Geometría de la captación.
- Se revisará el estado del cerramiento.
- Se constatará la presencia de una válvula de cierre.



Universidad de Cuenca

3.2 Filtros de grava horizontal para pretratamiento.

3.2.1 Descripción.

El agua del río San Antonio recibe un pretratamiento luego de la captación, para esto se utilizan filtros horizontales de grava los cuales retienen las partículas suspendidas; estos filtros están compuestos por:

- Cámara de entrada, cuya función es regular el caudal de entrada.
- Vertedero rectangular, para distribuir de forma uniforme el caudal en toda la sección de la cámara de filtración.
- Cámara de filtración, que contiene grava de diferentes diámetros, a través de las cuales se retienen las partículas suspendidas de menor tamaño.
- Tubería de salida, que conecta los filtros a la conducción la cual llevará el agua a la planta de tratamiento.

3.2.2 Evaluación.

En esta sección se verificará lo siguiente:

- Se realizará una inspección visual del estado físico de los filtros, para identificar la presencia de grietas, poros y desgaste de la estructura; se comprobará el estado del cerramiento.
- Se realizarán análisis granulométricos.
- Se medirá el color y la turbiedad del agua antes y después del filtro.

3.3 Conducción.

3.3.1 Descripción.

La red de tubería desde los prefiltros hacia la planta tiene las siguientes características:

- Diámetro nominal: 280 mm
- Longitud: 9.472 m
- Material: PVC

3.3.2 Evaluación.

En esta estructura se evaluará los siguientes aspectos:

- Se verificará que las tuberías de la conducción no se encuentren expuestas en los pasos de quebradas y el estado de las válvulas.

Universidad de Cuenca

- Se inspeccionará la presencia de filtraciones o roturas en la tubería.

3.4 Planta de tratamiento.

El tratamiento implementado es el sistema convencional constituido por los siguientes procesos: coagulación, floculación, sedimentación, filtración rápida y desinfección, cuyo objetivo fundamental es corregir las características físicas (color y turbiedad) y microbiológicas del agua; no obstante, en el proceso se corrigen también ciertas características químicas como, presencia de hierro y manganeso coloidal, se eliminan ciertos olores y sabores desagradables.

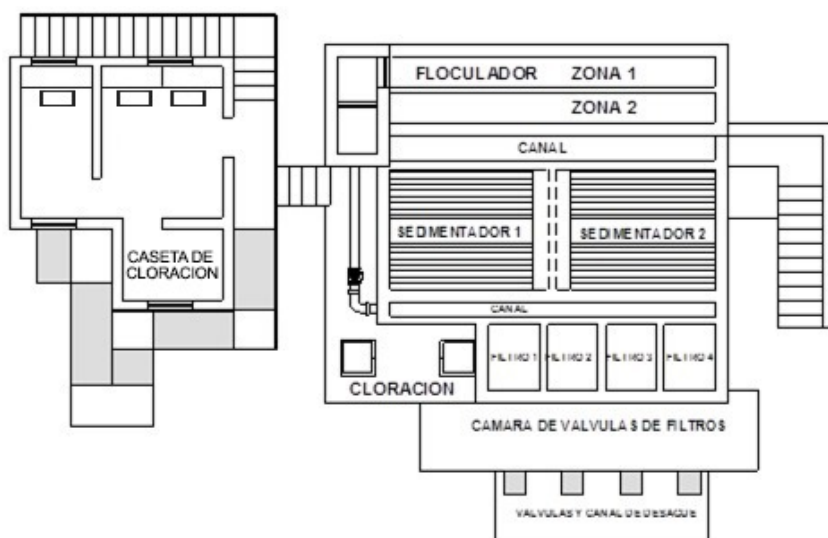


Ilustración 1. Esquema de la Planta

3.4.1 Unidad Coagulación.

3.4.1.1 Descripción.

En la unidad de mezcla rápida se lleva a cabo la coagulación, identificada como la etapa más importante en el sistema de tratamiento convencional. La unidad consta de:

- Tanque de disolución, sirve para disolver el coagulante, la planta cuenta con dos tanques para preparar la solución de sulfato de aluminio y uno para el polímero.



Universidad de Cuenca

- Un sistema de agitación en cada tanque para mezclar la solución.
- Dosificadores, son rectangulares con una boya que permite regular el caudal de ingreso y tiene un sistema de salida conformado de dos tuberías. El tubo con diámetro menor es roscable y el otro tubo gira alrededor de este conformando un sistema de dosificación por número de vueltas. La unidad posee dos dosificadores para el sulfato de aluminio y uno para el polímero.

3.4.1.2 Evaluación.

Para la evaluación de la coagulación se utilizó la metodología del CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria) (Cánepa de Vargas,2005). Deben verificarse en la unidad de mezcla rápida, los siguientes aspectos, necesarios para garantizar la máxima eficiencia en la coagulación.

Se verificará lo siguiente:

- El diseño de la zona de entrada a la planta.
- Especificaciones de las sustancias químicas utilizadas.
- Lugar y forma de almacenamiento de las sustancias químicas.
- **Tanque de disolución**

En estos tanques se realizará una evaluación estructural y funcional.

- Estructural: se revisará que la estructura no presente grietas tanto en las paredes como en el fondo.
- Funcional: se verificará que la tubería de salida del caudal hacia los dosificadores no presente fugas o filtraciones.



Universidad de Cuenca

- **Dosificadores**

Se determinará la dosis que se aplica en la mezcla rápida con diferentes aberturas de cada dosificador utilizando los siguientes parámetros: Caudal y Concentración.

Caudal

Se realiza de la siguiente manera

- i. Girar el tubo de tal manera que corresponda a una abertura conocida.
- ii. Medir el volumen que ingresa a la probeta en un minuto.

Se determina el caudal con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

- Q: Caudal (cm³/s)
- V: Volumen. (cm³)
- t: tiempo (s)

- Concentración de la solución

La concentración de la solución se determina con el peso dosificado y el volumen de agua del tanque de dosificación, mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{P}{V} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

- P = peso dosificado (Kg)
- V = Volumen (m³)
- C = concentration (mg/l)

- **Rango de Trabajo del equipo**



Universidad de Cuenca

Se verificará que los dosificadores tengan la capacidad necesaria para cumplir con la dosificación hacia el final del periodo de diseño.

El rango del equipo se expresa de la siguiente manera:

$$R = P_{max} - P_{min} \quad Ec. 3$$

Donde:

- R: Rango de trabajo
- Pmax “capacidad de dosificación máxima, cuando el caudal y las dosis sean máximas, esto al final del periodo de diseño”
- Pmin “capacidad de dosificación mínima, al iniciar el periodo de diseño, cuando el caudal y la dosis son mínimas”.

3.4.2 Unidad de Mezcla Rápida.

3.4.2.1 Descripción.

Esta es la estructura en donde se lleva a cabo la coagulación, es aquí donde se dosifica el coagulante y se mezcla con el caudal de agua de ingreso a la planta. Esta unidad dispone de las siguientes estructuras:

- Cámara de entrada, por donde ingresa el agua por una tubería de 200 mm de diámetro.
- Vertedero, es de tipo triangular de pared delgada y sirve para medir y regular el caudal de operación de la planta.
- Cámara de mezcla, en donde el coagulante se mezcla enérgicamente con el agua a tratar.
- Vertedero de salida, que regula el caudal de ingreso a los floculadores.

3.4.2.2 Evaluación.

Para evaluar esta unidad es necesario valorar los parámetros reales de la planta y para esto se utilizó la metodología del capítulo 3 del *Manual III* de tratamiento de agua para consumo humano (Cánepa de Vargas, 2005).

En esta unidad se verifican los siguientes aspectos:



- **Geometría de la unidad**

Se verificará que las dimensiones de la estructura sean iguales a las indicadas en el diseño.

- **Punto de Aplicación**

Se verificará la posición de vertido del coagulante.

- **Gradiente de velocidad.**

Para encontrar el gradiente de velocidad en esta unidad se necesita determinar los siguientes parámetros:

- Pérdida de carga (h_p).
- Tiempo de retención (Tr). Para determinar el tiempo real de retención en esta unidad se realizó un ensayo de trazadores. Se seleccionó como trazador la sal común de mesa en forma de solución, el cual puede ser detectado a través de mediciones de conductividad eléctrica. El tiempo de retención en la cámara es aproximadamente el momento en que se registra la mayor conductividad eléctrica.
- Temperatura del agua. Se utiliza un termómetro para medir.
- Relación de Temperatura con la viscosidad ($\sqrt{\frac{\delta}{\mu}}$).

$$G = \sqrt{\frac{\delta}{\mu}} \times \sqrt{\frac{h_p}{Tr}} \quad Ec. 4$$

El gradiente de velocidad se calculó en base al procedimiento del capítulo 2 de *Manual II* de tratamiento de agua para consumo humano (Cánepa de Vargas, 2006).

La relación de temperatura con la viscosidad se muestra en la tabla 2.



Tabla 2 Relación de Temperatura (Cánepa de Vargas,2005)

Temperatura (°C)	$\sqrt{\frac{\delta}{\mu}}$
0	2.337
4	2.502
10	2.737
15	2.92
17	2.998
20	3.115
25	3.267

“Una vez calculado el gradiente de velocidad se lo compara con datos de referencia que indican que la tasa de aglomeración máxima depende del rango de gradiente de velocidad y el tiempo de retención” (Cánepa de Vargas,2005). En la tabla 3 se muestra rangos óptimos para cada tipo de unidad.

Tabla 3 Gradientes óptimos de mezcla (Cánepa de Vargas,2005)

Unidad de mezcla	Valores de G (s-1)
Retro mezclador	800-1000
Salto Hidráulico	700-1300
Difusores	800-1000
Mezcladores en línea	3000-5000

3.4.3 Unidad de Mezcla lenta. Floculación

3.4.3.1 Descripción.

Esta etapa del tratamiento se lleva a cabo en floculadores de flujo vertical, compuestos por:

- Dos cámaras de floculación.



Universidad de Cuenca

- Pantallas verticales P.R.F.V (Plástico reforzado con fibra de vidrio) que permiten que el flujo ascienda y descienda funcionando como un vertedero sumergido hasta llegar a los sedimentadores.

3.4.3.2 Evaluación.

Para evaluar esta unidad, se toma como referencia la metodología del capítulo 3 del *Manual III* de tratamiento de agua para consumo humano (Cánepa de Vargas,2005).

Los aspectos que se evaluarán son:

- **Geometría de la unidad.**

- Se verificará las dimensiones de planta con las del diseño.
- Se verificará que el número de pantallas verticales se han igual a las del diseño. Así también, verificar el estado actual de las pantallas observando que no presenten grietas o filtraciones.
- Se revisará el estado actual de las cámaras de floculación.

- **Gradiente de velocidad**

Para establecer el gradiente de velocidad del floculador se necesita los siguientes parámetros de entrada.

- **Pérdida de carga.** Se obtiene por nivelación, se registran las medidas correspondientes a cada tramo para su posterior análisis.
- **Relación de temperatura.** Se determina la temperatura del agua y tomamos el valor de la tabla 2. (*relación de temperatura*)
- **Tiempo de retención.** Para el tiempo de retención se realizó el ensayo de trazadores al final de la cámara 1 y al final de la unidad.

El gradiente de velocidad se calculó en base al procedimiento del capítulo 3 del *Manual II* de tratamiento de agua para consumo humano (Cánepa de Vargas,2006). Utilizando la siguiente ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{\delta}{\mu}} \times \sqrt{\frac{hfxQ}{V}} \quad Ec. 5$$



Universidad de Cuenca

Donde:

- $\sqrt{\frac{\delta}{\mu}}$ Relación de la temperatura con la viscosidad (Cánepa de Vargas,2005).
- hf: Pérdida de carga total (m).
- Q: Caudal (m³/s)
- V: Volumen (m³)

3.4.4 Unidades de Sedimentación.

3.4.4.1 Descripción.

La planta cuenta con 2 cámaras de sedimentación, cada cámara trabaja con la mitad del caudal que ingresa a la planta; los sedimentadores son de flujo horizontal con placas inclinadas, y están compuestos por:

- Zona de entrada. Esta estructura es la encargada de cambiar el flujo de agua de un régimen turbulento a uno laminar, esto es necesario para que la decantación se realice de una manera eficiente, a través de una distribución homogénea a lo largo de todo el sedimentador para que todas las placas trabajen por igual.
- Zona de Sedimentación. En esta zona se decantan los sólidos suspendidos hacia la zona de almacenamiento de lodos, esto ocurre cuando los sólidos chocan con las placas inclinadas y se resbalan a través de la superficie de las placas hasta el fondo del tanque.
- Zona de extracción de lodos.
- Zona de salida. En la planta, en cada cámara de sedimentación se dispone de un tubo con perforaciones en la parte superior por los cuales se distribuye el agua clarificada para conducirla hacia los filtros; el agua se recolecta de esta manera para no perturbar las partículas que se están sedimentando y las que ya forman parte de la zona de lodos.



3.4.4.2 Evaluación.

Para evaluar los sedimentadores, se toma como referencia la metodología del capítulo 4 del *Manual II* de tratamiento de agua para consumo humano (Cánepa de Vargas,2006).

Se evaluará los siguientes aspectos:

- Se determinará la eficiencia comparando la calidad del agua antes y después de la sedimentación, midiendo el color y la turbiedad; para ello se utilizarán los registros de los ensayos que se realizan a diario en la planta.
- Se verificará que las dimensiones de las estructuras construidas sean iguales a las especificadas en los planos de diseño. Hay que revisar que la zona de entrada a los sedimentadores permita el cambio de régimen de flujo, de turbulento a laminar.
- Se comparará la carga superficial real con la carga superficial teórica con la cual fue diseñado el sedimentador.

Para el cálculo de la carga superficial se utiliza la siguiente fórmula:

$$q = \frac{H*100}{T_o*60} * 864 \quad Ec. 6$$

Dónde:

- q = carga superficial
- H= profundidad de la cámara de sedimentación (m)
- T_o = Tiempo de retención (minutos)

El tiempo real de retención se obtiene mediante el ensayo de trazadores. Para un adecuado funcionamiento no debe existir una diferencia notable entre la carga real y la teórica.



Universidad de Cuenca

- Se verificará que la velocidad en la estructura de conexión entre los floculadores y decantadores sea mayor a 0.15m/s ya que si es menor se producirá un depósito de flóculos en esta estructura; para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{A} \quad Ec. 7$$

Donde:

- V= Velocidad del flujo (m/s)
 - Q= Caudal (m/s)
 - A= Área de la sección transversal (m²).
- Se calculará la carga unitaria de las tuberías recolectoras y se comprueba que se encuentren en los rangos aceptables entre 1.3 y 3 litros por segundo por metro de longitud; para esto se utiliza la siguiente formula:

$$qa = Q/L \quad Ec. 8$$

Donde:

- qa= Carga lineal de las tuberías recolectoras
- Q= Caudal que ingresa a cada cámara de sedimentación
- L= Longitud de las tuberías recolectoras.

3.4.5 Unidades de Filtración.

3.4.5.1 Descripción.

La unidad de filtración está compuesta por 4 cámaras de filtración, el proceso se verifica en seguida de la sedimentación.

Los filtros están compuestos por 7 capas de material granular de diferentes tamaños.

3.4.5.2 Evaluación.

Se evaluarán los siguientes aspectos:



Universidad de Cuenca

- Se compararán los valores de color y turbiedad antes y después de la filtración, utilizando los registros de los ensayos diarios que se realizan en la planta para determinar la eficiencia.
- Se comprobarán que las dimensiones construidas sean iguales a las especificadas en el diseño.
- Se realizarán aforos de caudal de las 4 cámaras de filtración.

3.4.6 Unidad de Desinfección.

3.4.6.1 Descripción.

La unidad consta de:

- Cámara de contacto por donde circula el agua durante la mezcla con el cloro.
- Vertedero y tableros verticales, cuyo funcionamiento es realizar una mezcla uniforme del cloro gas con el agua evitando cortocircuitos.

3.4.6.2 Evaluación.

Para la evaluación, se toma como referencia la metodología capítulo 3 del Manual III. de tratamiento de agua para consumo humano (Cánepa de Vargas,2005).

Se evalúan los siguientes aspectos de la unidad de cloración:

- **Sistema de aplicación.**

Para que la dosificación del cloro tenga una correcta aplicación, se debe verificar las siguientes características:

- La aplicación del desinfectante se debe realizar de forma sumergida.
- El cloro se debe distribuir de tal manera que se mezcle uniformemente con el agua.



Universidad de Cuenca

- **Caseta de cloración.**

Con el objetivo de prestar facilidad de operación, la caseta de cloración debe presentar las siguientes características:

- **Ventilación**

Verificar que la caseta debe tener una ventilación para solventar cualquier tipo de fuga y que no represente riesgos al personal de la planta. Así también verificar la existencia de un sistema de alarma cuando se produzca algún tipo de emergencia en el sistema. Comprobar la presencia de máscaras de protección para el personal.

- **Características del área**

Comprobar que sea segura, aislada y exclusivamente para los operadores y encargados de dosificar el cloro residual, para evitar manipulaciones de extraños.

- **Zona de almacenamiento**

Comprobar que contenga únicamente los cilindros de cloro gas, para poder manipularlos sin dificultad en caso de una emergencia, y debe estar ubicada en un lugar que evacuar con facilidad cuando se produzca fugas de cloro gas.

- **Medición de cloro residual.**

Se tomará muestras a lo largo de la red de distribución para determinar el cloro residual en diferentes fechas.

3.4.7 **Tanque de reserva.**

3.4.7.1 **Descripción.**

Actualmente la planta tiene dos tanques de 200 m³ en los cuales se almacena el agua tratada; se ubican en la parte más baja de la planta, y de aquí se distribuye a toda la población.

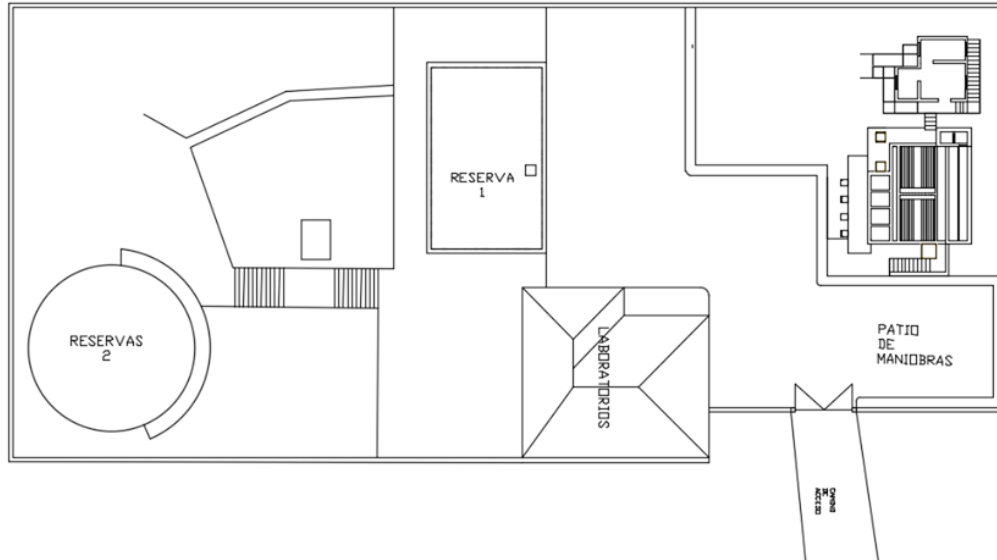


Ilustración 2 Esquema de la planta.

3.4.7.2 Evaluación

Se verifican los siguientes aspectos:

- **Estructura de la unidad**

Para evaluar estructuralmente se observará si las paredes del tanque presentan grietas o fallas.

- **Presencia de filtraciones**

Las filtraciones hacen que el tanque pierda la capacidad de almacenamiento por lo tanto se observará la presencia de humedad tanto en las paredes como alrededor del tanque, comprobando que no exista filtración por el piso del tanque.

- **Capacidad**

Para verificar la capacidad de la reserva se realiza la proyección de la población, tomando como referencia los datos del INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) de los últimos censos realizados en el cantón El Tambo, para calcular la dotación para la población proyectada.



Universidad de Cuenca

Para la proyección de la población se utilizará el método aritmético y/o el geométrico.

El volumen de almacenamiento es la sumatoria de los siguientes volúmenes: volumen de regulación, volumen de protección contra incendios y volumen de emergencia.

Se detallan los cálculos necesarios para obtener los valores de cada uno de ellos:

- **Volumen de regulación.** Se requiere el valor de la dotación y el coeficiente de variación de consumo.

La dotación es el volumen de agua por día y por persona necesaria para satisfacer sus necesidades. Depende de factores como: condiciones climáticas, dotación fija para los servicios públicos, necesidades para la industria, volúmenes para la protección contra incendios.

Para su estimación se utiliza las dotaciones recomendadas según el número de habitantes expresada en la siguiente tabla.

Tabla 4 Dotaciones recomendadas.

POBLACIÓN (habitantes)	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día)
hasta 5000	Frío Templado Cálido	120 – 150 130 -160 170 - 200
5000 a 50000	Frío Templado Cálido	180 – 200 190 -220 200 - 230
Más de 50000	Frío Templado Cálido	>200 >220 >230

Fuente: código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias, la norma co 10.7 – 601.



Universidad de Cuenca

Para el cálculo del volumen de almacenamiento, es necesario conocer: la población futura y el consumo medio anual diario. Se debe considerar además la variación del consumo en distintas horas del día.

- **Consumo Medio Anual Diario (Q_{med})**, se define como el promedio del caudal día a día en el periodo de un año. Se calcula con la siguiente expresión:

$$Q_{med} = \frac{Q \cdot N}{86400} \quad Ec. 9$$

Donde:

Q = Dotación (l/hab/día).

N = Número de habitantes (Población Futura)

Para poblaciones mayores a 5000 habitantes, se tomará para el volumen de regulación el 25% del volumen consumido en un día, entonces:

$$V_{regulación} = 0.25 * Q_{med} \quad Ec. 10$$

- **Volumen de protección contra incendios.** Su valor depende de la población, la dotación y el número de incendios simultáneos. Se usa como guía, la siguiente tabla.

Tabla 5 Dotación de agua contra incendios

NUMERO DE HABITANTES (en miles)	NUMERO DE INCENDIOS SIMULTANEOS	DOTACIÓN POR INCENDIO (l/s)
5	1	10
10	1	10
25	2	10
50	2	20
100	2	25
200	3	25
500	3	25
1000	3	25
2000	3	25

Fuente: código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras

sanitarias, la norma co 10.7 – 601



Universidad de Cuenca

Para poblaciones mayores de 20000 habitantes se aplicará la siguiente ecuación:

$$V_i = 50Vp \text{ Ec. 11}$$

Donde:

p = población en miles de habitantes

V_i = volumen para protección contra incendios, en m^3

- **Volumen de emergencia.** Para poblaciones mayores a 5000 habitantes, se tomará el 25% del volumen de regulación como volumen para cubrir situaciones de emergencia.

$$V_{\text{incendios}} = 0.25 * V_{\text{regulación}} \quad \text{Ec. 12}$$

Por lo tanto, el Volumen de Almacenamiento será:

$$V_{\text{almacenamiento}} = V_{\text{regulación}} + V_{\text{incendios}} + V_{\text{emergencia}} \text{ Ec. 13}$$

En cuanto a la geometría se comprueba que las dimensiones de los tanques sean iguales a las especificadas en el diseño.

- **Funcionamiento**

Para que tenga un funcionamiento satisfactorio se verificará el buen estado de los siguientes elementos: válvulas, medidores de volumen, desagües y desbordes.



Universidad de Cuenca

3.5 Ensayos realizados.

3.5.1 Ensayo de trazadores.

Este ensayo sirve para determinar y evaluar las condiciones reales de una planta de tratamiento, tales como: tiempos de retención, el tipo de flujo, espacios muertos y cortocircuitos (Pérez,1992).

El ensayo se realizó en las diferentes unidades de la planta para comprobar su construcción según las especificaciones del diseño.

Se adopta la metodología del CEPIS (Pérez,1992):

Procedimiento.

- i. Preparar el trazador, es decir la solución que se va a utilizar a una concentración determinada.
- ii. Medir la concentración inicial del compuesto utilizado como trazador en el agua, antes de utilizar el trazador.
- iii. Verter el trazador en la entrada de la unidad sobre el caudal que ingresa.
- iv. Ubicarse en diferentes puntos de la unidad para obtener resultados en cada tramo y medir la concentración a través del tiempo.

Los trazadores más utilizados para evaluar unidades hidráulicas de una planta de tratamiento son: los iones cloruro (en forma de sal común de mesa), y la rodamina. Para el ensayo se requiere de personal debidamente capacitado.

Se utiliza los siguientes materiales y equipos: recipiente de 20 litros, conductímetro, cronometro y el trazador.

3.5.2 Ensayo de jarras.

Este ensayo simula los procesos de la planta de tratamiento: mezcla rápida (coagulación), mezcla lenta (floculación), sedimentación en el laboratorio, a fin de obtener información sobre el comportamiento del agua cruda frente al coagulante sulfato de aluminio y el polímero usados.



Universidad de Cuenca

El primer ensayo de jarras a realizar es la determinación de la dosis óptima de coagulante con gradientes y tiempos de retención similares a los que trabaja la planta, es decir la dosis que permita la mayor desestabilización de los coloides; un siguiente ensayo tiene por objeto determinar la dosis óptima de polímero el mismo que aumenta la eficiencia de la floculación.

Las dosis óptimas se determinan midiendo el color y la turbiedad residuales.

Equipo utilizado.

- Un agitador mecánico de 6 paletas
- 6 jarras de 2000ml de capacidad.
- Balanza de precisión 0.001 g.
- Colorímetro
- Turbidímetro
- Ph-metro
- Jeringas
- Pipeta graduada
- Matraz aforado



Ilustración 3 Equipo de jarras.

Procedimiento.



Universidad de Cuenca

- i. Mezclar el agua cruda en un recipiente y tomar una muestra de 500ml para determinar la conductividad, pH, color, turbiedad y alcalinidad inicial de la muestra.
- ii. En la balanza pesar 1 gr de sulfato de aluminio y 0.05 gr de polímero.
- iii. Mezclar 100ml de agua destilada con el sulfato previamente pesado para obtener una concentración del 1%, realizamos el mismo procedimiento con el polímero para tener una concentración de 0.05%.
- iv. Llenar las 6 jarra con 2000ml de agua cruda y ubicarlas en el agitado mecánico.
- v. Con las jeringas se adicionan diferentes dosis de sulfato en las jarras mientras se lleva a cabo la mezcla rápida.
- vi. Luego de la mezcla rápida se reduce la velocidad de los agitadores para simular el proceso de floculación de la planta con las gradientes previamente establecidas, una vez concluido el tiempo se detienen las paletas para dejar que las partículas se sedimenten por un tiempo determinado.
- vii. Se toman muestras del agua sedimentada en cada una de las jarras para la medición de la turbiedad, color real, color aparente y pH. La jarra que presente el menor color y turbiedad representa la dosis óptima de coagulante.
- viii. Una vez determinada la dosis óptima de sulfato, se determina la dosis óptima de polímero, manteniendo constante la dosis óptima de coagulante. El polímero se adiciona a los 5 minutos de haber iniciado la floculación (mezcla lenta) y se continúa el proceso como en la determinación de la dosis óptima de coagulante.

Capítulo 4. Resultados

4.1 Captación

4.1.1 Ubicación de la captación.

Las coordenadas de la captación son:

- Norte: 9731360 m
- Este: 736700 m



Ilustración 4. Ubicación de la captación.



Ilustración 5. Captación.

Universidad de Cuenca

4.1.2 Estado actual de la infraestructura.

La captación no presenta problemas estructurales dado que no existen grietas, poros o filtración en ningún punto.

El azud se encuentra en buenas condiciones dado que no presenta filtraciones o grietas y asegura que el nivel de agua en la toma se encuentre permanente sumergida.

La bocatoma no cuenta con rejas que impidan el ingreso de solidos flotantes a la cámara de captación por lo que el riesgo de contaminación aumenta.

La infraestructura de la captación se presenta en las ilustraciones 6, 7, 8 y 9.



Ilustración 6 Muro de encauzamiento.



Ilustración 7. Vertedero del cauce del río.



Ilustración 8. Vertedero de rebase.



Ilustración 9. Cámara de captación.

4.1.3 Geometría de la estructura.

Se realizó un levantamiento planimétrico y un corte transversal a lo largo de la estructura, se obtuvo las siguientes dimensiones:

La cámara de captación tiene 1.80 m de largo, 1.14 m de ancho y 1.51 m de profundidad, estas dimensiones son apropiadas para el caudal requerido por la planta de agua potable.

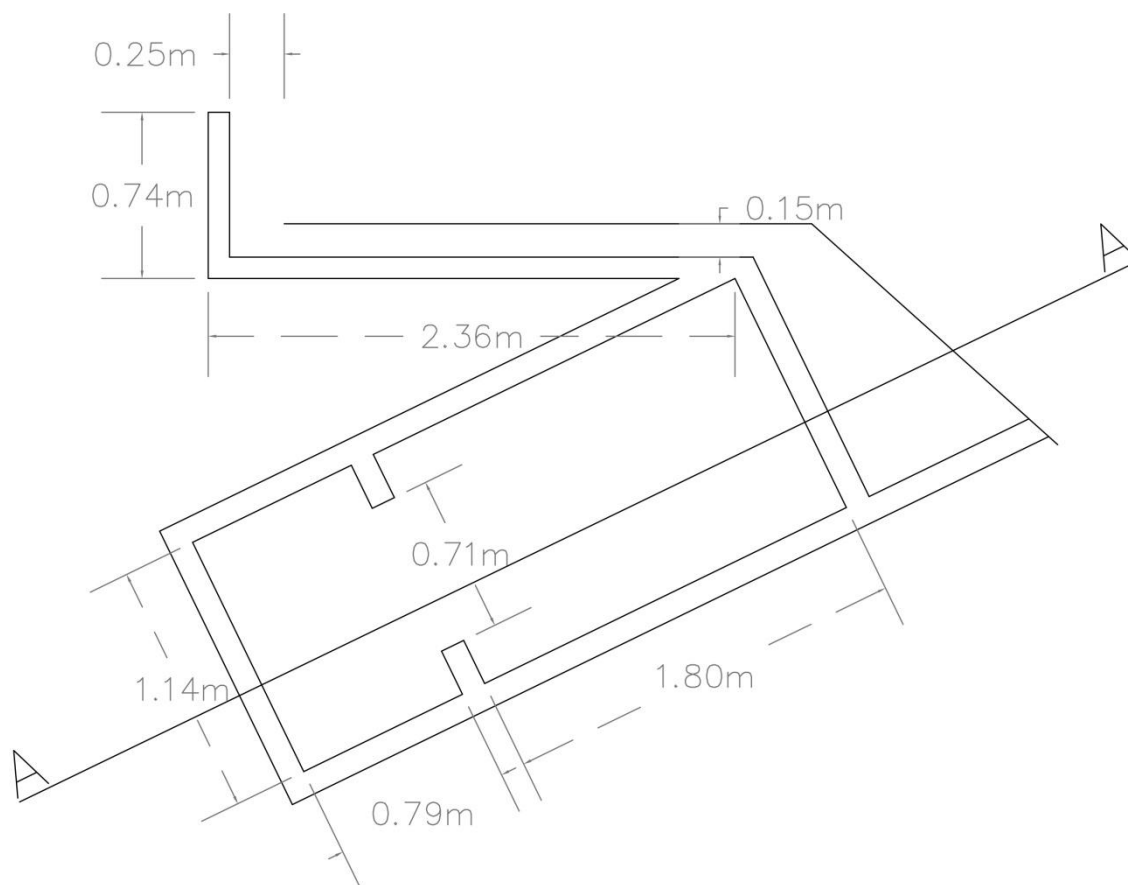


Ilustración 10. Dimensiones de la cámara de captación y vertedero de rebose en Planta.

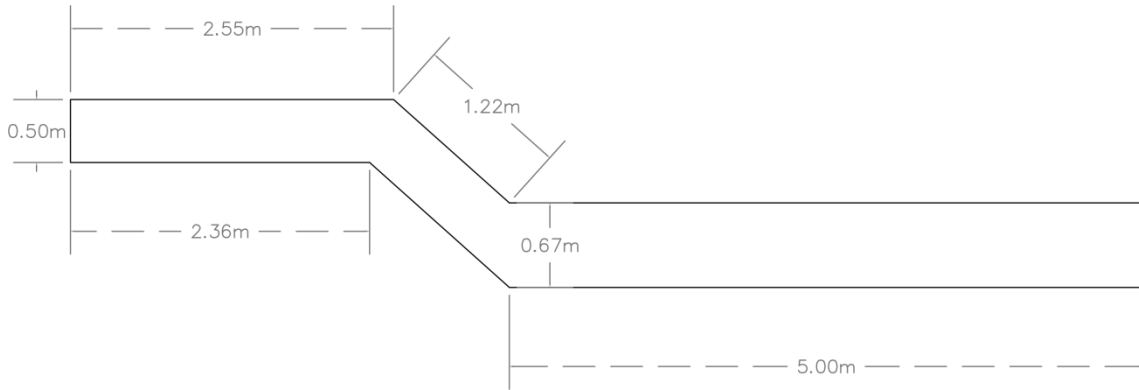


Ilustración 11. Dimensiones del muro de contención.

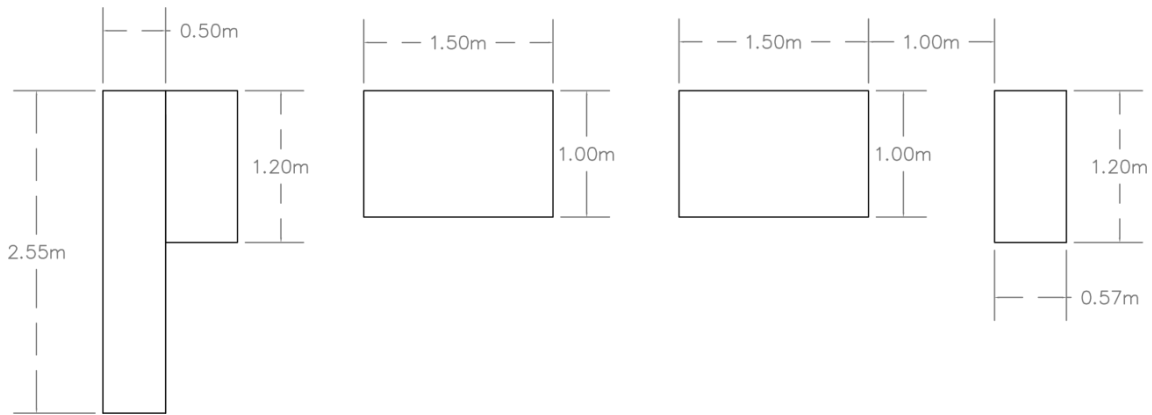


Ilustración 12. Dimensiones del vertedero del cauce del rio.

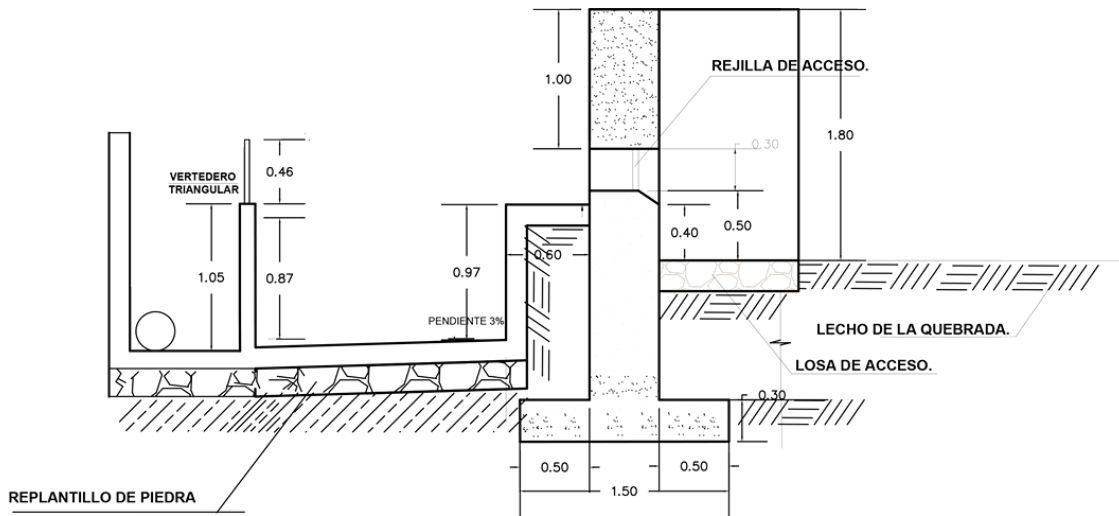


Ilustración 13 Corte A-A.

4.1.4 Estado del cerramiento.

A pesar de que la captación está ubicada en el parque nacional Sangay en el cual se encuentra prohibido realizar labores agrícolas y pecuarias, la captación presenta problemas de seguridad debido a que el cerramiento está completamente destruido aumentando el riesgo de contaminación del agua debido al fácil acceso a personas y animales.



Ilustración 14. Cerramiento de la captación.

4.1.5 Presencia de válvula de control.

Es necesario disponer de una válvula para poder realizar inspecciones, reparaciones o mantenimiento de la cámara de captación o de la conducción cuando se presenten problemas de roturas o transporte de lodos.

En la ilustración 15 se observa que no existe una válvula de cierre.



Ilustración 15. Cámara de captación sin válvula.

4.2 Filtro de Pretratamiento.

Las coordenadas en las que se encuentra ubicados los filtros son:

- Norte:97311123
- Este:736380
- Zona: 17S

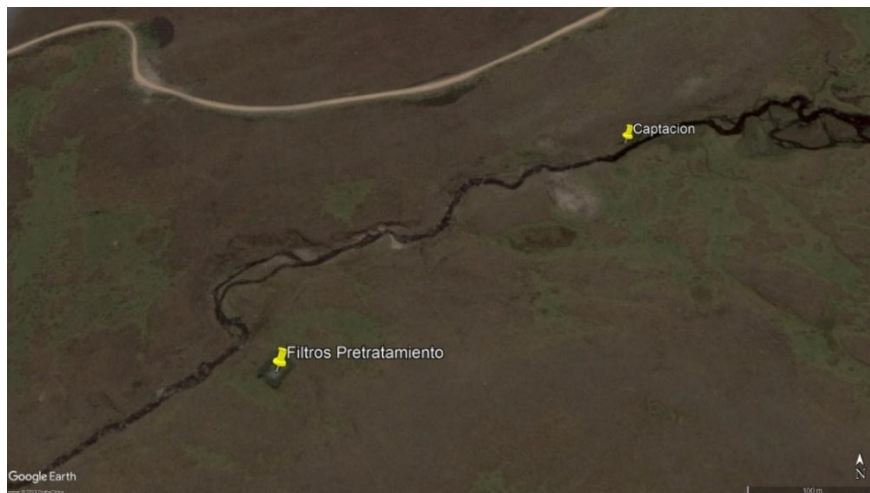


Ilustración 16. Ubicación de los filtros de pretratamiento.

Universidad de Cuenca

4.2.1 Estado actual de los filtros y cerramiento.

La unidad presenta grietas, poros y desgaste.



Ilustración 17 Estado filtros de pretratamiento

La estructura está protegida por dos cerramientos:

- Cerramiento constituido por árboles y alambre, y está en mal estado, pues existen zonas destruidas.
- El cerramiento constituido por postes y malla metálica se encuentra en buenas condiciones impidiendo el ingreso a personas no autorizadas.

En la ilustración 18, 19 y 20 se observa el estado del cerramiento.



Ilustración 18. Cerramiento de los filtros de pretratamiento.

El ingreso del agua a los prefiltros, se da mediante una tubería de un diámetro nominal de 300 mm, la cual recolecta el agua desde la cámara de captación.



Ilustración 19 Estado de los Filtros de pretratamiento (29 de noviembre del 2018)

Universidad de Cuenca

No se realizan mantenimientos periódicos, lo que produce acumulación de algas en la unidad afectando su operación normal.



Ilustración 20 Filtros inundados (05 de enero del 2019)

4.2.2 Granulometría de la grava de los filtros.

En la tabla 6 se muestra la granulometría del árido grueso de los filtros de pretratamiento.

Tabla 6. Granulometría del árido grueso.

Tamiz		Peso retenido	Peso retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
No	mm	Parcial (gr)	(gr)		
1	25.40	335.20	335.20	3.35	96.65
¾	19.05	2189.10	2524.30	25.24	74.76
½	12.70	2414.50	4938.80	49.38	50.62
3/8	9.53	2124.50	7063.30	70.62	29.38
4	4.75	2724.50	9787.80	97.85	2.15
Fondo		214.70	10002.50	100.00	0.00



Universidad de Cuenca

En la tabla 7 se muestra la granulometría del árido fino de los filtros de pretratamiento.

- Peso Total antes del lavado: 270.3 gr
- Peso Total después del lavado: 264.3 gr

Tabla 7. Granulometría del árido fino.

Tamiz		Peso retenido	Peso retenido Acumulado	% Retenido	% Que pasa
No	mm	Parcial (gr)	(gr)		
4	4.75	11.60	11.60	4.39	95.61
8	2.36	204.60	216.20	81.83	18.17
10	2.00	13.30	229.50	86.87	13.13
16	1.18	22.90	252.40	95.53	4.47
20	0.85	4.10	256.50	97.09	2.91
30	0.60	2.00	258.50	97.84	2.16
40	0.43	1.50	260.00	98.41	1.59
50	0.36	0.60	260.60	98.64	1.36
100	0.15	2.20	262.80	99.47	0.53
200	0.08	1.20	264.00	99.92	0.08
Fondo		0.20	264.20	100.00	0.00

En la ilustración 21 se presenta la curva granulométrica

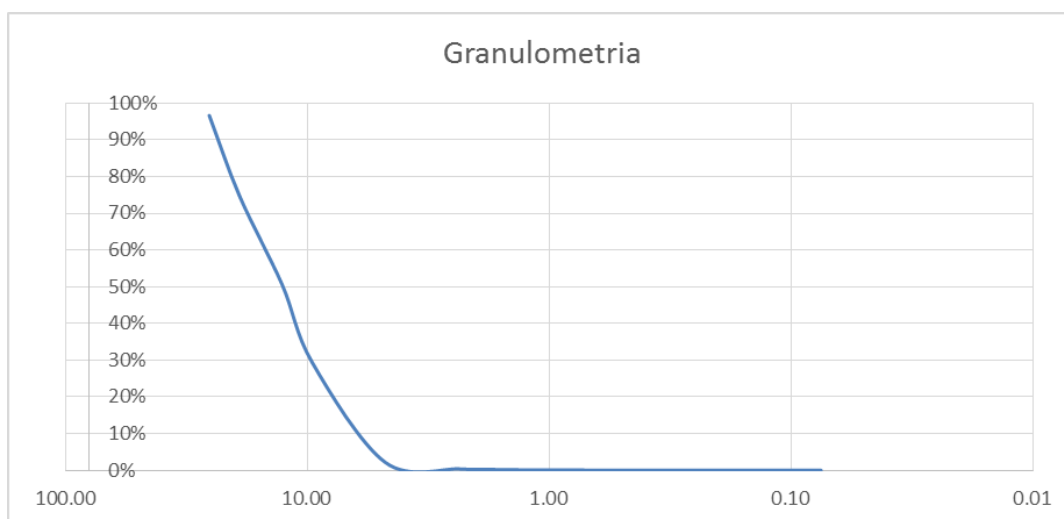


Ilustración 21 Curva granulométrica de los prefiltros.



Universidad de Cuenca

- $D_{60}=15.17$
- $D_{30}=9.62$
- $D_{10}=6.13$
- Coeficiente de uniformidad=2.5
- Coeficiente de curvatura=1

Con los valores obtenidos se observa que es una grava bien graduada dado que se tiene un coeficiente de uniformidad menor a 4.

4.2.3 Evaluar la eficiencia de los filtros.

Se midió el color antes y después de los dos filtros de pretratamiento considerando que la unidad trabaja de manera constante mientras se recolectaron las muestras; los resultados se presentan en las tablas 8 y 9.

Tabla 8. Tabla de color de agua cruda y filtrada

Filtro 1		
# muestra	Agua cruda (UC)	Agua filtrada (UC)
1	17	28
2	20	33
3	18	25

Tabla 9. Tabla de color de agua cruda y filtrada

Filtro 2		
# muestra	Agua cruda (UC)	Agua filtrada (UC)
1	18	25
2	20	28
3	17	25

Universidad de Cuenca

Los filtros son los encargados de retener partículas los sólidos flotantes reduciendo el color del agua (OPS,2005). Los resultados obtenidos indican que los filtros de pretratamiento están en mal estado dado que incrementa el color del agua, dificultando su tratamiento posterior en la planta de agua potable.

4.3 **Conducción.**

- Las tuberías están expuestas en los pasos de quebradas aumentando el riesgo de rotura.



Ilustración 22 Tubería de la conducción.

- Las válvulas no funcionan correctamente dado que, no reducen la presión a valores menores a 1 MPA (Mega Pascal) siendo esto el valor máximo que soporta, provocando roturas frecuentes en la conducción.

4.4 **Planta de Tratamiento.**

Se presenta un esquema de las unidades a evaluar:

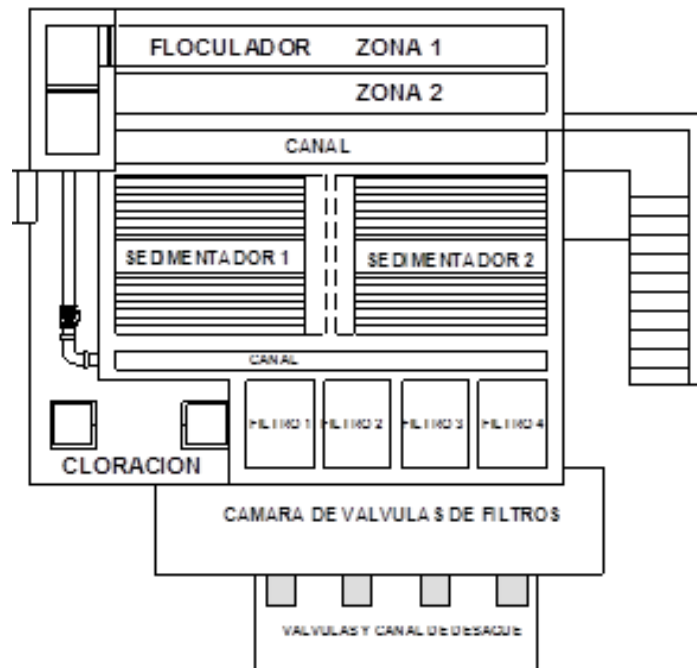


Ilustración 23 Esquema de la planta.

4.4.1 Coagulación.

Aplicando la metodología indicada, se obtuvo los siguientes resultados:

- Zona de entrada. Por su ubicación representa una zona que facilita la dosificación del polímero y ayudante de coagulación.
- El polímero y ayudante de coagulación que se utilizan no tienen especificaciones técnicas, por lo que no está definida las normas y procedimientos a ser empleados.
- La ubicación de la bodega permite la descarga del sulfato de aluminio y polímero sin dificultad (ver ilustración 24); pero en el interior las sustancias no se disponen de un orden que permita utilizar cronológicamente los materiales, como se observa en la ilustración 25.



Ilustración 24 Ubicación de la bodega.



Ilustración 25. Interior de la bodega.

- **Tanque de disolución.**

Se revisó los tanques de solución de sulfato de aluminio y del polímero para hacer un análisis tanto estructural como funcional (ver ilustración 26).

- Estructural. Recientemente fueron restaurados; la inspección de paredes y fondo del tanque se encuentra en óptimas condiciones.
- Funcional. Las tuberías son nuevas y no presenta fugas; el agitador funciona correctamente.



Ilustración 26 Tanque de disolución.

Las dimensiones se presentan en la tabla 10:

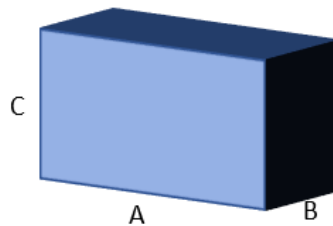


Tabla 10 Volumen del tanque de disolución.

volumen del tanque de disolución			
	sulfato		polímero
	Dosificador 1 (m)	Dosificador 2 (m)	Dosificador (m)
A	0.96	0.98	1.04
B	0.69	0.69	0.67
C	0.96	0.94	0.82
Volumen (m3)	0.63	0.63	0.57

Universidad de Cuenca

- **Dosificadores.**

En la siguiente ilustración se muestra el tipo de dosificador utilizado en la planta.



Ilustración 27 Dosificador.



Ilustración 28 Sistema por número de vueltas.

En la tabla 11 se muestra los resultados promedio de los aforos de los caudales de los dosificadores (Anexo 2).



Tabla 11 Caudal del dosificador

Vueltas	Sulfato		Polímero
	Dosificador 1	Dosificador 2	Dosificador
	(cm ³ /s)	(cm ³ /s)	(cm ³ /s)
1	7,62	13,06	1,22
2	11,05	16,63	1,69
3	12,47	22,10	4,08
4	12,71	8,06
5	13,93	12,75

Las concentraciones de la solución de sulfato de aluminio y del polímero que se dispensa desde los dosificadores se presentan en la tabla 12:

Tabla 12 Concentraciones

	Sulfato		Polímero
	Dosificador 1	Dosificador 2	Dosificador 1
Peso (Kg)	11.5	11.5	0.104
Volumen del tanque de disolución (m3)	0.63	0.63	0.57
Concentración kg/m3 (mg/l)	18 (18000)	18 (18000)	0.18 (180)

Con los valores del caudal obtenido y con la concentración se calcula la dosis en cada dosificador con caudales de 15 y 17 litros/segundo que representan el caudal de operación para distintas épocas del año se encontró la dosis.



Universidad de Cuenca

Para el dosificador 1 de sulfato de aluminio y de polímero se utilizó un máximo de 5 vueltas para, en cambio para el dosificador 2 de sulfato de aluminio se utilizó un máximo de 3 vueltas.

Los resultados se muestran en las tablas 13, 14 15:

Tabla 13 Calibración del dosificador 1 de sulfato

vueltas	Abertura (mm)	dosis mg/s	dosis mg/l	
			15 l/s	17 l/s
1	2	138.8	9.3	8.2
2	5	201.3	13.4	11.8
3	7	227.1	15.1	13.4
4	9	231.5	15.4	13.6
5	11	253.8	16.9	14.9

Tabla 14 Calibración del dosificador 2 de sulfato.

vueltas	Abertura (mm)	Dosis mg/s	Dosis mg/l	
			15 l/s	17 l/s
1	4	239.2	15.9	14.1
2	6	304.8	20.3	17.9
3	8	405	27	23.8

Tabla 15 Calibración del dosificador de polímero.

vueltas	Abertura (mm)	Dosis mg/s	Dosis mg/l	
			15 l/s	17 l/s
1	4	0.2	0.01	0.01
2	5	0.3	0.02	0.02
3	7	0.7	0.05	0.04
4	9	1.5	0.1	0.09
5	11	2.3	0.15	0.14



Universidad de Cuenca

Con la calibración de cada dosificador va a facilitar al personal a precisar la cantidad de sulfato de aluminio y polímero dosificado para las diferentes características del agua que ingresa a la planta.

- **Rango de trabajo del equipo.**

El resultado del rango del trabajo se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 16. Rango de Trabajo

Pmax (mg/l)	Pmin (mg/l)	R (mg/l)
30	17.5	12.5

Fuente: Laboratorio de sanitaria (U. de Cuenca)

En base a los resultados los dosificadores tienen una flexibilidad para trabajar de 12.5 mg/l. Por lo tanto, los dosificadores abarcan las dosis óptimas de coagulante y polímero correspondientes a los parámetros de color y turbiedad del agua en diferentes condiciones climáticas.

4.4.2 Mezcla rápida.

En base a la metodología realizada se obtuvo los siguientes resultados:

- **Geometría.**

Se determinó las dimensiones reales de la estructura mediante un levantamiento planimétrico y cortes transversales (anexo 7), y se comparó con las dimensiones especificadas en el diseño.

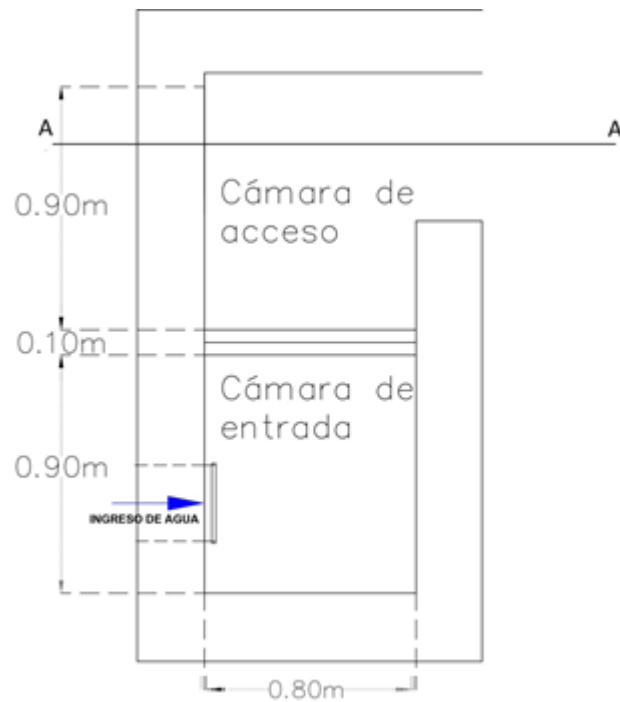


Ilustración 29 Dimensiones del diseño de la estructura en planta.

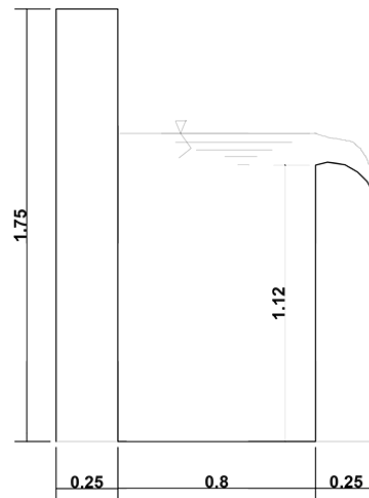


Ilustración 30 Corte transversal A-A de la estructura de la mezcla rápida (Diseño)

Las dimensiones de las paredes de la mezcla rápida tienen un ancho variable como se observa en la siguiente ilustración.

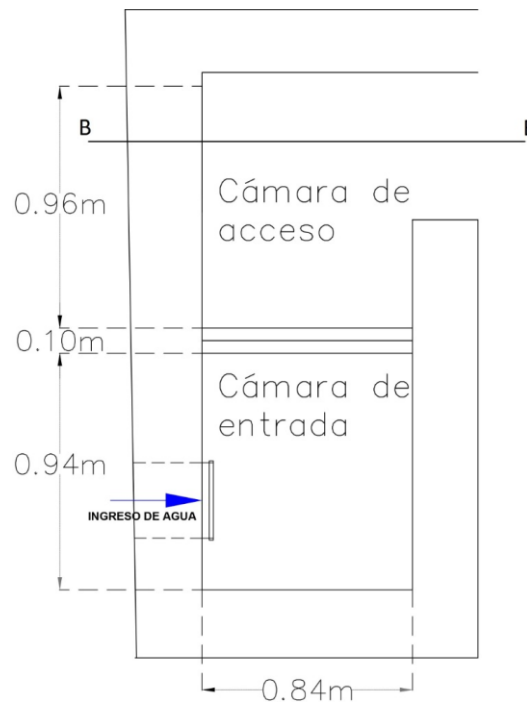


Ilustración 31 Dimensiones reales de la estructura.

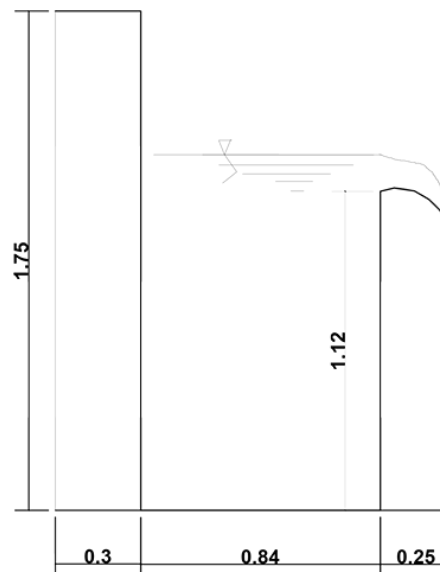


Ilustración 32 Corte transversal B-B de la estructura de la mezcla rápida (Real)

La geometría de la unidad no varía considerablemente con el diseño estructural, por tal motivo no presenta problemas de capacidad.

- **Punto de aplicación.**

La tubería no presenta ningún tipo de fuga, la distancia (L) desde la pared de la cámara de acceso hacia el punto de aplicación del coagulante es **49.5 cm** y el ancho de la cámara es de 84 cm. El coagulante se aplica donde se produce el resalto hidráulico como se recomienda en el manual de la CEPIS, pero no se realiza una mezcla homogénea dado que el coagulante se aplica en un solo punto (ver la ilustración 33).



Ilustración 33 Punto de aplicación del coagulante.

El punto de aplicación del polímero desde la pared de la cámara de acceso es de 2.42 m por lo que se realiza en la unidad de floculación, presentando el mismo problema de aplicación en un solo punto como en el sulfato.

Por lo tanto, se diseñó la tubería con orificios para que la unidad tenga una mezcla uniforme. Los resultados se muestran a continuación:



Tabla 17 Dimensionamiento de la tubería en la mezcla rápida.

Espaciamiento	m	e	0.1
Ancho	m	B	0.84
Numero de orificios en el difusor	U	N	8
Dosis óptima promedio	mg/l	D	25
Caudal promedio de solución por aplicar	l/s	qo	0.02
Área d= 0.5 pulgadas	m ²	Ao	0.0001
Velocidad en los orificios	m/s	Vo	0.02
Relación de velocidad		R	0.46
Velocidad en la tubería	m/s	Vt	0.05
Sección de la tubería	m ²	At	0.0004
Diámetro de la tubería	pulgada	Dt	1

Con los resultados obtenidos se recomienda utilizar una tubería con un diámetro nominal de 1 pulgada con 8 orificios de diámetro de 0.5 pulgadas en todo el ancho de la unidad.

- **Gradiente de velocidad.**

Se realizó el ensayo de trazadores para obtener el tiempo de retención en la unidad (Anexo 3) obteniendo un valor de 90 s como se muestra en la ilustración 34.

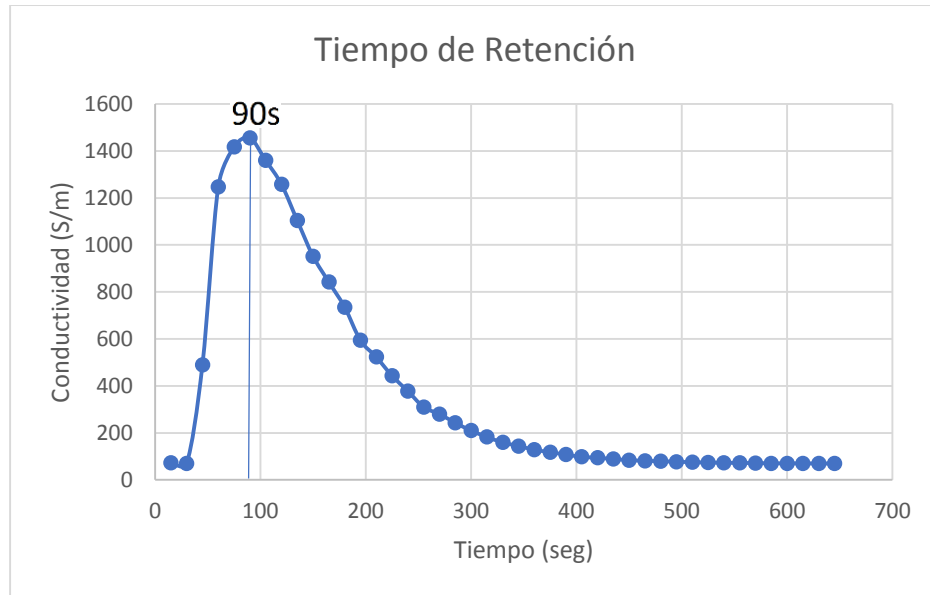


Ilustración 34 Gráfica Conductividad vs Tiempo

En la tabla 18 se presenta el cálculo de la gradiente en base a la metodología.

$$G = \sqrt{\frac{\delta}{\mu}} \times \sqrt{\frac{H}{Tr}} \quad Ec. 14$$

Donde:

- $\sqrt{\frac{\delta}{\mu}}$ Relación de Temperatura.
- H: Pérdida de carga Total (m).
- Tiempo de retención



Tabla 18. Cálculo del gradiente de velocidad de la mezcla rápida.

Caudal de Operación	m³/s	Q	0.015
Ancho del vertedero	m	B	0.84
Altura de agua sobre el vertedero	m	h	0.16
Caudal unitario promedio	m ³ /sXm	q	0.02
Gravedad	m/s ²	g	9.81
Altura crítica	m	hc	0.03
Altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal	m	P	1.44
Altura al inicio del resalto	m	h1	0.01
Velocidad al inicio del resalto	m/s	v1	2.74
Numero de froude		F1	10.84
Altura de agua después del resalto	m	h2	0.03
Velocidad al final del resalto	m/s	V2	0.66
Energía disipada en el resalto	m	hp	0.01
Longitud del resalto	m	Lm	0.12
Distancia del vertedero a la sección 1	m	L'	0.20
Velocidad promedio en el resalto	m/s	Vm	1.70
Tiempo de mezcla	s	T	0.1
Función de temperatura para 10 C)		($\sqrt{\gamma/\mu}$)	2736
Gradiente	s-1	G	1132.35

El rango de gradiente que debe darse en la unidad de mezcla rápida conformada por un salto hidráulico debe estar entre 700 y 1300 s-1 según el CEPIS; al realizar la evaluación se obtuvo un valor de 1132.35 s-1 entonces satisface este requerimiento.

4.4.3 Floculación

En base a la metodología se tienen los siguientes resultados:

- **Geometría.**

Se realizó un levantamiento planimétrico para determinar las dimensiones reales de la estructura (Anexo 7). Estas dimensiones se compararon con las del diseño original como se muestra en las siguientes ilustraciones.

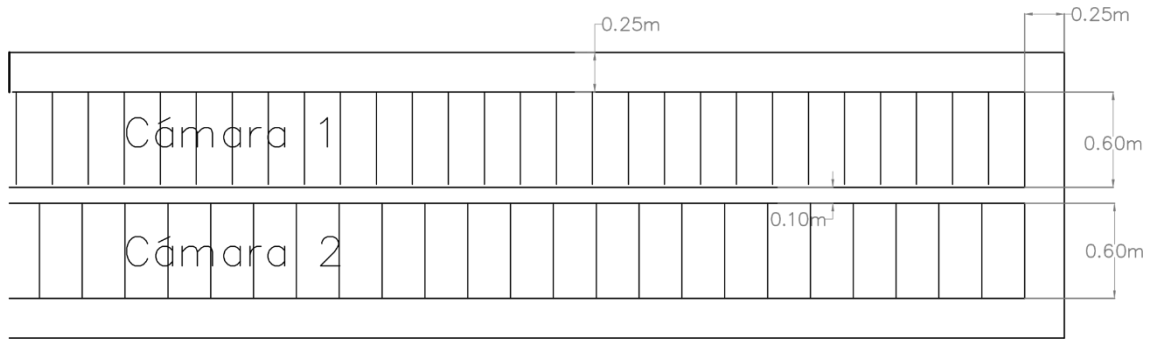


Ilustración 35 Dimensiones del diseño de la estructura

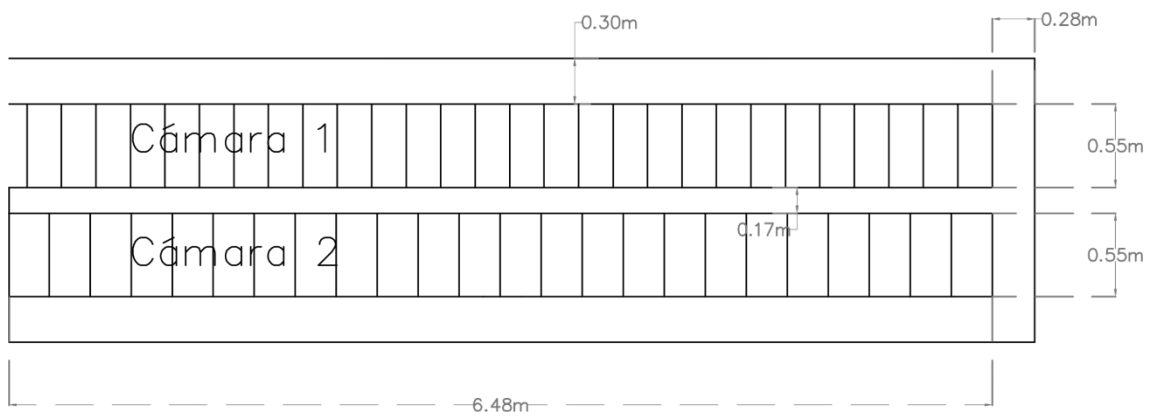


Ilustración 36 Dimensiones reales de la estructura

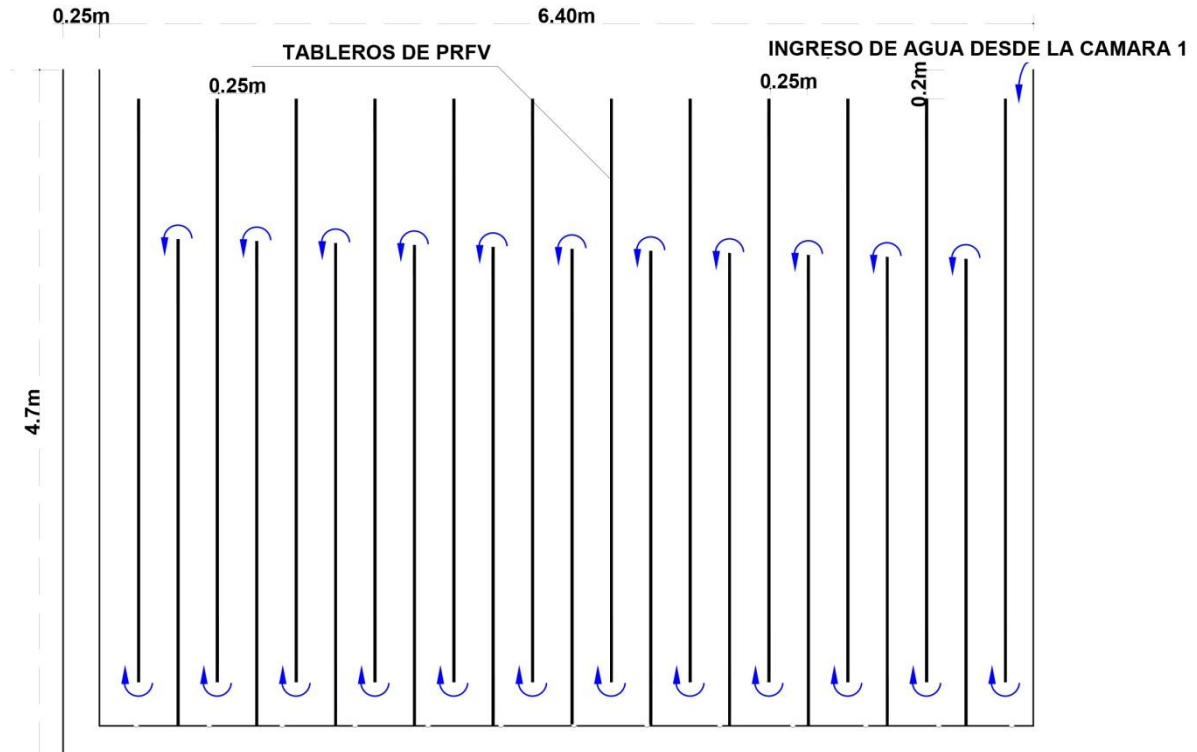


Ilustración 37 Vista lateral de la cámara 2 (Diseño)

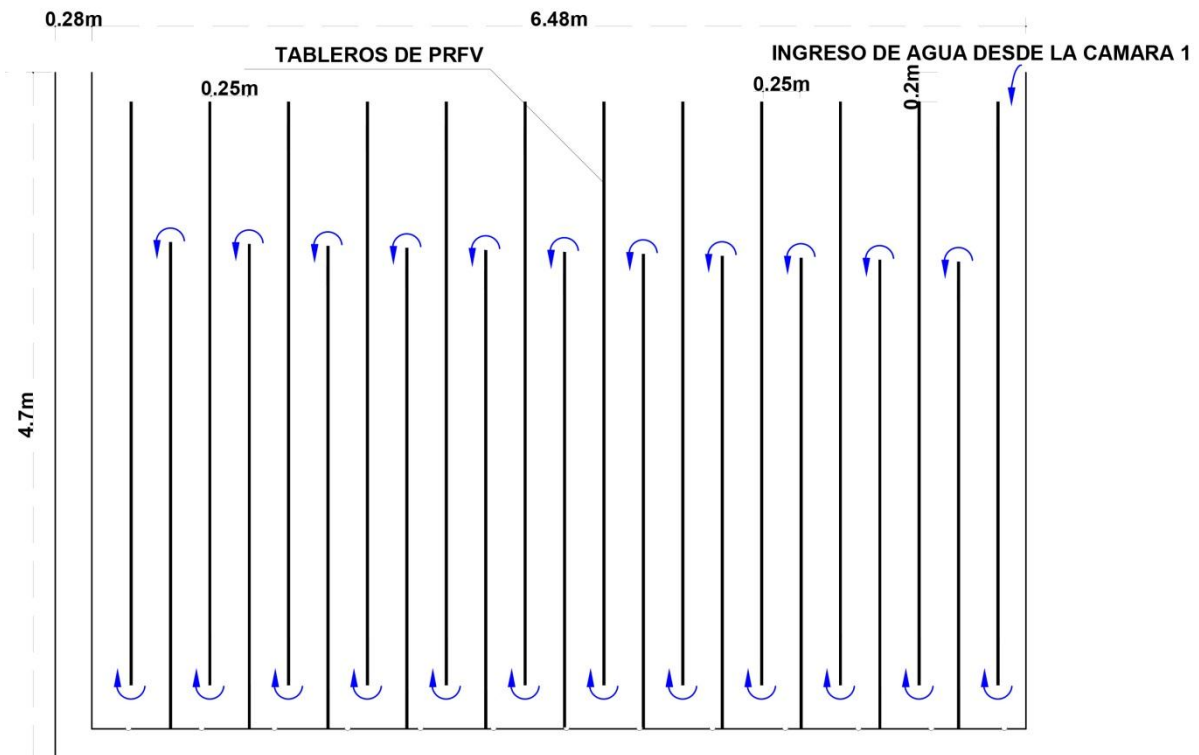


Ilustración 38 Vista lateral de la cámara 2 (Real)



Universidad de Cuenca

Las dimensiones reales no son iguales a las especificadas en el diseño, esto produce cambios en la gradiente y el tiempo de retención.

En el diseño se especifica 28 pantallas para la cámara 1 y 24 para la cámara 2, pero al realizar la evaluación se observó que la cámara 2 se encuentra con 24 pantallas con un espaciamiento mayor al especificado en el diseño, debido al cambio de placas con un espesor menor. Además, se verificó que no existieran grietas ni filtraciones.

Para fines de limpieza el CEPIS recomienda que el área debe ser el 5% del área horizontal de cada compartimento para evitar la acumulación de lodos.

En el diseño se especifica una abertura de 0.05 m desde el fondo del floculador a las pantallas P.R.F.V. con un ancho de la cámara de 0.6 m obteniendo un área de 0.032 m² que representa el 10 % del área de la celda. En la planta se tiene una altura de 0.03 m y un ancho de 0.55 m se forma un área de 0.016 m² que representa un 6% del área de la celda. Por lo tanto, a pesar de lo que no se tiene una abertura igual a la del diseño el área para limpieza satisface este requerimiento.

- **Gradiente de velocidad.**

Se realizaron ensayos de trazadores para obtener el tiempo de retención al final de la cámara 1 y al final de la unidad (Anexo 4);

Se determina el tiempo de retención para la primera cámara de: 17,5 minutos.

Los resultados se muestran en la siguiente ilustración:

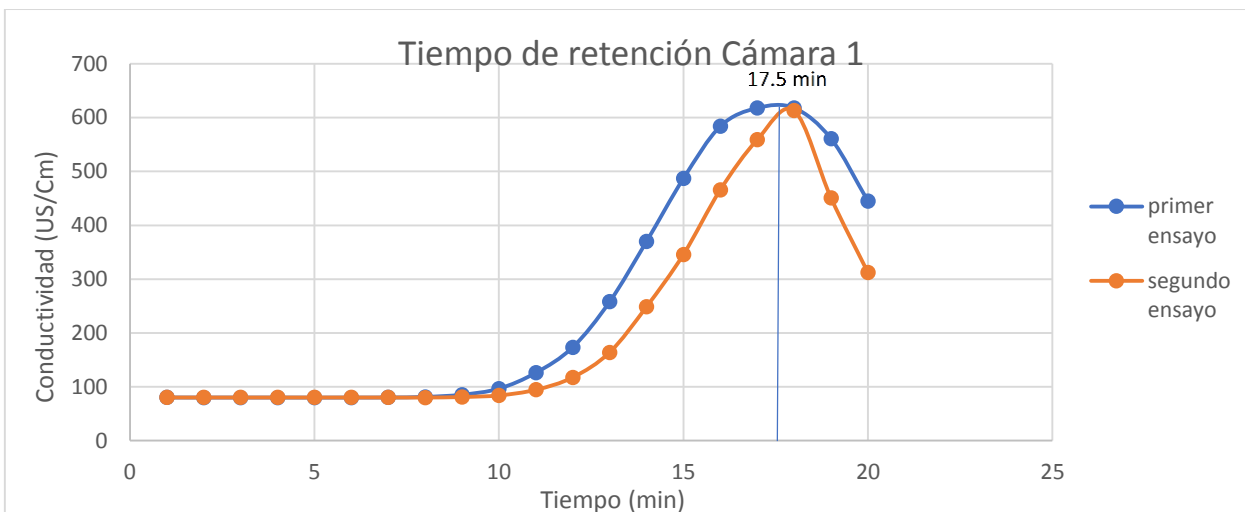


Ilustración 39 grafica de conductividad vs Tiempo en la zona 1

Para la unidad de floculación se obtuvo tiempos de retención de 33 minutos en el primer ensayo y 50 minutos en el segundo ensayo, esta variación se produce por problemas constructivos dado que las cámaras de floculación están interconectadas mediante tuberías en el fondo de la unidad provocando el paso del trazador de cámara 1 a la cámara 2 por diferentes puntos. Los resultados se muestran en la siguiente ilustración:

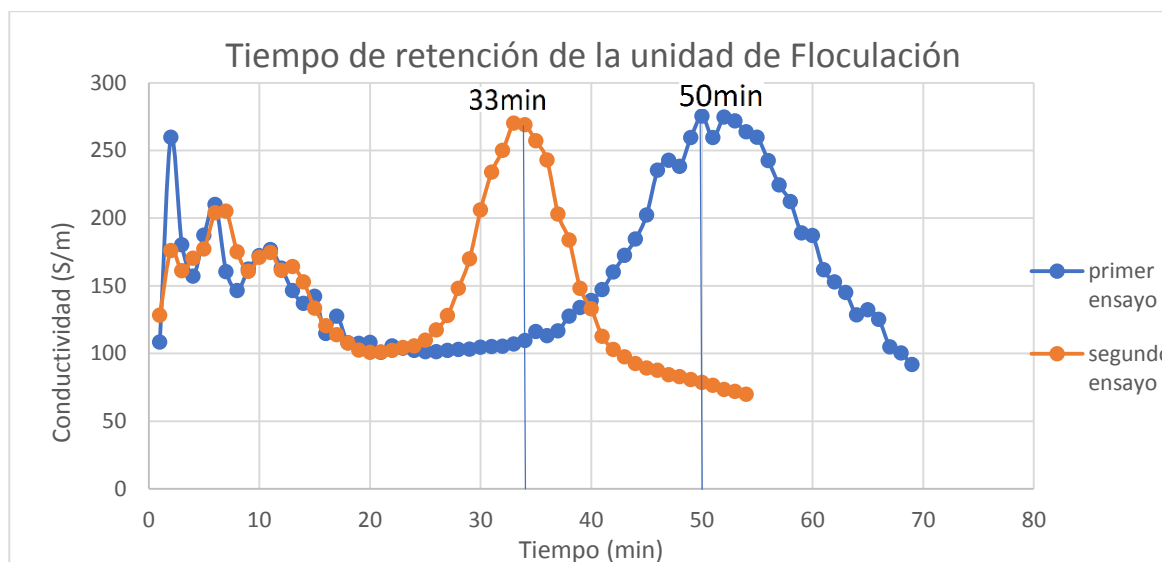


Ilustración 40 grafica de conductividad vs Tiempo en la unidad



La cámara 1 al tener gradientes descendentes y presentar problemas constructivos no es posible obtener un valor de tiempo de retención exacto para cada celda. Por lo tanto, no se puede calcular el valor de la gradiente de velocidad correspondiente.

Se determinó la gradiente de velocidad en la cámara 2 con las dimensiones reales para comprobar con la gradiente obtenida con las dimensiones del diseño.

En la tabla 19 se expresa el cálculo de la gradiente con las dimensiones reales.

Tabla 19. Cálculo de gradiente de velocidad en la cámara 2 con dimensiones reales.

Descripción	Unidad	Simbología	Valor
Caudal	m ³ /s	Q	0.015
Longitud de la unidad	m	L	6.48
Profundidad del floculador	m	H	4.7
Ancho del canal	m	b	0.55
Tiempo de retención del ultimo canal	min	t	18.6
Numero de pantallas	U	m	24
Espesor de pantallas	m	e	0.016
Espaciamiento entre pantallas	m	a	0.25
Velocidad en los canales verticales	m/s	V1	0.107
Velocidad en los pasos	m/s	V2	0.071
Altura del paso	m	P	0.38
Extensión total de canales del último tramo	m	I	119.5
Radio Hidráulico del compartimento entre pantallas	m	Rh	0.09
Coficiente de la fórmula de Manning		n	0.012
Pérdida de carga continua en los canales	m	h1	6.00E-03
Pérdida de carga en las vueltas	m	h2	0.021
Pérdida total en el último tramo	m	hf	0.027
Volumen del tramo	m ³	V!	15.88
Función de temperatura para 10 C		$\sqrt{(y/\mu)}$	2736
Gradiente de velocidad.	s-1	G	14



Se obtuvo un valor de 14 s⁻¹ el cual es menor a 20 s⁻¹ que recomienda el CEPIS.

Para el cálculo del gradiente de velocidad en la cámara 2 se consideró las dimensiones especificadas en el diseño inicial de la planta con pantallas de hormigón de 5 cm.

Tabla 20. Cálculo del gradiente de velocidad en la cámara 2 con dimensiones del diseño.

Descripción	Unidad	Simbología	Valor
Caudal	m ³ /s	Q	0.015
Longitud de la unidad	m	L	6.4
Profundidad del floculador	m	H	4.7
Ancho del canal	m	b	0.6
tiempo de retención del ultimo canal	min	t	20
Numero de pantallas	U	m	24
Espesor de pantallas	m	e	0.05
Espaciamiento entre pantallas	m	a	0.22
Velocidad en los canales verticales	m/s	V1	0.114
Velocidad en los pasos	m/s	V2	0.076
Altura del paso	m	P	0.33
Extensión total de canales del último tramo	m	I	137.4
Radio Hidráulico del compartimento entre pantallas	m	Rh	0.08
Coefficiente de la fórmula de Manning		n	0.013
Pérdida de carga continua en los canales	m	h1	9.00E-03
Pérdida de carga en las vueltas	m	h2	0.024
Pérdida total en el último tramo	m	hf	0.033
Volumen del tramo	m ³	V!	15.03
Función de temperatura para 10 C		$\sqrt{(\gamma/\mu)}$	2736
Gradiente de velocidad.	s-1	G	16

El valor obtenido con las dimensiones las del diseño son inferiores a 20 s⁻¹. Por lo cual se producirá sedimentación.



Universidad de Cuenca

Cuando se reemplazó las pantallas de hormigón a Plástico reforzado con fibra de vidrio con espesor menor no se realizó un rediseño. Por lo tanto, la gradiente de velocidad se redujo a un valor de 14 s⁻¹.

Se calculó el número de pantallas necesarias en la cámara para obtener una gradiente de 20 s⁻¹ como se muestra en la tabla 21.

Tabla 21. Cálculo de gradiente de velocidad en la cámara 2 con dimensiones reales.

Descripción	Unidad	Simbología	Valor
Caudal	m ³ /s	Q	0.015
Longitud de la unidad	m	L	6.48
Profundidad del floculador	m	H	4.7
Ancho del canal	m	b	0.55
tiempo de retención del ultimo canal	min	t	20
Numero de pantallas	U	m	30
Espesor de pantallas	m	e	0.016
Espaciamiento entre pantallas	m	a	0.2
Velocidad en los canales verticales	m/s	V1	0.136
Velocidad en los pasos	m/s	V2	0.091
Altura del paso	m	P	0.3
Extensión total de canales del último tramo	m	I	151.88
Radio Hidráulico del compartimento entre pantallas	m	Rh	0.07
Coefficiente de la fórmula de Manning		n	0.012
Pérdida de carga continua en los canales	m	h1	2.00E-02
Pérdida de carga en las vueltas	m	h2	0.042
Pérdida total en el último tramo	m	hf	0.057
Volumen del tramo	m ³	V!	15.63
Función de temperatura para 10 C		$\sqrt{(\gamma/\mu)}$	2736
Gradiente de velocidad.	s⁻¹	G	20

El número de pantallas necesarias para obtener una gradiente de velocidad de 20 s⁻¹ es 30 por lo que se debe aumentar el número de pantallas.



4.4.4 Sedimentadores

Se presentan los valores del color antes y después de la sedimentación para obtener la eficiencia de los sedimentadores en los meses de enero, febrero, marzo, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre del 2018, y enero del 2019.

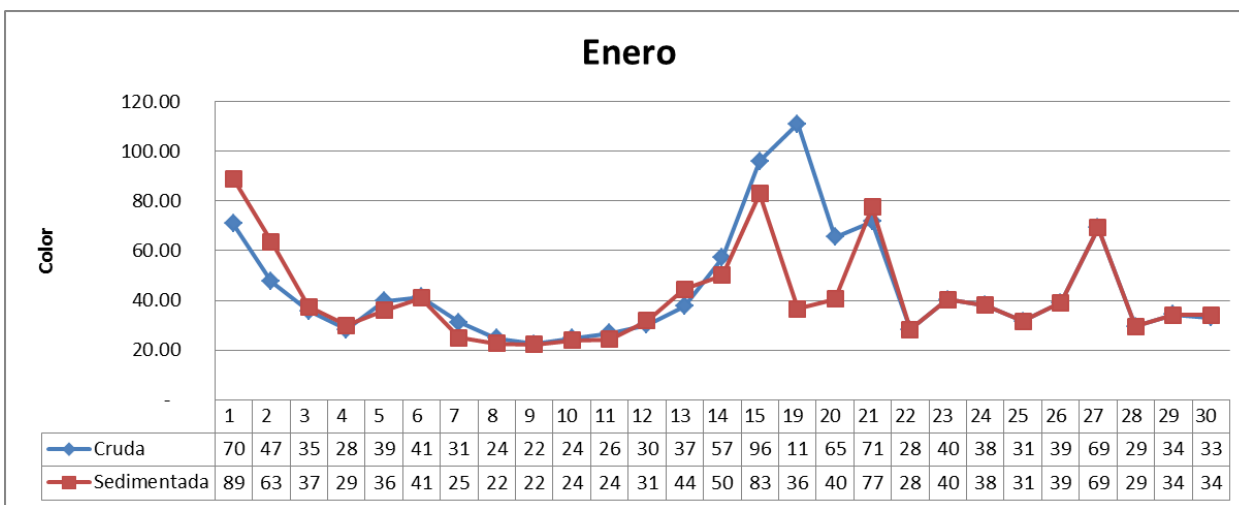


Ilustración 41. Color agua cruda y agua sedimentada (Enero 2018).

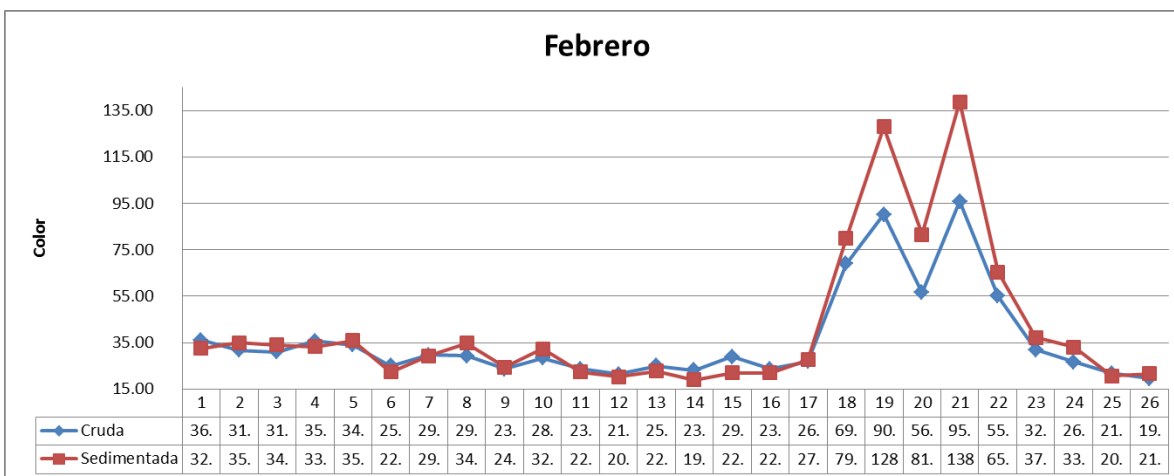


Ilustración 42. Color agua cruda y agua sedimentada (Febrero 2018).

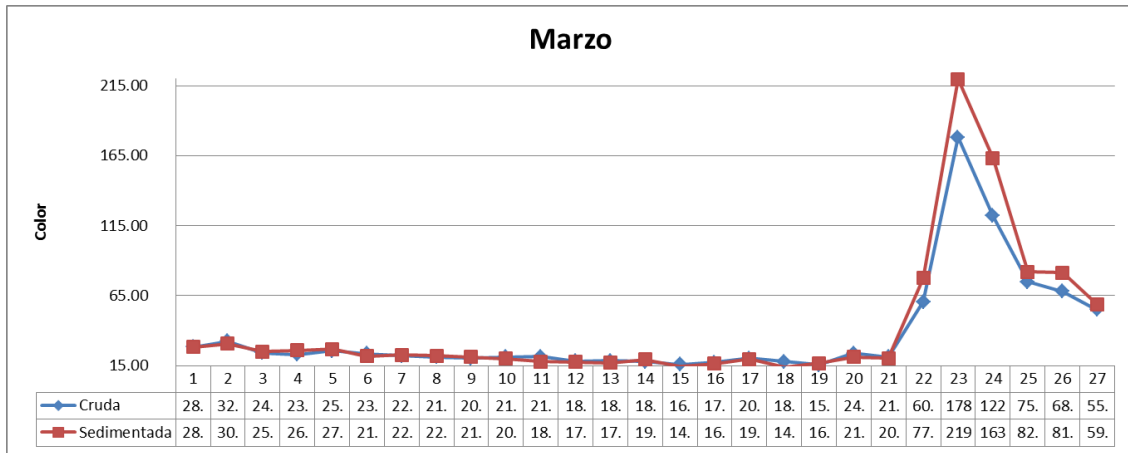


Ilustración 43. Color agua cruda y agua sedimentada (Marzo 2018).

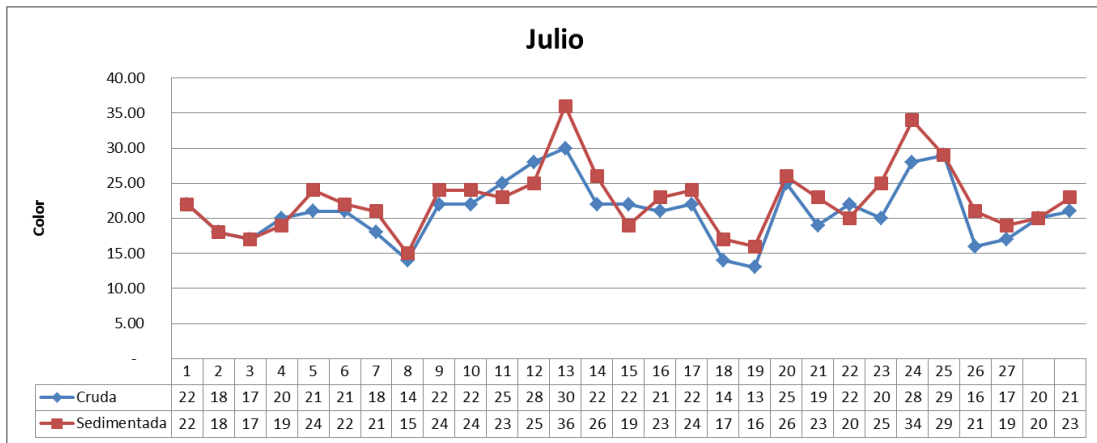


Ilustración 44. Color agua cruda y agua sedimentada (Julio 2018).

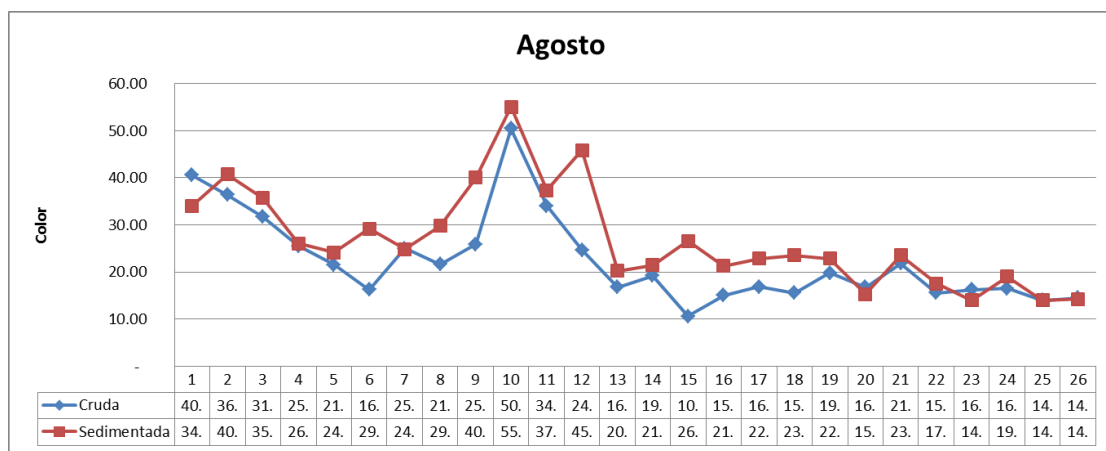


Ilustración 45 Color agua cruda y agua sedimentada (Agosto 2018)

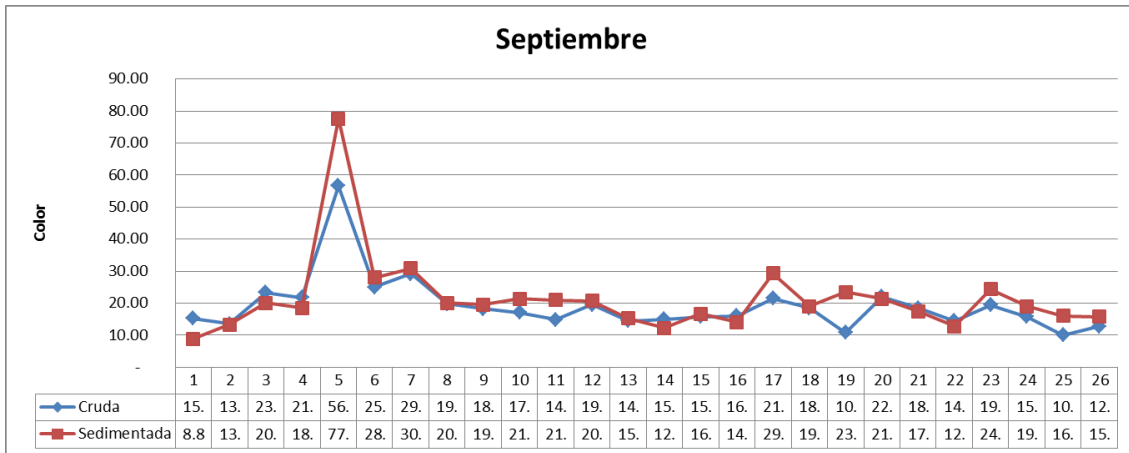


Ilustración 46. Color agua cruda y agua sedimentada (Septiembre 2018).

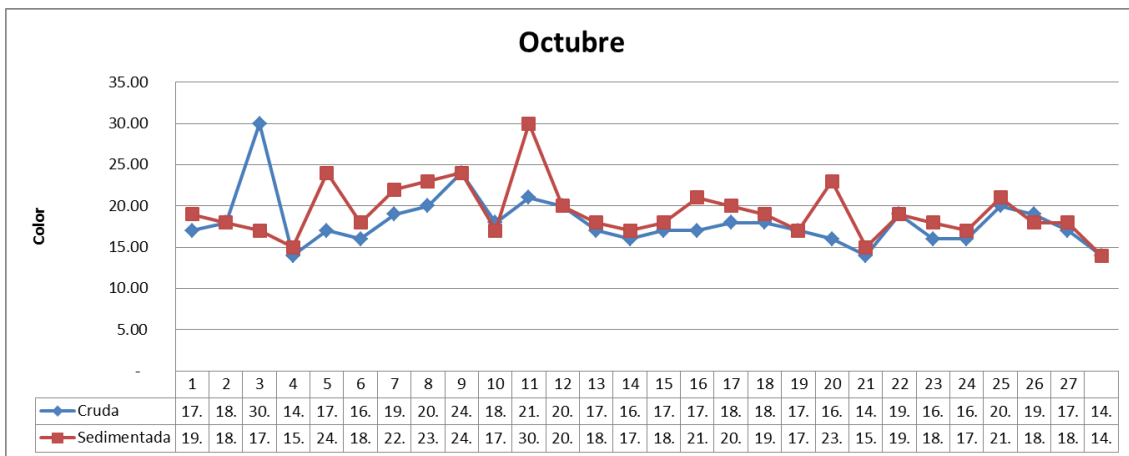


Ilustración 47. Color agua cruda y agua sedimentada (Octubre 2018).

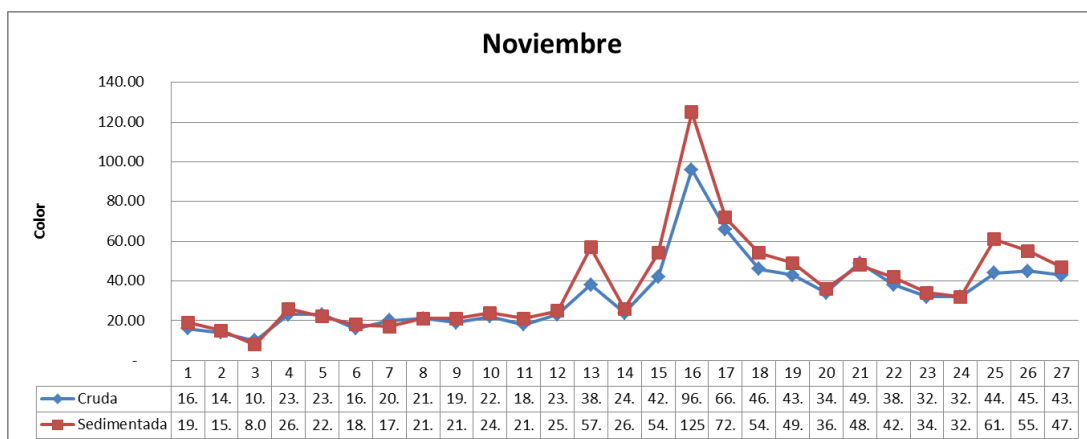


Ilustración 48. Color agua cruda y agua sedimentada (noviembre 2018).

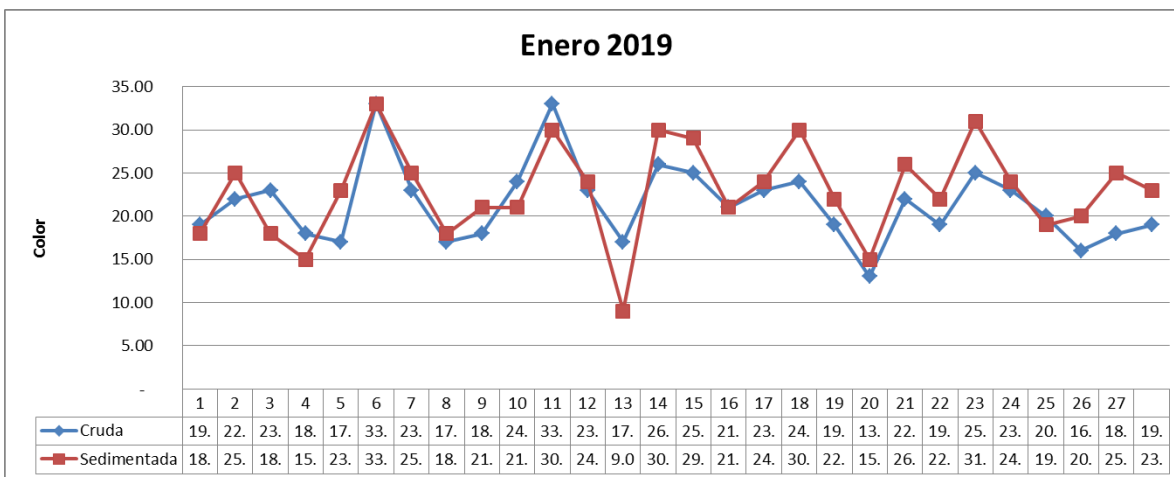


Ilustración 49. Color agua cruda y agua sedimentada (Enero 2019).

En la Ilustración 50 se presentan los valores promedio mensual del color, antes y después de la sedimentación.

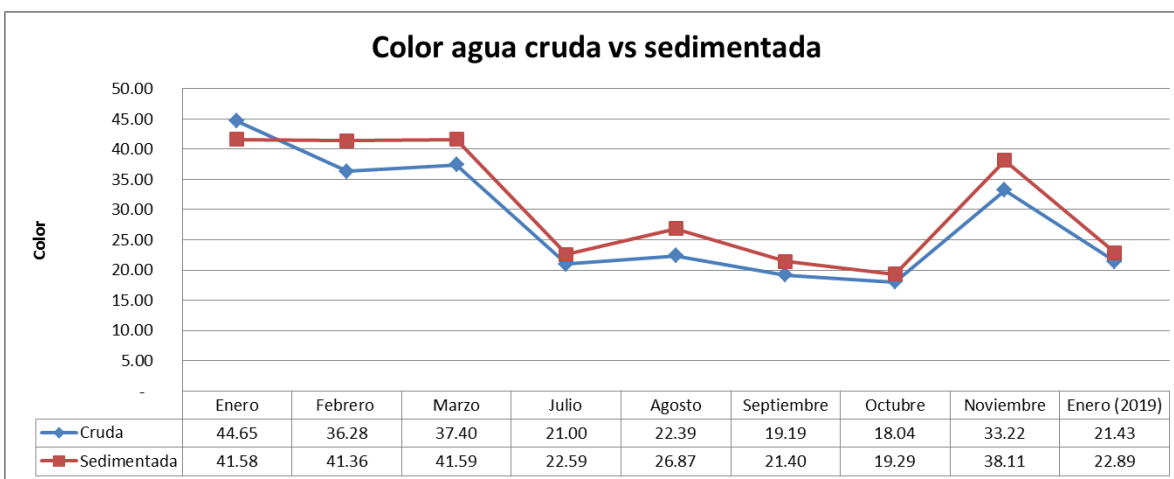


Ilustración 50. Color agua cruda y agua sedimentada (Promedio mensual).

Se observa que el sedimentador no tiene un correcto funcionamiento desde el mes de febrero del 2018; el color del agua sedimentada aumenta debido a que se realizó un cambio de placas con diferente espaciamiento al especificado en el diseño, perjudicando el proceso de potabilización.

1. Geometría de la unidad.

En la ilustración 51 se presenta las dimensiones especificadas en el diseño y en la ilustración 52 las dimensiones de construcción.

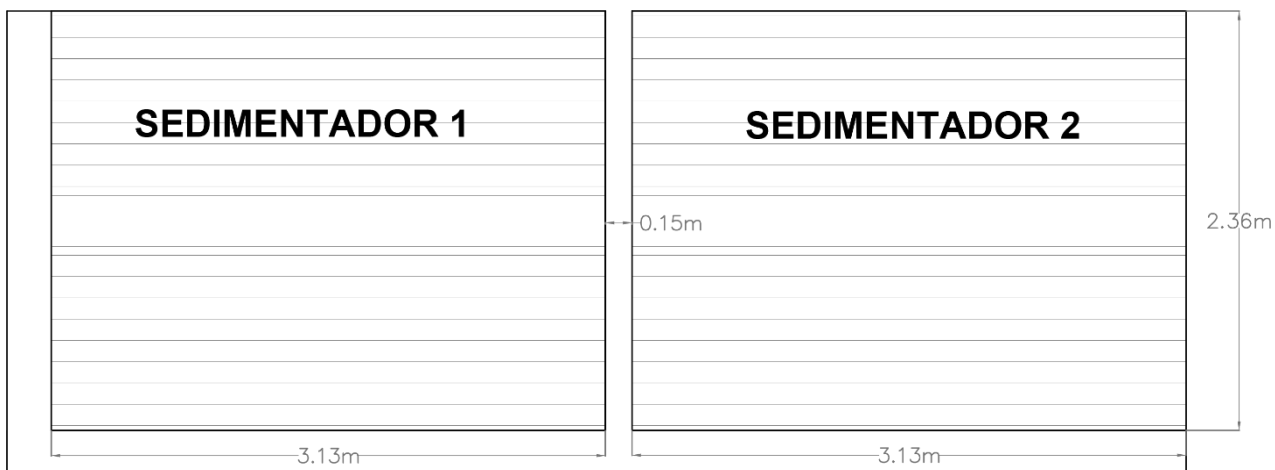


Ilustración 51 Dimensiones de diseño de los sedimentadores.

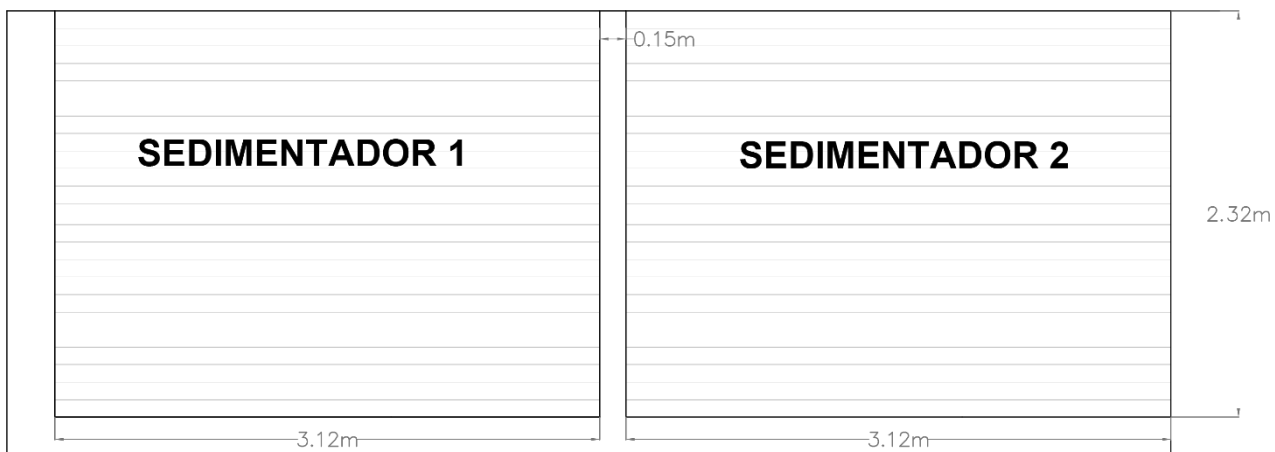


Ilustración 52 Dimensiones reales de los sedimentadores.

Las dimensiones estructurales de la cámara de sedimentación no presentan variaciones significativas que afecten a la capacidad de operación.

En la parte funcional existe una variación en la separación de las placas, dado que en el diseño se especifica una separación de 5 cm la cual es la óptima para garantizar el desplazamiento normal del fluido entre placas, evitando perturbaciones en el procedimiento de sedimentación

Universidad de Cuenca

(José & Emyra, 2002), en la planta se colocó una separación de 10 cm la cual reducirá la eficiencia del sedimentador. El ángulo de inclinación con la que fueron colocadas las placas es de 60° el cual se encuentra dentro del rango recomendado para lodos livianos (José & Emyra, 2002).

- **Determinación de carga superficial real.**

Con la altura de las placas de 1.04 m se verifica si la carga superficial real es suficiente para que los flóculos tengan una velocidad de sedimentación necesaria para ser removidas.

Los resultados se muestran en la tabla 22:

Tabla 22. Carga superficial real y teórica

	Profundidad (m)	Tiempo de retención(min)	Resultado ($m^3/m^2/d$)
Carga Teórica	1.04	12.48	120.00
Carga Real	1.04	24	62.40

La carga real es 48 % menor a la teórica provocando que las partículas no tengan una velocidad de sedimentación necesaria para ser removidas por lo que se debería aumentar la profundidad de las placas hasta que la carga real sea igual a la teórica.

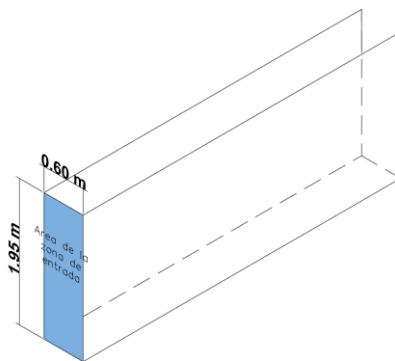


Ilustración 53 Dimensiones de la estructura de conexión.

Universidad de Cuenca

- La velocidad en la estructura de conexión entre los floculadores y los sedimentadores es de:

- Caudal=0.015 m³/s
- Área= 1.07m²

La velocidad es igual a 0.014m/s.

Dado que la velocidad es menor a 0.15 m/s se produce un depósito de sedimentos en el canal que conecta los floculadores con las cámaras de sedimentación.

- La carga unitaria de las tuberías recolectoras es igual a:
 - Caudal de cada cámara: 7.5l/s
 - Longitud de las 4 tuberías recolectoras: 2.32 m

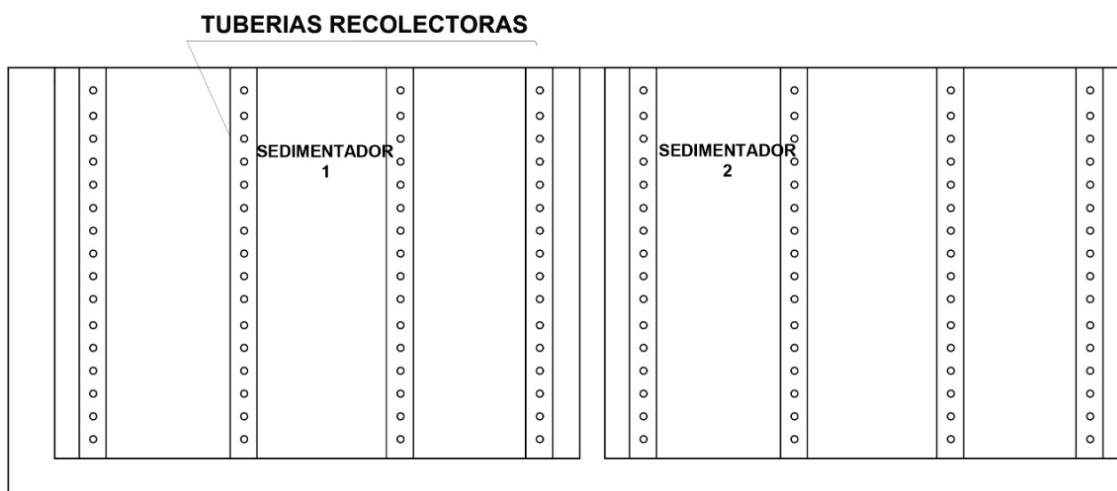


Ilustración 54 Esquema de las tuberías recolectoras.

Carga lineal de las tuberías recolectoras: 0.81 l/s .m

La carga lineal se encuentra debajo del rango recomendado provocando que no se recolecten los flóculos adecuadamente (Cánepa de Vargas,2005).



4.4.5 Filtros.

Para medir la eficiencia de los filtros es necesario realizar una granulometría de las capas del material granular, esto no se pudo realizar debido a que no se pudo extraer el material por lo que se evaluara la eficiencia de los filtros utilizando los registros diarios de la planta.

Se presentan los valores del color antes y después de la filtración para determinar la eficiencia de los filtros en los meses de: enero, febrero, marzo, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre del 2018; y enero del 2019.

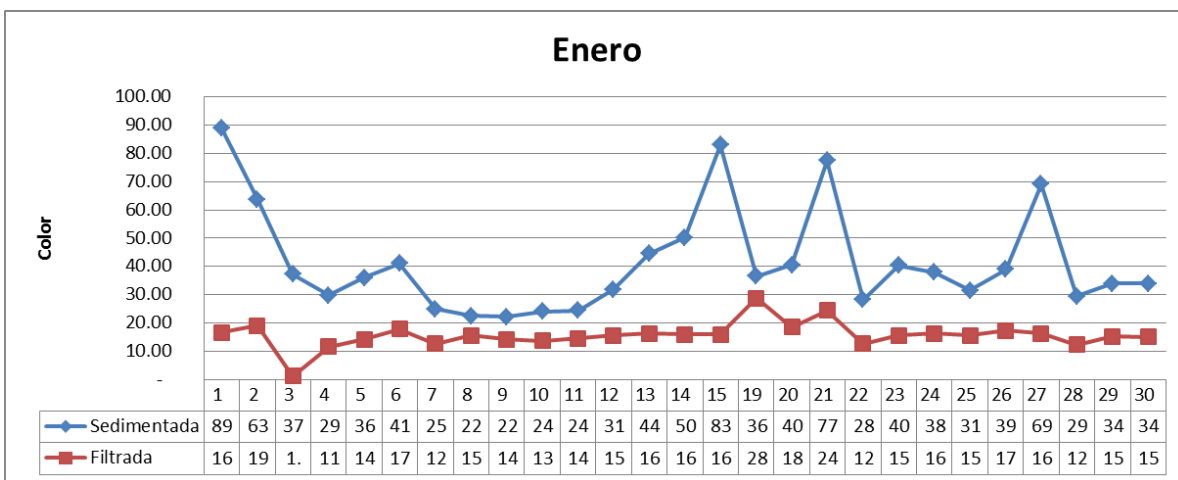


Ilustración 55. Color agua sedimentada y agua filtrada (Enero 2018).

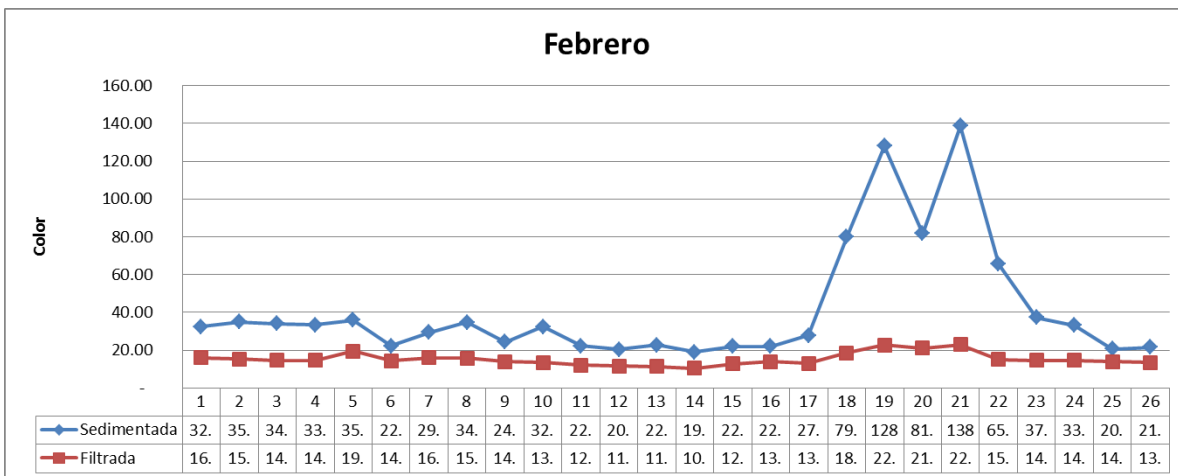


Ilustración 56. Color agua sedimentada y agua filtrada (Febrero 2018).

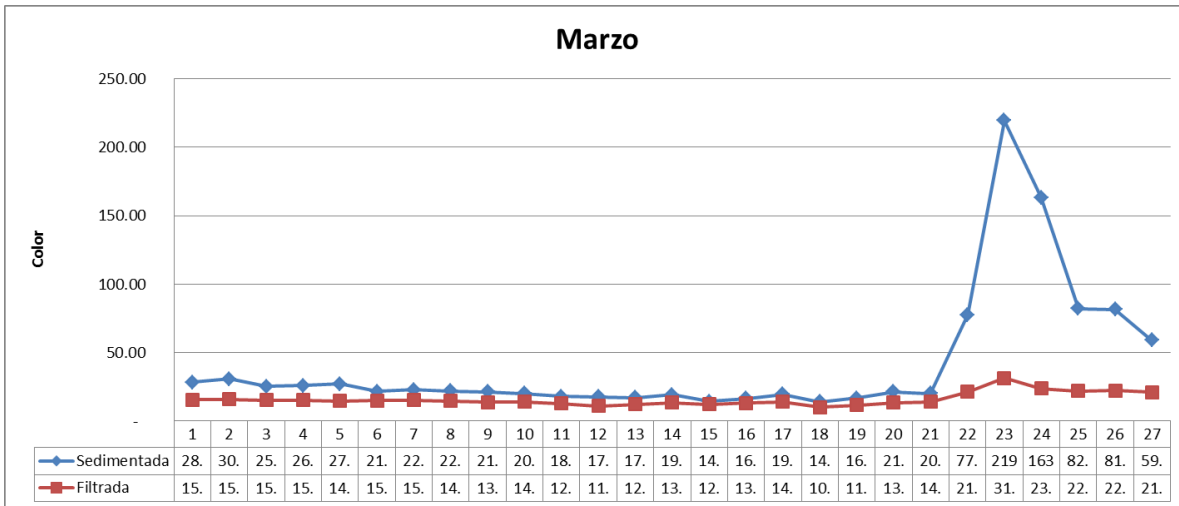


Ilustración 57. Color agua sedimentada y agua filtrada (Marzo 2018).

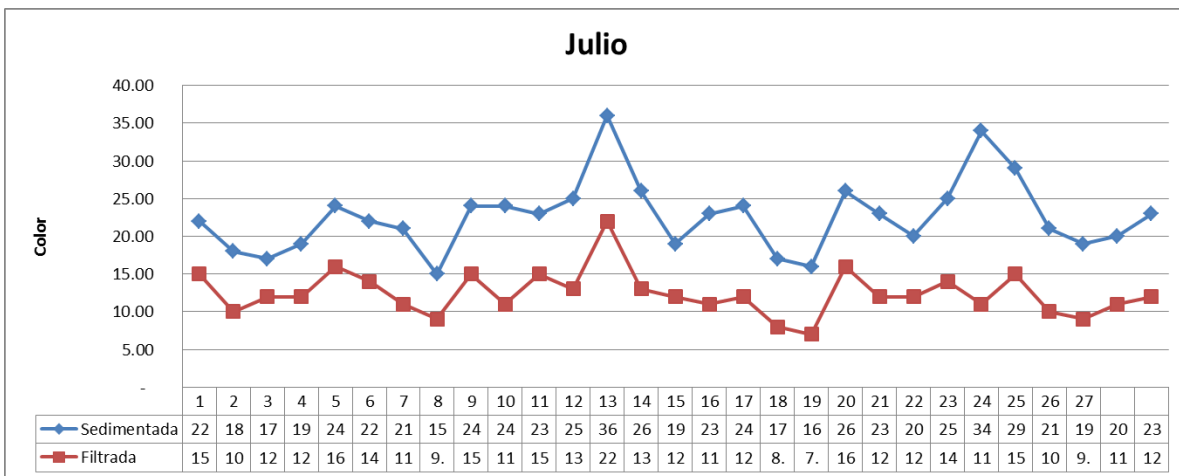


Ilustración 58. Color agua sedimentada y agua filtrada (Julio 2018).

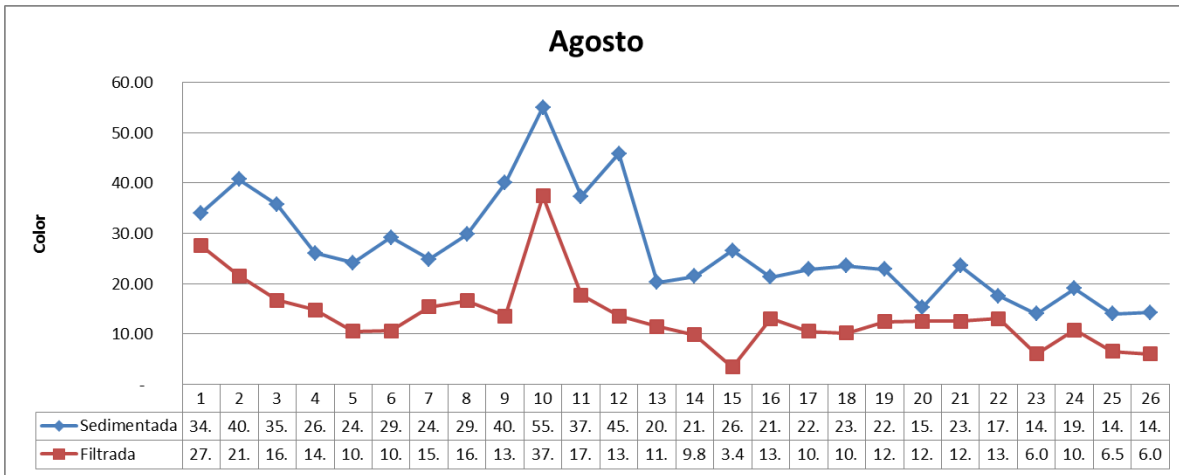


Ilustración 59. Color agua sedimentada y agua filtrada (Agosto 2018).

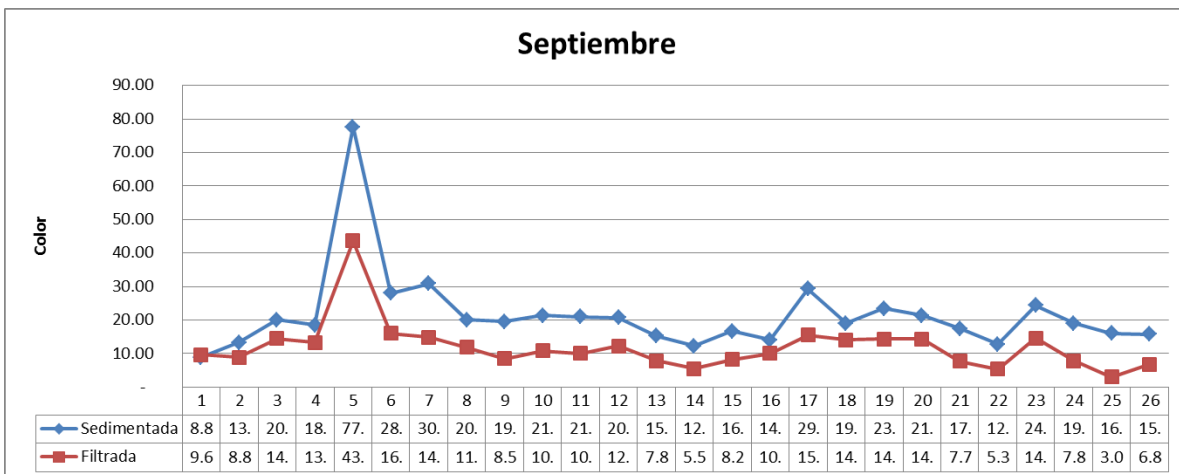


Ilustración 60. Color agua sedimentada y agua filtrada (Septiembre 2018).

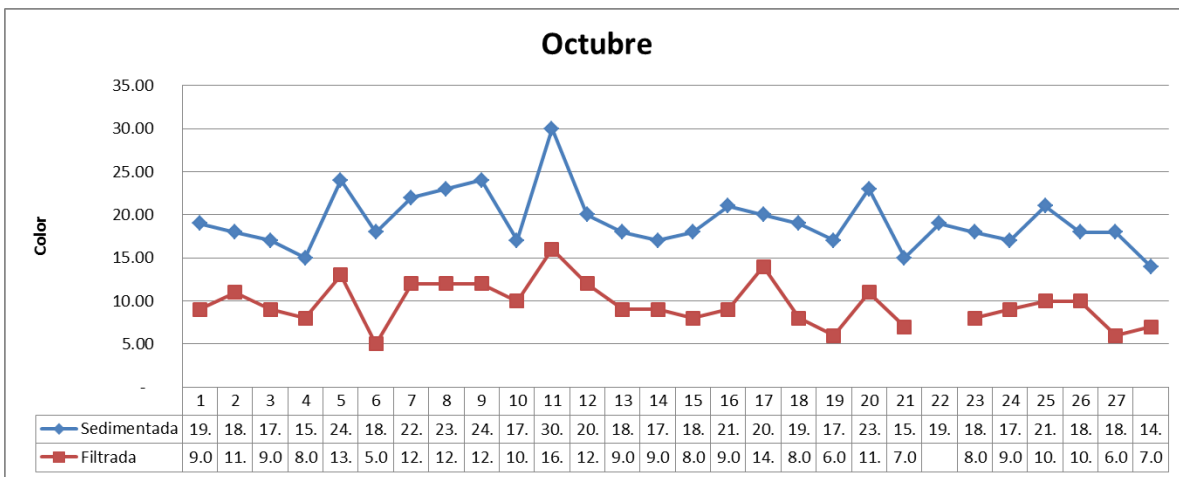


Ilustración 61. Color agua sedimentada y agua filtrada (Octubre 2018).

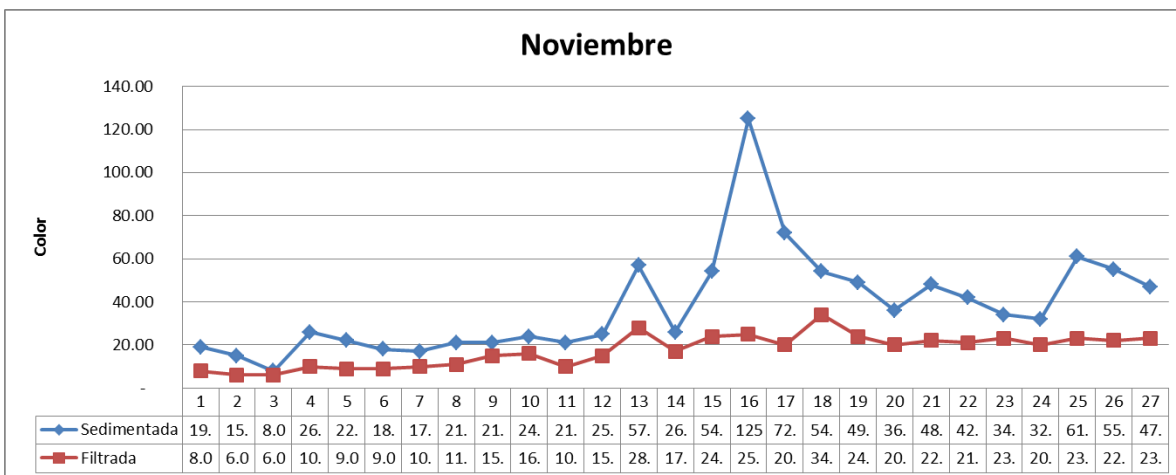


Ilustración 62. Color agua sedimentada y agua filtrada (Noviembre 2018).

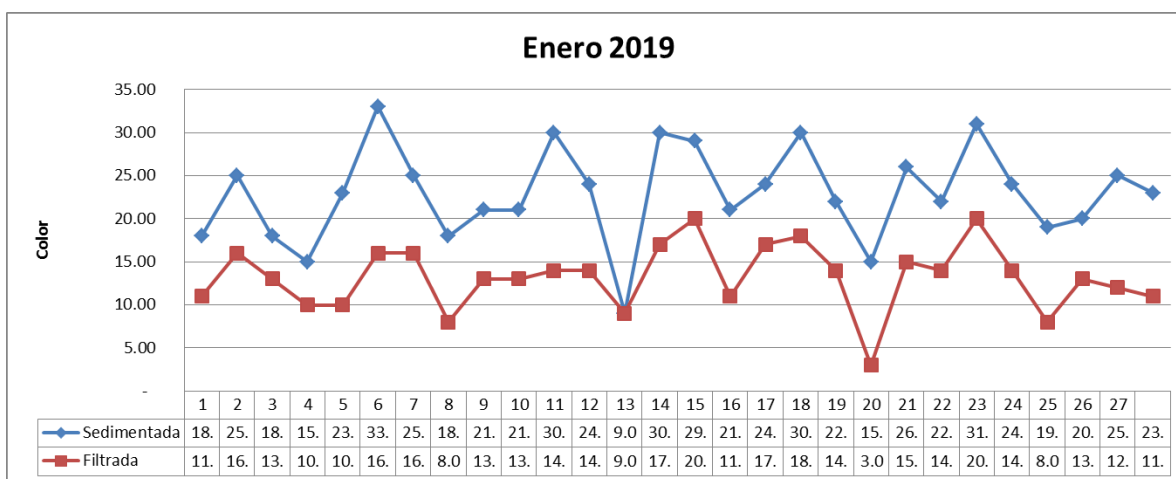


Ilustración 63. Color agua sedimentada y agua filtrada (Enero 2019).

En la Ilustración 64 se presentan los valores promedio mensual del color antes y después del proceso de filtración.

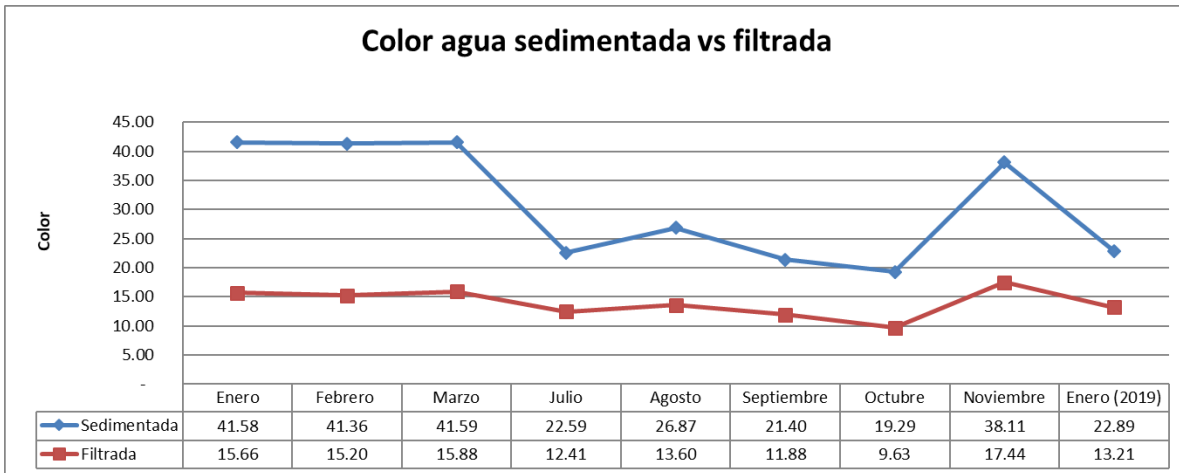


Ilustración 64. Color agua sedimentada y agua filtrada (Promedio mensual).

Se observa que reduce en más del 40% del color del agua sedimentada. Por lo tanto, los filtros están funcionando correctamente.

- **Geometría de la unidad.**

En la ilustración 65 se presenta las dimensiones especificadas en el diseño y en la ilustración 66 las dimensiones en la construcción. (Anexo 7).

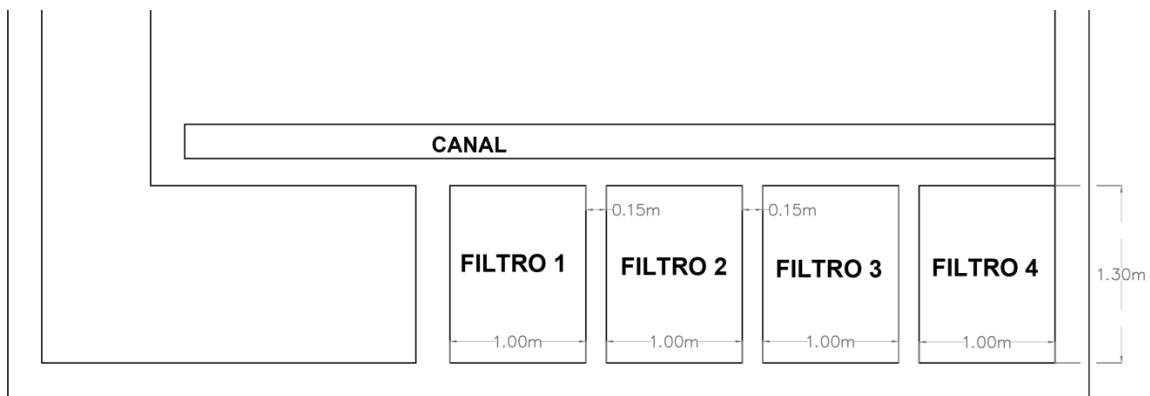


Ilustración 65. Dimensiones especificadas en los planos de diseño.

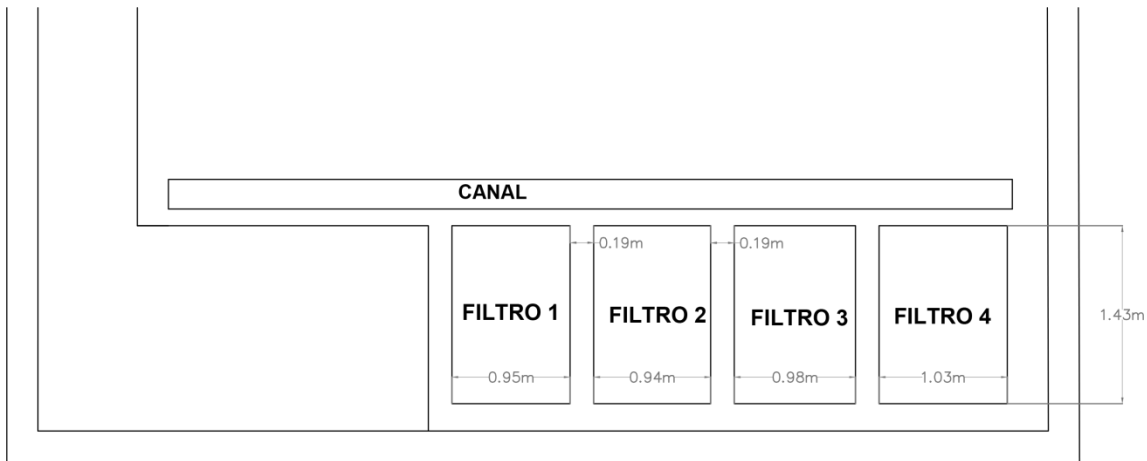


Ilustración 66. Dimensiones reales de los filtros.

Las dimensiones reales son mayores a las del diseño por lo que los filtros tendrán una mayor capacidad.

- **Caudal de operación.**

Los resultados de los aforos realizados se presentan en la tabla 23.

Tabla 23. Aforo filtros

Aforo	Caudal (l/s)			
	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3	Filtro 4
1	6.21	5.86	6.28	6.44
2	5.34	6.09	5.51	6.54
3	5.14	5.53	6.03	5.95
4	5.51	5.98	5.98	6.59
Promedio	5.55	5.87	5.95	6.38

En base a los resultados obtenidos en los aforos se puede observar que se distribuyen de manera uniforme permitiendo iguales condiciones de operación.

4.4.6 Unidad de cloración.

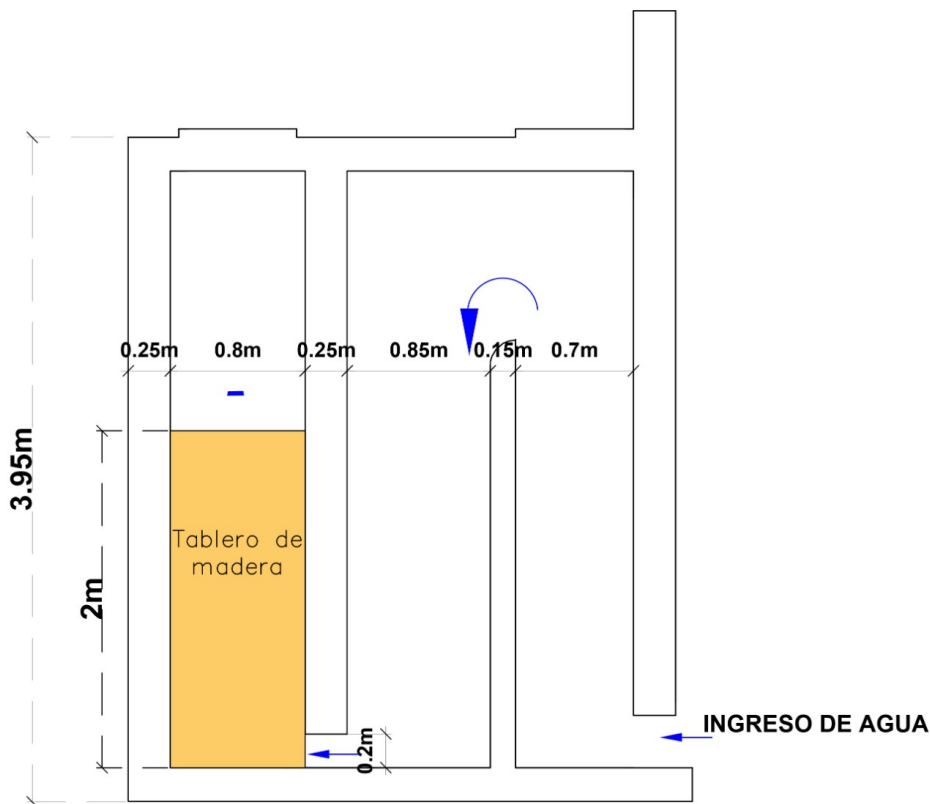


Ilustración 67 Esquema de la entrada de la cámara de cloración.

En base a la metodología de evaluación, se obtienen los siguientes resultados:

- **Sistema de aplicación.**

El tanque tiene una altura de 3.95 m y la solución de cloro se dosifica a una altura de 1 m. desde el fondo de la cámara garantizando la aplicación de forma sumergida para los diferentes caudales de operación.



Ilustración 68 Aplicación del cloro

- **Caseta de cloración.**

La inspección de la caseta de cloración muestra:

- La caseta de cloración cuenta con una ventana de dimensiones de 40 x 50 cm, esta abertura no asegura una ventilación adecuada para el desfogue de cloro gas cuando se produzca algún percance. La ventilación de la estructura se muestra en la siguiente ilustración.

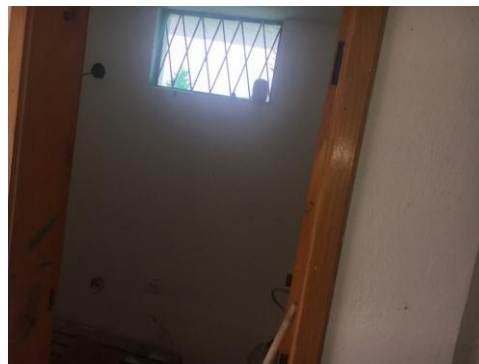


Ilustración 69 Ventilación de la caseta de cloración.

- La ubicación de la caseta es segura, aislada, y está ocupada solamente por los cilindros de gas facilitando su desalojo en caso de emergencia; el ingreso está

Universidad de Cuenca

autorizado únicamente para los operadores de la planta, para la protección del personal dispone de máscaras de protección para realizar su trabajo, pero no existe un sistema de alarma. (Ilustración 70).



Ilustración 70 Almacenamiento del cloro gas.

- **Medición de cloro residual.**

En la tabla 24 se presentan los resultados del cloro residual en la red de distribución.



Tabla 24. Registro de cloro residual en la red de distribución.

Fecha	Cloro residual				
	Ubicación en la red de distribución				
	Tanque de reserva 1 (mg/l)	Tanque de reserva 2 (mg/l)	Punto inicial de la red (mg/l)	Punto intermedio de la red (mg/l)	Punto final de la red (mg/l)
13/11/2018	0.04	0.67	0.5	1.5	1
21/2/2019	0.02	0.75	0.5	1	0.5
23/2/2019	0.02	0.97	0.5	0.5	1
8/3/2019	0.04	0.04	0.5	0.3	0.3

Según la norma NTE. INEN 1108 el valor del cloro residual libre en el agua potable debe encontrarse en el rango de 0.3 a 1.5 mg/l. Los valores del tanque de reserva 1, están debajo del rango recomendado debido a que los tableros de madera que son encargados de dar un tiempo de contacto necesario para la mezcla se encuentran destruidos en la parte inferior permitiendo el paso del agua, por lo que no existe una mezcla uniforme. Por lo tanto se debe restaurar los tableros de madera.

4.4.7 Tanque de reserva.

Se evaluaron los aspectos especificados en la metodología para esta unidad.

- **Estructural.**

Se observa que el tanque de almacenamiento 1 no presenta grietas o fallas.



Ilustración 71 Tanque de reserva 1

- **Filtraciones.**

Existe filtración en el tanque 2 debido al desgaste del hormigón como se muestra en la siguiente ilustración.

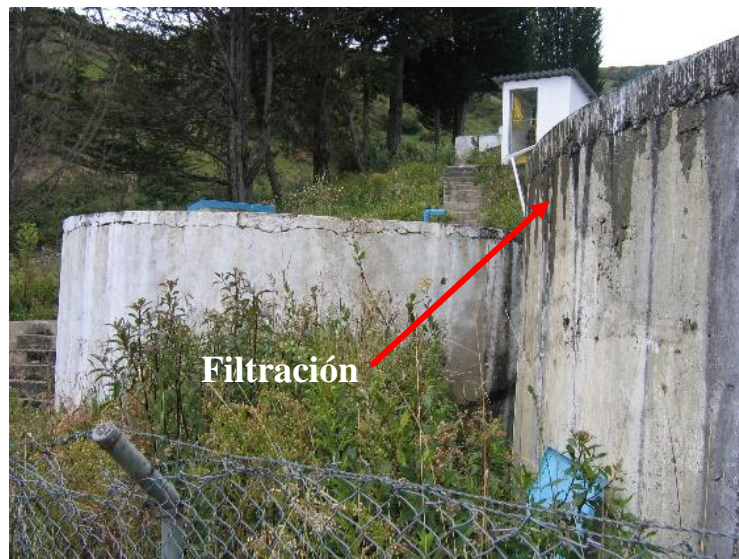


ilustración 72 Filtración de tanque de reserva 2.

- **Capacidad.**

Se determinó el volumen necesario en los tanques de reserva para la población futura (ver Anexo 5), con los siguientes parámetros iniciales:



Universidad de Cuenca

- Población: 7595 habitantes en el año 2038.
- Dotación: 200 l/hab/día para una población de 5000 a 50.000 en un clima frío.
- Consumo Medio Anual Diario (Qmed): 17.58 l/s.

Obteniendo:

Tabla 25 Volúmenes de diseño

V regulación m³	379.73
V incendios m³	135,53
V de emergencia m³	94.93

El volumen de reserva es de **610.19 m³** y la planta tiene una capacidad de **600 m³** por lo que apenas se tendrá un déficit de **10.19 m³** en el año 2038.

Funcionamiento.

La unidad dispone de medidores de caudales y de válvulas en perfectas condiciones para regular la distribución de agua para la población.

4.5 Caracterización del agua.

4.5.1 Ensayos de tratabilidad.

Los resultados del ensayo de jarras para diferentes valores de color y turbiedad (Anexo 6) se muestran a continuación:



Tabla 26 Resultado del ensayo de jarras.

Color Aparente (U.C)	Turbie dad (N.T.U)	Dosis óptima (mg/l)		Agua sedimentada	
		Coagula nte	Polím ero	Color (U.C)	Turbiedad (N.T.U)
18.00	0.95	17.50	0.88	6.00	0.40
25.00	0.93	17.50	0.63	7.00	0.38
28.00	0.75	20.00	0.75	9.00	0.58
30.00	1.18	30.00	0.63	9.00	0.22
33.00	2.68	17.50	0.63	4.00	0.97
36.00	0.89	25.00	0.63	14.00	1.00
41.00	1.95	20.00	0.25	4.00	0.35
44.00	1.30	20.00	0.50	23.00	1.17
54.00	2.67	30.00	0.63	6.00	0.61

4.5.2 Análisis bacteriológico.

Ensayo 16 de mayo del 2018.

PARÁMETROS	Entrada PTAP	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS			
TEMPERATURA		°C.	in situ
TURBIEDAD	2.63	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	33.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	22.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	76.8	microsiemens / cm	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	50.7	mg/l	por cálculo
PARÁMETROS QUÍMICOS			
pH	7.7		
ALCALINIDAD TOTAL	40.0	mg/l, CaCO ₃	
ALCALINIDAD F.	0.0	mg/l, CaCO ₃	
DUREZA TOTAL	34.0	mg/l, CaCO ₃	
Ca ⁺⁺	8.0	mg/l	
Mg ⁺⁺	3.4	mg/l	por cálculo
HIERRO TOTAL	0.15	mg/l	



Universidad de Cuenca

MANGANESO	0.0	mg/l	
COBRE II LIBRE	0.01	mg/l	
SILICIO	0.57	mg/l	
TANINOS Y LIGNINAS	1.2	mg/l	
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS	0.022	mg/l	como Fósforo
P.ORTOFOSFATOS TOTALES	0.090	mg/l	como Fósforo
CLORUROS	4.6	mg/l	
SULFATOS	1.28	mg/l	
N. NITRITOS	3.74	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	0.481	mg/l	como Nitrógeno
FLUORUROS	1.04	mg/l	
SOLIDOS TOTALES	80.0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES FIJOS	41.0	mg/l	
SOLIDOS TOTALES VOLATILES	39.0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	79.0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS	41.0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES	38.0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	1.0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS	0.0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES	1.0	mg/l	

PARÁMETROS BIOLÓGICOS			
AEROBIOS MESOFILOS	210.0	U.F.C./ml	35°C. 24H
PSEUDOMONA AERUGINOSA	12.0	U.F.C./100ml	35°C. 24H
MOHOS Y LEVADURAS	18.0	U.F.C./ml	35°C. 5D
COLIFORMES TOTALES	49.0	U.F.C./100ml	35°C. 24H
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	49.0	U.F.C./100ml	35°C. 24H

Al calentar una muestra de agua se emiten olores, con cierto parecido a materia vegetal.



Universidad de Cuenca

Ensayo 16 de mayo del 2018.

PARÁMETROS	Agua Cruda	Agua Sedimentada	Agua Filtrada	Tanque de Almacenamiento	Escuela 12 de Octubre	Colegio Trilingue Mushuk Kausay	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS								
TEMPERATURA							°C.	in situ
TURBIEDAD	1.1	0.973	0.703	0.699	0.623	0.565	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	24.0	20.0	16.0	11.0	17.0	18.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	16.0	14.0	14.0	8.0	11.0	16.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	86.7	86.6	87.4	88.9	92.4	90.7	microsiemens/ cm	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	57.2	57.2	57.7	58.7	61.0	59.9	mg/l	por cálculo
PARÁMETROS QUÍMICOS								
pH	7.6	7.6	7.6	7.5	7.6	7.6		
ALCALINIDAD TOTAL	42.0	42.8	44.0	40.2	41.8	42.4	mg/l, CaCO ₃	
ALCALINIDAD F.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	mg/l, CaCO ₃	
DUREZA TOTAL	39.6	41.0	42.0	39.2	40.2	41.0	mg/l, CaCO ₃	
Ca ⁺⁺	9.4	9.5	10.1	9.0	9.2	9.2	mg/l	
Mg ⁺⁺	3.9	4.2	4.1	4.0	4.2	4.4	mg/l	por cálculo
HIERRO TOTAL	0.17	0.17	0.18	0.19	0.17	0.17	mg/l	
MANGANESO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	mg/l	
COBRE II LIBRE	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	mg/l	
SILICIO	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	mg/l	
TANINOS Y LIGNINAS	4.7	1.0	1.5	1.2	2.5	2.3	mg/l	
P.ORTOFOSFATOS DISUELTOS	0.010	0.240	0.020	0.020	0.040	0.020	mg/l	como Fósforo
CLORUROS	3.6	3.3	4.1	4.5	5.2	5.0	mg/l	
SULFATOS	2.34	2.28	2.38	2.26	1.92	1.86	mg/l	
N. NITRITOS	2.13	2.53	2.13	4.96	5.36	2.53	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	0.135	0.111	0.104	0.111	0.118	0.108	mg/l	como Nitrógeno
ALUMINIO LIBRE	0.007	0.033	0.002	0.174	0.090	0.054	mg/l	
CLORO LIBRE RESIDUAL				0.1	1.0	0.5	mg/l	
PARÁMETROS BIOLÓGICOS								
AEROBIOS MESOFILOS	62.0	57.0	34.0	7.0	0.0	0.0	U.F.C./ml	35°C. 24H
COLIFORMES TOTALES	104.0	83.0	38.0	15.0	0.0	0.0	U.F.C./100ml	35°C. 24H
E. COLI	2.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	U.F.C./100ml	35°C. 24H

No hay adición de sulfato de aluminio; la conductividad y la concentración de sulfatos en constante en todas las muestras.

La presencia de cloro residual elimina las bacterias, garantizando la calidad microbiológica; pero se desinfecta agua coloreada, con riesgo de formar sustancias peligrosas como los trihalometanos.



Universidad de Cuenca

Ensayo 16 de mayo del 2018.

PARÁMETROS	Agua Laguna	Salida Filtro Izquierdo	Salida Filtro Derecho	UNIDAD	OBSERVACIONES
PARÁMETROS FÍSICOS					
TEMPERATURA				°C.	in situ
TURBIEDAD	0.965	1.05	0.786	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	18.0	27.0	38.0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	17.0	16.0	18.0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	108.4	88.0	83.6	microsiemens/ cm	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	71.5	58.1	55.2	mg/l	por cálculo
PARÁMETROS QUÍMICOS					
pH	8.0	8.0	8.0		
ALCALINIDAD TOTAL	58.0	42.2	40.8	mg/l, CaCO ₃	
ALCALINIDAD F.	0.0	0.0	0.0	mg/l, CaCO ₃	
P. ORTOFOSFATOS DISUELTOS	0.030	0.020	0.010	mg/l	como Fósforo
P. ORTOFOSFATOS TOTALES	0.120	0.080	0.090	mg/l	como Fósforo
N. NITRITOS	2.94	4.55	3.34	ug/l	como Nitrógeno
N. NITRATOS	0.075	0.064	0.072	mg/l	como Nitrógeno
N. AMONIACAL	0.010	0.010	0.010	mg/l	como Nitrógeno

Objetivo del ensayo es comprobar la eficiencia del prefiltros.

Se toma la muestra sin considerar el período de retención en el filtro; al parecer el agua filtrada, no procede de la cruda analizada.



Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones.

- Es un agua que se caracteriza por las siguientes propiedades: es una fuente superficial de baja mineralización, con un color real que oscila entre 20 y 40 UC., y baja turbiedad, menor a 5 NTU; baja alcalinidad, menor a 45 mg/l como CaCO₃; contenidos de hierro, manganeso y cobre muy bajos; por lo que el origen del color es de naturaleza orgánica y debido a la presencia de sustancias húmicas que sólo serán removidas aplicando el proceso convencional de: coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Pero debido a las características del agua mencionadas, que representa la condición más difícil para este tipo de tratamiento, es necesario realizar ensayos de laboratorio, que permitan conocer con mucha precisión las dosis óptimas de todas las sustancias químicas usadas, e ir probando en la planta a escala real, hasta obtener la máxima eficiencia.
- Se evaluó los procesos de la planta y se determinó que las unidades de pretratamiento, floculación, sedimentación y desinfección no tiene un funcionamiento satisfactorio debido a problemas constructivos y funcionales, se plantearon correcciones para mejorar la eficiencia mejorando la calidad del agua distribuida.
- Los dosificadores no trabajan de forma adecuada, debido a que no se tiene una carga constante dado que el caudal que se dosifica hacia la mezcla rápida es mayor al caudal que ingresa desde el tanque de disolución.
- Los floculadores no fueron construidos de acuerdo con las dimensiones del diseño, lo cual dificulta la formación de los flóculos, afectando las etapas posteriores del tratamiento. Se alteró las gradientes y el tiempo de retención en las cámaras. Además, al



Universidad de Cuenca

reemplazar el material de las pantallas a PRFV se debe considerar un rediseño y así cumplir con los parámetros hidráulicos recomendados.

- Los sedimentadores no tienen un funcionamiento correcto, por lo que el color del agua sedimentada aumenta. Al tener una carga superficial menor a la del diseño no se remueve todas las partículas debido a que el área de sedimentación necesaria es mayor a la área de sedimentación con la cual fueron construidos los sedimentadores, por lo que se debe aumentar la altura de las placas de 1.04 m a 2 m y con esto igualar la carga teórica real con la del diseño.
- El funcionamiento de los filtros es satisfactorio; a pesar de que las unidades anteriores no tienen un óptimo funcionamiento, lo escasos flóculos livianos formados, son retenidos en su totalidad en los filtros, sobrecargando esta unidad, acortando la jornada de filtración y aumentando la frecuencia del lavado, que además consume agua tratada.
- En los ensayos de jarras realizados en el laboratorio se observa que el flóculo que se forma es muy liviano y no se sedimenta con facilidad por lo que es necesario el uso del polímero para aumentar la eficiencia de la aglomeración de partículas en la floculación, de lo contrario el coagulante sólo no permite alcanzar los niveles de color para agua destinada a consumo humano (< 20 UC.).

Recomendaciones.

- Para la protección de la captación y los filtros de pretratamiento se debe restaurar el cerramiento.
- El estado actual de los prefiltros es deplorable por lo tanto se debe cambiar todo el material de los filtros y realizar una limpieza cada 15 días para evitar la acumulación de algas.



Universidad de Cuenca

- En la conducción se debe realizar inspecciones trimestrales para verificar que no exista filtraciones o roturas de la tubería.
- En los dosificadores se recomienda reemplazar el método de dosificación actual por otro mediante boya flotante que permita una adición constante. Además, realizar limpiezas periódicas para evitar la obstrucción por sedimentos.
- Para conseguir un flóculo de mejores condiciones (más pesado), se recomienda ensayar otros coagulantes y polímeros; por ejemplo, el sulfato de aluminio líquido, y otros polímeros disponibles en el mercado.
- En la unidad de floculación para obtener una gradiente de 20 s^{-1} en la segunda cámara se debe aumentar a 30 el número de pantallas con un espaciamiento de 20 cm. Para evaluar los parámetros de tiempo de retención y gradientes de velocidad para la cámara 1 se recomienda el relleno de las tuberías en el fondo de la pared que conecta las dos cámaras.
- En la unidad de desinfección se debe restaurar las pantallas para que el flujo del agua sea igual al de diseño y obtener un tiempo de contacto necesario para conseguir una desinfección eficiente, Además, Se recomienda la instalación de un equipo detector de cloro en el aire, para tomar las debidas precauciones.
- En los sedimentadores reducir las separaciones de las placas de 10 a 5 cm para mejorar su funcionamiento.
- Mantener siempre limpios los filtros; la exposición del agua a la luz solar favorece el desarrollo indeseable de masas de algas, que afectan aún más al color del agua, y otras características físicas como el sabor y el olor.



Bibliografía.

- Cánepa de Vargas, I. L. (2005). *CAPÍTULO 3 PROCESOS UNITARIOS Y PLANTAS DE TRATAMIENTO*. 47.
- Héctor Quiñones. (2012). *Guías para la calidad del agua potable*. 16.
- Iza María. (2014). *EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL VOLUMEN DE INCENDIOS DE LOS TANQUES DE RESERVA PARA LA CIUDAD DE LATACUNGA*. 181.
- José, G., & Emyra, A. D. (2002). *DISEÑO DE SEDIMENTADORES DE PLACAS PARALELAS*. 7.
- Velásquez, A. C. B., & Pascuas, Y. Y. V. (2015). *EVALUACIÓN TÉCNICA Y OPERATIVA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL MUNICIPIO DE CHOCONTÁ, CUNDINAMARCA*. 119.
- Pérez, F. L. E. (2005). *TEORÍA DE LA SEDIMENTACIÓN*, 8.
- Pauta, C.G. G. (1998). *MANUAL DE TEORIA Y PRACTICAS DE ANALISIS DE AGUA*, 144.
- Robles, E., Ramírez, E., Durán, Á., & Martín, M. (06 de Julio de 2012). *CALIDAD BACTERIOLÓGICA Y FISICOQUÍMICA DEL AGUA DEL ACUÍFERO TEPALCINGO-AXOCHIAPAN, MORELOS, MÉXICO*. Recuperado el 25 de mayo de 2016, de *Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala*.
- OPS/OMS (2010) “*Celebran Día Mundial del Agua haciendo un llamado para evitar el uso irracional*” *Organización Panamericana de la Salud de Paraguay / Organización Mundial de la Salud recuperado de* https://www.paho.org/par/index.php?option=com_content&view=article&id=1790:celebr



Universidad de Cuenca

[ran-dia-mundial-del-agua-haciendo-un-llamado-para-evitar-el-uso-irracional&Itemid=212.](#)

- OMS (2006) *Guías para la calidad de agua potable*. Organización Mundial de la Salud, Volumen 1. 408.
- EMAPAT (2014) *Empresa Pública Municipal de agua potable y alcantarillado de El Tambo*. “Plan Maestro de agua potable de la ciudad de El Tambo”. 87
- Cánepa de Vargas, L. (2005) *Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada*. Lima, Programa OPS/OMS/CEPIS de Tratamiento de Agua para Consumo Humano.
- Cánepa de Vargas, L. (2006) *Manual II: Diseño de plantas de Tecnología apropiada*. Lima, Programa OPS/OMS/CEPIS de Tratamiento de Agua para Consumo Humano.
- Pérez Carrión, J. M. (1992) *Manual II, Programa Regional*. Lima, OPS/CEPIS de Mejoramiento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.



Anexos.

Anexo 1. Norma mexicana para la determinación de olor y sabor del agua.

NORMA MEXICANA NMX-AA-83-1982, ANALISIS DE AGUA.- DETERMINACION DE OLOR.

PREFACIO

En la elaboración de esta norma participaron los siguientes Organismos e Instituciones:

- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS. -
Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica.
- SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA. -
Departamento de Vigilancia de Aguas Receptoras.
- DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL. -
Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.
- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD. -
Laboratorio.
- LABORATORIOS NACIONALES DE FOMENTO INDUSTRIAL. -
Departamento de Contaminación.
- FERTILIZANTES MEXICANOS. -
Subgerencia de Investigación.
- CAMARA NACIONAL DE LAS INDUSTRIAS DE LA CELULOSA Y DEL PAPEL.
- CELANESE MEXICANA, S.A.-
Desarrollo y Promoción Industrial.

1.- OBJETIVO.

1.1 La presente Norma establece el método para la determinación de olor (que es una propiedad que afecta al sentido del olfato) en agua y un sistema para la clasificación de olores.

1.2 Los efluentes de aguas contaminadas pueden llevar una gran cantidad de compuestos, difíciles de medir individualmente, lo cual contribuye a crear problemas de olor. Las combinaciones de los compuestos pueden causar intensidades de olor o desarrollar características que no pueden ser previstas por los olores de las sustancias individuales.

1.3 Debido a la variación de las sensibilidades humanas, no es posible lograr una gran



Universidad de Cuenca

precisión en la determinación de las intensidades de olor. No siempre habrá concordancia en las características del olor por diferentes métodos. El análisis de olor proporciona una herramienta para medir la variación en intensidad de olor en un punto dado del muestreo. El grado de variación puede indicar la magnitud o importancia de un problema de olor.

2.- CAMPO DE APLICACION.

2.1 El método es aplicable a aguas naturales y residuales para la determinación de intensidades de olor en términos de índice de intensidad de olor o número umbral de olor.

2.2 PRECAUCION. - Para la aplicación de esta Norma, es muy importante especificar a los analistas el tipo de descarga y sus constituyentes para evitar la posible inhalación de sustancias tóxicas.

2.3 El olor del agua es una propiedad subjetiva con un efecto significativo en su calidad. Este método intenta proporcionar un procedimiento reproducible para determinar intensidades de olor en aguas para propósitos comparativos o de control.

2.4 El método puede usarse en el control de la calidad de aguas naturales o tratadas, estableciendo la efectividad de los procedimientos de tratamiento, y para determinar fuentes de contaminación o fugas en procesos industriales.

2.5 Los resultados del método dependen de los analistas, ya que la sensibilidad individual al olor es muy variable y cambia de un día a otro, por lo que es muy importante la estandarización de las condiciones.

3.- REFERENCIAS.

Esta Norma se complementa con las siguientes:

- Normas Mexicanas en vigor: NMX-AA-14 "Cuerpos receptores. - Muestreo".
- NMX-AA-3 "Aguas residuales. - Muestreo".
- NOM-Z-1 "Sistema general de unidades de medida. - Sistema Internacional de unidades (SI). NMX-BB-14 "Clasificación y tamaños nominales para utensilios de vidrio usados en laboratorios".

4.- RESUMEN DEL METODO.

4.1 Una muestra de agua se diluye con agua libre de olor hasta obtener una dilución que tenga lo que se define como un olor mínimo perceptible. El método se hace por dos o más analistas. Uno hace diluciones y el otro determina las intensidades de olor. Las muestras son analizadas



Universidad de Cuenca

generalmente en orden creciente de concentración del odorante, aunque no en una secuencia consecutiva de diluciones, hasta que el olor es percibido. El analista hace la prueba seleccionando la muestra olorosa entre tres matraces, dos de los cuales contienen agua libre de olor. El olor se mide sin tener en cuenta materia suspendida o materiales inmiscibles en la muestra. Se toma como un hecho el que no existe un valor absoluto de olor y que la prueba se usa como comparación únicamente. La prueba se efectúa a 21.3 K (40°C).

5.- DEFINICIONES.

5.1 Índice de intensidad de olor.- El número de veces en que la muestra original es bipartida por adición de agua libre de olor, para obtener el mínimo olor perceptible.

5.2 Número umbral de olor.- La mayor dilución de la muestra con agua libre de olor, para obtener el mínimo olor perceptible.

6.- RECOMENDACIONES.

6.1 El área destinada a la determinación debe estar libre de olores interferentes. Un laboratorio ideal, debe tener un cuarto separado, equipado con filtros de carbón activado para controlar el aire y condiciones ambientales de humedad y temperatura constantes. Una humedad relativa del 50% es lo ideal. Una limpieza inodora es absolutamente necesaria. Todo el equipo usado en esta prueba debe estar perfectamente limpio y libre de olores y ser destinado para uso de la determinación de olor únicamente. Toda persona participante en esta determinación debe asearse cara y manos con jabones libres de olor y estar libre de olores de tabaco, cosméticos o cualquier otro olor interferente. No se debe fumar, mascar tabaco o chicle o ingerir alimentos de fuerte olor o sabor 30 minutos antes de la determinación.

6.2 La condición física de los participantes es importante, el analista que efectúa la determinación debe estar libre de cualquier situación que afecte el sentido del olfato. Un uso prolongado del sentido del olfato, causa fatiga olfatoria. Repetidas inhalaciones del mismo olor tienen el mismo efecto, por lo que son necesarias para su recuperación, frecuentes períodos de descanso, de preferencia al aire fresco y libre de olores. Bajo circunstancias ordinarias, un analista no debe trabajar más de 15 minutos sin un descanso para evitar la fatiga olfatoria. Este es un tiempo promedio. Los olores muy fuertes pueden afectar la respuesta del olfato en pocos minutos mientras que aguas de buena calidad pueden ser analizadas por períodos más largos. Si el personal es limitado, los analistas pueden comprobar sus observaciones después de dejar pasar el suficiente tiempo para relajar el sentido del olfato.

6.3 No todas las personas son capaces de llevar a cabo este análisis. Los analistas deben ser rigurosamente seleccionados para obtener la mejor precisión posible, especialmente cuando son con fines de investigación. Si se ejerce el debido cuidado, la mayoría de las personas



pueden ser aptas para trabajos de rutina. Es necesario un mínimo de dos personas: una para hacer la selección preliminar y preparar las diluciones y la otra u otras para hacer la determinación del olor. Las personas que hacen la determinación de olor no deberán conocer las diluciones y, en ningún caso, hará la determinación la persona que hizo las diluciones. Las diluciones se analizarán de un ámbito de baja a alta concentración, pero no deberán ser presentadas en secuencia. Se recomienda introducir blancos o diluciones de baja concentración, dentro de los grupos de diluciones.

6.4 El color es comúnmente impartido por varios tipos de contaminantes en las aguas residuales. Este color es evidente bajo perceptibles niveles de olor. Un sistema de luz coloreada se puede usar para eliminar el color y seleccionar las diluciones para el análisis. Para esto, se emplea luz fotográfica con filtros intercambiables.

6.5 La turbiedad en algunos desechos es perceptible a niveles bajos de olor. El sistema de luz coloreada descrito en el inciso 6.4, puede no eliminarla. En tal caso, se recomienda pintar los matraces de tal modo que enmascare la turbiedad de la muestra.

6.6 Para un máximo control del olor en el laboratorio, éste debe dividirse en dos áreas, separando el área de preparación de muestras del área de detección de olores. Esto permite el aislamiento del analista que hace las diluciones y un mejor control de los olores en el área de medición.

7.- APARATOS.

7.1 Baño de temperatura constante, capaz de mantener una temperatura de $313\text{ K} \pm 1\text{ K}$ ($40^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$).

7.2 Recipientes de vidrio con tapón esmerilado para las muestras. Las botellas de la demanda bioquímica de oxígeno son adecuadas para este propósito.

7.3 Matraces Erlenmeyer de 500 cm^3 de entrada ancha con tapón esmerilado o cubierto con vidrios de reloj.

8.- REACTIVOS Y MATERIALES.

8.1 Carbón activado, granular. El carbón debe ser renovado después del tratamiento, por lo general 20 litros de agua o más son necesarios.

8.2 Agua libre de olor.- Preparar agua libre de olor pasando agua reactivo a un flujo de menos de 11 litros/hora a través de una columna de vidrio de 0.9 m de longitud y 51 mm de diámetro, empacada con carbón activado granular. El agua usada para preparar el agua de



dilución libre de olor, debe tener un contenido de sólidos totales disueltos que no exceda el contenido de sólidos disueltos de la muestra por analizar. Todo el sistema, tubería y conexiones deben ser de vidrio. Las columnas deben ser empacadas primero con lana de vidrio que sirve de soporte al carbón activado. Hacer la prueba con el efluente de la columna de 313 K (40°C). Esto es necesario, ya que la cantidad y naturaleza de las impurezas en el agua puede afectar la vida útil del carbón. También se ha visto que en columnas usadas con poca frecuencia se desarrolla un crecimiento biológico, el cual imparte olor. Para comprobar las condiciones de la columna después de un período de descanso, como un fin de semana, se recomienda hacer una prueba. Llenar un tubo de vidrio pequeño con carbón activado fresco y filtrar a través de él. El agua así preparada, debe reunir las mismas características de calidad de olor que las de la columna. El agua libre de olor no debe guardarse, ésta debe ser preparada el día en que se hace el análisis. En general, para ahorrar tiempo durante el análisis mantener el abastecimiento de agua libre de olor a $313\text{ K} \pm 1\text{ k}$ ($40^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$).

9.- MUESTREO.

9.1 Colectar la muestra de acuerdo con lo indicado en la Norma Mexicana NMX-AA-14 "Cuerpos receptores.- Muestreo", tomando en cuenta la precaución establecida en el inciso 2.2.

9.2 Determinar el olor en muestras por separado y recientemente colectadas. El muestreo es muy importante. Las botellas de tapón esmerilado para el muestreo deberán llenarse por completo. Si la muestra se encuentra a una temperatura mayor de 313 K (40°C) enfriarla antes de hacer el análisis.

9.3 El almacenamiento del agua dá lugar a errores por la modificación de las características y la intensidad del olor. Las reacciones químicas, físicas y biológicas son factores en esta degradación. Si el análisis no se puede realizar en seguida, refrigerar la muestra a 277 K (4°C) durante su almacenamiento. Esto no garantiza que no ocurran cambios en el olor, pero el efecto se minimiza en la mayoría de los casos. Guardar las muestras en frascos con tapón esmerilado para evitar la contaminación con los olores del refrigerador. Pre-enfriar la muestra en un baño de hielo y en una atmósfera libre de olores antes de su refrigeración.

9.4 Anotar la temperatura de las muestras en el momento de su recolección. Este dato es útil cuando se relacionan los datos obtenidos en el laboratorio con las condiciones de campo.

10.- PRUEBA PRELIMINAR.

10.1 La preparación de una serie de diluciones puede simplificarse mucho si se hace primero una aproximación de la intensidad de olor como sigue: Lavar perfectamente todo el material de vidrio con utensilios y detergentes libres de olor. Enjuagar con agua corriente y lavar con mezcla crómica. Enjuagar con agua reactivo y después con agua libre de olor. Para guardar el



material, éste se debe llenar con agua libre de olor. Comprobar que en todos los matraces no existe olor residual analizando con 200 cm^3 de agua libre de olor 313 K (40°C).

10.2 Para determinar el orden de magnitud de la intensidad de olor, la dilución de prueba debe hacerse transfiriendo con pipeta 25 cm^3 de muestra en un matraz de los ya especificados. Diluir hasta un volumen total de 200 cm^3 con 175 cm^3 de agua libre de olor a 313 K (40°C). Para esta dilución preliminar el agua debe ser agregada de una probeta. No permitir que la pipeta ni la solución tengan contacto con el cuello del matraz. Tapar y llevar a calentamiento a 313 K (40°C) en un baño de agua. Evitar el calentamiento directo o prolongado.

10.3 Mezclar vigorosamente rotando el matraz tres o cuatro veces, quitar la tapa y colocar la nariz en la punta del matraz. Probar el olor usando una inhalación normal. Comparar con un matraz conteniendo agua libre de olor. Notar si se detecta algún olor. Si no se detecta ninguno, preparar una dilución más baja sucesivamente, en matraces limpios hasta que se perciba algún olor. Por lo general es conveniente hacer una serie de diluciones en un principio. El análisis de olor, sin embargo, debe hacerse de una dilución alta a diluciones bajas.

10.4 Si el olor es detectado en la dilución inicial, diluir cuando menos 12.5 cm^3 de la muestra original, para el volumen dado y registrar esta primera dilución. Hacer diluciones menores subsecuentes y anotar la alícuota a la cual el olor es menos perceptible. Calcular el orden estimado de magnitud de intensidad de olor de acuerdo con el inciso 12.

11.- PROCEDIMIENTO

11.1 La selección de las diluciones para la determinación de olor depende del orden de magnitud de intensidad de olor determinado de acuerdo al inciso 10. La persona que determina la intensidad de olor en la prueba preliminar deberá hacer las diluciones para el otro analista o analistas que harán la determinación, pero en ningún caso la hará la misma persona.

La dilución primaria deberá contener un mínimo de 12.5 cm^3 de muestra. Si son necesarias diluciones mayores agregar agua libre de olor a la dilución primaria. Usar estas subsecuentes diluciones en la evaluación.

11.2 Las diluciones deberán hacerse en tres matraces limpios, libres de olor agregando aproximadamente la mitad de la cantidad estimada de muestra (prueba preliminar) a uno de los matraces. Diluir el contenido de cada matraz a un

volumen total de 200 cm^3 con agua libre de olor. Lavar cada matraz y ajustar la temperatura a 313 K (40°C) en el baño de agua. Agitar vigorosamente los matraces tapados y presentarlos para el análisis de olor. En la presentación de los matraces para la prueba, el matraz que contiene la muestra deberá colocarse al azar. Agitar vigorosamente, pero teniendo cuidado de no derramar el contenido. El fondo plano del matraz ayudará, tapando el matraz o colocando un dedo en la cubierta que se este empleando. Esto imparte un olor cerca de la boca del matraz antes de la prueba. La agitación disminuye la sustancia olorosa en el vapor del espacio



Universidad de Cuenca

uniformemente. El analista debe quitar la tapa y colocar la nariz en la punta del matraz percibiendo el olor con una inhalación normal. Si no se percibe ningún olor, se deberá disminuir la dilución (incrementando la concentración) hasta que se encuentre una concentración a la cual el olor sea perceptible, usando el mismo procedimiento. Anotar la dilución a que se obtuvieron los resultados. Se dan las muestras para el análisis, generalmente incrementando las concentraciones pero no en una secuencia de altas concentraciones. Introducir blancos, todos conteniendo agua libre de olor o algunas diluciones de concentraciones muy bajas durante el análisis para eliminar conjeturas o anticipaciones de el nivel umbral de olor.

12.- CALCULOS.

12.1 Calcular la intensidad de olor como índice de intensidad de olor con la fórmula siguiente:

$$\text{Índice de intensidad de olor} = 3.3 \log \left(\frac{200}{A} \right) + 38/17.$$

A = Mililitros de muestra o mililitros de alícuota de la dilución primaria empleadas.

D = Número de 25 + 175 de la dilución primaria requeridos para alcanzar a determinar la magnitud de intensidad de olor.

13.- BIBLIOGRAFIA

ASTM - D 1292 Standard Test Method for Odor in Water.



Anexo 2. Aforo de dosificadores.

Sulfato				Polímero							
Dosificador 1				Dosificador 2				Dosificador 1			
# de vuelta 1				# de vuelta 1				# de vuelta 1			
#	Volumen (cm3)	Tiempo (s)	Caudal (cm3/s)	#	Volumen (cm3)	Tiempo (s)	Caudal (cm3/s)	#	Volumen (cm3)	Tiempo (s)	Caudal (cm3/s)
1	580	80,5	7,20	1	960	63	15	1	77,0	62	1,2
2	530	64,3	8,24	2	790	61	12	2	78,0	64	1,2
3	470	62,2	7,55	3	740	61	11	3	77,5	63	1,2
4	450	60,0	7,50	4	750	61	12	4	79,0	64	1,2
Promedio			7,62	Promedio			13,06	Promedio			1,22
# de vuelta 2				# de vuelta 2				# de vuelta 2			
1	680	63,9	10,6	1	870	48	18,13	1	110,00	65,07	1,69
2	710	62,8	11,3	2	930	56	16,61	2	110,00	65,06	1,69
3	690	62,8	10,9	3	950	58	16,18	3	113,00	66,14	1,71
4	700	64,3	10,8	4	910	58	15,62	4	110,00	65,08	1,69
Promedio			11,05	Promedio			16,63	Promedio			1,69
# de vuelta 3				# de vuelta 3				# de vuelta 3			
1	920,00	72,84	12,63	1	940,00	41,64	22,57	1	270,00	65,04	4,15
2	760,00	62,43	12,17	2	1430,00	62,36	22,93	2	265,00	64,70	4,10
3	820,00	62,63	13,09	3	1330,00	61,43	21,65	3	265,00	65,31	4,06
4	750,00	62,69	11,96	4	1305,00	61,38	21,26	4	260,00	64,71	4,02
Promedio			12,47	Promedio			22,10	Promedio			4,08
# de vuelta 4				# de vuelta 4				# de vuelta 4			
1	815,00	63,30	12,88	1	535,00	65,96	8,11	1	535,00	65,96	8,11
2	810,00	62,99	12,86	2	525,00	64,98	8,08	2	525,00	64,98	8,08
3	810,00	62,57	12,95	3	550,00	68,35	8,05	3	550,00	68,35	8,05
4	760,00	62,58	12,14	4	530,00	66,10	8,02	4	530,00	66,10	8,02
Promedio			12,71	Promedio			8,06	Promedio			8,06
# de vuelta 5				# de vuelta 5				# de vuelta 5			
1	890,00	62,09	14,33	1	815,00	63,11	12,91	1	815,00	63,11	12,91
2	870,00	62,34	13,96	2	830,00	64,68	12,83	2	830,00	64,68	12,83
3	870,00	63,24	13,76	3	800,00	62,95	12,71	3	800,00	62,95	12,71
4	880,00	62,40	14,10	4	820,00	65,43	12,53	4	820,00	65,43	12,53
Promedio			13,93	Promedio			12,75	Promedio			12,75



Universidad de Cuenca

Anexo 3. Ensayo de Trazadores para Mezcla Rápida

Tiempo (seg)	Conductividad (mg/l)
15	72,9
30	69,4
45	490
60	1247
75	1417
90	1455
105	1360
120	1258
135	1104
150	952
165	842
180	735
195	594
210	523
225	443
240	378
255	310
270	280
285	243
300	210



Universidad de Cuenca

315	182,7
330	159,7
345	144,1
360	128,4
375	117,9
390	107,6
405	98
420	94,1
435	88,8
450	84,1
465	81,2
480	79,4
495	77,1
510	75,3
525	73,6
540	72,9
555	72,1
570	71,5
585	70,5
600	70,3
615	70
630	69,7



Universidad de Cuenca

Anexo 4. Ensayo de trazadores en la cámara 2.

Cámara 1		
Concentración (mg/l)		
Tiempo (min)	1er ensayo	2do ensayo
1	80.2	80.2
2	80.1	80.2
3	80.1	80.2
4	80.1	80.2
5	80	80.2
6	80.1	80.2
7	80.2	80.2
8	81.3	80.13
9	85.4	81.1
10	96.6	84.13
11	126.1	94.5
12	173.5	117.5
13	258	164
14	370	248.8
15	487	345.9
16	584	466
17	618	559
18	618	613
19	561	450.9
20	445	312.2



Universidad de Cuenca

Ensayo de trazadores en la unidad de floculación.

Tiempo (min)	Concentración (mg/l)	
	1 er ensayo	2do ensayo
1	108.3	128.2
2	259.8	175.9
3	180.3	161.1
4	157.1	170.4
5	187.4	177.1
6	210.1	204
7	160.4	205
8	146.3	175
9	162.2	160.5
10	172.3	171.1
11	176.7	174.6
12	163	161.4
13	146.3	164.2
14	136.9	152.8
15	142.2	133.4
16	114.7	120.5
17	127.4	113.7
18	107.8	107.7
19	107.5	102.4
20	108.1	100.8
21	100.7	101.1
22	105.6	102.1
23	103.8	104.3
24	102.3	105.6
25	101.3	109.7
26	101.2	117.3
27	102.1	127.9
28	102.8	148
29	103.1	169.8
30	104.5	206
31	105.1	234
32	105.3	250
33	106.8	270
34	109.5	269
35	116.1	257
	1	
36	113	243



Universidad de Cuenca

37	116.6	203
38	127.6	183.7
39	133.9	148.1
40	139.1	132.9
41	147.1	112.5
42	160.1	103
43	172.4	97.4
44	184.4	92.4
45	202.3	89.1
46	235.3	87.6
47	242.7	84.2
48	238.2	82.7
49	259.4	80.6
50	275.3	78.5
51	259.4	76.4
52	274.6	73.4
53	271.8	71.8
54	263.7	69.9



Anexo 5. Proyección Poblacional.

PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN ECUATORIANA, POR AÑOS CALENDARIO, SEGÚN CANTONES												
2010-2020												
Código	Nombre de canton	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
101	CUENCA	524,563	535,624	546,864	558,127	569,416	580,706	591,996	603,269	614,539	625,775	636,996
102	GIRON	13,192	13,196	13,197	13,195	13,187	13,175	13,157	13,134	13,107	13,074	13,037
103	GUALACEO	44,487	44,994	45,501	45,997	46,482	46,954	47,411	47,855	48,286	48,702	49,104
104	NABON	16,593	16,686	16,777	16,863	16,943	17,017	17,084	17,145	17,201	17,250	17,292
105	PAUTE	26,559	26,853	27,146	27,432	27,712	27,983	28,246	28,500	28,747	28,985	29,214
106	PUCARA	10,510	10,533	10,554	10,572	10,586	10,596	10,601	10,603	10,601	10,595	10,584
107	SAN FERNANDO	4,177	4,181	4,185	4,187	4,187	4,186	4,183	4,179	4,173	4,165	4,156
108	SANTA ISABEL	19,167	19,365	19,563	19,755	19,943	20,124	20,298	20,467	20,630	20,786	20,935
109	SIGSIG	28,047	28,326	28,603	28,873	29,134	29,387	29,630	29,864	30,089	30,304	30,509
110	OÑA	3,732	3,775	3,818	3,861	3,903	3,943	3,982	4,020	4,057	4,093	4,128
111	CHORDELEG	13,074	13,289	13,507	13,723	13,938	14,150	14,360	14,568	14,773	14,976	15,176
112	ELPAN	3,179	3,175	3,170	3,164	3,157	3,149	3,140	3,129	3,118	3,105	3,091
113	SEVILLA DE ORO	6,130	6,211	6,292	6,372	6,451	6,529	6,604	6,678	6,751	6,821	6,890
114	GUACHAPALA	3,553	3,588	3,623	3,656	3,689	3,720	3,750	3,780	3,807	3,834	3,859
115	CAMILO PONCE ENRIQUEZ	22,557	23,697	24,895	26,142	27,441	28,793	30,204	31,668	33,191	34,774	36,423
201	GUARANDA	95,720	97,124	98,519	99,897	101,253	102,586	103,884	105,153	106,387	107,590	108,763
202	CHILLANES	18,292	18,175	18,053	17,925	17,792	17,652	17,504	17,350	17,189	17,023	16,850
203	SAN JOSÉ DE CHIMBO	16,490	16,607	16,719	16,826	16,926	17,020	17,106	17,185	17,257	17,321	17,378
204	ECHANDIA	12,631	12,791	12,951	13,107	13,259	13,408	13,552	13,692	13,826	13,956	14,081
205	SAN MIGUEL	28,514	28,614	28,705	28,786	28,856	28,914	28,957	28,989	29,006	29,011	29,004
206	CALUMA	13,645	13,926	14,208	14,490	14,772	15,054	15,333	15,610	15,885	16,158	16,429
207	LAS NAVES	6,339	6,452	6,564	6,677	6,788	6,899	7,008	7,115	7,221	7,325	7,428
301	AZOGUES	73,407	74,698	76,003	77,310	78,615	79,917	81,212	82,497	83,770	85,030	86,278
302	BIBLIAN	21,883	22,090	22,296	22,499	22,697	22,889	23,074	23,253	23,423	23,586	23,741
303	CAÑAR	62,317	63,012	63,707	64,394	65,068	65,729	66,372	66,996	67,601	68,185	68,747
304	LA TRONCAL	56,646	58,477	60,361	62,288	64,256	66,266	68,317	70,401	72,523	74,678	76,872
305	EL TAMBO	9,899	10,143	10,391	10,643	10,897	11,153	11,413	11,673	11,935	12,198	12,462
306	DELEG	6,419	6,463	6,506	6,548	6,588	6,626	6,662	6,695	6,727	6,755	6,782
307	SUSCAL	5,243	5,365	5,490	5,615	5,742	5,870	5,998	6,128	6,257	6,387	6,516
401	TULCAN	90,127	91,409	92,686	93,953	95,201	96,441	97,664	98,868	100,057	101,234	102,395
402	BOLIVAR	15,007	15,079	15,147	15,211	15,270	15,325	15,375	15,420	15,460	15,496	15,528
403	ESPEJO	14,006	14,006	14,003	13,995	13,982	13,966	13,944	13,918	13,888	13,855	13,817
404	MIRA	12,793	12,726	12,655	12,581	12,504	12,423	12,338	12,250	12,159	12,066	11,969
405	MONTUFAR	31,865	32,138	32,404	32,664	32,913	33,155	33,388	33,611	33,825	34,032	34,229
406	SAN PEDRO DE HUACA	7,948	8,052	8,155	8,258	8,358	8,458	8,556	8,652	8,747	8,840	8,931
501	LATACUNGA	176,842	179,794	182,748	185,698	188,627	191,539	194,423	197,277	200,094	202,878	205,624

Según los datos de INEC, se tendría una población en el cantón el Tambo de 11935 hab. Si sabemos que el 49.33% corresponde a la zona urbana, esto significa que deberíamos tener 5888 hab en el año 2018.

Para el cálculo de la *población flotante*, se asume un 15 % de la población estudiantil. En nuestra evaluación se tiene el siguiente resumen de establecimientos educativos, y con el número de estudiantes matriculados en el 2018, tanto en la población estudiantil de básica, como de bachillerato. En ciudad de El Tambo, no se tiene Institutos superiores, ni Universidades.

ESTABLECIMIENTOS EDUCATIVOS DE LA CIUDAD EL TAMBO

CENTRO EDUCATIVO	TOTAL
UNIDAD EDUCATIVA BILINGÜE	478
MUSHUK KAWSAY	
UNIDAD EDUCATIVA EL TAMBO	723



SECCION DIURNA

UNIDAD EDUCATIVA EL TAMBO	121
----------------------------------	------------

SECCION NOCTURNA

UNIDAD ALFONSO MARIA ORTIZ	681
-----------------------------------	------------

UNIDAD MARIANA DE JESUS	741
--------------------------------	------------

UNIDAD 12 DE OCTUBRE	238
-----------------------------	------------

Total	2982
--------------	-------------

Al considerar el 15 % tenemos una población flotante de 447 hab.

La ciudad de El Tambo no tiene industria alguna; la actividad turística es pequeña y transitoria; los lugares más visitados son el complejo arqueológico de Ingapirca y Coyocor; tampoco hay infraestructura hotelera.

La población actual, con el incremento de la población flotante, es: $5888+447 = 6335$ hab.

La población proyectada para 20 años con una tasa de crecimiento del 0.9%, es de 7595 hab.

Años	Población (hab)	
	Base	
2018	6335	
2019		6390
2020		6445
2021		6499
2022		6554
2023		6609
2024		6664
2025		6719
2026		6773
2027		6828
2028		6883
2029		6938
2030		6992
2031		7047
2032		7102
2033		7157
2034		7212



Universidad de Cuenca

2035	7266	7336
2036	7321	7400
2037	7376	7465
2038	7431	7530
2039	7485	7595



Universidad de Cuenca

Anexo 6. Ensayo de Jarras.

Ensayo 6 de junio del 2018.

Determinación de la dosis óptima de coagulante

Características de la muestra:

Turbiedad	1.95	NTU (FTU)
Color Aparente	41	U.C. (Pt-Co)
Color Real	35	U.C. (Pt-Co)
Conductividad	74.3	uSiemens/cm
pH	7.50	
Alcalinidad	36.4	mg/l, CaCO ₃
Hierro total	0.15	mg/l
Manganeso	0.0	mg/l
Taninos y Ligninas	1.0	mg/l

Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min
Mezcla lenta:	45 rpm; 20 min
Sedimentación:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante: mg/l	10	15	20	25	30	35
Agua sedimentada						
Color	39	49	14	16	21	15
Turbiedad	2.66	4.16	1.35	1.71	2.14	2.23
pH	7.1	7.00	6.90	6.7	6.6	6.5
Agua filtrada						
Color			12			
Turbiedad			0.965			



Universidad de Cuenca

La dosis óptima de coagulante es de 20 mg/l.

Determinación de la dosis óptima de polímero.

Condiciones del ensayo:

Coagulante:	1%
Solución de sulfato de aluminio, al	
Polímero:	0,05%
Praestro, ligeramente catiónico, al	
Mezcla	
rápida:	300 rpm; 1 min
Mezcla	
lenta:	45 rpm; 20 min
Sedimentación:	
	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5
Dosis de coagulante: mg/l	20	20	20	20	20
Dosis de polímero: mg/l	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625
Agua sedimentada					
Color	16	11	17	21	14
Turbiedad	1.27	0.87	0.848	0.975	0.68
Agua filtrada					
Color		4.0			
Turbiedad		0.351			

La dosis óptima de polímero es de 0,25 mg/l.

La adición del polímero aumenta la eficiencia del proceso.

Ensayo 29 de junio del 2018.

Determinación de la dosis óptima de coagulante.

Características de la muestra:

Turbiedad	0.891	NTU (FTU)
Color Aparente	36	U.C. (Pt-Co)
Color Real	31	U.C. (Pt-Co)
Conductividad	68.6	uSiemens/cm
pH	7.30	
Alcalinidad	34.4	mg/l, CaCO ₃
Hierro total	0.222	mg/l
Manganeso	0.0	mg/l
Taninos y Ligninas	1.2	mg/l

Iván Jesús Ochoa Ochoa.

Jonnathan Adrián Piña Fernández



Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min
Mezcla lenta:	45 rpm; 20 min
Sedimentación:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante: mg/l	10	15	20	25	30	35
Agua sedimentada						
Color	46	44	56	37	35	35
Turbiedad	2.14	3.1	4.68	3.32	3.99	4.85
pH	7.1	6.90	6.60	6.6	6.5	6.4
Alcalinidad	33.8	30.4	26.8	25.8	20.6	20
Agua filtrada						
Color				20		
Turbiedad				1.02		

La dosis óptima de coagulante es de 25 mg/l.

Determinación de la dosis óptima de polímero.

Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1% Praestro, ligeramente catiónico, al
Polímero:	0,05%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min
Mezcla lenta:	45 rpm; 20 min
Sedimentación	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante: mg/l	25	25	25	25	25	25
Dosis de polímero: mg/l	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75
Agua sedimentada						
Color	44	42	27	45	16	17
Turbiedad	3.96	2.78	1.54	3.52	0.74	0.919
Agua filtrada						
Color					14	
Turbiedad					0.996	

La dosis óptima de polímero es de 0.625 mg/l.



Universidad de Cuenca

Ensayo 5 de julio del 2018.

Determinación de la dosis óptima de coagulante.

Características de la muestra:

Turbiedad	0.746	NTU (FTU)
Color Aparente	28	U.C. (Pt-Co)
Color Real	24	U.C. (Pt-Co)
Conductividad	82.4	uSiemens/cm
pH	7.60	
Alcalinidad	31.6	mg/l, CaCO ₃
Hierro total	0.163	mg/l
Manganeso	0.0	mg/l
Taninos y Ligninas	1.0	mg/l

Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min
Mezcla lenta:	45 rpm; 20 min
Sedimentación:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante: mg/l	10	15	20	25	30	35
Agua sedimentada						
Color	29	38	24	32	37	31
Turbiedad	2.73	3.96	3.09	4.24	4.51	4.91
pH	7	6.90	6.80	6.7	6.6	6.5
Alcalinidad	31	29.6	29	28.2	26.2	25.6
Agua filtrada						
Color			13			
Turbiedad			0.953			

La dosis óptima de coagulante es de 20 mg/l.



Universidad de Cuenca

Determinación de la dosis óptima de polímero.

Condiciones del ensayo:

	Solución de sulfato de
Coagulante:	aluminio, al 1%
	Praestro, ligeramente
Polímero:	catiónico, al 0,05%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min
Mezcla lenta:	45 rpm; 20 min
Sedimentación	
:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante: mg/l	20	20	20	20	20	20
Dosis de polímero: mg/l	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75
Agua sedimentada						
Color	20	16	17	18	18	10
Turbiedad	2.37	0.659	0.747	0.642	0.534	0.681
Agua filtrada						
Color						9
Turbiedad						0.576

La dosis óptima de polímero es de 0.75 mg/l.



Universidad de Cuenca

Ensayo 6 de septiembre del 2018.

Determinación de la dosis óptima de coagulante.

Características de la muestra:

Turbiedad	2.68	NTU (FTU)
Color Aparente	33	U.C. (Pt-Co)
Color Real	17	U.C. (Pt-Co)
Conductividad	81.1	uSiemens/cm
pH	7.40	
Alcalinidad	37.6	mg/l, CaCO ₃
Hierro total	0.13	mg/l
Manganeso	0.0	mg/l
Taninos y Ligninas	1.2	mg/l

Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min
Mezcla lenta:	45 rpm; 20 min
Sedimentación:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante: mg/l	15	17.5	20	22.5	25	27.5
Agua sedimentada						
Color	33	29	31	35	36	34
Turbiedad	4.67	3.45	3.68	4.4	5.78	4.81
pH	6.85	6.80	6.70	6.6	6.5	6.4
Alcalinidad	36.8	35.6	31.6	30	29	28.4
Agua filtrada						
Color		11				
Turbiedad		1.01				

La dosis óptima de coagulante es de 17.5 mg/l.



Universidad de Cuenca

Determinación de la dosis óptima de polímero.

Condiciones del ensayo:

	Solución de sulfato de
Coagulante:	aluminio, al 1%
	Praestro, ligeramente
Polímero:	catiónico, al 0,05%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min
Mezcla lenta:	45 rpm; 20 min
Sedimentación:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante: mg/l	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
Dosis de polímero: mg/l	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75
Agua sedimentada						
Color	16	17	8	11	6	7
Turbiedad	0.95	0.34	0.32	0.65	0.30	0.44
Agua filtrada						
Color					4	
Turbiedad					0.97	

La dosis óptima de polímero es de 0,625 mg/l.

La adición del polímero aumenta la eficiencia del proceso.



Universidad de Cuenca

Ensayo 5 de octubre del 2018.

Determinación de la dosis óptima de coagulante.

Características de la muestra:

Turbiedad	0.952	NTU (FTU)
Color Aparente	18	U.C. (Pt-Co)
Color Real	15	U.C. (Pt-Co)
Conductividad	84.6	uSiemens/cm
pH	7.60	
Alcalinidad	43.2	mg/l, CaCO ₃
Hierro total	0.1	mg/l
Manganeso	0.0	mg/l
Taninos y Ligninas	1.0	mg/l

En este ensayo se realizó utilizando los valores de gradiente de velocidad establecidos en los estudios de diseño.

Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min
	52 rpm se inicia, se baja cada 3 minutos
	33 segundos; gradiente descendente de 52 - 50 -
Mezcla lenta:	45 - 40 - 38 - 32 - 28
Sedimentación:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante: mg/l	12.5	15	17.5	20	22.5	25
Agua sedimentada						
Color	25	22	14	16	17	18
Turbiedad	3.73	3.26	1.44	1.7	1.63	2.28
pH	7.1	7.0	6.90	6.9	6.9	6.9
Agua filtrada						
Color			10			
Turbiedad			0.624			

Dosis óptima de coagulante: 17,5 mg/l



Determinación de la dosis óptima de polímero.

Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Polímero:	Praestro, ligeramente catiónico, al 0,05%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min
	52 rpm se inicia, se baja cada 3 minutos
Mezcla lenta:	33 segundos; gradiente descendente de 52 - 50 - 45 - 40 - 38 - 32 - 28
Sedimentación:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante: mg/l	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
Dosis de polímero: mg/l	0.375	0.5	0.625	0.75	0.875	1
Agua sedimentada						
Color	18	10	8	17	3	9
Turbiedad	0.873	0.642	0.639	0.489	0.47	0.492
Agua filtrada						
Color					6	
Turbiedad					0.4	

La dosis óptima de polímero es de 0,875 mg/l.



Universidad de Cuenca

Ensayo 19 de octubre del 2018.

Determinación de la dosis óptima de coagulante.

Características de la muestra:

Turbiedad	0.993	NTU (FTU)
Color Aparente	25	U.C. (Pt-Co)
Color Real	19	U.C. (Pt-Co)
Conductividad	83.8	uSiemens/cm
pH	7.90	
Alcalinidad	41	mg/l, CaCO ₃
Hierro total	0.16	mg/l
Manganeso	0.0	mg/l
Taninos y Ligninas	2.9	mg/l

Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min
	52 rpm se inicia, se baja cada 3 minutos
Mezcla lenta:	33 segundos; gradiente descendente de 52 - 50 - 45 - 40 - 38 - 32 - 28
Sedimentación:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante: mg/l	12.5	15	17.5	20	22.5	25
Agua sedimentada						
Color	41	34	28	20	21	25
Turbiedad	2.71	3.62	2.01	1.9	2.06	2.87
pH	7.1	7.1	7.1	7.0	7.0	6.9
Agua filtrada						
Color				12		
Turbiedad				0.733		

Dosis óptima de coagulante: 17,5 mg/l.



Los flóculos formados son muy livianos, no sedimentan y luego son retenidos en los filtros; es decir que todo el trabajo se hace en los filtros, acortando la jornada de filtración y aumentando la frecuencia de lavado.

Determinación de la dosis óptima de polímero.

Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min
	52 rpm se inicia, se baja cada 3 minutos
	33 segundos; gradiente descendente de 52 - 50 - 45 -
Mezcla lenta:	40 - 38 - 32 - 28
Sedimentación:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5	6
Dosis de coagulante: mg/l	20	20	20	20	20	20
Dosis de polímero: mg/l	0.375	0.5	0.625	0.75	0.875	1
Agua sedimentada						
Color	20	12	7	8	12	17
Turbiedad	0.681	0.522	0.452	0.446	0.38	0.431
Agua filtrada						
Color			7			
Turbiedad			0.376			

La dosis óptima de polímero es de 0,625 mg/l.



Filtración directa.

Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min

Jarra #:	1
Dosis de coagulante: mg/l	20
Dosis de polímero: mg/l	0
Agua filtrada	
Color	24
Turbiedad	1.04

Se obtuvo mejores resultados con filtración directa que con el procedimiento convencional.

Ensayo 5 de diciembre del 2018.

Determinación de la dosis óptima de coagulante.

Características de la muestra:

Turbiedad	2.67	NTU (FTU)
Color Aparente	54	U.C. (Pt-Co)
Color Real	48	U.C. (Pt-Co)
Conductividad	116.2	uSiemens/cm
pH	7.50	
Alcalinidad	42	mg/l, CaCO ₃
Hierro total	0.15	mg/l
Manganeso	0.1	mg/l
Taninos y Ligninas	1.2	mg/l

Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Mezcla rápida:	200 rpm; 2 min
Mezcla lenta:	50 rpm por 12,15 minutos, 40 rpm por 12,15 minutos
Sedimentación:	25 min.



Jarra #:	1	2	3	4
Dosis de coagulante: mg/l	15	20	25	30
Agua sedimentada				
Color	60	25	25	11
Turbiedad	6.29	1.37	1.81	0.427
pH	7.1	7.0	7.1	7.0
Agua filtrada				
Color				7
Turbiedad				0.311

Dosis óptima de coagulante: 30 mg/l.

Este ensayo se realizó en un equipo portátil de 4 jarras.

Se observa que el proceso es más eficiente a medida que aumenta la turbiedad del agua cruda; es decir la turbiedad facilita la formación de los flóculos.

Determinación de la dosis óptima de polímero.

Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Polímero:	Praestro, ligeramente catiónico, al 0,05%
Mezcla rápida:	200 rpm; 2 min
Mezcla lenta:	50 rpm por 12,15 minutos, 40 rpm por 12,15 minutos
Sedimentación:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4
Dosis de coagulante: mg/l	30	30	30	30
Dosis de polímero: mg/l	0.5	0.625	0.75	0.875
Agua sedimentada				
Color	13	10	29	15
Turbiedad	0.95	0.575	0.892	0.56
Agua filtrada				
Color		6.0		
Turbiedad		0.608		

La dosis óptima de polímero es de 0,625 mg/l.



Universidad de Cuenca

Ensayo 12 de diciembre del 2018.

Determinación de la dosis óptima de polímero.

Características de la muestra:

Turbiedad	1.3	NTU (FTU)
Color Aparente	44	U.C. (Pt-Co)
Color Real	38	U.C. (Pt-Co)
Conductividad	80.6	uSiemens/cm
pH	7.50	
Alcalinidad	36.8	mg/l, CaCO ₃
Hierro total	0.16	mg/l
Manganeso	0.0	mg/l
Taninos y Ligninas	1.1	mg/l

Condiciones del ensayo:

Cal:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Coagulante:	Solución de cal, al 1%
Polímero:	Praestro, ligeramente catiónico, al 0,05%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min
	52 rpm se inicia, se baja cada 3 minutos
Mezcla lenta:	33 segundos; gradiente descendente de 52 - 50 - 45 - 40 - 38 - 32 - 28
Sedimentación:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4	5	6
Dosis de cal: mg/l	10	10	10	10	10	10
Dosis de coagulante: mg/l	20	20	20	20	20	20
Dosis de polímero: mg/l	0.125	0.25	0.375	0.5	0.625	0.75
Agua sedimentada						
Color	64	46	42	36	47	58
Turbiedad	7.38	4.54	4.01	3.4	3.33	3.8
pH	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
Agua filtrada						
Color				23		
Turbiedad				1.17		

La dosis óptima de polímero es de 0,5 mg/l.

- El alcalinizante utilizado (Cal) no mejora el proceso; la cal fija el color.
- El pH del agua sedimentada no se modifica con respecto al original: la cal adicionada neutraliza al coagulante.



Universidad de Cuenca

Filtración directa.

Condiciones del ensayo:

	Solución de sulfato de aluminio, al
Coagulante:	1%
	Praestro, ligeramente catiónico, al
Polímero:	0,05%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min

Jarra	
#:	1
Dosis de coagulante: mg/l	20
Dosis de polímero: mg/l	0.5
Agua filtrada	
Color	11.0
Turbie dad	0.662

La filtración directa es eficiente en muestras más coloreadas y más turbias.

Ensayo 10 de enero del 2019.

Determinación de la dosis óptima de coagulante.

El objetivo de este ensayo, es aplicar el tiempo de coagulación real de la planta, que resulta igual a 1.5 minutos.

Características de la muestra:

Turbiedad	1.18	NTU (FTU)
Color Aparente	30	U.C. (Pt-Co)
Color Real	29	U.C. (Pt-Co)
Conductividad	85.3	uSiemens/cm
pH	7.40	
Alcalinidad	41.5	mg/l, CaCO ₃
Hierro total	0.24	mg/l
Manganeso	0.1	mg/l
Taninos y Ligninas	1.1	mg/l



Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min 30 seg
	52 rpm se inicia, se baja cada 3 minutos 33 segundos; gradiente descendente de 52 - 50 -
Mezcla lenta:	45 - 40 - 38 - 32 - 28
Sedimentación:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4
Dosis de coagulante: mg/l	15	20	25	30
Agua sedimentada				
Color	50	34	38	28
Turbiedad	4.23	2.97	3.45	4.95
pH	6.9	7.0	6.8	6.8
Agua filtrada				
Color		23		
Turbiedad		0.560		

Dosis óptima de coagulante: 30 mg/l.

Determinación de la dosis óptima de polímero.

Condiciones del ensayo:

Coagulante:	Solución de sulfato de aluminio, al 1%
Polímero:	Praestro, ligeramente catiónico, al 0,05%
Mezcla rápida:	300 rpm; 1 min 30 seg
	52 rpm se inicia, se baja cada 3 minutos 33 segundos;
Mezcla lenta:	gradiente descendente de 52 - 50 - 45 - 40 - 38 - 32 - 28
Sedimentación:	25 min.

Jarra #:	1	2	3	4
Dosis de coagulante: mg/l	20	20	20	20
Dosis de polímero: mg/l	0.5	0.625	0.75	0.875
Agua sedimentada				
Color	26	12	21	22
Turbiedad	0.484	0.462	0.57	0.529
Agua filtrada				
Color		9.0		
Turbiedad		0.224		

La dosis óptima de polímero es de 0,625 mg/l.

Los resultados son similares, con coagulación de 1 minuto.

Anexo 7. Plano de la planta de tratamiento de agua potable.

