



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN FLOCULADOR
HORIZONTAL PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE
LA FACULTAD DE CIENCIAS, ESPOCH”**

Trabajo de titulación presentado para optar al grado académico de:
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTOR: ANA BELÉN MEJÍA PÉREZ

TUTOR: Dr. GERARDO LEÓN Ch. MSc

Riobamba - Ecuador

2017

©2017, Ana Belén Mejía Pérez.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN FLOCULADOR HORIZONTAL PARA EL LABORATORIO DE HIDRÁULICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS, ESPOCH”** de responsabilidad de la señorita Ana Belén Mejía Pérez, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Dr. Gerardo León Ch.
DIRECTOR TRABAJO TITULACIÓN		
Dr. Segundo Trujillo A.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL		

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Ana Belén Mejía Pérez, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 17 de enero del 2017

Yo, Ana Belén Mejía Pérez, responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo experimental y el patrimonio intelectual del trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ANA BELÉN MEJÍA PÉREZ

C.I. 060387749-9

DEDICATORIA

A Dios y mi Virgen Dolorosa, que me cuidan en cada instante.

A mis padres, motores eternos de mi vida.

A mis docentes, guías académicos y espirituales.

A mis hermanos y sobrinos, apoyo incondicional.

A mis amigos, hermanos de vida.

Ana Belén Mejía

AGRADECIMIENTO

A Dios y mi Virgen Dolorosa.

A Ana mi madre, mujer que me guía a cada instante, su amor me lleva a donde voy.

A Carlos, mi padre, un hombre ejemplar que me instruyó con paciencia y cariño.

Al Dr. Gerardo León y Dr. Segundo Trujillo, grandes docentes que me motivaron a realizar este proyecto.

A Vero, mi hermanita; fue, es y será mi persona.

A Pedro Daniel, mi mejor amigo, sin cuya ayuda no podría haberlo logrado.

A mis colegas de la Asociación de Escuela, Andrea, Mary, Daniela, Feli y Jessy, gracias por compartir una de las mejores épocas de mi vida.

A la Dra. Yolanda Díaz y al Dr. Edmundo Caluña, quienes más que docentes son amigos y ejemplos a seguir.

A Mery la mejor jefa del mundo, sin su comprensión la culminación de este proyecto no hubiese sido posible.

A Carlita H., quien me guió con sus conocimientos y experiencia.

A mis hermanos y sobrinos, Carlos, Silvia, Diego, Andrés, Geovanny y Paula.

A mis amigos Carmen Y., Dennis L., David S., Andrea E., Ale P., Ale C., Jenn N., Cris Ch., Chris C., Gaby Q., Fer S. y Jennifer V., quienes compartieron conmigo lo bueno y malo de la vida.

A las Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y sus docentes.

Ana Belén Mejía

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	2
OBJETIVOS.....	3
CAPÍTULO I.....	4
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
1.1. Agua.....	4
1.2. Fuentes de agua para potabilización.....	4
1.3. Características del agua.....	4
1.3.1. Características físicas del agua.....	4
1.3.1.1. Turbiedad.....	5
1.3.1.2. Sólidos.....	5
1.3.1.3. Color.....	6
1.3.1.4. Coloides.....	6
1.4. Características físicas de las aguas subterráneas.....	8
1.5. Coagulación.....	8
1.5.1. Coagulante policloruro de aluminio (PAC).....	8
1.6. Flocculación.....	8
1.6.1. Flocculantes.....	9
1.6.2. Tipos de flocculación.....	9
1.6.2.1. Flocculación pericinetica.....	9
1.6.2.2. Flocculación ortocinetica.....	9
1.6.3. Factores principales del proceso de flocculación.....	10
1.7. Flocculadores.....	10
1.7.1.1. Flocculadores de pantalla de flujo horizontal.....	11
1.8. Caudal.....	15
1.8.1. Métodos para la medición de caudal.....	15

1.8.1.1.	Vertederos.....	16
CAPÍTULO II.....		18
2.	Marco metodológico.....	18
2.1.	Diseño experimental.....	18
2.1.1.	Tipo y diseño de investigación.....	18
2.2.	Metodología.....	18
2.2.1.	Localización de la experimentación.....	18
2.2.2.	Justificación de la experimentación.....	19
2.2.3.	Determinación del tipo de agua a utilizar en el floculador horizontal.....	19
2.2.4.	Caracterización del agua sintética.....	19
2.2.4.1.	Contaminación de agua de la llave para obtener agua sintética.....	20
2.2.4.2.	Análisis físico químico del agua sintética antes del proceso de floculación.....	20
2.2.4.3.	Análisis de espectrofotometría del agua sintética antes del proceso de floculación.....	21
2.2.5.	Diseño del floculador horizontal.....	22
2.2.6.	Construcción del floculador horizontal.....	23
2.2.7.	Determinación del caudal del floculador horizontal.....	24
2.2.8.	Determinación del tiempo de resiliencia del agua.....	25
2.2.9.	Determinación de la dosificación y velocidad de mezclado de los reactivos coagulantes y floculantes.....	26
2.2.10.	Ensayo de floculación mediante el uso del floculador horizontal.....	27
CAPÍTULO III.....		29
3.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN de resultados.....	29
3.1.	Localización de la experimentación.....	29
3.2.	Justificación de la experimentación.....	29
3.3.	Determinación del tipo de agua a utilizar en el floculador horizontal.....	29
3.4.	Caracterización del agua sintética.....	29
3.4.1.	Contaminación de agua de la llave para obtener agua sintética.....	29
3.4.2.	Análisis físico químico del agua sintética antes del proceso de floculación.....	30
3.4.3.	Análisis espectrofotométrico del agua sintética.....	30
3.5.	Diseño del floculador horizontal.....	31
3.6.	Construcción del floculador horizontal.....	38
3.6.1.	Costo de construcción del floculador horizontal.....	38
3.7.	Ensayos de funcionalidad del floculador horizontal.....	38
3.7.1.	Determinación del caudal del floculador horizontal.....	38
3.7.2.	Cálculo del caudal.....	39
3.8.	Determinación del tiempo de resiliencia del agua.....	39

3.9.	Determinación de la dosificación y velocidad de mezclado de los reactivos coagulantes y floculantes	39
3.10.	Ensayo de floculación mediante el uso del floculador horizontal.....	42
3.10.1.1.	Análisis físico-químico del agua tratada después del proceso de floculación.....	42
3.10.1.2.	Análisis espectrofotométrico del agua tratada.....	43
	CONCLUSIONES	45
	RECOMENDACIONES	46
	Bibliografía	47
	ANEXOS	50

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A** Determinación de la dosificación de los reactivos coagulantes y floculantes.
- ANEXO B** Planos del floculador horizontal
- ANEXO C** Pruebas piloto del floculador horizontal
- ANEXO D** Fichas técnicas de PAC y PoliA
- ANEXO E** Manual de operación del floculador horizontal.

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1	Cálculo de la eficiencia de remoción de coloides.....	8
Ecuación 2-1	Cálculo de la longitud de canal	12
Ecuación 3-1	Cálculo de la sección de canal	12
Ecuación 4-1	Cálculo del ancho del canal	12
Ecuación 5-1	Cálculo del ancho de vueltas.....	13
Ecuación 6-1	Cálculo del ancho del floculador.....	13
Ecuación 7-1	Cálculo del número de canales.....	13
Ecuación 8-1	Cálculo de la Longitud del floculador horizontal	13
Ecuación 9-1	Cálculo de la pérdida de carga en las vueltas	14
Ecuación 10-1	Cálculo de perímetro mojado de las secciones	14
Ecuación 11-1	Cálculo del radio hidráulico	14
Ecuación 12-1	Cálculo de pérdida de carga en los canales	14
Ecuación 13-1	Cálculo de la pérdida de carga total	15
Ecuación 14-1	Cálculo de la gradiente de velocidad.....	15
Ecuación 15-1	Cálculo del caudal por medio de un vertedero triangular	17

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Parámetros para el dimensionamiento de un floculador horizontal	11
Tabla 2-1	Tipos de vertederos y sus ecuaciones	16
Tabla 1-2	Parámetros analizados en el agua sintética antes del proceso de floculación	21
Tabla 1-3	Resultados obtenidos de los parámetros analizados en el agua sintética antes del proceso de floculación	30
Tabla 2-3	Valor de absorbancia en una longitud de onda de 575 nm del agua sintética del primer análisis	31
Tabla 3-3	Valor de absorbancia en una longitud de onda de 575 nm del agua sintética del segundo análisis	31
Tabla 4-3	Resultados teóricos y reales del diseño del floculador horizontal	37
Tabla 5-3	Costo de construcción del floculador horizontal	38
Tabla 6-3	Tiempo de resiliencia	39
Tabla 7-3	Ensayo de dosificación del reactivo coagulante en 1 L de agua sintética	39
Tabla 8-3	Ensayo de dosificación del reactivo floculante en 1 L de agua sintética	40
Tabla 9-3	Volumen de coagulante y floculante óptimo para un 1L de agua sintética	41
Tabla 10-3	Volumen de coagulante y floculante óptimo para el floculador horizontal	42
Tabla 11-3	Resultados obtenidos de los parámetros analizados en el agua tratada luego del proceso de floculación	42
Tabla 12-3	Valor de absorbancia en una longitud de onda de 575 nm del agua tratada del primer análisis	43
Tabla 13-3	Valor de absorbancia en una longitud de onda de 575 nm del agua tratada del segundo análisis	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Distribución de tamaños de las partículas en el agua l.....	7
Figura 2-1	Tipos de floculadores	11
Figura 3-1	Métodos para la medición de caudal	15

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1-3	Absorbancia vs longitud de onda de la muestra de agua sintética del primer análisis.....	30
Gráfica 2-3	Absorbancia vs longitud de onda de la muestra de agua sintética del segundo análisis.....	31
Gráfica 3-3	Concentración PAC [ppm] vs turbidez [UNT] a distintas velocidades de agitación.....	40
Gráfica 4-3	Concentración PoliA [ppm] vs formación de flocs a distintas velocidades de agitación.....	41
Gráfica 5-3	Absorbancia vs longitud de onda de la muestra de agua tratada del segundo análisis.....	43
Gráfica 6-3	Absorbancia vs longitud de onda de la muestra de agua tratada del segundo análisis.....	43

RESUMEN

En este proyecto se diseñó y construyó un floculador horizontal para el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, con el propósito de consolidar los conocimientos teóricos en temas referentes al tratamiento del agua, mediante la realización de prácticas de laboratorio. Se inició el proyecto con el dimensionamiento del floculador horizontal a escala de laboratorio mediante parámetros y cálculos matemáticos preestablecidos, que determinaron los valores teóricos que posteriormente se ajustaron a valores reales de construcción. La metodología para la determinación de la eficiencia del floculador se realizó tomando y analizando muestras del agua sintética, contaminada con arcilla, que luego fue tratada mediante el proceso de floculación horizontal. Además se realizaron ensayos de dosificación de los reactivos coagulantes y floculantes indispensables en el tratamiento del agua utilizada en el floculador horizontal. Los parámetros de calidad del agua analizados en las muestras antes y después del proceso de floculación, indicaron que existió una disminución en los valores de color de 375 Pt.Co a 6 Pt.Co, en el caso de los Sólidos suspendidos totales (SST) de 590 mg/L a 219 mg/L y la turbidez de 140 UNT a 0.5 UNT. Asimismo se realizó un análisis espectrofotométrico de las muestras y se determinó una remoción de los coloides del 92.53%. Los resultados obtenidos indicaron la alta eficiencia del floculador horizontal en el tratamiento del agua sintética. Se recomienda utilizar el manual de operación del equipo para su correcto uso y funcionamiento, evitando así posibles daños.

Palabras Claves: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA> <INGENIERÍA AMBIENTAL> <FLOCULADOR> <AGUA SINTÉTICA> <AGUA TRATADA> <TRATAMIENTO DE AGUAS> <FLOCULACIÓN> <COLOIDES>

ABSTRACT

In this project, a horizontal flocculator was designed and built for the hydraulic laboratory of the Science Faculty at the ESPOCH, with the purpose of consolidating theoretical knowledge on water treatment issues through laboratory practices. The project started with the horizontal flocculator sizing on a laboratory scale using pre-set parameters and mathematical calculations, which determined the theoretical values that were later adjusted to real construction values. The methodology for the determination of the flocculator efficiency was made by taking and analyzing samples of the synthetic water, contaminated with clay, which was then treated by the horizontal flocculation process. In addition, dosing test of the coagulating and flocculating reagent indispensable in the treatment of the water used in the horizontal flocculator were carried out. The water quality parameters analyzed in the samples before and after the flocculation process, indicated that there was a decrease in color values from 375 Pt.Co to 6 Pt.Co in the case of the Total Suspended Solids (TSS) from 590 mg/L to 219 mg/L and the turbidity from 140 UNT to 0.5 UNT. A spectrophotometric analysis of the samples was also carried out and a colloid removal of 92.53% was determined. The results indicated the high efficiency of the horizontal flocculator in the treatment of the synthetic water. It is recommended to use the operating manual of the equipment for its correct use and operation, thus avoiding possible damages.

Keywords: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <ENVIRONMENTAL ENGINEERING>, <FLOCCULATOR>, <SYNTHETIC WATER>, <TREATED WATER>, <WATER TREATMENT>, <FLOCCULATION>, <COLLOIDS>

INTRODUCCIÓN

La educación superior en el Ecuador está atravesando una etapa de evaluación de carreras para determinar si las enseñanzas que brindan las instituciones son de calidad, es por ello que a más de la parte teórica que se puede brindar a los estudiantes, es de suma importante inmiscuirlos en la vida práctica. La Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias ESPOCH, en su formación integral del futuro profesional, tiene el afán de equipar los laboratorios, diseñando y construyendo equipos que sean de utilidad académica, como mecanismo de consolidación del conocimiento mediante la realización de prácticas de laboratorio dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje.

El conocimiento de temas relacionados al tratamiento de aguas, es fundamental en la formación académica de un estudiante de Biotecnología Ambiental, estos conocimientos pueden ser obtenidos mediante la simulación de situaciones reales a escala de laboratorio mediante una planta de tratamiento, la cual está compuesta por varias unidades que someten al agua a varios procesos, que mejoran su calidad.

Dentro de una planta de tratamiento de aguas, la floculación es un proceso que según su origen y tipo de contaminantes, se convierte en una parte fundamental, para cumplir con la normativa vigente y los estándares de calidad, para que el agua tratada sea reutilizada según las exigencias del usuario o vertida a aguas receptoras.

El futuro profesional con sus logros de aprendizaje construidos a través de la formación curricular y mediante el análisis y/o necesidad de la implementación de la floculación en el proceso de tratamiento de aguas contaminadas, podrá contribuir a la conservación de los recursos hídricos, especialmente aquellos destinados al abastecimiento del agua potable.

ANTECEDENTES

Las universidades y Escuelas Politécnicas como política institucional en la misión y visión plantean una formación integral dentro del proceso enseñanza-aprendizaje de sus futuros profesionales, por tanto, la oferta académica tiene que desarrollarse con calidad y calidez. Son diferentes circunstancias porque las que no se ha podido equipar los laboratorios académicos y por tal motivo se consiguen a través de trabajos de titulación de los estudiantes como requisito para optar el correspondiente título de tercer nivel.

A más de la parte teórica que se realiza en el aula con los estudiantes, y para retroalimentar sus conocimientos es de suma importancia realizar prácticas de laboratorio, razón por la cual la Carrera de Biotecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias-ESPOCH, y siendo una línea de investigación el diseño y construcción de equipos se ha considerado implementar un floculador horizontal de utilidad académica para el laboratorio de hidráulica

En el tratamiento primario, existen ciertos procesos para mejorar la calidad del agua, en cumplimiento con los estándares de calidad que exige el usuario, uno de los procesos principales es la floculación, que se realiza en una unidad de nombre floculador.

Un floculador es un equipo utilizado en el tratamiento de aguas residuales o de potabilización, que principalmente contienen material coloidal y/o sólidos suspendidos. Al analizar sus bondades, se puede sugerir su utilización, que desde el punto de vista económico y de proceso, en última instancia sea al ambiente al que favorezca.

JUSTIFICACIÓN

Al implementar el equipo de Floculación horizontal en el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ciencias, se conseguirá experimentar y simular lo que en grandes plantas de potabilización y/o tratamiento de aguas ocurre, además se logrará mejorar la formación profesional del estudiante de la carrera de Biotecnología Ambiental, puesto que los conocimientos alcanzados en el aula serán comprobados de modo práctico, y así poder solucionar una condición insatisfecha que tiene los estudiantes.

En el análisis de proceso de tratamiento de aguas y/o potabilización, la etapa de floculación es una de las más imprescindibles, por ello, es necesario disponer un floculador horizontal de utilidad académica, recalando, que no existen datos sobre el mencionado equipo construido a escala de laboratorio, por lo cual es una idea innovadora.

Mediante la utilización del floculador horizontal se podrá demostrar la factibilidad de depuración del agua para mejorar su calidad, poniendo en práctica los conocimientos adquiridos en el aula en temas relacionados a la floculación. La comprobación de la eficiencia del proceso de depuración, se basa en el análisis de laboratorio de parámetros que determinan la calidad del agua, al utilizar equipos adicionales de fácil acceso en los laboratorios de la ESPOCH, esto ayudará en gran medida en el aumento de los conocimientos de los estudiantes de la Facultad de

Ciencias, que no han podido visualizar los procesos de tratamiento de aguas en una planta real o construida a escala.

OBJETIVOS

General

- Diseñar y construir un floculador horizontal para el laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Específicos

- Determinar la dosificación óptima del reactivo coagulante y floculante a utilizar en el proceso de floculación
- Dimensionar el floculador horizontal
- Seleccionar los materiales para la construcción del floculador horizontal.
- Realizar pruebas piloto para validar la operatividad del equipo de floculación horizontal.
- Elaborar el manual operativo del equipo de floculación horizontal.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Agua

Sustancia vital debido a su estructura y composición. Es una molécula sencilla formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, unidos por enlaces polares.

1.2. Fuentes de agua para potabilización

En el diseño de un sistema de potabilización, representan el principal elemento, siendo fundamental el análisis de su calidad, cantidad, tipo y ubicación. (CEPES, sf pág. 27)

- *Aguas superficiales*

Están constituidas por lagos, ríos, arroyos entre otros, que circulan en la superficie terrestre de forma natural. No son recomendadas estas fuentes, si aguas arriba se encuentran zonas de pastoreo o viviendas habitadas. Si la utilización de estas aguas es obligatoria se debe investigar su calidad, estado sanitario y caudal disponible, ya que suelen encontrarse contaminadas con la presencia de residuos orgánicos, requieren un tratamiento extenso.

- *Aguas subterráneas*

Están constituidas por la infiltración de las precipitaciones sobre el suelo que escurren hasta la zona de saturación. Se las capta a través de pozos, manantiales y galerías filtrantes. Su explotación se basa en la formación geológica y características hidrológicas. Tienen una alta calidad en comparación a las aguas superficiales y requieren un tratamiento mínimo.

1.3. Características del agua

1.3.1. Características físicas del agua

Son aquellas características que impresionan a los sentidos humanos (visión, audición, gusto, olfato y tacto), incidiendo directamente en la estética y aceptabilidad del agua.

Se consideran importantes: Turbiedad, sólidos solubles e insolubles, color, olor, sabor, temperatura y pH.

1.3.1.1. Turbiedad

Se la define como la falta de transparencia de un líquido, por la presencia de partículas en suspensión, en forma de sedimentos, arcilla, minerales, plancton, organismos microscópicos o materia orgánica e inorgánica finamente dividida. Los tamaños de las partículas varían desde partículas coloidales de menor tamaño hasta partículas más grandes, éstas se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua de menor a mayor grado. (Payeras, 2011, p. 1)

- *Medición de la Turbiedad*

Se realiza por comparación entre la intensidad de luz dispersa de una suspensión de referencia y la luz dispersa por una muestra bajo las mismas condiciones, mediante un turbidímetro o nefelómetro, los resultados de esta medición se dan en unidades nefelométricas de turbiedad o denominado UNT.

- *Remoción de la turbiedad*

Es un proceso sencillo de llevar a cabo, que además mejorar la estética del agua evitando el rechazo de los consumidores, ayuda a garantizar la eficacia de los procesos de desinfección, ya que las partículas causantes de la turbiedad protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo de desinfectante. La remoción de la turbiedad conlleva un gasto económico significativo al requerir de coagulantes, floculantes, acondicionadores de pH, entre otros. Cabe resaltar que se debe considerar el tipo de partícula, tamaño y comportamiento, para obtener una mejor remoción. (CEPIS, 2005, pág. 17)

1.3.1.2. Sólidos

Son los residuos que se obtienen al evaporar y secar una muestra de agua a determinada temperatura. Pueden encontrarse como sólidos disueltos, en suspensión, en sistemas coloidales o volátiles, y la suma de estos se denomina Sólidos totales.

- *Sólidos disueltos*

También conocidos como sólidos filtrables, son aquellos que resultan de la evaporación de una muestra de agua previamente filtrada. Pueden medir hasta 1 nm, por lo cual no influyen en la turbiedad, pero si lo harían en el color u olor.

- *Sólidos en sistemas coloidales*

Son sólidos que se encuentran en estado coloidal, causantes de la turbiedad neta del agua, y que no son retenidos en el proceso de filtración. Pueden medir de 1 hasta 1000 nm.

- *Sólidos en suspensión*

Son los sólidos que caen rápidamente cuando el agua se somete a reposo. Tienen una medida por encima de los 1000 nm

- *Sólidos volátiles y fijos*

Los sólidos volátiles son aquellos que se pierden por calcinación a 550°C, corresponden a material orgánico. Los sólidos fijos son aquellos que permanecen luego del proceso de calcinación, corresponden a material inorgánico. (CIDTA.USAL, sf pág. 5)

1.3.1.3. *Color*

Resulta de la presencia de diferentes sustancias que se encuentren en solución como humus, iones metálicos naturales y materia orgánica disuelta. El color puede determinarse por comparación visual o espectrofotometría. Se lo mide en Unidades de Color (UC). Comparando el color de la muestra de agua y el color que produce una solución de cloroplatino de potasio (K_2PtCl_6). Se clasifica en: color verdadero y color aparente. (Severiche, et al., 2013 p. 18).

- *Color verdadero*

Es aquel que resulta de la eliminación de la turbiedad. Se obtiene filtrando el agua.

- *Color aparente*

Es causado por material en suspensión, el color se presenta sin antes haber filtrado o centrifugado el agua. (Sandoval, 2009 p. 4)

- *Remoción del color*

Existen algunos métodos, como las unidades de contacto, la filtración ascendente o la coagulación por compuestos químicos como el alumbre y el sulfato férrico a pH bajo (Crites, y otros, 2000, pág. 35)

1.3.1.4. *Coloides*

Partículas de muy bajo diámetro, responsables de la turbidez o del color del agua superficial. Debido a su baja sedimentación la mejor manera de eliminarlos son los procesos de coagulación-floculación, sedimentación y filtración (Andía, 2000 p. 7).

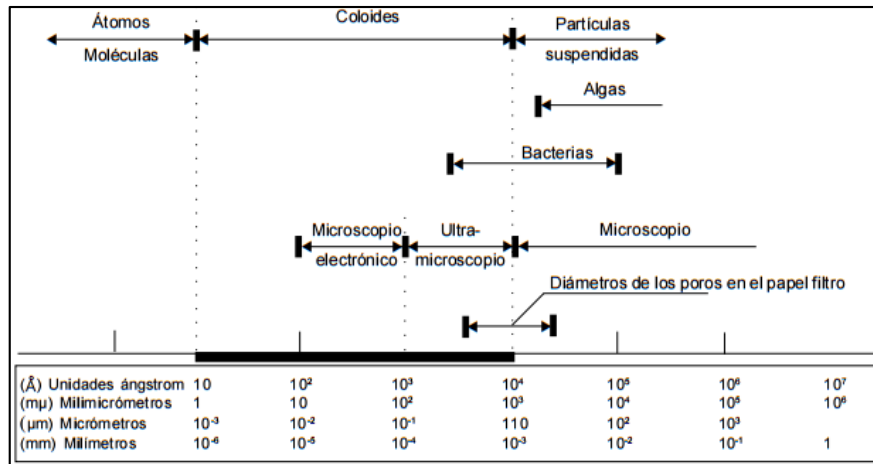


Figura 1-1. Distribución de tamaños de las partículas en el agua

Fuente: (Barrenechea, 2004 pág. 155)

• *Propiedades de los coloides*

El comportamiento de los coloides en el agua está definido por las propiedades cinéticas, electrocinéticas, ópticas y de superficie.

- Propiedades cinéticas: Definen el comportamiento de los coloides con respecto a su movimiento en el agua.

a) Movimiento browniano: Se refiere al movimiento irregular y constante de los coloides en la fase líquida.

b) Difusión: Dispersión de los coloides en el sistema hídrico, con una menor velocidad que el movimiento browniano.

c) Presión osmótica: Presión necesaria para detener el transporte de agua a un sistema coloidal.

- Propiedades electrocinéticas: Definidas por el fenómeno de electroforesis, que demuestra la carga eléctrica que poseen los coloides, misma que le provee de estabilidad. Generalmente las partículas coloidales tienen una carga negativa.

- Propiedades ópticas: Definidas por el efecto Tyndall Faraday que explica la dispersión de la luz producida por las partículas coloidales. A mayor tamaño mayor dispersión.

- Propiedades de superficie: Definidas por la capacidad de adsorción producida por la superficie de los coloides. Para sedimentar las partículas coloidales es necesaria la adición previa de químicos. (Barrenechea, 2004 págs. 159-160-161-162)

• *Cálculo de la eficiencia de remoción de coloides.*

$$E_R = \left(\frac{Abs_C - Abs_T}{Abs_C} \right) 100\% \quad (\text{Ec. 1-1.})$$

donde

E_R = Eficiencia de remoción de coloides (%)

Abs_C = Absorbancia del agua sintética

Abs_T = Absorbancia del agua tratada

1.4. Características físicas de las aguas subterráneas

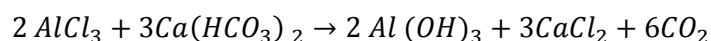
El abastecimiento para agua potable se lo realiza generalmente de fuentes de aguas subterráneas, las cuales por su naturaleza, poseen propiedades físicas características, en el caso de aguas dulces, el valor de los sólidos suspendidos oscila entre 100 a 2000 uS/cm; la turbidez varía entre 1 a 5 UNF, el color tiene un valor de 15mg/L Pt.Co, el pH tiene valores de 6.5 a 9.5, además contienen altos valores de alcalinidad representados por los iones carbonatos y bicarbonatos. (Rebollo pág. 20)

1.5. Coagulación

Es un proceso donde se desestabiliza a las partículas coloidales, mediante la adición de coagulantes químicos, para forman especies hidrolizadas en el agua con carga positiva que luego entran el contacto con las partículas coloidales de carga negativa. Este proceso se lo realizar aplicando una elevada energía de mezclado. (Barrenechea, 2004 pág. 154)

1.5.1. Coagulante policloruro de aluminio (PAC)

Es una sal que tiene como base al anión Cloruro. Su naturaleza metálica polinuclear le otorga propiedades anfotéricas de alto desempeño. Se lo utiliza para el tratamiento de aguas residuales, potables o de piscinas. Su preparación depende de la naturaleza y el grado de contaminación. Para el tratamiento de aguas con turbiedad alta, se aplican de 40 a 60 g por m³, con turbiedad baja de 10 a 15 gramos por m³. Es útil en la remoción de turbidez y color, con una reducción de lodos entre el 25-75%, elimina la utilización de reguladores de pH, implicando un costo de operación menor. (Proto Kimica, 2015) (PuriClor S.A.S.) Este coagulante reacciona en el agua con los iones de bicarbonato de la siguiente manera.



1.6. Floculación

Es un proceso por el que las partículas desestabilizadas se unen para formar aglomerados y facilitar su remoción, se lo realiza al agitar suavemente el agua tratada con un coagulante, durante un periodo de tiempo determinado, lo que permite que el material floculento se junto y

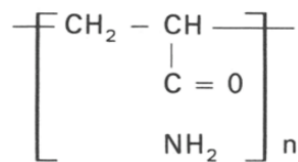
adhiera formando grandes masas de flóculos. (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 2001)
(Aguilar, y otros, 2002 pág. 35)

1.6.1. Floculantes

Son polímeros o polielectrolitos de elevado peso molecular, están formados por cadenas largas de monómeros. Se pueden clasificar en minerales, orgánicos naturales y sintéticos. (Andía, 2000 pág. 35)

• *Floculante poliacrilamida (PoliA)*

Es un floculante ayudante de coagulante polimérico catiónico soluble en agua de origen inorgánico, tiene un valor de pH neutro. Sus principales ventajas son: utilización para el tratamiento de aguas con diferentes valores de pH, crea flóculos apretados de sedimentación rápida provocando así una claridad superior de agua. Se lo utiliza en el tratamiento de aguas residuales de alimentos, fabricación de papel, producción metalúrgica, petroquímica, teñido, entre otras. (Yixing Bluwat Chemicals, 2014 pág. 1) Su fórmula química de la poliacrilamida es la siguiente:



La PoliA, forma un complejo con el ión Ca^{2+} , disminuyendo la energía de reacción entre los iones de Ca^{2+} y $(\text{CO}_3)^{2-}$ presentes en el agua, favoreciendo así la formación de flóculos.

1.6.2. Tipos de floculación

1.6.2.1. Floculación pericinética

Se presenta principalmente en partículas con un tamaño $> 1\mu\text{m}$, se basa en el movimiento al azar de las moléculas presentes en el agua, debida a la acción de la fuerza de gravedad y al movimiento browniano.

1.6.2.2. Floculación ortocinética

Está determinada por choques de las moléculas de agua debido al movimiento, el mismo que es generado por una fuerza exterior siendo esta mecánica o hidráulica. (Weber, 1979 p. 97)

1.6.3. Factores principales del proceso de floculación.

- *Tiempo de floculación*

La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo. Varía de 20 a 40 minutos, con determinadas condiciones.

Se debe evitar mantener el agua por debajo o sobre el tiempo óptimo, para obtener buenos resultados. Es por ello que surge la necesidad de realizar compartimientos que garanticen el tiempo de retención. (Vargas, 2008 pág. 285)

- *Gradiente de velocidad*

Entre más rápida sea la velocidad de aglomeración de las partículas, la gradiente de velocidad aumenta.

- *Naturaleza del agua*

Las características del agua como pH, turbiedad y alcalinidad afectan el proceso de floculación debido a la presencia de iones, que pueden interferir con la aglomeración de las partículas coloidales, lo cual afecta al tiempo de formación del flóculo.

De las partículas que producen la turbiedad, la naturaleza y concentración, tienen una influencia en el proceso de floculación, la concentración de partículas es proporcional a la velocidad de formación de flóculos.

- *Variación del caudal*

Se debe tomar en cuenta que al disminuir el caudal el gradiente de velocidad disminuye y el tiempo de retención aumenta, al contrario, al aumentar el caudal el gradiente de velocidad incrementa y el tiempo de retención se reduce.

1.7. Flocladores.

Unidad de tratamiento de aguas que proporciona a la masa coagulada una agitación lenta con velocidades bajas, promoviendo el crecimiento de los flóculos y su conservación, que garantice la salida de la unidad. Tiene una amplia clasificación.

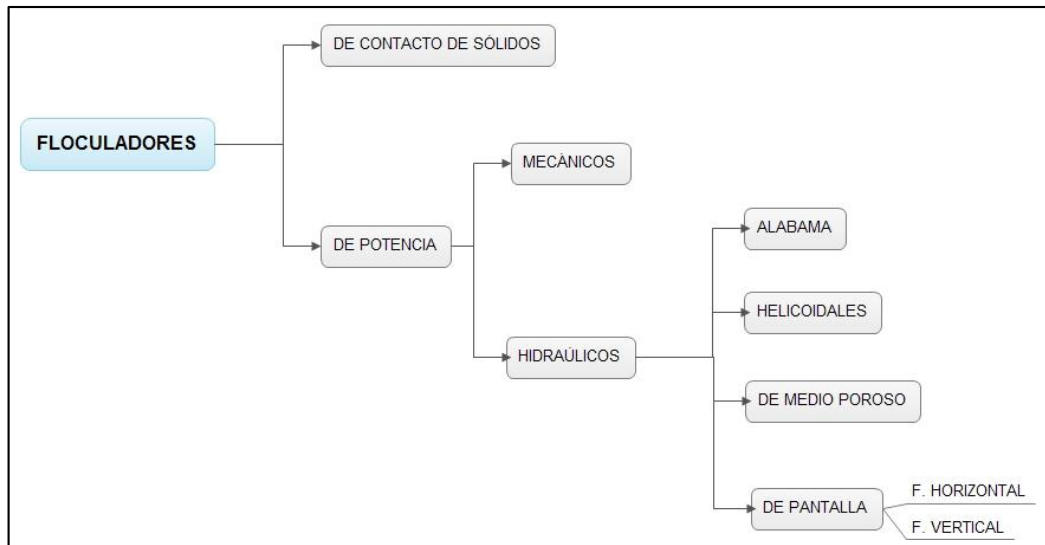


Figura 2-1. Tipos de floculadores

Fuente: (Vargas, 2008 pág. 288)

1.7.1.1. Floculadores de pantalla de flujo horizontal

Son recomendables para pequeños caudales. Pueden ser construidos con láminas de asbesto-cemento o pantallas de madera. El sistema de floculación puede integrar dichos dispositivos tales como ranuras o marcos de fijación, con el propósito de ajustar el espaciamiento entre las pantallas y el gradiente de velocidad.

• *Parámetros de dimensionamiento*

Los parámetros de diseño que se utilizan en el dimensionamiento son:

Tabla 1- 1 Parámetros para el dimensionamiento de un floculador horizontal

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango
Tiempo de retención	T	min	10-30
Caudal	Q	L/s	>50
Altura del agua	H	m	1.5-2

Fuente: (CEPIS, 2004 págs. 92-93)

• *Dimensionamiento*

El dimensionamiento, establecido según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), se realiza con las siguientes fórmulas:

- *Cálculo de la longitud de canal*

$$l_1 = V_1 \times T_1 \quad (\text{Ec. 2-1.})$$

donde

l_1 = Longitud del canal (m)

V_1 = Velocidad del canal (m/s)

T_1 = Tiempo de retención (s)

- *Cálculo de la sección de canal*

$$A_1 = \frac{Q}{V_1} \quad (\text{Ec. 3-1.})$$

donde

A_1 = Sección del canal (m²)

Q = Caudal (m³/s)

V_1 = Velocidad de flujo del canal (m/s)

- *Cálculo del ancho del canal*

$$a_1 = \frac{A_1}{H} \quad (\text{Ec. 4-1.})$$

donde

a_1 = Ancho del canal (m)

A_1 = Sección del canal (m²)

H = Altura del agua (m)

- *Cálculo del ancho de vueltas*

$$d_1 = 1.5a_1 \quad (\text{Ec. 5-1.})$$

donde

d_1 = Ancho de vueltas (m)

a_1 = Ancho del canal (m)

- *Cálculo del ancho del floculador*

$$B = 3b + d_1 \quad (\text{Ec. 6-1.})$$

donde

B = Ancho del floculador (m)

b = Ancho útil de la lámina de asbesto-cemento corrugada (m)

d₁ = Ancho de vueltas (m)

- *Cálculo del número de canales*

$$N_1 = \frac{l_1}{B} \quad (\text{Ec. 7-1.})$$

donde

N₁ = Número de canales

l₁ = Longitud de canales

B = Ancho del floculador

- *Cálculo de la longitud del floculador horizontal*

$$L_1 = N_1 a_1 + (N_1 - 1)e \quad (\text{Ec. 8-1.})$$

donde

L₁ = Longitud del floculador horizontal (m)

N₁ = Número de canales

a₁ = Ancho del canal (m)

e = Espesor de las láminas de acrílico

- *Cálculo de la pérdida de carga en las vueltas*

$$h_1 = \frac{KV_1^2(N-1)}{2g} \quad (\text{Ec. 9-1.})$$

donde

h₁ = Pérdida de carga en las vueltas (m)

K = Coeficiente de pérdida de carga en las vueltas

g = Aceleración de la gravedad

- *Cálculo de perímetro mojado de las secciones*

$$P_1 = 2H + a_1 \quad (\text{Ec. 10-1.})$$

donde

P_1 = Perímetro mojado de las secciones (m)

H = Altura del agua (m)

a_1 = Ancho del canal (m)

- *Cálculo del radio hidráulico*

$$r_1 = \frac{A_1}{P_1} \quad (\text{Ec. 11-1.})$$

donde

r_1 = Radio hidráulico (m)

A_1 = Sección del canal (m²)

P_1 = Perímetro mojado de las secciones (m)

- *Cálculo de pérdida de carga en los canales*

$$h_2 = \left[\frac{n \times V_1^2}{r_1^{2/3}} \right] \times l_1 \quad (\text{Ec. 12-1.})$$

donde

h_2 = pérdida de carga en los canales

n = Coeficiente de rugosidad

V_1 = Velocidad del canal (m/s)

r_1 = Radio hidráulico (m)

l_1 = Longitud del canal (m)

- *Cálculo de la pérdida de carga total*

$$hf_1 = h_1 + h_2 \quad (\text{Ec. 13-1.})$$

donde

hf_1 = Pérdida de carga total

h_1 = Pérdida de carga en las vueltas (m)

h_2 = pérdida de carga en los canales

- *Cálculo de la gradiente de velocidad*

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \cdot \sqrt{\frac{h_f}{T_1}} \quad (\text{Ec. 14-1.})$$

donde

G = Gradiente de velocidad

$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}}$ = Constante de valor 3115 a 20°C

h_f = Pérdida de carga total

T_1 = Tiempo de retención (s)

1.8. Caudal

Es la cantidad de líquido que pasa por un lugar (orificio, tubería, canal, entre otros) en un cierto tiempo, es decir, es el volumen de líquido por unidad de tiempo.

1.8.1. Métodos para la medición de caudal

Existen varios métodos para medir el caudal

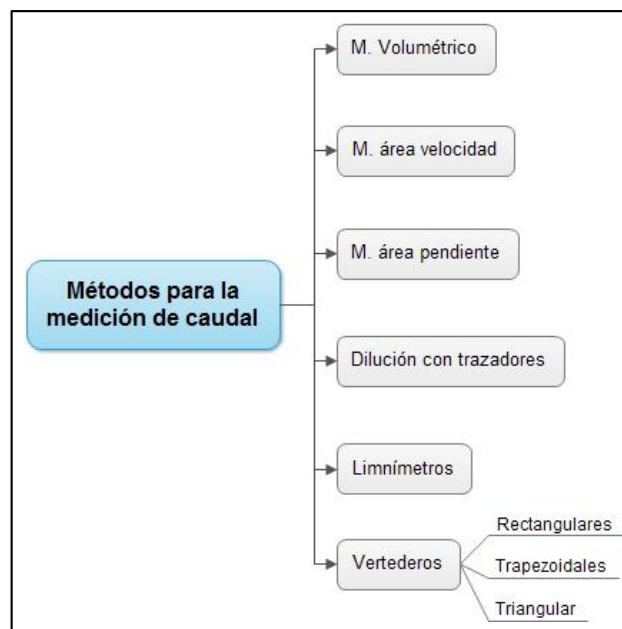


Figura 3-1. Métodos para la medición de caudal

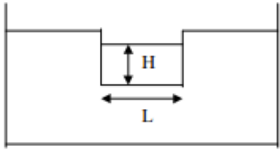
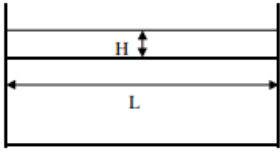
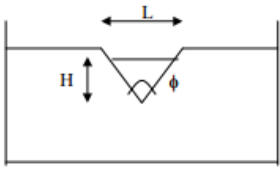
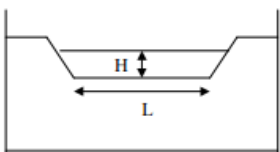
Fuente: (Suarez, 2012 pág. 41)

1.8.1.1. Vertederos

Es una pared o dique que intercepta un líquido. El caudal depende de la altura que alcanza el líquido. Son estructuras sencillas con alta eficiencia y exactitud en la medición de caudales de agua en canales abiertos.

Según su forma pueden clasificarse en rectangulares, trapezoidales y triangulares. A continuación se presentan los distintos tipos de vertederos y sus ecuaciones que permiten calcular el caudal. (Beltran, y otros, 2013 pág. 4)

Tabla 2-1. Tipos de vertederos y sus ecuaciones

TIPO DE VERTEDERO	DIAGRAMA	ECUACIÓN
Rectangular con contracción		$Q = 1,83 * L * H^{1,5}$ Q = caudal en m ³ /seg L = longitud de cresta, m H = cabeza en m
Rectangular sin contracción (cuando cae por una pared)		$Q = 3,3 * L * H^{1,5}$ Q = caudal en m ³ /seg L = longitud de cresta, m H = cabeza en m
Triangular		$\phi = 90^\circ$ $Q = 1,4 * H^{5/2}$ Q = caudal en m ³ /seg H = cabeza en m $\phi = 60^\circ$ $Q = 0,775 * H^{2,47}$ Q = caudal en m ³ /seg H = cabeza en m
Trapezoidal		Si la pendiente de los lados tiene una relación $4_{(vertical)} / 1_{(horizontal)}$, se aplica: $Q = 1,859 * L * H^{1,5}$ Q = caudal en m ³ /seg L = longitud de cresta, m H = cabeza en m
Cresta gruesa		$Q = 1,67 * L * H^{1,5}$ Q = caudal en m ³ /seg L = longitud de cresta, m H = cabeza en m

Fuente: Toma de muestras de aguas residuales. (IDEAM, 2007)

- **Vertederos triangulares**

Son ideales para caudales pequeños, siendo más preciso que los rectangulares al obtener valores de h más altos. En dependencia de los ángulos de apertura del vertedero triangular se han determinado fórmulas que permitan el cálculo del caudal, el vertedero presente en las paredes del floculador tiene un ángulo ϕ de 60°. (CEPIS, 2004 págs. 99-100)

- *Cálculo del caudal por medio de un vertedero triangular*

$$Q = 0.775 \times H^{2.47} \quad (\text{Ec. 15-1.})$$

donde

Q = Caudal (m³/s)

H = tirante o altura del agua (m)

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Diseño experimental

2.1.1. Tipo y diseño de investigación

- *Tipo de investigación*

El diseño y construcción de un equipo de floculación horizontal empezó como una investigación descriptiva en el proceso de diseño, construcción, y operación donde se especifican las propiedades importantes del equipo para así describir lo que se construye.

También es una investigación de tipo explicativo en la cual se identificaron las condiciones óptimas de operación del equipo construido, como son: el tiempo de retención, caudal y altura de agua, siendo estas variables independientes

Además la investigación es de tipo correlacional ya que se investiga la relación entre las variables independientes y una o variables dependientes como son: el tiempo de retención y los efectos causales de las primeras sobre las segundas.

- *Diseño de la investigación*

El diseño de la investigación fue de tipo técnico, puesto que su propósito fundamental fue realizar el proceso de floculación mediante ensayos y pruebas del equipo construido, con la finalidad de observar su correcta funcionalidad de acción.

2.2. Metodología

2.2.1. Localización de la experimentación

La experimentación del presente trabajo de titulación se llevó a cabo en el laboratorio de Calidad Ambiental, que cumplía las funciones del laboratorio de Hidráulica, ubicado en las instalaciones de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, donde se instalará el equipo de floculación horizontal para la realización de pruebas piloto de funcionalidad.

Los estudiantes de la asignatura de tratamiento de aguas I serán los que mediante el uso del floculador horizontal de utilidad académica, realicen prácticas de laboratorio de floculación de agua sintética y retroalimenten los conocimientos recibidos en el aula.

Fue necesaria la utilización de otros laboratorios, para la determinación de los parámetros de calidad del agua que se utilizó en el floculador horizontal, como fue el laboratorio de Biotecnología con cuyo espectrofotómetro, se determinó el valor de absorbancia de las muestras del agua; el laboratorio de Calidad del Agua con cuyo turbidímetro y pHmetro se determinó el valor de turbidez y pH, respectivamente. Los valores fueron tomados antes y después del tratamiento realizado en el floculador horizontal.

2.2.2. Justificación de la experimentación

La justificación de la experimentación se basa en la necesidad de los estudiantes de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH de poseer un equipo de floculación que ayude a comprender de mejor manera el proceso de depuración del agua.

2.2.3. Determinación del tipo de agua a utilizar en el floculador horizontal

Se determinó el tipo de agua que se utilizó en el floculador horizontal, mediante la revisión bibliográfica de sustancias causantes de la turbiedad, para así en lugar de utilizar un gran volumen de agua contaminada, se pueda emplear un material contaminante, que suministre las características necesarias que debe tener el agua a tratar. Se realizaron varios ensayos con distintos materiales contaminantes disueltos en agua de la llave.

2.2.4. Caracterización del agua sintética

Los parámetros físicos y químicos del agua sintética que se analizaron, ayudaron en la determinación de los reactivos, dosificación y velocidad de mezcla que se utilizaron en el floculador horizontal.

La caracterización del agua sintética consistió:

- Contaminación del agua de la llave para obtener agua sintética
- Análisis físico químico del agua sintética antes del proceso de floculación
- Análisis espectrofotométrico del agua sintética antes del proceso de floculación

2.2.4.1. Contaminación de agua de la llave para obtener agua sintética

Consistió en la adición determinada de arcilla que actuó como sustancia contaminante en un volumen determinado de agua de la llave, para determinar la relación agua-arcilla que debe poseer el agua sintética para su posterior tratamiento.

- *Equipos*

- Balanza
- Agitador magnético
- Magneto

- *Materiales*

- Recipiente contenedor de arcilla
- Vidrio reloj
- Espátula
- Vaso de precipitación de 1000mL
- Guantes de látex
- Mandil

- *Sustancia*

- Agua
- Arcilla

- *Procedimiento*

La contaminación del agua se lo realizó de la siguiente manera:

- Se adquirió un saco de 10.0 kg de arcilla.
- Se pesó 1.0 g
- Se adicionó la cantidad de arcilla pesada en un vaso de precipitación que contenía 1L de agua de la llave.
- Se homogenizó la solución con un agitador magnético.

2.2.4.2. Análisis físico químico del agua sintética antes del proceso de floculación

Una vez realizada la contaminación del agua, se tomaron muestras del agua sintética antes de su tratamiento.

- *Equipos*

- Multiparámetros con electrodos para medir pH, SST y temperatura.
- Colorímetro
- Turbidímetro

- *Materiales*

- Vaso de precipitación
- Rotulador
- Guantes de látex
- Mandil

- *Sustancia*

- Agua sintética
- Agua destilada

- *Procedimiento*

El análisis del agua sintética se lo realizó de la siguiente manera:

- Se tomó una muestra del agua sintética.
- Se lavaron los electrodos y celdas de los equipos utilizados con agua destilada.
- Se midieron los parámetros del agua sintética con los equipos específicos para ello.

Tabla 1-2. Parámetros analizados en el agua sintética antes del proceso de floculación

Parámetro	Unidad	Equipo
Color	Pt.Co	Colorímetro
Potencial de hidrógeno	pH	Multiparámetros
Sólidos suspendidos totales	mg/L	Multiparámetros
Temperatura	°C	Multiparámetros
Turbidez	UNT	Turbidímetro

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

2.2.4.3. *Análisis de espectrofotometría del agua sintética antes del proceso de floculación*

Consistió en la medición de la absorbancia de las muestras de agua sintética, antes de su tratamiento.

- *Equipos*

- Espectrofotómetro UV

- *Materiales*

- Cubeta de cuarzo
- Píseta
- Toallas de papel
- Tubos de ensayo
- Guantes de látex
- Mandil

- *Sustancia*

- Agua sintética
- Agua destilada

- *Procedimiento*

Se lo realizó de la siguiente manera:

- Se tomó una muestra del agua sintética en tubos de ensayo
- Se lavó la cubeta de cuarzo con el agua destilada y la píseta.
- Se secó la cubeta con toallas de papel evitando tocar las paredes transparentes.
- Se homogenizó y llenó la cubeta con agua destilada para encerrar el equipo
- Se midió el valor de absorbancia a 575 nm
- Se lavó y secó la cubeta de cuarzo.
- Se homogenizó y llenó la cubeta de cuarzo con la muestra de agua sintética.
- Se midió el valor de absorbancia a 575 nm

2.2.5. *Diseño del floculador horizontal*

Se lo realizó en base a los parámetros de diseño establecidos para su construcción, sin embargo, algunos de ellos fueron modificados a escala de laboratorio, sin comprometer su correcto funcionamiento. Cabe recalcar que uno de los parámetros fundamentales para el diseño del floculador horizontal fue el caudal de la bomba de agua.

- *Procedimiento*

- Se revisaron los parámetros de diseño en diferentes fuentes bibliográficas.
- Se identificó el caudal hidráulico al que la bomba trabajaría

- Se determinaron las dimensiones teóricas del equipo de floculación horizontal mediante fórmulas y parámetros establecidos.
- Se determinaron las dimensiones reales para la construcción del floculador horizontal, analizando el espacio destinado para el funcionamiento del equipo.
- Se determinó el costo aproximado del floculador horizontal, identificando el material óptimo-didáctico para la construcción del equipo junto con sus acoples.
- Se dibujaron los planos del equipo de floculación horizontal, utilizando AutoCAD 3D, utilizando las dimensiones reales.

2.2.6. Construcción del floculador horizontal

Se realizó la construcción del floculador horizontal en base a las dimensiones reales, determinadas con las fórmulas y parámetros establecidos para tal fin, además se realizó una estructura de soporte para el equipo.

La primera etapa de construcción se ejecutó en un taller metálico y la segunda etapa en un taller mecánico de la ciudad de Riobamba.

• *Equipos*

- Bomba de potencia 1/4 hp
- Motor de 3000rpm

• *Materiales*

- Planchas de Acrílico de 6mm de grosor de 3x2
- Dimmer
- Interruptores
- Válvulas de globo
- Válvulas de compuerta
- Codos de 90°
- Acoples de diámetro 1 in
- Reducciones de 1 in a 1/2 in
- Tubería diámetro 1 in
- Filtros
- Codos tipo Te
- Válvula check 1 in
- Universal de diámetro 1 in
- Universales de diámetro 1/2 in
- Tubería de diámetro 1/2 in

- Pegamento de acrílico
- Silicona
- Canaletas de aluminio
- Teflón
- Enchufe
- Cable
- Perno

Al finalizar la construcción del floculador horizontal, se procedió a verificar la existencia de fugas de agua, se reforzaron las paredes del equipo con una canaleta de aluminio, se estableció un sistema de vaciado del equipo utilizando la bomba instalada y se incorporó un sistema de mezclado provisto de un dimmer que reguló la velocidad.

Posterior a ello se identificó el caudal de funcionamiento del floculador horizontal.

2.2.7. Determinación del caudal del floculador horizontal

Se realizó la determinación del caudal del floculador horizontal mediante el vertedero triangular instalado en los estanques de entrada y salida.

- *Equipos*

- Floculador horizontal provisto con vertederos triangulares de ángulo 60°

- *Materiales*

- Regla
- Manguera

- *Sustancias*

- Agua de la llave

- *Procedimiento*

- Se revisó que las llaves del sistema de recirculación del floculador horizontal se encuentren abiertas.
- Se revisó que la llave de salida se encuentre cerrada.
- Se llenó el floculador horizontal con agua de la llave con la ayuda de una manguera.
- Se encendió la bomba
- Se esperó a que el sistema de recirculación se estabilice para poder tomar los datos.
- Se midió el tirante del agua del vertedero número 1

- Se midió el tirante del agua del vertedero número 2

2.2.8. Determinación del tiempo de resiliencia del agua

Se realizó la determinación del tiempo de resiliencia del agua que circula en el floculador horizontal, mediante el uso de colorantes que determinaron el comportamiento del agua dentro del equipo.

- *Equipos*

- Floculador horizontal

- *Materiales*

- Cronómetro
- Manguera
- Guantes de látex.
- Mandil

- *Sustancias*

- Azul de metileno
- Púrpura de bromocresol
- Agua de la llave

- *Procedimiento*

- Se revisó que las llaves del sistema de recirculación del floculador horizontal se encuentren abiertas.
- Se revisó que la llave de salida se encuentre cerrada.
- Se llenó el floculador horizontal con agua de la llave con la ayuda de una manguera.
- Se encendió la bomba
- Se esperó a que el sistema de recirculación se estabilice para poder tomar los datos.
- Se encero el cronómetro
- Se dosificaron 20 gotas de azul de metileno en el vertedero 1 de entrada y se encendió el cronómetro de inmediato
- Se esperó a que el azul de metileno llegue al vertedero 2 de salida y se tomó el tiempo sin apagar el cronómetro.
- Se esperó a que en todo el equipo se homogenice con el azul de metileno y se paró el cronómetro.

2.2.9. Determinación de la dosificación y velocidad de mezclado de los reactivos coagulantes y floculantes.

Se realizó la determinación de la dosificación y velocidad de mezclado tanto de los reactivos coagulantes y como de los floculantes, mediante la simulación de una prueba de jarras, utilizando una serie de agitadores magnéticos.

- *Equipos*

- Agitadores magnéticos

- *Materiales*

- Magnetos
- Vasos de precipitación de 1000 mL
- Probeta de 1000mL
- Pipetas de 10mL

- *Reactivos*

- Coagulante Policloruro de aluminio (PAC)
- Floculante Poliacrilamida (PoliA)

- *Reactivos*

- Agua sintética

- *Procedimiento*

- Se prepararon 100mL de PAC a una concentración de 5% (m/v)
- Se prepararon 100mL de PoliA a una concentración de 0.25% (m/v)
- Se colocaron 1000mL del agua sintética en 4 vasos de precipitación
- Se introdujeron los magnetos dentro de los vasos de precipitación
- Se encendieron los agitadores magnéticos con una velocidad de mezclado de intensidad alta.
- Se colocaron distintos volúmenes de solución del coagulante PAC al 5% (m/v) dentro de los vasos de precipitación, 0.25 mL, 0.5 mL, 1 mL y 2 mL, para obtener concentraciones de 12.5 ppm, 25 ppm, 50 ppm y 100 ppm del coagulante respectivamente.
- Se tomó el tiempo que tarda el coagulante PAC en actuar
- Se disminuyó la velocidad de mezclado a una intensidad baja
- Se colocaron distintos volúmenes de solución del floculante PoliA al 0.25% (m/v) dentro de los vasos de precipitación que contienen el agua sintética coagulada, 0.25 mL, 0.5 mL, 1 mL y 2 mL para obtener concentraciones de 0.625 ppm, 1.25 ppm, 2.5 ppm y 5 ppm de floculante.

- Se visualizó la formación de flocs y su decantación.
- Se tomó el tiempo que tarda el floculante PoliA en actuar y el tiempo que tardaron los flocs en sedimentar.
- Se realizaron distintos ensayos para determinar la correcta dosificación, en los cuales se varió el volumen de coagulante y floculante al igual que la intensidad de la velocidad del mezclado.

Una vez determinados los datos de dosificación de los reactivos coagulantes y floculantes, se realizó una relación del volumen de agua sintética que se utilizó en el análisis antes detallado y el volumen que se empleó para el tratamiento en el floculador horizontal, y así se pudo determinar la correcta dosificación en el equipo de floculación horizontal.

2.2.10. Ensayo de floculación mediante el uso del floculador horizontal

Se realizó el ensayo de floculación del agua sintética, para determinar una metodología para el correcto uso y funcionamiento del floculador horizontal.

- *Equipos*

- Floculador horizontal

- *Materiales y equipos*

- Manguera
- Recipientes dosificadores
- Mandil
- Guantes de latex

- *Reactivos*

- Coagulante Policloruro de aluminio (PAC)
- Floculante Poliacrilamida (PoliA)

- *Sustancias*

- Agua sintética
- Arcilla

- *Procedimiento*

- Se prepararon las cantidades necesarias de coagulante y floculante para el volumen de agua del floculador horizontal.
- Se colocaron los reactivos coagulantes y floculantes en los recipientes dosificadores correctamente etiquetados.

- Se pesó la cantidad necesaria del material contaminante (arcilla), por cada litro del volumen del equipo de floculación se adicionó 1 gramo de arcilla.
- Se revisaron que las llaves del sistema de recirculación del floculador horizontal se encuentren abiertas.
- Se revisó que la llave de salida esté cerrada.
- Se llenó el floculador horizontal con agua de la llave y se comprobó que el sistema de recirculación funciona de manera correcta.
- Se encendió la bomba.
- Se colocó el material pesado en todos los espacios del floculador horizontal.
- Se dejó que el material se homogenice en todo el equipo.
- Se colocó el reactivo coagulante en el vertedero número 1, para que la caída del agua lo homogenice.
- Se encendió el sistema de agitación colocándolo en el nivel 4 de agitación.
- Se dejó actuar el reactivo coagulante durante el tiempo de homogenización del equipo
- Se disminuyó el sistema de agitación colocándolo en el nivel 1 de agitación.
- Se colocó el reactivo floculante en el sistema de agitación de manera continua.
- Se dejó actuar al floculante hasta visualizar la formación del floc y su posterior decantación
- Se tomó una muestra del agua tratada

Finalmente se realizó el análisis físico químico del agua tratada, determinando la variación de los parámetros de Color, pH, SST, Temperatura y Turbidez, además de los valores de absorbancia, con la metodología realizada con las muestras de agua sintética sin tratamiento.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Localización de la experimentación

La experimentación del presente trabajo de titulación se llevó a cabo en el laboratorio de calidad ambiental, que cumplía las funciones del laboratorio de hidráulica, ubicado en las instalaciones de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, del cantón Riobamba Provincia de Chimborazo. En donde se instaló el equipo de floculación horizontal, y se realizaron los distintos ensayos.

3.2. Justificación de la experimentación

Se determinó la necesidad de poseer el equipo de floculación en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, al visualizar un déficit de prácticas de laboratorio en el área de hidráulica.

3.3. Determinación del tipo de agua a utilizar en el floculador horizontal

El agua sintética utilizada en el proceso de floculación, resultó de la mezcla de agua de llave de la Facultad de Ciencias y una cantidad determinada de arcilla. El agua utilizada se caracteriza por poseer un alto valor de alcalinidad, de alrededor de 300 ppm, lo cual indica una concentración alta de iones carbonato y bicarbonato, que ayudan en las reacciones del proceso de coagulación y floculación. La arcilla utilizada es una sustancia que provino de la Cerámica, empresa encargada de la elaboración de baldosas y pisos, que obtienen la arcilla como subproducto de sus procesos de producción, es de color marrón con una textura muy fina, que al contacto con el agua produce una solución opaca. Es un material de origen inorgánico, causante de la turbiedad en el agua, al presentar una baja capacidad de sedimentación.

3.4. Caracterización del agua sintética

3.4.1. Contaminación de agua de la llave para obtener agua sintética

Para realizar los ensayos de floculación, la cantidad escogida de arcilla, fue de 1 gramo por cada litro de agua de la llave, mediante la mezcla de estas sustancias se pudo simular las características de agua contaminada a tratar obteniendo agua sintética, que contengan valores de turbidez aptos para la utilización del floculador horizontal.

3.4.2. Análisis físico químico del agua sintética antes del proceso de floculación

Los resultados obtenidos en el análisis físico-químico del agua sintética antes del proceso de floculación fueron los siguientes.

Tabla 1-3. Resultados obtenidos de los parámetros analizados en el agua sintética antes del proceso de floculación

Parámetro	Unidad	Resultado Inicial
Color	Pt.Co	375
Potencial de hidrógeno	pH	7.87
Sólidos suspendidos totales	mg/L	590
Temperatura	°C	23
Turbidez	UNT	140

Fuente: Realizado por Mejía, Ana Belén, 2017

Tres de los parámetros analizados fueron fundamentales en la determinación de la calidad del agua, como fue el caso del color, SST y turbidez. El uso del floculador horizontal pretendió la disminución de estos parámetros. En el caso del pH fue necesario su análisis, por cuanto en base a este valor se escogió el tipo de coagulante y floculante. En el caso de la temperatura se analizó para determinar si existió una variación que pudo afectar al proceso de floculación.

3.4.3. Análisis espectrofotométrico del agua sintética.

Se realizaron los análisis por duplicado, y los resultados espectrofotométricos del agua sintética antes del proceso de floculación fueron los siguientes:

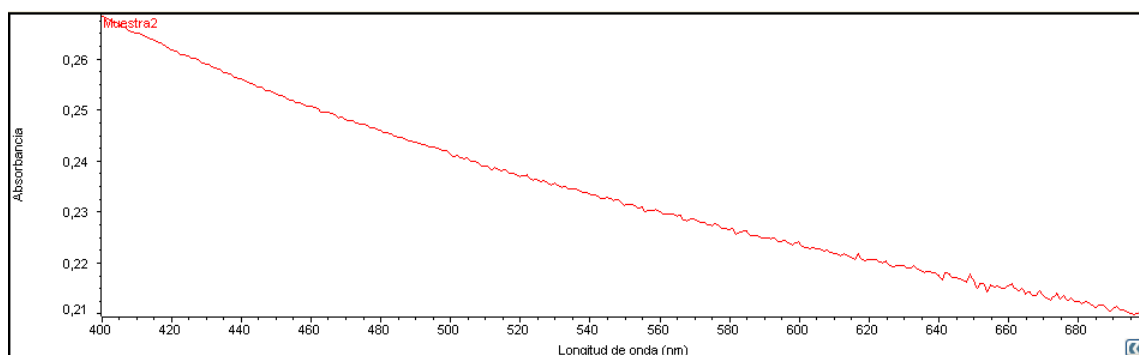


Gráfico 1-3. Absorbancia vs longitud de onda de la muestra de agua sintética del primer análisis

Fuente: Realizado por Mejía, Ana Belén, 2017

Tabla 2-3. Valor de absorbancia en una longitud de onda de 575 nm del agua sintética del primer análisis

Longitud de Onda	Absorbancia
575 nm	0.227

Fuente: Realizado por Mejía, Ana Belén, 2017

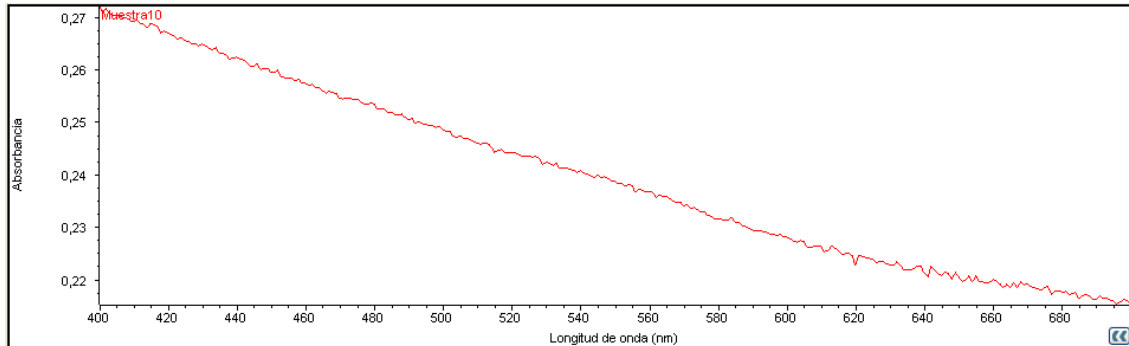


Gráfico 2-3. Absorbancia vs longitud de onda de la muestra de agua sintética del segundo análisis

Fuente: Realizado por Mejía, Ana Belén, 2017

Tabla 3-3. Valor de absorbancia en una longitud de onda de 575 nm del agua sintética del segundo análisis

Longitud de Onda	Absorbancia
575 nm	0.233

Fuente: Realizado por Mejía, Ana Belén, 2017

Los resultados que se visualizan en la tabla 3-3 y 4-3, de los diferentes análisis no tuvieron una diferencia significativa. Se obtuvo un valor promedio de 0.230 de absorbancia a una longitud de onda de 575 nm, en las muestras de agua sintética antes del proceso de floculación.

3.5. Diseño del floculador horizontal

El diseño del floculador horizontal se basó en los resultados de las fórmulas y parámetros descritos en el apartado 1.7. Criterios de dimensionamiento.

- *Cálculo de la longitud de canal*

La longitud de canal se obtuvo mediante la Ec. 2-1.

Datos:

$$V_1 = 5.33 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$T_1 = 900 \text{ s}$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$l_1 = V_1 \times T_1$$

$$l_1 = 5.33 \times 10^{-3} \text{ m/s} \times 900 \text{ s}$$

$$l_1 = 4.8 \text{ m}$$

- *Cálculo de la sección del canal*

La sección de canal se obtuvo mediante la Ec. 3-1.

Datos:

$$Q = 2.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_1 = 5.33 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$A_1 = \frac{Q}{V_1}$$

$$A_1 = \frac{2.7 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{5.33 \times 10^{-3} \text{ m/s}}$$

$$A_1 = 0.051 \text{ m}^2$$

- *Cálculo del ancho del canal*

El ancho del canal se obtuvo mediante la Ec. 4-1.

Datos:

$$A_1 = 0.051 \text{ m}^2$$

$$H = 0.4 \text{ m}$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$a_1 = \frac{A_1}{H}$$

$$a_1 = \frac{0.051 \text{ m}^2}{0.4 \text{ m}}$$

$$a_1 = 0.13 \text{ m}$$

- *Cálculo del ancho de vueltas*

El ancho de vueltas se obtuvo mediante la Ec. 5-1.

Datos:

$$a_1 = 0.13 \text{ m}$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$d_1 = 1.5a_1$$

$$d_1 = 1.5(0.13)$$

$$d_1 = 0.195 \text{ m}$$

- *Cálculo del ancho del floculador*

El ancho de vueltas se obtuvo mediante la Ec. 6-1.

Datos:

$$b = 0.13 \text{ m}$$

$$d_1 = 0.195 \text{ m}$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$B = 3b + d_1$$

$$B = 3 \times (0.13 \text{ m}) + 0.195 \text{ m}$$

$$B = 0.585 \text{ m}$$

- *Cálculo del número de canales*

El número de canales se obtuvo mediante la Ec. 7-1.

Datos:

$$l_1 = 4.8 \text{ m}$$

$$B = 0.585 \text{ m}$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$N_1 = \frac{l_1}{B}$$

$$N_1 = \frac{4.8 \text{ m}}{0.585 \text{ m}}$$

$$N_1 = 8.2 \text{ unidades}$$

- *Cálculo de la Longitud total*

La longitud del floculador total se obtuvo mediante la Ec. 8-1.

Datos:

$$N_1 = 8.2$$

$$a_1 = 0.13 \text{ m}$$

$$e = 0.006$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$L_1 = N_1 a_1 + (N_1 - 1)e$$

$$L_1 = (8.2 \times 0.13\text{m}) + (8.2 - 1) \times (0.006\text{m})$$

$$L_1 = 1.12 \text{ m}$$

- *Cálculo de la pérdida de carga en las vueltas*

La pérdida de carga en las vueltas se obtuvo mediante la Ec. 9-1.

Donde

$$K = 3$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$V_1 = 5.33 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$h_1 = \frac{KV_1^2(N - 1)}{2g}$$

$$h_1 = \frac{3 \times \left(5.33 \times 10^{-3} \frac{m}{s}\right)^2 (8.2 - 1)}{2 \times \left(\frac{9.8m}{s^2}\right)}$$

$$h_1 = 3.13 \times 10^{-5} m$$

- *Cálculo de perímetro mojado de las secciones*

El perímetro mojado de las secciones se obtuvo mediante la Ec. 10-1.

Datos:

$$H = 0.4 \text{ m}$$

$$a_1 = 0.13 \text{ m}$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$P_1 = 2H + a_1$$

$$P_1 = 2 \times 0.4m + 0.13m$$

$$P_1 = 0.93 \text{ m}$$

- *Cálculo del radio hidráulico*

El radio hidráulico se obtuvo mediante la Ec. 11-1.

Datos:

$$A_1 = 0.051 \text{ m}^2$$

$$P_1 = 0.93 \text{ m}$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$r_1 = \frac{A_1}{P_1}$$

$$r_1 = \frac{0.051m^2}{0.93 \text{ m}}$$

$$r_1 = 0.054 \text{ m}$$

- *Cálculo de pérdida de carga en los canales*

La pérdida de carga se obtuvo mediante la Ec. 12-1.

Datos:

$$n = 0.03$$

$$V_1 = 5.33 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

$$r_1 = 0.054 \text{ m}$$

$$l_1 = 4.8 \text{ m}$$

$$h_2 = \left[\frac{n \times V_1^2}{r^{2/3}} \right] \times l_1$$

$$h_2 = \left[\frac{n \times (5.33 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{(0.054)^{2/3}} \right] \times (4.8)$$

$$h_2 = 5.88 \times 10^{-6} \text{ m}$$

- *Cálculo de la pérdida de carga total*

La pérdida de carga total se obtuvo mediante la Ec. 13-1.

Datos:

$$h_1 = 3.13 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$h_2 = 5.88 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$hf_1 = h_1 + h_2$$

$$hf_1 = 3.13 \times 10^{-5} \text{ m} + 5.88 \times 10^{-6} \text{ m}$$

$$hf_1 = 3.72 \times 10^{-5} \text{ m}$$

- Cálculo de la gradiente de velocidad

La pérdida de carga total se obtuvo mediante la Ec. 14-1.

Datos:

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} = \text{Constante de valor } 3115 \text{ a } 20^{\circ}\text{C}$$

$$h_f = 3.72 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$T_1 = 900 \text{ s}$$

Se reemplazaron los datos en la ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu}} \cdot \sqrt{\frac{h_f}{t}}$$
$$G = 3115 \cdot \sqrt{\frac{3.72 \times 10^{-5}}{900}}$$
$$G = 0.63 \text{ s}^{-1}$$

Los cálculos que se realizaron del apartado 3.5.1 hasta el apartado 3.5.7 son resultados de valores teóricos del dimensionamiento del floculador horizontal, para las dimensiones reales se redondearon.

Tabla 4-3. Resultados teóricos y reales del diseño del floculador horizontal

Parámetro	Unidad	Valor teórico	Valor real
Longitud del canal	m	4.8	
Sección del canal	m	0.051	
Ancho del canal	m	0.13	0.15
Ancho de vueltas	m	0.195	0.2
Ancho de floculadores	m	0.585	0.6
Número de canales	unidades	8.2	8
Longitud total	m	1.12	1.2

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

3.6. Construcción del floculador horizontal

3.6.1. Costo de construcción del floculador horizontal

Tabla 5-3. Costo de construcción del floculador horizontal

Nro	Item	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Valor total
1	Acrílico de 6mm de grosor de 3x2	Plancha	6	\$50.00	\$300.00
2	Bomba de potencia 1/4 hp	unidad	1	\$60.00	\$60.00
3	Motor de 3000rpm	unidad	1	\$25.00	\$25.00
4	Dimmer	unidad	1	\$2.00	\$2.00
5	Interruptores	unidad	1	\$2.50	\$2.50
6	Válvulas de globo	unidad	3	\$3.50	\$10.50
7	Válvulas de compuerta	unidad	2	\$4.50	\$9.00
8	Codos de 90°	unidad	5	\$2.00	\$10.00
9	Acoples de diámetro 1 in	Unidad	2	\$2.00	\$4.00
10	Reducciones de 1 in a 1/2 in	Unidad	1	\$2.00	\$2.00
11	Tubería diámetro 1 in	Metro	3	\$3.00	\$9.00
12	Filtros	Unidad	2	\$12.00	\$24.00
13	Codos tipo Te	Unidad	4	\$0.90	\$3.60
14	Válvula check 1 in	Unidad	1	\$3.00	\$3.00
15	Universal de diámetro 1 in	Unidad	1	\$2.50	\$2.50
16	Universales de diámetro 1/2 in	Unidad	7	\$2.00	\$14.00
17	Tubería de diámetro 1/2 in	Metro	1	\$2.50	\$2.50
18	Pegamento de acrílico	Tubo	1	\$9.50	\$9.50
19	Silicona	Tubo	4	\$4.00	\$16.00
20	Canaletas de aluminio	Metro	6	\$2.50	\$15.00
21	Teflón	Unidad	1	\$1.25	\$1.25
22	Enchufe	Unidad	1	\$0.50	\$0.50
23	Cable	Metro	2	\$1.30	\$2.60
24	Perno	Unidad	1	\$0.25	\$0.25
25	Mano de obra 1	Persona	1	\$350.00	\$350.00
26	Mano de obra 2	Persona	1	\$150.00	\$150.00
TOTAL					\$1,028.70

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

3.7. Ensayos de funcionalidad del floculador horizontal

3.7.1. Determinación del caudal del floculador horizontal

Se determinó el caudal mediante la utilización de la fórmula del vertedero triangular de ángulo 60°, que está incorporado en el floculador horizontal.

3.7.2. Cálculo del caudal

El caudal se determinó mediante la Ec. 15-1.

Datos:

$$H = 0.04\text{m}$$

Se reemplazó el dato en la ecuación:

$$Q = 0.775 \times H^{2.47}$$

$$Q = 0.775 \times (0.04)^{2.47}$$

$$Q = 2.7 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$$

3.8. Determinación del tiempo de resiliencia del agua

El tiempo que los colorantes se tardaron en recorrer el floculador horizontal, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6-3. Tiempo de resiliencia

Concepto	Tiempo (min)
Recorrido de vertedero a vertedero	15
Homogenización	25

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

3.9. Determinación de la dosificación y velocidad de mezclado de los reactivos coagulantes y floculantes

Tabla 7-3. Ensayo de dosificación del reactivo coagulante en 1 L de agua sintética

Volumen [mL] PAC 5% (m/v)	Concentración de PAC [ppm]	Turbidez [UNT]		
		Velocidad Baja	Velocidad Media	Velocidad Alta
0.25 mL	12.5	120	100	60
0.5 mL	25	80	60	25
1 mL	50	40	30	0.5
2 mL	100	35	25	0.5

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

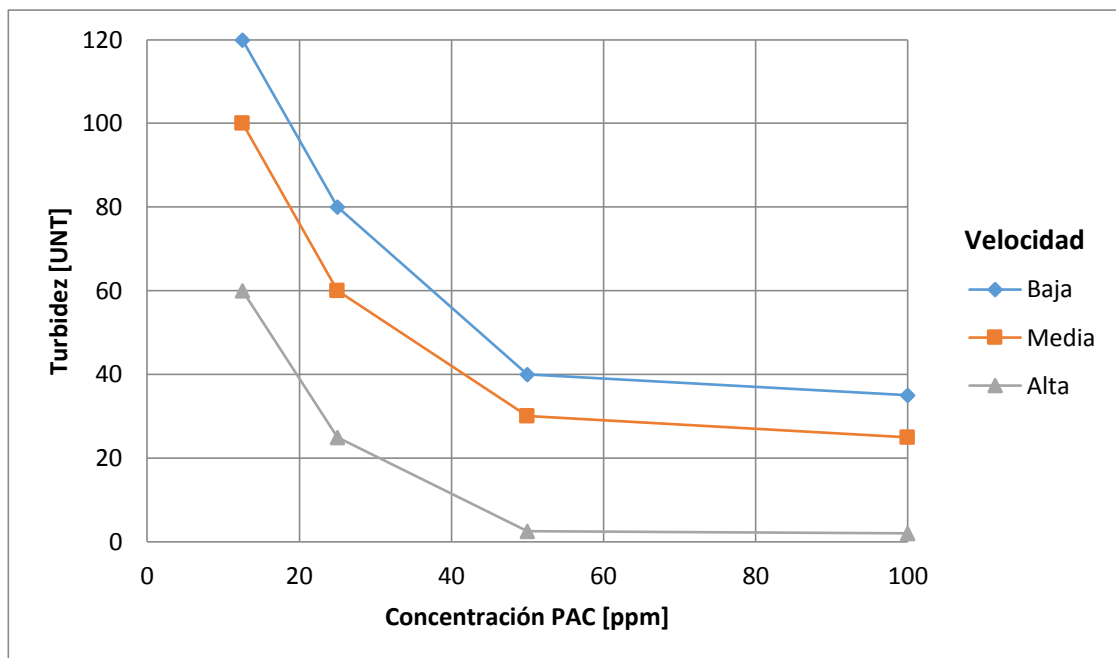


Gráfico 3-3. Concentración PAC [ppm] vs turbidez [UNT] a distintas velocidades de agitación

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

Los ensayos que presentaron resultados de mayor remoción de turbidez, fueron aquellos en los que su velocidad de mezclado fue alta, mientras que los ensayos que presentaron resultados de baja remoción de turbidez, fueron aquellos en los que su velocidad de mezclado fue baja. Estos resultados demostraron que la alta velocidad de mezclado es la ideal para obtener una mejor remoción de turbidez.

En cuanto a la concentración del coagulante PAC, se tomó el valor de 50 ppm por presentar una mejor reactividad, este valor es apto para las pruebas didácticas de laboratorio, y también para aplicarlo en una planta de tratamiento real.

Tabla 8-3. Ensayo de dosificación del reactivo floculante en 1 L de agua sintética

Volumen [mL] PoliA 0.25% (m/v)	Concentración de PoliA [ppm]	Formación de flocs		
		Baja	Media	Alta
0.25 mL	0.625	+	-	-
0.5 mL	1.25	++	-	-
1 mL	2.5	+++	+	-
2 mL	5	+++	+	-

+++ = Buena formación de flocs

++ = Media formación de flocs

+ = Baja formación de flocs

- = Nula formación de flocs

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

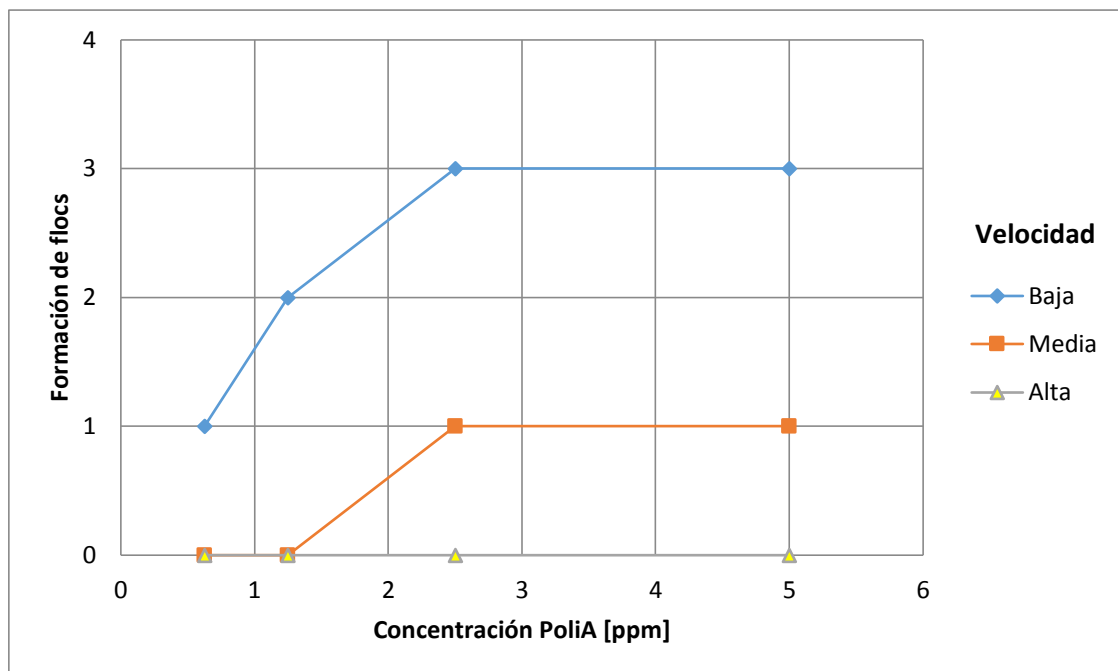


Gráfico 4-3. Concentración PoliA [ppm] vs formación de flocs a distintas velocidades de agitación

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

Los ensayos que presentaron mejores resultados de formación de flocs, fueron aquellos en los que su velocidad de mezclado fue baja, mientras que los ensayos que presentaron resultados de nula formación de flocs, fueron aquellos en los que su velocidad de mezclado fue alta. Estos resultados demostraron que la baja velocidad de mezclado del floculante es la ideal para la formación del floc.

En cuanto a la concentración del floculante, se tomó el valor de 2.5 ppm por presentar una mejor formación de flocs este valor es apto para las pruebas didácticas de laboratorio, y también para aplicarlo en una planta de tratamiento real.

En resumen el volumen de coagulante y floculante óptimo en los ensayos con 1L de agua contaminado fueron los siguientes:

Tabla 9-3. Volumen de coagulante y floculante óptimo para un 1L de agua sintética

Reactivo	Volumen
Policloruro de aluminio (PAC) 5% (m/v)	1 mL
Poliacrilamida (PoliA) al 0.25% (m/v)	1 mL

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

Se determinó que el volumen de agua sintética que utilizó el floculador horizontal fue de 360 litros y mediante factores estequiométricos se determinó el volumen de coagulante y floculante que se utilizó en el equipo.

$$360 \text{ litros agua} \times \frac{1 \text{ mL Sol PAC al } 5\% \text{ (m/v)}}{1 \text{ L agua}} = 360 \text{ mL Sol PAC al } 5\% \text{ (m/v)}$$

$$360 \text{ litros agua} \times \frac{1 \text{ mL Sol PAM al } 0.25\% \text{ (m/v)}}{1 \text{ L agua}} = 360 \text{ mL Sol PAM al } 0.25\% \text{ (m/v)}$$

Tabla 10-3. Volumen de coagulante y floculante óptimo para el floculador horizontal

Reactivo	Volumen
PAC al 5% (m/v)	360 mL
PoliA al 0.25% (m/v)	360 mL

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

Los reactivos coagulantes y floculantes se colocaron en recipientes dosificadores, los cuales por su mecanismo ayudaron a regular la dosificación para que todo el cuerpo de agua reciba la cantidad necesaria de reactivos, en el tiempo de residencia del agua.

3.10. Ensayo de floculación mediante el uso del floculador horizontal.

3.10.1.1. Análisis físico-químico del agua tratada después del proceso de floculación

Tabla 11-3. Resultados obtenidos de los parámetros analizados en el agua tratada luego del proceso de floculación

Parámetro	Unidad	Resultado Final
Color	Pt.Co	6
Potencial de hidrógeno	pH	6.9
Sólidos suspendidos totales	mg/L	219
Temperatura	°C	23
Turbidez	UNT	0.5

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

Los parámetros de color, SST y turbidez analizados fueron fundamentales en la determinación del mejoramiento de la calidad del agua, cuyos valores claramente decrecieron. El uso del floculador horizontal ayudó a la disminución de estos parámetros y al aumento de la calidad del agua.

3.10.1.2. *Análisis espectrofotométrico del agua tratada*

Se realizaron los análisis por duplicado, y los resultados espectrofotométricos del agua tratada después del proceso de floculación fueron los siguientes:

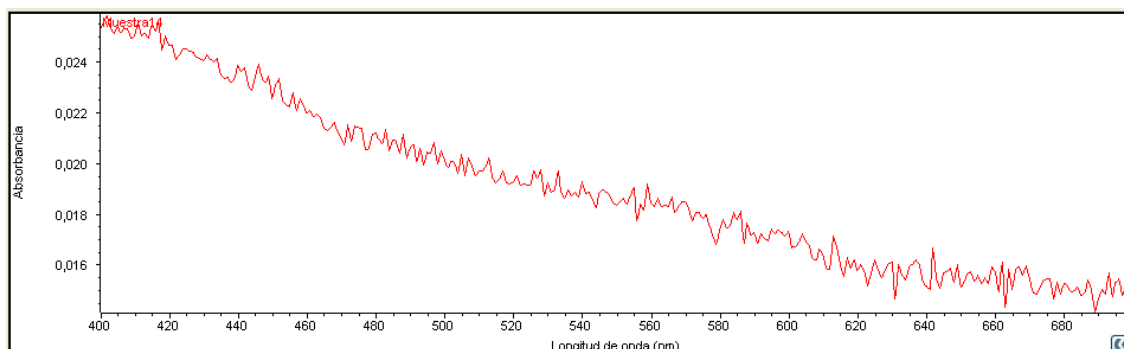


Gráfico 5-3. Gráfico de absorbancia vs longitud de onda de la muestra de agua tratada del primer análisis

Fuente: ESPECTROFOTÓMETRO

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

Tabla 12-3. Valor de absorbancia en una longitud de onda de 575 nm del agua tratada del primer análisis

Longitud de Onda	Absorbancia
575 nm	0.0178

Fuente: Realizado por Mejía, Ana Belén, 2017

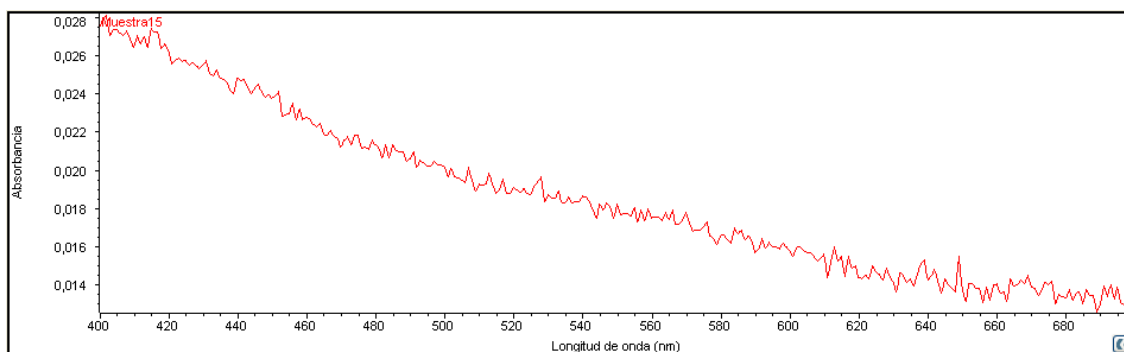


Gráfico 6-3. Gráfico de absorbancia vs longitud de onda de la muestra de agua tratada del segundo análisis

Fuente: ESPECTROFOTÓMETRO

Realizado por: Mejía, Ana Belén, 2017

Tabla 13-3. Valor de absorbancia en una longitud de onda de 575 nm del agua tratada del segundo análisis

Longitud de Onda	Absorbancia
575 nm	0.0170

Fuente: Realizado por Mejía, Ana Belén, 2017

Los resultados que se visualizan en la tabla 10-3 y 11-3, de los diferentes análisis no tuvieron una diferencia significativa. Se obtuvo un valor promedio de 0.0174 de absorbancia a una longitud de onda de 575 nm, en las muestras de agua tratadas después del proceso de floculación. Al comparar el valor promedio de absorbancia en las muestras de agua tratadas sintética que fue de 0.233, se pudo visualizar una notoria disminución del valor inicial, con lo cual se determinó la gran eficiencia que tiene el floculador horizontal para disminuir los coloides, quienes son los causantes de la disminución de la calidad del agua.

Haciendo una relación entre los valores obtenidos se pudo calcular el % de remoción de coloides E_R , utilizando la Ec 1-1.

Datos

$$Abs_C = 0.2330$$

$$Abs_C = 0.0174$$

$$E_R = \left(\frac{Abs_C - Abs_T}{Abs_C} \right) \times 100\%$$

$$E_R = \left(\frac{0.233 - 0.0174}{0.233} \right) \times 100\%$$

$$E_R = 92.53\%$$

CONCLUSIONES

- Se determinó la dosificación óptima del reactivo coagulante y floculante utilizados en el proceso de floculación, mediante la simulación de una prueba de jarras, utilizando una serie de agitadores magnéticos, se estableció un volumen del reactivo coagulante de 360 mL de PAC al 5% (m/v) y un volumen del reactivo floculante de 360 mL de PoliA al 0.25% (m/v), que se dosificaron en el floculador horizontal de manera continua, y así se logró que todo el cuerpo de agua se homogenice y reaccione de una correcta manera.
- Se dimensionó el floculador horizontal, compuesto por tres estanques, el estanque de floculación tuvo una forma rectangular, provistos de pantallas que cruzaron un tercio del ancho del equipo, fijados con láminas de aluminio que impidieron su movimiento, los dos estanques contiguos tuvieron forma cúbica, provistos de vertederos triangulares que ayudaron a medir el caudal de funcionamiento de la bomba.
- El material de construcción del floculador horizontal fue en su mayoría acrílico transparente de 6 mm, que permitió visualizar el proceso de floculación de una mejor manera, y los soportes que forman parte de su estructura fueron construidos a base de aluminio. Cabe mencionar que se instaló un sistema de recirculación que constó de tuberías, codos, uniones, llaves, válvulas, un motor y una bomba.
- Se realizaron varias pruebas piloto para validar la operatividad del equipo de floculación horizontal, conjuntamente con pruebas de laboratorio para determinar los valores de parámetros de calidad del agua antes y después del proceso de floculación, los parámetros de color, SST y turbidez, después del tratamiento del agua, disminuyeron sus valores con relación a los valores iniciales.

RECOMENDACIONES

- Realizar ensayos de laboratorio futuros con sustancias contaminante, reactivos coagulantes y floculante distintos, para evaluar la eficiencia de remoción de partículas coloidales en otros sistemas.
- Utilizar el manual de operación del equipo de floculación horizontal, para lograr un rendimiento adecuado, y evitar daños futuros que impidan su uso.
- Construir unidades de tratamiento contiguos al floculador para completar el proceso de tratamiento de agua.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGUILAR, et. al.** Google books. *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación.* [En línea] 2002. <https://books.google.com.ec/books?id=8vlQBXPvhAUC&printsec=frontcover&dq=Floculaci%C3%B3n&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiFpdyg-u7MAhXGLsAKHXX4Dp4Q6AEIGjAA#v=onepage&q=Floculaci%C3%B3n&f=false>.
2. **ANDÍA, Yolanda.** Tratamiento de Agua . *Coagulación y floculación.* [En línea] Abril de 2000. http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154.
3. **BARRENECHEA, A.** Capítulo 4. Coagulación . [En línea] 2004. [Citado el: 17 de Agosto de 2016.] <http://www.ingenieroambiental.com/4014/cuatro.pdf>.
4. **BELTRAN, y otros.** Practica Nro 4 Vertederos Triangulares. [En línea] 2013. [Citado el: 27 de Diciembre de 2016.] https://www.academia.edu/7836314/PRACTICA_No_4_VERTEDEROS_TRIANGULARES.
5. **CENTRO PERUANO DE ESTUDIOS SOCIALES (CEPES).** sf. Fuentes de abastecimiento. [En línea] sf. [Citado el: 04 de Marzo de 2017.] http://www.cepes.org.pe/pdf/OCR/Partidos/agua_potable/agua_potable4.pdf.
6. **CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS).** Capitulo 3 Floculadores. [En línea] 2004. [Citado el: 18 de Junio de 2016.] http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2_cap3.pdf.
7. **CEPIS.** sf. Fuentes de agua. [En línea] sf. [Citado el: 2017 de Marzo de 2017.] <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/inspecciones/lec3.pdf>.
8. **CEPIS.** Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero. [En línea] 2005,. [Citado el: 31 de Agosto de 2016.] http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d25/067%20Gu%C3%ADA%20para%20el%20mejoramiento%20de%20la%20calidad%20del%20agua%20a%20nivel%20casero/guia-mejor_agua_metodocasero.pdf.

9. **CIDTA.USAL. sf.** Características de las aguas residuales. [En línea] sf. [Citado el: 31 de Agosto de 2016.] <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/Caracteristicas.PDF>.
10. **CRITES, Ron y TCHOBANNOGLOUS, George.** *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones.* Bogota : McGraw-Hill Interamericana, 2000,.
11. **DEPARTAMENTO DE SANIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK.** *Manual of Instruction for water Treatment Plant Operators.* New York : LIMUSA S.A., 2001.
12. **GUTIERREZ, Angélica.** Degradación electroquímica de un colorante artificial en un reactor tipo Batch. *Universidad autónoma del Estado de México.* [En línea] (Tesis Pregrado) Noviembre de 2013. [Citado el: 28 de Febrero de 2017.] <https://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/13825/413998.pdf?sequence=1>.
13. **IDEAM.** Toma de muestras de aguas residuales. *Instituto de hidrología, Metereología y Estudios Ambientales.* [En línea] 10 de Septiembre de 2007. [Citado el: 27 de Diciembre de 2016.] http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428.
14. **PAYERAS, Antoni.** Parámetros de Calidad de las Aguas de Riego. [En línea] 2011,. <http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/#Turbidez>.
15. **PROTO KIMICA.** Pac Floculante. [En línea] 2015. [Citado el: 04 de Enero de 2016.] <http://www.protokimica.com/tienda/materias-primas/pac-floculante/>.
16. **PuriClor S.A.S.** PAC. [En línea] [Citado el: 04 de Enero de 2017.] <http://www.puriclor.com/pac.html#sthash.o3dJ2czz.dpbs>.
17. **REBOLLO, Luis.** Tema 7 Características físico-químicas de las aguas subterráneas. *Hidrogeología.* [En línea] [Citado el: 2017 de Febrero de 28.] https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PD-GP-MA-ASIG/PD-GP-ASIG-67044/TAB42351/T7-Character%EDsticas%20f-q%20de%20las%20aguas%20subterr%E1neas.pdf.

18. **SANDOVAL, JC. 2009.** Color del Agua. [En línea] 2009. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6155/5/COLOR%20DEL%20AGUA%20Juan%20C%20Sandoval.pdf>.

19. **SEVERICHE, Carlos; CASTILLO, Marlon y ACEVEDO, Rosa.** Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en aguas. [En línea] 2013. <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>.

20. **SUAREZ, María.** Capitulo 4 Medicion de caudales (AFOROS). [En línea] 07 de Septiembre de 2012. [Citado el: 16 de Agosto de 2016.] <https://www.scribd.com/doc/105255484/MEDICION-DE-CAUDALES-AFOROS>.

21. **VARGAS, Lidia.** Capítulo 6 Floculación. [En línea] Enero de 2008. [Citado el: 02 de Agosto de 2015.] <http://www.ingenieroambiental.com/4014/seis.pdf>.

22. **WEBER, Walter J.** *Control de la calidad del agua: procesos fisicoquímicos.* s.l. : Reverte, 1979.

23. **YIXING BLUWAT CHEMICALS.** Catiónico de poliacrilamida de coagulante para el Tratameindo de Agua. [En línea] 17 de Mayo de 2014. [Citado el: 04 de Enero de 2017.] http://es.made-in-china.com/co_bluwat01/product_Cationic-Polyacrylamide-of-Coagulant-for-Water-Treatment_eiuuhrhog.html.

ANEXOS

ANEXO A: Determinación de la dosificación de los reactivos coagulantes y floculantes.



Fotografía 1. Agua sintética con arcilla.



Fotografía 2. Reactivos coagulantes y floculantes



Fotografía 3. Dosificación de los reactivos coagulantes y floculantes



Fotografía 4. Mezclado de los reactivos en el agitador magnético



Fotografía 5. Muestras de agua tratada y agua sintética

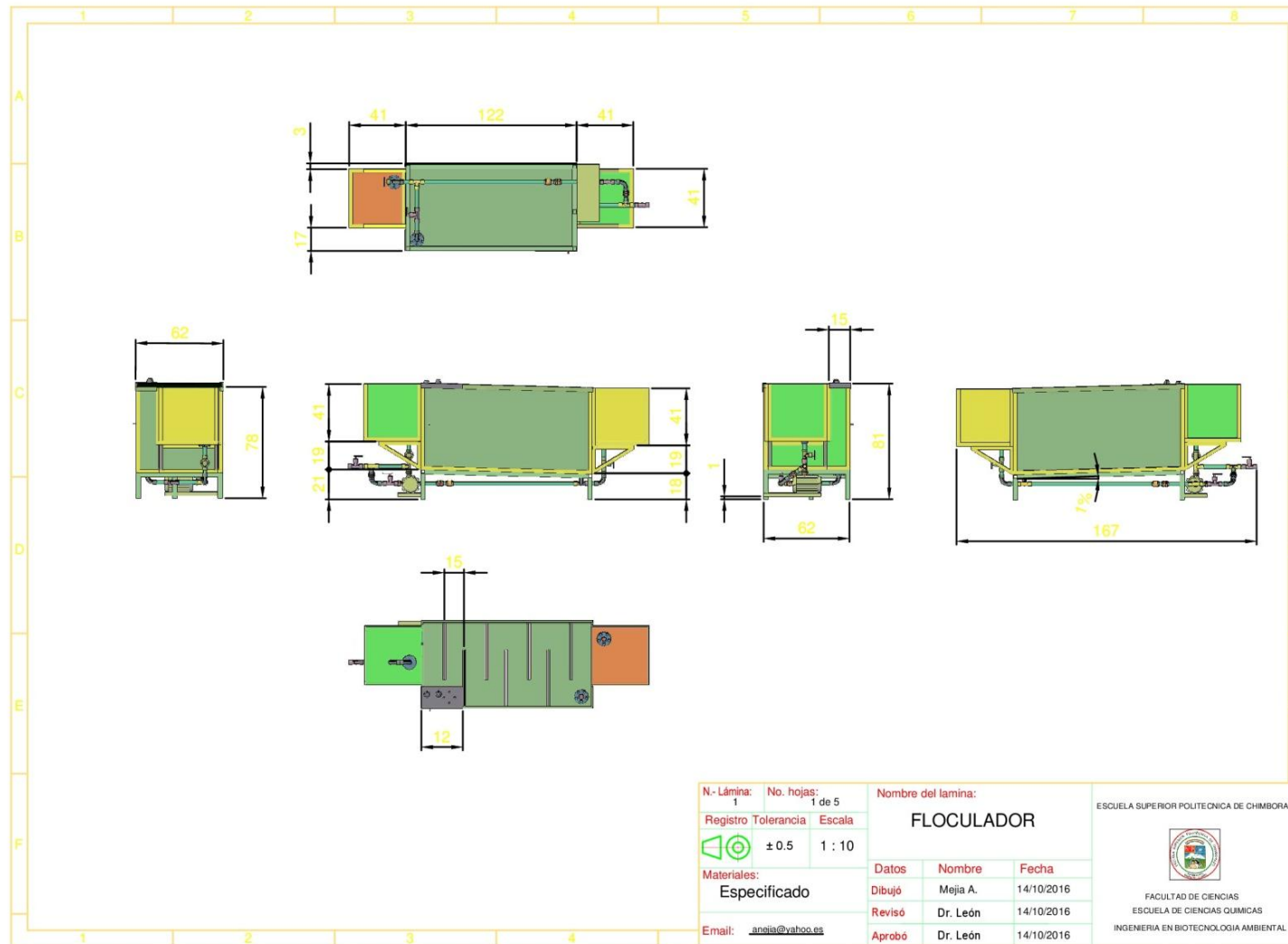


Fotografía 6. Sedimentación de flocs




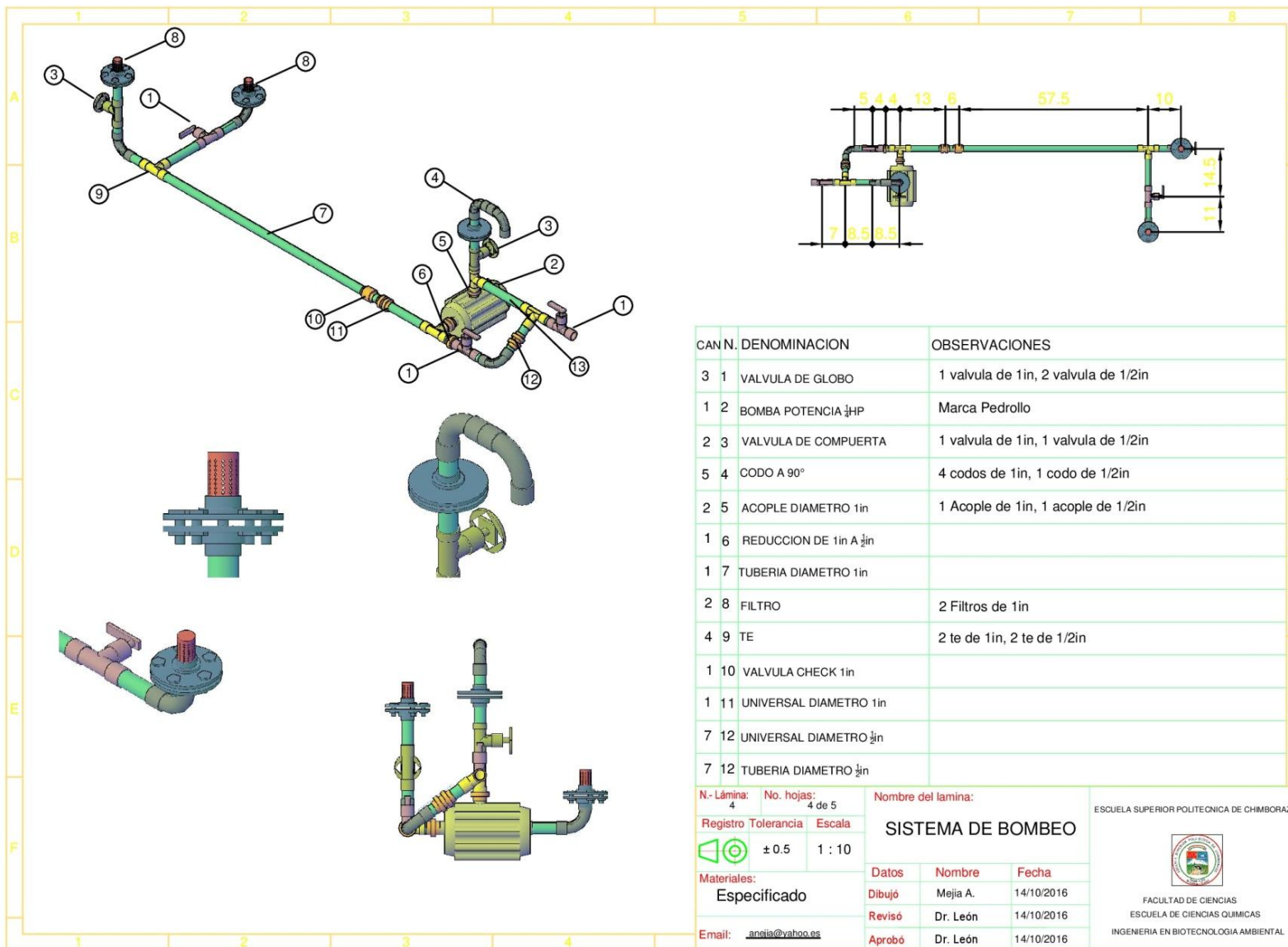
Fotografía 7. Muestras de agua sedimentada

ANEXO B Planos de floculador horizontal



CAN	N.	DENOMINACION	OBSERVACIONES
1	1	SISTEMA DE AGITACION	La transmision del sistema se realiza por bandas la potencia del motor es de 190W
2	2	VERTEDERO SECCION DE DESCARGA	Material del vertedero acrilico espesor 0.5cm, vertedero triangular
3	3	PANELES LATERALES SECCION DE DESCARGA	Material acrilico espesor 0.5cm 40*40cm
1	4	BASE SECCION DE DESCARGA	Material acrilico espesor 0.5cm 40*40cm
2	5	PANELES LATERALES SECCION DE DECANTACION	Material acrilico espesor 0.5cm 120*60cm
2	6	SOPORTES SUPERIORES	Material aluminio, perfil tipo L
1	7	BASE SECCION DE DECANTACION	Material acrilico espesor 0.5cm 120*60cm
1	8	BASTIDOR DE LOS SISTEMAS	Material aluminio, perfil tipo L, tubo cuadrado
1	9	BASTIDOR PRINCIPAL	Material aluminio, tubo cuadrado
1	10	SISTEMA DE BOMBEO	Motor, Tuberia, Accesorios de plomeria
1	11	BASE SECCION DE CARGA	Material acrilico espesor 0.5cm 40*40cm
7	12	APOYOS INTERNOS	Material aluminio, perfil tipo F
3	13	PANELES LATERALES SECCION DE CARGA	Material acrilico espesor 0.5cm 40*40cm
1	14	VERTEDERO SECCION DE CARGA	Material del vertedero acrilico espesor 0.5cm, vertedero triangular
7	15	PANELES INTERNOS	Material acrilico espesor 0.5cm, 40*59cm

N.- Lámina: 2	No. hojas: 2 de 5	Nombre del lamina:	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO	
Registro	Tolerancia	Escala	FLOCULADOR  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS INGENIERIA EN BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL	
	± 0.5	1 : 10		
Materiales:	Datos	Nombre	Fecha	
Especificado	Dibujó	Mejia A.	14/10/2016	
	Revisó	Dr. León	14/10/2016	
Email: anejia@yahoo.es	Aprobó	Dr. León	14/10/2016	



CAN N.	DENOMINACION	OBSERVACIONES
3 1	VALVULA DE GLOBO	1 valvula de 1in, 2 valvula de 1/2in
1 2	BOMBA POTENCIA 1/4HP	Marca Pedrollo
2 3	VALVULA DE COMPUERTA	1 valvula de 1in, 1 valvula de 1/2in
5 4	CODO A 90°	4 codos de 1in, 1 codo de 1/2in
2 5	ACOPLE DIAMETRO 1in	1 Acople de 1in, 1 acople de 1/2in
1 6	REDUCCION DE 1in A 1/2in	
1 7	TUBERIA DIAMETRO 1in	
2 8	FILTRO	2 Filtros de 1in
4 9	TE	2 te de 1in, 2 te de 1/2in
1 10	VALVULA CHECK 1in	
1 11	UNIVERSAL DIAMETRO 1in	
7 12	UNIVERSAL DIAMETRO 1/2in	
7 12	TUBERIA DIAMETRO 1/2in	

N.- Lámina: 4 No. hojas: 4 de 5 Nombre del lamina: SISTEMA DE BOMBEO

Registro Tolerancia Escala ± 0.5 1 : 10

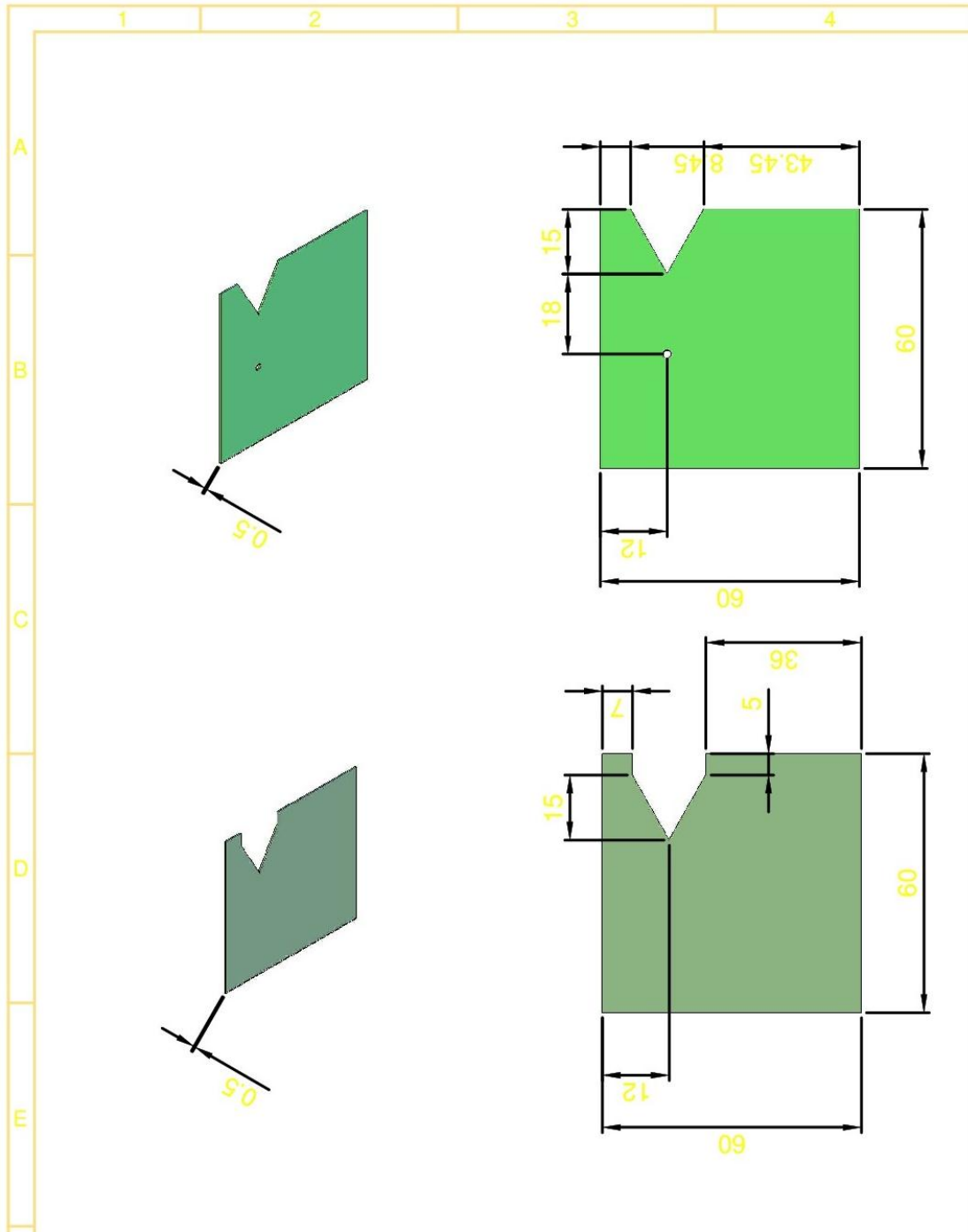
Materiales: Especificado

Datos	Nombre	Fecha
Dibujó	Mejia A.	14/10/2016
Revisó	Dr. León	14/10/2016
Aprobó	Dr. León	14/10/2016

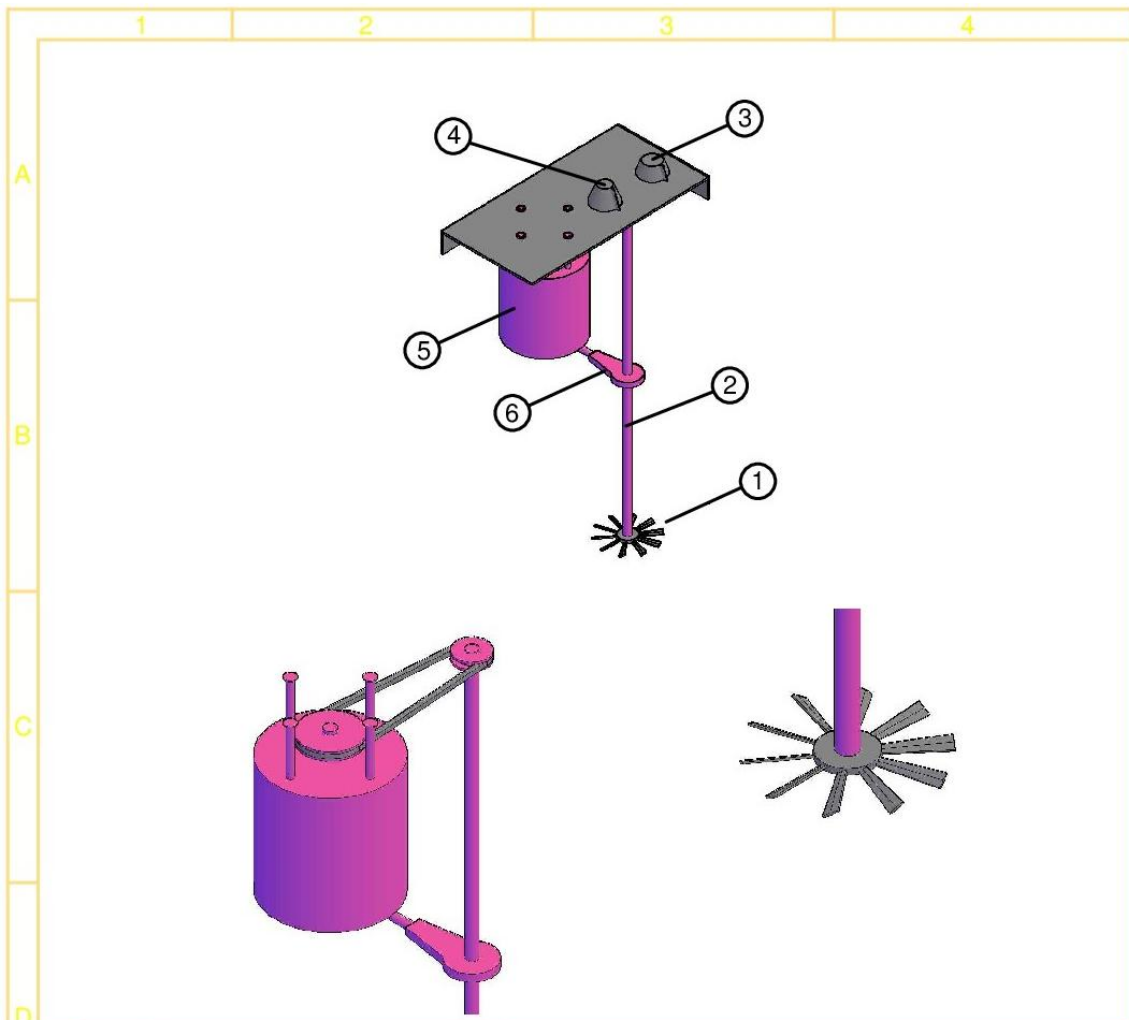
Email: amejia@yahoo.es

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS
INGENIERIA EN BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL



N.- Lámina: 3		No. hojas: 3 de 5		Nombre del lamina: VERTEDERO SECCION CARGA		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
Registro	Tolerancia	Escala	VERTEDERO SECCION DESCARGA			
	± 0.5	1 : 10	Materiales: Especificado			<p>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS INGENIERIA EN BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL</p>
Datos			Nombre	Fecha		
Dibujó			Mejia A.	14/10/2016		
Revisó			Dr. León	14/10/2016		
Aprobó			Dr. León	14/10/2016		
Email: anejia@yahoo.es						



CAN	N.	DENOMINACION	OBSERVACIONES
1	1	ASPAS SISTEMA DE AGITACION	Plastico
1	2	EJE	Acero A36
1	3	MANDO #1	
1	4	MANDO #2	
1	5	MOTOR DC	Funcionamiento a 110 V
1	6	RODAMIENTO GUIA	

N.- Lámina: 5	No. hojas: 4 de 5	Nombre del lamina: SISTEMA DE AGITACION		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
Registro	Tolerancia ± 0.5	Escala 1 : 10		
Materiales: Especificado		Datos	Nombre	Fecha
Email: aneja@yahoo.es		Dibujó	Mejia A.	14/10/2016
		Revisó	Dr. León	14/10/2016
		Aprobó	Dr. León	14/10/2016

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS
INGENIERIA EN BIOTECNOLOGIA AMBIENTAL

ANEXO C Pruebas piloto del floculador horizontal



Fotografía 8. Floculador lleno de agua



Fotografía 9. Adición de azul de metileno en el floculador horizontal



Fotografía 10. Transporte de azul de metileno a través de las pantallas del floculador horizontal



Fotografía 11. Implementación del sistema de agitación y dosificación.



Fotografía 12. Llenado del floculador horizontal



Fotografía 13. Contaminación del agua con arcilla



Fotografía 14. Dosificación de reactivos coagulante



Fotografía 14. Floculador horizontal con agua sintética.



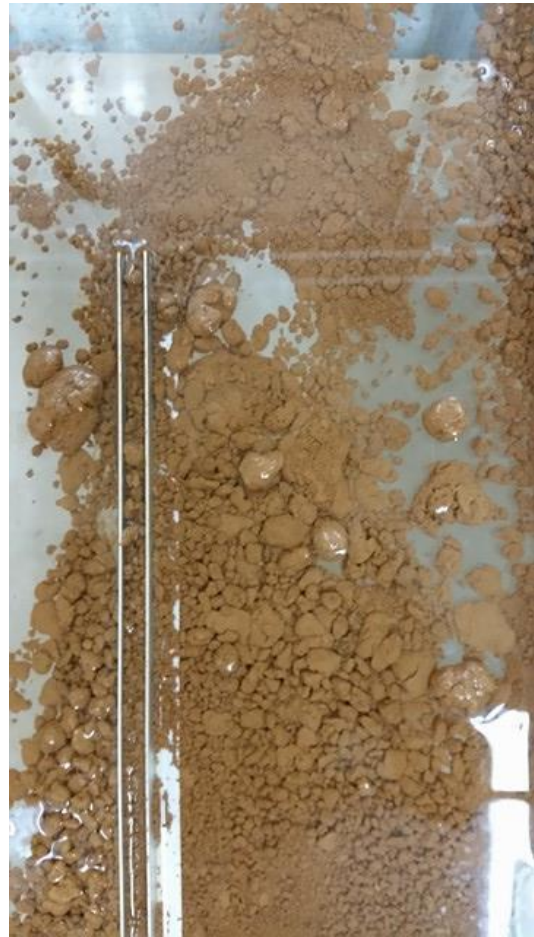
Fotografía 15. Floculador horizontal con agua tratada



Fotografía 16. Vertedero de salida con agua tratada



Fotografía 17. Flocs sedimentados en el floculador horizontal



Fotografía 18. Flocs sedimentados en el flocculador horizontal



EQ-PAC

FICHA TÉCNICA

Nombre del Producto: EQ-PAC

Descripción: Coagulante inorgánico a base de sales de aluminio polimerizadas.

Fórmula: $Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}.H_2O$

Propiedades físico químicas:

- a. **Color:** de incoloro a amarillento ligero
- b. **Aspecto:** líquido
- c. **Olor:** Ninguno
- d. **Sabor:** característico
- e. **Densidad:** $1,34 \text{ g.mL}^{-1}$
- f. **Solubilidad:** Soluble totalmente en agua

Aplicación:

- Tratamiento de agua potable
- Tratamiento de efluentes municipales e industriales
- Dosificación 250 mg.L^{-1} , pero se recomienda su verificación con pruebas de jarra.

Empaque y embarque

Suministro a granel en camiones cisterna de acero revestido con pintura epóxica o en tanques de polipropileno, polietileno, PVC o fibra de vidrio.

Este producto es corrosivo con los metales.

Se recomienda limpieza anual de los depósitos dealmacenamiento. Miscible en agua en cualquier proporción. En clima frío en caso de cristalización, se recomienda calentar y agitar los cristales a una temperatura de 50 a 60 °C, volviendo el producto al estado líquido.

EQ-PolyA

FICHA TÉCNICA

Nombre del Producto: EQ-PolyA

Descripción: Poliacrilamida aniónica

Fórmula: $(C_3H_5NO)_n$

Propiedades físico químicas:

- a. **Color:** Blanco
- b. **Aspecto:** Sólido
- c. **Olor:** Ninguno
- d. **Sabor:** característico
- e. **Densidad:** 1,10 g.mL⁻¹
- f. **Solubilidad:** Soluble totalmente en agua

Aplicación:

- Floculante universal para la eliminación de la materia en suspensión. Eficaz en un amplio rango de pH (6 - 14).
- Puede funcionar sólo o en combinación con otros productos habituales en los tratamientos de aguas, como: sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, cloruro férrico, poliamina, cal, etc.
- Se utiliza con éxito en numerosas industrias tales como:
 - Industria química.
 - Industria textil.
 - Industria de curtición.
 - Industria de pinturas.
 - Industria del petróleo.
 - Industria de lavado de envases.
 - Industria alimentaria y mataderos.
 - Industria metalúrgica y galvánica.
- Indicado para aplicaciones con grandes consumos de floculante

- Producto libre de disolventes y tensoactivos, con muy bajo contenido en compuestos orgánicos volátiles

Empaque y embarque

- Tomar las precauciones habituales cuando se maneja cualquier sustancia química. Evitar el contacto con los ojos, piel o ropa. Aunque no desprende vapores tóxicos se recomienda utilizar en lugares convenientemente ventilados.
- En caso de vertido, las superficies afectadas pueden tornarse extremadamente resbaladizas al entrar en contacto con agua. Recoger con pala y escoba antes de limpiar la zona afectada con agua a presión.
- El producto se considera válido para su aplicación hasta 12 meses después de su fabricación, aunque se recomienda consumirlo durante los 6 u 8 primeros meses. A pesar de esto, tiempos mayores de almacenamiento no implican la invalidez del producto.
- Las condiciones de almacenamiento son importantes; se recomienda hacerlo en lugar cubierto y protegido de la humedad.
- Mantener el recipiente que contiene el producto perfectamente cerrado para evitar la humedad y las contaminaciones externas. El producto es higroscópico, por lo que el agua produce un apelmazamiento del mismo.
- El producto se suministra en sacos de 25 Kg. y en Big-Bags de 750 Kg. Para más información ver la Hoja de Datos de Seguridad del producto.

ANEXO E Manual de operación del floculador horizontal.