



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

**"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA
DIDÁCTICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA USO DE LOS
ESTUDIANTES DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA ESPOL"**

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presentado por:

ARIANNA KAROLINA ANCHALUISA PAZMIÑO

FABIÁN ALEXANDER BERMEO FIGUEROA

**Guayaquil - Ecuador
2016**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

INGENIERÍA QUÍMICA

INFORME DEL PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA

Habiendo sido nombrado PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA de la
señorita,

ARIANNA KAROLINA

ANCHALUISA PAZMIÑO

Con el tema del proyecto integrador "*DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA USO DE LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA ESPOL*", previo a la obtención del título de **INGENIERO QUÍMICO**, me permito informar que he leído el contenido y he revisado el formato del proyecto integrador, luego de lo cual indico que estoy de acuerdo en que el mismo se lo ha desarrollado conforme a los lineamientos de la Unidad de Titulación Especial de la ESPOL.

Guayaquil, 17 de octubre del 2016.

ING. PABLO VICENTE TEJADA HINOJOSA
PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

INGENIERÍA QUÍMICA

INFORME DEL PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA

Habiendo sido nombrado PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA del señor,

FABIÁN ALEXANDER

BERMEO FIGUEROA

Con el tema del proyecto integrador *"DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE UN SISTEMA DIDÁCTICO DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA USO DE LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA ESPOL"*, previo a la obtención del título de **INGENIERO QUÍMICO**, me permito informar que he leído el contenido y he revisado el formato del proyecto integrador, luego de lo cual indico que estoy de acuerdo en que el mismo se lo ha desarrollado conforme a los lineamientos de la Unidad de Titulación Especial de la ESPOL.

Guayaquil, 17 de octubre del 2016.

ING. PABLO VICENTE TEJADA HINOJOSA
PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a DIOS, por darnos siempre la fortaleza y convicción para poder culminar nuestra etapa estudiantil de forma exitosa. Nos llenó de valentía y perseverancia en todo momento. Gracias por la oportunidad de conocer y de formar grandes lazos de amistad con estudiantes y profesores en toda la universidad.

Agradecemos a nuestros padres y familiares, por confiar en nosotros y darnos ánimo a lo largo de nuestra carrera. Por enseñarnos el valor de la educación y lo importante de ser constantes en todo proyecto emprendido. Gracias por comprendernos en los días de muchos proyectos y tareas, en los días feriados sin poder tener vacaciones, las semanas de exámenes, tiempos en los que sacrificamos un poco a la familia por destacarnos en el estudio. ¡Valió la pena!

Agradecemos a nuestros maestros, con quienes compartimos valiosos momentos dentro y fuera de las aulas. Por su paciencia con nosotros y deseo profundo en brindar una formación académica de calidad sin dejar de lado la enseñanza de buenos valores y la importancia de la ética profesional.

Agradecemos a nuestro director de proyecto, Ing. Francisco Torres. Por confiar en nosotros para el desarrollo de este proyecto y por su constante apoyo para terminarlo con éxito.

DEDICATORIA

Dedicamos a DIOS el éxito de nuestra
carrera por medio de este proyecto. Sin
Él no lo hubiéramos logrado.

Dedicamos el proyecto a los estudiantes
de la carrera de Ingeniería Química,
quienes tendrán a su disposición esta
herramienta para llevar sus
conocimientos de la teoría a la práctica.

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Arianna Karolina Anchaluisa Pazmiño

Fabián Alexander Bermeo Figueroa

RESUMEN

Este proyecto fue desarrollado en respuesta a la necesidad que presentan los estudiantes de Ingeniería Química de la ESPOL en reforzar el aprendizaje teórico obtenido en la materia de Tratamiento de Aguas. Por lo tanto, se propuso diseñar y construir un sistema de tratamiento de aguas que permita ejecutar diversos tipos de pruebas, conformado por las siguientes etapas: Homogenización, Sedimentación Primaria, Regulación de pH, Coagulación, Floculación, Sedimentación Secundaria y Filtración. Los criterios de diseño fueron desarrollados principalmente en base al espacio físico disponible para el montaje del sistema, costos de mantenimiento y eficiencia del proceso.

Para comprobar la funcionalidad del sistema se realizaron 3 pruebas. La primera fue una prueba hidráulica con el propósito de verificar un flujo continuo a lo largo de todas las unidades. La segunda y tercera prueba se realizaron con aguas del Río Babahoyo, lo que permitió confirmar que el sistema cumple con su función principal de estudiar los fenómenos que ocurren durante el tratamiento de las aguas de distinta composición. A su vez, se obtuvieron excelentes resultados respecto a la calidad del agua al final del proceso de tratamiento aplicado.

Palabras clave: Tratamiento de aguas, sedimentación, pH, coagulación, floculación y filtración.

ÍNDICE GENERAL

INFORME DEL PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA.....	II
INFORME DEL PROFESOR DE LA MATERIA INTEGRADORA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
DEDICATORIA.....	V
DECLARACIÓN EXPRESA.....	VI
RESUMEN.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ABREVIATURAS.....	XI
SIMBOLOGÍA.....	XII
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
CAPÍTULO I.....	16
ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA.....	16
1.1 Introducción.....	16
1.2 Mapa de ubicación del proyecto.....	17
1.3 Planteamiento del problema.....	18
1.4 Justificación.....	21
1.5 Objetivos.....	22
1.5.1 Objetivo general.....	22
1.5.2 Objetivos específicos.....	22
CAPÍTULO II.....	23
MARCO TEÓRICO.....	23
2.1 Tratamiento de Aguas.....	23
2.1.1 Aguas para potabilización.....	23
2.1.2 Aguas residuales de origen industrial.....	26
2.2 Etapas del tratamiento de aguas.....	29
2.2.1 Cribado.....	29

2.2.2	Homogenización y ecualización	31
2.2.3	Sedimentación primaria.....	32
2.2.4	Regulación de pH.....	42
2.2.5	Coagulación	43
2.2.6	Floculación	47
2.2.7	Sedimentación posterior a tratamiento químico (Sedimentación Secundaria).....	52
2.2.8	Filtración	53
2.2.9	Desinfección.....	55
2.2.10	Formación de lodos.....	57
2.3	Parámetros a analizar en la calidad del agua	58
CAPÍTULO III.....		59
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN.....		59
3.1	Cálculos para el diseño del Sistema	59
3.2	Selección de materiales.....	69
3.3	Construcción.....	70
3.4	Montaje del sistema.....	77
CAPÍTULO IV		82
MANUAL DE OPERACIÓN		82
4.1	RIESGOS ASOCIADOS A LA OPERACIÓN	82
4.1.1	Mecánicos.....	82
4.1.2	Químicos	83
4.1.3	Locativos.....	84
4.1.4	Biológicos.....	85
4.1.5	Ergonómicos	85
4.1.6	Seguridad física	86
4.1.7	Eléctricos	86
4.1.8	Ambiental	87
4.2	EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL.....	87
4.2.1	Protección del cuerpo.....	88
4.2.2	Protección de ojos.....	88

4.2.3	Protección de manos.....	89
4.2.4	Protección de nariz.....	89
4.2.5	Protección de pies.....	89
4.3	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN	90
4.3.1	Diagrama de Bloques del Proceso (PBD).....	90
4.3.2	Identificación de Unidades, Equipos y Accesorios.....	91
4.3.3	Test de jarras	93
4.3.4	Preparación de soluciones para el tratamiento.....	94
4.3.5	Proceso de llenado de tanque Homogenizador	95
4.3.6	Proceso de llenado de tanque Sedimentador Primario	96
4.3.7	Proceso de llenado de tanque de pH	98
4.3.8	Proceso de Coagulación y llenado de tanque Floculador	98
4.3.9	Proceso de llenado de tanque Sedimentador Secundario	99
4.3.10	Proceso de filtración y desinfección	99
4.3.11	Lavado del sistema	101
4.4	MEMORIA TÉCNICA	103
4.4.1	Designación de Código de Línea.....	105
CAPÍTULO V		111
EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS		111
5.1	Pruebas experimentales	111
5.2	Análisis de resultados	120
CAPÍTULO VI		127
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		127
6.1	Conclusiones	127
6.2	Recomendaciones	129
BIBLIOGRAFÍA.....		131
ANEXO 1		134
ANEXO 2.....		137
ANEXO 3.....		138

ABREVIATURAS

DAF	Disolved Air Flootation
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DBO	Demanda Biológica de Oxígeno
PH	Potencial Hidrógeno
PBD	Process Block Diagram (Diagrama de Bloque del Proceso)
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
P&ID	Process and Instrumentation Diagram (Diagrama de Proceso e Instrumentación)
STD	Sólidos Totales Disueltos
SST	Sólidos Suspendedos Totales
TOC	Total Organic Carbon (Carbono Orgánico Total)
TPH	Total Petroleum Hydrocarbons (Hidrocarburos Totales de Petróleo)

SIMBOLOGÍA

A	Área
B	Ancho
H	Altura
h	Hora
L	Longitud
m	metro
Q	Caudal
V	Volumen
v	Velocidad
s	Segundo
∅	Diámetro
θ	Tiempo de retención

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Sedimentador Primario: Planchas de acrílico dobladas en las esquinas.	71
Imagen 2. Pantalla difusora removible.	72
Imagen 3. Unidades con sus respectivas bases metálicas.	73
Imagen 4. Bases metálicas para las unidades. Recubrimiento del material con pintura en spray.	74
Imagen 5. Estructura del filtro: paredes de acrílico y base de PVC.	75
Imagen 6. Construcción del Filtro de arena y grava.	76
Imagen 7. Preparación de accesorios de acuerdo al esquema determinado.	77
Imagen 8. Ensamblaje de accesorios.	79
Imagen 9 Ajuste de accesorios para prevención de fugas.	79
Imagen 10. Identificación de tubería para dosificar Coagulante.	80
Imagen 11 Sistema de tratamiento con todas las unidades previamente diseñadas.	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de las constantes empíricas a y b (Metcalf and Eddy, 2003)	36
Tabla 2. Coagulantes más usados para tratamiento de aguas	45
Tabla 3. Identificación de unidades, equipos y accesorios.	91
Tabla 4. Tabla sugerida para anotación de dosificaciones	94
Tabla 5 Leyenda de símbolos P&ID	104
Tabla 6. Identificación de equipos.....	106
Tabla 7. Parámetros iniciales, agua del río Babahoyo.....	112
Tabla 8. Sólidos suspendidos luego de la sedimentación primaria, agua del río Babahoyo prueba 2.....	113
Tabla 9. Parámetros luego de la sedimentación secundaria, agua del río Babahoyo prueba 2.....	114
Tabla 10. Parámetros iniciales, agua del río Babahoyo prueba 3.....	115
Tabla 11. Sólidos suspendidos luego de la sedimentación primaria, agua del río Babahoyo prueba 3.....	116
Tabla 12. Sólidos suspendidos luego de la sedimentación secundaria, agua del río Babahoyo prueba 3.....	117
Tabla 13. Parámetros finales luego de la sedimentación secundaria, agua del río Babahoyo prueba 3.....	118
Tabla 14. Parámetros finales luego de la filtración, agua del río Babahoyo prueba 3.	119
Tabla 15. Parámetros finales luego de la desinfección con cloro, agua del río Babahoyo prueba 3.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del proyecto	17
Figura 2. Diagrama general de tratamiento para potabilización de aguas	25
Figura 3. Agua residual industrial en proceso de tratamiento	26
Figura 4. Reja de limpieza automática	31
Figura 5. Zonas de un sedimentador vista superior y en corte longitudinal	35
Figura 6. Remoción de DBO y SST en tanques de sedimentación primaria.	37
Figura 7. Tanque de sedimentación primaria circular	40
Figura 8. Tanque de sedimentación primaria rectangular	41
Figura 9. Canal con deflectores para mezcla rápida	46
Figura 10. Canal con vertedero	46
Figura 11. Floculador horizontal	49
Figura 12. Floculador vertical	50
Figura 13. Floculador Alabama	51
Figura 14. Filtros de superficie vs filtros de profundidad	54
Figura 15 Ubicación de la pantalla difusora respecto a la altura H del sedimentador.	62
Figura 16 Pantalla difusora: Diseño	62
Figura 17 Esquema general del floculador horizontal	64
Figura 18 Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aguas.	90
Figura 19 P&ID del sistema de tratamiento de aguas en AutoCAD	103
Figura 20 Sedimentador primario: vistas y dimensiones	108
Figura 21 Tanque floculador: vistas y dimensiones	109
Figura 22 Sedimentador secundario: vistas y dimensiones	110

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA

1.1 Introducción

Este trabajo experimental se enfoca en el diseño y construcción de un sistema de escala laboratorio-piloto para tratar aguas de distintos orígenes, tales como residuales industriales o agua cruda con fines de potabilización. La necesidad de un sistema de estas características se genera a partir del desarrollo cada vez más amplio de esta rama de la Ingeniería Química, lo que hace que los estudiantes de esta carrera deban estar cada vez más preparados para afrontar de mejor manera todos los procesos de tratamiento que requieran las organizaciones comunitarias e industriales. Con este proyecto se busca generar un sistema que nos brinde varias posibilidades de aplicar las etapas comunes de los procesos de tratamiento usados en industrias o plantas potabilizadoras de una manera tal que se puedan mezclar las etapas, usarlas de forma continua o seleccionar algunas para usar y que exista la forma de realizarlo sin inconvenientes, de tal manera que el estudiante logre determinar para cada tipo de agua qué serie de pasos o etapas son las más apropiadas y cuáles son las transformaciones físicas y/o químicas que deben usar para obtener los mejores resultados.

Esto se complementará con los actuales análisis que se pueden realizar a muestras de aguas en el laboratorio, con lo cual los estudiantes lograrán adquirir mayores destrezas en este campo tan importante de la profesión.

1.2 Mapa de ubicación del proyecto

El proyecto se pondrá en marcha como sistema didáctico de tratamiento de aguas en el Laboratorio de Tratamiento de Aguas-CEMA del Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

Figura 1. Mapa de ubicación del proyecto



Nota: Obtenido de sitio web

<https://www.google.com.ec/maps/place/Departamento+de+Ciencias+Qu%C3%ADmicas+y+Ambientales/@-2.1460054,-79.9658113,17z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x76b0088b7e8e8051!8m2!3d-2.1468928!4d-79.9671569>

1.3 Planteamiento del problema

La Ingeniería Química junto a otras ramas afines, han trabajado arduamente para solucionar los problemas de la calidad de agua para distintos usos. Para esto se han desarrollado diversos mecanismos físicos, químicos y biológicos con el fin de disminuir la turbidez, la cantidad de sólidos disueltos y suspendidos, eliminar contaminantes peligrosos y llevar el agua a un pH apropiado para que los tratamientos sean efectivos y a su vez lograr descargar el agua tratada en los cuerpos hídricos con cumplimiento de la legislación ambiental vigente. Entre los más críticos se tienen los procesos en los que el agua residual está contaminada con hidrocarburos, aguas mezcladas con desechos orgánicos, aguas de procesos de curtiembre, aguas con residuos de metales pesados, aguas resultantes de la producción de tintas y pinturas, aguas residuales domésticas, entre otros (Varios autores). Por otro lado, la potabilización del agua aún no ha llegado a todo el país, existen zonas en las cuales el agua no es tratada y los usuarios deben buscar otros mecanismos para abastecerse del líquido vital, pero estos terminan siendo complicados en su obtención o de mayor costo y no están disponibles el 100% del tiempo. A partir del crecimiento industrial en el país y de las altas multas impuestas por la autoridad respectiva, las empresas han tomado conciencia y hoy en día la gran mayoría se han visto en la obligación de instalar plantas de tratamiento de aguas para cada efluente que generan y en el caso de

industrias más pequeñas que no tienen la capacidad económica para instalar plantas de tratamiento, se ven en la necesidad de pagar para que otras empresas que tengan la tecnología puedan tratar sus aguas. Por estas razones se ha generado en los últimos años una mayor demanda de Ingenieros Químicos para esta rama de la profesión y, en muchos casos, las empresas recurren a los profesionales de esta área para que en conjunto con otros profesionales puedan diseñar y construir las mismas.

En las Universidades locales que ofrecen la carrera de Ingeniería Química una materia profesionalizante, o en algunos casos optativa, es “Tratamiento de Aguas” con la cual se persigue que los estudiantes conozcan los principios de esta rama, a la vez que aprendan técnicas comunes de tratamiento para cumplir los parámetros de descarga. En algunos casos ciertas universidades profundizan más en estos contenidos y en otros se desarrollan investigaciones en esta línea para encontrar el proceso más apropiado para distintos fines.

Por lo antes mencionado, es de vital importancia que los alumnos conozcan los procesos industriales y las operaciones de tratamiento de aguas, lo cual se aprende en otras materias de la carrera universitaria para que cuando lleguen a esta asignatura conozcan los procesos y los problemas que éstos generan. Para que esto no solo sea un aprendizaje teórico, es necesario que los estudiantes puedan simular procesos de tratamiento de aguas que se asemejen lo más posible a la realidad a la que se enfrentarán en las

plantas potabilizadoras y en las industrias. Es ahí donde se genera el problema en nuestro país, dado que la mayoría de las veces no existe el tiempo suficiente para que se pueda practicar y conocer los tratamientos comunes y en otros casos no existen los instrumentos y equipos para armar sistemas que simulen esos procesos.

Esto ha dado como resultado que en muchas ocasiones estudiantes tengan una limitada habilidad sobre cómo tratar aguas de todo tipo de origen, dando como resultado una inconformidad en los empleadores, así como un disgusto en el profesional.

Por todo esto, es de vital importancia procurar desarrollar las materias experimentales al nivel que la profesión exige, puesto que se requiere que el estudiante aprenda el fundamento teórico y a la vez que tenga la habilidad suficiente para poder decidir sobre operaciones reales en la industria.

1.4 Justificación

En el laboratorio de tratamiento de aguas se desarrollan distintos procesos con el fin de lograr determinar parámetros de interés en el agua como la dureza, el pH, la alcalinidad, sólidos totales, conductividad, entre otros. Los cuales son vitales para poder tener un panorama más claro sobre el agua que se quiere usar.

Dentro de esta rama de la Ingeniería es importante aprender los procesos más comunes para tratar aguas de varios orígenes y en este caso objeto de estudio se busca conocer por medio de un sistema de tratamiento didáctico las principales etapas en los procesos de mejoramiento de la calidad del agua. De esta manera los estudiantes tendrán una mejor decisión a la hora de laborar en este campo, pues conocerán de mejor manera estos tratamientos y serán más competentes en la profesión.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Construir un Sistema Didáctico de Tratamiento de Aguas que permita a los estudiantes aplicar conocimientos adquiridos en clases y desarrollar destrezas en resolución de problemas técnicos relacionados con el agua, sus usos y tratamientos.

1.5.2 Objetivos específicos

- Identificar las etapas principales del tratamiento de aguas que formarán parte del sistema didáctico mediante el análisis de cada unidad de acuerdo a las necesidades.
- Diseñar el sistema didáctico para asegurar una correcta distribución de espacios para cada etapa, dosificación de químicos y materiales requeridos para la construcción del mismo, por medio del uso de herramientas digitales de diseño.
- Construir el sistema basado en los cálculos de diseño utilizando materiales que permitan la apreciación de los cambios físico-químicos en el agua durante las distintas etapas de su tratamiento.
- Experimentar con aguas crudas para comprobar la funcionalidad del sistema, mediante evaluaciones de eficiencia del tratamiento aplicado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Tratamiento de Aguas

La necesidad de tratar el agua se ha dado durante toda la historia de la humanidad. Con el paso del tiempo y el desarrollo industrial cada vez fue más necesario estudiar técnicas para tratar el agua. Existen de forma básica tres divisiones de plantas de tratamientos de aguas.

- Potabilización de aguas.
- Tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Tratamiento de aguas residuales de procesos industriales, para mejorar su calidad con el propósito de que sea aceptable para su descarga en cuerpos naturales de agua o para su re-uso. (Manahan, 1993)

Este trabajo se enfoca en las aguas para ser potabilizadas y las de origen industrial, dada la importancia de éstas y la aplicación que tienen en la Ingeniería Química.

2.1.1 Aguas para potabilización

Desde hace muchos años el ser humano ha tenido la necesidad de usar el agua para su vida. Dentro de esto el agua potable se hace necesaria en cualquier parte del mundo con el fin de ser usada para consumo diario. Las

fuentes de donde se puede obtener el agua podrían ser ríos, pozos, vertederos, embalses y otras fuentes naturales o creadas por el hombre.

Las características de estas aguas varían notablemente dependiendo de su naturaleza. Por ejemplo, el agua que proviene de pozos normalmente posee una carga iónica alta debido al tiempo de almacenamiento en el subsuelo antes de ser extraída. Si estas aguas han sido contaminadas por la infiltración de otras sustancias, esto se notará al realizar una caracterización de las mismas (Etienne, 2009). Problemas similares se pueden encontrar en las aguas de ríos provocados por poblaciones que se hayan abastecido previamente y hayan descargado sus aguas residuales al río de donde otra población toma el agua para potabilizarla. Estas aguas podrían contener altas cargas orgánicas, de químicos, de hidrocarburos, de fósforo y de cualquier fuente que complique el proceso de potabilización (Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla).

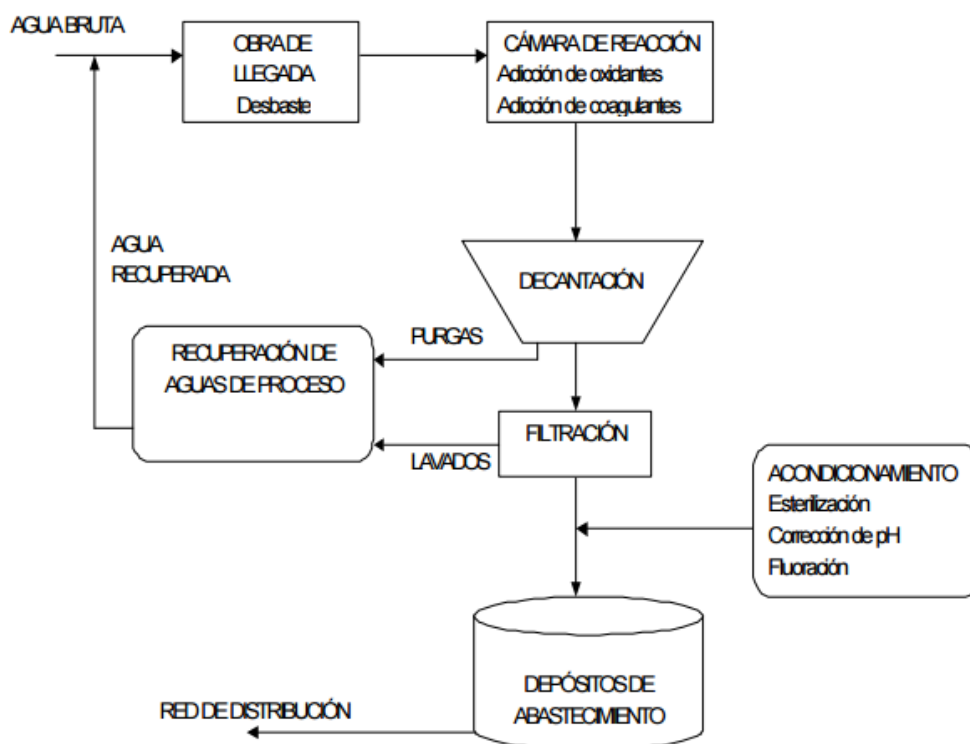
Por estas razones se hace indispensable un tratamiento correcto y responsable que permitan que sean aptas para el consumo humano, más no existe un método común que usado en todas partes del mundo. Sin embargo, existen etapas generales que se nombrarán a continuación.

El agua que se potabilizará deberá pasar por operaciones convencionales como el cribado, el desarenado y la sedimentación primaria, tratamiento químico para llevar el agua a las condiciones adecuadas, un decantado

posterior al paso químico, la filtración del efluente, el acondicionamiento final del agua y su traslado hasta el lugar de uso.

La figura 2 presenta el proceso de manera gráfica.

Figura 2. Diagrama general de tratamiento para potabilización de aguas



Nota: Obtenido de TAR, Escuela Univesitaria Politécnica de Sevilla. Tratamiento de potabilización del agua. Disponible en:

[http://www.elaguapotable.com/Tratamiento%20de%20potabilizacion%20del%20agua%20\(Grupo%20TAR\).pdf](http://www.elaguapotable.com/Tratamiento%20de%20potabilizacion%20del%20agua%20(Grupo%20TAR).pdf)

2.1.2 Aguas residuales de origen industrial

Las aguas residuales de origen industrial nacieron en conjunto con el inicio de la producción a gran escala de insumos y productos para los seres humanos. En todas las industrias sin importar el giro de la misma, siempre se van a generar efluentes que se necesitan tratar para poder ser descargados de forma correcta. Incluso, con el paso de los años se han encontrado maneras de obtener subproductos de valor a partir de las aguas tratadas, los cuales pueden ser aprovechados por otras industrias.

Figura 3. Agua residual industrial en proceso de tratamiento.



Nota: Obtenido de Dinotec. Planta de tratamiento de aguas residuales industriales. Disponible en:

<http://www.dinotec.com/portfolio/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-industriales-10/>

Una de las formas de clasificar a las industrias es a partir de sus vertidos. Para esto, el libro Ingeniería de Aguas Residuales (Varios autores) muestra una forma de clasificar de acuerdo al tipo de industrias que existen hoy en día.

Industrias con efluentes principalmente orgánicos

- Papeleras
- Azucareras
- Mataderos
- Curtidos
- Conservas
- Lecherías y sus derivados
- Fermentación
- Preparación de productos alimenticios
- Bebidas
- Lavanderías

Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos

- Refinerías y petroquímicas
- Coquerías
- Textiles
- Fabricación de productos químicos, varios

Industrias con efluentes principalmente inorgánicos

- Limpieza y recubrimiento de metales

- Explotaciones mineras y salinas
- Fabricación de productos químicos, inorgánicos

Industrias con efluentes con materias en suspensión

- Lavaderos de mineral y carbón
- Corte y pulido de mármol y otros minerales
- Laminación en caliente y colada continua

Industrias con efluentes de refrigeración

- Centrales térmicas
- Centrales nucleares

La clasificación antes indicada permite predecir sobre qué tipo de contaminantes se pueden encontrar. Esto es muy importante al momento de diseñar una planta de tratamiento de aguas para saber cuáles son las unidades apropiadas para usar en el proceso, permitiendo de esta manera cumplir con los parámetros de calidad exigidos en la legislación ecuatoriana que se rige por el Acuerdo Ministerial 061 de mayo del 2015. Estos parámetros pueden variar dependiendo de dónde se realice la descarga; sin embargo, en todos los casos es necesario respetar las condiciones que indica la ley e intentar estar por debajo de los valores límites.

Dentro de los procesos de tratamiento de aguas existen dos características de vertidos. La primera son los continuos, los cuales provienen de procesos donde existen entradas de agua en ciertas secciones y la salida

es continua en el transcurso del tiempo. El segundo tipo de vertidos son los discontinuos, estos proceden de operaciones intermedias del proceso. Generalmente los más complicados de tratar son los de tipo discontinuo y éstos se pueden transformar en los del primer tipo si el fluido aumenta y se mantiene constante su generación.

2.2 Etapas del tratamiento de aguas

Este trabajo contempla las etapas de tratamiento que van a ser consideradas dentro del sistema didáctico en el cual no se trabajará con sistemas biológicos, es decir, tratamientos que comúnmente son citados como secundarios ni se trabajarán con tratamientos terciarios a excepción de la desinfección.

Estas etapas incluyen los procesos llamados “convencionales” y algunos que a su vez permiten tener más control y mejores resultados. En una primera etapa se busca separar por mecanismos físicos sólidos de gran tamaño, sólidos suspendidos y flotantes, y compuestos orgánicos volátiles (Ramalho, 1983).

2.2.1 Cribado

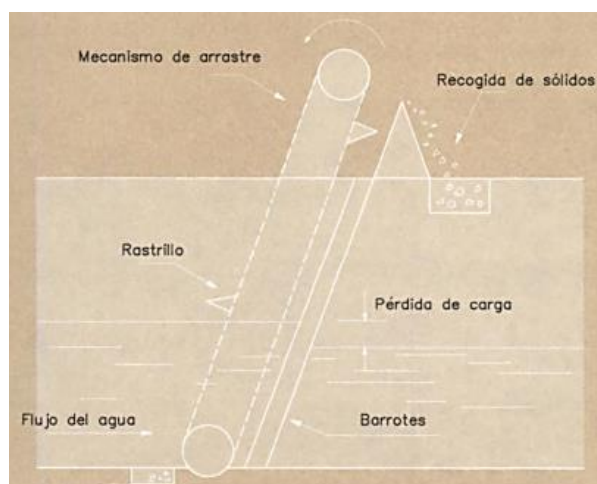
El primer paso en el tratamiento de aguas es el cribado, el cual tiene ciertas variantes en la manera de realizarse, pero el principio sigue siendo el mismo y es la separación de los sólidos gruesos por medio del uso de

rejillas y/o mallas para retener los sólidos que por su tamaño no pasan las aberturas creadas. Las rejas suelen tener aberturas a partir de los 0.6 cm o más grandes (Rodríguez, y otros). Habitualmente en las plantas de tratamiento los sólidos más comunes que se retienen son plásticos de gran tamaño, pedazos de madera, pedazos metálicos y cualquier otro tipo de sustancias que dependen de la naturaleza de las industrias.

Si el cribado se realiza en una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, los sólidos a retener pueden ser tubos, pañales, pedazos de llantas, maderas de gran tamaño, plásticos de todo tipo y cualquier otro material que se usa en el día a día.

Para que este proceso tenga mayor eficacia y la pérdida de carga no sea tan alta, se recomienda que exista una pendiente en el traslado del agua, de esta manera se permite que exista un delta de altura a favor del movimiento. Los valores de pendiente comunes en relación a la vertical van desde los 2 hasta los 25 grados, todo depende de cuál es la necesidad y la dificultad, de acuerdo a las características para poder transportar sólidos.

Figura 4. Reja de limpieza automática



Nota: Miguel Rigola Lapeña (1990). Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales

2.2.2 Homogenización y ecualización

Esta etapa no existe en todas las plantas de tratamiento de agua, pues dependiendo de la naturaleza de la misma y de cuántas líneas de los procesos de la planta llegan hasta la zona de tratamiento de aguas, este tanque puede ser necesario en menor o mayor grado.

No obstante, este proceso unitario es importante para obtener un cuerpo de agua con características similares todos los días durante el tiempo productivo y no productivo de la industria, permitiendo condiciones óptimas para los procesos subsecuentes, pues se conoce que la variación de componentes y concentraciones en el efluente pueden reducir

significativamente la eficiencia del proceso de tratamiento y como consecuencia de aquello, también afectaría a la calidad del agua final.

En ciertas plantas de tratamiento de aguas este tanque se usa como receptor, aunque sea un solo afluente el que ingrese dado que también puede cumplir el papel de caja de nivel constante para poder regular el flujo que ingrese a los siguientes procesos de tratamiento de aguas (Eckenfelder, Ford, & Englande, 2009).

Un ejemplo de esta etapa podría ser una planta que reprocessa hidrocarburos usados, en la que los tanqueros descargan el producto en un mismo tanque de manera inicial y en éste podrían llegar distintos tipos de hidrocarburos los cuales se mezclan en este tanque con el fin de poder ir a los procesos que siguen de una manera homogénea.

El diseño de estos tanques no presenta mayores niveles de desarrollo, puesto que dependiendo de las posibilidades que existan en las empresas muchas veces se usan tanques que ya han sido utilizados en otros procesos.

2.2.3 Sedimentación primaria

Acorde a los principios físicos, siempre que un líquido que contenga sólidos en suspensión y todo el sistema se encuentre en poco movimiento o en reposo, los sólidos suspendidos de densidad mayor a la del líquido

tenderán a ubicarse en la parte inferior del recipiente, mientras que los de menos densidad se direccionarán a la parte superior.

Basado en este principio se desarrollan los sedimentadores primarios los cuales sirven como un separador de sólidos del efluente. Con esto se busca disminuir la cantidad de sólidos suspendidos y el DBO, de esta manera los procesos que siguen en el tratamiento se desarrollarán de mejor manera dado que se disminuye la probabilidad de taponamiento y rotura de las distintas líneas de proceso.

Otra importante aplicación de los sedimentadores primarios es la de separar grasas y aceites, para esto se debe tener un sistema de barrido en la zona superior del tanque o en su defecto tener un tiempo de residencia tal que se asegure la separación de la mayor cantidad posible de estas sustancias que por su principio de apolaridad no se mezclan con el agua. Cuando existe otra etapa específica para el proceso de separación de grasas y aceites los tiempos y el diseño varía en los sedimentadores primarios.

Generalmente estas unidades se usan como preparación para que los efluentes que se generan estén listos para ir a operaciones de tratamiento químico o biológico dependiendo de su naturaleza. A partir de operación que sigue, los parámetros del dimensionamiento cambian, aun así, siempre se buscará la optimización y esto se logrará dependiendo de las aguas a tratar y del correcto cálculo del proceso. En este caso esta unidad

trabaja como el antecesor del proceso químico de coagulación y floculación, siendo esta parte vital en este tipo de procesos se considera que un buen diseño permite retener en esta etapa al menos el 50% de los sólidos suspendidos presentes en el agua y mínimo el 25% del DBO.

2.2.3.1 Zonas de un sedimentador

- Zona de entrada

Esta zona es la primera parte en todo sedimentador, en esta se busca una distribución uniforme del afluente que ingresa al sedimentador.

- Zona de sedimentación

Es el cuerpo del sedimentador, en esta zona se busca que las dimensiones del sedimentador favorezcan la adecuada operación de descenso de las partículas evitando a su vez que se genere un nuevo levantamiento. La dirección del flujo en este tipo de procesos es horizontal y la velocidad con la cual las partículas descienden es la misma.

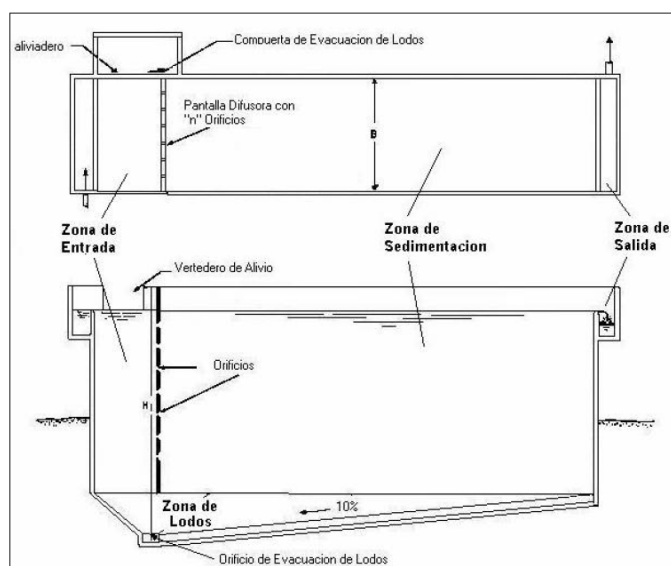
- Zona de salida

Es la última zona del sedimentador, en esta parte se busca que las partículas sedimentables ya se encuentren en el fondo y que la concentración de SST y DBO sea la menor posible para que al pasar a la siguiente etapa del tratamiento el proceso sea más fácil y de menor costo.

- Zona de recolección de lodos

Esta zona es separada del resto del sedimentador a la hora de realizar el dimensionamiento básico, más bien a partir de este y del tipo de agua a tratar se analiza cuál es el volumen más apropiado para los lodos. Si los valores son adecuados no se perderá volumen dimensionado para el proceso de sedimentación. Si no es así y el volumen de lodos llega a ser superior, se tiene como última opción la zona superior de rebose con la cual aseguramos que se mantenga el proceso de manera adecuada o en su defecto el tiempo antes de cada limpieza deberá disminuir por el volumen de lodos generados en cada ciclo (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Figura 5. Zonas de un sedimentador vista superior y en corte longitudinal



Nota: Obtenido de Organización Panamericana de la salud (2005). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores.

A continuación, se presentan los diferentes parámetros que se deben considerar a la hora de realizar el diseño de un sedimentador primario.

2.2.3.2 Remoción de DBO y SST

El principal objetivo de este procedimiento es la remoción de estos dos parámetros los cuales, a partir de experimentación realizada en sedimentadores en funcionamiento, se generaron ecuaciones empíricas para determinar el porcentaje removido.

La siguiente ecuación muestra la forma de determinar este porcentaje removido (Metcalf and Eddy, 2003):

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

Donde

- R es el porcentaje retenido de lodos.
- t es el tiempo de sedimentación.
- a y b son constantes empíricas.

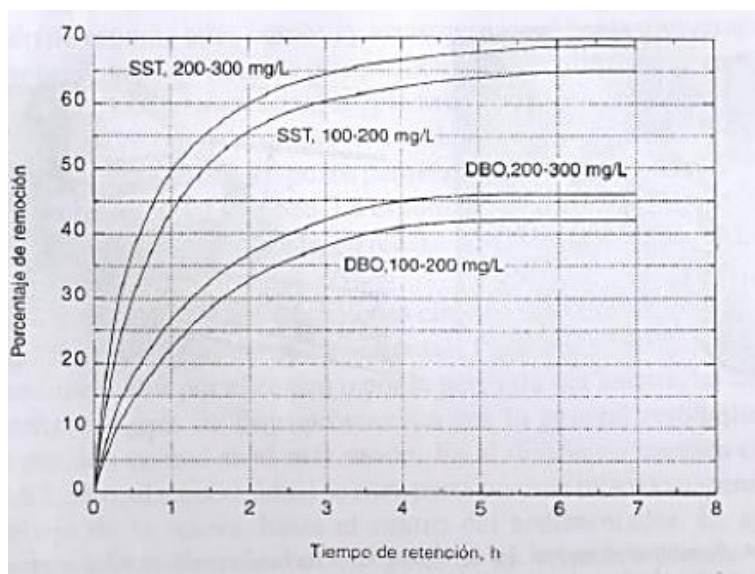
Las constantes antes mencionadas pueden tomar los siguientes valores a 20°C.

Tabla 1. Valores de las constantes empíricas a y b (Metcalf and Eddy, 2003)

Variable	A	B
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

Otra manera de determinar el porcentaje de retención es a partir de la siguiente gráfica.

Figura 6. Remoción de DBO y SST en tanques de sedimentación primaria.



Nota: Obtenido de Metcalf and Eddy, 2003. Wastewater Engineering. Pag. 405.

2.2.3.3 Tiempo de retención

Los tiempos de retención en los sedimentadores de manera general producen un beneficio mientras el valor sea mayor. Sin embargo, pasada cierta cantidad de horas ya no se genera más retención. Por esta razón se deben realizar diversos ensayos a escala piloto dado que no se puede generalizar un rango tiempo para todos los tipos de aguas industriales. En ciertos casos ese tiempo depende no solo de estos factores, sino también de la operación de la planta donde está instalado el proceso de tratamiento de aguas, puesto que muchas veces el caudal a ingresar a esta sección

es tan grande y la capacidad es inferior por lo que se debe mantener tiempos de retención bajos para lograr recibir todo el efluente de proceso. En forma general se considera que menores tiempos de retención por ejemplo media hora o una hora sólo permite ser un preparativo para las siguientes etapas de proceso como los procesos biológicos o químicos, más no se remueve todo lo posible por razones antes mencionadas.

2.2.3.4 **Carga de superficie**

Los cálculos para el desarrollo de sedimentadores dependen en gran parte de este parámetro, el cual permite conocer la cantidad de fluido que pasará sobre un área del sedimentador en una cantidad de tiempo determinada. Acorde al tipo de sedimentos que se desee recuperar, se adoptará un valor de carga de superficie. De manera típica los valores de carga de superficie oscilan entre los 30 y 50 m³/m²-día. Sin embargo, existen casos en los que se pueden trabajar con valores inferiores o superiores, todo va a depender del diseño del equipo que se requiera y de las características del fluido. Cuando el sedimentador ya está diseñado o el espacio para esta unidad ya está fijo, se debe modificar dicha carga para lograr los mejores resultados, pero basado en las limitantes de dimensión.

En el desarrollo de cualquier dimensionamiento de un sedimentador, se inicia generalmente por la carga de superficie dado que con este valor y el caudal que queremos ingresar, se procede a calcular el área superficial y de aquí las dimensiones del mismo. Es necesario que la carga sea

coherente en todo momento para que no exista inferioridad en el tiempo de descenso de las partículas lo que puede llegar a dar como resultado una sedimentación limitada por razones de tiempo.

2.2.3.5 Velocidad de arrastre

Esta velocidad es muy importante en la sedimentación y muchas veces no se la toma en cuenta en los diseños, si esta velocidad es menor a la velocidad de flujo horizontal las partículas se re-sedimentarán puesto que siempre la velocidad con la que avanza el fluido debe ser menor a la de arrastre. Si se genera un movimiento fuerte o brusco las mismas se levantarán y si el número de Reynolds es muy alto el mismo fenómeno se generará. La velocidad de arrastre también llamada velocidad crítica o de punto crítico se puede determinar de forma empírica por la siguiente expresión (Universidad de las Américas de Puebla, s.f.).

$$v_{\text{arrastre}} = \frac{8k(s-1)gd^{1/2}}{f}$$

Donde

- v_{arrastre} es la velocidad a la cual se inicia el proceso de re-sedimentación.
- k es una constante que depende del tipo de material arrastrado.
- s es el peso específico de las partículas a sedimentar.
- g es la gravedad.
- d es el diámetro de las partículas

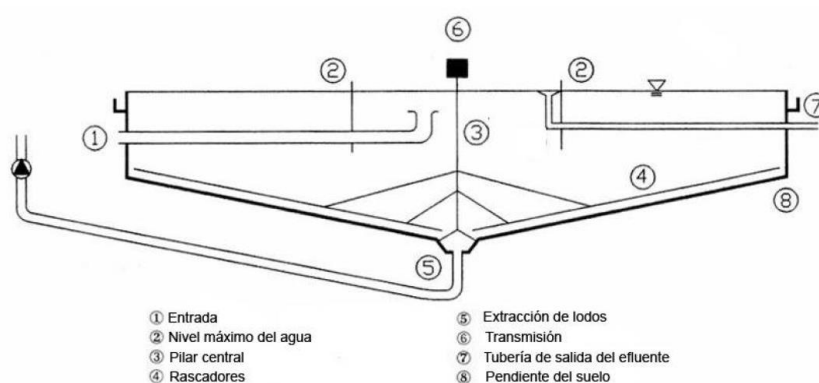
- f es un factor de fricción a partir de experimentación realizada donde sus valores típicos están entre 0.02 y 0.03.

2.2.3.6 Tipos de tanque de sedimentación primaria

La forma de los equipos de sedimentación es variable, y dependerá más bien de las partículas a sedimentar o de la disponibilidad económica y de infraestructura la forma de estas unidades.

Existen tanques de sedimentación primaria del tipo rectangulares y circulares los cuales tienen como principal diferencia que en el primer caso el flujo predominante es rectangular y en el segundo es radial. En ambos casos se acopla a la unidad un sistema de barreadores con cadenas o puentes móviles con el fin de recolectar los lodos sedimentados. Este sistema barreador se debe limpiar luego de un tiempo para evitar la acumulación de lodos, dicho tiempo dependerá de la cantidad de lodos producidos por la unidad.

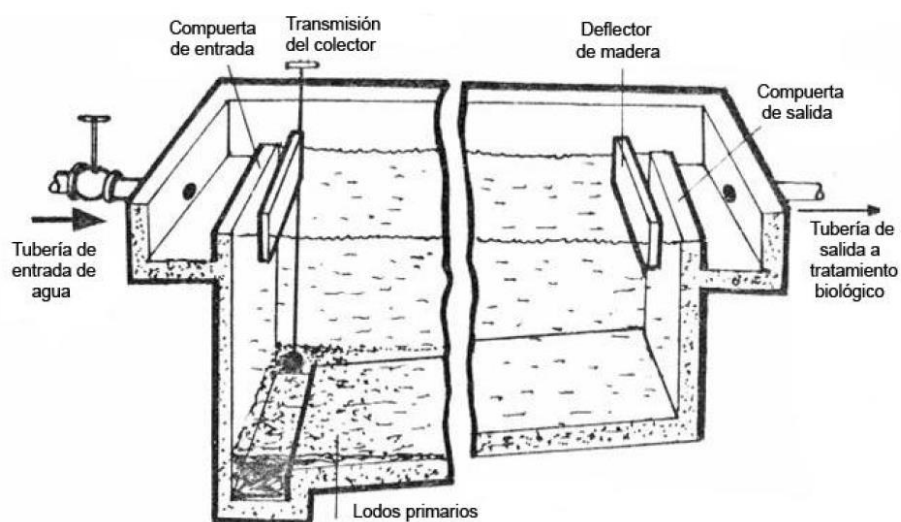
Figura 7. Tanque de sedimentación primaria circular



Nota: Obtenido de Horan (2003). Tratamiento de aguas.

En el caso de los tanques rectangulares, la distribución del caudal es crítica, por esta razón se debe decidir uno de los siguientes mecanismos para lograr una correcta distribución en el sedimentador. La primera forma es usar canales que ocupan todo el ancho del sedimentador, la segunda forma es con canales de entrada con compuertas de gran tamaño y deflectores a la entrada y salida del sedimentador y la tercera forma es usar canales de entrada con orificios sumergidos los cuales están distribuidos de una manera ordenada y simétrica para que la distribución sea lo más apropiada posible.

Figura 8. Tanque de sedimentación primaria rectangular



Nota: Obtenido de Horan (2003). Tratamiento de aguas.

2.2.4 Regulación de pH

El proceso de regulación o neutralización del pH se realiza con el fin de ser un paso de preparación cuando el sistema requiere ajustes en este parámetro. Las variaciones de pH se dan para que el proceso de coagulación – floculación sea más eficiente. En muchos casos se ha demostrado que la acción de los coagulantes es inferior en valores de pH no recomendados. Es importante considerar que las aguas residuales pueden ser o muy ácidas o muy básicas, por lo que dependiendo de su condición será necesario agregar un álcali o un ácido al efluente con la finalidad de llegar a un pH cercano a 7, rango en donde la coagulación se desarrolla de manera óptima. Generalmente los reactivos usados para la regulación de pH a más de no variar notablemente la composición del agua, se escogen en la industria a partir de los costos de los mismos y de la facilidad para poder conseguirlos puesto que en muchos casos al ser ciertos reactivos regulados se opta por usar otros que no tengan esta restricción.

Los químicos más usados para la regulación del pH son: cal viva, cal apagada, carbonato sódico, sosa cáustica y ácidos minerales.

Adicionalmente si se desea reducir la dureza del agua, estos tanques también son apropiados para este fin puesto que se puede realizar una “lechada” de cal en otro tanque y la misma ser dosificada con el fin de formar sales insolubles en el agua para que sean precipitadas. Ejemplo de

esto es la adición de hidróxido de calcio a las aguas de proceso, al realizar este paso se inicia una serie de reacciones en cadena en el agua con el fin de formar al final del proceso carbonato de calcio. Sin embargo, la gran cantidad de lodo que produce la reacción con este químico es, muchas veces, un problema significativo en las industrias.

Otra ventaja de regular el pH es ejercer control de la corrosión en las tuberías (Rojas J. A., 2005).

2.2.5 Coagulación

Es una etapa que se desarrolla posterior a los procesos mecánicos, la materia en suspensión no solamente es materia de mayor densidad que el agua, sino que también hay coloides que tienen un tamaño en el orden de 10^{-6} a 10^{-9} metros (Rigola Lapeña, 1990). Estos coloides normalmente son estables en el agua gracias a las interacciones eléctricas entre dichas partículas, esta estabilidad hace que la sedimentación sea muy lenta o casi nula por lo cual es necesario modificar el estado de estas partículas para lograr la separación.

Estos coloides son generalmente los causantes de la turbiedad y el color en el agua, la formación de estos es común en todos los tipos de aguas que se producen a partir de las líneas de procesos las cuales siempre llegan por tuberías o canales a zona de tratamiento de aguas.

Para lograr esta sedimentación existe un mecanismo químico llamado coagulación en el cual se busca desestabilizar los coloides presentes en el agua y a su vez favorecer la sedimentación. En este proceso se añaden coagulantes que aportan con una carga eléctrica contraria a la del coloide, habitualmente se usan sales con alta carga para generar la desestabilización.

Al tener la misma carga eléctrica los coloides se genera una repulsión electroestática que disminuye las fuerzas de atracción de masas, es decir, las fuerzas de Van der Waals que harían que las partículas se junten.

Las sales más usadas para este proceso son cationes de alta relación entre carga y su masa como las de Fe^{+3} y Al^{+3} y algunos polímeros catiónicos y aniónicos (Rodríguez, y otros).

La Tabla 2 presenta los principales agentes coagulantes junto a sus dosificaciones más habituales y el pH apropiado para trabajar.

De forma general no existen reglas para indicar de manera directa cuál es el coagulante más apropiado para cada caso, es ahí donde se utiliza el "Test de Jarras" o "Jar Test". El cual consiste en una prueba con distintos coagulantes a distintas dosificaciones el cual simula lo que pasará en la planta, con esta aproximación podemos decidir el apropiado para el tratamiento a realizar y proceder a dosificarlo ya en planta.

Tabla 2. Coagulantes más usados para tratamiento de aguas

Coagulante	Dosis (mg/l)	pH óptimo	Aplicaciones
Cal	150-500	9-11	Eliminación de coloides (1)
Sulfato de aluminio	75-250	4,5-7	Eliminación de coloides (1)
Cloruro férrico	35-150	4-7	Eliminación de coloides (2)
Cloruro ferroso	70-200	4-7	
Sulfato ferroso			
Polímero catiónico	2-5		Eliminación de coloides (3)
Polímero aniónico y no iónico		0,25-1	Ayudante de floculación y sedimentación
(1) Eliminación de coloides y de fósforo. Agua con baja alcalinidad y alta concentración de fósforo.			
(2) Eliminación de coloides y de fósforo. Agua con alta alcalinidad y baja concentración de fósforo.			
(3) Eliminación de coloides. Ayudante con coagulantes metálicos.			

Nota: Obtenido de Informe de vigilancia tecnológica. Tratamiento avanzado de aguas residuales.

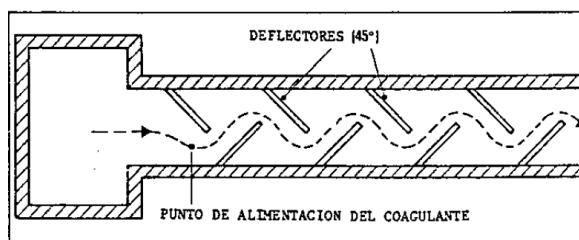
Madrid (2010) Pág., 22.

El proceso de coagulación se debe realizar de forma rápida, para esto es necesario que al dosificar el coagulante el fluido entre en un proceso de agitación para que se forme una zona de alta turbulencia. En algunos casos la coagulación se la realiza estrangulando canales para generar turbulencia y justo en ese punto se adiciona el coagulante, en otras industrias es muy común el uso de tanques con agitación para lograr este

fin el cual debe obligatoriamente tener un mezclador que trabaje a altas revoluciones para formar los coágulos en el menor tiempo posible (Davis & Masten, 2004).

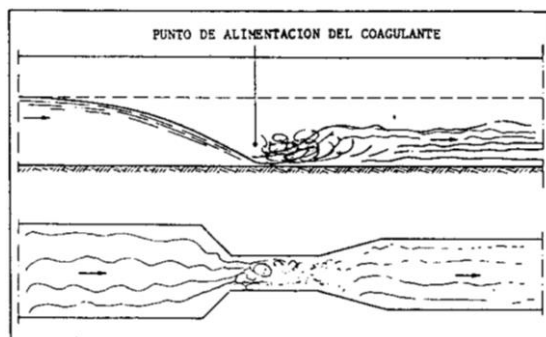
Las siguientes figuras es un ejemplo de sistemas hidráulicos donde a partir del movimiento del fluido se genera la turbulencia apropiada para lograr la coagulación.

Figura 9. Canal con deflectores para mezcla rápida



Nota: Obtenido de Organización Panamericana de la Salud. Coagulación y floculación. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/020867/020867-14.pdf>

Figura 10. Canal con vertedero



Nota: Obtenido de Organización Panamericana de la Salud. Coagulación y floculación. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/020867/020867-14.pdf>

Cuando el fluido a tratar sale del proceso de coagulación es necesario que entre a una etapa de movimiento lento, dicha etapa se llama floculación y en todo proceso de tratamiento de agua se debe tener estas etapas de manera conjunta.

2.2.6 Floculación

El proceso de floculación es una etapa donde la turbulencia se disminuye hasta un fluido laminar, el afluente que ingresó del proceso anterior que se nombra comúnmente como “agua coagulada” es acondicionado por medio de la adición de un floculante. El objetivo de esta etapa es formar flóculos o flocs los cuales se crean por la unión de varios coágulos con la ayuda del agente floculante, cuando los flóculos ya están formados su densidad, volumen y peso permiten que se puedan sedimentar en una operación siguiente a una velocidad mayor en comparación a una sedimentación primaria. (Rojas J. A., 1999)

Los floculantes según su naturaleza se clasifican en minerales y orgánicos, ejemplo del primer grupo son la sílice activada el cual considerado como el mejor floculante cuando trabaja junto a sales de aluminio. En el caso de los orgánicos son polímeros de largas cadenas orgánicas lo que produce un alto peso molecular y pueden ser de origen natural como el almidón, la celulosa y alginatos o de origen sintético como los son varios polielectrolitos.

Al igual que en el proceso de coagulación, no existen tablas que indiquen en cada caso cuál es el floculante más apropiado, para solucionar este problema se debe realizar un ensayo de test de jarras para analizar en diferentes casos cual presenta mayor rendimiento y a que dosis. De esta manera se podrá observar el floculante que mayores puentes forma lo que dará como resultado flóculos de mayor tamaño que tendrán la posibilidad de sedimentarse o filtrarse en las etapas posteriores (Organización Panamericana de la Salud).

2.2.6.1 Tipos de floculadores

La forma más sencilla de clasificar a los floculadores es a partir de la energía suministrada, basado en esto existen dos categorías: los floculadores hidráulicos y los mecánicos.

En el primer caso los mecánicos mantienen el mismo principio del test de jarras en donde pequeñas paletas generan movimiento con el fin de mejorar el contacto entre el floculante y los coágulos. Este movimiento lento debe realizarse a revoluciones inferiores a los 30 RPM, de lo contrario se romperán los flóculos formados y la operación no habrá sido eficiente.

Los floculadores hidráulicos son los más usados a nivel industrial puesto que no necesitan energía para mejorar el contacto, el principio se basa en el avance del fluido coagulado a través de canales que pueden estar en diferentes posiciones distribuidos y con el paso en el sistema se van

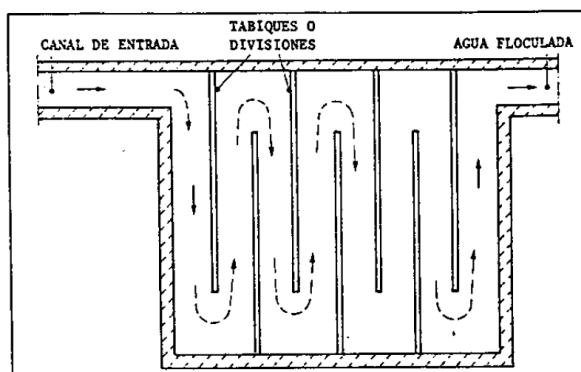
generando los flóculos tal que al final del mismo se tiene el tamaño adecuado para ir a la siguiente etapa.

Dentro de los tipos de floculadores hidráulicos más comunes se tiene (Organización Panamericana de la Salud, 2005):

a) Floculadores horizontales

Estos floculadores trabajan generalmente en plantas donde el caudal es pequeño. Ocupan un área muy importante por lo cual es necesario tener el espacio suficiente, el flujo en este tipo de floculadores es laminar y el tiempo de retención generalmente es de 15 a 20 minutos.

Figura 11. Floculador horizontal



Nota: Obtenido de Organización Panamericana de la Salud. Floculadores, capítulo 3. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualIII/ma2_cap3.pdf

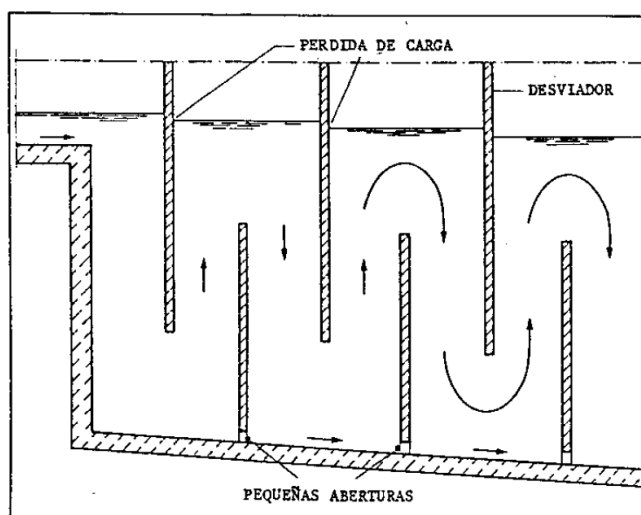
b) Floculadores verticales

En este tipo de unidades el flujo sube y baja con el paso del tiempo a través de canales verticales formados a partir de las pantallas del floculador. Es

usado en plantas de mediano y gran tamaño dado que por el flujo que se requiere tratar ocupa poco espacio porque es profundo más no tan amplio en área superficial. Acorde a recomendaciones de profesionales con experiencia en el tema se indica que estas unidades deben ser usadas cuando los caudales a tratar son mayores a 50 litros por segundo.

El tiempo de residencia promedio en estos floculadores es de 10 a 20 minutos para que la acción de la floculación sea de mayor rendimiento posible. Una de las dificultades de esta unidad es el método de limpieza dado que por su geometría es complicado el proceso de retiro de desechos.

Figura 12. Floculador vertical

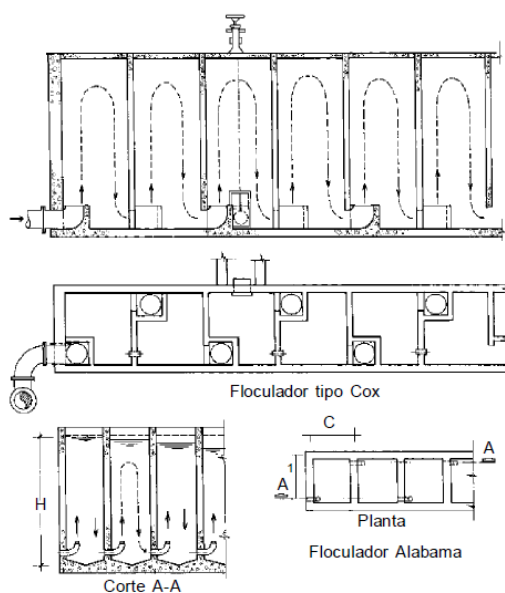


Nota: Obtenido de Organización Panamericana de la Salud. Floculadores, capítulo 3. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualIII/ma2_cap3.pdf

c) Floculadores de Alabama

En estas unidades el agua coagulada realizará movimientos ascendentes y descendentes dentro de cada cámara, en este proceso lo importante es mantener la velocidad puesto que el flujo pasa de una cámara a otra y el caudal tiende a variar por diversos motivos. Si el caudal de operación disminuye el agua ya no ascenderá y pasará formando un corto circuito lo cual no permite que la agrupación de las partículas se realice correctamente. Si el caudal aumenta en comparación al de operación, se generará una turbulencia muy alta lo cual romperá los flóculos que se formarán.

Figura 13. Floculador Alabama



Nota: Obtenido de Organización Panamericana de la Salud. Floculadores, capítulo 3. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualIII/ma2_cap3.pdf

2.2.7 Sedimentación posterior a tratamiento químico (Sedimentación Secundaria)

En esta etapa también llamada de decantación se busca la separación de los flóculos formados en la etapa anterior por medio del proceso de separación por densidades, en algunos casos se pueden generar flóculos de menor densidad que el agua para lo cual el sistema debe de estar diseñado para poder retirarlos de una manera adecuada por medio de un barrido o por rebose. En la mayoría de los casos se busca formar flóculos de mayor densidad que el agua, los mismos se irán al fondo del sedimentador tal como el primario.

El diseño de este sedimentador es similar al anterior, una de las diferencias notorias es que los cálculos para el diseño deben realizarse teniendo en cuenta los flóculos formados, si los mismos son trasladados a velocidades incorrectas se romperán y esto dará como resultado una inferior formación de lodos.

Mientras el tiempo de residencia sea mayor se podrá generar una mayor formación de lodos, al igual que el primer sedimentador llegará un punto en el transcurso del tiempo en el cual ya no se generará mayor descenso de flóculos, en ese momento se puede pasar el agua que quedó separada a la siguiente parte del proceso la cual generalmente es un filtro o algún tratamiento biológico dependiendo de las necesidades de la empresa y de la calidad con la cual se requiera sacar el agua.

2.2.8 Filtración

La filtración es una operación en la que el agua pasa por un medio poroso. El objetivo de este proceso es retener la mayor cantidad de sólidos en suspensión como una de las principales características del proceso, otro fenómeno que ocurre en esta etapa es la adsorción de partículas a las paredes del poro y la interacción físico química que existe entre todas las sustancias presentes en el proceso. Tradicionalmente el medio poroso más usado ha sido la arena en filtros formados por distintas etapas, en el caso de aguas de procesos industriales el medio poroso varía ampliamente siendo en muchos casos las tierras diatomeas las más usadas y en otras ocasiones medios tradicionales como la grava, la arena, zeolitas naturales entre otras formas (McCabe, Smith, & Harriott, 2007).

En los casos de filtros como operación final en los procesos de tratamiento de aguas industriales lo que se busca es retener las partículas que no pudieron ser sedimentadas en los procesos anteriores, sin embargo, aún en este caso es posible que existan pasos de material suspendido si el filtro diseñado no es el más apropiado.

De forma básica existen dos procesos o mecanismos de filtración. En el primero las partículas o sólidos sedimentables quedan retenidos en la superficie del medio poroso, esto se genera debido a la selectividad en el tamaño de la partícula. En este caso solamente las partículas más pequeñas pasarán el medio filtrante. El segundo mecanismo es el de

filtración profunda, a diferencia de la primera, las partículas suspendidas ingresan al medio filtrante, más en este espacio quedan retenidas mientras el resto de partículas fluyen hasta salir del medio poroso (Rodríguez, y otros). La siguiente figura ilustra estos mecanismos de filtración.

Figura 14. Filtros de superficie vs filtros de profundidad



Nota: Obtenida de Industrial filtration products. Disponible en:

<http://www.fdpp.com/depthsurface.htm>

Existen diversos tipos de filtros entre los cuales se destacan los filtros por gravedad y a presión. En el primer caso la operación se realiza por circulación vertical del agua y en descenso a través del filtro a partir del principio de gravedad.

En el caso de la filtración por presión, la misma se realiza con la ayuda de algún tornillo, de un émbolo o de un sistema de marcos y tubos que permite formar tortas con la parte que se desea retener, de esta manera disminuye la concentración de sólidos suspendidos en el agua. Estos sistemas

pueden ser de alta o baja velocidad y son usados principalmente en el tratamiento de efluentes industriales.

2.2.9 Desinfección

El proceso de desinfección pretende destruir de manera efectiva y permanente las bacterias y cualquier otro microorganismo que se siga en el agua luego de todos los procesos previos de tratamiento. Las unidades de desinfección se encuentran en plantas de tratamiento potabilizadoras de manera obligatoria puesto que si el agua es para uso humano la necesidad de estas es permanente. En el caso de aguas industriales, el objetivo de esta etapa es llevar a los niveles permitidos según la legislación ambiental de cada país los parámetros que van acorde a esta parte y a su vez si el agua será reutilizada asegurar que no existan problemas por agentes patógenos en lo posterior.

Para que este proceso se lleve a cabo existen varias formas de llegar al mismo resultado. Cloración, radiación, adición de ácidos o bases, oxidación avanzada con ozono son las principales formas de desinfección que existen (Rodríguez, y otros). La disponibilidad de un proceso u otro dependerá siempre de la economía de la planta y del nivel de rigurosidad de los parámetros del efluente de esta etapa.

El oxidante más usado es el cloro, el cual se dosifica para esta etapa de diferentes maneras; como cloro gaseoso, como hipoclorito de sodio o

cómo óxidos de cloro. La diferencia del uso de estas sustancias es la disponibilidad y la formación de productos no deseables en algunos casos. En pequeña escala, el hipoclorito de sodio es el desinfectante más usado por su costo y por su facilidad de compra. Para cualquiera de los casos nombrados es necesario determinar la dosis adecuada para que el agua no tenga excesos ni deficiencia de cloro lo cual puede causar otros inconvenientes como elevados valores de cloro en el agua o continua presencia de agentes patógenos. La efectividad de la desinfección dependerá del pH del agua, la temperatura y el tiempo de contacto.

La técnica de radiación para la desinfección del agua es menos usada por el costo que lleva este proceso. Sin embargo, cada vez se observa un mayor uso de este sistema por los resultados que se generan luego de la exposición del agua.

Los principales resultados alcanzados en el proceso de desinfección son (Alvarez Da Costa, 2009):

- Oxidación de sustancias causantes del mal olor en el agua.
- Eliminación de bacterias, virus y otros agentes patógenos.
- Ayuda para el proceso de lodos activados (Si es el caso).
- Reducción del DBO.

En algunos procesos de tratamiento de aguas se hace imprescindible la desinfección previa a etapas de tratamiento biológico o físico químicos. Este caso se puede dar en procesos en donde se presenta un peligro de

alto grado para la salud y por prevención se aplica este proceso con el fin de precautelar el bienestar humano.

2.2.10 Formación de lodos

En varios de los procesos anteriormente nombrados la formación de lodos es muy común y en los procesos de tratamientos de agua, es de vital importancia dar una buena disposición final a los mismos.

Muchas veces estos residuos pueden representar un gran problema para las industrias dado que el contenido de los mismos puede ser peligroso para la salud. Existe un proceso básico para llevar los lodos a una forma que no causen peligro en la industria o en el medio ambiente.

El proceso más común inicia con un espesado de los lodos, el mismo se puede realizar por medio de una separación sencilla del contenido de agua. Una vez que se tiene una concentración mayor de lodos se proceden a estabilizarlos por procesos de digestión anaerobio o aerobia en los cuales se busca que bacterias se alimenten de los contaminantes presentes en los lodos. Luego que se da este proceso se lleva a una etapa de acondicionamiento en la cual se lleva el lodo a condiciones apropiadas para las etapas posteriores. son la deshidratación y el secado, en ambos procesos se busca el retiro de la mayor cantidad de agua disponible de los lodos con el fin de restar volumen y masa al producto final. Posterior a la etapa de secado queda un producto sólido 100% el cual dependiendo de

su naturaleza puede tener distintas disposiciones dentro de las cuales la principal es la incineración para reducir el volumen y la masa a la menor cantidad posible (Sánchez-Miel).

2.3 Parámetros a analizar en la calidad del agua

Basado en el conocimiento previo de los contaminantes que están presentes en cada tipo de vertido industrial, se puede definir cuáles son los parámetros que definen la carga contaminante. De esta manera se puede planificar mejor cualquier acción o trabajo, esto no quiere decir que sólo se va a cumplir con los parámetros indicados a partir del vertido, será necesario en todos los casos cumplir con la normativa ambiental vigente basado en el cuerpo receptor de la descarga.

Dentro de la caracterización de los vertidos industriales, algunos de los parámetros se los puede obtener en el lugar donde se realiza la descarga, mientras que otros deben ser llevados al laboratorio para ser analizados.

Entre los más comunes a ser analizados en sitio de descarga tenemos: pH, conductividad, oxígeno disuelto, caudal, cloro total y residual, color, turbidez, STD y salinidad.

En el laboratorio los más comunes a analizar son DQO, DBO, TOC, cloruros, nitratos, nitritos, sulfitos, amonio, TPH, nitrógeno total, fenoles, metales pesados y análisis específicos microbiológicos.

CAPÍTULO III

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

3.1 Cálculos para el diseño del Sistema

Etapas: Sedimentador Primario

Criterios de Diseño:

- Relación $\frac{L}{B} = 3$; L=longitud, B=ancho
- Relación $\frac{L}{H} = 4$; H=altura
- Caudal de entrada: $Q = 0.03 \frac{m^3}{h}$

Se busca que el caudal no sea tan alto para evitar turbulencias en el interior del sedimentador.

- Carga superficial (C.S.): $C.S. = 4 \frac{m^3}{m^2-día} = 0.17 \frac{m^3}{m^2-h}$
- Pendiente para retención de lodos: 10%

Cálculos:

- Dimensionamiento del Sedimentador

$$\text{Área superficial} = \frac{Q}{\text{Carga superficial}} = \frac{0.03 \frac{m^3}{h}}{0.17 \frac{m^3}{m^2-h}}$$

$$\text{Área superficial} = 0.18 m^2$$

$$\text{Área superficial} = L \times B; L = \text{largo}, B = \text{ancho}$$

$$\text{Considerando que } \frac{L}{B} = 3 \text{ entonces, } \text{Área superficial} = L \times \frac{L}{3} = \frac{L^2}{3}$$

$$\frac{L^2}{3} = 0.18 m^2 \rightarrow L = \sqrt{0.18 m^2 \times 3}$$

$$L_0 = 0.74 \text{ m (longitud calculada)}$$

$$L = 0.80 \text{ m (longitud corregida)}$$

$$B_0 = \frac{L}{3} = \frac{0.80\text{m}}{3} = 0.27\text{m}$$

$$B = 0.30\text{m (ancho corregido)}$$

$$\text{Área superficial corregida} = L \times B = 0.80\text{m} \times 0.30\text{m}$$

$$\text{Área superficial corregida} = 0.21 \text{ m}^2$$

Considerando que $\frac{L}{h} = 4$ y *Factor de seguridad* = 1.5

$$H_0 = \frac{0.80 \text{ m}}{4} = 0.20\text{m (altura de trabajo)}$$

$$H = 0.20\text{m} \times 1.5$$

$$H = 0.30 \text{ m (altura de trabajo + borde de seguridad)}$$

- Volumen de trabajo y volumen de la unidad

$$\text{Volumen de trabajo} = L \times B \times H_0 = 0.80\text{m} \times 0.30\text{m} \times 0.20\text{m}$$

$$\text{Volumen de trabajo} = 0.048 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen sedimentador} = L \times B \times H = 0.80\text{m} \times 0.30\text{m} \times 0.30\text{m}$$

$$\text{Volumen sedimentador} = 0.072 \text{ m}^3$$

Para los volúmenes calculados no se está considerando la sección de lodos, dadas por una pendiente inversa al sentido del flujo. El detalle se encuentra en la sección de “*Construcción*”.

- Tiempo de Retención

$$\theta = \frac{V_{trabajo}}{Q} = \frac{0.048 \text{ m}^3}{0.03 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 1.6 \text{ horas}$$

$$\theta = 1 \text{ hora } 36 \text{ minutos}$$

Para un caudal de rango 30 L/h – 60 L/h se calcula un tiempo de retención promedio de 1 hora.

- Velocidad Horizontal

$$V_H = \frac{Q}{B \times h} = \frac{0.03 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0.30\text{m} \times 0.20\text{m}}$$

$$V_H = 0.50 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

- Dimensionamiento de la pantalla difusora

Criterios de Diseño:

Ubicación de la Pantalla Difusora, H_s

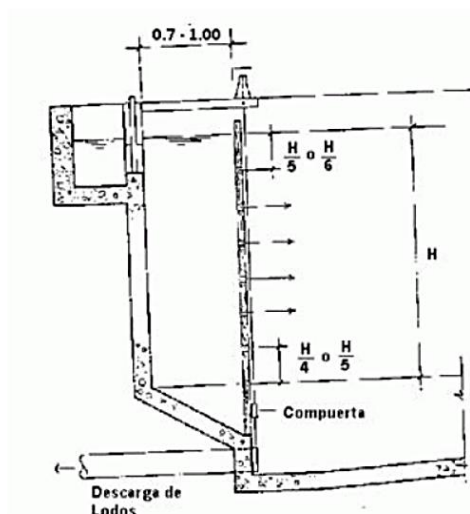
- ✓ La ubicación de la pantalla debe ser entre 7 a 10 cm de distancia de la pared de entrada.
- ✓ Los orificios más altos de la pantalla deben estar a $\frac{1}{5}$ de altura $H_{\text{sedimentador}}$ a partir de la superficie del agua, los orificios más bajos a $\frac{1}{5}$ de altura $H_{\text{sedimentador}}$ a partir de la superficie del fondo.

$$H_s = \frac{1}{5} H = \frac{1}{5} (20)$$

$$H_s = 4 \text{ cm}$$

La pantalla estará ubicada a 4 cm por debajo de la superficie del agua y a 4 cm por encima del fondo del sedimentador.

Figura 15 Ubicación de la pantalla difusora respecto a la altura H del sedimentador.



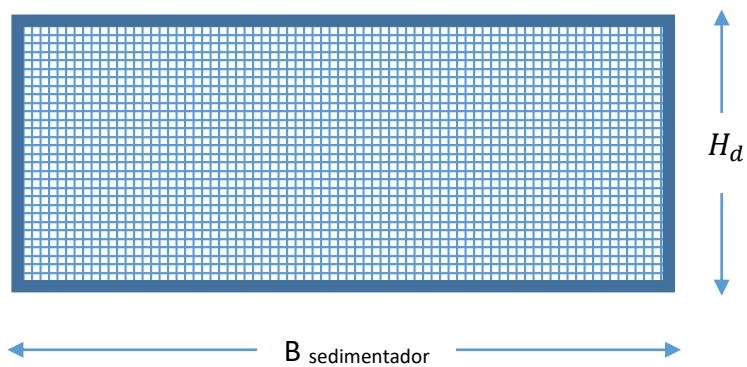
Altura de la Pantalla Difusora H_d

$$H_d = H - \frac{2}{5}H; H = \text{altura de trabajo del sedimentador}$$

$$H_d = 20 - \frac{2}{5}20$$

$$H_d = 12\text{cm}$$

Figura 16 Pantalla difusora: Diseño



Etapa: Homogenizador

Se considera un tanque plástico de 44 litros de capacidad debido a que el caudal de trabajo es de 30 Litros por hora en promedio.

Tendrá dos entadas para poder receptar aguas de distintos tipos y luego de la homogenización serán enviados al sedimentador primario.

Etapa: Tanque Regulador de pH

Criterios de Diseño:

- Tiempo de retención = 3 minutos
- Relación $\frac{H}{D} = 1.3$; H=altura y D=diámetro
- Caudal de entrada: $Q = 0.025 \frac{m^3}{h}$

Cálculos:

- Dimensionamiento del Tanque regulador de pH

$$V = Q \times \theta = 0.025 \frac{m^3}{h} \times 3 \text{ min} \times \frac{1 h}{60 \text{ min}}$$

$$V = 0.00125m^3 = 1.25 L ; \text{Factor de seguridad} = 2$$

$$V_{\text{corregido}} = 2.5 L$$

$$V = \frac{\pi \times \emptyset^2}{4} \times H = 0.0015m^3; H = 1.3\emptyset$$

$$\frac{\pi \times \emptyset^2}{4} \times 1.3\emptyset = 0.0015m^3$$

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{0.0015m^3 \times 4}{\pi \times 1.3}} = 0.14m$$

$$\emptyset = 0.15 m$$

$$H = 1.3(0.15m)$$

$$H = 0.20$$

Etapas: Floculador Horizontal

Dimensionamiento del Floculador Horizontal

Criterios de Diseño:

Número de cámaras = 5

Tiempo de retención = 20 minutos

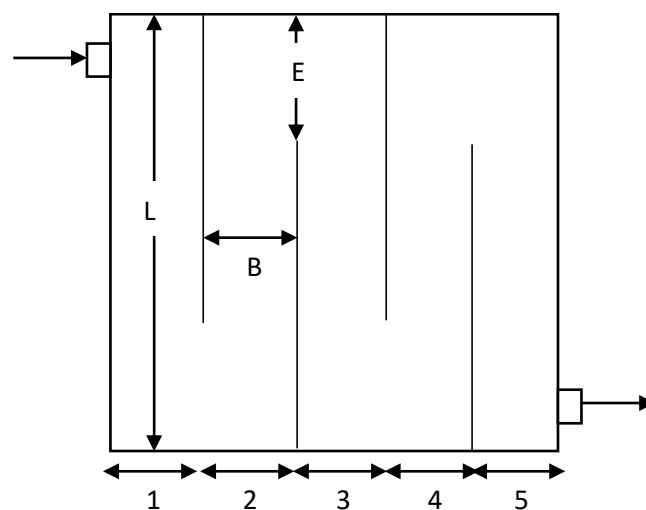
Caudal de entrada: $Q = 0.025 \frac{m^3}{h}$

Pendiente = 10%

Relación $\frac{L}{B} = 5$; L=longitud, B=ancho de cada cámara

Relación $\frac{L}{H} = 2$; H=altura

Figura 17 Esquema general del floculador horizontal



Cálculos:

$$V = Q \times \theta = 0.025 \frac{m^3}{h} \times 20 \text{ min} \times \frac{1 h}{60 \text{ min}}$$

$$V_{trabajo} = 0.01 m^3 = 10 L ; \text{Factor de seguridad} = 2$$

$$V_{corregido} = 0.02 L$$

Para el volumen calculado no se está considerando la sección dada por una pendiente a favor del sentido del flujo. El detalle se encuentra en la sección de “*Construcción*”.

$$V_{cámara} = \frac{V_{corregido}}{\text{No. cámaras}} = \frac{0.02 m^3}{5}$$

$$V_{cámara} = 0.004 m^3$$

$$V_{cámara} = L \times B \times h; \quad B = \frac{L}{5}, \quad h = \frac{L}{2}$$

$$V_{cámara} = L \times \frac{L}{5} \times \frac{L}{2} \rightarrow L = \sqrt[3]{V_{cámara} \times 5 \times 2} = 0.34 m$$

$$L_{cámara} = 0.40 m$$

$$B_{cámara} = 0.08 m$$

$$H_{trabajo} = 0.17 m$$

$$H_{floculador} = 0.20 m$$

- Dimensionamiento de los deflectores

Criterios de Diseño:

Relación $\frac{E}{B} = 1.5$; E=espaciado entre el extremo del deflector y la pared y
B=ancho de cada cámara

Es conveniente reducir la velocidad del agua en los giros de 180° para evitar la ruptura del flóculos. Por tal motivo, se recomienda que el extremo del deflector y el muro

Cálculos:

$$E = 1.5B = 1.5 \times 0.80 \text{ m}$$

$$E = 0.12 \text{ m}$$

$$L_{\text{deflector}} = L_{\text{cámara}} - E = 0.40 - 0.12$$

$$L_{\text{deflector}} = 0.28 \text{ m}$$

Etapas: Sedimentador Secundario

Criterios de Diseño:

- Relación $\frac{L}{B} = 3$; L=longitud, B=ancho
- Relación $\frac{L}{h} = 4$; h=altura
- Caudal de entrada: $Q = 0.02 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

Se busca que el caudal no sea tan alto para evitar turbulencias en el interior del sedimentador.

- Carga superficial (C.S.): $C.S. = 4 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{-día}} = 0.17 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{-h}}$
- Fondo para lodos: 10%

Cálculos:

- Dimensionamiento del Sedimentador

$$\text{Área superficial} = \frac{Q}{\text{Carga superficial}} = \frac{0.02 \frac{m^3}{h}}{0.17 \frac{m^3}{m^2 \cdot h}}$$

$$\text{Área superficial} = 0.12 \text{ m}^2$$

$$\text{Área superficial} = L \times B; L = \text{largo}, B = \text{ancho}$$

$$\text{Considerando que } \frac{L}{B} = 3 \text{ entonces, } \text{Área superficial} = L \times \frac{L}{3} = \frac{L^2}{3}$$

$$\frac{L^2}{3} = 0.12 \text{ m}^2 \rightarrow L = \sqrt{0.12 \text{ m}^2 \times 3}$$

$$L_0 = 0.60 \text{ m (longitud calculada)}$$

$$L = 0.80 \text{ m (longitud corregida)}$$

$$B_0 = \frac{L}{3} = \frac{0.80 \text{ m}}{3} = 0.27 \text{ m}$$

$$B = 0.30 \text{ m (ancho corregido)}$$

$$\text{Área superficial corregida} = L \times B = 0.80 \text{ m} \times 0.30 \text{ m}$$

$$\text{Área superficial corregida} = 0.24 \text{ m}^2$$

$$\text{Considerando que } \frac{L}{h} = 4 \text{ y Factor de seguridad} = 1.5$$

$$h_0 = \frac{0.8 \text{ m}}{4} = 0.20 \text{ m (altura de trabajo)}$$

$$h = 0.20 \text{ m} \times 1.5$$

$$h = 0.30 \text{ m (altura de trabajo + borde de seguridad)}$$

- Volumen de trabajo y volumen de la unidad

$$Volumen\ de\ trabajo = L \times B \times h_0 = 0.80m \times 0.30m \times 0.20m$$

$$Volumen\ de\ trabajo = 0.048\ m^3$$

$$Volumen\ sedimentador = L \times B \times h = 0.80m \times 0.30m \times 0.30m$$

$$Volumen\ sedimentador = 0.072\ m^3$$

Para los volúmenes calculados no se está considerando la sección de lodos, dadas por una pendiente inversa al sentido del flujo. El detalle se encuentra en la sección de “Construcción”.

- Tiempo de Retención

$$t = \frac{V_{trabajo}}{Q} = \frac{0.048\ m^3}{0.02\ \frac{m^3}{h}} = 2.4\ horas$$

$$t = 2\ horas\ 24\ minutos$$

- Velocidad Horizontal:

$$V_H = \frac{Q}{B \times h} = \frac{0.02\ \frac{m^3}{h}}{0.30m \times 0.20m}$$

$$V_H = 0.38\ \frac{m}{h}$$

Etapas: Filtro de arena y grava

Criterios de Diseño:

- Relación espesor $\frac{grava\ gruesa}{grava\ media} = 3.3$
- Relación espesor $\frac{grava\ media}{arena\ gruesa} = 0.83$

- Relación espesor $\frac{\text{arena gruesa}}{\text{arena fina}} = 0.15$
- Relación espesor $\frac{\text{relleno total}}{\text{arena fina}} = 1.6$

Se estableció que la altura del empaque será de 40 cm; por lo tanto, el espesor de cada lecho filtrante será:

$$\text{Arena fina} = 1.6(40\text{cm})$$

$$\text{Arena fina} = 23 \text{ cm}$$

$$\text{Arena gruesa} = 0.15(23\text{cm})$$

$$\text{Arena gruesa} = 3.45\text{cm}$$

$$\text{Grava mediana} = 0.83(3.45\text{cm})$$

$$\text{Grava mediana} = 2.87\text{cm}$$

$$\text{Grava gruesa} = 3.3(2.87\text{cm})$$

$$\text{Grava gruesa} = 9.47\text{cm}$$

3.2 Selección de materiales

Para la etapa de construcción se usarán materiales que permitan observar los fenómenos propios del tratamiento de agua, es por eso que se usará planchas de acrílico en todo el proceso siendo cuatro equipos de este material los cuales son el sedimentador primario, el floculador, el sedimentador secundario y el filtro.

Los tanques de alimentación, el tanque homogenizador y el tanque regulador de pH serán de plástico con el fin de abaratar costos y de tener recipientes que sean de fácil reposición en caso de rotura o falla mecánica o hidráulica de los mismos.

El sistema de tuberías y válvulas de bola o de paso, serán en su totalidad de PVC. Esto con el fin usar materiales livianos que no comprometan por el peso producido a los recipientes de acrílico, además que este material es de fácil reemplazo en caso de alguna rotura posterior a la entrega de este proyecto.

3.3 Construcción

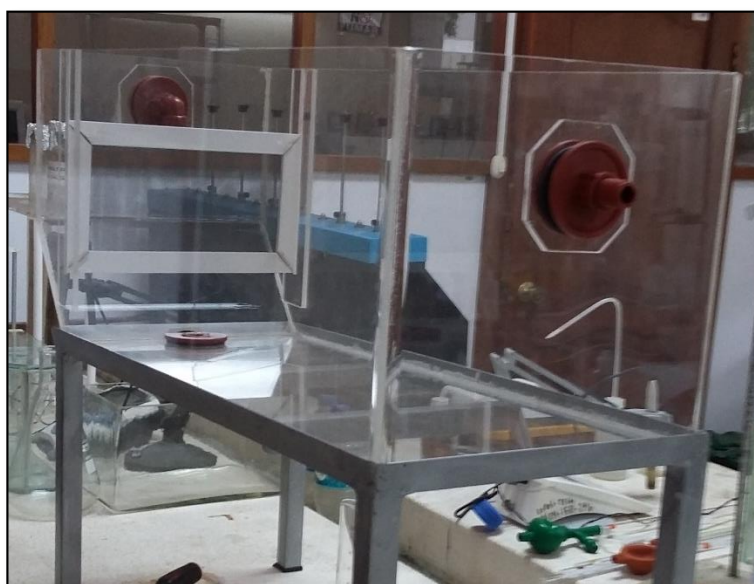
La construcción de las tres unidades (sedimentador primario y secundario y tanque floculador) de acrílico tomó tres semanas completas dado que era necesario el tomar en cuenta muchos detalles a la hora de realizar los cortes y doblados de las planchas de acrílico.

Para las paredes de las unidades se utilizó planchas de acrílico de 4 mm de espesor y, para las bases, planchas de 9 mm de espesor, esto permitió que no existan problemas de fugas o de exceso de peso, el cual no pueda soportar cada unidad.

En las tres unidades se realizaron doblados de las planchas para formar las esquinas, evitando así que existan muchas uniones dado que es muy complicado hermetizar el sistema. Por esa razón al doblar las planchas

quedaron sólo dos esquinas unidas y dos dobladas con la misma plancha, ésto se repite en todas las unidades.

Imagen 1. Sedimentador Primario: Planchas de acrílico dobladas en las esquinas.



El pegamento usado para fijar las uniones fue un sellante industrial de silicona transparente, el cual tuvo una correcta acción dado que ninguna de las uniones presenta fugas luego de la construcción. Este mismo pegamento se usó para unir la base de las unidades con las paredes de las mismas.

Como parte de la estructura para sedimentación primaria se encuentra la pantalla difusora. Como indicado en la Imagen 2, se utilizó una malla metálica con marco de aluminio a medida, esta pantalla es extraíble para realizar diferentes pruebas.

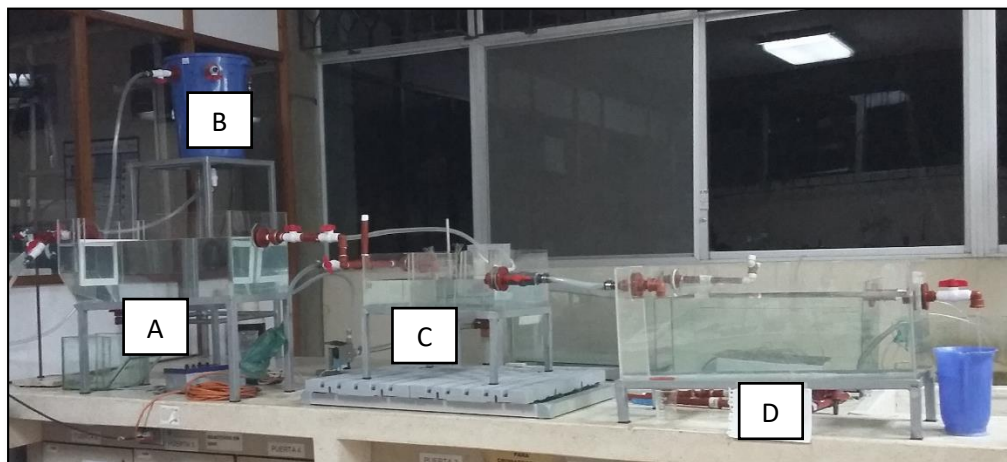
Imagen 2. Pantalla difusora removible.



Para formar los orificios en cada una de las unidades, incluyendo las de material plástico, se usó un taladro con una pequeña broca la cual formaba un orificio de forma inicial para luego introducir una copa del tamaño deseado de orificio formando así el espacio adecuado. Los orificios de casi todo el sistema son de $\frac{1}{2}$ pulgada, salvo la salida del floculador, la entrada del sedimentador secundario y las purgas de las tres unidades de acrílico. Para los dos sedimentadores se definió una pendiente inversa al flujo en la base para retener los sólidos y disminuir el arrastre de los mismos. El tanque floculador se construyó con una pendiente a favor de la dirección del flujo para evitar pérdidas bruscas de carga hidráulica, pues esta unidad cuenta con 3 deflectores que pueden reducir la velocidad de flujo.

Imagen 3. Unidades con sus respectivas bases metálicas.

- A) Sedimentador Primario. B) Tanque Homogenizador. C) Tanque Floculador.
D) Sedimentador Secundario.



Se construyeron bases metálicas que permitan soportar cada una de las unidades, en total se formaron seis, una para cada unidad las cuales tienen características especiales dependiendo de la forma de cada unidad y de sus medidas tal como se indican en la sección “*Diseño del Sistema*”. Las bases metálicas poseen la misma inclinación que tenían las bases de las unidades de acrílico para que de esta manera se establezcan y no se note un desnivel al ubicar el sistema en cualquier lugar.

Imagen 4. Bases metálicas para las unidades. Recubrimiento del material con pintura en spray.



Respecto al filtro, se usó una estructura previamente formada: el cuerpo cilíndrico es de acrílico y la base es un tapón hembra de PVC adaptado y sellado con silicona industrial. Se trabajó con esta base porque resultará más fácil adaptar el sistema y abaratar costos de construcción.

Imagen 5. Estructura del filtro: paredes de acrílico y base de PVC.



Se perforó un orificio de $\frac{1}{2}$ pulgada en la base para colocar los accesorios que permitan la salida del fluido y también la posibilidad de realizar retro-lavados para mantenimiento del lecho filtrante. En la salida se ubicó una tee que permitiría conectar la parte inferior del filtro a dos salidas. La primera que va en la dirección de descenso y contiene una válvula de bola que permite retirar el efluente filtrado, mientras que la salida lateral que también posee una válvula de bola sirve para el control del fluido y permite ingresar el agua para los retro-lavados que se deberán realizar. De acuerdo a lo calculado previamente, se realizaron pequeñas variaciones en los espesores de cada lecho, pues fue necesario añadir dos capas de lana de vidrio para mayor retención de arrastre de arena hacia la salida del filtro. Entre cada lecho se colocó una malla de poros de 0.3cm de diámetro para

establecer parcialmente una diferencia entre capa y capa, impidiendo el mezclado de lechos caracterizados por su diámetro de partícula.

Imagen 6. Construcción del Filtro de arena y grava.

- A) Lavado de las arenas. B) Malla filtro de arena en la salida del filtro. C) Uso de malla plástica entre capas de arenas y grava. D) Uso de fibra de vidrio para retener las arenas. E) Filtro de arena y grava.

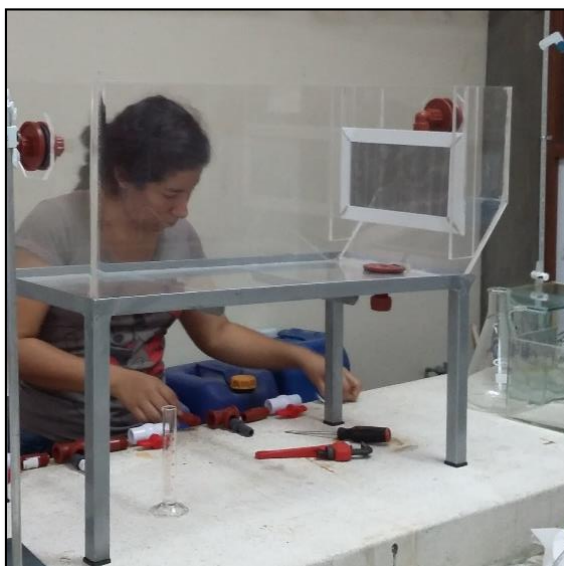


3.4 Montaje del sistema

El tiempo de montaje del sistema fue de una semana tomando en cuenta la corrección de los errores, los cambios repentinos al diseño base para mejorar la aplicabilidad del mismo y las limitaciones de locación que se presentan al montar cualquier estructura.

Para esto se comenzó analizando el boceto base que se hizo a mano para analizar si el espacio permitía ubicar las unidades como se requería según el diseño para lo cual se tuvo ciertas limitaciones que se lograron vencer rápidamente con ciertos cambios en la ubicación de las líneas de flujo.

Imagen 7. Preparación de accesorios de acuerdo al esquema determinado.



Para regular la entrada de flujo inicial, trabajo realizado por bombas sumergibles de 115V y 1.1A, se acopló estratégicamente un by-pass entre el tanque homogenizador y el sedimentador primario. El by-pass ayuda a

regular mejor el flujo de entrada, lo que en un inicio se iba a realizar únicamente con válvulas. Si se requiere que el flujo provenga del tanque homogenizador, el by-pass permitirá que se bombee el agua al tanque constantemente sin peligro mayor a rebose, considerando que la siguiente etapa es la sedimentación y se requiere de caudales muy bajos. Sin el by-pass habría mayor cantidad de agua que ingresa al homogenizador y menor cantidad de agua que egresa.

Luego de esto se comenzó a montar todas las líneas de flujo para lo cual se usó teflón industrial marca PAOLO el cual permite asegurar que la posibilidad de fugas sea muy baja en comparación al uso de teflón tradicional. En el caso de las conexiones con mangueras se usaron conectores rápidos a mangueras para permitir que el mismo sea movable en caso de ser necesario.

Lo primero en ubicar en cada unidad fueron los conectores de PVC, los cuales permiten unir un envase con una tubería de la misma medida que el conector. Las unidades de Homogenización y Regulación de pH fueron obtenidas como tachos plásticos de acuerdo a la capacidad requerida para el sistema. Para todo el sistema fue necesario usar 10 conectores de $\frac{1}{2}$ pulgada y 2 de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Los mismos fueron ubicados con mucho cuidado usando una cantidad de teflón importante dado que estos puntos de unión son propensos a tener fugas.

Imagen 8. Ensamblaje de accesorios.



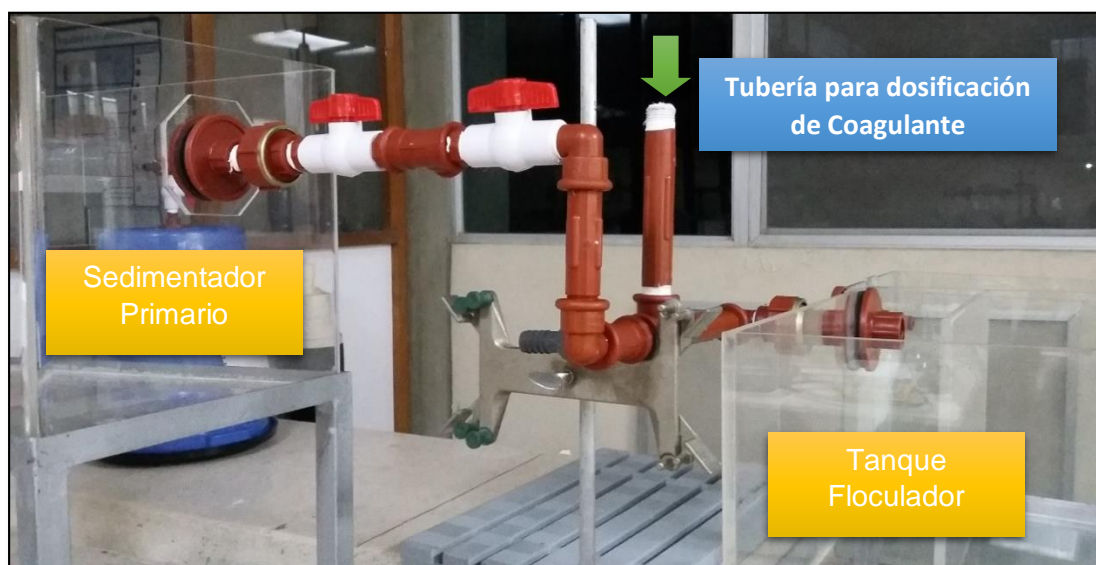
Posterior a esto se ubicaron los neoplos de cintura, neoplos medianos, neoplos largos, las válvulas de bola, los codos cachimba, los acoples a mangueras, las mangueras, las tees y los nudos.

Imagen 9 Ajuste de accesorios para prevención de fugas.



El uso de nudos es una parte muy importante a tomar en cuenta en este sistema puesto que gracias al uso de estos todo el sistema es independiente y se puede desarmar de manera rápida sin perder todas las conexiones realizadas con anterioridad. Para lograr esto se usaron 7 nudos ubicados estratégicamente en las salidas de todos los equipos que poseen otro equipo posterior, en la entrada del sedimentador primario y en la línea que conecta la bomba del regulador de pH hacia la línea previa al sistema de coagulación.

Imagen 10. Identificación de tubería para dosificar Coagulante.



Se intentó en todo momento aprovechar la altura entre cada unidad para que sea nuestra fuente principal de energía para transportar el fluido de una unidad a otra; sin embargo, fue necesario ubicar el tanque de

regulación de pH a una altura más baja que su equipo posterior por limitaciones de construcción, esto hizo que sea necesario usar otra bomba para lo cual se usó una bomba de descarga, usada en las lavadoras para expulsar el agua de enjuague la cual maneja un caudal de 20 L/min y una potencia de 35 W. Con esta bomba fue necesario estrangular el flujo que entraría a la siguiente unidad para evitar variar el caudal del sistema establecido previamente.

Para las purgas de las tres unidades de acrílico se usaron conectores de $\frac{3}{4}$ de pulgada y tapones hembra para poder ser retirados cuando sea necesario. En este caso fue importante el sellado de los conectores a las unidades con silicona líquida sellante dado que sin esta se presentaban fugas propias del peso de agua que recaía sobre cada conector cuando el sistema estaba lleno.

CAPÍTULO IV

MANUAL DE OPERACIÓN

4.1 RIESGOS ASOCIADOS A LA OPERACIÓN

En toda operación industrial, de laboratorio o de cualquier otra índole, es necesario conocer los riesgos asociados a la misma. De esta manera se tomarán las medidas apropiadas para evitar accidentes en el desarrollo del trabajo y así mejorar el rendimiento de la operación. A continuación, se detallan los riesgos determinados en la operación del sistema de tratamiento de aguas residuales de origen industrial ubicado en el laboratorio de tratamiento de aguas del Departamento de Ciencias Químicas y ambientales de la ESPOL.

4.1.1 Mecánicos

Falta de herramientas de trabajo

Si alguna herramienta de trabajo no se tiene a la mano se debe primero estar seguro de que la operación se podrá realizar de manera confiable y segura, caso contrario se deberá posponer la operación hasta tener condiciones seguras de trabajo.

Partes del sistema propensas a rompimiento

Los tanques de acrílico, así como también los sellos, uniones, tuberías, mangueras, pernos, nudos y demás materiales y ubicaciones que son

propensas a rompimiento por un exceso de presión o caudal deberán localizarse y mantenerse en constante revisión para evitar golpes por explosión de uniones.

Incorrecta forma de desmontar el sistema

Es necesario conocer cómo se debe desmontar uniones de tuberías y mangueras, de esta manera se evitarán golpes por incorrecto proceder en el desmontaje. En caso de tener dudas sobre las formas de retirar partes y separar líneas, uniones y unidades, se deberá preguntar al profesor encargado de la asignatura.

4.1.2 Químicos

Contacto de sustancias químicas con distintas partes del cuerpo

La incorrecta manipulación de sustancias químicas usadas como agentes coagulantes, floculantes, de desinfección o reguladores de pH podría terminar en afectaciones a la piel, los ojos y el sistema respiratorio. Es necesario conocer los riesgos de estas sustancias antes de ser usadas y mantener en todo momento los equipos de protección personal que se requieren para cada operación.

Contacto de aguas residuales con distintas partes del cuerpo

Las aguas a tratar en el sistema pueden contener químicos que podrían resultar peligrosos para la piel, ojos y el sistema circulatorio, para evitar esto es necesario conocer de donde proviene el agua a tratar y posterior a eso revisar las principales características de la misma. De esta manera se tendrá un panorama más apropiado a la hora de la operación para obtener resultados apropiados sin riesgo de contaminación.

4.1.3 Locativos

Mala ubicación de materiales

Por el descuido en la puesta de materiales sobre las superficies del sistema se pueden generar golpes en distintas partes del cuerpo, por lo cual la manera de disminuir este riesgo es el mantener el orden en todo momento y conocer el equipo antes de operarlo.

Deterioro de estructura

En el caso de daño o deterioro de diversas partes del sistema o de la estructura que sostiene todo se puede generar un riesgo de caída de estructura u objetos. En el momento de observada cierta anomalía se deberá inmediatamente indicar a la persona encargada con el fin de disminuir algún riesgo de este tipo.

4.1.4 Biológicos

Contenido biológico de las muestras

Dependiendo de las características de las muestras a tratar, sus contenidos podrían contener algunos agentes patógenos que podrían generar algún riesgo en las personas participantes de la operación. Por esta razón es importante mantener todos los equipos de protección personal habilitados y en uso para evitar contaminación por contacto.

Proliferación de enfermedades transmitidas por mala limpieza

Si las unidades del proceso no son limpiadas correctamente luego de terminada la operación, la acumulación de agua residual podría producir enfermedades por la puesta de huevos de insectos que se desarrollan en nuestro clima.

4.1.5 Ergonómicos

Fatiga física por movimientos contantes durante la operación

Debido a la ubicación de las válvulas y de las unidades que componen a todo el sistema, se deberá realizar movimientos para iniciar la operación y mantener el control de la misma. Además, el tiempo de operación mínimo del sistema completo es de 5 horas, lo que obliga a estar de pie y atento a lo que sucede durante el proceso.

4.1.6 Seguridad física

Desconocimiento de la operación

La falta de conocimiento sobre el manejo de la unidad de tratamiento de aguas podría generar un accidente de pequeña, mediana o gran magnitud. Para evitar esto, se deberá leer este manual de operación para disminuir las posibilidades de un incorrecto manejo.

Esta unidad deberá ser manejada siempre con la tutoría del profesor o ayudante encargado de la asignatura de tratamiento de aguas.

4.1.7 Eléctricos

Corto circuitos

Las partes del sistema que contienen líneas de circuitos eléctricos, así como los mezcladores y las bombas sumergibles, presentan un riesgo eléctrico si la manipulación de las mismas es incorrecta. Es necesario para esto mantener de manera aislada lo antes nombrado y evitar tocar con las manos mojadas las líneas o los dispositivos eléctricos.

Sobrecalentamiento de bombas

Adicionalmente es importante mantener siempre un volumen de agua que permita que las bombas se mantengan sumergidas para que las mismas no succionen aire, esta operación incorrecta puede afectar a la bomba

generando un sobrecalentamiento en ella y pudiendo terminar en un corto circuito o algún otro evento de riesgo.

4.1.8 Ambiental

Descarga de lodos generados en la operación

La disposición final de los lodos resultantes de las operaciones de sedimentación primaria y secundaria no deberán ser vertidos al sistema de alcantarillado del laboratorio dado que por su composición podrían ser catalogados como desechos peligrosos, los mismos deberán ser receptados en envases y guardados en la bodega de residuos peligrosos para tener una correcta disposición final.

Descarga de residuos de químicos

Durante el tratamiento de las aguas se utilizan diversos químicos coagulantes y floculantes. Al final de cada prueba, puede haber un sobrante de estos químicos, los mismos que deberán ser receptados en envases y guardados en la bodega de residuos químicos de laboratorio.

4.2 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Los equipos de protección personal para las operaciones de procesos dependen de la naturaleza de estas y de los riesgos asociados. En este

caso la preparación y operación del sistema requieren los siguientes equipos

4.2.1 Protección del cuerpo

La operación requiere el uso de mandil en todo momento, al estar trabajando dentro de un laboratorio es requerido el uso del mismo como norma general de todo laboratorio. Adicional a esta norma es requerido el uso del mandil dado que en cualquier momento podría caer agua de algún tipo en el cuerpo o alguna de las sustancias usadas para el tratamiento por lo cual el uso de este EPP se hace imprescindible.

4.2.2 Protección de ojos

En el transcurso de la operación es importante el uso de gafas protectoras para los ojos puesto que podría en algún momento parte de alguna sustancia o de las aguas de tratamiento caer en los ojos. En caso de no tener las gafas puestas y presentar contacto de alguna sustancia con los ojos se deberá lavar con abundante agua durante 5 minutos como mínimo, si el problema persiste se deberá retirar del laboratorio y consultar con el médico de la institución la acción que se deberá tomar.

4.2.3 Protección de manos

En la preparación de las soluciones coagulantes, floculantes, de desinfección o de regulación de pH y en la operación se deberá usar guantes para evitar el contacto directo con las manos de alguna sustancia o de agua residual que pueda generar alguna molestia por al contacto con la piel.

4.2.4 Protección de nariz

En el momento de la preparación de las soluciones para el tratamiento se deberá usar mascarilla para protección contra vapores orgánicos y químicos puesto que esta acción asegurará la no inhalación de cualquier sustancia en el ambiente por el uso de los reactivos. En caso de inhalar alguna sustancia por no usar el EPP adecuado se deberá salir del laboratorio hasta una zona abierta y esperar el tiempo suficiente hasta que la molestia haya terminado, en caso de persistir el problema se deberá acudir al médico de la institución.

4.2.5 Protección de pies

Para evitar cualquier contacto que cause problemas en los pies, se deberá en todo momento operar el sistema con zapatos cerrados lo cual incluye botas industriales. Queda prohibido la preparación de soluciones para el tratamiento o la operación del proceso con zapatos no apropiados.

4.3 PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN

4.3.1 Diagrama de Bloques del Proceso (PBD)

Figura 18 Diagrama de bloques del proceso de tratamiento de aguas.

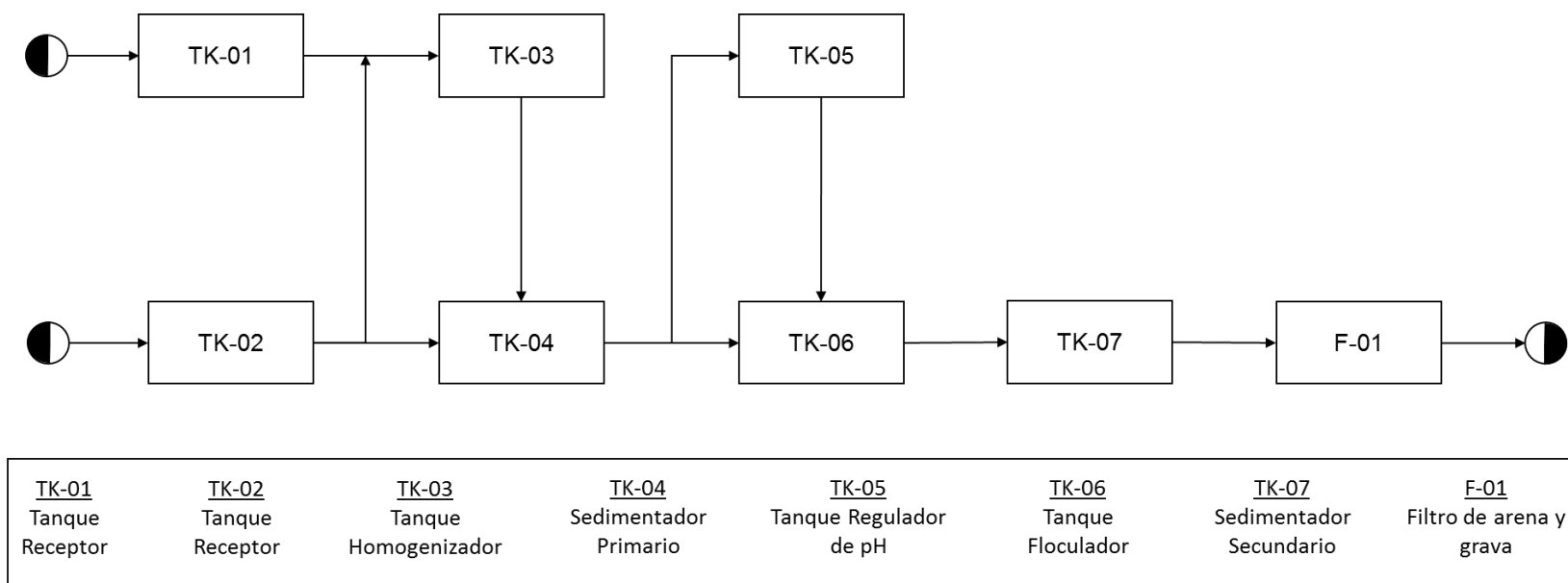


Diagrama realizado por: Los autores del proyecto.

4.3.2 Identificación de Unidades, Equipos y Accesorios

Tabla 3. Identificación de unidades, equipos y accesorios.

IDENTIFICACIÓN DE ACCESORIOS		
	Identificación	Descripción
Válvulas	V-01	Válvula de bola para ingreso de agua al tanque Sedimentador Primario.
	V-02	Válvula de bola para ingreso 1 de agua al tanque Homogenizador.
	V-03	Válvula de bola para ingreso 2 de agua al tanque Homogenizador.
	V-04	Válvula de bola para descarga de agua hacia la siguiente etapa: tanque Sedimentador Primario.
	V-05	Válvula de control de flujo entre etapa de Homogenización y Sedimentación Primaria.
	V-06	Válvula de bola para control de By-pass.
	V-07	Válvula de bola para control de ingreso de agua al tanque Sedimentador Primario.
	V-08	Válvula de bola para control de descarga de efluente de tanque Sedimentador Primario.
	V-09	Válvula de bola para control de flujo entre etapa de Regulación de pH y Floculación.
	V-10	Válvula de bola para control de ingreso de agua al tanque Regulador de pH.
	V-11	Válvula de bola para descarga de agua hacia la siguiente etapa: tanque Floculador.
	V-12	Válvula de bola para control de flujo entre etapa de Regulación de pH y Floculación.

	V-13	Válvula de bola para descarga de agua hacia la siguiente etapa: tanque Sedimentador Secundario.
	V-14	Válvula de bola para descarga de agua hacia la siguiente etapa: Filtro.
	V-15	Válvula de bola para retro-lavado en el Filtro.
	V-16	Válvula de bola para descarga de agua filtrada.
Bombas	P-01	Bomba sumergible que ingresará agua a tratar hacia el tanque Homogenizador o directo al Sedimentador Primario.
	P-02	Bomba sumergible que ingresará agua a tratar hacia el tanque Homogenizador.
	P-03	Bomba de descarga o “desagüe” que ingresará agua hacia el tanque Floculador.
Unidades de Proceso	TK-01	Tanque receptor de efluentes
	TK-02	Tanque receptor de efluentes
	TK-03	Tanque Homogenizador
	TK-04	Tanque Sedimentador Primario
	TK-05	Tanque Regulación de pH
	TK-06	Tanque Floculador
	TK-07	Tanque Sedimentador Secundario
	F-01	Filtro de arena y grava

4.3.3 Test de jarras

Para realizar el test de jarras se toma una muestra homogénea del tanque dosificador TK-01 y/o TK-02 con el fin de simular la mejor muestra posible.

Los pasos para este proceso son los siguientes:

1. Tomar la cantidad de litros ligeramente excedida a la requerida para el análisis de test de jarras. Esto dependerá de cuantas pruebas se requiera hacer y de cuantas jarras se va a usar. En el Lab. CEMA, cada jarra es de 2 litros.
2. Dejar sedimentar el volumen tomado teniendo en cuenta que esta operación simulará la sedimentación primaria.
3. Llenar las jarras con las muestras hasta el valor indicado en las mismas.
4. Medir el pH a las muestras y decidir los químicos a añadir en cada caso tomando en cuenta las combinaciones requeridas.
5. Añadir el químico regulador de pH si fuese necesario y enseguida añadir el coagulante y/o floculante a usar.
6. Anotar en una tabla las dosificaciones usadas para cada caso.

Tabla 4. Tabla sugerida para anotación de dosificaciones

No. Jarra	Regulador	Coagulante		Floculante	
	pH	Tipo	Cantidad	Tipo	Cantidad
1					
2					
3					

7. Proceder a encender el equipo test de jarras y confirmar que las luces en todas las jarras estén funcionando correctamente.
8. Ubicar los agitadores a la posición de trabajo y regular el equipo a 100 RPM.
9. Encender el sistema a 100 RPM durante 1 minuto y posteriormente descender a 30 RPM durante media hora.
10. Dejar reposar las muestras de cada jarra al menos 45 minutos para lograr observar los cambios generados en el proceso.
11. Decidir la dosificación más adecuada para el tratamiento a realizar.

4.3.4 Preparación de soluciones para el tratamiento

Una vez decidida la concentración de coagulantes y floculantes a usar en el sistema se procede a preparar las soluciones dado que normalmente

estos químicos están en estado sólido y deben ser dosificado como líquidos.

Para cumplir esto es necesario confirmar a que concentración se desea preparar la solución a dosificar teniendo en cuenta el volumen en el cual se usaron los químicos en el test de jarras. Mientras más concentrada se la solución, más tiempo durará puesto que se necesitarán hacer reposiciones de bureta en tiempos más prolongados.

Para preparar la solución se deberá asegurar que todos los instrumentos de vidrio a usar estén correctamente lavados y que la balanza analítica este calibrada. Si estas dos condiciones se cumplen, entonces se podrá proceder a realizar la preparación evitando que se generen soluciones saturadas o sobresaturadas para que se generen problemas en la bureta a la hora de dosificar.

4.3.5 Proceso de llenado de tanque Homogenizador

El tanque Homogenizador TK-03 será usado en el caso de tener más de una muestra a tratar al mismo tiempo o de requerir un proceso de descenso hacia el sedimentador primario más lento para ser regulado de mejor manera por la válvula V-05.

Para el llenado del tanque homogenizador se deberán seguir los siguientes pasos:

1. Conectar la bomba P-01 y/o P-02 a la toma de corriente eléctrica de la caja de breakers.
2. Verificar el funcionamiento de las bombas antes de conectar las mangueras al sistema de ingreso del tanque homogenizador.
3. Conectar las mangueras de las bombas a las mangueras de entrada del tanque Homogenizador.
4. Abrir las válvulas V-01 y V-02 en caso que se tenga dos bombas o sólo la V-101 en caso que sea una línea de ingreso. Verificar al mismo tiempo que la válvula de salida V-04 esté cerrada completamente.
5. Sumergir las bombas antes nombradas a los tanques TK-01 y TK-02, verificar que empiece a pasar el fluido a través de las mangueras hacia el tanque Homogenizador.
6. Permitir que se llene el tanque Homogenizador hasta un nivel máximo de 20 L. La escala de volumen se encuentra señalizada en el tanque. Se recomienda mantener un nivel de agua entre 15 y 20 L para evitar el rebose pues esto causará un retorno de agua por las mangueras y podría dañar las bombas sumergibles.

4.3.6 Proceso de llenado de tanque Sedimentador Primario

Una vez que el tanque Homogenizador se haya llenado al nivel deseado o si se desea enviar fluido directamente desde el tanque TK-01 hacia el

tanque Sedimentador Primario TK-04, se deberá llevar a cabo la operación en flujo continuo.

Para esto es necesario regular el caudal mediante un by-pass y se llenará el tanque TK-04 acorde a los siguientes pasos:

1. Fluido proveniente del tanque TK-01: Conectar la manguera de la bomba sumergible P-01 y abrir las válvulas V-01, V-06 (by-pass), V-07 y mantener cerrada la válvula V-05.

Fluido proveniente del tanque Homogenizador TK-03: Mantener cerrada la válvula V-01 y abrir las válvulas V-04, V-05, V-06 y V-07.

2. Regular el caudal de llenado por medio de la válvula V-06 y V-07 hasta que el mismo sea 0.03 m³/h. Es decir que en 15 segundos se logre llenar un volumen de 125 mL.
3. Cuando el tanque llegue al límite, antes de empezar a salir por la tubería de descarga tomar una muestra de la parte superior si se desea analizar algún parámetro de importancia antes de continuar el proceso. Se debe identificar si el agua requiere un tratamiento químico de regulación de pH antes de pasar a la etapa de Coagulación – Flocculación.
4. Luego de haber decidido si el siguiente paso es aperturar el proceso de regulación de pH o continuar con el proceso de coagulación, se procederá como se indica a continuación.

4.3.7 Proceso de llenado de tanque de pH

1. Si el siguiente paso es el proceso de regulación de pH se deberán mantener cerradas las líneas V-09 y V-11 y abrir la válvula V-08 y V-10.
2. Durante el llenado del tanque TK-05, conectar la bomba P-03 a la toma de corriente eléctrica de la caja de breakers.
3. En el momento que el tanque de regulación de pH (TK-05) se llene $\frac{3}{4}$ de su volumen se continuará con el proceso de Coagulación.
4. Abrir las válvulas V-11 y V-12 para permitir que el agua sea bombeada a la siguiente etapa. Es importante antes de avanzar, confirmar que el pH ha llegado al valor requerido para que los procesos químicos posteriores sean efectivos.

4.3.8 Proceso de Coagulación y llenado de tanque Floculador

Si luego del proceso de sedimentación primaria el pH se encuentra dentro del rango que permita la coagulación-floculación, se deberá confirmar previamente que la dosificación de la bureta del coagulante y floculante sea la correcta. Posteriormente se seguirán los siguientes pasos si viene el fluido del tanque sedimentador:

1. Se deberá cerrar las válvulas V-10, V-11 y V-12 y abrir las válvulas V-08 y V-09.

2. Confirmar que la dosificación de coagulante y floculante se esté dando de manera correcta.
3. El tiempo de retención de tanque Floculador TK-06 es de 40 minutos aproximadamente.

4.3.9 Proceso de llenado de tanque Sedimentador Secundario

Posterior al llenado del tanque Floculador TK-06 se deberá iniciar la etapa de Sedimentación Secundaria con el fin de remover los flóculos formados en la coagulación y floculación y que no fueron retenidos en el tanque Floculador. Para la realización de esta etapa de se deberán seguir los pasos indicados:

1. Mantener abierta la válvula V-13.
2. Confirmar que se mantenga el caudal requerido para esta etapa el cual deberá ser el mismo o cercano al caudal del sedimentador primario.
3. Una vez que el tanque de sedimentación secundaria TK-06 esté lleno hasta el volumen de trabajo se deberá iniciar el proceso de filtración si se desea que se mantenga la continuidad en el sistema.

4.3.10 Proceso de filtración y desinfección

Estas etapas se pueden manejar de una manera continua o por lotes. Dependiendo de la cantidad de agua requerida para las pruebas finales se deberá realizar lo siguiente:

1. Ubicar el filtro a usar en el proceso dependiendo de las necesidades del agua al final o de lo que se quiera estudiar.
2. Mantener cerradas las válvulas V-15 y V-16 hasta visualizar que el agua ha cubierto todo el relleno del filtro.
3. Luego de esto, abrir la válvula V-16 para permitir el paso del flujo por todas las capas de arena y grava.
4. Ubicar el recipiente de recepción del agua filtrada la cual pasará al proceso de desinfección.
5. Parar la operación en el momento requerido y proceder a la etapa de desinfección.
6. Si se desea analizar el agua posterior a la filtración, tomar muestras con la cantidad requerida para los análisis de calidad físico-químicos y dejar el resto para el proceso de desinfección.
7. Si se realizara una desinfección por cloración, se añadirá la cantidad de cloro calculada previamente al recipiente usado para recepción del agua. Confirmar luego de un proceso de agitación manual que el cloro fue disipado correctamente en la muestra.
8. Realizar los análisis finales en caso de requerirse tomando en cuenta los parámetros de interés dependiendo del tipo de agua tratada.

4.3.11 Lavado del sistema

Para lavar el sistema primero se procederá a retirar el agua de tratamiento que todavía está en las distintas unidades, esto se podrá realizar de dos maneras.

La primera es usando las bombas sumergibles para retirar rápidamente el agua o usando el tapón inferior para purgas. Se inicia mezclando el agua con las partículas sedimentadas para que el trabajo de limpieza sea más rápido. Una vez retirada el agua, se deberán recoger los lodos que se han formado en las distintas unidades lo cual se deberá hacer lavando las unidades con agua potable y pasando papel de cocina para retirar lo que queda en las paredes y bases. Si lo amerita por el tipo de lodos formados se deberá limpiar con un desengrasante las paredes para evitar la contaminación y el rápido oscurecimiento de las paredes.

Luego que se ha limpiado los restos de lodos u otras sustancias que aún estaban en el sistema se deberá alimentar todo el sistema con agua potable para asegurar la limpieza de las líneas y las unidades, esto con el fin de mantener limpio todo el sistema hasta la siguiente ocasión en la cual se use. El secado de este es natural por lo que no es necesario pasar nuevamente alguna toalla o papel para secar.

Finalmente se deberá verificar que el tapón hembra abierto en las unidades de acrílico sea ubicado y cerrado correctamente para evitar fugas en la próxima puesta en marcha del sistema.

Es importante considerar que el filtro puede llegar a saturarse con el paso del tiempo y debido al uso constante. Para lo cual se sugiere realizar retro-lavados con agua destilada y a un caudal sumamente bajo.

1. Colocar agua destilada en un tacho mediano.
2. Conectar la manguera de una de las bombas sumergibles con la entrada de retro-lavado del Filtro.
3. Abrir la válvula V-15 y sumergir la bomba en el recipiente con el agua destilada.
4. Encender la bomba, procurando regular el flujo con la válvula V-15 para evitar que las arenas y piedras sean removidas de su lugar o mezcladas entre sí.

4.4 MEMORIA TÉCNICA

Figura 19 P&ID del sistema de tratamiento de aguas en AutoCAD

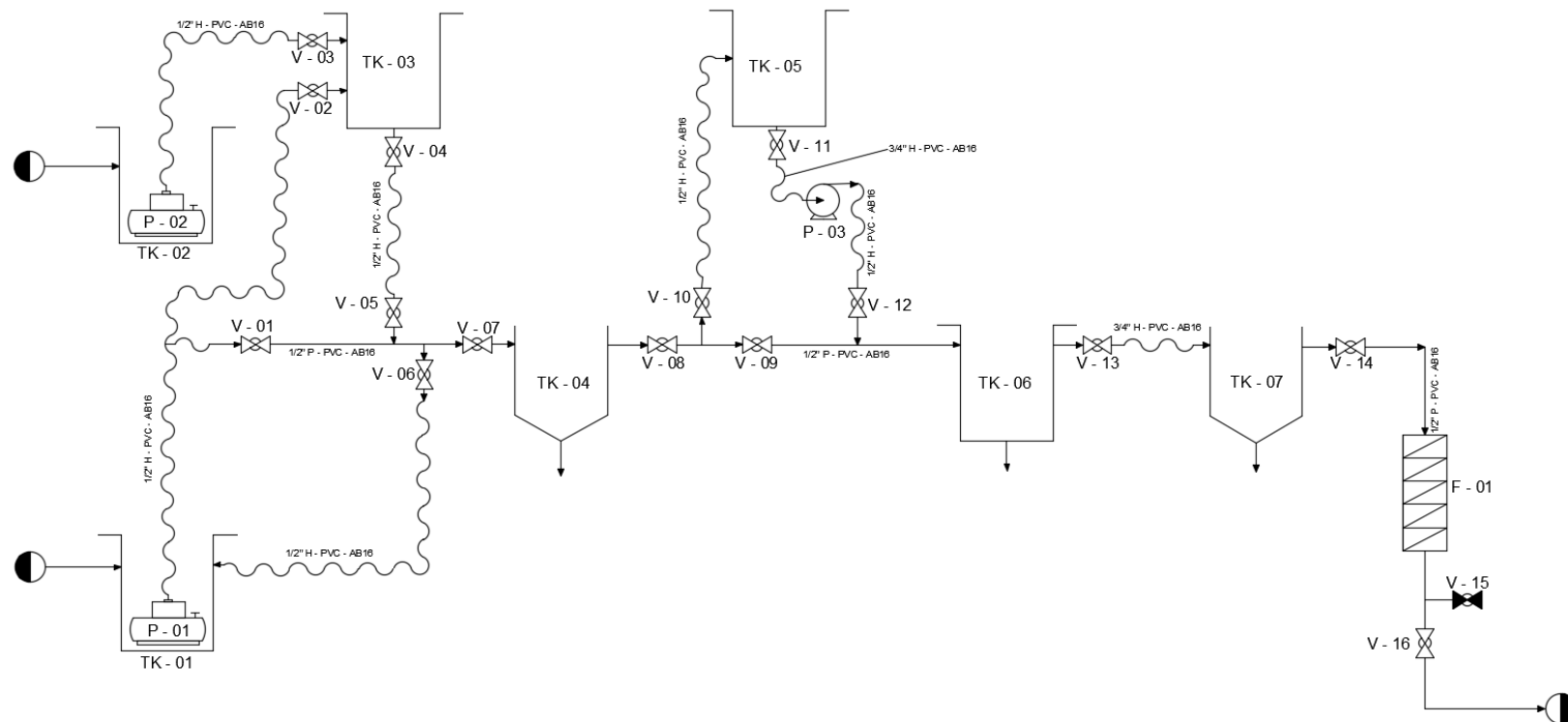





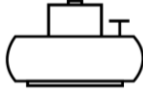
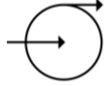



Diagrama realizado por: Los autores del proyecto.

Tabla 5 Leyenda de símbolos P&ID

IDENTIFICACIÓN DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	TIPO	NOMBRE	SÍMBOLO	TIPO	NOMBRE
	Válvula	Bola		Válvula	Bola, normalmente cerrada
	Recipiente	Tanque abierto		Secundario	Separador/ Sedimentador
	Filtro	Filtro		Bomba	Sumergible
	Bomba	Descarga/ Desagüe		Formas de conexión	Manguera flexible

4.4.1 Designación de Código de Línea

Consideraciones para la designación de códigos en líneas:

- Tamaño de tubería:
Diámetro Nominal, 1", 1/2", 3/4".
- Servicio de tubería:
Metanol, MetOH. Reactor de producto, RXP
- Material:
Genérico, PVC, aluminio, zinc, etc.
- Aislamiento
Espesor, 1", 1/2". Tipo, Fibra de vidrio, entre otros.

Ejemplo código final de línea:

Manguera de PVC con diámetro de 1/2"

$\underbrace{\frac{1}{2}'' \text{ H}}$ Manguera (Hose) de 1/2"	—	$\underbrace{\text{PVC}}$ Material	—	$\underbrace{\text{AB16}}$ Identificación del proyecto
----------------------------------------------------------------------	---	---------------------------------------	---	--------------------------------------------------------------

Tubería de PVC con diámetro de 3/4"

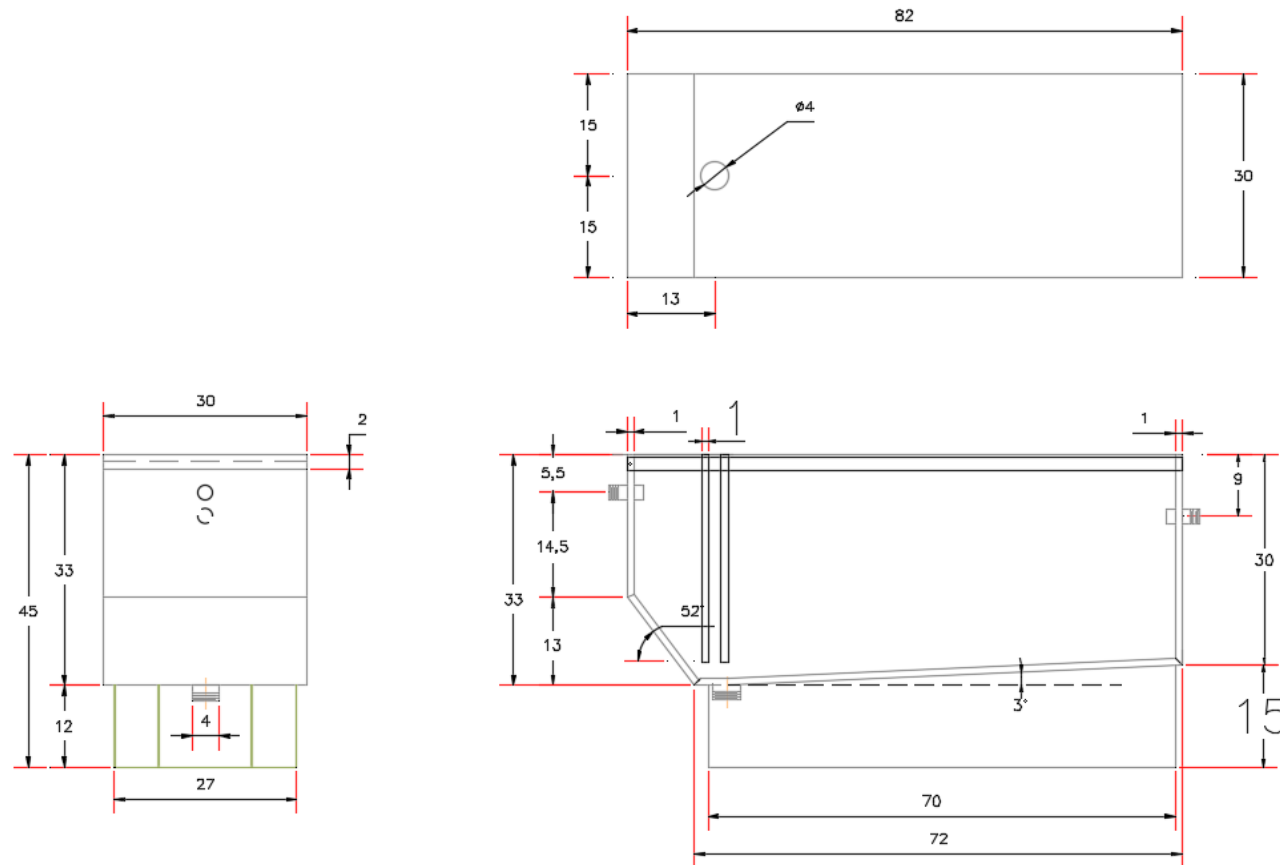
$\underbrace{\frac{3}{4}'' \text{ P}}$ Tubería (Pipe) de 3/4"	—	$\underbrace{\text{PVC}}$ Material	—	$\underbrace{\text{AB16}}$ Identificación del proyecto
---------------------------------------------------------------------	---	---------------------------------------	---	--------------------------------------------------------------

Tabla 6. Identificación de equipos

IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS				
NOMBRE	TK-01	TK-02	TK-03	TK-04
DESCRIPCION	Reservorio	Reservorio	Homogenizador	Sedimentador Primario
DIMENSIONES	(36 x 32 x 56) cm. D x d x H.	(32 x 95) cm. D x H.	(38.5 x 29 x 46.5) cm. D x d x H.	(80 x 30 x 30) cm. L x A x H.
CAPACIDAD ÚTIL	35 L aprox.	65 L aprox.	15 - 20 L	48 L aprox.
CAPACIDAD MÁXIMA	48L aprox.	76.5 L	44 L	72 L aprox.
MATERIAL	PP/HDPE	PP/HDPE	PP/HDPE	Acrílico
OTRO(S)	--	--	--	Pendiente inversa: 10%

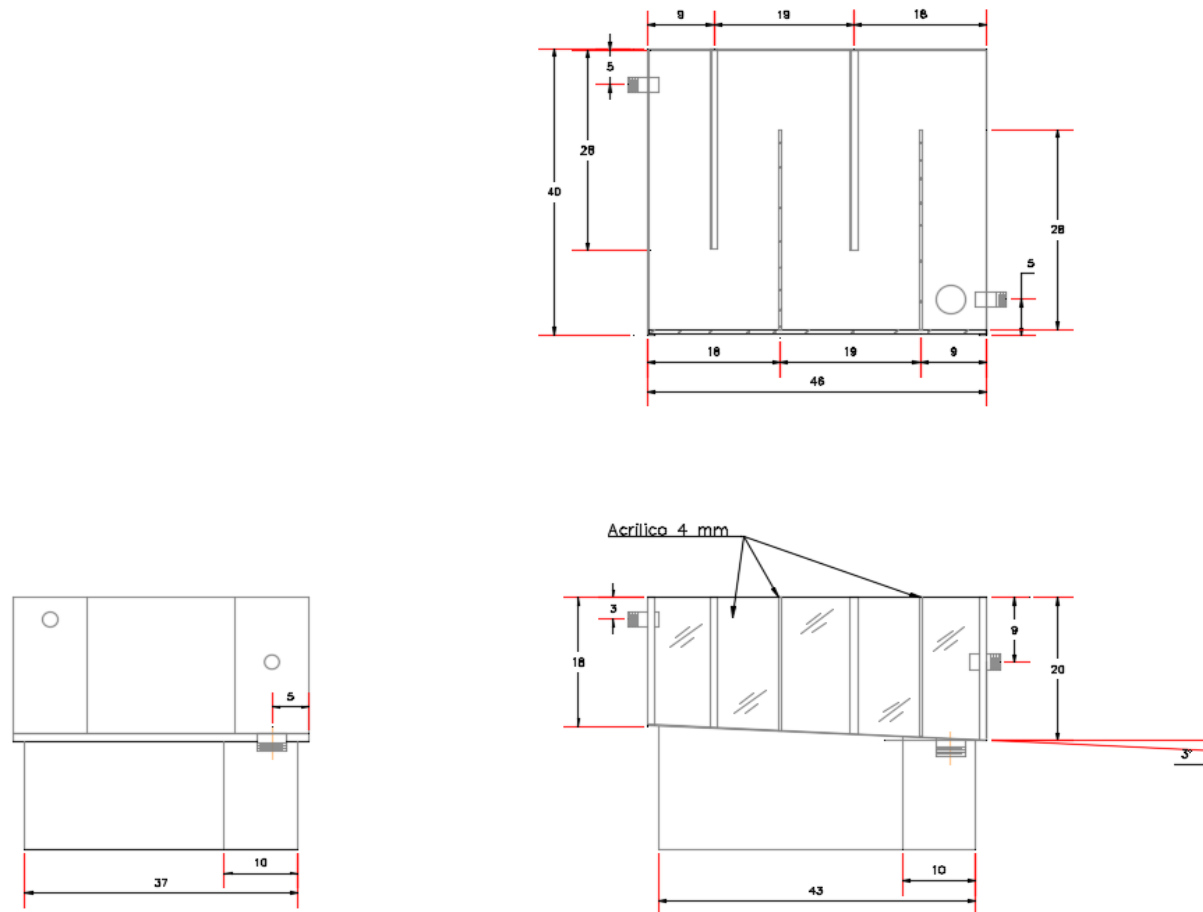
NOMBRE	TK-05	TK-06	TK-07	F-01
DESCRIPCION	Reguador de pH	Floculador Horizontal	Sedimentador Secundario	Filtro de Arena y Grava
DIMENSIONES	(16 x 18 x 20.5) cm. D x d x H.	(47 x 40 x 20) cm. L x A x H.	(80 x 30 x 30) cm. L x A x H.	(15.8 x 64) cm. D x H
CAPACIDAD ÚTIL	2 L aprox	32 L aprox.	48 L aprox.	10 L
CAPACIDAD MÁXIMA	4 L	38 L aprox.	72 L aprox.	12.5 L
MATERIAL	PP/HDPE	Acrílico	Acrílico	Acrílico
OTRO(S)	--	Pendiente: 10%. Deflectores: 4, de 28 cm de longitud.	Pendiente inversa: 10%	Composición: Grava gruesa, grava media, lana de vidrio, arena gruesa, arena fina.

Figura 20 Sedimentador primario: vistas y dimensiones



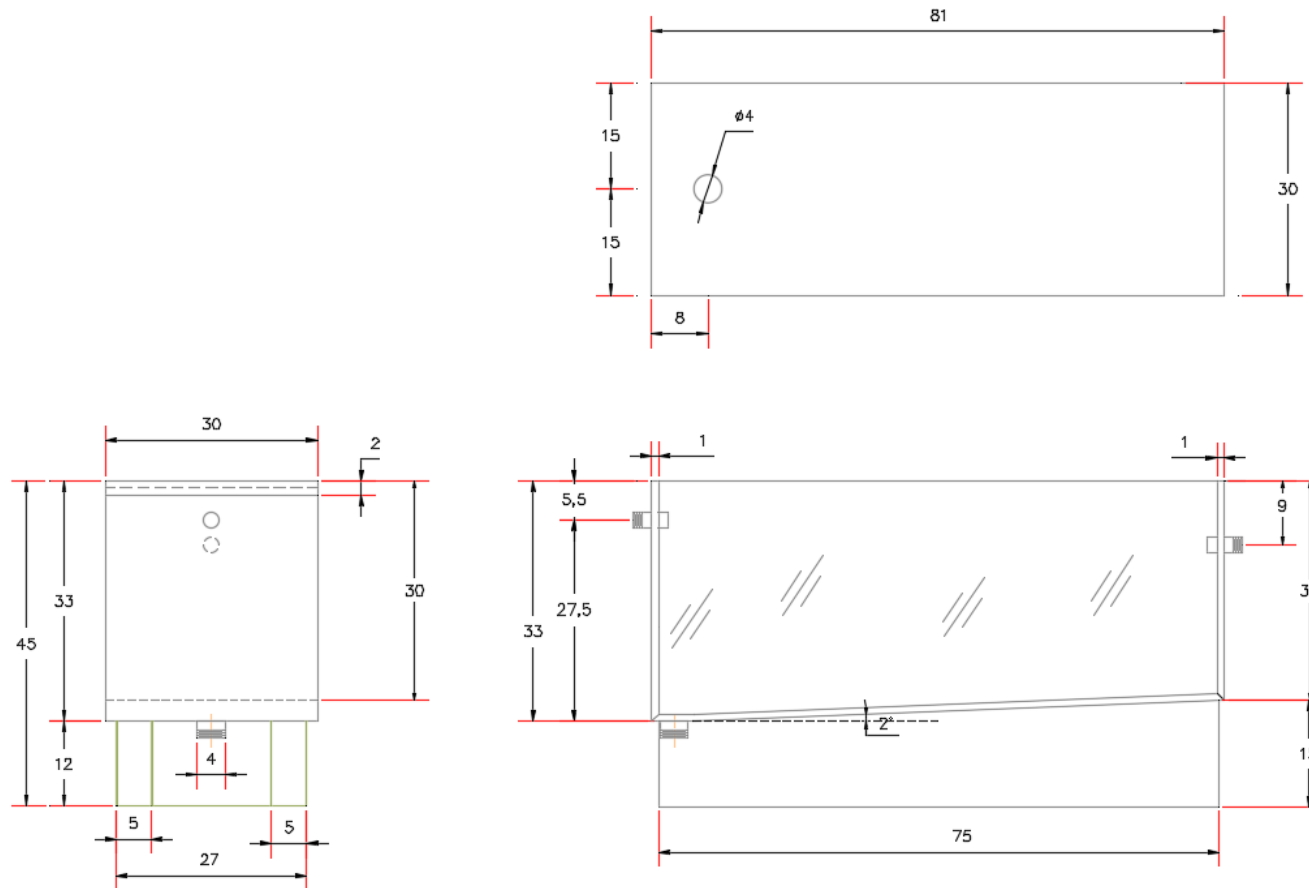
Esquema realizado por: Los autores del proyecto.

Figura 21 Tanque floculador: vistas y dimensiones



Esquema realizado por: Los autores del proyecto.

Figura 22 Sedimentador secundario: vistas y dimensiones



Esquema realizado por: Los autores del proyecto.

CAPÍTULO V

EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

5.1 Pruebas experimentales

Se realizaron tres pruebas experimentales para observar la eficiencia del equipo.

Imagen 11 Sistema de tratamiento con todas las unidades previamente diseñadas.



Prueba 1

La primera prueba se realizó con agua potable para asegurar el flujo a lo largo de las unidades, con el fin de verificar que la ubicación de los equipos es la más adecuada, pues la estructura del sistema completo se basa en la fuerza gravitacional para el flujo del fluido.

Prueba 2

La segunda prueba se realizó con agua del río Babahoyo tomada a la altura del puente de la Unidad Nacional. Para esto fue necesario contar con 120 litros de agua del río para poder manejar las operaciones de manera continua hasta poder obtener una muestra final trabajando todo el sistema en flujo continuo.

Los parámetros iniciales del agua cruda son los siguientes:

Tabla 7. Parámetros iniciales, agua del río Babahoyo

Parámetro	Valor	Unidad
pH	6.827	----
Conductividad	551	MicroS
STD	402	ppm
SST	877	ppm
Dureza total	80.6	ppm CaCO ₃
Alcalinidad parcial	0	ppm
Alcalinidad total	50	ppm CaCO ₃
Cloruros	78	ppm Cl
Fosfatos	17.3	ppm PO ₄

Luego de pasar por la primera etapa que es el sedimentador primario, en el cual se realiza un proceso 100% físico, se volvió a determinar la

composición de los sólidos suspendidos totales o SST, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 8. Sólidos suspendidos luego de la sedimentación primaria, agua del río Babahoyo prueba 2.

Parámetro	Valor	Unidad
SST	354	ppm

Previo al inicio de la operación, se realizó el test de jarras con el cual se confirmó que el coagulante más adecuado para esta agua era el sulfato de aluminio y el floculante apropiado era un polímero catiónico con el cual se trabajó usando dosis de 500 ppm de coagulante y de 2 ppm de floculante. Con el pH del agua en los rangos apropiados para el uso de los químicos para el tratamiento y al determinarse la dureza del agua en un valor bajo, el cual no requería de un ablandamiento previo, se procedió a enviar directamente el agua que había pasado por el sedimentador primario hacia el sistema de coagulación y floculación.

La operación se realizó de tal forma que se pudo observar un fenómeno no considerado y es el descenso de los flóculos formados en el mismo tanque de floculación, lo cual se esperaba en primera instancia que se dé en un gran porcentaje en el tanque de sedimentación secundaria o post tratamiento químico.

Luego del proceso de floculación, se continuó con la etapa de sedimentación secundaria, la cual tiene una gran importancia, puesto que aquí el agua se clarifica y adquiere los niveles que se pueden considerar aceptables en el proceso.

La Tabla 9 indica los parámetros de calidad determinados luego de la sedimentación secundaria.

Tabla 9. Parámetros luego de la sedimentación secundaria, agua del río Babahoyo prueba 2

Parámetro	Valor	Unidad
pH	4.8	----
Conductividad	715	MicroS
STD	359	ppm
SST	6.5	ppm
Dureza total	60	ppm CaCO ₃
Alcalinidad parcial	0	ppm
Alcalinidad total	30	ppm CaCO ₃
Cloruros	36	ppm Cl
Fosfatos	0	ppm PO ₄

Prueba 3

Para esta prueba se tomó agua del río Babahoyo, se usó alrededor de 240 litros para tener agua suficiente para realizar la prueba en el tiempo que sea necesario. Los parámetros iniciales del agua se indican en la Tabla 10. Luego de pasar por la primera etapa que es la sedimentación primaria, se volvió a determinar la composición de SST. Los resultados luego de una hora y media y de tres horas de tratamiento se indican en la Tabla 11.

Tabla 10. Parámetros iniciales, agua del río Babahoyo prueba 3

Parámetro	Valor	Unidad
pH	7.2	----
Conductividad	1670	MicroS
STD	1420	ppm
SST	779.3	ppm
Dureza total	142.6	ppm CaCO ₃
Alcalinidad parcial	0	ppm
Alcalinidad total	40	ppm CaCO ₃
Cloruros	237	ppm Cl
Fosfatos	10	ppm PO ₄

Tabla 11. Sólidos suspendidos luego de la sedimentación primaria, agua del río Babahoyo prueba 3

Parámetro	Tiempo	Valor	Unidad
SST	0 horas	779.3	ppm
SST	2 horas	450	ppm
SST	4 horas	532.9	ppm

Previo al inicio de la operación se realizó el test de jarras, para esto al ser la misma agua de la prueba anterior se basó el análisis en mejorar las proporciones de la prueba anterior. Dado que el sulfato de aluminio usado en las pruebas es un mejor coagulante convencional, pero tiende a acidificar el agua fue importante tomar en cuenta la reducción del pH para evitar nuevamente que este parámetro quede en un valor inferior a los promedios de potabilización. Se realizó el test de jarras tomando en cuenta que el coagulante y el floculante a usar eran los mismos, se varió las concentraciones de coagulante y se analizó el agua con concentraciones de 100 ppm, 250 ppm y 500 ppm, mientras que el floculante se mantuvo en la misma concentración de la prueba anterior.

De las tres jarras, la de 100 ppm no tuvo buenos resultados finales y los flóculos formados fueron de tamaño pequeño, mientras que las de 250 ppm y 500 ppm tuvieron resultados semejantes pero los valores de pH difieren

por lo cual se decidió usar 250 ppm para analizar el proceso cambiando esta variable del proceso.

Nuevamente no se reguló el pH previo al uso de los floculantes y coagulantes dado que estaba en un valor apropiado para el tratamiento, sin embargo, se usó el tanque regulador de pH para comprobar el funcionamiento de la bomba que lleva el fluido del tanque regulador hacia el sistema de coagulación y floculación.

El proceso de tratamiento de aguas se realizó de manera continua durante 7 horas, período en el que no se presentaron inconvenientes en la prueba. La etapa de sedimentación secundaria se realizó de manera correcta y en esta prueba se sumó la filtración y se desinfectó el agua al final del proceso. Se presenta a continuación, en la Tabla 12, los cambios en la concentración de sólidos suspendidos con el paso de las horas en el proceso.

Tabla 12. Sólidos suspendidos luego de la sedimentación secundaria, agua del río Babahoyo prueba 3

Parámetro	Tiempo	Valor	Unidad
SST	6 horas	33.57	ppm
SST	7 horas	20	ppm
SST	9 horas	12.9	ppm

Se puede observar el cambio en la concentración de SST con lo cual se asegura el correcto funcionamiento de la unidad.

Posteriormente se procedió a tomar muestras de las tres últimas etapas del proceso.

Tabla 13. Parámetros finales luego de la sedimentación secundaria, agua del río Babahoyo prueba 3

Parámetro	Valor	Unidad
pH	6.47	----
Conductividad	1790	MicroS
STD	876	ppm
SST	12.9	ppm
Dureza total	100.8	ppm CaCO ₃
Alcalinidad parcial	0	ppm
Alcalinidad total	10	ppm CaCO ₃
Cloruros	180	ppm Cl
Fosfatos	11	ppm PO ₄

Tabla 14. Parámetros finales luego de la filtración, agua del río Babahoyo prueba 3.

Parámetro	Valor	Unidad
pH	7.13	----
Conductividad	128	MicroS
STD	66	ppm
SST	10	ppm
Dureza total	43.4	ppm CaCO ₃
Alcalinidad parcial	0	ppm
Alcalinidad total	20	ppm CaCO ₃
Cloruros	12	ppm Cl
Fosfatos	10	ppm PO ₄

Tabla 15. Parámetros finales luego de la desinfección con cloro, agua del río Babahoyo prueba 3.

Parámetro	Valor	Unidad
pH	7.10	----
Conductividad	316	MicroS
STD	210	ppm
SST	10	ppm
Dureza total	55.8	ppm CaCO ₃

Alcalinidad parcial	0	ppm
Alcalinidad total	30	ppm CaCO ₃
Cloruros	51	ppm Cl
Fosfatos	10	ppm PO ₄

A partir de estas pruebas realizadas se generó el análisis de los resultados para lograr llegar a conclusiones apropiadas sobre lo realizado.

5.2 Análisis de resultados

Prueba 1

En esta prueba se comprobó los cálculos de la hidráulica del proceso sólo con agua potabilizada, estos, aunque no serían los parámetros comunes con los que se trabajarían permitió comprobar si el caudal que se proyectó para el sistema se podría realmente usar y si las bombas podrían trabajar acorde a los mismos. Los resultados fueron positivos puesto que con el uso del by-pass las bombas no se recalentaron en ningún momento y las mismas fueron usadas en tiempos largos para comprobar su funcionamiento tanto en esta prueba como en las siguientes.

Prueba 2

Los resultados obtenidos en la segunda prueba la cual ya fue tratando agua de una fuente conocida como es el agua del río Babahoyo traen importantes puntos a analizar.

El primero es la alta cantidad de materia en suspensión que tenía el agua, lo cual mantenía un color muy oscuro que no permitía que se observara al otro lado. Este valor se consideró importante de analizar por lo cual luego de la primera hora y media de tratamiento se retiró una muestra a la altura de la salida del sedimentador primario, la misma, como se pudo observar en la tabla de resultados, tuvo un valor 60% más bajo que el valor de entrada. Con esto podemos comprobar que la ecuación experimental de Metcalf y Eddy para determinar el porcentaje retenido es apropiada dado que con esta fórmula se obtenía una retención del 52.6% de SST. Esto permitió tener una primera idea del funcionamiento del sedimentador primario, el mismo hizo que correctamente fluya el agua a través de su malla difusora y se cumpla el propósito por el cual se la consideró en el diseño. Los lodos formados se inclinaron como se esperaban, hacia el lado donde se encuentra la pendiente, observamos en el proceso que no se dio la re-sedimentación de la cual se teme al diseñar sedimentadores, dado que el caudal considerado es mucho más pequeño que los mínimos recomendados y se pudo observar un comportamiento laminar en todo el proceso.

Posterior a esto en el proceso de coagulación floculación se observó a partir del test de jarras que el coagulante más indicado para este proceso es el sulfato de aluminio, el mismo lo usamos a una dosis de 500 ppm y por disponibilidad de agua no se pudo variar las concentraciones y hacer más

ensayos a distintas concentraciones; sin embargo, se pudo observar en este caso una formación rápida de los coágulos a partir de la desestabilización de los coloides. Se pensó en primera instancia que al no poder ubicar una unidad de coagulación el proceso se podría desmejorar, pero con los resultados obtenidos se pudo comprobar que la coagulación por línea es una alternativa viable que igual mantiene el proceso desarrollándose de manera adecuada.

La floculación dado en este proceso se manejó también a una dosis común según la literatura la cual fue de 2 ppm, este valor se considera importante para que se formen los flóculos acorde a lo que se observó en el test de jarras realizado. La formación de los flóculos fue muy buena y se pudo observar que en el tanque de floculación una gran parte de estos se sedimentaron lo cual generó una incógnita importante la cual era si se podrán sedimentar lo que queda en el agua aún en la siguiente unidad. Esta interrogante fue respondida una vez que empezó a salir agua luego del sedimentador secundario la cual obtuvo un valor importante de SST el cual fue de 6.5 ppm con lo cual se asegura que casi todos los SST fueron retirados. Los sólidos disueltos bajaron al igual que la dureza y la alcalinidad, pero en este caso hubo un descenso del pH el cual resulta ser importante dado que dejó el agua en un valor ácido.

Esto generó otra interrogante la cual se respondió rápidamente y fue que el sulfato de aluminio se debió haber puesto en una cantidad mayor a la

requerida, pero por disponibilidad de agua para el tratamiento no se pudo variar las dosis una vez indicado cuáles eran los químicos más adecuados para el proceso. A partir del final de esta primera prueba logramos observar que el agua del tratamiento pasó de manera adecuada por el tanque floculador posterior a la línea de coagulación. Fácilmente se identificaban los coágulos formados en la línea una vez que estos ingresaban al tanque de floculación, aquí se añadía de inmediato el floculante y se pudo observar cómo la floculación se daba de manera inmediata en la primera cámara y como continuaba de la misma manera hasta el final del mismo. El resultado de esto fue un correcto proceso en dicho tanque en el cual se daba una parte de la sedimentación y en la unidad posterior se terminó de sedimentar los flóculos formados.

En la etapa de sedimentación secundaria era importante comprobar que los tiempos de operación hayan sido correctamente calculados dado que en esta etapa se obtiene los primeros resultados que nos dan una guía de los parámetros del agua que se tendrán al final del proceso dependiendo de cuántas unidades más se añaden al sistema. La sedimentación que se da en esta unidad difiere de la del sedimentador primario puesto que en aquí los sólidos formados no vienen del agua cruda sino son generados en la operación anterior, mientras más densos son estos, es más fácil el descenso hacia zona de lodos del sedimentador secundario. En esta prueba no se pudo continuar con las operaciones siguientes por la limitada

cantidad de muestra que se tenía, sin embargo, permitió comprobar y observar otros detalles como la facilidad de sedimentación y ver si el flujo era apropiado para evitar la re-sedimentación. El valor de SST al final de esta etapa fue de 6.5 ppm, es decir el 99.3 % de los SST fueron retirados durante todo el proceso. Respecto a los STD, se obtiene un 10.7% de remoción de sólidos lo cual se justifica al haber utilizado 500 ppm de sustancia coagulante. Se conoce que es recomendable la dosificación de 200 ppm de coagulante aproximadamente por lo que ciertamente un exceso de iones fue proporcionado al medio, pudiendo afectar la función principal de la etapa de coagulación – floculación.

Prueba 3

En la prueba 3 se procedió a retirar la pantalla difusora para analizar el comportamiento del fluido. Los resultados nos mostraron una retención después de la primera hora y media del 42.3 % de SST versus el 52.6 % de la prueba 2 con el uso de la pantalla. Este descenso se puede dar debido a que la función de la pantalla difusora es de inducir un fluido tipo pistón al interior del sedimentador, causando menor cantidad de arrastre al momento en que el fluido pase a la siguiente etapa. Otro punto importante a considerar es que las condiciones no eran las mismas en ambas pruebas porque la composición del agua cambió en casi todos sus parámetros, aunque provenía de la misma fuente. Luego de dos horas más de

tratamiento el porcentaje retenido de sólidos bajó aún más, siendo este 31.6 %. Esto se dio por las variaciones de caudal de entrada que experimentó el sistema, minutos antes a la toma de la muestra. Al aumentar el caudal se genera mayor turbulencia en el interior del sedimentador y dio como resultado una menor retención dado que el proceso dejó de ser estacionario por un lapso de tiempo.

Para esta prueba ya no se probaron otros químicos en el test de jarras, más bien se probaron tres dosis de coagulante y se observó un interesante fenómeno y es que con la concentración de 100 ppm los flóculos formados son de menor tamaño que con las dos concentraciones de 250 y 500 ppm. Se decidió coger la concentración de 250 ppm y fue muy apropiada en este caso debido a que el pH final no resultó ácido como si pasó en la prueba anterior y para corroborar esto se puede apoyar el resultado en lo sucedido con la concentración de sólidos suspendidos que luego del sedimentador secundario la concentración de SST descendió casi a los mismos valores de la prueba anterior, 99.8%.

El filtro diseñado presenta una forma estándar con medios convencionales y permitió elevar el pH del agua de salida y disminuir en gran cantidad los STD y la dureza. El porcentaje de remoción de STD después del Sedimentador Secundario fue del 60%, y luego de la filtración, el porcentaje de disminución de los STD fue del 96.23 %. Precisamente estas son partes de las acciones que un filtro puede realizar y los valores son importantes

de tomar en cuenta para en futuras pruebas realizar análisis de cómo aumenta el pH y varían los otros parámetros al pasar por el medio filtrante el efluente. Se determinó que la velocidad de descarga del filtro es en promedio 21 Litros por hora, manteniendo un caudal muy similar al de la entrada del sistema. También con el paso de las pruebas se podrá comprobar cuando se debe realizar el retro lavado del sistema puesto que este dependerá de cuánto se use la unidad para que sea en un menor lapso de tiempo el siguiente retro lavado.

Análisis con respecto a observaciones del proceso

Los nudos ubicados en todas las entradas y salidas de las unidades permitieron tener una independencia total de cada unidad para poder realizar cambios cuando se requiera y en caso de tener la necesidad de movilizar el sistema a otra parte poder hacerlo sin ningún inconveniente. Se pudo comprobar con las pruebas realizadas que el sistema fluye correctamente sin tener problemas con el sentido del flujo ni con la altura a la cual están ubicadas las entradas y salidas de los equipos. También se observó que por la capacidad de las bombas es fácil si la caída de presión aumenta por diversas situaciones solamente variar las condiciones del sistema a favor del flujo, es decir, aumentar la velocidad de ingreso y con esto evitar que la energía requerida se iguale con la energía disponible haciendo así que el sistema ya no fluya y llegue al equilibrio hidrostático.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- El sistema trabajó adecuadamente potabilizando agua, esto se comprobó con los resultados obtenidos en las pruebas de potabilización los cuales permiten considerar el agua tratada apta para los usos que tienen el agua potable.
- Se logró diseñar un proceso capaz que podría tratar aguas de origen industrial a partir de operaciones convencionales con la limitante de las operaciones biológicas las cuales están fuera del alcance de este proyecto.
- El tanque floculador fue diseñado inicialmente para promover el tiempo necesario para la formación de flóculos. No obstante, el mismo probó ser un retenedor primario de los flóculos más grandes; es decir, cumple doble función. Lo que permite que el agua llegue al sedimentador secundario con menor carga de sólidos.
- La pantalla difusora del sedimentador primario permite retener parte de los sólidos suspendidos de gran tamaño en su malla, adicional dirige de mejor manera el flujo a través del sedimentador cumpliendo de esta manera la función para lo cual fue diseñado.
- El caudal de trabajo para sistemas a escala de tratamiento de aguas debe ser relativamente pequeño para proporcionar mayor eficiencia

al proceso completo. El sistema construido puede manejar caudales entre 25 – 35 L/h para resultados óptimos.

- El diseño de los sedimentadores con caída inversa es preciso para la retención de deposiciones o precipitaciones de material sedimentado luego de las operaciones físicas primarias o químicas, esto comprueba las consideraciones generales indicadas en textos sobre ubicación y diseño de la zona de recolección de lodos.
- El tipo de material escogido para los accesorios fue el PVC debido a que proporcionan menor peso al sistema, reduciendo los riesgos de fisuras en los tanques de acrílico y deformaciones en la estructura general.
- Se consideró el uso de mangueras flexibles de PVC en ciertas secciones del sistema para evitar rigidez en su estructura y mayor uso de accesorios entre unidades. Esto fue analizado nuevamente al momento de la construcción, montaje y puesta en marcha y se llegó a la conclusión de que fue apropiado la adición de estas líneas dado que, a más de evitar problemas en la estructura del sistema, son fáciles de reponer, se puede observar el interior de las mismas y permiten que los equipos soporten menos peso.
- De acuerdo a los tiempos de retención de cada unidad, se deberá preparar la práctica con anticipación y empezar el proceso de sedimentación primaria antes de la hora de clases. El tiempo de

operación de todo el sistema varía entre 4 a 5 horas hasta empezar a obtener agua tratada y este dependerá de las características del agua a tratar y de las operaciones que se requiera incluir en el proceso.

- La caracterización del agua y el test de jarras se deberán hacer anticipadamente con el fin de tener claro el panorama con el cual se trabajará el sistema. De esta manera se evitarán retrasos en el proceso y errores en el momento de la dosificación de los químicos a usar.
- Para la construcción de sistemas didácticos es importante utilizar materiales comercialmente disponibles y de costos accesibles que permitan una rápida reposición en caso de dañarse. Con esto se garantiza que los equipos tendrán un tiempo de vida útil más largo a disposición de los estudiantes.

6.2 Recomendaciones

- Ampliar las operaciones presentadas en este trabajo para complementar de mejor manera el estudio del tratamiento de aguas en los estudiantes de la carrera; es posible adicionar unidades como el sistema DAF y separador API que permitan tratar aguas de otras fuentes más complejas a las que pueden ser aplicadas en este sistema.

- Se recomienda tratar otros tipos de aguas con el fin de potabilización o de origen industrial para ampliar la capacidad de pruebas realizadas.
- Modificar los tiempos de operación del sistema con el fin de comprobar diferentes resultados a los obtenidos en este trabajo.
- Cambiar el deflector del sedimentador primario con el fin de probar rendimientos a partir de este mecanismo de disminución de la turbulencia y de correcto ingreso del agua a tratar.
- Para la construcción de unidades específicas utilizar un material cuyas características permitan realizar cortes y alteraciones en la superficie, como el acrílico. Materiales como el vidrio vuelven complicada las operaciones de corte para realizar orificios para entradas y salidas de tuberías y purgas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Da Costa, A. A. (2009). *Procedimiento para el diseño de una planta de tratamiento de efluentes industriales*. Informe de pasantías para optar por el título de Ingeniero Químico, Universidad Simón Bolívar, Decanato de Estudios Profesionales, Sartenejas. Obtenido de <http://159.90.80.55/tesis/000145003.pdf>
- Davis, M., & Masten, S. (2004). *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. México: McGraw Hill.
- Eckenfelder, W. W., Ford, D., & Englande, A. J. (2009). *Industrial Water Quality*. United States of America: McGraw-Hill.
- Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla. (s.f.). *Tratamiento para potabilización del agua*. Sevilla.
- Etienne, G. (2009). *Potabilización y tratamiento de agua. Diseño en excel* (Primera ed.). Eagan, USA. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/potabytrat.pdf>
- Galvín, R. M. (2012). *Procesos Fisicoquímicos en Depuración de Aguas*. España: Díaz de Santos.
- Manahan, S. E. (1993). *Fundamentals of Environmental Chemistry*. United States of America: Lewis.
- McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones Unitarias en Ingeniería Química* (Séptima ed.). (M. H. Interamericana, Ed., & P. H. Carlos, Trad.) México D.F., México: McGraw Hill, Inc.
- Metcalf and Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (Cuarta ed.). McGraw Hill.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Acuerdo Ministerial No. 028*. San Francisco de Quito D.M., Pichincha, Ecuador.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Diseño de plantas de tecnología apropiada*. Lima, Perú. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacep/promocion/M-II.htm>
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima, Perú. Obtenido de

<http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>

Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). *Coagulación y Floculación*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/020867/020867-14.pdf>

Ramalho. (1983). *Tratamiento de aguas residuales*. (J. B. Federico, Trad.) México D.F., México: Reverté.

Rigola Lapeña, M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales* (Primera ed.). Barcelona, España: Marcombo.

Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. (s.f.). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales* (Vol. 2). (CEIM, Ed.) Madrid, España. Obtenido de <http://www.madrid.org/bvirtual/BVCM001696.pdf>

Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del agua* (Tercera ed.). México DF, México: Alfaomega.

Rojas, J. A. (2005). *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Sánchez-Miel, F. (s.f.). *Tratamiento de aguas de proceso y aguas residuales industriales*. España. Obtenido de <http://www.sedapal.com.pe:93/provma/charlas16/AQUALIA%20INDUSTRIAL.pdf>

Universidad de las Américas de Puebla. (s.f.). *Capítulo 5*. Obtenido de Análisis y diseño del tratamiento primario: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo5.pdf

Varios autores, v. p. (s.f.). *Ingeniería de aguas residuales*. (R. y. Jcarballo, Ed.)

ANEXOS

ANEXO 1

Tabla de materiales y equipos usados en el proyecto

Material	Cantidad	Unidades
Válvulas de bola de 1/2 pulgada	15	Unidades
Válvulas de bola de 3/4 pulgada	1	Unidades
Neplos de cintura de 1/2 pulgada	18	Unidades
Neplos medianos de 1/2 pulgada	10	Unidades
Neplos largos de 1/2 pulgada	5	Unidades
Manguera de 1/2 pulgada	9	Metros
Manguera de 3/4 de pulgada	1	Metros
Codos cachimba de 1/2 pulgada	8	Unidades
Codos cachimba de 3/4 pulgada	2	Unidades
Adaptador de 1/2 pulgada	10	Unidades
Tees de 1/2 pulgada	11	Unidades
Tapones hembra de 3/4 pulgada	3	Unidades
Uniones de 1/2 pulgada	3	Unidades
Cinta de teflón rojo 5 m.	4	Unidades
Cinta de teflón industrial amarillo 20 m.	1	Unidades
Abrazaderas de 1/2 pulgada	16	Unidades
Abrazaderas de 3/4 pulgada	2	Unidades

Unión de ½ a ¾ de pulgada	1	Unidades
Bomba de descarga de ½ pulgada	1	Unidades
Encendedor	1	Unidades
Arena fina	10	Kilos
Arena gruesa	½	Kilos
Grava	1	Kilo
Bombas sumergibles	2	Unidades
Bases metálicas	7	Unidades
Unidades de acrílico	3	Unidades
Pallets plásticos	2	Unidades
Equipo para test de jarras	1	Unidades
Letreros para equipos	6	Unidades
Letrero general	1	Unidades
Spray gris	1	Unidades
Silicona líquida para tuberías	1	Unidades
Nudos de ½ pulgada	6	Unidades
Nudos de ¾ pulgada	1	Unidades
Conectores de ½ pulgada	11	Unidades
Conectores de ¾ pulgada	5	Unidades
Caja de breakers	1	Unidades

Breakers de 50 Amperios	2	Unidades
Cable de dos líneas	6	Metros
Extensión de 120 Voltios	6	Metros
Bornera de 10 puntos	1	Metros
Tomacorriente de 120 Voltios	1	Unidades
Puntos eléctricos	2	Unidades
Malla difusora	1	Unidades
Tanque de 44 litros	1	Unidades
Tanque de 5 litros	1	Unidades
Tanque de 75 litros	1	Unidades
Llave de tubo de 2 pulgadas	1	Unidades
Malla verde para filtro	1	Metro cuadrado
Tubo de acrílico de 15 cm de diámetro	1	Unidades
Tapón hembra para tubo acrílico	1	Unidades
Gasa	4	Unidades
Medias nylon	2	Unidades
Algodón	200	Gramos
Pintura en spray	1	Envase
Amarras de 20 cm	100	Unidades

ANEXO 2

Costo total de todas las etapas y partes del proyecto

Material	Valor USD
Planchas de acrílico	\$400
Bases metálicas para equipos de acrílico	\$250
Construcción de equipos de acrílico	\$483
Bases metálicas para envases de plástico	\$150
Sistema eléctrico	\$30
Bomba de descarga	\$16
Accesorios, mangueras y arenas	\$174
Envases plásticos	\$31
Insumos de farmacia	\$8
Alimentación durante el proyecto	\$100
Fletes y traslados diarios	\$60
Letreros	\$45
Pruebas de parámetros de calidad	\$12
Impresiones	\$20
Gigantografías	\$12.50
Utensilios y bocaditos para la sustentación	\$120
Total	\$1921.5

ANEXO 3

Imágenes del desarrollo del proyecto



Test de jarras en la prueba 2 usando sulfato de aluminio y floculantes catiónicos y aniónicos.



Resultado final del test de jarras de la prueba dos donde se observa un mejor rendimiento del sulfato de aluminio (jarras 4,5 y 6) versus el policloruro de aluminio (jarras 1,2 y 3)



Preparación de la solución de sulfato de aluminio para dosificar como coagulante en el proceso.



Adición de floculante en la prueba 3 para observar la diferencia entre las jarras.



Resultado final de las tres jarras usadas en la prueba 3 del test de jarras donde se varió las concentraciones de sulfato de aluminio.



Desarrollo de la prueba 2 en el laboratorio de tratamiento de aguas donde está ubicado el sistema didáctico.



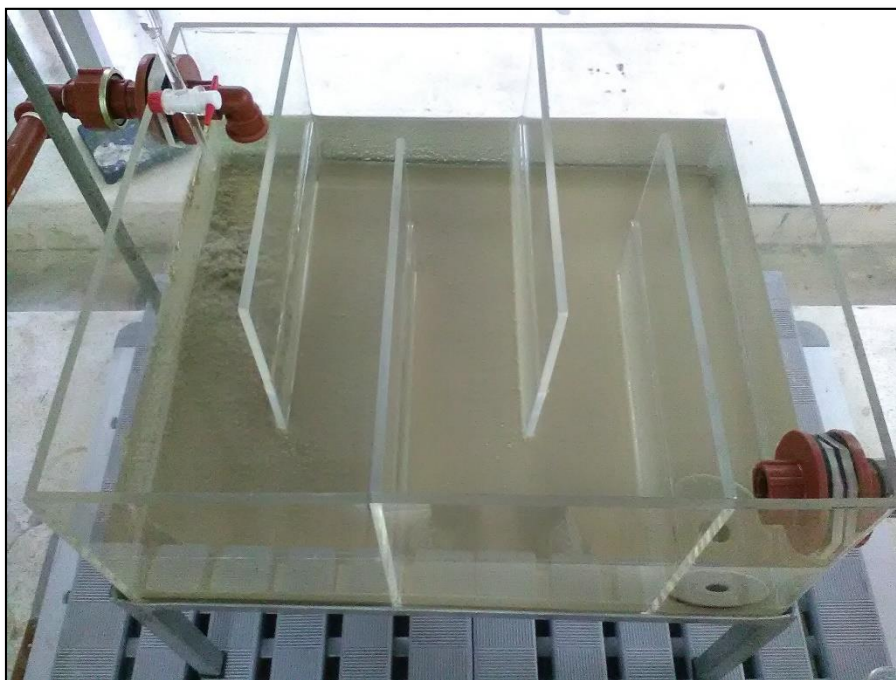
Vista inferior de las cámaras del tanque floculador en donde se observa las diferencias en la base de cada una por formación y descenso de los flóculos.



Diferencia en la turbidez y color en las distintas etapas del proceso durante la prueba 2.



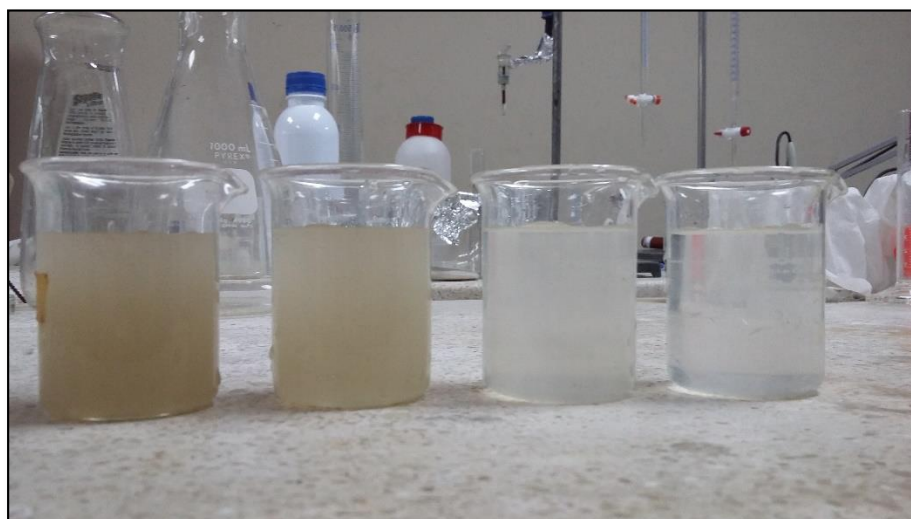
Resultado del agua al final de la prueba 2 en el sedimentador primario.



Resultado del agua al final de la prueba 2 en el tanque floculador.



Resultado del agua al final de la prueba 2 en el sedimentador secundario.



Muestras de agua de distintas etapas luego de 5 horas de proceso.



Lectura de STD, pH y conductividad en la muestra final de la prueba 3.



Muestra final del proceso de tratamiento de agua del Río Babahoyo en la prueba 3.