



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Diseño constructivo de la segunda etapa de la planta
piloto de potabilización para el Laboratorio de
Procesos Físicoquímicos**

María Alejandra Restrepo Morales

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2021



Diseño constructivo de la segunda etapa de la planta piloto de potabilización para el Laboratorio de Procesos Físicoquímicos

María Alejandra Restrepo Morales

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniera Sanitaria

Asesor:

Darío Naranjo Fernández

Ingeniero Químico, M.Sc. Ingeniería Ambiental, Ph.D. Ingeniería Hidráulica y Saneamiento

Línea de Investigación:

Sistemas de potabilización-Calidad de Agua

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2021

DEDICATORIA

Agradezco a Dios y a la vida por darme la oportunidad de llegar a este momento tan importante. A mi ángel, por estar conmigo en cada momento, por haber sido un pilar tan importante para mi desarrollo profesional y personal, sé que te debes sentir muy orgulloso y todo lo que he logrado ha sido en honor a ti, gracias infinitas por haber representado de la mejor manera tu papel más importante en vida, el de padre. A mi madre por seguir a mi lado, guiándome en mi desarrollo personal, ser mi motor de vida y luz. A mi hermana, por brindarme su apoyo incondicional, preocupación, paciencia, amor, y aliento a seguir en los momentos de debilidad para seguir cumpliendo cada uno de mis sueños. A mi familia, la base de mi vida, gracias por su acompañamiento, confianza y fe en cada uno de mis pasos. A la familia que elegimos, mis amigos, por acompañarme en cada proceso, por su compañerismo, amistad y apoyo moral, para seguir adelante. A mis docentes por haber brindado sus conocimientos para mi formación académica.



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	6
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Antecedentes.....	7
1.2. Planteamiento y formulación del problema.....	8
1.3. Justificación.....	9
1.4. Delimitación.....	10
1.4.1. Espacio	10
1.4.2. Contenido	10
1.4.3. Alcance	10
1.4.4. Limitaciones.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo general.....	12
2.2. Objetivos específicos.....	12
3. MARCO TEÓRICO.....	13
3.1. Revisión bibliográfica.....	13
3.2. Generalidades del agua.....	15
3.2.1. Aspectos microbiológicos.....	16
3.2.2. Aspectos fisicoquímicos.....	16
3.3. Agua potable.....	24
3.4. Procesos complementarios.....	25
3.4.1. Aireación	25
3.4.2. Ablandamiento.....	31
3.4.3. Flotación	56
3.4.4. Adsorción.....	63
3.4.5. Intercambio iónico	73
3.5. Presupuesto y análisis de precios unitario (APU).....	76
4. METODOLOGÍA.....	77
4.1. Objetivo específico 1.....	78
4.2. Objetivo específico 2.....	79
4.3. Objetivo específico 3.....	79
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	80
5.1. Justificación de diseños no realizados.....	80
5.1.1. Bandejas de aireación.....	80
5.2. Diseños realizados, resultados y análisis.....	80
5.2.1. Tanque de aireación.....	81
5.2.2. Sistema de ablandamiento	81
5.2.3. Flotación por aire disuelto	84
5.2.4. Columna de adsorción con carbón activado granular (CAG).....	86
5.2.5. Columna de intercambio iónico con zeolita	87
5.3. Presupuesto y APU.....	88
6. CONCLUSIONES.....	89

7. REFERENCIAS.....	91
8. ANEXOS.....	97
8.1. Planos guías para la construcción de la planta.....	97
8.1.1. Tanque de aireación.....	97
8.1.2. Tubo Venturi	97
8.1.3. Mezclador estático en línea.....	97
8.1.4. Floculador horizontal	97
8.1.5. Sedimentador de alta tasa	97
8.1.6. Sistema de Flotación por aire disuelto	97
8.1.7. Columna de adsorción.....	97
8.1.8. Columna de intercambio iónico	97
8.1.9. Plano general de la planta con tanque de aireación.....	97
8.1.10. Plano general de la planta con sistema de ablandamiento	97
8.1.11. Plano general de la planta con sistema de flotación.....	97
8.1.12. Plano general de la planta con columna de adsorción e intercambio iónico	97
8.2. Memorias de cálculo.....	97
8.2.1. Tanque de aireación.....	97
8.2.2. Floculador horizontal	97
8.2.3. Flotación por aire disuelto	97
8.2.4. Columna de adsorción.....	97
8.2.5. Columna de intercambio iónico	97
8.3. APU y presupuesto del proyecto.....	97
8.3.1. APU- tanque de aireación.....	97
8.3.2. APU- Ablandamiento	97
8.3.3. APU- Flotación por aire disuelto	97
8.3.4. APU- Columna de adsorción.....	97
8.3.5. APU- Columna de intercambio iónico	97
8.3.6. Presupuesto del proyecto.....	97
8.4. Fichas técnicas.....	97
8.4.1. Cortinas difusoras.....	97
8.4.2. Compresor de aire.....	97
8.4.3. Tubo Venturi	97
8.4.4. Bomba peristáltica	97
8.4.5. Bomba periférica	97

RESUMEN

La disponibilidad de agua de calidad para abastecimiento es una problemática actual debido a que, por diferentes factores, se incrementa en ella la concentración de una variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Por otro lado, el tratamiento convencional del agua (coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección) no elimina totalmente muchos de estos contaminantes, por tanto, es necesario identificar y evaluar la eficiencia de otros procesos y operaciones no convencionales para el tratamiento de aguas, con el fin de proponer alternativas que permitan minimizar la presencia de contaminantes. En el presente trabajo de grado se llevó a cabo el diseño matemático y conceptual de sistemas complementarios no convencionales para el acople a la planta de tratamiento de aguas a escala piloto modular que se desea instalar en el Laboratorio de Procesos Físicoquímicos de la Universidad de Antioquia. Las unidades que se desean integrar a la planta piloto son: aireación, ablandamiento, flotación por aire disuelto, adsorción con carbón activado e intercambio iónico con zeolita. A partir de una recopilación bibliográfica se logró dimensionar, elaborar planos y realizar la valoración presupuestal de cada una de las unidades, bases para la fase constructiva. Los resultados obtenidos para cada uno de los diseños fueron satisfactorios, a pesar de las limitaciones que se presentaron al tratarse de unidades a pequeña escala. Sin embargo, no se garantiza que las unidades sean eficientes ya que no se definieron los parámetros físicoquímicos iniciales para el agua, de modo que, una vez construidos los sistemas, se deben calibrar y ajustar según los requerimientos del agua que se desea tratar.

1. INTRODUCCIÓN

La formación de profesionales competentes en las diferentes áreas depende de la exposición a un componente teórico, con el que los estudiantes alcancen el conocimiento necesario para ejecutar su labor de una manera acertada, y un componente práctico con el que esta teoría se cimienta. En este sentido, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia, en su afán por brindar un aprendizaje integral, tanto teórico como práctico, pone a disposición una variedad de laboratorios en donde, a través de modelos de aplicación, los estudiantes se exponen a situaciones que pueden presentarse en su futuro campo de acción. En esta misma vía, el programa de Ingeniería Sanitaria cuenta con un laboratorio teórico-práctico de procesos fisicoquímicos para el tratamiento de aguas que ofrece la posibilidad de simulación y evaluación de operaciones y procesos a escala de laboratorio. Sin embargo, se ha evidenciado la necesidad de adición de una planta de tratamiento a escala piloto, en donde se realice la evaluación de diferentes procesos y operaciones y permita generar en los estudiantes competencias relacionadas con la evaluación de configuraciones de sistemas de tratamiento en función de la calidad del agua afluente al sistema y el uso del agua efluente.

A groso modo, este proyecto consta de tres (3) etapas: en la primera se inició con el diseño e implementación de un sistema convencional (Obando & Uribe, 2021); en la segunda se adicionarán sistemas complementarios no convencionales y finalmente, en la tercera etapa, se adicionarán sistemas avanzados.

Ahora bien, en el presente documento se muestra el diseño de la segunda etapa, la cual está compuesta por el dimensionamiento de unidades complementarias no convencionales: tanque de aireación, floculadores y sedimentadores para el proceso de ablandamiento, flotación por aire disuelto, columnas con carbón activado para el sistema de adsorción y columnas con zeolita para el sistema de intercambio iónico. Igualmente, se presentará la información y diseño de cada una de las unidades teniendo en cuenta la normativa, la bibliografía, las ecuaciones utilizadas, los planos de los componentes diseñados y la valoración presupuestal para la construcción de las estructuras a través de un análisis de precios unitarios (APU).

1.1. Antecedentes

Uno de los principales problemas de contaminación de cuerpos de agua en las últimas décadas es la descarga directa de aguas residuales de origen industrial, agrícola y doméstico. Estas descargas alteran parámetros como: temperatura, pH, concentración del oxígeno disuelto, alcalinidad y dureza en el agua y

adiciona contaminantes como lodos, restos carbonosos, desechos de papel y metales pesados (cadmio, arsénico, plomo, mercurio, cromo, entre otros) que ocasionan intoxicaciones (Ramalho, 1996). A esto se le suma que existe una gran variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en los cuerpos de agua que no son eliminados totalmente por un tratamiento convencional, requiriendo del uso de otras alternativas.

Lo anterior ocasiona que las plantas de tratamiento de agua potable enfrenten grandes desafíos con relación a la optimización de sus tecnologías, que eviten problemas en la salud humana y que aseguren la sostenibilidad ambiental en correlación con el aumento de la población, el deterioro debido al uso de la tierra, la menor disponibilidad y calidad del agua, entre otros. Estos problemas se entienden y controlan a través de la detección mejorada y el mayor conocimiento de los efectos ambientales, toxicológicos y biológicos de los contaminantes (Teodosiu, Gilca, Barjoveanu, & Fiore, 2018).

En este sentido, la formación académica del Ingeniero Sanitario en la Universidad de Antioquia pretende que, por medio de un proceso constructivo, teórico y práctico, el estudiante pueda acoplar sus conocimientos con miras al mejoramiento de los diferentes procesos y la utilización de nuevas alternativas para el tratamiento del agua, la detección y eliminación de sus contaminantes. Siendo así, se resalta la necesidad que tiene la evaluación y optimización de tratamientos complementarios, con procesos y operaciones no convencionales, como: aireación, ablandamiento, flotación, adsorción e intercambio iónico.

El proyecto de diseño y construcción de una planta piloto para el Laboratorio de Procesos Físicoquímicos consta de tres etapas. De estas etapas, ya se cuenta con la primera que consiste en la realización del diseño de las unidades de procesos y operaciones que conforman un sistema convencional de tratamiento de aguas: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (Obando & Uribe, 2021).

1.2. Planteamiento y formulación del problema

En una planta real para el tratamiento de agua, los sistemas convencionales presentan grandes desafíos en la optimización de tecnologías, que eliminen en su totalidad los diversos contaminantes orgánicos e inorgánicos. Por esta razón, se hace importante identificar y evaluar la eficiencia de otros procesos y operaciones no convencionales, que sirvan como alternativas versátiles de solución a esta problemática.

Frente a esto, el Laboratorio de Procesos Físicoquímicos del programa de Ingeniería Sanitaria desea complementar el diseño de una planta piloto convencional con procesos y operaciones no convencionales que permitan la

simulación de condiciones que se presentan en la realidad y evaluar posibles soluciones técnicas, prácticas y operativas. Igualmente, posibilitará que los estudiantes relacionen los fenómenos y situaciones reales que se pueden presentar en su campo laboral a través de la experimentación, y de esta forma, promover en ellos la construcción de competencias.

Por lo anterior, se plantea la segunda etapa del diseño de una planta piloto de tratamiento de agua; la cual consta de sistemas complementarios no convencionales con procesos y operaciones unitarias de tratamiento que son importantes para dar solución a problemas específicos generados por la presencia de contaminantes.

1.3. Justificación

En primer lugar, teniendo en cuenta que la experimentación es una parte importante de la formación académica de los futuros profesionales sanitarios, la implementación de este proyecto brindará a los estudiantes comportamientos cercanos a la realidad que difieren de los obtenidos dentro de las condiciones ideales de los actuales laboratorios.

En segundo lugar, aunque la aplicación del proyecto es local y se evidenciará en el programa de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Antioquia; el conocimiento que se derive tendrá connotaciones más amplias, por ejemplo, la generación de tratamientos más eficaces que ayuden o reemplacen a los ya existentes, aplicándose a nivel regional o nacional.

En tercer lugar, el diseño, desarrollo e implementación de este proyecto aumentará el reconocimiento y la visibilidad de la Universidad de Antioquia, posicionándola como una institución preocupada por el desarrollo integral del estudiantado, beneficiando a su vez la proyección del programa de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería.

Finalmente, a nivel del p^osum de la carrera, se beneficiarán directamente las prácticas de cursos como Química del Agua, Procesos Físicoquímicos, Tratamiento de Aguas Residuales Industriales y Sistemas de Tratamiento de Agua Potable. Los docentes tendrán la oportunidad de mostrar a los estudiantes las diferentes operaciones y procesos a los que se somete el agua en un sistema de tratamiento convencional, en el complementario y en el avanzado. Igualmente, podrán darse a conocer las etapas de diseño de las unidades y analizarse los cambios físicoquímicos generados por los tratamientos y el funcionamiento individual y en conjunto de las unidades de la planta.

1.4. Delimitación

1.4.1. Espacio

El proyecto se implementará dentro del Laboratorio de Procesos Físicoquímicos, con la finalidad de apoyar de modo teórico-práctico en las labores de docencia e investigación.

1.4.2. Contenido

Se lleva a cabo el diseño de unidades complementarias de procesos y operaciones unitarias de tratamiento no convencionales de agua, como: aireación, ablandamiento, flotación, adsorción e intercambio iónico, que son sistemas importantes ya estandarizados para mejorar el tratamiento de agua, según los problemas específicos del agua afluyente al sistema.

Con la finalidad de tener una presentación clara para el lector, el diseño anexará las memorias de cálculo estructurales con los planes de detalles. Adicionalmente, se agregará la valoración de los costos directos del diseño y construcción de la planta de tratamiento a través de un APU, detallando a su vez los insumos financieros y humanos.

Metodológicamente, el estudio se caracteriza por tener un enfoque cuantitativo. En un primer momento, se presentará la revisión del estado del arte de investigaciones que tengan un diseño procedimental similar; luego, se realizarán los dimensionamientos y descripción de los aspectos del tratamiento a implementar; posteriormente, se realizará el diseño y se determinarán los parámetros de los procesos y operaciones por medio de hojas de cálculo (Excel) y; finalmente, se presentará el diseño de la planta en AutoCAD, que como herramienta de diseño asistido posibilita la presentación de dibujos técnicos en segunda y tercera dimensión.

1.4.3. Alcance

El diseño de un conjunto de procesos y operaciones unitarias complementarias, para mejorar la planta de tratamiento en una escala piloto en laboratorio. El proyecto, al considerar la dimensión de los sistemas complementarios tiene en cuenta sus parámetros de diseño y las condiciones de operación. Igualmente, elaborará los planos de los componentes de diseño, de tal forma que sirve como guía para la construcción de los sistemas a escala real. Por otro lado, al tener en cuenta el presupuesto, permitirá tener un alcance interdisciplinar, sin centrarse únicamente en condiciones técnicas, sino también organizacionales de una estructura APU.

Finalmente, se hace importante enfatizar que el proyecto teóricamente tiene un alcance amplio porque aborda los procesos convencionales y no convencionales del tratamiento de agua; al igual que posibilita la consolidación de conocimientos en los estudiantes por medio de la experimentación, logrando la potencialización de los procesos de enseñanza-aprendizaje.

1.4.4. Limitaciones

Aunque el proyecto es ambicioso, se considera que tiene limitaciones especialmente en materiales e insumos necesarios para realizar el diseño en un tamaño funcional; siendo así, su alcance se limita a la aplicación de laboratorio. Por otro lado, el estudio reconoce como una limitación la coyuntura sanitaria actual; debido a que retarda y complica los procesos de laboratorio, de acompañamiento docente y en general el desarrollo investigativo.



2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Diseñar un conjunto de procesos unitarios complementarios para mejorar la planta de tratamiento a escala piloto modular del Laboratorio de Procesos Físicoquímicos de la Universidad de Antioquia, dando mayor versatilidad al sistema de tratamiento convencional.

2.2. Objetivos específicos

- Dimensionar estructuralmente los sistemas complementarios teniendo en cuenta los parámetros de diseño y las condiciones de operación de forma que se puedan ensamblar al sistema convencional.
- Elaborar planos de los componentes diseñados, de tal forma que sirva como guía para la construcción futura de los sistemas complementarios.
- Realizar la valoración presupuestal para la construcción de las estructuras por medio de un análisis de precios unitarios (APU).

3. MARCO TEÓRICO

El agua es una necesidad vital para humanos, plantas y animales; del agua dulce se puede acceder a menos del 1% desde el suelo para el consumo humano (Manahan, 2017). Según el IDEAM (2010), la oferta hídrica se refiere al volumen del agua continental, almacenada en los cuerpos de agua superficiales por un periodo determinado de tiempo.

Colombia está clasificado como uno de los países con mayor oferta hídrica natural del mundo. Sin embargo, aunque el agua se encuentre en cantidades considerables dentro del territorio nacional, todas las regiones del país presentan falencias en aspectos importantes como la cobertura y la calidad del agua potable. Frente a esta última, el GEIH (2012) menciona que cerca del 58.8% de la población consume agua potable, pero que el Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) promedio en la zona urbana fue del 13.2%, correspondiente a un nivel de riesgo bajo, y en la zona rural alcanzó un 49.8%, clasificado como un nivel alto de riesgo. Esto se ha mantenido con el paso de los años, debido al acelerado cambio en el uso del suelo para la intensificación agrícola y por ende el incremento de uso de sustancias contaminantes; así, se hace necesario establecer acciones que permitan mejorar la calidad del agua suministrada y minimizar los riesgos para la salud pública (Harper & Snowden, 2017).

En el agua se encuentran diferentes contaminantes orgánicos e inorgánicos. Por ejemplo, la presencia de contaminantes inorgánicos pueden ser de origen natural, geológico o por las actividades antropogénicas como la agricultura, la minería o la industria, las cuales ocasionan desechos que pueden tener la presencia de metales pesados (arsénico, cromo, plomo, cadmio), que cuando excede el nivel máximo permitido puede conducir a problemas de salud (daños en hígado, riñones, sistema nervioso, entre otros) dependiendo de su nivel de exposición (Moore, 2012; Rao & Kashifuddin, 2014; Halim, Conte & Piccolo, 2003).

Algunas sustancias contaminantes del agua no afectan la salud humana, pero afectan las cualidades estéticas del agua haciendo que se vea poco atractiva para su consumo o para las diferentes actividades diarias.

3.1. Revisión bibliográfica

En primer lugar, a nivel internacional, se destaca la planta de potabilización desarrollada por Brito, Melinton, Totoy & Cumanda (2016) de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en Ecuador, en donde se consideró como base la caracterización fisicoquímica y microbiológica de dos pozos ubicados al interior de dicha institución. A través de ésta se logró determinar que la pureza del agua se encontraba fuera de los parámetros permisibles; al igual que, por medio de los

experimentos de laboratorio, se identificaron las variables del proceso y el diseño de un filtro capaz de mejorar la potabilidad del agua, cumpliendo con los parámetros establecidos por la normatividad vigente.

Por otra parte, en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga en Perú, Loayza (2019) propuso diseñar, construir y evaluar un prototipo de tratamiento de agua para su potabilización a nivel de planta piloto. Como principal hallazgo se obtuvo que el prototipo presentó resultados de remoción de partículas suspendidas en el agua en un promedio de 98,91%, concluyéndose que el prototipo está construido idóneamente para que el agua tratada cumpla con los parámetros físicos (color, olor, sabor, turbiedad, y conductividad) establecidos en la normatividad vigente en Perú. Finalmente, se considera que con esta investigación se generan datos importantes acerca de las capacidades de potabilidad de los diferentes procedimientos empleados.

Dentro de la revisión bibliográfica de plantas a escala a nivel nacional se destaca el diseño realizado por Obando & Uribe (2021) de una planta piloto convencional modulable para el tratamiento de agua. Los estudiantes tuvieron en cuenta los parámetros establecidos por la normativa sobre el funcionamiento de las unidades para la construcción e implementación del sistema piloto.

En otro estudio realizado en la Universidad Católica de Colombia, los estudiantes Hernández & Corredor (2017) diseñaron y construyeron una planta modelo de tratamiento para la potabilización del agua, como herramienta pedagógica y así servir como complemento de aprendizaje de todos los estudiantes de Ingeniería Civil en el Laboratorio de Recursos Hídricos. El modelo construido obtuvo una eficiencia del 88% en las pruebas realizadas durante su seguimiento y proceso de calibración. Adicionalmente, se completaron los parámetros establecidos por el RAS 2000 y el Decreto 475 del 98, garantizando así que el agua tuviese la calidad necesaria para el consumo humano.

Por otro lado, Cárdenas & Medina (2017) de la Universidad Santo Tomás, diseñaron y construyeron una planta de tratamiento de agua potable a escala para el Laboratorio de Hidráulica. Esto fue posible gracias a que por medio de la identificación de los procesos y operaciones necesarias para la potabilización; lograron diseñar los distintos componentes de la planta de tratamiento de agua potable. Posteriormente, construyeron, pusieron en marcha y determinaron que el resultado de la eficiencia estaba de acuerdo con los diseños elaborados y los parámetros esperados. Por otro lado, mediante la utilización de procesos convencionales y no convencionales se obtuvo que la planta presentó unos resultados de remoción de partículas suspendidas en el agua de 93,9 %, resultado satisfactorio debido a que el RAS 2000 recomienda como rango admisible de turbiedad de 5 UNT en comparación con el agua del acueducto que tenía una turbiedad de 7.5 UNT. Adicionalmente, teniendo en cuenta que el porcentaje

removido es dependiente de las características de la muestra de agua de entrada, los investigadores encontraron que entre mayor era el nivel de turbiedad, más alto era el porcentaje de remoción.

Finalmente, cabe resaltar la investigación realizada por Parrado (2017) de la Universidad Piloto de Colombia, en la que implementó de manera satisfactoria, el proyecto de una planta a escala para el tratamiento de agua potable con fines académicos para el Laboratorio de Ingeniería Civil. Tuvo como objetivo construir una planta convencional a escala y así buscar fortalecer y mejorar los procesos de aprendizaje de la comunidad académica a través de la experimentación. Como resultado se destaca que la potabilización del agua de muestra obtenida fue parcial y que, debido a esto, se decidió no completar la investigación debido a la falta de procesos no convencionales utilizados para la remoción por algunos contaminantes presentes en la muestra de agua.

3.2. Generalidades del agua

La molécula del agua está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O) y es esencial para todos los seres vivos. La superficie de la Tierra está cubierta en un 71% de agua, de los cuales menos del 1% es agua dulce, y se presenta en tres fases, líquida, sólida y gaseosa (Expósito & Hernández, 2014). Este no representa un panorama favorable para la vida, debido a que el 68,7% del agua dulce se encuentra en glaciares, 30,1% se mantiene en pozos subterráneos, 0,8% corresponde a permafrost y sólo el 0,4% se encuentra en lagos y ríos que son las principales fuentes de agua para el soporte vital de nuestra sociedad (Oki & Kanae, 2006).

Por otro lado, debido a los procesos fisicoquímicos a los que es sometida el agua en el ciclo hidrológico, es difícil encontrarla químicamente pura; siendo ésta el disolvente universal, es fácil encontrar una cantidad en mayor o menor rango de sustancias disueltas en ella, además de las que se pueden hallar en forma de suspensión o emulsionadas (Expósito & Hernández, 2014). Por esta razón, es necesario realizar tratamientos adecuados para su consumo y tener un adecuado control sobre las características y propiedades físicas y químicas para que pueda ser consumida por el ser humano. En cuanto a su apariencia estética, el agua presenta turbiedad, olor, color y sabor característicos, al igual que tiene una composición química ácida, alcalina, con aceites y grasas y compuestos orgánicos e inorgánicos en general (CEPIS, 2004).

Cuando se identifican concentraciones altas de contaminantes en fuentes de agua, o cuando estos son de difícil remoción, se considera la búsqueda de otras fuentes alternas que no necesiten de procesos u operaciones unitarias no convencionales o avanzadas para la remoción de contaminantes (CEPIS, 2004).

3.2.1. Aspectos microbiológicos

Los organismos presentes en el agua varían dependiendo de su procedencia, las condiciones del ciclo hidrológico y el recorrido que ella realiza. Por ejemplo, en agua naturales, se encuentran organismos vivos que mantienen una relación íntima con el medio que los rodea (Expósito & Hernández, 2014).

Desde el punto de vista bacteriológico, el agua puede contener microorganismos patógenos y no patógenos que de una manera u otra pueden o no comprometer su calidad o en caso contrario ser un gran beneficio sanitario porque sirven para producir un proceso de auto purificación y estabilización de la materia orgánica (Ospina & Orjuela, 2019).

Finalmente, el agua durante su recorrido puede estar en contacto con contaminantes como las heces humanas o animales, conteniendo organismos patógenos como: bacterias (*Escherichia coli*, *Klebsiella* y *Salmonella*), virus de origen entérico (enterovirus, astrovirus, adenovirus, virus de hepatitis A y E), protozoos (*Cryptosporidium*, *Entamoeba histolítica* y *Giardia lamblia*), algas, hongos, larvas y pequeños crustáceos, los cuales pueden causar un incremento en el color, turbidez, mal sabor y olor (Ospina & Orjuela, 2019).

3.2.2. Aspectos fisicoquímicos

Las propiedades físicas son aquellas que definen las características del agua y que responden a los sentidos de gusto, vista y olfato, siendo estas la turbiedad, el color, los sólidos, el olor, el sabor y su temperatura (Rigola, 1999).

En cuanto a los compuestos químicos que se encuentran disueltos en el agua, pueden ser generados de forma natural o industrial y pueden o no generar daños al medio ambiente. Por ejemplo, cuando el agua presenta en pequeñas cantidades compuestos como el hierro y el manganeso no solo causan una coloración, sino que también se oxidan para formar depósitos de hidróxido férrico y óxido de manganeso dentro de las tuberías de agua.

- **Turbiedad**

Se refiere a una percepción óptica regida por la ley de Beer, resultante de la dificultad del paso de la luz a través de una muestra de agua. Por lo tanto, el grado de turbiedad va a estar dada por la concentración de partículas que se encuentran suspendidas, diámetro, dispersión, textura, capacidad de absorción de la luz que contenga la suspensión (Lozano & Lozano, 2015). La turbiedad es el parámetro más usual para medir la calidad del agua por su facilidad de determinación, por razones estéticas y por indicar el grado de contaminación (Ospina & Orjuela, 2019).

- **Color**

El origen del color que presentan las aguas puede ser mineral, producido por compuestos inorgánicos de hierro o manganeso, o de origen orgánico, otorgado por materia orgánica descompuesta, en estado coloidal muy fina o en suspensión. Deben distinguirse el color real o verdadero, que es el producido por las sustancias en solución, y el color aparente o total, que es el que incluye, además del color real, aquel producido por sustancias en suspensión (Rivas, 1963).

De igual manera que la turbiedad, no existe una correlación directa entre el color del agua y su grado de contaminación, pero este puede ser removido por distintos procesos como la sedimentación, filtración, carbón activado, cloración, entre otros (Romero, 2009).

- **Sólidos**

En la práctica pueden definirse como sólidos a todos aquellos compuestos que están disueltos o suspendidos en el agua. Generalmente estos sólidos los conforman carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, sodio, potasio, hierro y manganeso. Por regla general, los sólidos disueltos provienen de las sales inorgánicas; su tamaño es extremadamente pequeño, entre 10^{-5} y 10^{-3} μm , y no pueden ser removidos del agua por los procesos físicos utilizados actualmente en plantas de tratamiento (CEPIS, 1992).

- **Olor y sabor**

Básicamente, el olor y sabor característico de las aguas se debe a materias orgánicas en descomposición, gases disueltos, sales y compuestos inorgánicos, los cuales pueden tener distintas procedencias. Obviamente, aguas con olores y sabores son rechazadas inmediatamente por el consumidor.

Las sustancias que generan olor y sabor en agua cruda pueden ser compuestos orgánicos que se derivan de la actividad microbiológica y de algas o provenientes de descargas de desechos industriales (CEPIS, 2004). Por otro lado, en aguas almacenadas, tal como los embalses, el problema del olor puede empeorarse debido a que la materia orgánica sedimentable presente en el agua puede desplazarse al fondo y sufrir una descomposición anaeróbica. La remoción de olores puede hacerse a través de aireación, carbón activado, cloración, aplicación de sales de cobre, entre otros (González & Olaya, 2011).

- **Temperatura**

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, por lo general influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (CEPIS, 2004). Las temperaturas para la potabilización deberían oscilar entre los 8 y los 15 °C, con un óptimo entre 10 °C y 12 °C. Las elevadas temperaturas en el agua incrementan la corrosión en tuberías y le atribuye mal sabor por la disminución de oxígeno disuelto (Lozano & Lozano, 2015).

- **pH**

Es un término usado para expresar la concentración de iones hidronio $[H^+]$ respecto de la concentración de iones hidroxilo $[OH^-]$ y, consecuentemente, el grado de alcalinidad o de acidez de una muestra de agua que influye sobre la eficacia de los desinfectantes. Adicionalmente, si el agua presenta un valor de pH menor a 7 unidades, el agua puede comportarse como corrosiva, si es mayor a 7 puede originar depósitos de calcio que obstruyen las tuberías de la red de distribución (Lozano & Lozano, 2015). Ahora bien, aunque se podría decir que no tiene algún efecto directo sobre la salud, sí puede influir en procesos de tratamiento de agua, como la coagulación y desinfección (CEPIS, 2004).

- **Aceites y grasas**

En el agua los aceites y las grasas afectan su estética (olor, sabor y apariencia). Sin embargo, a pesar de que su presencia no genere un riesgo a la salud, la normatividad de calidad de agua recomienda que estén ausentes en el agua para consumo humano (CEPIS, 2004).

- **Acidez**

La acidez del agua es una medida de su capacidad para reaccionar con bases fuertes a determinado pH. Los valores de la medición pueden variar significativamente con el punto final, solo cuando se conoce la composición química de la muestra. Los ácidos fuertes, ácidos débiles tales como carbónico, acético y las sales hidrolizadas pueden contribuir a la acidez del agua (Giraldo, 1995).

- **Alcalinidad**

Es una medida de capacidad para neutralizar ácidos. En las aguas naturales la alcalinidad se presenta usualmente en forma de carbonatos y bicarbonatos de calcio, magnesio, sodio y potasio. Dentro de límites razonables, la alcalinidad no tiene importancia sanitaria, pero es muy importante en relación con los procesos de coagulación y correctivos del poder corrosivo del agua. El conocimiento de

este parámetro es esencial en el estudio de un agua, especialmente en el de su agresividad o en el de su tendencia a las incrustaciones, puesto que este fenómeno depende del equilibrio entre el ácido carbónico libre y los bicarbonatos (González & Olaya, 2011).

- **Dureza**

La dureza del agua se debe a la presencia de minerales de calcio y magnesio los cuales están naturalmente presentes en el agua. Ésta es formada cuando el agua pasa a través de piedras calizas y los iones de calcio y magnesio presentes en ellos se disuelven (U.S. Geological Survey, 2014). Además del calcio y el magnesio otras sustancias aportan dureza, como: estroncio, hierro, manganeso, bario y otros cationes polivalentes, los cuales se combinan con aniones como el sulfato, cloruro, nitrato y bicarbonato (Neira, 2006).

La dureza puede ocasionar obstrucciones en tuberías e incrustaciones además de “sarro” en calderas, calentadores, ollas y utensilios de cocina. La dureza no tiene efectos negativos probados sobre la salud (CEPIS, 2004).

Ahora bien, el agua según su concentración de carbonato de calcio se puede clasificar en niveles de dureza; sin embargo, es importante aclarar que el concepto de “agua dura” varía dependiendo del uso que se le va a dar al agua; por ejemplo, para consumo humano, la normatividad colombiana acepta valores de hasta 300mg/L de CaCO_3 , mientras que para uso industrial, en equipos que manejan intercambio de calor, la dureza no debe superar los 2 mg/L de CaCO_3 (Tabla 1. Índices de dureza del agua).

Tabla 1. Índices de dureza del agua.

Rango de dureza (mg/L)	Clasificación
0-50	Suave
50-100	Moderadamente suave
100-150	Ligeramente dura
150-200	Moderadamente dura
200-300	Dura
>300	Muy dura

Fuente: Tomado de Kunin (1972).

La remoción de la dureza en el tratamiento se lleva a cabo mediante la precipitación con cal o mediante el proceso combinado cal-carbonato, conocido como ablandamiento cal-soda. (CEPIS, 2004)

- **Hierro y manganeso**

El hierro es el segundo metal más abundante en la corteza terrestre. Este está presente en el agua cuando ésta pasa a través del suelo y las rocas que contienen este mineral. Ocasionalmente, las tuberías de hierro también son fuente de hierro en el agua (Dvorak, 2014). El hierro en el agua puede ser removido por medio de un ablandador de aguas como los intercambiadores de iones, en los cuales los iones de hierro presentes en el agua se intercambian por iones de sodio (McFarland & Dozier, 2004).

Las concentraciones totales de hierro y manganeso, según la normatividad colombiana para el agua apta para consumo humano, son 0,3 mg/L y 0,1 mg/L, respectivamente; y aunque no se conocen efectos adversos sobre la salud, las concentraciones superiores a 2 mg/L de hierro y mayores de 0,4 mg/L de manganeso imparten sabor desagradable al agua (Giraldo, 1995).

Existen diferentes tecnologías de tratamiento para la remoción de hierro y manganeso como precipitación química, oxidación química (cloro, ozono, permanganato de potasio), oxidación biológica, sistemas de aireación, intercambio iónico, adsorción en medios acondicionados y procesos secuestrantes (American Water Works Association, 2002).

- **Oxígeno Disuelto (OD)**

Su presencia es esencial en el agua; proviene principalmente del aire. Niveles bajos o ausencia de oxígeno en el agua puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación. La presencia de oxígeno disuelto en el agua cruda depende de la temperatura, la presión y la mineralización del agua (Barrenechea, 2004).

- **Carbono Orgánico Total (COT)**

Los compuestos de carbono orgánico varían enormemente. El Carbono Orgánico Total (COT) es una prueba no específica, es decir, el COT no determinará qué compuestos concretos están presentes (la mayoría de las muestras son mezclas complejas que contienen miles de compuestos de carbono orgánico diferentes). En lugar de ello, el COT informará al usuario acerca de la suma de todo el carbono orgánico presente en estas muestras. Las razones para la medición de COT varían dependiendo del sector, pero suelen pertenecer a dos categorías: el control de procesos o el cumplimiento de las normativas. Los métodos para analizar el COT utilizan calor, oxígeno, radiación ultravioleta, oxidantes químicos o combinaciones de estos oxidantes para convertir el carbono orgánico en dióxido de carbono (Restrepo, 2009).

- **Sulfato**

Suelen provenir de la disolución de suelos o rocas que los contienen y le imparten al agua características indeseables, tales como sabores desagradables o ejercen una acción laxativa o purgante (Barrenechea, 2004). Los sulfatos son indeseables cuando se crean condiciones anaeróbicas, ya que fácilmente pueden pasar a sulfuros, especialmente sulfuro de hidrógeno (H_2S), que es un gas de olor nauseabundo y además produce grandes problemas de corrosión en tuberías. Es posible determinar la cantidad de sulfatos contenida en un agua haciéndole una prueba analítica por el método de gravimetría y se pueden eliminar por intercambio iónico (Barrenechea, 2004).

- **Nitritos y nitratos**

Los nitritos y nitratos son iones que existen naturalmente y forman parte del ciclo del nitrógeno, la presencia de estos en aguas subterráneas se debe a prácticas agrícolas y ganaderas; así, la presencia de nitritos y nitratos es común en aguas almacenadas en zonas rurales. La presencia se determina mediante espectrofotometría y puede ser removido del agua mediante procesos como coagulación, floculación, sedimentación y filtración (Giraldo, 1995).

En cuanto a la remoción, los métodos de floculación y ablandamiento con cal no son tan efectivos; por el contrario, el más eficiente es el de resinas de intercambio iónico, que puede remover concentraciones altas como de 30 mg/L y reducirlas hasta 0,5 mg/L. Los nitritos difícilmente se encuentran en aguas tratadas debido a que se oxidan fácilmente y se convierten en nitratos durante la cloración (CEPIS, 2004).

- **Cloruro**

El ion cloruro forma sales muy solubles; suele ir asociado al ion sodio y afecta la potabilidad del agua y su potencial uso agrícola e industrial. El agua con cloruros puede ser muy corrosiva (Lozano Rivas & Lozano Bravo, 2015).

- **Sodio**

El ion sodio corresponde a sales de solubilidad muy elevada y difícil de precipitar y suele eliminarse por intercambio iónico.

- **Aluminio**

Se refiere a la cantidad que existe en el agua potable después del tratamiento con coagulante metálico de aluminio, tales como el sulfato de aluminio y los

policloruros. Se han realizados muchos estudios de efecto del aluminio en la salud, entre ellos se cuentan el mal de Alzhéimer, afecciones en las funciones renales, entre otros (Marín, 2012). Por otro lado, la desmineralización y la osmosis inversa son algunos métodos para remover el aluminio del agua (Carbontecnia, 2020).

- **Boro**

Existe información insuficiente sobre los efectos que causa sobre el bienestar del consumidor; sin embargo, se han realizado estudios en plantas piloto que han demostrado gran eficiencia de remoción de boro en los procesos de ablandamiento cal-soda a pH 8,5–11,3 (98%) (CEPIS, 2004).

- **Cinc**

Las aguas naturales pueden contener cinc en concentraciones muy bajas, el cinc proviene generalmente del contacto con accesorios y estructuras galvanizadas o de bronce. Diferentes estudios demuestran que el cinc no tiene efectos sobre la salud en concentraciones altas, pero tiene un efecto sobre el sabor; por esto su contenido debe limitarse. Su remoción es difícil, estudios reportan que el ablandamiento cal-soda con un pH de 9,5 puede mejorar la eficiencia hasta un rango de 60 a 90% (CEPIS, 2004).

- **Arsénico**

Puede estar presente en el agua en forma natural. Es un elemento muy tóxico para la salud humana. En aguas naturales son menores sus concentraciones; sin embargo, en zonas mineras pueden encontrarse concentraciones más altas. La toxicidad depende de la vía de exposición, del estado de valencia y de su forma química (inorgánica u orgánica). La remoción de arsénico del agua se basa principalmente en su oxidación a su forma pentavalente antes de la coagulación o ablandamiento con cal a pH 11. A escala experimental, este método ha permitido una remoción de 90% de arsénico (CEPIS, 2004).

- **Cobre**

En concentraciones bajas, el cobre no tiene efectos nocivos para la salud; sin embargo, si se ingiere agua que superen los límites permitidos por las normas de calidad, a corto plazo pueden generar molestias gastrointestinales y exposiciones a largo plazo podrían causar lesiones hepáticas o renales. La presencia del cobre en el agua está relacionada principalmente con la corrosión de las cañerías en la vivienda, la erosión de depósitos naturales y el percolado de conservantes de madera, entre otros (CEPIS, 2004). Algunas tecnologías utilizadas para la remoción de cobre en cuerpos de agua son coagulación, filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa (Carbotecnia, 2020).

- **Cadmio**

La contaminación en aguas superficiales con este metal puede ser por la corrosión de tubos galvanizados, erosión, por depósitos naturales o de escorrentías de baterías o pinturas usadas. Este metal pesado es potencialmente tóxico por ser bioacumulativo y su ingestión tiene efectos negativos en el tejido del hígado y los riñones. El proceso de ablandamiento cal-soda puede tener una efectividad cercana al 100%, debido a que se lleva a cabo a pH alto (CEPIS, 2004).

- **Cromo**

El cromo es el segundo metal, después del plomo, más común presente en los acuíferos contaminados. Se ha demostrado que el cromo tiene efectos negativos en la salud, ya que puede ser carcinógeno para los seres humanos. La remoción del Cr (VI) es muy difícil mediante el tratamiento convencional. Se ha encontrado que el sulfato ferroso es razonablemente efectivo como reductor del Cr (VI) a Cr (III) (CEPIS, 2004).

- **Mercurio**

Se considera al mercurio un contaminante no deseable en los cuerpos de agua y es altamente tóxico para el ser humano. Experimentalmente, se ha comprobado que el tratamiento convencional de coagulación-filtración mediante aluminio o sulfato férrico puede remover entre el 70 y 80% de mercurio inorgánico. El proceso de ablandamiento con cal es dependiente del pH, llega a 30% con pH 9,4 y alcanza entre 60 y 80% con un pH entre 10,7 y 11,4. De igual forma se ha probado experimentalmente que las resinas de intercambio iónico son efectivas en la remoción de mercurio hasta 98%, tanto en la forma orgánica como inorgánica (CEPIS, 2004).

- **Cobre**

En concentraciones bajas, el cobre no tiene efectos nocivos para la salud; sin embargo, si se ingiere agua que superen los límites permitidos por las normas de calidad, a corto plazo pueden generar molestias gastrointestinales y exposiciones a largo plazo podrían causar lesiones hepáticas o renales. La presencia del cobre en el agua está relacionada principalmente con la corrosión de las cañerías en la vivienda, la erosión de depósitos naturales y el percolado de conservantes de madera, entre otros (CEPIS, 2004). Algunas tecnologías utilizadas para la remoción de cobre en cuerpos de agua son coagulación, filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa (Carbotecnia, 2020).

- **Selenio**

Es un mineral que suplementa el organismo de los animales y seres humanos, funcionando como antioxidante y estimulando el sistema inmunológico. Su origen está ligado a descargas de residuos mineros, petroleros e industriales, pero también puede provenir de la erosión de depósitos naturales. Entre los principales síntomas que se presentan cuando ocurre una intoxicación con selenio son la caída del cabello y uñas, el adormecimiento de los dedos y problemas circulatorios; en concentraciones altas puede provocar cáncer y mutagénesis (Letavayova et al., 2006). Los reportes indican que el intercambio iónico o la ósmosis inversa mejoran la efectividad de remoción, que puede llegar a ser superior a 90% (CEPIS, 2004).

3.3. Agua potable

El agua potable es aquella que cumple condiciones y características que le permiten ser apta para consumo humano sin generar efectos negativos en la salud. El agua potable debe cumplir parámetros físicos, químicos y biológicos, reglamentados en la normatividad de calidad de agua en Colombia, reguladas en el Decreto 1575 de 2007 por medio del cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano (MPS, 2007).

El agua para consumo humano no debe sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características fisicoquímicas que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos para agua potable.

Característica	Unidades	Máxima concentración
Color aparente	PtCo	15
Turbiedad	NTU	2
pH	-	6,5-9
Cloro residual Libre	mg/L	0,3-2
Alcalinidad total	mg CaCO ₃ /L	200
Calcio	mg/L	60
Fosfatos	mg/L	0,5
Manganeso	mg/L	0,1
Molibdeno	mg/L	0,07
Magnesio	mg/L	36
Zinc	mg/L	3
Dureza total	mg CaCO ₃ /L	300
Sulfatos	mg/L	250
Hierro total	mg/L	0,3
Cloruros	mg/L	250

Característica	Unidades	Máxima concentración
Nitratos	mg/L	10
Nitritos	mg/L	0,1
Aluminio	mg/L	0,2
Fluoruros	mg/L	1
COT	mg C/L	5

PtCo: Unidades platino-cobalto.
NTU: Unidades Nefelométricas de Turbidez.

Fuente: Tomado de MPS (2007).

Las características microbiológicas del agua potable para consumo humano deben enmarcarse en los valores máximos aceptables (Tabla 3).

Tabla 3. Características microbiológicas para agua potable.

Técnica	Coliformes totales	<i>E. coli</i>
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima Sustrato	< de 1 MO en 100 cm ³	< de 1 MO en 100 cm ³
Sustrato definido	0 MO en 100 cm ³	0 Mo en 100 cm ³
Presencia-Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

UFC: Unidades Formadoras de Colonias.
MO: Microorganismos.

Fuente: Tomado de MPS (2007).

3.4. Procesos complementarios

Este diseño consta de procesos y operaciones unitarias de tratamiento no convencionales, como: aireación, ablandamiento, flotación, adsorción e intercambio iónico, los cuales son importantes para la remoción de contaminantes que un proceso convencional no elimina y así mejorar significativamente la calidad de agua que se desea tratar.

3.4.1. Aireación

El agua cruda puede contener altos niveles de hierro y manganeso; para su remoción uno de los métodos más utilizados es la aireación, un proceso químico en el que se propicia la oxidación con el oxígeno para la conversión de los iones solubles de hierro y manganeso a iones insolubles que posteriormente precipitan. La aireación se efectúa mediante caídas de agua en escaleras, cascadas, chorros y también aplicando el gas a la masa de agua mediante aspersión o burbujeo (CEPIS, 2004).

No solo se usa en la remoción de hierro y manganeso, sino también las funciones que ofrece un sistema de aireación la transferencia de oxígeno (oxígeno disuelto)

al agua mejorando sus características fisicoquímicas y organolépticas como olor, sabor y coloración, igualmente, remover gases como CO₂, H₂S, SO₂ (American Water Works Association, 2002). La Tabla 3 presenta los tiempos de contacto para lograr diferentes objetivos con la aireación.

Tabla 4. Objetivos del proceso de aireación y tiempo establecido.

Objetivo	Tiempo mínimo de contacto (s)
Remoción de CO ₂	0,7 – 1,0
Remoción de compuestos orgánicos volátiles (olor y sabor)	1,0 – 1,5
Remoción de H ₂ S	1,5 – 2,0
Absorción de O ₂	0,4 – 0,6

Fuente: Tomado de Lozano Rivas & Lozano Bravo (2015).

La aireación cumple sus objetivos mediante el arrastre o barrido de las sustancias volátiles causado por la mezcla turbulenta del agua con el aire y por proceso de oxidación de los metales y los gases que permite la purificación del agua. La aplicabilidad de los diferentes tipos de aireadores y su dosificación, deben ser determinadas preferiblemente a través de ensayos y así determinar qué tipo de aireación es la mejor opción para mejorar la calidad del agua.

Por otro lado, la cinética de reacción que ocurre con el hierro se basa en la velocidad a la que sucede la reacción de óxido-reducción, dependiendo de las condiciones de pH, temperatura y presencia de sustancias que induzcan un efecto iónico o complejante y respectivamente, acelere o retarde el proceso (Barrera & Campo, 2005).

El hierro se oxida del estado ferroso (Fe⁺²) al férrico (Fe⁺³). La velocidad de oxidación para este proceso es lenta a pH bajos y rápida en aguas bien oxigenadas con valores de pH superiores a 7,2. Además del pH, otros parámetros del agua también han sido considerados por tener un efecto significativo sobre la velocidad de oxidación del hierro: alcalinidad, temperatura, materia orgánica; algunas sustancias, como silicatos, fosfatos o polifosfatos, y efectos catalíticos de algunos elementos (Fuentes, 2013).

- **Torre de bandejas de aireación**

Consisten en múltiples bandejas de forma trapezoidal para reducir el desperdicio de agua por salpicaduras. Estas bandejas cuentan con fondos perforados o mallas metálicas donde se distribuye el agua hasta llegar a un tanque receptor en la base. Generalmente poseen un medio grueso de material absorbente como carbón mineral o carbón coque en el interior, con lo que se busca mejorar

la distribución del agua y favorecer el intercambio de gases. Según Restrepo (2009), el número de bandejas oscila entre 3 y 9, y es muy común encontrar torres de aireación de 5 bandejas con una altura promedio de 2,5 m por torre, como se muestra en la Figura 1 (Restrepo, 2009).



Figura 1. Torre de aireación por bandejas.

Fuente: Tomado de plasticosbyr.com.co.

Tabla 5. Parámetros de referencia de diseño de aireadores de bandejas múltiples.

Parámetro	Valor
Carga hidráulica	500-1500 m/d
Altura total	1,2-3,0 m
Número de bandejas	3 - 9
Distancia entre bandejas	0,3 -0,5 m
Altura de bandeja	0,20 – 0,25 cm
Diámetro medio orificios	0,5 – 06 cm
Separación media entre orificios	0, 25 m
Eficiencia de remoción de CO ₂	60%
Material De lecho de contacto	Carbón activado o coque, ladrillo triturado, cerámica reinas de intercambio iónico
Tamaño del material de contacto	4 – 12 cm
Espesor del lecho de contacto	0,15 – 0,20 m

Fuente: Tomado de MVCT (2017).

En la Tabla 5 se muestran los parámetros que se deben tener en cuenta para el diseño de aireadores de bandejas múltiples.

Como punto de partida para el diseño de las bandejas de aireación se parte del caudal de diseño y de las recomendaciones para los parámetros presentados en la Tabla 5.

El área total de las bandejas puede calcularse empleando el caudal de diseño y la carga hidráulica supuesta, como se muestra en la ecuación 1:

$$A = \frac{Q}{CH} \quad [1]$$

Donde:

A: Área total de las bandejas de aireación (m²)

Q: Caudal de diseño (m³/d)

CH: Carga hidráulica (m³/m².d)

Con el dato del área de bandejas total, se determina el número que se va a utilizar. En el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000), se establece que este número debe estar entre 3 y 5, cumpliendo así con los parámetros del RAS se opta por el número de bandejas que más se ajuste al diseño y facilite su construcción. De acuerdo con estos datos e información se obtiene el área de cada bandeja con la ecuación 2:

$$A_b = \frac{A}{n} \quad [2]$$

A_b: Área total de las bandejas de aireación (m²)

A: Área de cada bandeja (m²)

n: Número de bandejas = 3

Cada una de las bandejas será cuadrada, por lo tanto, se determina la longitud de cada lado con la raíz cuadrada del área como se muestra en la ecuación 3:

$$L_b = \sqrt{A} \quad [3]$$

Donde:

L_b: Longitud de las bandejas (m)

A_b: Área total de las bandejas de aireación (m²)

Posteriormente se procede a diseñar los orificios por donde pasara el agua. Según criterios de norma, se adopta el diámetro de orificio y se espera que la altura de la lámina de agua esté en el rango estipulado. El área de los orificios se determina según presenta la ecuación 4:

$$A_o = \frac{\pi * d_o^2}{4} \quad [4]$$

Donde:

A_o: Área del orificio (m²)

d_o : Diámetro del orificio (m)

Aquí, debe cuidarse que la descarga de los orificios del fondo de las bandejas sea suficiente para que no se rebosen; para esto se calcula el caudal de orificio con ecuación 5:

$$Q_{\text{orificio}} = C_d \cdot A_o \cdot \sqrt{(2gh)} \quad [5]$$

Donde:

Q_{orificio} : Caudal de descarga del orificio (m^3/s)

C_d : Coeficiente de descarga = 0,85

A_o : Área del orificio (m^2)

g : Aceleración de la gravedad = $9,8 \text{ m/s}^2$

h : Altura de la lámina de agua en el interior de la bandeja (m)

Por otro lado, el número de orificios requeridos se calcula a partir del caudal de diseño y de descarga por orificio, con la ecuación 6:

$$N_o = \frac{Q_{\text{diseño}}}{Q_{\text{orificio}}} \quad [6]$$

Ahora bien, como las bandejas son cuadradas, los orificios se distribuyen uniformemente dependiendo del valor del número de orificios, siendo así que, el espacio entre orificio se calcula con la ecuación 7:

$$L_b = (\emptyset_{\text{orificios}} * N_{\text{orificios}}) + (\text{Espacio entre orificios} * N_{\text{espacios}}) \quad [7]$$

El tiempo de contacto o de exposición (t_c) del agua en el aireador, se puede calcular de forma aproximada con la ecuación 8.

$$t_c = n \cdot \sqrt{(2h/g)} \quad [8]$$

Donde:

t_c : Tiempo de contacto o exposición (s)

n : Número de bandejas (adimensional)

h : Distancia entre bandejas (m)

g : Aceleración de la gravedad = $9,8 \text{ m/s}^2$

- **Tanque de aireación**

En estos sistemas se aumenta el oxígeno disuelto por un suministro de aire a través de una bomba y difusores, los cuales tienen la función de transformar el flujo de aire en pequeñas burbujas. Estas burbujas producen un intercambio gaseoso,

creando una corriente que aumenta la superficie acuosa que está en contacto con el aire en el agua, produciendo la oxidación del ion ferroso (Fe^{+2}) al férrico (Fe^{+3}), transformándolo a su estado insoluble. Cuando se finaliza el proceso de aireación, se deja el agua en total reposo, permitiendo que el hierro que se oxida precipite. Los resultados de la oxidación del ion ferroso son variables; dependen de la duración del proceso, de la calidad del agua y el caudal de aire en el sistema, entre otros. Generalmente, los estudios analizan el efecto de la aireación en función del tiempo, aplicando distintas intensidades con el fin de determinar las condiciones de duración y oxigenación del agua y cómo estas influyen en la remoción del hierro.

El estudio cinético realizado por Munyengabe, Zvinowanda, Zvimba, & Ramontja, (2020), con espectroscopia UV-Vis, mostró un consumo total de ion ferroso durante su oxidación, logrando una oxidación entre el 98.32 y 99.95% a los 15 minutos y 30 minutos y una oxidación del 99,95% a los 60 minutos.

Ahora bien, en el estudio de análisis experimental de la oxidación del hierro en aguas subterráneas a través de aireación, realizado por Fuentes (2013) para una concentración inicial de hierro de 1,9 mg/l, se utilizó un caudal de aireación de 3,7 L/min y otro de 9,2 L/min. A varios niveles de tiempo de aireación se obtuvieron porcentajes de remoción de 66,72%, a 2 h de aireación, empleando un caudal de 9,2 L/min; mientras que, empleando un caudal de 3,7 L/min, la remoción alcanza 51,14%. Para los tiempos de 30 min se logró una remoción del 15,46% y 24,74% para el caudal de aireación de 3,7 L/min y 9,2 L/min, respectivamente, mientras que para el tiempo de contacto de 60 min se logró una remoción del 30,13% y 32,64% para el caudal de aireación de 3,7 L/min y 9,2 L/min, respectivamente. En los resultados se determinó que el porcentaje de oxidación del hierro siempre será mayor donde se utiliza una mayor cantidad de aire suministrado.

Con el tiempo de contacto y el caudal de diseño se determina el volumen del tanque con la ecuación 9:

$$V_T = Q_d * t \quad [9]$$

Donde:

Q_d : Caudal de diseño (m^3/s)

V_T : Volumen del tanque (m^3)

t : Tiempo de contacto de aireación (s)

Para el dimensionamiento del tanque rectangular y circular se hace uso de las siguientes ecuaciones y consideraciones.

Para el dimensionamiento del tanque rectangular se supone el largo y ancho; posteriormente, con estos datos y el volumen hallado anteriormente con la ecuación 9, se determina su altura con la ecuación 10:

$$h_{Tr} = \frac{Vol}{L * A} \quad [10]$$

Donde:

h_{Tr} : Altura del tanque rectangular (m)

Vol: Volumen del tanque (m^3)

L: Largo del tanque (m)

A: Ancho del tanque (m)

Para el dimensionamiento de un tanque circular, se supone su radio y posteriormente se determina su área transversal y altura con las ecuaciones 11 y 12, respectivamente:

$$A = \pi * r^2 \quad [11]$$

Donde:

A: Área transversal (m^2)

r: Radio (m)

$$h_{Tc} = \frac{Vol}{A} \quad [12]$$

Donde:

h_{Tc} : Altura del tanque circular (m)

A: Área transversal (m^2)

Vol: Volumen del tanque (m^3)

La remoción de hierro generalmente se ve favorecida cuando su pH se encuentra entre 5 y 11 debido a que en este rango es muy insoluble el hidróxido férrico ($Fe(OH)_3$), forma en la que se precipita el hierro. Por medio del uso de los lechos de contacto en las bandejas de los aireadores o en tanques de retención se desarrollan recubrimientos de óxidos férricos los cuales mejoran altamente la remoción al acelerar la oxidación (Prada & Robelto, 2016).

3.4.2. Ablandamiento

El ablandamiento es un proceso químico que tiene como propósito principal la remoción de la dureza. Sin embargo, se ha demostrado otros beneficios de los sistemas de ablandamiento de cal-soda que incluyen la eliminación de metales pesados, turbidez y patógenos; así como mejora la calidad del agua. Lo anterior,

reduce los costos asociados a la corrosión del sistema de distribución, calderas y refrigeración, y los sistemas de calentadores de agua domésticos (Mackenzie, 2010). A su vez, la selección de productos químicos y su dosificación, además del diseño del proceso, depende de la composición del agua cruda. Las alternativas de proceso que se describen a continuación son una selección de las muchas que se pueden implementar para la remoción de la dureza (Mackenzie, 2010).

Hay diferentes tipos de ablandamiento asociados a la presencia de iones calcio y magnesio:

- **Ablandamiento con cal:** También llamada remoción selectiva de calcio o ablandamiento parcial de cal. Este proceso se aplica a aguas con baja dureza magnésica y elimina solo la dureza causada por el calcio bajo un pH de control deseado de 10,3.
- **Ablandamiento con exceso de cal:** Esta alternativa se aplica a aguas con alta dureza magnésica y elimina la dureza causada por calcio y magnesio. El pH de control deseado es 11,3.
- **Ablandamiento con exceso de cal-soda:** Esta alternativa se aplica a aguas con alta dureza magnésica, agregando tanto cal como carbonato de sodio, y elimina tanto la dureza carbonatada como la no carbonatada causado por calcio y magnesio. El pH de control deseado es 11,3.

Para el diseño del sistema de ablandamiento se tiene en cuenta que es similar a los sistemas convencionales que se utilizan para coagulación y floculación; debido a esto, los criterios de diseño se especifican de una manera similar. En la Figura 2 se muestra el tren de tratamiento de ablandamiento para una y dos etapas.

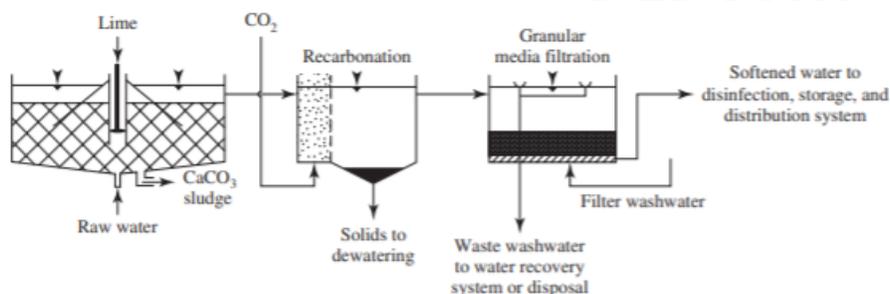


Figura 2. Tratamiento de cal en una sola etapa.

Fuente: Tomado de Mackenzie L.(2010).

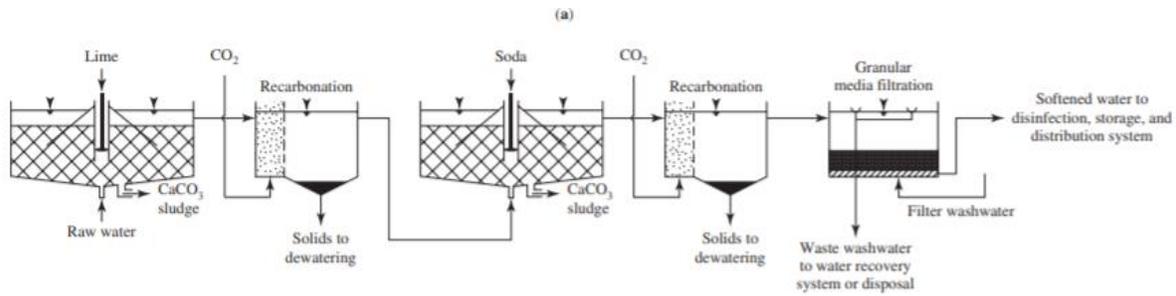


Figura 3. Tratamiento de exceso de cal y soda en dos etapas.

Fuente: Tomado de Mackenzie L.(2010).

En la Figura 3 se ilustra el tren de tratamiento de exceso cal-soda, mostrando los procesos de floculación y sedimentación. Para el diseño del sistema se deben tener en cuenta dos sistemas de mezcla rápida (donde mezcla el agua con los reactivos químicos, cal y soda, que se inyectan en forma de solución a través de otro sistema hidráulico), dos floculadores y dos sedimentadores.

Las ecuaciones de diseño para los sistemas de mezcla rápida, el floculador horizontal y el sedimentador se llevaron de acuerdo con los planteamientos de la primera etapa del diseño constructivo de la planta piloto de potabilización para el Laboratorio de Procesos Físicoquímicos de la Universidad de Antioquia (Obando & Uribe, 2021).

Para el proceso de ablandamiento por precipitación química con exceso de cal-soda, Wills & Castro (2009) recomiendan una velocidad de 125 rpm durante 1 min para la mezcla rápida y una velocidad de agitación de 40 rpm durante 15 min para la mezcla lenta. Además de realizar una primera recarbonatación, adicionando dióxido de carbono (CO_2) hasta obtener un pH cercano a 9.0 en el proceso de dosificación de cal, se realiza una segunda recarbonatación hasta obtener un pH cercano a 7.0 (Wills & Castro, 2009).

Oliva (2005) ejecutó 10 pruebas a agua subterránea de varias zonas de Honduras, Guatemala y El Salvador con la finalidad de encontrar las dosis adecuadas de cal y soda. Para el cálculo, Oliva (2005) usó la prueba de jarras, en la que la mezcla rápida fue de 100 rpm durante un minuto y la mezcla lenta entre 80 – 90 rpm durante 20 minutos para posteriormente sedimentar por un periodo entre 15 a 90 minutos. La investigadora concluye indicando que las dosificaciones óptimas para retirar el 75% de dureza como mg/L de CaCO_3 varía de 250 y 1100 mg/L de cal y 350 y 2100 de soda Ash, con tiempos de mezcla lenta de 15 a 25 minutos y rápida de 1 minuto y con periodos de sedimentación entre 30 a 90 minutos.

- **Sistema de mezcla rápida**

Hidráulicamente se denomina al proceso de mezcla rápida al aprovechamiento de la agitación o turbulencia producida en el agua para mezclar un producto químico una vez hace contacto con el medio acuoso (Obando & Uribe, 2021). Es un proceso químico en el que ocurren reacciones propiciadas por la transferencia de masa.

Vertedero triangular

Los vertederos hidráulicos son estructuras simples y su objetivo es conducir de manera controlada un flujo superficial. Estas estructuras permiten estimar el gasto que transcurre a través de la sección por unidad de tiempo. Para llevar a cabo su correcto funcionamiento, se deben respetar ciertos límites y rangos que dependen del tipo y geometría de la estructura; solo así se garantiza que funcionan hidráulicamente bien. Para este caso de estudio, debido a la restricción que impone el caudal de trabajo, solo se diseñará un vertedero triangular con escotadura en “V” de 20° (Obando & Uribe, 2021).

El diseño del vertedero triangular se basó en el método de Lozano-Rivas (2015) para vertederos rectangulares, el cual puede aplicarse para vertederos triangulares. Se tiene precaución con la hidráulica, pero siempre y cuando se cumplan con los parámetros mínimos que exige el método:

- Es aplicable para caudales entre 0,10 L/s y 500 L/s.
- Proporciona gradientes entre 1000 s⁻¹ y 2200 s⁻¹.
- Genera tiempos de mezcla entre 0,30 s y 1,2 s.
- Número de Froude =5,3 para todos los valores.
- Para todos los valores $P/h_c > 3$, de manera que el mezclador también sirve como aforador.

Las ecuaciones utilizadas para el diseño del sistema se presentan a continuación. Después de tomar el valor de q, se calcula la caída de agua en metros, con la ecuación 13:

$$P = 4,2 (q)^{2/3} \quad [13]$$

Donde:

P: Caída de agua (m)

q: Caudal unitario (m³/m.s)

A partir del caudal de diseño se ingresa a la curva de la Figura 4 para obtener un valor de caudal unitario [q (m³/m-s)] para cada caudal de diseño [Q (L/s)].

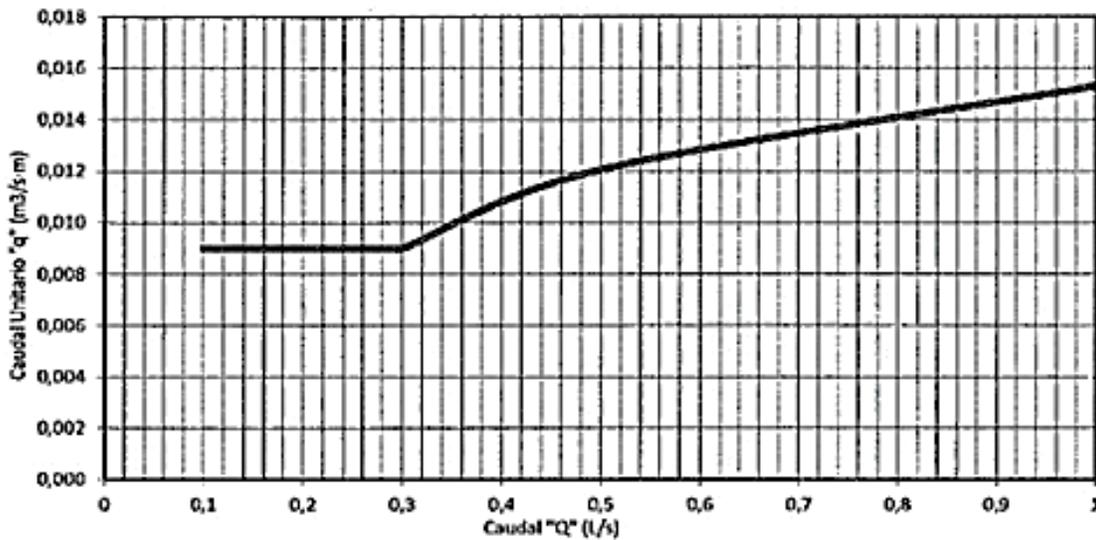


Figura 4. Caudales unitarios recomendados para mezcla rápida en vertederos con caudales entre 0,1 y 1 L/s – Método Lozano – Rivas.

Fuente: Tomado de Lozano-Rivas & Lozano Bravo (2015).

El ancho del vertedero se determina con la ecuación 14:

$$B = \frac{Q}{q} \quad [14]$$

Donde:

B: Ancho del vertedero (m)

Q: Caudal de diseño (m³/s)

q: Caudal unitario (m³/m.s)

Para determinar la distancia en que se produce el punto de mayor turbulencia, para la aplicación del producto químico se utiliza la ecuación 15:

$$L_m = 0,595 \times P \quad [15]$$

Donde:

L_m : Distancia en que se produce el punto de mayor turbulencia (m)

P: Caída de agua (m)

La altura crítica se determina con la ecuación 16:

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{1/3} \quad [16]$$

Donde:

h_c : Altura crítica (m)
 q : Caudal unitario ($m^3/m.s$)
 g : Aceleración de la gravedad = $9,81 m/s^2$

La altura lámina de agua se determina con la ecuación 17:

$$H_{\text{agua}} = \left(\frac{Q}{1,84 \times B} \right)^{2/3} \quad [17]$$

Donde:
 H_{agua} : Altura lámina de agua (m)
 Q : Caudal (m^3/s)
 B : Ancho del vertedero (m)

La profundidad del agua en la sección de máxima turbulencia se relaciona con la profundidad crítica (ecuación 18):

$$h_1 = \frac{h_c \times \sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} \quad [18]$$

Donde:
 h_1 : Profundidad del agua en la sección de máxima turbulencia (m)
 h_c : Altura crítica (m)
 P : Caída de agua (m)

Con la ecuación 19 se determina la velocidad en el punto de máxima turbulencia:

$$V_1 = \frac{q}{h_1} \quad [19]$$

Donde:
 V_1 : Velocidad en el punto de máxima turbulencia (m/s)
 q : Caudal unitario ($m^3/m.s$)
 h_1 : Profundidad del agua en la sección de máxima turbulencia (m)

El número de Froude se determina con la ecuación 20:

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g \times h_1}} \quad [20]$$

Donde:

F_1 =Número de Froude

h_1 =Profundidad del agua en la sección de máxima turbulencia (m)

V_1 =Velocidad en el punto de máxima turbulencia (m/s)

g = Aceleración de la gravedad = 9,81 m/s²

La profundidad después del resalto se halla con la ecuación 21:

$$h_2 = \frac{\sqrt{1 + (8 \times F_1^2)} - 1}{2} \times h_1 \quad [21]$$

Donde:

h_2 : Profundidad después del resalto (m)

F_1 : Número de Froude

h_1 : Profundidad del agua en la sección de máxima turbulencia (m)

La pérdida de energía en el resalto puede estimarse con la ecuación 22:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 \times h_1 \times h_2} \quad [22]$$

Donde:

h : Pérdida de energía (m)

h_1 : Profundidad del agua en la sección de máxima turbulencia (m)

h_2 : Profundidad después del resalto (m)

La longitud del resalto se define con la ecuación 23:

$$L_j = 6 \times (h_2 - h_1) \quad [23]$$

Donde:

L_j : Longitud del resalto (m)

h_2 : Profundidad después del resalto (m)

h_1 : Profundidad del agua en la sección de máxima turbulencia (m)

La velocidad después del resalto está dada por la ecuación 24:

$$V_2 = \frac{q}{h_2} \quad [24]$$

Donde:

V_2 : Velocidad después del resalto (m/s)

q : Caudal unitario (m³/m.s)

h_2 : Profundidad después del resalto (m)

La velocidad media, será:

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad [25]$$

Donde:

V_m : Velocidad media (m/s)

V_2 : Velocidad después del resalto (m/s)

V_1 : Velocidad en el punto de máxima turbulencia (m/s)

El tiempo de mezcla se determina con la ecuación 26:

$$T = \frac{L_j}{V_m} \quad [26]$$

Donde:

T: Tiempo de mezcla (s)

V_m : Velocidad media (m/s)

L_j : Longitud del resalto (m)

El gradiente de mezcla se determina con la ecuación 27:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \times h}{\mu \times T}} \quad [27]$$

Donde:

G: Gradiente de mezcla en (s⁻¹)

h: Pérdida de energía (m)

γ : Densidad del agua = 997,86 kg/ m³

μ : Viscosidad cinemática = 0,000955 N.s/m²

La Figura 5 muestra la representación de los parámetros hallados con las ecuaciones mostradas con anterioridad.

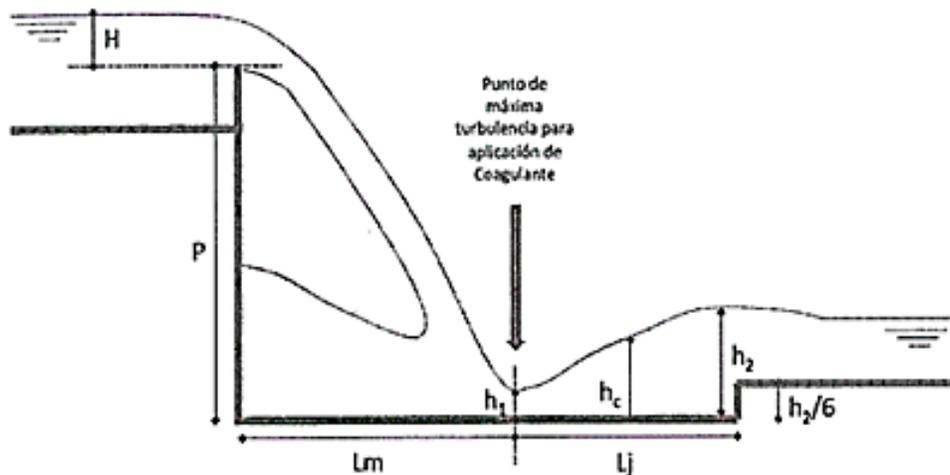


Figura 5. Perfil vertedero triangular vista lateral.
Fuente: Tomado de Lozano-Rivas & Lozano Bravo (2015).

Mezclador estático en línea

Los mezcladores estáticos en línea son muy utilizados en la industria para generar agitación o mezcla. Son prácticos, no requieren de una fuente externa de energía y son altamente eficientes en el proceso de mezcla rápida, ya que logran homogeneizar completamente los componentes que pasan a través de él. Internamente, estas unidades se componen de elementos fijos helicoidales (Figura 6), los cuales están fijos en su posición obligando al flujo a seguir una trayectoria que, por los cambios de dirección tan abruptos, se generan gradientes de mezcla entre 600 s^{-1} hasta 1000 s^{-1} .

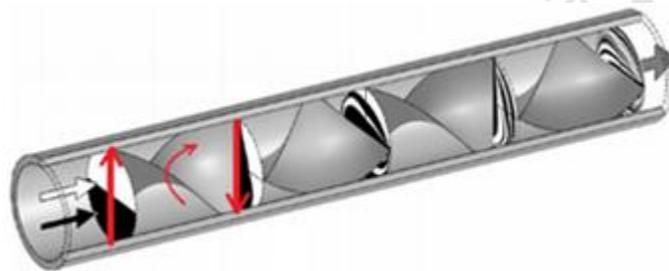


Figura 6. Mezclador estático, corte 3D transversal.
Fuente: Tomado de Díaz (2016).

Realmente los gradientes que se generan dependen de la longitud de la sección, la cantidad de elementos de mezcla y, en especial, de la velocidad de flujo, siendo este último parámetro la principal desventaja del dispositivo. Este mezclador no dispone de un sistema de inyección de químicos, por lo que en el proceso es necesario utilizar una bomba, la cual servirá para introducir los productos químicos en el mezclador con una corriente inyectada. Normalmente,

cuando se tienen sistemas compuestos de tubería lisa en los que la viscosidad del fluido de trabajo es baja, no se requiere estrictamente el uso de un mezclador estático; basta con incorporar los elementos de mezcla en la sección que destinaremos para dicho fin (Davis, 2010).

Para determinar los parámetros necesarios para el diseño, es necesaria una construcción piloto y realizar pruebas para la obtención de: longitud del mezclador, número de piezas, tamaño y densidad de las piezas, coeficiente de variación con el tiempo (COV), gradiente de mezcla alcanzado. Actualmente se cuenta con modelos matemáticos y paquetes de *software* donde se pueden simular dichas condiciones. En este caso se tomó de referencia la literatura disponible y datos suministrados de una planta piloto con características similares, perteneciente al grupo de investigación GIGA de la Universidad de Antioquia (Obando & Uribe, 2021).

Las ecuaciones utilizadas para el diseño del sistema se presentan a continuación. Inicialmente se determina el volumen de la tubería con la ecuación 28:

$$\text{Vol}_{\text{tubería}} = \text{Longitud tub} \times \phi \quad [28]$$

Donde:

$\text{Vol}_{\text{tubería}}$: Volumen de la tubería (m^3)

L_T : Longitud de la tubería (m)

Φ : Diámetro interno de la tubería (m)

El volumen de una pieza de la unidad se determina con la ecuación 29:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [29]$$

Donde:

ρ : Densidad de la pieza (g/cm^3)

M : Masa de la pieza (g); se determina en laboratorio.

V : Volumen de la pieza (m^3)

El volumen de todas las piezas de la unidad se halla con la ecuación 30:

$$V_t = p \times N \quad [30]$$

Donde:

V_t : Volumen de todas las piezas (g/cm^3)

N : Número de piezas

p : Densidad de la pieza (g/cm^3)

El volumen útil de la unidad se determina con la ecuación 31:

$$V_u = V_{\text{tubería}} - V_t \quad [31]$$

Donde:

V_u : Volumen útil (m^3)

V_t : Volumen de todas las piezas (g/cm^3)

$V_{\text{tubería}}$: Volumen de la tubería (m^3)

El tiempo de retención hidráulico del mezclador esta dado por la ecuación 32:

$$TRH = \frac{Vol_{\text{util}}}{Q} \quad [32]$$

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulico (s)

Vol_{util} : Volumen útil (m^3)

Q: Caudal de trabajo (m^3/s)

Por último, el gradiente de mezcla de la unidad se determina con la ecuación 33:

$$G = \sqrt{\left(\frac{g \times h_L}{\vartheta \times TRH}\right)} \quad [33]$$

Donde:

G: Gradiente de velocidad (s^{-1})

TRH: Tiempo de retención hidráulico (s)

ϑ : Viscosidad cinemática (m^2/s)

h_L : Pérdida de carga (m)

Tubo Venturi

Un tubo Venturi es un dispositivo de paso reducido en el que el diámetro del paso es más pequeño que la entrada o la salida (Figura 7).

Estos sistemas operan en un rango de presiones y requieren una presión mínima diferencial entre los extremos de entrada y de salida para iniciar el vacío en el puerto de succión. El inyector comienza cuando la presión negativa o succión se presenta en la entrada auxiliar del dispositivo, el cual es el resultado del flujo que transcurre en ese instante de tiempo a través del Venturi, consiguiendo una dosificación continua a la vez que genera una pequeña mezcla entre el químico aplicado y el fluido en cuestión. Adicionalmente, cuando se detenga la

operación de la planta, el sistema dejará de funcionar inmediatamente debido a que el dispositivo requiere de un flujo a presión y de una velocidad estricta para generar contrapresión.



Figura 7. Tubo Venturi.

Fuente: Tomado de

<http://www.copersa.com/es/catalogo/fertirrigacion/inyectores-venturi-mazzei/p:71/>

Por otro lado, la pérdida de carga en estos sistemas corresponde a la caída de presión que se da entre la entrada y la salida del dispositivo. Esta pérdida de carga debe manejarse con cuidado en los cálculos ya que estimar erróneamente este parámetro se traduce en sobrepresiones o nula presión y por lo tanto nula succión (Hydro Environment, s.f).

Las ecuaciones utilizadas para el diseño del sistema se presentan a continuación. El gradiente esta dado por la ecuación 34:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma \times q \times h_f}{\mu \times V}} \quad [34]$$

Donde:

G: Gradiente de mezcla (s^{-1})

q: Caudal unitario ($m^3/m.s$)

h_f : Pérdida de carga (m)

γ : Densidad del agua = $997,86 \text{ kg/ m}^3$

μ : Viscosidad cinemática = $0,000955 \text{ N.s/m}^2$

V: Volumen de mezcla (m^3)

La pérdida de carga se determina con la ecuación 35:

$$h_f = 10,3 \times n^2 \times \left(\frac{Q^2}{D^{5.33}} \right) \times L \quad [35]$$

Donde:

h_f : Pérdida de carga (m)
 n : Coeficiente rugosidad (adimensional)
 Q : Caudal (m^3/s)
 D : Diámetro interno tubería (m)
 L : Longitud de la tubería (m)

El coeficiente de descarga esta dado por la ecuación 36:

$$C = \frac{Q}{\sqrt{2 \times g \times \Delta h \times A}} \quad [36]$$

Donde:

Q : Caudal (m^3/s)
 g : Aceleración de la gravedad = $9,81 \text{ m/s}^2$
 A : Área de la sección transversal de tubería (m^2)
 Δh : Pérdida de carga (m)

Estos dispositivos son comerciales y económicamente accesibles, por lo que llevar a cabo su diseño y posterior elaboración tendría un costo mayor que adquirirlo; sin embargo, se presentará una memoria de cálculo con la formulación matemática necesaria para su diseño.

• **Floculación**

La floculación es una operación física mediante la cual, con la adición de sustancias químicas durante la mezcla rápida, se propicia la aglutinación de partículas coloidales desestabilizadas para formar flóculos o el crecimiento de sales para formar cristales, facilitando posteriormente su sedimentación (Romero, 2000). Es un paso del proceso de potabilización de aguas de origen superficial, subterráneo y del tratamiento de aguas servidas domésticas, industriales y de la minería (Expósito & Hernández, 2014). En ocasiones, la floculación puede complementarse con la adición de otras sustancias químicas denominadas floculantes, que actúan mediante mecanismos físicos sobre los flóculos o cristales.

Pueden diferenciarse dos tipos de floculación:

- **Floculación pericinética:** Actúa al iniciar el proceso, principalmente afectando a partículas de tamaño infinitesimal o menores a un micrón; se produce por el movimiento natural del agua y esta inducida por la energía térmica, este movimiento es conocido como el movimiento Browniano.
- **Floculación orticinética:** Actúa durante el resto del proceso, durante 20 a 30 minutos. se basa en las colisiones de las partículas debido al movimiento

del agua, el que es inducido por una energía exterior a la masa de agua que puede ser de origen mecánico o hidráulico.

Los floculadores pueden clasificarse dependiendo de la energía de agitación generada y el sentido del flujo. Pueden ser hidráulicos según su flujo en horizontales y verticales, los mecánicos en rotativos y reciprocantes y los hidromecánicos en flujo horizontal (Arboleda, 2000).

Para el diseño del proceso de ablandamiento se optó por un floculador hidráulico de flujo horizontal, ya que son muy implementados en el campo de la ingeniería por su eficiencia y economía.

Con el tiempo de retención hidráulico y su velocidad, se calcula la longitud del canal de floculación con la ecuación 37:

$$L = V * T * 60 \quad [37]$$

Donde:

L: Longitud del canal de floculación (m)

V: Velocidad media de flujo (m/s)

T: Tiempo de retención hidráulico (min)

El área transversal "A" del canal, se calcula utilizando la ecuación 38:

$$A = \frac{Q}{V} \quad [38]$$

Donde:

A: Área transversal del canal (m²)

Q: Caudal de diseño (m³/s)

V: Velocidad media de flujo (m/s)

El ancho del canal o espacios entre tabiques "b", para cada una de las zonas, se determina con la ecuación 39:

$$b = \frac{A}{H_U} \quad [39]$$

Donde:

b: Ancho del canal (m)

A: Área transversal del canal en (m²)

H_U: Altura útil (m)

El espacio entre el extremo del tabique “E” y la pared, se determina con la ecuación 40:

$$E = 1,5 \times b \quad [40]$$

Donde:

E: Espacio en el extremo del tabique y la pared (m)

b: Ancho del canal (m)

Frente a la velocidad a través de tabiques en el sistema de floculación debe encontrarse en el rango de 0,15 a 0,36 m / s (Mackenzie, 2010).

Se deben verificar que las velocidades en los puntos de giro, y que no excedan el rango establecido, para evitar ruptura de flocs, así (ecuación 41):

$$V_g = \frac{Q}{E \times H_u} \quad [41]$$

Donde:

V_g : Velocidad de giro (m/s)

Q: Caudal de diseño en (m³/s)

E: Espacio en el extremo del tabique y la pared (m)

H_u : Altura útil (m)

El ancho útil total del tanque, se determina con la ecuación 42;

$$B = \text{Ancho del tabique} + E \quad [42]$$

Donde:

B: Ancho útil total del tanque (m)

E: Espacio en el extremo del tabique y la pared (m)

El número de tramos del canal dependerá del número de cambios de dirección, y del ancho útil, así (ecuación 43):

$$M = \frac{L}{B} \quad [43]$$

Donde:

M: Número de tramos del canal

L: Longitud del canal de floculación (m)

B: Ancho útil total del tanque (m)

El número de tabiques se determina con la ecuación 44:

$$N = M - 1 \quad [44]$$

Donde:

N: Número de tabiques

M: Número de tramos del canal

El largo del floculador se determina con la ecuación 45:

$$P = (N \times e) + (M \times b) \quad [45]$$

Donde:

P: Largo del floculador (m)

e: Espesor del tabique (m)

N: Número de tabiques

M: Número de tramos del canal

b: Ancho del canal (m)

Se calculan las pérdidas por fricción con la ecuación 46:

$$h_1 = k \times N \times \frac{V^2}{2g} \quad [46]$$

Donde:

h_1 : Pérdidas (m)

k: Coeficiente de pérdida de carga

N: Número de tabiques

V: Velocidad de flujo (m/s)

Para estimar las pérdidas por accesorios, se tiene en cuenta la ecuación 47:

$$h_2 = \left(\frac{n \times V}{R_h^{2/3}} \right)^2 \times L \quad [47]$$

Donde:

h_2 : Pérdidas menores (m)

n: Coeficiente de rugosidad del material (adimensional)

V: Velocidad de flujo (m/s)

R_h : Radio hidráulico (m)

L: Longitud del canal de floculación (m)

La pérdida total, se halla con la ecuación 48:

$$H = h_1 + h_2 \quad [48]$$

Donde:

H: Pérdida total (m)

h_1 : Pérdidas por fricción (m)

h_2 : Pérdidas por accesorios (m)

El gradiente de mezcla se determina con la ecuación 49:

$$G = \sqrt{\frac{9,81 \times H}{\vartheta \times T}} \quad [49]$$

Donde:

G: Gradiente de mezcla (s^{-1})

ϑ : Viscosidad cinemática (m^2/s)

T: Tiempo de mezcla (s)

Para finalizar, se verifica el número de Camp para todo el floculador con la ecuación 50:

$$N_{\text{camp}} = \sum G \times T \quad [50]$$

Donde:

N_{camp} : Número de Camp para todo el floculador (adimensional)

G: Gradiente de mezcla (s^{-1})

T: Tiempo de mezcla (s)

• Sedimentación

La sedimentación es una operación física que consiste en la remoción por efecto de la gravedad de las partículas en suspensión presentes en el agua, las cuales deben tener un peso específico mayor que el fluido que las contiene. Existen dos tipos de sedimentación, la sedimentación de partículas discretas con tamaño, forma y peso no variable mientras se sedimentan (por ejemplo arenas), y la sedimentación de partículas floculentas que pueden agregarse y variar su densidad, peso, volumen y tamaño mientras se sedimentan (por ejemplo, coloides aglomerados) (Lozano-Rivas & Lozano-Bravo, 2015).

La sedimentación y la filtración se consideran como procesos complementarios, debido a que realizan la separación de las partículas más densas que el agua. Los dos tipos de sedimentadores más empleados son:

Sedimentador de flujo horizontal

Por lo general son rectangulares y alargados (Figura 8), con pendientes en el fondo para la acumulación de los sedimentos y aunque manejan altos caudales, son lentos y ocupan mayores áreas. Trabajan con velocidades muy bajas para evitar la remoción de las partículas, con tiempos de sedimentación superiores a 1½ - 5 h y 3-5 m de profundidad. Para este tipo de sedimentador el régimen de flujo debe ser laminar (Loayza, 2019).

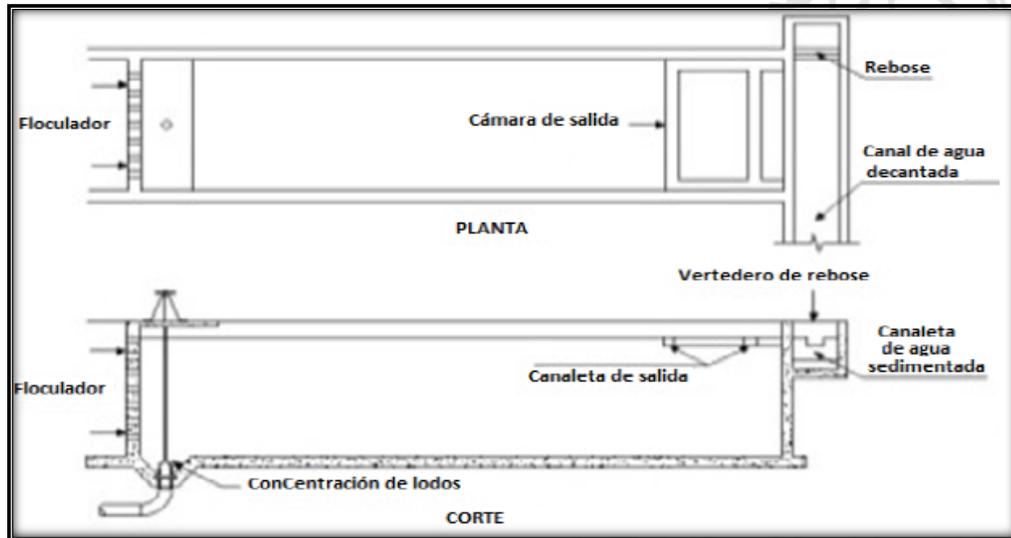


Figura 8: Sedimentador de flujo horizontal.

Fuente: Tomado de CEPIS (2004).

Sedimentador de alta tasa o de flujo laminar

Se caracterizan por mejorar la capacidad del tratamiento y son unidades con poca profundidad que incorporan módulos con tubos circulares, cuadrados, hexagonales, octogonales, de placas planas paralelas, de placas onduladas o de otras formas en tanques poco profundos, con tiempos de retención menores a 15 minutos. La principal característica de un sedimentador de tasa alta es su poca profundidad (Figura 9). También, en los pequeños conductos usados, se puede desarrollar flujo laminar, en donde el flujo de agua floculada debe distribuirse uniformemente entre canales y tuberías diseñadas para asegurar una distribución uniforme en toda el área superficial del decantador (Romero, 2006).

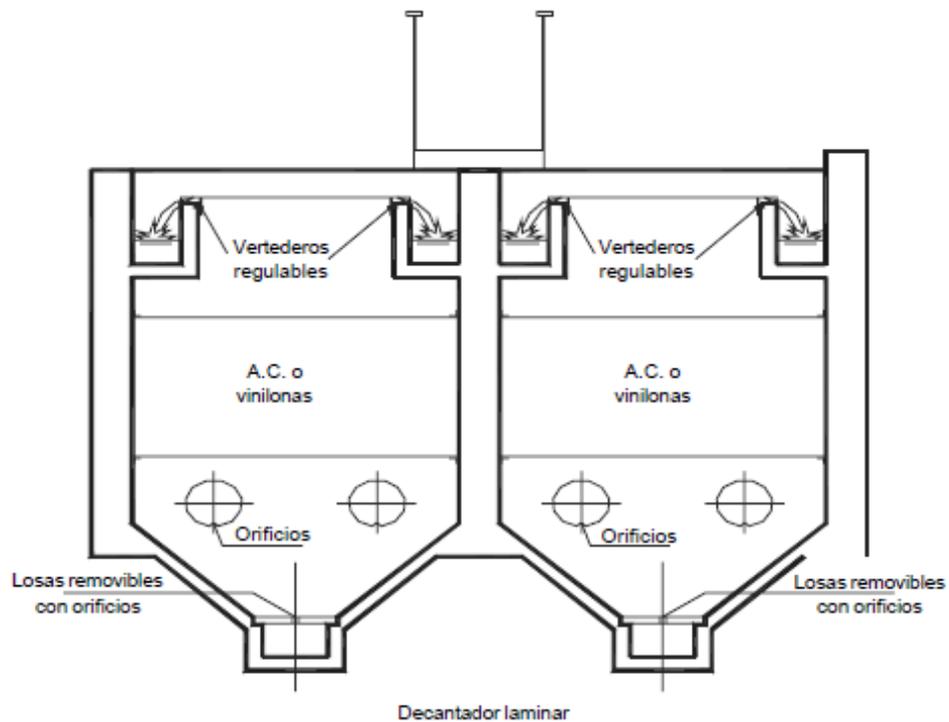
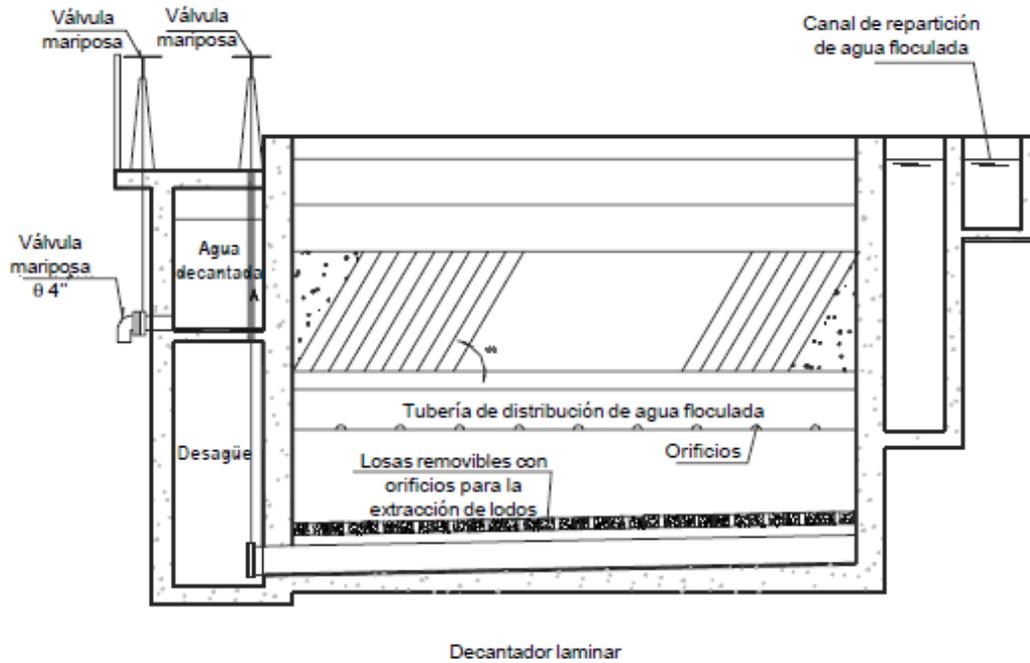


Figura 9: Perfil en corte de un sedimentador de alta fasa.
Fuente: Tomado de CEPIS (2004).

Este tipo de unidades tiene cuatro (4) zonas en las cuales se realiza todo el proceso, como se muestra en la figura Figura 10 (CEPIS, 2004):

- **Zona de ingreso:** Canal o tubería (múltiple de distribución) donde se distribuye de manera uniforme el agua floculada al módulo de placas.
- **Zona de decantación:** Pantallas paralelas de lona, planchas de asbesto-cemento, plástico o fibra de vidrio, donde se delimita una zona en la cual las partículas quedan retenidas, dejando fluir el agua y partículas de igual densidad que ella.
- **Zona de salida:** Sistema de recolección del agua decantada mediante canaletas, tuberías perforadas o vertederos perimetrales o canaletas dientes de sierra.
- **Zona de depósito y extracción de lodos:** Tolvas de almacenamiento continuas, múltiples y sistema hidráulico de extracción uniforme de lodos, mediante colector múltiple y sifones.

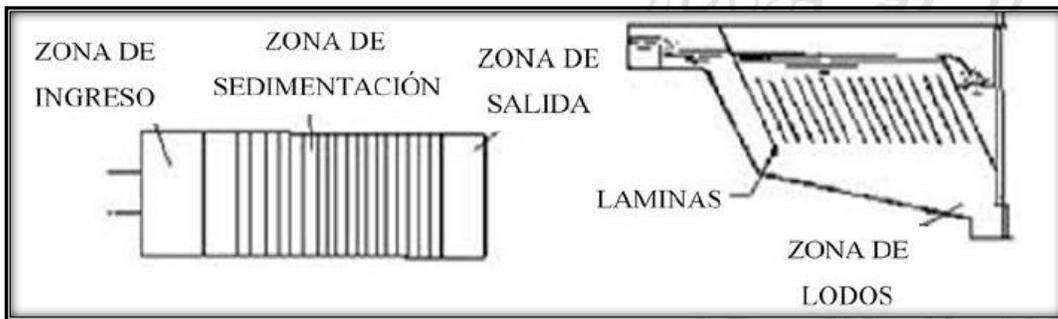


Figura 10. Zonas de sedimentadores de alta tasa.

Fuente: Tomado de CEPIS (2004).

Para el diseño del sedimentador se utilizan las siguientes ecuaciones. Se debe determinar la longitud relativa (ecuación 51):

$$L = \frac{E}{B} \quad [51]$$

Donde:

L: Longitud relativa (m)

E: Separación entre placas recalculadas (m)

B: Ancho de placa (m)

La profundidad del sedimentado ser determina con la ecuación 52:

$$l = \frac{h}{\sin \theta} \quad [52]$$

Donde:

l: Profundidad del sedimentador (m)
 h: Profundidad de las placas (m)
 θ : Inclinación de las placas ($^{\circ}$)

La separación entre placas está dada por la ecuación 53:

$$E = \frac{L}{l} \quad [53]$$

Donde:

E: Separación entre placas recalculadas (m)
 L: Longitud relativa (m)
 l: Profundidad del sedimentador (m)

La velocidad media entre placas se determina con la ecuación 54:

$$V_m = \frac{V_{cs} \times (\sin \theta + (\cos \theta \times L))}{S} \quad [54]$$

Donde:

V_m : Velocidad media entre placas (m/s)
 V_{cs} : Velocidad crítica de sedimentación (m/d)
 L: Longitud relativa (m)
 θ : Inclinación de las placas ($^{\circ}$)
 S: Factor de forma, este factor puede ser consultado en la Tabla 6.

Tabla 6. Factor de forma según el tipo de módulo.

Tipo de módulo	S
Placas planas paralelas	1,0
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Placas onduladas	1,3
Otras formas tubulares	1,33 – 1,42

Fuente: Tomado de Lozano-Rivas & Lozano Bravo (2015).

Para el chequeo del número de Reynolds se utiliza la ecuación 55:

$$R_e = \frac{V_m \times E}{\nu} \quad [55]$$

Donde:

R_e : Número de Reynolds (adimensional)
 V_m : Velocidad media entre placas (m/s)

E: Separación entre placas recalculadas (m)
 ν : Viscosidad cinemática (m²/s)

El tiempo de retención hidráulico entre celdas es determinado con la ecuación 56:

$$t = \frac{l}{V_m} \quad [56]$$

Donde:

T: Tiempo de retención hidráulica entre celdas (s)
l: Profundidad del sedimentador (m)
 V_m : Velocidad media entre placas (m/s)

El factor épsilon, se determina con la ecuación 57:

$$\varepsilon = \frac{e}{e + E} \quad [57]$$

Donde:

ε : Factor épsilon
e: Espesor de placa (m)
E: Separación entre placas recalculadas (m)

El área superficial del sedimentador se determina con la ecuación 58:

$$A_s = \frac{Q}{V_m \times \sin \theta \times (1 - \varepsilon)} \quad [58]$$

Donde:

A_s : Área superficial del sedimentador (m²)
Q: Caudal de diseño (m³/s)
 V_m : Velocidad media entre placas (m/s)
 ε : Factor épsilon
 θ : Inclinación de las placas (°)

La longitud del tanque sedimentador se calcula con la ecuación 59:

$$L_s = \frac{A_s}{B} \quad [59]$$

Donde:

L_s : Longitud del tanque sedimentador (m)
 A_s : Área superficial del sedimentador (m²)

B: Ancho del tanque sedimentador (m)

El número de placas se halla con la ecuación 60:

$$N = \frac{\{[L_s - (l \times \cos \theta)] \times \sin \theta\} + E}{E + e} \quad [60]$$

Donde:

N: Número de placas (adimensional)

L_s : Longitud del tanque sedimentador (m)

l: Profundidad del sedimentador (m)

e: Espesor de placa (m)

E: Separación entre placas recalculadas (m)

θ : Inclinación de las placas ($^\circ$)

Para la verificación de la longitud del sedimentador se utiliza la ecuación 61:

$$L_R = (N \times e) + [(N - 1) \times E] + (l \times \sin \theta) \quad [61]$$

Donde:

L_R : Verificación de la longitud del sedimentador

N: Número de placas (adimensional)

E: Separación entre placas recalculadas (m)

l: Profundidad del sedimentador (m)

θ : Inclinación de las placas ($^\circ$)

La carga hidráulica se determina con la ecuación 62:

$$CH = \frac{Q \times 86400}{A_s} \quad [62]$$

Donde:

CH: Carga hidráulica (m)

Q: Caudal de diseño (m^3/s)

A_s : Área superficial del sedimentador (m^2)

Para el diseño de la sección de entrada se determinan los siguientes parámetros, iniciando con el gradiente de diseño del sedimentador (ecuación 63):

$$G = \sqrt{\frac{f \times V^3}{8 \times R_h \times \theta}} \quad [63]$$

Donde:

G: Gradiente de diseño del sedimentador (s^{-1})
f: Factor de fricción para orificio circular = 0,003
V: Velocidad de entrada al sedimentador (m/s)
 R_h : Radio hidráulico (m)
 ν : Viscosidad cinemática (m^2/s)

El área de los orificios se determina con la ecuación 64:

$$A_o = \frac{Q}{V} \quad [64]$$

Donde:

A_o : Área de los orificios (m^2)
Q: Caudal de diseño (m^3/s)
V: Velocidad de entrada al sedimentador (m/s)

El caudal de cada orificio se halla con la ecuación 65:

$$Q_o = \frac{\pi \times d^2}{4} \times V \quad [65]$$

Donde:

Q_o : Caudal de cada orificio (m^3/s)
d: Diámetro de orificio (m)
V: Velocidad de entrada al sedimentador (m/s)

El número de orificios del múltiple se determina con la ecuación 66:

$$N = \frac{Q}{Q_o} \quad [66]$$

Donde:

N: Número de orificios (adimensional)
 Q_o : Caudal de cada orificio (m^3/s)
Q: Caudal (m^3/s)

El espacio entre centros de orificios esta dado por la ecuación 67:

$$a = \frac{L_R - 2m}{N} \quad [67]$$

Donde:

a: Espacio entre centros de orificios (m)
m: distancia entre los orificios extremos y la pared del sedimentador

N: Número de orificios (adimensional)
L_r: longitud del sedimentador (m)

El diámetro de la tubería de reparto se halla con la ecuación 68:

$$\phi_{Tr} = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \times N \quad [68]$$

Donde:

ϕ_{Tr} : Diámetro de la tubería de reparto
D: Diámetro tubería flauta (m)
d: Diámetro de orificio (m)

Para el caudal de ingreso por flauta se utiliza la ecuación 69:

$$Q_f = N \times \frac{Q_o}{2} \quad [69]$$

Donde:

Q_f: Caudal de ingreso por flauta (m³/s)
N: Número de orificios (adimensional)
Q_o: Caudal de cada orificio (m³/s)

Para la sección de tolva de lodos, se determinan los siguientes parámetros. Se debe verificar la relación - Long tubería vs Φ Múltiple. Para asegurar una buena distribución de flujo de lodos en el múltiple, debe mantenerse la relación de la ecuación 70:

$$0,4 < \left(\frac{\phi_o}{\phi_T}\right)^2 \times n < 0,45 \quad [70]$$

Donde:

ϕ_o : Diámetro de los orificios de descarga (m)
 ϕ_T : Diámetro del múltiple de descarga (m)
n: Número de orificios de descarga

La distancia entre orificios X, se determina con la ecuación 71:

$$X = 1,16 \times \phi_o \times \sqrt{\frac{h^{0,5}}{Va}} \geq \frac{L}{n} \quad [71]$$

Donde:

X: Distancia entre orificios del múltiple (m)

\emptyset_o : Diámetro del orificio del múltiple (m)
H: Tirante o altura de agua sobre el orificio (m)
 V_a : Velocidad mínima de arrastre asignada (m/s)
L: Longitud del múltiple (m)
n: Número de orificios

Para la sección de salida, se determina la distancia máxima de las estructuras de recolección utilizando la ecuación 72:

$$d = \frac{h_{\min} \times 432}{V_m} \quad [72]$$

Donde:

d: Distancia máxima de las estructuras de recolección (m)
 h_{\min} : Nivel mínimo del agua sobre las placas (m)
 V_m : Velocidad media entre placas (m/d)

El cálculo de la máxima altura de agua se halla con la ecuación 73:

$$h_o = \left(\frac{Q}{1,386 \times b} \right)^{\frac{2}{3}} \quad [73]$$

Donde:

h_o : Cálculo de la máxima altura de agua (m)
Q: Caudal de diseño (m^3/s)
b: Ancho del canal (m)

El nivel mínimo del agua sobre las placas se determina con la ecuación 74:

$$h = \frac{d \times V_m}{432} \quad [74]$$

Donde:

h : Nivel mínimo del agua sobre las placas (m)
 V_m : Velocidad media en los módulos o entre placas (m/d)
d: Distancia máxima de las estructuras de recolección (m)

3.4.3. Flotación

La flotación es una operación física de separación que se fundamenta en la diferencia de densidades de las fases que se desean separar. Según Rubio (2002), tuvo sus inicios en el procesamiento de minerales, pero en la actualidad se utiliza también en el tratamiento de aguas residuales e industriales. La flotación es una operación física donde se generan pequeñas burbujas, con el fin de que estas se

adhieran a las partículas que se encuentran en el agua para que sean elevadas a la superficie, donde son arrastradas y extraídas del sistema.

Actualmente existen diferentes variantes de flotación, entre ellas: por aire disuelto, por aire disperso, electroforesis, combinación de flotación con ozono, columna, flotación centrífuga, entre otras; siendo las dos primeras las más usadas (Rubio, 2002). Finalmente, la flotación depende del tipo de superficie de las partículas, por lo que se requiere realizar pruebas previamente en laboratorio o en planta piloto, para obtener los factores necesarios para la realización de diseño (Medcalf & Eddy, 2003).

- **Flotación por aire disuelto**

Los sistemas de flotación por aire disuelto (DAF, por sus siglas en inglés) son generalmente mucho más eficientes que los de flotación por aire disperso o inducido dado que en los primeros se obtienen burbujas de un tamaño menor (Haarhoff, 2008).

En un sistema DAF, la flotación se alcanza introduciendo aire que se disuelve en el agua residual en forma de burbujas hasta una saturación bajo una presión entre 4 a 6 atm. Seguidamente, se libera la presión a nivel atmosférico a través de una válvula que disminuye la presión haciendo que se libere gas disuelto en burbujas muy finas que se adhieren a las partículas suspendidas; estas microburbujas, así como las partículas contaminantes, flotan debido a que se elevan hacia la superficie y son removidas por un sistema similar a las barredoras y el agua tratada se retira evitando la salida del material flotante (Ramalho, 1996).

El sistema de flotación está compuesto por: bomba de presurización, sistema para inyección de aire, cámara de saturación (contacto aire - líquido), válvula reductora de presión y cámara de flotación (Ramalho, 1996). La remoción de sólidos suspendidos en el sistema de flotación depende de la relación entre velocidad de sedimentación, concentración y tipo de partículas. El contacto entre las partículas depende del tamaño de la burbuja, la tensión superficial entre gas y sólido y de las características de las partículas (Romero, 2000).

Existen tres tipos de sistemas de flotación, con presurización parcial del afluente, con presurización total del afluente y con presurización de la recirculación, presentados en las Figura 11. Presurización parcial del efluenteFigurasFigura 11 a 13.

A continuación, se presentan las consideraciones para el diseño de las cámaras de saturación y de flotación.

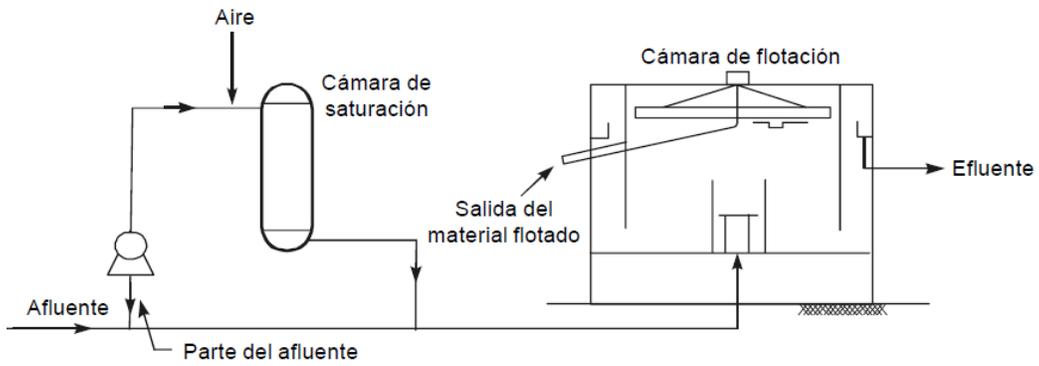


Figura 11. Presurización parcial del efluente.

Fuente: Tomado de CEPIS (2004).

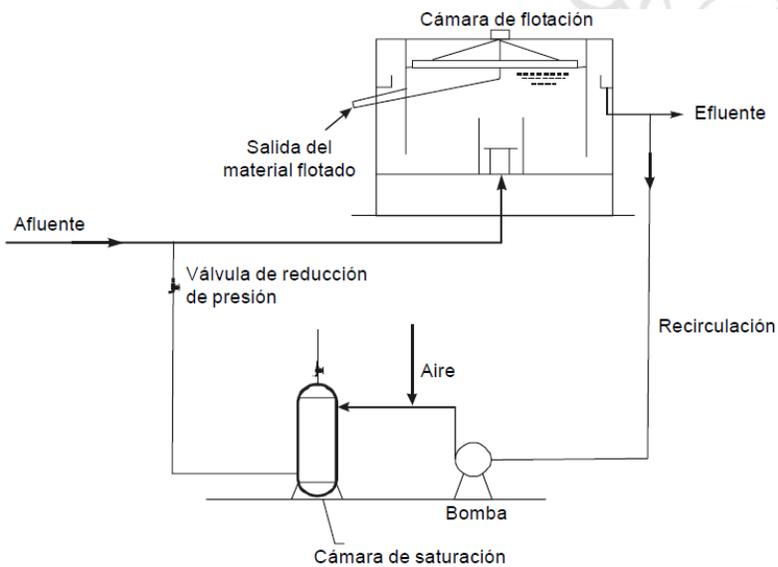


Figura 12. Presurización total del afluente.

Fuente: Tomado de CEPIS (2004).

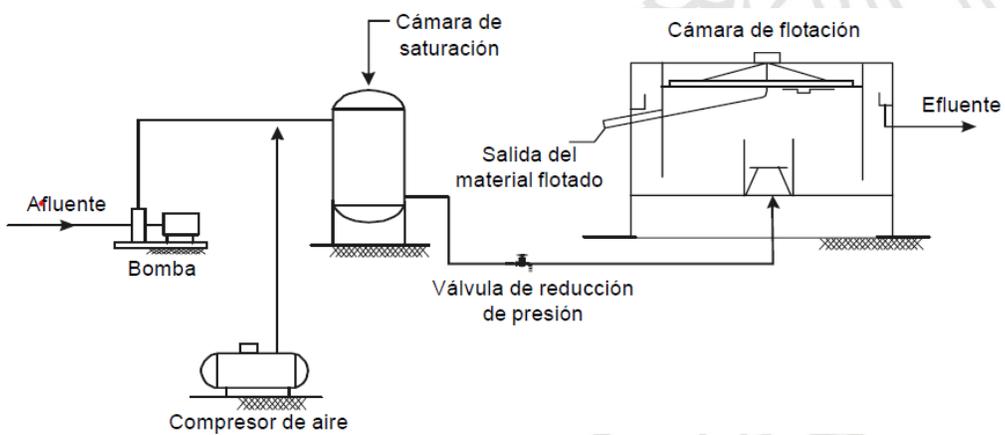


Figura 13. Presurización de la recirculación.

Fuente: Tomado de CEPIS (2004).

- **Cámara de saturación**

Una de las consideraciones para el diseño es la solubilidad. La ley de Henry indica que la cantidad de gas disuelto en un líquido, a temperatura constante, es directamente proporcional a la presión parcial que ejerce el gas sobre el líquido. Matemáticamente la ley se formula de acuerdo a la ecuación 75:

$$p_i = C_i k_H \quad [75]$$

Donde:

p_i : Presión parcial del gas (atm)

C_i : Concentración del gas (solubilidad)

K_H : Constante de Henry (depende de la naturaleza del gas, temperatura y líquido)

La constante de Henry para componentes del aire varía de acuerdo con las diferentes temperaturas, en la Tabla 7 se presentan algunos valores para la constante de Henry de algunos gases disueltos en agua a 25°C.

Tabla 7.Datos de constante de Henry para componentes del aire a 25°C.

Gas	P(atm)	$K_H (\frac{mol}{m^3 \times Pa})$
N ₂	0.78	6.48×10^{-6}
O ₂	0.21	1.32×10^{-5}
CO ₂	0.0003	3.3×10^{-4}

Fuente: Tomado de Sander (2015).

La eficiencia de un sistema DAF depende de la relación de volumen de aire por masa de sólidos (A/S) requeridos para lograr un grado de clarificación, definida por la ecuación 76:

$$\frac{A}{S} = \frac{\text{kg de aire liberado por despresurización}}{\text{kg de sólidos suspendidos en el afluente}} \quad [76]$$

Una selección adecuada de la relación A/S nos lleva a un equilibrio económico entre los costes de mantenimiento y de equipos y la calidad del efluente deseada. Los intervalos típicos de la relación A/S para el espesamiento de lodos en los tratamientos de aguas residuales oscilan entre 0,020 y 0,040.

Generalmente, la relación A/S es la razón en peso de la cantidad de aire liberado a la de aceite y sólidos suspendidos presentes en el agua residual. La relación A/S está definida por ecuaciones 77 Y 78, para sistemas de flotación sin recirculación y con recirculación respectivamente.

$$\frac{A}{S} = \frac{\rho_a * S_a * (f * \frac{P_1}{P_2} - 1)}{X_0} \quad [77]$$

$$\frac{A}{S} = \frac{\rho_a * S_a * (f * \frac{P_1}{P_2} - 1)}{X_0} * \frac{R}{Q} \quad [78]$$

Donde:

Q: Caudal efluente (L/s)

R: Caudal Recirculación

X₀: Concentración de SST en el afluente (mg/L)

ρ_a: Densidad del aire (mg_{aire}/m_{Laire})

S_a: Solubilidad del aire (m_{Laire}/L_{agua})

f: Factor de saturación (0,6-0,9)

P₁: Presión en la cámara de presurización (psi)

P₂: Presión atmosférica (psi)

La relación A/S en un sistema DAF es un criterio de diseño muy importante porque de este depende la eficiencia. Existen otros parámetros de diseño de igual o mayor importancia, como el tiempo de retención hidráulico (TRH) y la carga hidráulica superficial. El TRH tiene una duración de 1 min para la presurización y 3 min de reposo para alcanzar la saturación. Los valores de la carga hidráulica superficial para el tanque de presurización se encuentran entre 50 y 80 m³/m².h. Para cámaras de saturación con o sin relleno, se recomienda una carga hidráulica de 20 a 60 m³/m².h (Riera & Glaterol, 2015).

Para las dimensiones de la celda de saturación se parte del caudal de alimentación, de las ecuaciones de diseño para el área superficial, volumen, altura y diámetro de ésta. Lo anterior, se determinan con las ecuaciones 79 a 82, respectivamente:

$$A_s = \frac{Q}{q} \quad [79]$$

Donde:

q: Carga superficial (m³/m².d)

Q: Caudal efluente (m³/d)

A_s: Área superficial (m²)

$$V = Q * TRH \quad [80]$$

Donde:

TRH: Tiempo de retención hidráulico (min)

Q: Caudal efluente (m³/d)
V: Volumen (m³)

$$h = \frac{V}{A_s} \quad [81]$$

Donde:
A_s: Área superficial (m²)
Q: Caudal efluente (m³/d)
V: Volumen (m³)

$$d_c = \sqrt{\frac{4 * A_s}{\pi}} \quad [82]$$

Donde:
A_s: Área superficial (m²)
d: Diámetro (m)

Entre la cámara de presurización y de flotación, se recomienda la instalación de una válvula reductora de presión, que permita ajustar la presión que va a ser mantenida en la cámara de presurización.

- **Cámara de flotación**

Es una unidad que permite la despresurización a presión atmosférica del agua residual presurizada con anterioridad y saturada de aire. La cámara de flotación puede ser de sección rectangular o circular dependiendo del agua a tratar. En el caso de cámaras rectangulares (Figura 14) es recomendable la instalación de una pantalla inclinada 60° con la horizontal y con 30 a 50 cm de largo para dirigir la partícula-burbuja hacia la superficie además de reducir la velocidad extrema del agua al ingresar al tanque. Por otro lado, el ancho de la cámara depende del tipo de equipo usado para el raspado del material flotante y rara vez excede de 8 m, mientras el largo puede variar entre 4 y 12 m (CEPIS, 2004).

La alta eficiencia de un sistema de flotación se ve reflejada cuando se producen suficientes burbujas de aire, en donde los sólidos suspendidos presentes en el agua a tratar flotan. Cuando la burbuja es pequeña se presentará mayor cantidad de burbujas por unidad de volumen de gas suspendido. La presencia de un gran número de burbujas aumenta la probabilidad de agregación de floculo-burbuja en suspensiones floculantes bastante diluidas. El tamaño de burbuja depende de la diferencia de presión a través del sistema de inyección y por el tipo de válvula utilizada (Figura 15).

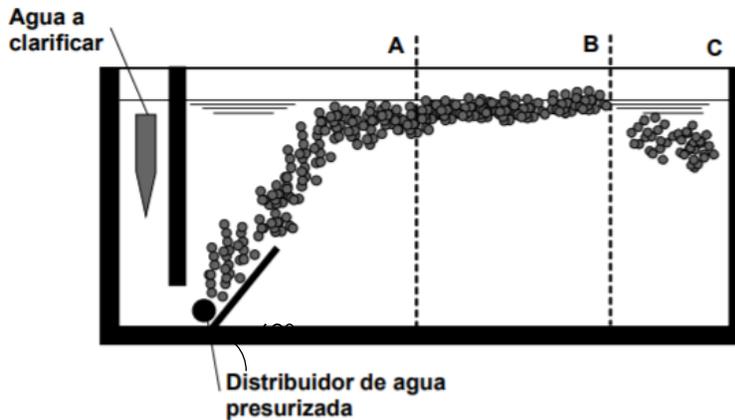


Figura 14. Cámara de flotación rectangular.
Fuente: Tomado de CEPIS (2004).

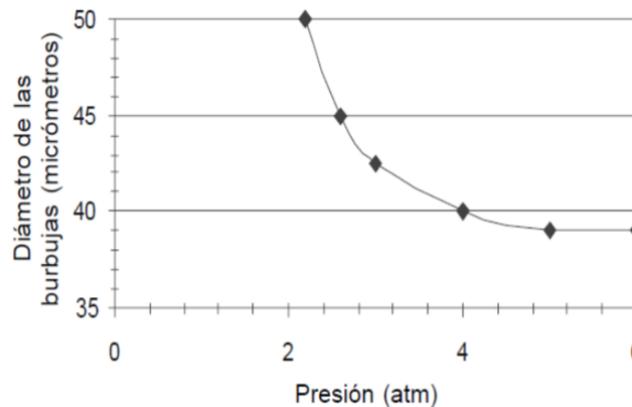


Figura 15. Influencia de la presión en el diámetro de las burbujas de aire generadas en el sistema DAF.
Fuente: Tomado de CEPIS(2004).

La velocidad ascensional de la burbuja depende de su tamaño en el agua residual. Para conseguir la agregación entre la burbuja de aire y las partículas, la burbuja debe ascender en condiciones de flujo laminar, con el fin de evitar que se desborden los floculos. Cuanto más pequeña la burbuja, menor será la velocidad ascensional de ésta (American Water Works Association, 2002), la cual suele variar entre 0,5 y 9,6 m/h dependiendo de la concentración, el grado de espesamiento que se desee alcanzar y la carga de solidos (American Water Works Association, 2002; Medcalf & Eddy, 2003).

Para dimensionar la cámara de flotación se parte del caudal de alimentación, además de la velocidad ascensional de la partícula-burbuja. De lo anterior, se calcula el área superficial, el volumen, el tiempo de retención y la carga de solidos que se determinan con las ecuaciones 83 a 86, respectivamente:

$$Q = V_f * A \quad [83]$$

Donde:

Q: Caudal (m³/d)

A: Área de la sección transversal (m²)

V: Velocidad ascensional (m/d)

$$V = A * h \quad [84]$$

Donde:

A: Área de la sección transversal (m²)

h: Altura supuesta (m)

V: Volumen (m³)

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad [85]$$

Donde:

Q: Caudal (m³/d)

TRH: Tiempo de retención hidráulico (min)

V: Volumen (m³)

$$q_s = \frac{Q * SST}{V} \quad [86]$$

Donde:

Q: Caudal (m³/d)

SST: Sólidos suspendidos totales (mg/L)

V: Volumen (m³)

q_s: Tasa de aplicación de sólidos (kgSST/m³.h)

3.4.4. Adsorción

La adsorción es un proceso químico de separación y concentración de uno o más componentes que se basa en la capacidad de ciertas sustancias sólidas de retener componentes solubles. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie de éste.

En la adsorción se presentan dos mecanismos: adsorción química y adsorción física. La adsorción química se presenta cuando las moléculas adsorbidas reaccionan químicamente con la superficie del sólido, lo que implica un enlace químico que es prácticamente irreversible; aunque hay excepciones muy concretas y especializadas, la recuperación de una sustancia a través de este

tipo de adsorción no es posible. La adsorción física se presenta cuando el componente que se adsorbe y el sólido interactúan por medio de fuerzas electrostáticas como las de van der Waals; estableciéndose enlaces débiles entre ambos componentes (Hernández, 2016).

- **Adsorción con carbón activado**

El adsorbente más utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo. Los carbones activados están hechos de una variedad de materiales que incluyen madera, lignina, carbón bituminoso, lignito y residuos de petróleo. Por otro lado, la capacidad de adsorción es la eficacia del carbono para eliminar constituyentes no deseados de las aguas residuales como: DQO, color, fenol, entre otros (Eckenfelder, W., Ford, D., & Englande, A., 2009).

Para la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales, comerciales y municipales, el carbón activado granular (CAG) se utiliza en una operación de columna y la corriente del líquido se pasa a través del lecho de CAG en flujo descendente o, en situaciones especiales, en flujo ascendente (Niño & Ortíz, 2008).

Ahora bien, el carbón activado es usado para remover color, olor y sabor de una infinidad de productos, por lo que se puede encontrar en aplicaciones sencillas hasta complejos sistemas industriales como modernas plantas de tratamiento de aguas residuales o delicados sistemas de elaboración de antibióticos (Ospina & Orjuela, 2019). La adsorción mediante carbón activo es uno de los métodos más utilizados para la remoción de materia orgánica natural presente en el agua, eliminando dos tipos de compuestos orgánicos: materia orgánica natural disuelta (DOM, por sus siglas en inglés), que consta mayoritariamente de compuestos húmicos, y trazas de compuestos orgánicos y sintéticos peligrosos (SOC, por sus siglas en inglés) (Salvador, 2009).

El carbón activado tiene una gran variedad de tamaños de poros brindando gran área superficial interna. Los poros le confieren elevada superficie y capacidad de retención (adsorción), mientras que los mesoporos y microporos son necesarios para retener moléculas de gran tamaño y favorecer el acceso y la rápida difusión de las moléculas a la superficie interna del sólido (Barrenechea, 2004). A continuación, se presentan las propiedades de los carbones comerciales en las Tabla 8 y Tabla 9.

La capacidad de adsorción de un carbono para un soluto será igualmente dependiente tanto del carbono como del soluto. La mayoría de las aguas residuales son muy complejas y varían ampliamente en la capacidad de adsorción de los compuestos presentes, su estructura molecular, solubilidad, etc., en donde cada uno afecta la capacidad de adsorción.

Tabla 8. Características de CAG vegetales,

	CGC	MALLA 9	DARCO 12X40	F-200	EX 70/40
Materia Prima	Cáscara de coco	Cuesco de palma de aceite	Carbón de lignito	Carbón bituminoso	Carbón bituminoso
Humedad	7%	3,50%	12%	2%	2%
Densidad aparente (g/cm ³)	0,45-0,5	0,55	0,37	0,48	0,45
Granulometría (mm)	0,8	2	0,6	0,55 a 0,75	4 ± 20%

Tabla 9. Propiedades de diferentes carbones activos comerciales.

	NORIT (Lignito)	Calgon Filtrasorb 300 (8x30) (Bituminoso)	Westvaco Nuchar WV-L (8x30) (Bituminoso)	Witco 517 (12x30) (Bituminoso)
Área superficial (m ² /g) (BET)	600-650	950-1050	1000	1050
Densidad aparente (g/cm ³)	0.43	0.48	0.48	0.48
Densidad después de lavado y secado (lb/ft ³)	22	26	26	30
Densidad real (g/cm ³)	2.0	2.1	2.1	2.1
Densidad de partícula (g/cm ³)	1.4-1.5	1.3-1.4	1.4	0.92
Coefficiente de uniformidad	1.7	1.9 o menos	1.8 o menos	1.44
Volumen de poro (g/cm ³)	0.95	0.85	0.85	0.60
Diámetro medio de partícula (mm)	1.6	1.5-1.7	1.5-1.7	1.2

Fuente: Tomado de Eckenfelder et al (2009).

La Tabla 10 presenta la capacidad de adsorción relativa de compuestos orgánicos sobre carbón activado.

Tabla 10. Capacidad de los compuestos orgánicos seleccionados a la adsorción sobre carbón activado.

Compuesto	Peso Molecular	% de Solubilidad	Concentración, mg/L		Capacidad de adsorción Compuesto g/ Carbon g	Porcentaje de reducción
			Inicial C ₀	Final C _f		
Alcoholes						
Metanol	32.0	∞	1000	964	0.007	3.6
Etanol	46.1	∞	1000	901	0.020	10.0
Propanol	60.1	∞	1000	811	0.038	18.9
Butanol	74.1	7.1	1000	466	0.107	53.4
Aldehídos						
Formaldeídos	30.0	∞	1000	908	0.018	9.2
Acetaldehídos	44.1	∞	1000	881	0.022	11.9
Propionaldehído	58.1	22	1000	723	0.057	27.7
Butiraldehído	72.1	7.1	1000	472	0.106	52.8
Aromáticos						
Benceno	78.1	0.07	416	21	0.080	95.0
Tolueno	92.1	0.047	317	66	0.050	79.2
Etilbenceno	106.2	0.02	115	18	0.019	84.3
Fenol	94	6.7	1000	194	0.161	80.6

Fuente: Tomado de Eckenfelder et al (2009).

Uno de los principales problemas que presentan con el carbón activo, de usarse como adsorbente, es que se satura y es necesario regenerarlo, pues la capacidad de adsorción del carbón se deteriora gradualmente con el uso. Cuando la calidad del efluente no cumple con los parámetros mínimos establecidos de calidad, el carbón debe ser regenerado, reactivado o extraído; por lo que encontrar el método más eficaz para que la utilización de este compuesto sea rentable es muy importante. La regeneración implica la eliminación de contaminantes del carbón sin la destrucción de los contaminantes y la reactivación implica la destrucción de contaminante y la reactivación del carbón, que normalmente ocurre a altas temperaturas (Ures, Jácome & Suárez, 2014).

Por lo general, los métodos de activación suelen ser activación física o activación química. En la activación física el material se carboniza y se trata con una mezcla de gases de combustión y vapor de agua a alta temperatura. En la activación química es necesario utilizar un agente deshidratante, que suele ser un ácido, el cual se mezcla con la materia prima y es sometido a un tratamiento a temperaturas moderadas. Se debe tener cuidado con el ácido que se vaya a utilizar porque después del tratamiento pueden seguir quedando impurezas en el carbón, aunque este haya sido sometido a uno o varios lavados (Hernández, 2016).

Generalmente es factible regenerar el carbono gastado por razones económicas. Los modos de regeneración son: extracción térmica, con vapor o con solvente; tratamiento ácido o base, y oxidación química. Los métodos distintos al térmico suelen ser preferidos cuando sean aplicables, ya que pueden realizarse *in situ*. Sin embargo, en la mayoría de los casos de aguas residuales, se requiere regeneración térmica.

La regeneración térmica es el proceso de secado, desorción y alto tratamiento térmico (1200 a 1800 ° F; 650 a 980 ° C) en presencia de cantidades limitadas de vapor de agua, gases de combustión y oxígeno; se pueden utilizar hornos de solera múltiple o hornos de lecho fluidizado. Ahora bien, las pérdidas de peso de carbono son el resultado del desgaste y la oxidación del carbono; también hay un cambio en la capacidad de carbono a través de la regeneración que puede ser causado por una diferencia en el tamaño y una pérdida de poros por la deposición de materiales residuales, siendo así, el cambio de capacidad debe evaluarse por los ciclos de regeneración. En la mayoría de los casos, de tres a seis, los ciclos de regeneración definirán la pérdida máxima de capacidad. Lo anterior, se puede observar en la Figura 16 (Eckenfelder et al, 2009).

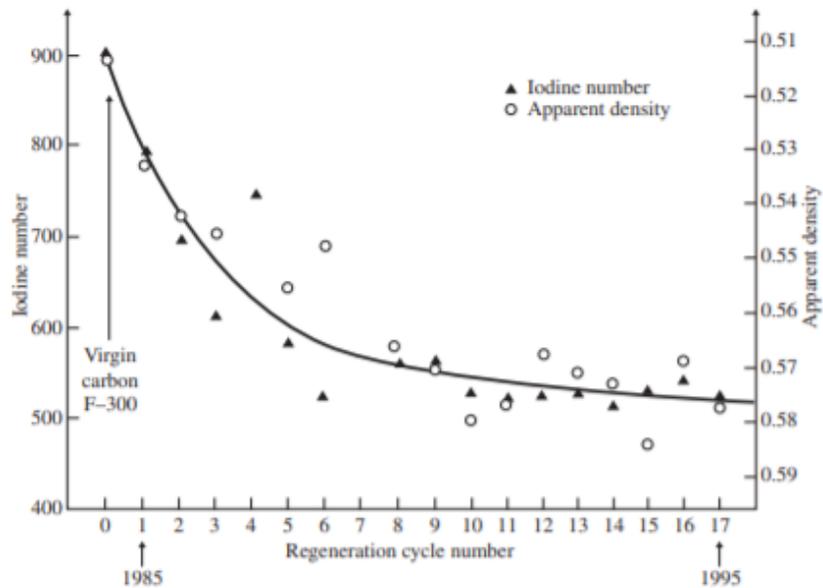


Figura 16. Tendencias de la calidad del carbono regenerado.

Fuente: Tomado de Eckenfelder et al (2009).

En el diseño de columnas de CAG se deben tomar en consideración el tiempo de contacto en lecho, carga hidráulica, profundidad del lecho y número de filtros o columnas. Los filtros de carbón activado granular se pueden diseñar con flujo ascendente o descendente consistentes en uno o más recipientes en serie o paralelo. (Figura 17).

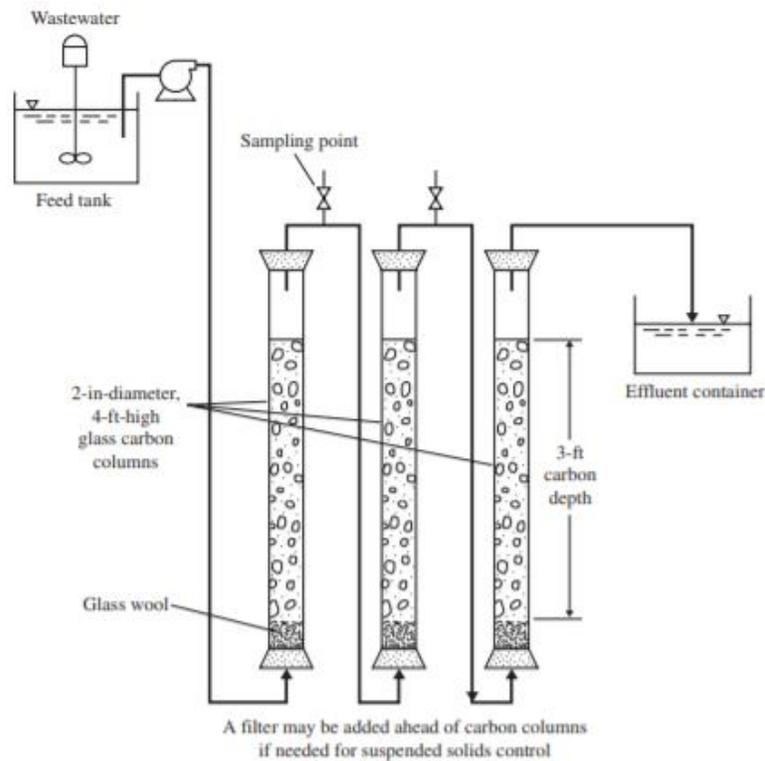


Figura 17. Esquema de columnas de carbón activado granular (GAC) (escala de laboratorio).

Fuente: Tomado de Eckenfelder et al (2009).

Según la Resolución 0330 de 2017, los criterios para el diseño del proceso unitario de filtración por adsorción deberán implementarse de acuerdo con los siguientes criterios de diseño:

- Selección del tipo de adsorbente que se va a utilizar y su isoterma de adsorción.
- Eficiencia de remoción de contaminantes del proceso, de acuerdo con el tamaño seleccionado de la partícula.
- Carga hidráulica, tiempo de contacto y altura del medio.
- Tasa de lavado y porcentaje de expansión del lecho.
- Tiempo de regeneración del lecho.
- Afectación por el crecimiento microbial y su control.
- Necesidad de complementación con un pretratamiento de tecnología convencional.
- Costos de suministros de productos químicos y operación.

La isoterma de adsorción es la relación entre la cantidad de sustancia adsorbida por un adsorbente y la concentración de equilibrio a temperatura constante (De la Torre & Moreno, 1995). La selección de la isoterma va de acuerdo con las dos

expresiones matemáticas más utilizadas para isothermas de adsorción, Langmuir y Freundlich. Estas expresiones tienen la finalidad de relacionar los dos parámetros claves del equilibrio en adsorción q_{eq} y C_{eq} . Las dos expresiones tienen parámetros distintos para la relación de estas dos variables, en ocasiones funcionando mejor una que la otra. Sin embargo, es importante determinar la cinética de adsorción para conocer cómo varía la concentración del contaminante en función del tiempo para una proporción dada entre la cantidad adsorbible y el adsorbente (Bañón, s.f).

La más empleada para describir las características de adsorción del carbón activado empleado en tratamiento de aguas residuales es la Isoterma de Freundlich (Metcalf & Eddy, 2003). La isoterma de adsorción Freundlich se utiliza para describir la adsorción de soluciones acuosas. Ésta no puede definir el intervalo lineal en concentraciones muy bajas o el efecto de saturación a concentraciones muy altas, por ello se debe emplear en concentraciones intermedias. La ecuación de esta isoterma se presenta por la ecuación 87:

$$q_{eq} = K * C_{eq}^n \quad [87]$$

Donde:

q_{eq} : Cantidad adsorbida por peso unitario de adsorbente (g/g)

C_{eq} : Concentración de equilibrio del adsorbato en solución después de la adsorción (masa/vol)

K: coeficiente de adsorción, caracteriza la fuerza de adsorción, cuanto mayor es el valor de K mayor es la carga adsorbente que se puede lograr.

n: Relacionado con la heterogeneidad energética de la superficie adsorbente y determina la curvatura de la isoterma. Cuanto menor sea el valor de n, más cóncava es la forma isotérmica y si la $n=1$, la gráfica se vuelve lineal. Las isothermas con un $n \leq 1$ se consideran desfavorables.

La isoterma de adsorción de Langmuir se desarrolló adoptando hipótesis, como la existencia de un número fijo de puntos accesibles disponibles en la superficie adsorbente, todos los cuales poseen la misma energía, y la adsorción es reversible. El equilibrio se alcanza cuando la velocidad de adsorción de las moléculas sobre la superficie es la misma que la velocidad de desorción de las mismas. Así pues, la velocidad a la que se lleva a cabo la adsorción es proporcional a la fuerza que la produce, que corresponde a la diferencia entre la cantidad adsorbida para una cierta concentración y la capacidad de adsorción a dicha concentración. A la concentración de equilibrio, esta fuerza es nula (Niño Arias & Ortíz Ramírez, 2008). La isoterma de Langmuir en forma de ecuación se escribe generalmente como muestra la ecuación 88:

$$q_{eq} = \frac{q_m * b * C_{eq}}{1 + b * C_{eq}} \quad [88]$$

Donde ahora los parámetros son q_m relacionado con el valor máximo al que tiende q_{eq} y representa la concentración del adsorbato sobre el adsorbente cuando se completa una capa monomolecular en la superficie de éste.

Hay una variedad de ecuaciones para determinar las dimensiones de una unidad de adsorción con CAG. De acuerdo con la bibliografía consultada (Niño & Ortíz, 2008), a continuación, se describen algunas de estas dimensiones conforme al parámetro a determinar de acuerdo con los rangos típicos, mostrados en la Tabla 11.

A partir del caudal a tratar y la carga hidráulica se determina el área transversal. La selección de la carga hidráulica, Q_h , depende del grado de purificación requerido, el tipo y concentración del contaminante, la naturaleza del efluente y la caída de presión. El A_T está dada por la ecuación 89:

$$A_T = \frac{Q}{Q_h} \quad [89]$$

Donde:

A_T : Área transversal de la columna (m^2)

Q : Caudal (m^3/d)

Q_h : carga hidráulica ($m^3/m^2.d$)

El diámetro se determina a partir del area transversal, haciendo uso de la ecuación 90:

$$D(\varnothing) = 2 * \sqrt{\frac{A_T}{\pi}} \quad [90]$$

Donde:

$D(\varnothing)$: Diámetro (m)

A_T : Área transversal de la columna (m^2)

En la columna de lecho fijo se debe tener una proporción entre la altura del lecho de carbón y el diámetro del lecho, Z/D , ya que el porcentaje de utilización del adsorbente aumenta con ésta. Generalmente esta relación se encuentra entre 3:1 a 5:1.

Tabla 11. Valores típicos en diseño y operación de filtros CAG.

Flow rate, Q		
Water treatment	1200–9600	$m^3 d^{-1}$
Tertiary treatment of municipal wastewaters	5000–380000	$m^3 d^{-1}$
Physicochemical treatment of municipal wastewaters	2200–19000	$m^3 d^{-1}$
Industrial wastewater treatment	19–16000	$m^3 d^{-1}$
Empty-Bed Contact Time (EBCT)		
General	10–50	min
Typical	30	min
Water treatment	5–30	min
Tertiary treatment of municipal wastewaters	17–50	min
Physicochemical treatment of municipal wastewaters	20–66	min
Industrial wastewater treatment	30–540	min
Hydraulic Loading Rate, HLR		
General	5–25	$m h^{-1}$
Typical	12	$m h^{-1}$
Water treatment	5–15	$m h^{-1}$
Tertiary treatment of municipal wastewaters	7–16	$m h^{-1}$
Physicochemical treatment of municipal wastewaters	6–15	$m h^{-1}$
Carbon Usage Rate (CUR)		
Tertiary treatment of municipal wastewaters	0.12–0.23	$kg GAC/m^3$
Physicochemical treatment of municipal wastewaters	0.29–1.04	$kg GAC/m^3$
Typical values of the GAC bed		
Bed volume, V_B	10–50	m^3
Cross-sectional area, A	5–30	m^2
Length, L_B		
General	3–9	m
Water treatment	1.8–4	m
Tertiary treatment of municipal wastewaters	3–10	m
Physicochemical treatment of municipal wastewaters	2.7–11	m
Void fraction in GAC bed, ε_B	0.3–0.6	m^3/m^3
Apparent filter density, ρ_B	430–480	$kg solids/m^3 bed$
GAC particle density, ρ_P	0.92–1.5	$kg solids/m^3 solid$

Fuente: Tomado de Ures, Jácome & Suárez (2014).

Para cumplir con la relación, la altura del lecho se determina con la ecuación 91:

$$Z = 3 * D \quad [91]$$

Donde:

Z: Altura del lecho (m)

D (Ø): Diámetro (m)

La columna debe tener una altura extra que permita la expansión del lecho al realizar los retrolavados, generalmente, sistemas que funcionen con flujo descendente debe ser del 50% de la altura del lecho, y para sistemas con flujo ascendente de un 15% (ecuación 91):

$$Z_e = Z * 1.5 \quad [92]$$

Donde:

Z_e : Altura del lecho con expansión (m)

Z: Altura del lecho (m)

Así mismo, se puede determinar el volumen del lecho con la ecuación 93:

$$V_L = A_T * Z \quad [93]$$

Donde:

Z: Altura del lecho (m)

V_L : Volumen del lecho (m^3)

A_T : Área transversal del lecho (m^2)

El tiempo de contacto en la columna se determina, a partir del volumen vacío y el caudal a tratar, mediante la ecuación 94:

$$t = \frac{V_v}{Q} \quad [94]$$

t: Tiempo de contacto del efluente (min)

V_v : Volumen vacío (m^3)

Q: Caudal (m^3/min)

El volumen vacío se determina con el volumen del lecho y su porosidad de acuerdo a la ecuación 95:

$$V_v = V_L * \varepsilon \quad [95]$$

La cantidad de CAG que se va a utilizar en la columna varía de acuerdo con la densidad de este (ecuación 96):

$$M_{CAG} = V_L * \rho \quad [96]$$

El tiempo de servicio del lecho es el momento en el que, en el efluente de una columna de CAG, el adsorbato alcanza una concentración preestablecida.

Finalmente, el tiempo de ruptura se puede determinar con la siguiente ecuación si se conoce la cantidad de CAG a utilizar y su capacidad de adsorción, así:

$$t_b = \frac{q_b * M_c}{Q(C_o - \frac{C_b}{2})} \quad [97]$$

Donde:

t_b : Tiempo de ruptura (d)

q_b : capacidad de adsorción real (mg adsorbato/mg CAG)

M_c : masa de CAG contenido en la columna (g)

Q : Caudal (m^3/min)

C_o : concentración de adsorbato a la entrada de la columna (mg/L)

C_b : concentración de adsorbato al producirse la ruptura (mg/L)

3.4.5. Intercambio iónico

El intercambio iónico es una operación física que se basa en la transferencia de uno o más iones por intercambio o desplazamiento de iones de la misma carga pasando de la fase líquida (agua) a la fase sólida (material de intercambio). Estos iones se encuentran unidos por fuerzas electrostáticas a grupos funcionales superficiales. El proceso se realiza sobre un intercambiador catiónico y/o aniónico sólido, por donde fluye el fluido. Las reacciones del proceso dependen de factores como: temperatura, concentración de la especie en solución, naturaleza del ion y pH, además su eficacia depende del equilibrio sólido-líquido y de la velocidad de transferencia de materia (Duarte & Vizcaíno, 2015).

Ahora bien, se ha observado la propiedad de intercambio iónico en minerales silicatos cristalinos como arcillas, feldespatos y zeolitas. En el caso de las zeolitas involucra el remplazo de un átomo intercambiable monovalente de zeolita por un átomo monovalente en solución acuosa, o el remplazo de dos átomos monovalentes intercambiables de zeolita por un átomo bivalente en la solución. La capacidad de las zeolitas para intercambiar sus cationes depende fundamentalmente de la mayor o menor proporción de aluminio en su estructura, mostrando cada tipo de zeolita una selectividad diferente hacia determinados cationes (Gómez, 2001).

En las zeolitas, los cationes son intercambiables, de ahí la propiedad intrínseca de intercambio iónico que también es una manifestación de su naturaleza de estructura cristalina microporosa, pues las dimensiones de sus cavidades y de los cationes que se intercambian determinan el curso del proceso.

El comportamiento y la capacidad de intercambio iónico va a depender de factores que determinan una mayor selectividad en las zeolitas a determinados

cationes, como la naturaleza, temperatura, concentración de los cationes en solución, aniones asociados con los cationes en solución, estructura de la zeolita, topología de la red y densidad de la carga de red (Curi, Granda, Lima, & Sousa, 2006).

La posibilidad de actuar como tamiz iónico ha permitido a las zeolitas aparecer en operaciones de separación de cationes por intercambio iónico, reemplazando aquellos intercambiadores convencionales de tipo orgánico y resinas de intercambio iónico. Sin embargo, las zeolitas, presentan el inconveniente de ser inestables en medios fuertemente ácidos o básicos (Duarte & Vizcaíno, 2015).

Según la Resolución 0330 de 2017, los criterios para el diseño de los procesos por intercambio iónico que se deben tener en cuenta son:

- Eficiencia de operación de la resina utilizada en el proceso, de acuerdo con los contaminantes del agua cruda y parámetros de gran influencia como la turbiedad, el pH y la temperatura.
- La relación entre el flujo a través de la resina y el volumen recomendado para ésta debe estar entre 2,23 a 11,15 L/s.m³.
- Tiempo de contacto mínimo entre 1,5 y 7,5 min para la remoción completa del contaminante.
- Tamaño de partículas que ejecutan el proceso.
- Lecho de resina mínimo de 76 cm de altura.
- Período de agotamiento de la capacidad de intercambio de la resina.
- Procedimientos y costos de operación y mantenimiento, en especial los asociados con la regeneración de la resina como componente principal del proceso.

De acuerdo con los criterios de diseño según la Resolución 0330 de 2017, el dimensionamiento para el diseño de la columna de intercambio iónico con zeolita se efectúa a partir de las siguientes ecuaciones y cumpliendo los criterios de diseño mencionados con anterioridad.

Con el caudal, el tiempo de contacto y altura de lecho establecidos, se determina el área superficial, usando la ecuación 98:

$$A_s = \frac{Q * t}{h_L} \quad [98]$$

Donde:

A_s: Área superficial (m²)

Q: Caudal (m³/min)

t: Tiempo de contacto (s)

h_L : Altura del lecho (m)

Teniendo el área superficial de la columna se calcula volumen teniendo en cuenta la porosidad de la zeolita de acuerdo a la ecuación 99:

$$V_L = \frac{h_L * A_s}{\varphi} \quad [99]$$

Donde:

V_L : Volumen del lecho (m^3)

h_L : Altura del lecho (m)

A_s : Área superficial (m^2)

φ : Porosidad de la zeolita (%)

Posteriormente se determina el diámetro mediante la ecuación 100:

$$d = \sqrt{\frac{4 * V_L}{\pi}} \quad [100]$$

Donde:

d : Diámetro de la columna (m)

A_s : Área superficial (m^2)

El volumen del lecho depende de la tasa de flujo de servicio que maneja la zeolita y el caudal de operación del sistema. Contando con el volumen del lecho y el caudal de operación tenemos la tasa de flujo de servicio (relación del flujo a través de la zeolita y el volumen), determinada por la ecuación 101:

$$\text{Relación} = \frac{Q}{\text{Volumen del lecho}} \left[\frac{m^3 \text{ de agua}}{m^3 \text{ del lecho} * S} \right] \quad [101]$$

Donde:

V : Volumen del lecho (m^3)

Q : Caudal (m^3/seg)

La columna tiene la capacidad de retener el lecho y suministrar de manera homogénea el agua a trata de manera que fluye a través del lecho. El dimensionamiento de éste depende de la altura del lecho, de la altura del lecho expandido y el espacio libre por encima del material.

Para el lecho expandido, el material intercambiador iónico llegara a saturarse con iones y material suspendido. A pesar de esto, el material puede ser regenerado a través de retro lavado introduciendo agua cruda por la parte

inferior del lecho. Normalmente se realiza en un tiempo de 10 min o cuando el agua de retro lavado se torne clara (Hidalgo Dominguez & Guaman Perez, 2006).

3.5. Presupuesto y análisis de precios unitario (APU)

El análisis de precios unitarios (APU), es un modelo matemático que permite estimar el costo por unidad de una ejecución de una actividad específica del proyecto; es decir, permite relacionar todos los insumos y cantidades que se requieren, así como los rendimientos de la maquinaria y mano de obra para llevar a cabo cualquier tipo de obra o intervención (Delgado, 2017).



4. METODOLOGÍA

La metodología empleada para cumplir con los objetivos establecidos se abordó a partir de una evaluación de las condiciones actuales del Laboratorio de Físicoquímicos de la Universidad de Antioquia y de la información basada de la primera etapa del diseño constructivo de la planta piloto. Adicionalmente, se realizó una búsqueda bibliográfica para determinar cuáles eran las ecuaciones o modelos matemáticos adecuados para cada uno de los procesos y operaciones unitarias de tratamiento que se desean diseñar y, finalmente obtener las condiciones más favorables para el desarrollo de una planta piloto que sea eficiente dejando a criterio de la Universidad su posible construcción.

La metodología general para llevar a cabo el proyecto, paso a paso, se evidencia en el diagrama de flujo de la Figura 20, dividido en cuatro fases.

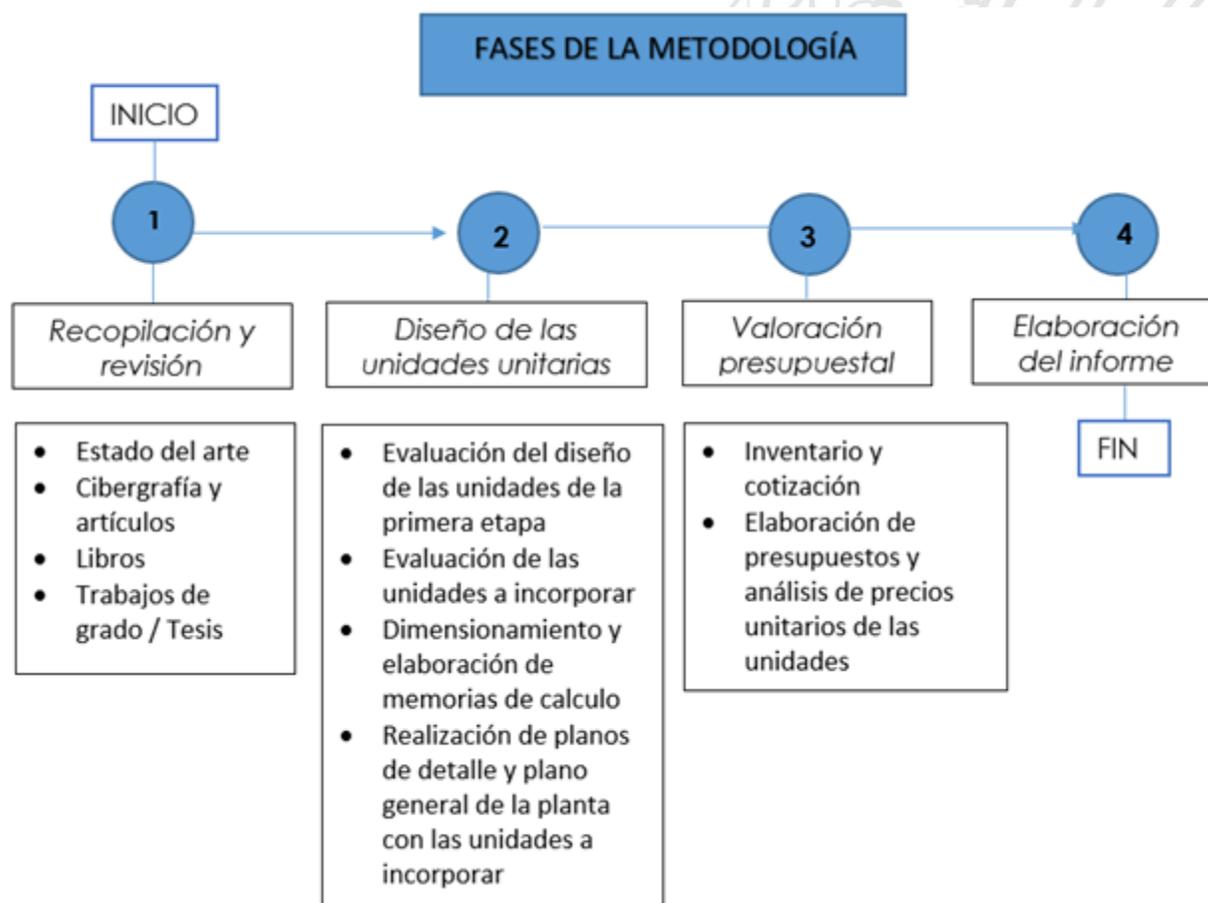


Figura 18. Diagrama de flujo de la metodología.

De acuerdo a cada uno de los objetivos específicos planteados, la metodología se describe a continuación.

4.1. Objetivo específico 1

Para llevar a cabo el objetivo específico 1, se realizó un análisis de la información y trabajo de la primera etapa del proyecto en el Laboratorio de Procesos Físicoquímicos de la Universidad de Antioquia, con el fin de llevar a cabo la instalación de la planta para y ajustar el diseño de las unidades de manera adecuada. Se consideró el mismo caudal de 0,2 L/s con el cual se diseñaron hidráulicamente las estructuras de la etapa anterior y de igual manera.

- **Fuentes de Información:**

- CEPIS– Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Manual de Prácticas para Laboratorio de Procesos Físicoquímicos para el Tratamiento de Aguas-UDEA
- Trabajos de grado, tesis y documentación referente de diseños de plantas piloto de potabilización del agua y enfocados a las unidades unitarias contempladas para el diseño.
- Potabilización del Agua: Principios de Diseño, Control de Procesos y Laboratorio – William Antonio Lozano-Rivas & Guillermo Lozano Bravo (2015).

- **Marco Legal y normativo:**

- Resolución 0330 de 2017, expedido por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.
- Resolución 1096 de 2000, expedido por el Ministerio de Desarrollo Económico, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.
- Resolución 0501 de 2017, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, en la cual se expresa el reglamento técnico de tuberías y accesorios.
- Resolución 2115 de 2007, expedida por el Ministerio de la Protección Social, Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
- Decreto 1575 de 2007, expedido por el Ministerio de la Protección Social, por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.
- Norma Técnica Colombiana NTC 1500, ratificado por el Consejo Directivo del ICONTEC; presenta el código colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias.
- Decreto 475 de 1998, expedido por el presidente de la República de Colombia, presenta la norma técnica de calidad del agua potable.

- Ley 142 de 1994, expedida por el Congreso de la República de Colombia, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

Para el diseño de cada una de las unidades, se tuvo en cuenta las ecuaciones y parámetros disponibles en herramientas académicas en donde se tienen un diseño procedimental similar o igual, teniendo en cuenta normativa, manuales de diseño y el espacio disponible de la primera etapa. Sin embargo, a pesar de que para las diferentes unidades se deben realizar ensayos a nivel de laboratorio, ya que el diseño depende de la calidad del agua; se realizó el diseño con base en diferentes referencias bibliográficas para algunos parámetros y condiciones que debía cumplir el agua a tratar. Cuando se lograron resultados aceptables en el modelo matemático, con las respectivas ecuaciones en las memorias de cálculo en el programa Microsoft Excel, se procedió a realizar el diseño en AutoCAD, en el cual se obtendría la estructura con las unidades para cada diseño.

4.2. Objetivo específico 2

Se llevó a cabo la realización y presentación de los dibujos técnicos del diseño de cada una de las unidades en plano, resultado que se logró con el software AutoCAD. Los planos constructivos de las unidades complementarias se dibujaron con diferentes vistas y con el mayor número de detalles.

4.3. Objetivo específico 3

Cuando se obtuvo el diseño total de las unidades y la unión adecuada de estas de forma matemática y estructuralmente en plano, se realizó una valoración de los materiales necesarios para su construcción mediante su conteo y una cotización por medio de llamadas telefónicas y correos electrónicos con diferentes empresas para realizar la elección de los equipos que eran más viables y que cumplieran los requerimientos técnicos convenientes para llevar a cabo la construcción. Cuando se tuvo la información se los diferentes equipos necesarios, se realizó un análisis de valor unitario y presupuesto para que sirva como guía cuando se desee llevar a cabo la fase constructiva de las unidades complementarias de la segunda etapa.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para el desarrollo y diseño de cada una de las unidades unitarias se tuvo en cuenta información como cálculos, ensayos y estudios previos que ayudan a la toma de decisiones y consideraciones para llevar un diseño óptimo y aplicable.

En la primera etapa, se diseñó una planta potabilizadora a escala piloto con procesos y operaciones unitarias de tratamiento convencionales, la cual tiene la posibilidad de generar conexiones de distintas formas entre las unidades; es decir, se pueden hacer diversos procesos a criterio del personal a cargo de la operación. Con esto, se diseñó una segunda etapa con procesos y operaciones unitarias de tratamientos complementarios, para la evaluación de diferentes combinaciones de tratamientos, para potenciar el desarrollo investigativo de las diferentes formas para el mejoramiento de la calidad del agua.

De igual manera, aunque se evidenció la necesidad realizar más estudios de tratabilidad y calidad del agua para cada uno de los diseños; se realizaron los diseños con base en la normatividad, manuales de diseño, hidráulica, estudios de trabajos similares y verificando que las unidades cumplan con los rangos sugeridos por estos y de esta manera se garantice que se puede llevar a cabo el proceso.

Finalmente, en el momento en que se haga la construcción de las unidades complementarias diseñadas, se recomienda determinar eficiencias ya que no se tiene certeza de algunos datos en el modelo matemático en las memorias de cálculo.

5.1. Justificación de diseños no realizados

5.1.1. Bandejas de aireación

Para realizar el diseño del sistema se utilizaron los métodos y criterios descritos en la literatura. Sin embargo, se presentaron problemas debido a las limitaciones por el espacio, siendo así que, cuando se estaba realizando el diseño matemático y conceptual de la unidad, se encontraron algunas restricciones en cuanto a los parámetros usados en estos sistemas. Además, el hecho de que estas unidades ocupan una mayor área respecto a otras complicaría su instalación y acople a la planta de tratamiento.

5.2. Diseños realizados, resultados y análisis

5.2.1. Tanque de aireación

La estructura de aireación deberá localizarse al principio del tren de tratamiento, diseñado en la primera etapa como se muestra en el Anexo 8.1.10. Para el diseño se tomaron en cuentas dos alternativas, un modelo circular y un modelo rectangular.

En el trabajo se utilizaron las condiciones óptimas según la bibliografía para el funcionamiento de un prototipo que incrementa la concentración de oxígeno, a las velocidades requeridas y tiempos adecuados, para lograr la oxidación del hierro en su mayor porcentaje de remoción.

Se encontró que se lograba una oxidación para tiempos de contacto de 60 min del 30,13% y 32,64% para un caudal de aireación de 3,7 L/min y 9,2 L/min, respectivamente. El porcentaje de oxidación del hierro siempre será mayor donde se suministra una mayor cantidad de aire. El tanque fue diseñado de manera que se pudiera almacenar un volumen a un caudal constante para un tiempo de retención de 60 min.

Se deben realizar pruebas para determinar el caudal necesario de aire para determinar la eficiencia de remoción y del sistema. Para el diseño se recomienda compresores de aire de 60 L/min de 70 W (Anexo 8.4.2) que será adaptado a un accesorio con la capacidad de acoplarse a varios difusores.

En el diseño conceptual y matemático de esta unidad se optó por el modelo rectangular por facilidad de adaptación a la planta. Se propone un tanque en fibra de vidrio calibre 3 mm; de 1,2 m de alto, 0,8 m de largo y ancho; con una capacidad útil de 720 L. En los Anexos 8.1.1 y 8.2.1 se presentan los resultados obtenidos. Además, se adaptarán difusores de membrana en forma de cortina (Anexo 8.4.1) adaptados a un compresor de aire de oxígeno (Anexo 8.4.2); con esto se garantiza que el sistema tendrá las condiciones adecuadas para aireación del agua a tratar.

5.2.2. Sistema de ablandamiento

Para el diseño del sistema de ablandamiento se optó que el diseño de mezcla rápida y el diseño del sedimentador de alta tasa se tomaran de igual manera que la primera etapa, con las mismas consideraciones, criterios y dimensionamiento.

Para el sistema de mezcla rápida se van a implementar tres unidades; vertedero triangular, inyector Venturi y mezclador estático en línea. Estas unidades se diseñan de tal forma que se pueda dar una dispersión del químico que se desea adicionar en tiempos cortos que van de 1 a 7 s, además no requieren de una

fuerza externa de energía por ser mezcladores hidráulicos, pero si es necesario adecuar una bomba peristáltica (Anexo 8.4.4), con la cual se dosificara la cal y/o la soda en el punto de máxima turbulencia para el vertedero triangular, y en la entrada auxiliar que posee el inyector Venturi, si se hace uso de alguno de estos sistemas. En la primera etapa se aclara que durante el diseño de estas unidades se presentaron inconvenientes en el dimensionamiento, ya que el uso de un caudal de trabajo tan pequeño no garantizaba tirantes de agua suficientes para una operación eficiente.

Para el vertedero triangular, se obtuvo para la cámara de regulación con 25 cm de altura, 8 cm de largo y 5 cm de ancho, la escotadura un ancho de 2.8 cm. Además, se obtuvieron tiempos de mezcla rápida de 0,31 s y un gradiente alcanzado de 1300 s^{-1} , estos valores son satisfactorios, ya que se encuentran entre los rangos recomendados por la normativa, 1 s de mezcla y un gradiente entre 1000 y 2000 s^{-1} .

En el mezclador estático en línea, a pesar de su simplicidad, proporciona un gradiente de 933 s^{-1} y un tiempo de mezcla de 1,1 s. Considerando que este dispositivo no requiere de una fuente externa de energía, es de fácil fabricación, es una unidad versátil y adecuada para este tipo de sistemas con caudal pequeño. Además, no presenta inconvenientes para acoplarse al modelo ya que los accesorios necesarios son de fácil adquisición. Se determinaron con los cálculos un diámetro efectivo y el número de piezas que generara el gradiente óptimo de mezcla. Las dimensiones del sistema arrojan un tramo de 1 m y 54 fichas como se muestra en el Anexo 8.1.3, esto basta para realizar el proceso de mezcla rápida de forma eficiente.

Un inyector Venturi sería idóneo para instalarse en esta sección, configurando inyección en Venturi y mezcla rápida en el mezclador estático en línea. Estos dispositivos son comerciales y económicamente asequibles y llevar a cabo su diseño y elaboración tendría un costo mayor, además ya se encuentran suficientemente analizados, calibrados y se tiene control de todos los parámetros, por lo que es más preciso. Por estas razones se recomienda adquirir un Venturi tipo comercial marca Mazzei. (Anexo 8.4.3). De igual modo se presenta el plano realizado (Anexos 8.1.2)

Para facilidad de instalación y acople con las diferentes unidades, se optó por la configuración de la inyección en Venturi y mezcla rápida en el mezclador estático para la primera dosificación (cal) y para la segunda dosificación (soda) se utilizará únicamente inyector Venturi.

En el sistema de mezcla lenta, se diseñó un floculador hidráulico horizontal que cuenta con dos zonas de floculación, una zona con tubería de $\frac{1}{4}$ " y la otra zona con tubería $1\frac{1}{2}$ ". El floculador, entre sus dos (2) zonas, permite un recorrido de

aproximadamente 35 m distribuidos de forma zigzagueante, con canales de 2,5 cm para la zona 1 y 3,3 cm para la zona 2. Además, se obtuvieron gradientes de 41 s^{-1} y 26 s^{-1} respectivamente en cada zona y las velocidades de giro en ambas zonas estuvieron por debajo de $0,1 \text{ m/s}$, lo cual garantiza un paso suave entre celdas cuidando así el floculo formado (Anexos 8.1.4 y 8.2.2). Se resalta que en ambas zonas se obtuvieron gradientes que se encuentran en los valores típicos de floculación, 20 , 40 y 60 s^{-1} , además se encuentra en los valores recomendados por estudios bibliográficos mencionados con anterioridad. Los tiempos de retención se asumieron teniendo en cuenta el tamaño de la unidad y volumen de agua a tratar. Adicionalmente se menciona que la unidad horizontal tiene una pendiente de fondo de $2,4\%$ por lo que esta debe ir inclinada en un soporte que pueda brindarle esta versatilidad.

Para abordar el diseño del sedimentador de alta tasa, se utilizó un tiempo de retención de 10 min que se determinó en un ensayo de sedimentación en caída libre. Adicionalmente, para la velocidad crítica se decidió tomar el valor límite correspondiente a este tiempo (9 m/d). Se determinó usar un múltiple para la entrada, este debe tener un diámetro de $\frac{3}{4}"$ con 21 orificios de $1,5 \text{ cm}$ repartidos de manera uniforme por toda el área superficial garantizando que el flujo se distribuya de forma homogénea.

El ángulo que recomienda la norma para inclinación de placas es 60° , si se desea que estas sean auto limpiantes y haya una máxima eficiencia. Por motivos de espacio tanto interior como exterior del sedimentador, se realizó el diseño con un ángulo de 75° y el ancho de estas placas se escogió a criterio de los diseñadores según el área disponible para la planta. Se recomienda que para las fases posteriores del proyecto se realicen ensayos cambiando las placas paralelas por módulos de sedimentación tipo colmena ya que estos garantizan una mayor eficiencia pues tienen un área superficial mucho mayor.

En la Tabla 12 se muestran los resultados más relevantes del sistema de sedimentación los cuales se pueden encontrar con más detalle en el Anexo 8.1.6

10

A pesar de que se obtuvieron resultados ajustados a la normativa y recomendaciones de la bibliografía para las diferentes unidades del proceso de ablandamiento se espera que las estructuras tengan un rendimiento óptimo. Sin embargo, el diseño es un modelo prototipo y debe someterse a pruebas hidráulicas y de campo para determinar que efectivamente sea funcional y aplicable para los requerimientos que se buscan en la planta piloto.

Tabla 12. Resultados más relevantes obtenidos para el diseño del sedimentador.

Parámetro	Valor/Resultado	Unidades
Tanque		
Volumen útil	373	L
Longitud	52	cm
Profundidad	100	cm
Ancho	60	cm
Número de placas	10	-
Inclinación de las placas	75°	
Velocidad crítica	9	m/d
Número de Reynolds	31	
Entrada al sedimentador		
Tubería perforada	¾ o 26	" ó mm
Diámetro de los orificios	1,1	cm
Número de orificios	21	
Gradiente	24	s ⁻¹
Tolva de lodos		
Tubería perforada	1½ o 48	" ó mm
Inclinación de la tolva	60°	
Diámetro de los orificios	8	mm
Número de orificios	17	
Salida del sedimentador		
Tubería perforada	1 o 42	" ó mm
Diámetro de los orificios	2	cm
Número de orificios	34	

Fuente: Tomado de Obando Acevedo & Uribe Olarte (2021).

El sistema de ablandamiento consta de una dosificación de cal en el agua a tratar que pasa al proceso de floculación y posteriormente a sedimentación. Siguiendo con el proceso ,se dosifica soda y, nuevamente, el agua pasa a floculación y posterior una sedimentación. Así, es necesario la construcción de dos sedimentadores y dos floculadores (Anexos 8.1.10).

5.2.3. Flotación por aire disuelto

Para el diseño del sistema de flotación por aire disuelto se tuvieron en cuenta los criterios de diseño y formulaciones de la bibliografía. Con los cálculos efectuados y ecuaciones descritas quedó definido el diseño de la cámara de saturación como se presenta en la Tabla 13.

Tabla 13. Datos obtenidos para el diseño de la cámara de saturación.

Parámetro	Valor	Unidades
Presión de operación (P_o)	4,25	atm
Concentración de saturación (S_a)	96,26	mg/L
Altura (h)	1	m
Diámetro (d)	8,06	in
TRH	2,74	min

Para garantizar el correcto funcionamiento de la cámara de saturación se considera una válvula de seguridad y un manómetro para monitorear la presión de operación del sistema y el paso de agua presurizada, ya que si ésta pasa de manera rápida puede causar el paso de burbujas grandes que pueden ocasionar la ruptura del floc. Para estas unidades el rango recomendado de presión en la cámara de saturación está entre 4 a 7 atm y en el diseño se espera una presión de 4,25 atm. No obstante, para obtener la presión adecuada del saturador es necesario realizar ensayos variando la presión de saturación, así de esta manera se asegura una completa saturación del agua a introducir en la cámara de flotación a través de una válvula reductora de presión.

Las dimensiones de la cámara de flotación se obtuvieron para un diseño rectangular, asumiendo una base de cálculo. Con la aplicación de las ecuaciones descritas anteriormente se obtuvieron los datos para el diseño de la cámara de flotación (Tabla 14) que se presentan con más detalle en los Anexos 8.1.6 y 8.1.3

Tabla 14. Datos obtenidos para el diseño de la celda de flotación.

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal de diseño (Q)	0,0002	m^3/s
Velocidad ascensional (V_f)	3	cm/min
Altura (h)	1	m
Largo (a)	1,50	m
Ancho (b)	0,27	m
Área superficial (A_s)	0,40	m^2
Volumen(V)	0,40	m^3
q	43,20	$m^3/m^2.d$
Tiempo de retención (TRH)	33,33	min
Tasa de aplicación de sólidos (q_s)	1,75	kg SST/ $m^3.h$

Para la eliminación de los sólidos flotados se optó por un mecanismo de barrido ubicado en la parte superior de la cámara de flotación conformado por placas barre lodos que se encuentran unidas a cadenas de rodillo que estarán accionadas por medio de un motor. Para los sólidos sedimentados en la celda

de flotación, se añadirá una válvula de purga para la eliminación de estos sólidos que no fueron capturados por las burbujas de aire.

5.2.4. Columna de adsorción con carbón activado granular (CAG)

Para el diseño del sistema unitario por adsorción que sea capaz de solucionar el problema planteado en la eliminación de compuestos orgánicos, se tuvieron en cuenta los criterios de diseño planteados en la Resolución 0330 de 2017, artículo 120, además de los valores típicos en diseño y operación de estos sistemas encontrados en la bibliografía, mostrados en la Tabla 11.

Las isothermas de adsorción se ajustan al comportamiento del CAG y son una buena alternativa para la selección preliminar de éste; no obstante, no se realizó la experimentación para conocer la capacidad de adsorción del carbón activado a utilizar para un contaminante específico.

Para el diseño se trabajó con un CAG de porosidad de $0,45 \text{ m}^3/\text{m}^3$, cumpliendo con los valores típicos de porosidad de los carbones activados. Se seleccionó una tasa de adsorción de $194 \text{ m}^3/\text{d}$ que se pueda garantizar que efectivamente se va a llevar a cabo el proceso de adsorción de manera óptima en la columna.

Las dimensiones obtenidas de la unidad de adsorción, como el área transversal, y el volumen difieren de la teoría encontrada en la que se basó el diseño, ya que estas dimensiones se encuentran es a escala real y el diseño que se desea realizar será a escala piloto. A pesar de esto los demás criterios de diseño que se determinaron cumplieron con los valores típicos encontrados en la bibliografía.

La altura de lecho que se supuso para el diseño fue de 1 m ; sin embargo, la columna debe tener una altura extra suficiente para permitir la expansión del lecho al realizar los retrolavados; generalmente, para sistemas que funcionen con flujo descendente esta altura debe ser del 50% de la altura del lecho, es decir, 50 cm . El retrolavado se realiza ascendentemente mediante una bomba periférica de $0,5 \text{ HP}$ (Anexo 8.4.5).

En la primera etapa del proyecto se llegó a la estratificación más apropiada para el filtro rápido y, debido a que la granulometría del carbón activado es incluso superior que la de la arena, se opta por utilizar el mismo lecho de soporte. Así, el lecho de soporte será de 20 cm , estratificado en gravas de $1''$ a $3/4''$, de $3/4''$ a $1/2''$, de $1/2''$ a $1/8''$, inclusive de $1/8''$ a malla 10 (Tabla 15); una estratificación óptima con la que se espera que el material adsorbente quede dentro de la unidad; aunque, por temas de operación, no puede garantizarse que no se pierda parte del material.

Tabla 15. Estratificación del lecho de soporte para el material adsorbente.

Gravas		Arena estándar	
1" - 3/4"	5 cm	0,45 mm - 0,65 mm	60 cm
3/4" - 1/2"	5 cm		
1/2" - 1/4"	5 cm		
1/4" - 1/8"	5 cm		

Fuente: Tomado de Obando Acevedo & Uribe Olarte (2021).

La altura total de la columna de adsorción, considerando el falso fondo, el lecho de soporte, la altura del lecho y su expansión, será de 1,9 m con un diámetro de 0,34 m. La columna será elaborada en fibra de vidrio y tendrá accesorios PVC como se presenta en los Anexos 8.1.7 y 8.2.4.

El lecho de carbón activado se puede saturar de manera prematura debido a que tiende a extraer productos absorbibles de flóculos con los que entra en contacto; por esta razón, la unidad de adsorción se debe ubicar posterior a la filtración del agua a través de arena descrita en la primera etapa del proyecto. Así, se disminuyen los ciclos de lavado, la regeneración del carbón activado y aumenta su efectividad de adsorción.

5.2.5. Columna de intercambio iónico con zeolita

Para el diseño del sistema unitario de intercambio iónico se tuvieron en cuenta los criterios de diseño planteados en la Resolución 0330 de 2017, artículo 119, además de las ecuaciones planteadas con anterioridad. El diseño realizado consta de una columna vertical de lecho fijo de zeolita en su interior, a través de la cual fluirá continuamente el agua a tratar. Se espera que a medida que el agua fluye por la zeolita vaya disminuyendo progresivamente la concentración de iones en solución.

Para el diseño es importante tener en cuenta la altura del lecho ya que los efectos hidráulicos y eficiencia están asociados a la profundidad de éste. La altura que se seleccionó para el diseño fue de 1 m, tiempo de retención de 3,5 minutos y se obtuvo un diámetro de 0,35 m. El lecho de soporte se seleccionó de la misma forma presentada anteriormente para la columna de adsorción, ya que la zeolita, al igual que el CAG, tiene una granulometría similar que la de la arena. La columna será construida en fibra de vidrio y tendrá accesorios PVC.

Se deben efectuar lavados ascendentes por medio de una bomba periférica de 0,5 HP (Anexo 8.4.5) a través del falso fondo para garantizar la expansión de la zeolita. Se suele tomar la expansión para zeolitas de un 40 a un 50% de la altura del lecho. En este diseño se calculó una expansión del 54% respecto a la porosidad del lecho expandido. El lecho se expandirá 54 cm por encima de su

altura normal, por ende, se estima un borde libre de 60 cm; esta información permitió ubicar las tuberías de desagüe y excesos. La altura total de la columna se determinó a partir de las consideraciones mencionadas con anterioridad, obteniendo una altura total de 1.9 m y un diámetro de 0.35 m como se presenta en los Anexos 8.1.8 y 8.2.5.

5.3. Presupuesto y APU

Después de realizar el diseño y dimensionamiento de cada unidad, se hizo un inventario de los elementos que se demandan para la instalación de las diferentes unidades para elaborar un APU, teniendo en cuenta materiales, equipo, transporte y mano de obra, con sus respectivas tarifas por hora, rendimientos, volumen y distancia. Con los parámetros anteriores se puede determinar el costo directo total y a este se le suma un 15% de administración y utilidades. De esta manera se halló un precio unitario total de cada elemento. Este proceso se presenta en los Anexos del 8.3.1 al 8.3.5.

Teniendo el análisis presupuestal de cada elemento demandado, se realizó el presupuesto del proyecto separando cada unidad, por entrada, estructura y salida. El precio unitario hallado en el análisis se multiplica por la cantidad individual necesaria, esto se realizó con todo el inventario inicialmente proyectado. Posteriormente se sumaron los totales encontrados y arrojó un resultado de precio total para cada unidad. Finalmente, se sumaron los valores hallados para cada módulo y arroja un subtotal de todas las unidades complementarias al cual se le suma el IVA (19% de las utilidades previstas en un 10%), para así obtener el presupuesto para las unidades que se desean incorporar a la planta. En el Anexo 8.3.6 se encuentra el presupuesto realizado para este proyecto.

6. CONCLUSIONES

Basándose en los resultados obtenidos se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Se diseñó una planta piloto para el tratamiento de aguas que consta de unidades complementarias no convencionales modulares con todos los accesorios necesarios para su diseño constructivo y manejo versátil. La planta constituye una excelente herramienta y la implementación de estas unidades es un avance muy importante cómo materia de recursos de investigación y docencia de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia.
- El diseño se basó en estudios e investigaciones similares y en las condiciones que debían ofrecer cada una de las unidades. Por lo anterior, fue necesario adoptar parámetros de diseño que garantizaran las condiciones y criterios adecuados para cada una de las unidades, comprobando de esta manera que el cálculo estuvo realizado correctamente aun cuando las consideraciones realizadas diferían un poco de las exigidas por la normatividad y de los valores típicos de diseño encontrados en la bibliografía.
- Una problemática en el diseño a escala de laboratorio es comprobar que se tomaron las consideraciones y valores adecuados, porque algunos datos para el diseño se obtienen de ensayos de laboratorio y otros se deben suponer respecto a los rangos establecidos por la normatividad vigente y bibliografía. Sin embargo, usar la formulación matemática de la bibliografía y valores reales, tanto de laboratorio como de la norma, no garantiza una adecuada operación de las unidades.
- Como parte preliminar se recomienda la realización de pruebas del agua en el laboratorio para tener las condiciones iniciales de ésta y establecer qué tipo de tren de tratamiento se debe implementar, además identificar cuáles son las limitaciones a nivel funcional de las unidades de acuerdo con los parámetros de calidad del agua que se estén evaluando.
- Una vez llevada a cabo la construcción de las diferentes unidades se deberá calibrar y verificar que el diseño hidráulico y su eficiencia es el adecuado para ofrecer un funcionamiento óptimo de las mismas para la utilidad que se les pretende dar.
- La puesta en marcha del proyecto es factible técnicamente, sin embargo, respecto a los costos de inversión inicial para la realización de este modelo, son un poco elevados. A pesar de esto, se debe estimar el costo-beneficio

del proyecto, ya que se deben valorar las necesidades y oportunidades de acometer la realización de las unidades no convencionales.

- Junto al documento general del proyecto, se entregan las hojas de cálculo, planos de los diseños realizados y análisis presupuestal, como una guía para llevar a cabo su construcción. Sin embargo, se pueden generar modificaciones durante el proceso constructivo, demostrando de esta manera que, entre el diseño y la construcción de cualquier tipo de estructura en ocasiones se debe estar dispuesto a un margen de error.
- El correcto funcionamiento y vida útil de la planta dependerá en gran parte del mantenimiento que se les realice a las estructuras, así como del cuidado que se tenga en su manipulación.



7. REFERENCIAS

- American Water Works Association. (2002). *Calidad y Tratamiento del Agua : Manual de suministros de agua comunitaria*. McGraw-Hill Interamericana de España. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=55>
- Arboleda, J. (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*. Tomo I. Tercera ed. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Bañón, H. (s.f.). *Diseño de un sistema de adsorción en carbón activado para la eliminación de cromo hexavalente en disolución acuosa*. Universidad Politécnica de València, España.
- Barrenechea, A. (2004). *Aspectos fisicoquímicos para la calidad del agua*. Obtenido de <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>
- Barrera, S., & Campo, A. (2005). *Estudio de la cinética de oxidación de hierro en sistemas acuosos orientada hacia la absorción de oxígeno* (Tesis magister en ingeniería). Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y ambiental, Bogotá D.C, Colombia.
- Brito, H., Melinton, M., Totoy, M., & Cumanda, C. (2016). *Diseño e implementación de una planta (prototipo) de tratamiento de agua potable*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Carbotecnia. (2020). *Cobre en el agua, efectos en la Salud y cómo eliminarlo*. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/cobre-en-el-agua/>
- Cárdenas, C., & Medina, A. (2017). *Diseño y construcción de una planta de tratamiento de agua potable a escala para el laboratorio de hidráulica de la Universidad Santo Tomás*. Bogotá D.C, Colombia.
- Curi, A., Granda, W., Lima, H., & Sousa, W. (2006). Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros. *Inf. tecnol.* 17. Recuperado de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0718-07642006000600017&lng=es&nrm=i
- CEPIS. (1992). *Programa regional HPE/OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para el consumo humano*. Lima.
- CEPIS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Davis, M.L, Ph.D., P.E., DEE (2010). *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice* (McGraw-Hill Education: New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto, 2010). <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071713849>

- De la Torre, G., & Moreno, P. (1995). Química orgánica.
- Delgado, J. (2017). *Análisis de precios unitario*. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/JonathanDelgado39/anlisis-de-precio-unitario-apu>
- Decreto 1575 de 2007. (s.f.). *Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua*. Recuperado de Ministerio de Medio Ambiente: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2007/dec_1775_2007.pdf
- Duarte Valencia, E. A., & Vizcaíno Sánchez, C. M. (2015). *Estudio comparativo entre la implementación de la zeolita y la resina de intercambio iónico en la remoción de hierro y dureza de agua sintética que simula el agua para uso industrial* (Trabajo de grado). Universidad de la Salle, Facultad de Ingeniería, Bogotá D. C. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/35/?utm_source=ciencia.lasalle.edu.co%2Fing_ambiental_sanitaria%2F35&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- Dvorak, B. (2014). *Drinking Water: Iron and Manganese*. University of Nebraska–Lincoln. Obtenido de <https://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1714.pdf>
- Eckenfelder, W., Ford, D., & Englande, A. (2009). *Industrial Water Quality*. The McGraw-Hill Companies, Inc
- Escuela Colombiana de Ingeniería. Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.(2000). RAS – 2000. Recuperado de https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483
- Expósito, L. J., & Hernández, J. (2014). *Propuesta de diseño de una planta piloto potabilizadora de tipo convencional, con coagulantes orgánicos accionada por gravedad, para pequeñas comunidades* (Trabajo de grado). Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.
- Fuentes, A. H. (2013). *Estudio experimental de la oxidación de Hierro en aguas subterráneas de abastecimiento a través de aireación*. Universidad del Bío-Bío. Recuperado de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1359/1/Fuentes_Alarcón_Hernan_Antonio.pdf
- Giraldo, G. G. (1995). *Manual de análisis de aguas*. Universidad Nacional de Colombia, Ingeniería Química, Manizales.
- Gómez, J. (2001). *Síntesis, caracterización y aplicaciones catalíticas de zeolitas básica* (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid, Ingeniería Química, Madrid. Recuperado de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/4846/>
- Gonzáles, S. L., & Olaya, Q. L. (2011). *Propuesta de mejoramiento en el sistema de tratamiento de agua potable del acueducto Acuabol en el municipio de Bolívar-Santander* (Trabajo de grado). Universidad de América, Bogotá D.C, Colombia.

- Haarhoff, J. (2008). Dissolved air flotation: progress and prospects for drinking water treatment. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 57, 555-567.
- Halim, M., Conte, P., & Piccolo, A. (2003). Potential availability of heavy metals to phytoextraction from contaminated soils induced by exogenous humic substances. *Chemosphere*, 52, 265-275. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653503001851>
- Harper, C., & Snowden, M. (2017). *Environment and society: Human perspectives on environmental issues*. Taylor & Francis.
- Hernández García, R. (2016). *Estudio del comportamiento del carbón activo en la adsorción de Fluoruro procedente de aguas con concentraciones elevadas* (Trabajo de Grado). Universidad de la Laguna, Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica.
- Hernández Triana, E. J., & Corredor Briceño, C. A. (2017). *Diseño Y Construcción De Una Planta Modelo De Tratamiento Para La Potabilización De Agua* (Trabajo de Grado). Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá D.C.
- Hydro Environment, (Sin fecha). *¿Qué es el Sistema Venturi?* Tomado de: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=427
- IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios. Obtenido de <http://www.ins.gov.co/lineas-de-accion/RedNacionalLaboratorios/Documentacin%20en%20Salud%20Ambiental/Estudio%20Nacional%20de%20Agua%20IDEAM,2010.pdf>
- Kunin, R. (1972). Water softening by ion exchange.
- Letavayová, L., Vlcková, V., & Brozmanová, J. (2006). Selenium: from cancer prevention to DNA damage. *Toxicology*, 227, 1-14.
- Loayza, A. N (2019). *Diseño, construcción y evaluación de un prototipo de tratamiento de agua para su potabilización a nivel planta piloto* (Trabajo de grado). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Facultad de Ingeniería Química y Metalúrgica. Ayacucho, Perú.
- Lozano Rivas, W., & Lozano Brazo, G. (2015). *Potabilización del agua. Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Mackenzie L., D. (2010). *Water and Wastewater Engineering: Design Principles and Practice. Lime-Soda Softening; Chapter*. McGraw-Hill Companies. Recuperado de https://www.academia.edu/10324772/Mc_Graw_Hill_Water_and_Wastewater_Engineering_2010_RETAi_L_EBook_Di_Gi_Book
- Manahan, S. E. (2017). *Environmental Chemistry*. CRC Press.
- Marín, G. R. (2012). *Características físicas, químicas y biológicas de las aguas*. Empresa Municipal de Aguas de Córdoba S.A. (EMACSA), España. Recuperado de <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad->

politecnica-de-tlaxcala/biotecnologia/otros/caracteristicas-fisico-quimicas-y-biologicas-del-agua/8227369/view

- McFarland, M., & Dozier, M. (2004). *Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso*. Recuperado de <http://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/15451sironandman.pdf>
- Medcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and reuse* (Cuarta ed.). New York, USA: McGraw-Hill, Inc.
- Moore, J. W. (2012). *Inorganic Contaminants of Surface Water: Research and Monitoring Priorities*, Springer Science & Business Media.
- MPS (Ministerio de la Protección Social). (2007). Decreto 1574 del 9 de mayo de 2007. *Ministerio de la Protección Social, República de Colombia*. Bogotá.
- Munyengabe, A., Zvinowanda, C., Zvimba, J., & Ramontja, J. (2020). Estudios innovadores de oxidación y cinética de iones ferrosos por ferrato de sodio (VI) y eliminación simultánea de metales de un drenaje de mina de ácido sintético. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*.
- MVCT(Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio). (2017). Resolución 0330 de 2017. *Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las Resoluciones números 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009. 08 de junio de 2017*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, República de Colombia. Bogotá.
- Neira, M. A. (2006). *Dureza en aguas de consumo Humano y uso Industrial, impactos y medidas de mitigación*. Estudio de caso: Chile. Recuperado de http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf
- Niño Arias, I., & Ortíz Ramírez, D. (2008). *Evaluación de dos clases de carbón activado granular para su aplicación efectiva en la remoción de fenoles en los vetimientos de una empresa de jabones*. Universidad de la Salle. Recuperado de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/583/?utm_source=ciencia.lasalle.edu.co%2Fing_ambiental_sanitaria%2F583&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- Obando Acevedo, J. D., & Uribe Olarte, E. A. (2021). *Diseño constructivo de la planta piloto de potabilización para el Laboratorio de Procesos Físicoquímicos* (Trabajo de grado). Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
- Oki, T., & Kanae, S. (2006). Global Hydrological Cycles and World Water Resources. *Science*, (313), 1068-1072.
- Oliva, E. (2005). *Remoción de carbonatos de calcio de aguas subterráneas por medio de tratamiento químico con cal y soda ash* (Magister en Ingeniería Sanitaria). Guatemala.
- Ospina, G. D., & Orjuela, B. A. (2019). *Propuesta de un sistema de potabilización de agua subterránea para la finca las brisas en Nemocón*,

- Cundinamarca (Trabajo de grado). Fundación Universidad América, Bogotá D.C, Colombia.
- Parrado Dávila, C. C. (2017). *Implementación de planta a escala para tratamiento de agua potable con fines académicos para el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia* (Trabajo de investigación para optar al título de Ingeniero Civil). Universidad Piloto de Colombia, Bogotá D.C.
 - Prada, C. D., & Robelto, C. C. (2016). *Propuesta para un sistema de tratamiento de agua potable para el acueducto de aguas del trapiche S.A.S. en Villavicencio Meta*. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia.
 - R.S. Ramalho. (1996). Tratamiento de aguas residuales. Reverté S.A. Obtenido de <https://es.slideshare.net/IngAmbientaIMX/tratamiento-de-aguas-residuales-rs-ramalho>
 - Rao, R. A., & Kashifuddin, M. (2014). Kinetics and isotherm studies of Cd (II) adsorption from aqueous solution utilizing seeds of bottlebrush plant (*Callistemon chisholmii*). *Applied Water Science*, 4, 371-383. Obtenido de https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-014-0153-2?utm_source=other_website
 - Restrepo, H. A. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua potable*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín. Recuperado de http://bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf
 - Riera, M. A., & Glaterol, N. A. (2015). Diseño de una unidad de flotación con aire disuelto para la remoción de contaminantes de las aguas residuales generadas en una empresa manufacturera. *Revista Digital de Investigación y Postgrado*, 5. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5282241>
 - Rigola, L. M. (1999). *Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales*. Parámetros de calidad de las aguas. Barcelona, España: S.A.Marcombo.
 - Rivas, M. G. (1963). *Tratamientos de potabilización de las aguas*. Madrid, España.
 - Romero Rojas, J. A. (2000). *Purificación del agua*. Bogotá: Centro Editorial
 - Romero Rojas, J. A. (2009). *Calidad del Agua* (3 ed.). Bogotá D.C.
 - Rubio, J. S. (2002). Overview of flotation as a wastewater treatment technique. *Minerals Engineering*, 15, 139-155.
 - Salvador, B. A. (2009) *Aplicación del proceso de ósmosis inversa al tratamiento de agua salobre* (Trabajo final de carrera). UPC. Recuperado de <http://hdl.handle.net/2099.1/7137>
 - Sander, R. (2015). *Compilación de las constantes de la ley de Henry (versión 4.0) para el agua como disolvente*. Atmospheric Chemistry and Physics.

- Teodosiu, C. C., Gilca, A. F., Barjoveanu, G., & Fiore, S. (2018). Emerging pollutants removal through advanced drinking water treatment: A review on processes and environmental. *Cleaner Production*, 197, 1210-1221.
- Ures Rodríguez, P., Jácome Burgos, A., & Suárez López, J. (2014). Adsorción en Carbón Activo. *Fichas técnicas de procesos de plantas de tratamiento de aguas residuales de la industria textil*.
- U.S. Geological Survey. (2014). *USGS Science for a changing world*. Obtenido de <http://water.usgs.gov/edu/hardness.html>
- Wills Betancur, B. A., & Castro Jiménez, C. C. (2009). *Manual de prácticas para el Laboratorio de Procesos Físicoquímicos para el Tratamiento de Aguas*. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



8. ANEXOS

8.1. Planos guías para la construcción de la planta

- 8.1.1. Tanque de aireación**
- 8.1.2. Tubo Venturi**
- 8.1.3. Mezclador estático en línea**
- 8.1.4. Floculador horizontal**
- 8.1.5. Sedimentador de alta tasa**
- 8.1.6. Sistema de Flotación por aire disuelto**
- 8.1.7. Columna de adsorción**
- 8.1.8. Columna de intercambio iónico**
- 8.1.9. Plano general de la planta con tanque de aireación**
- 8.1.10. Plano general de la planta con sistema de ablandamiento**
- 8.1.11. Plano general de la planta con sistema de flotación**
- 8.1.12. Plano general de la planta con columna de adsorción e intercambio iónico**

8.2. Memorias de cálculo

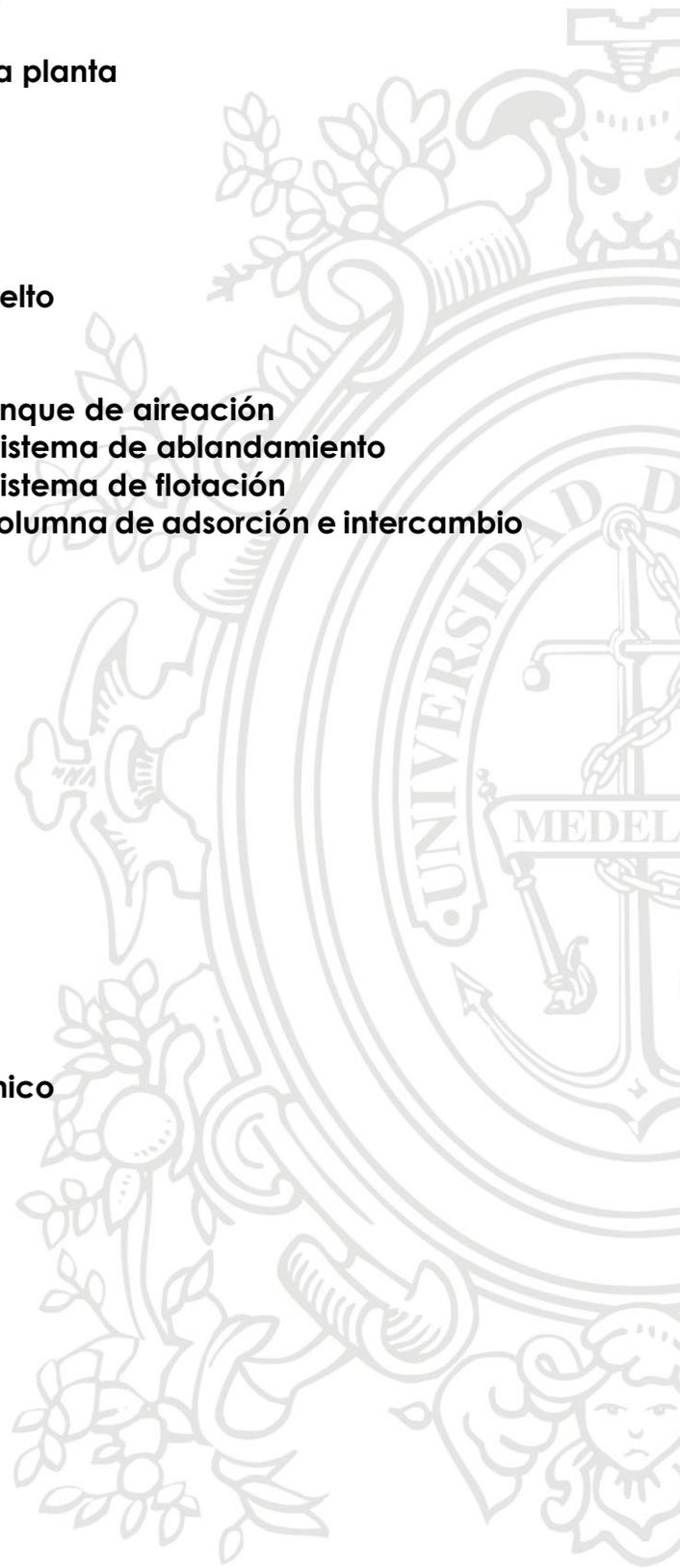
- 8.2.1. Tanque de aireación**
- 8.2.2. Floculador horizontal**
- 8.2.3. Flotación por aire disuelto**
- 8.2.4. Columna de adsorción**
- 8.2.5. Columna de intercambio iónico**

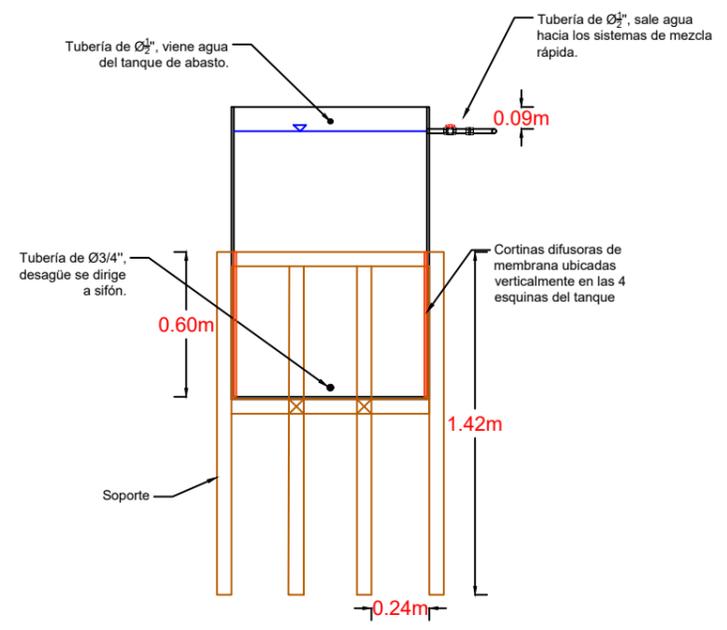
8.3. APU y presupuesto del proyecto

- 8.3.1. APU- tanque de aireación**
- 8.3.2. APU- Ablandamiento**
- 8.3.3. APU- Flotación por aire disuelto**
- 8.3.4. APU- Columna de adsorción**
- 8.3.5. APU- Columna de intercambio iónico**
- 8.3.6. Presupuesto del proyecto**

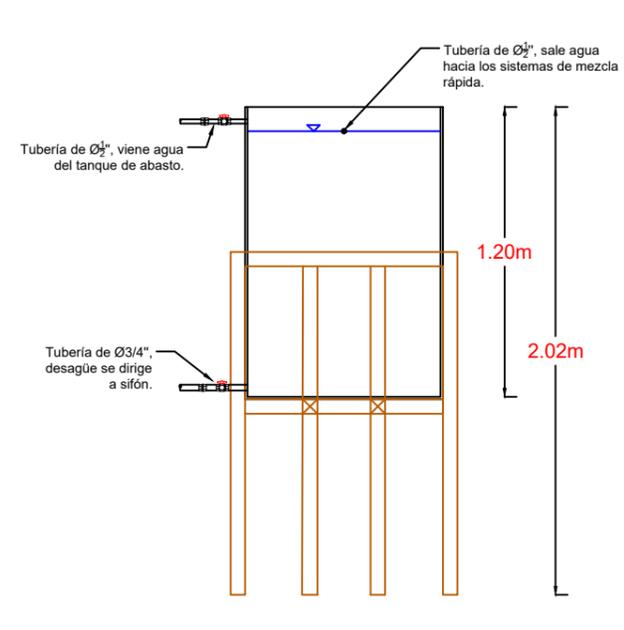
8.4. Fichas técnicas

- 8.4.1. Cortinas difusoras**
- 8.4.2. Compresor de aire**
- 8.4.3. Tubo Venturi**
- 8.4.4. Bomba peristáltica**
- 8.4.5. Bomba periférica**

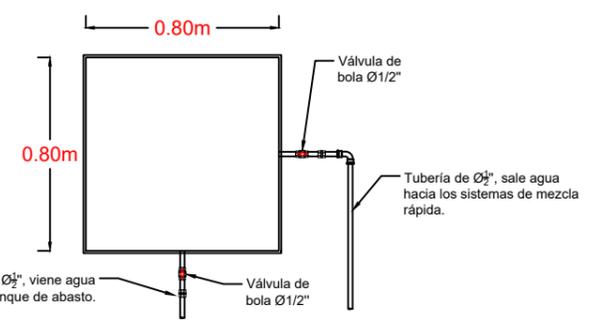




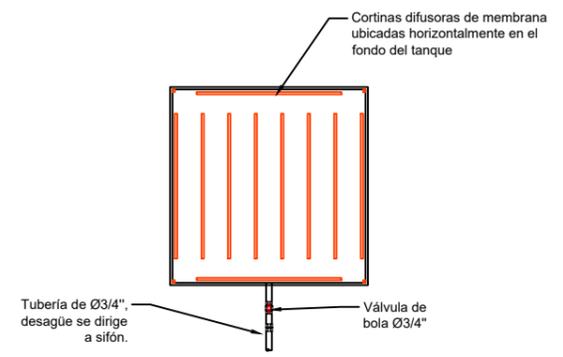
Vista lateral



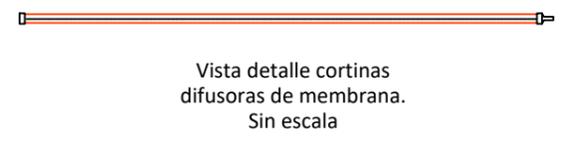
Vista frontal, rotación 90°



Vista superior



Vista superior de desagüe, con detalle de posición de aireadores



Vista detalle cortinas difusoras de membrana. Sin escala

NOTAS	
Se dejaron 10 centímetros de borde libre para el tanque. Se recomienda construir el tanque en acrílico de calibre 1 cm.	
La Estructura de Soporte se usaran perfiles de 6x6 huecos de grado A36 espaciados cada 24 cm formando una canasta que le permita al tanque un soporte estable.	
La Estructura de Soporte podrá graduar su altura para una fácil instalación.	
Se recomienda instalar 14 cortinas de difusión para garantizar una buena aireación. Para esto es necesario la instalación de 4 bombas de aireación.	
Se conectará el tanque a la tubería propuesta en la primera etapa del proyecto tanto a la entrada como a la salida, se usarán válvulas de bola para controlar la dirección del agua.	
Se debe realizar pruebas para determinar el caudal necesario de aire para determinar la eficiencia de remoción, en la bibliografía se encuentra que para tiempos de contacto de 60 minutos se logra una remoción del 30,13% y 32,64% para el caudal de aireación de 3,7[l/min] y 9,2 [l/min] respectivamente. En los resultados se determinó que el porcentaje de oxidación del Hierro siempre será mayor donde se utiliza una mayor cantidad de aire suministrado. Para el diseño se recomienda compresores de aire de 55 l/min de 30 W que será adaptado a un accesorio que dividirá el caudal de aire a las diferentes cortinas difusoras, sin embargo se deben hacer estudios.	
Las dimensiones de los difusores de membrana son: *Largo: 0.6 m *Diámetro: 0.1m	

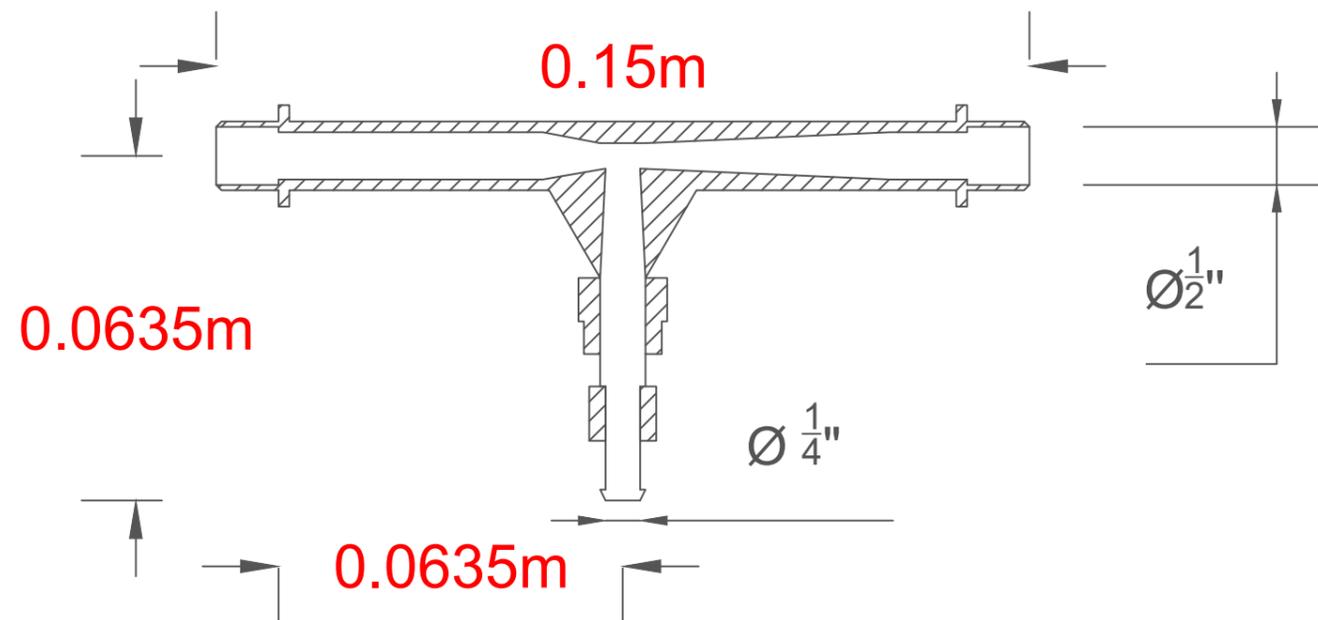
Ficha técnica Ø tubería	
Tubería de 3/4"	
Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Materia	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS ¾" (26 mm)
Presión de trabajo	RDE 21 (200 psi)
Resolución	501

Ficha técnica Ø tubería	
Tubería de 1/2"	
Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Materia	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS 1 ½" (21 mm)
Presión de trabajo	RDE 13.5 (315 psi)
Resolución	501

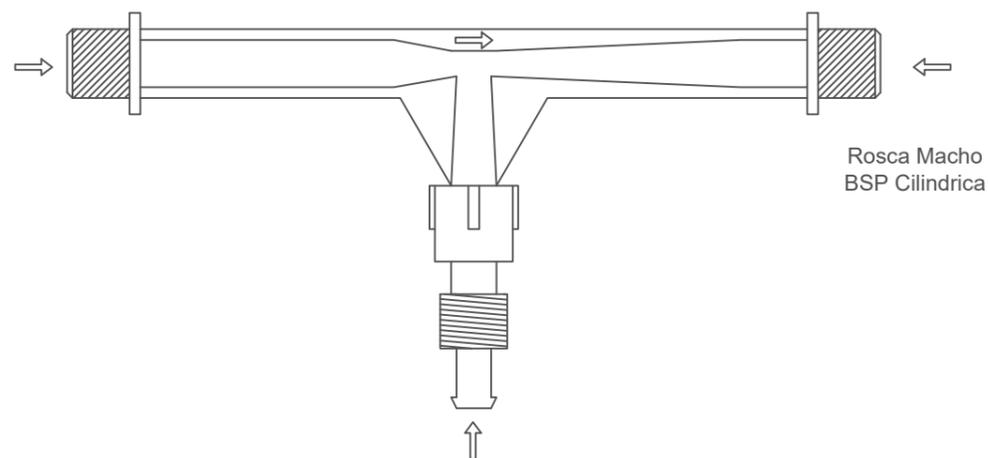
Ficha técnica cortina difusora	
BOYU serie TN	
Uso	Aireación
Modelo	TN-04
Materia	Neopreno
Caudal	30 L/h
Diámetro cuerpo	10 mm
Longitud	60cm - 24 pulg
Longitud espiga	13 mm
ØConexión	1/8" mm

Ficha técnica compresor de aire	
BOYU	
Modelo	ACQ-005
Voltaje	AC230 - 115V
Potencia	70 W
Flujo máximo de aire	60 L/min
Medidas	196*106*127 mm
Presión	0.03 MPa
Frecuencia	50/60 Hz

 UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803	Diseño 8.1.1: Tanque de aireación Universidad de Antioquia	Tanque de aireación	ESCALA: Indicada.	FECHA: 18/04/2021	
	Proyecto de investigación: Diseño constructivo de la segunda etapa de la planta piloto de potabilización para el laboratorio de Procesos Físicoquímicos.	Contenido: Vista lateral. Vista frontal. Vista superior.	PLANO: Hidráulico		1 / 1
	REVISIÓN: Darío Naranjo Fernandez		PLATAFORMA: ACAD-DWG	TAMAÑO: ISO A3 : 420x297	



Vista Superior Detalle en Corte
Inyector Tipo Venturi



Vista Superior
Inyector Tipo Venturi

Nota :

Los accesorios para conectar el venturi a la línea de abasto son: valvula de bola y adaptador hembra $\frac{1}{2}$ ". Para la salida, solo se requiere de el adaptador hembra. La inyeccion de quimico se da a traves de una manguera de $\frac{1}{4}$ "

Ficha Tecnica

Rosca de entrada/salida	1/2 "
Material	POM - Polioximetileno, polióxido de metileno
Tamaño	Estándar
Rango de flujo	0.29 a 0.81 m3/h
Presión de trabajo	0.7 a 9.5bar
Capacidad de autocebado	3 a 37 L/h

Tubería de 1/2"

Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Material	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS 1/2" (21 mm)
Presión de trabajo	RDE 13.5 (315 psi)
Resolución	501



Diseño 8.1.2: Inyector tipo Venturi
Universidad de Antioquia

Proyecto de investigación: Diseño constructivo de la planta piloto de potabilización para el laboratorio de Procesos Físicoquímicos.

REVISIÓN:
Darío Naranjo Fernandez

Inyector tipo Venturi

Contenido:
Vista superior.

ESCALA: Indicada.

FECHA: 25/01/2021

PLANO: Hidráulico

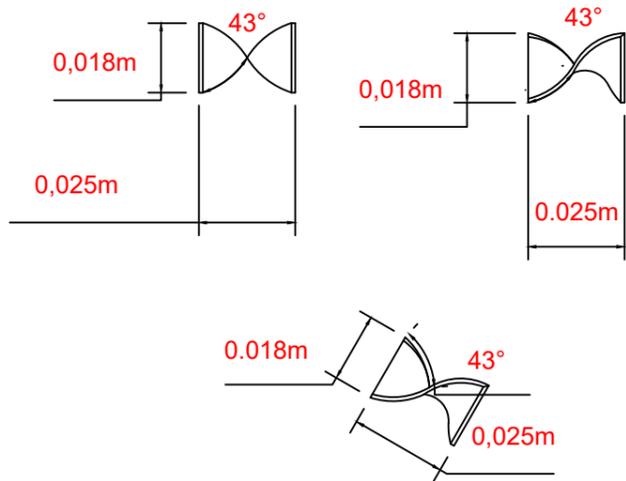
1

1

PLATAFORMA: ACAD-DWG

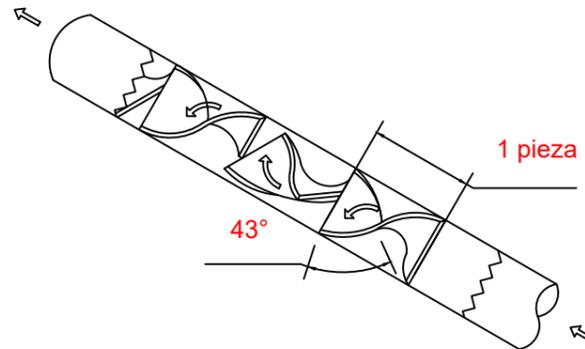
TAMAÑO: ISO A3 : 420x297

PIEZA DEL MEZCLADOR



Sin escala

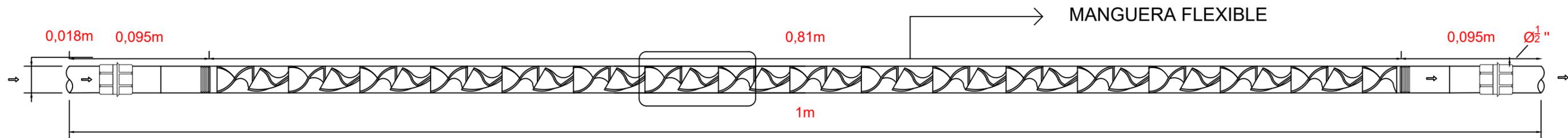
DETALLE MEZCLADOR



Sin escala

Ficha Tecnica Ø Tuberia

Tuberia de 1/2"	
Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Material	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS 1/2" (21 mm)
Presión de trabajo	RDE 13.5 (315 psi)
Resolución	501



SECCIÓN MEZCLADOR



Diseño 8.1.3: Mezclador estático
Universidad de Antioquia

Proyecto de investigación: Diseño constructivo de la planta piloto de potabilización para el laboratorio de Procesos Físicoquímicos.

REVISIÓN:
Darío Naranjo Fernandez

Mezclador estático en línea

Contenido:
Detalle del mezclador
Piezas del mezclador
Vista lateral

ESCALA: Indicada.

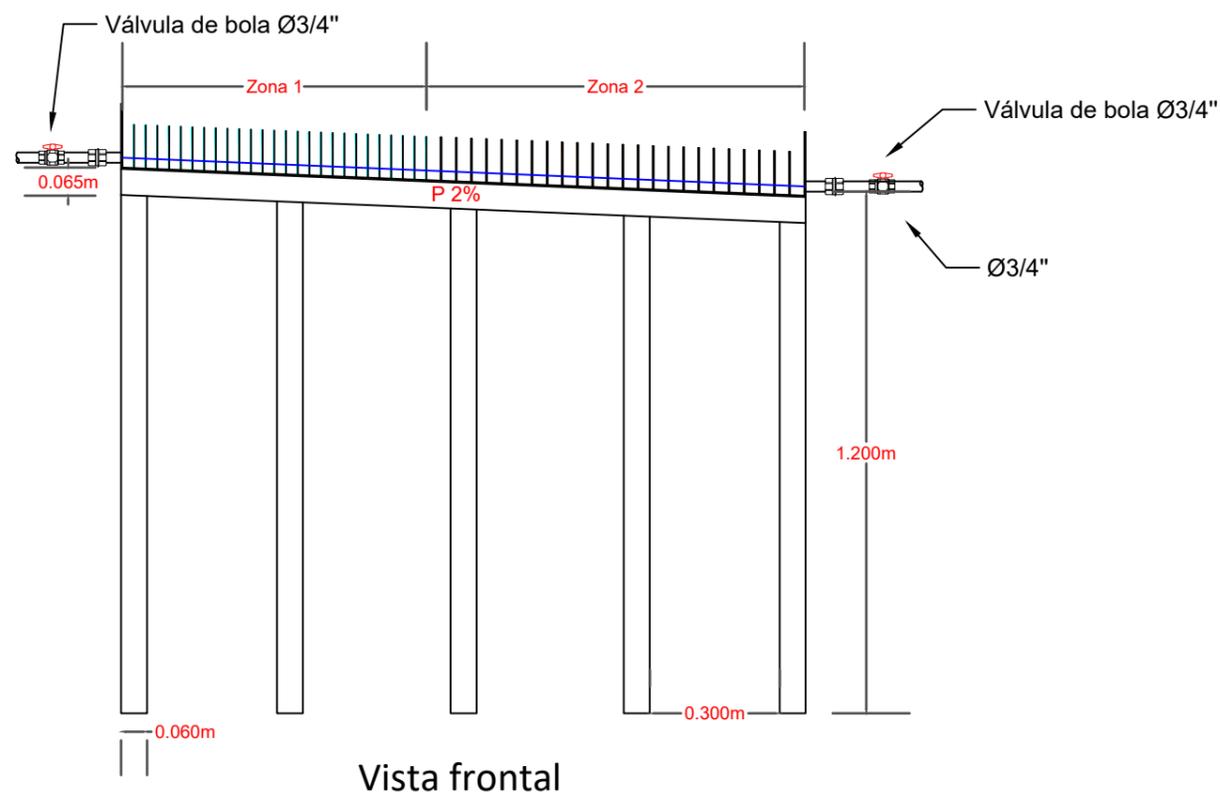
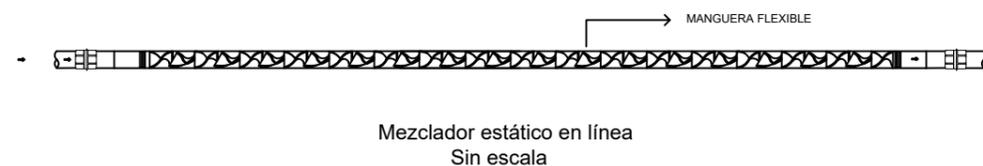
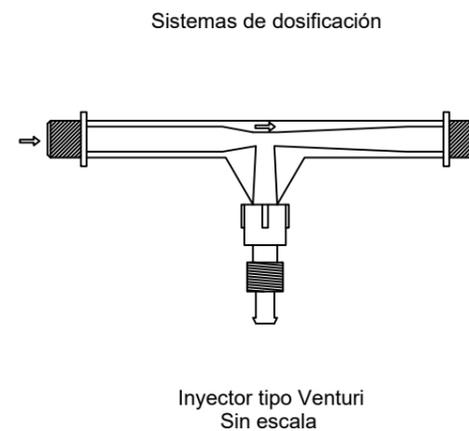
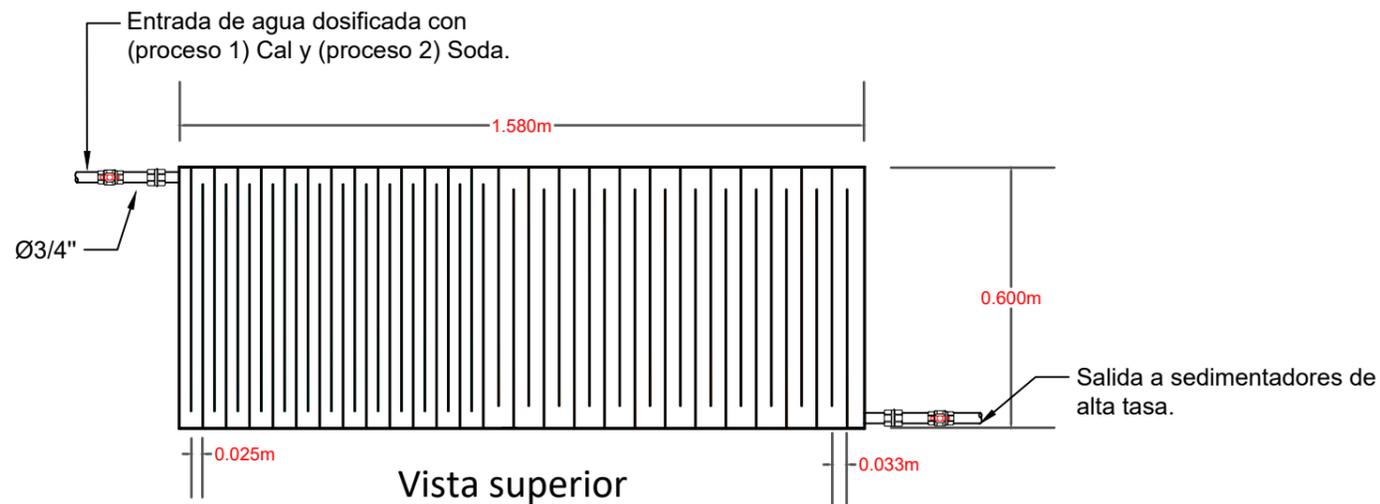
FECHA: 25/01/2021

PLANO: Hidráulico

1 / 1

PLATAFORMA: ACAD-DWG

TAMAÑO: ISO A3 : 420x297



Ficha Técnica Ø Tubería	
Tubería de 3/4"	
Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Material	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS 3/4" (26 mm)
Presión de trabajo	RDE 21 (200 psi)
Resolución	501

Notas:

- *Se utilizará el sistema de tubo Venturi y mezclador estático (de la primera etapa) para la primera dosificación (Cal) y se instalará un tubo Venturi para la segunda dosificación (Soda).
- *Se recomienda fabricar los dos floculadores en acrílico calibre 3mm.
- *Debe considerarse la posibilidad de usar placas removibles, con el fin de realizar un buen mantenimiento.
- *Para las estructuras de soporte: se usarán perfiles HSS de 6 x 6 huecos de grado A36 y una lamina o plancha de grado A36 calibre 1 cm. Además, estas estructuras permitirán regular su altura, para así brindar las condiciones estructurales necesarias para el montaje.
- *Se usarán dos sedimentadores de alta tasa tomando el diseño de la primera etapa.
- *Las dimensiones de las placas son 0.55 m de ancho, 0.1 m de profundidad y 0.002m de espesor. Se construirán en acrílico.



Diseño 8.1.4: Floculador para ablandamiento
 Universidad de Antioquia

Proyecto de investigación: Diseño constructivo de la segunda etapa de la planta piloto de potabilización para el laboratorio de Procesos Físicoquímicos.

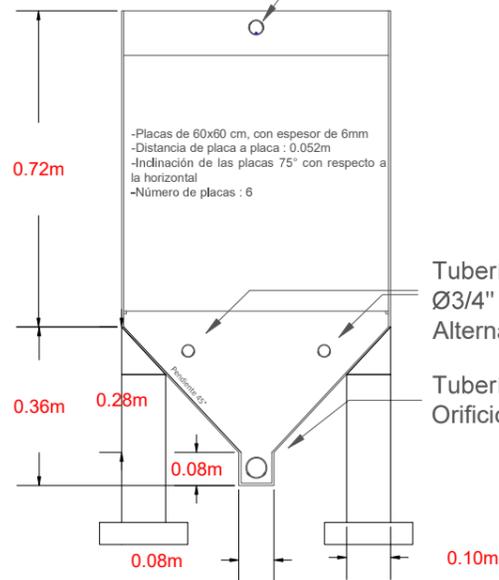
REVISIÓN:
 Darío Naranjo Fernandez

Floculador para ablandamiento

Contenido:
 Vista lateral.
 Vista superior.

ESCALA: Indicada.	FECHA: 10/04/2021
PLANO: Hidráulico	1 / 1
PLATAFORMA: ACAD-DWG	TAMAÑO: ISO A3 : 420x297

Tubería de salida perforada de Ø1". Orificios Cara a Cara



Tuberías de entrada perforadas de Ø3/4". Orificios del Multiple son Alternados

Tubería de lodos de Ø1 1/2". Orificios cara a cara

Seccion Frontal Sedimentador
ESC: 1:8

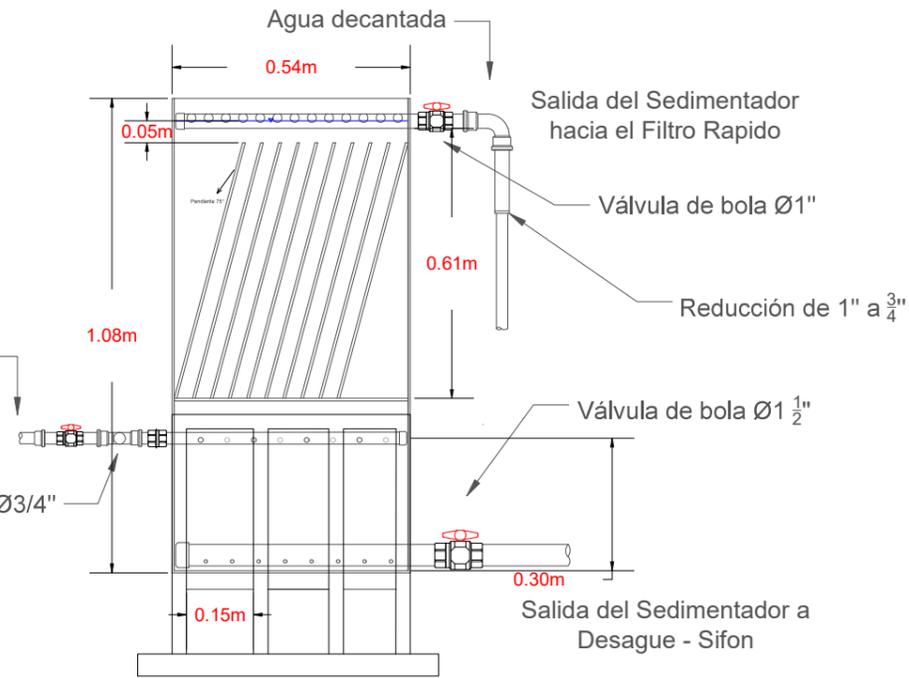
Notas:

*Para soportar la estructura se proyectarán dos pestañas de forma longitudinal diseñadas y dispuesta de fábrica Las cuales servirán como punto de apoyo sobre la estructura que soportará el tanque de sedimentación

*Para la instalacion de las placas paralelas o modulos tipo colmena. Se proyectaran pestañas prefabricadas al interior de la unidad de tal manera que se puedan apoyar las placas o los modulos.

Entrada agua floculada

Válvula de bola Ø3/4"



Seccion lateral Sedimentador
ESC: 1:8

Esquema de Tubería Perforada

- Tubería Perforada Ø 1"
- Tubería Perforada Ø 3/4 "
- Tubería Perforada Ø 1 1/2 "

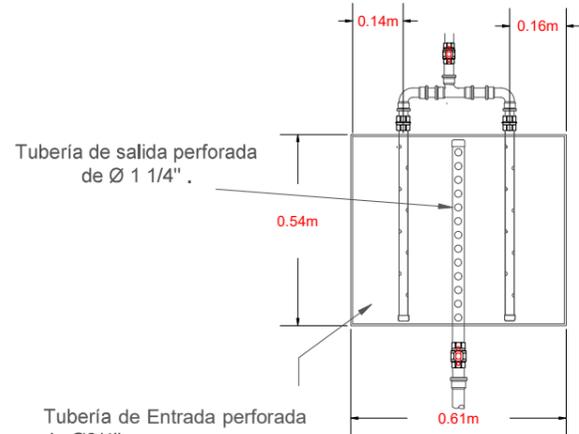
-Dos tuberías perforadas con 17 orificios repartidos en ambas tuberías.
-Tubería RDE 21 PVC de Ø3/4"
-8 orificios en una tubería y 9 orificios en la otra
-Los 8 orificios repartidos 4 a cada lado, separados 0.12m de centro a centro
-Los 9 orificios repartidos 5 a un lado y 4 al otro, separados de centro a centro a 0.1m y 0.12m respectivamente.
-Orificios de 1.1cm de diámetro.
-Ubicados a 45°.



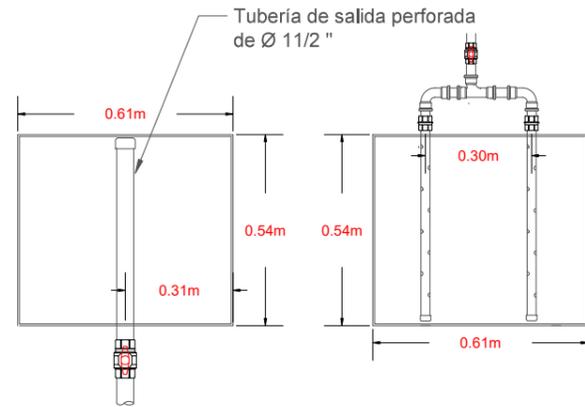
-Tubería perforada con 34 orificios.
-Tubería RDE 21 PVC de Ø1 1/2"
-Con 17 orificios ubicados a lado y lado
-Los orificios están separados de centro a centro 6 cm
-Orificios de 8mm de diámetro.
-Ubicados a 45°.
-Con una pendiente del 1%.



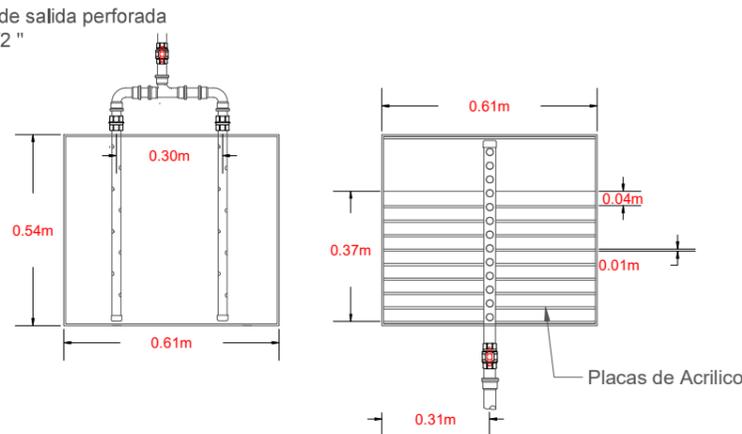
-Tubería perforada con 17 orificios.
-Tubería RDE 21 PVC de Ø1"
-Con 17 orificios ubicados a lado y lado.
-Separación de centro a centro de 0.039m.
-Orificios de 2cm de diámetro.
-Ubicados a 45°.



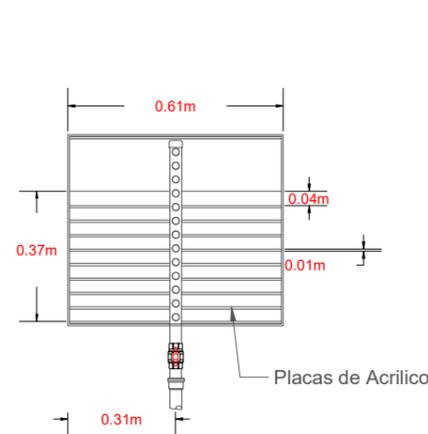
Vista de la Seccion Superior del Sedimentador Entrada-Salida
ESC: 1:10



Vista de la Seccion Superior del Sedimentador Tubería de Lodos
ESC: 1:10



Vista de la Seccion Superior del Sedimentador Tubería de Entrada
ESC: 1:10



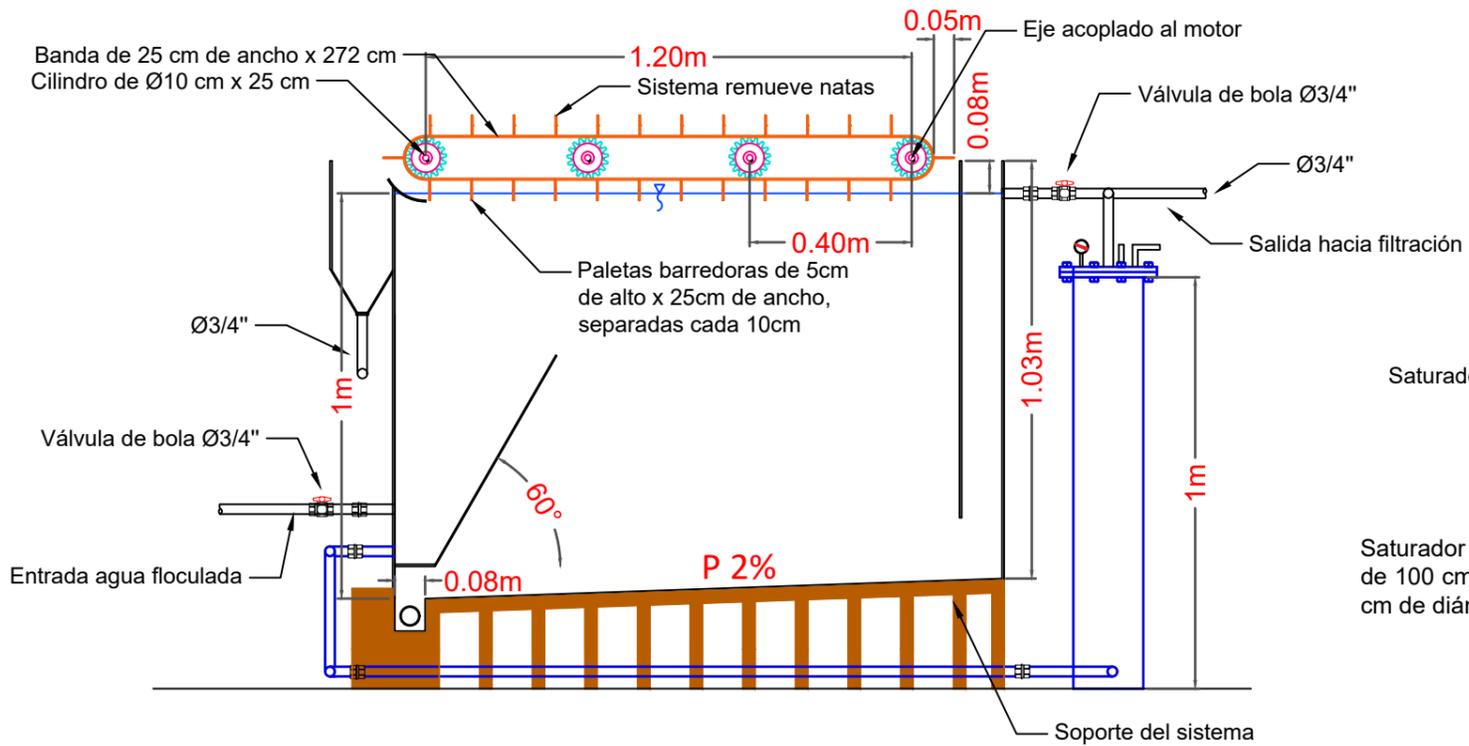
Vista de la Seccion Superior del Sedimentador Tubería de Salida
ESC: 1:10

Ficha Tecnica Ø Tubería	
Tubería 1"	
Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Material	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS 1" (33 mm)
Presión de trabajo	RDE 21 (200 psi)
Resolución	501

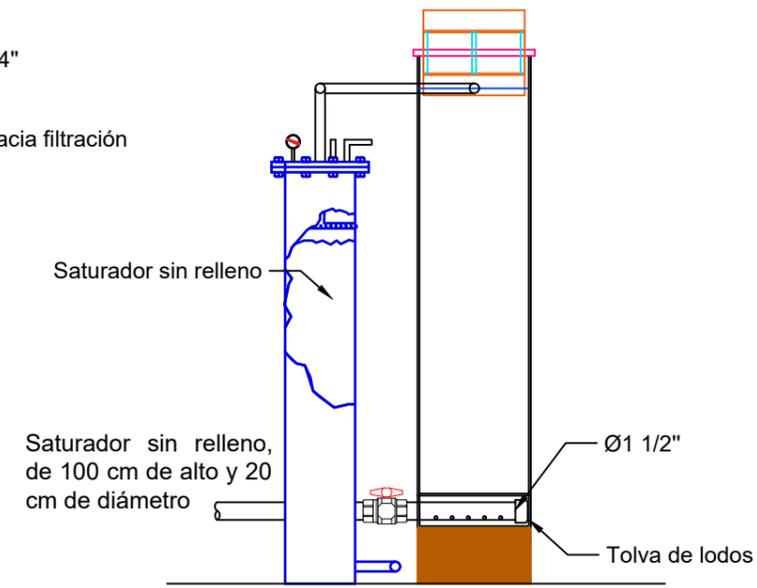
Ficha Tecnica Ø Tubería	
Tubería de 1 1/2"	
Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Material	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS 1 1/2" (48 mm)
Presión de trabajo	RDE 21 (200 psi)
Resolución	501

Ficha Tecnica Ø Tubería	
Tubería de 3/4"	
Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Material	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS 3/4" (26 mm)
Presión de trabajo	RDE 21 (200 psi)
Resolución	501

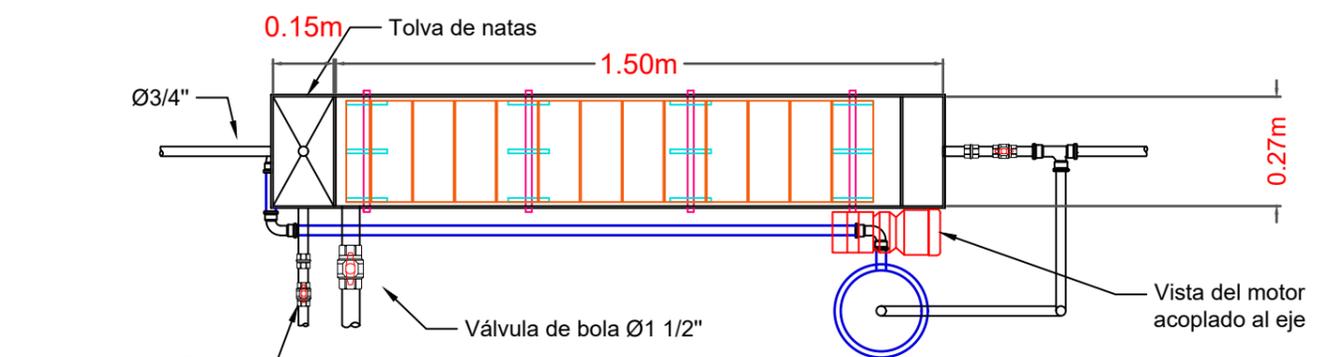
<p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>DISEÑO 8.1.5 SEDIMENTADOR ALTA TASA UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA</p>	<p>SEDIMENTADOR ALTA TASA</p>		<p>ESCALA: INDICADAS</p>	<p>FECHA: 25-01-2021</p>
	<p>PROYECTO DE INVESTIGACION: DISEÑO CONSTRUCTIVO DE LA PLANTA DE POTABILIZACION PARA EL LABORATORIO DE PROCESOS FISICO QUIMICOS</p>	<p>CONTENIDO:</p>	<p>VISTAS DE LAS SECCIONES VISTAS FRONTAL VISTA LATERAL</p>	<p>PLANO: HIDRAULICO</p>	<p>1 2</p>
	<p>REVISION: ALEJANDRO DE JESUS MOLINA GONZALEZ DARIO NARANJO FERNANDEZ</p>			<p>PLATAFORMA: ACAD-DWG</p>	<p>TAMAÑO: ISO A1 :841X594</p>



Vista lateral



Vista frontal



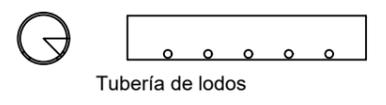
Vista superior

NOTA:
 *Se recomienda fabricar el FAD en acrílico calibre 5 mm.
 *Para la estructura de soporte: se usarán perfiles HSS de 6x6 huecos de grado A36 y una lámina calibre 1 cm.

Ficha Técnica Ø Tubería	
Tubería de 3/4"	
Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Material	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS 3/4" (26 mm)
Presión de trabajo	RDE 21 (200 psi)
Resolución	501

Ficha Técnica Ø Tubería	
Tubería de 1 1/2"	
Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Material	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS 1 1/2" (48 mm)
Presión de trabajo	RDE 21 (200 psi)
Resolución	501

- Tubería perforada con 10 orificios.
- Tubería RDE 21 PVC de Ø1 1/2"
- Con 5 orificios ubicados a lado y lado.
- Los orificios están separados de centro a centro 4 cm.
- Orificios de 8mm de diámetro.
- Ubicados a 45°.
- Con una pendiente del 1%.



Diseño 8.1.6: Flotación por aire disuelto
 Universidad de Antioquia

Proyecto de investigación: Diseño constructivo de la segunda etapa de la planta piloto de potabilización para el laboratorio de Procesos Físicoquímicos.

REVISIÓN:
 Darío Naranjo Fernandez

Flotación por aire disuelto (FAD)

Contenido:
 Vista lateral.
 Vista frontal.
 Vista superior.

ESCALA: Indicada.

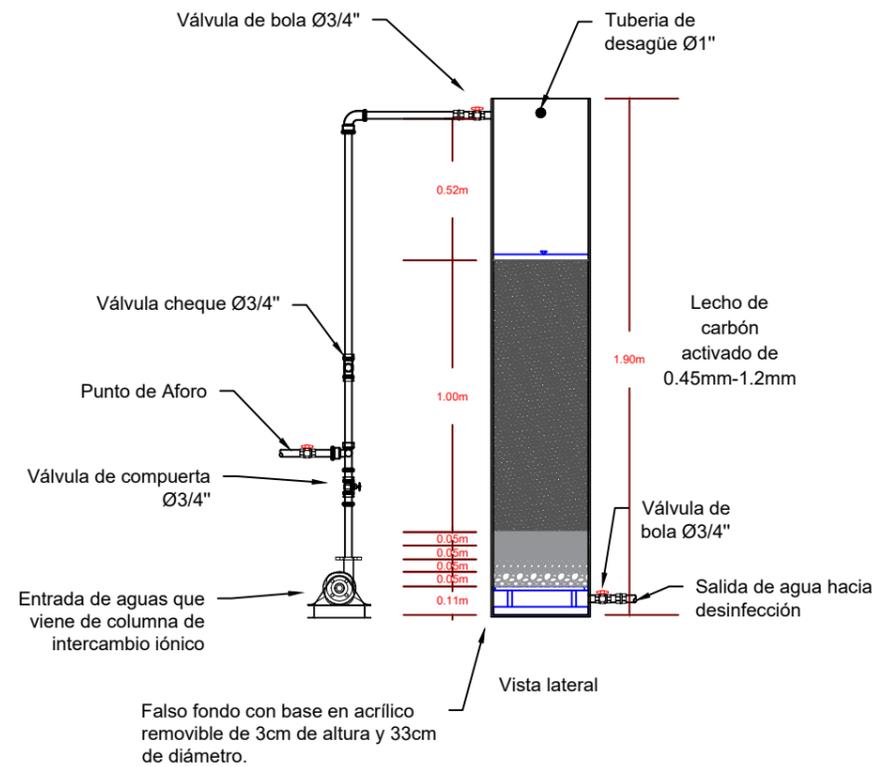
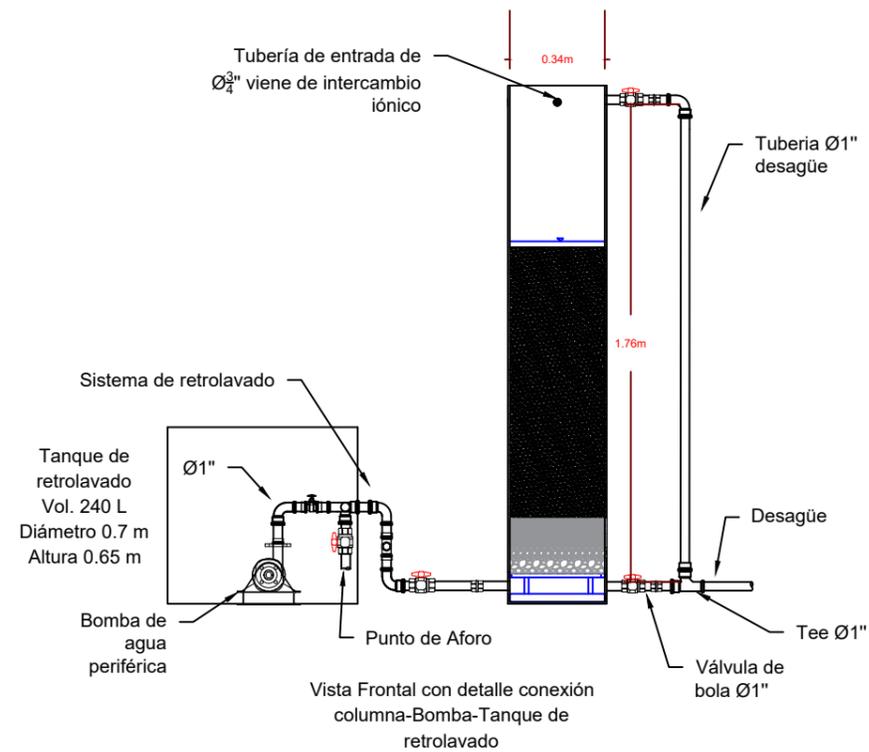
PLATAFORMA: ACAD-DWG

FECHA: 08/04/2021

PLANO: Hidráulico

TAMAÑO: ISO A3 : 420x297

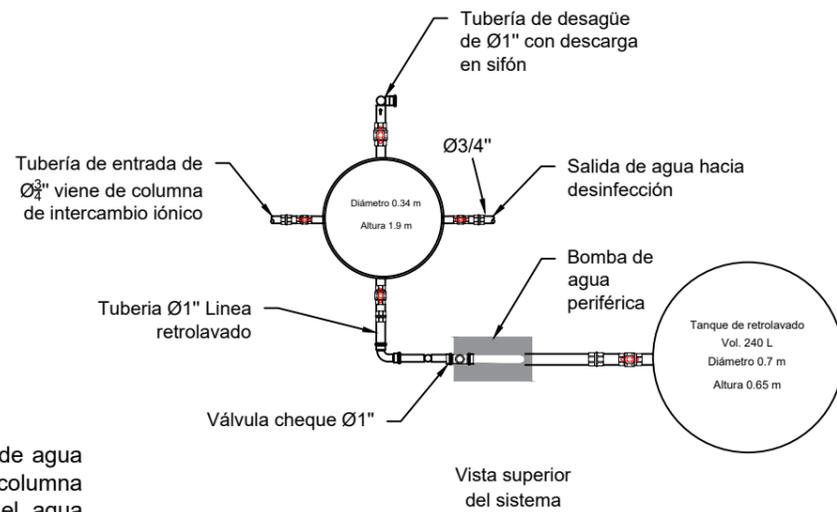
1	1
---	---



Ficha Técnica Ø Tubería	
Tubería 1"	
Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Material	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS 1" (33 mm)
Presión de trabajo	RDE 21 (200 psi)
Resolución	501

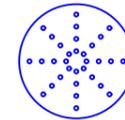
Ficha Técnica Ø Tubería	
Tubería de 3/4"	
Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Material	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS 3/4" (26 mm)
Presión de trabajo	RDE 21 (200 psi)
Resolución	501

Ficha Técnica Bomba	
Bomba Periférica	
Modelo	XKm60-1
Potencia	0.5 HP
f Condensador	20
SUC/DES	1" - 1"
Caudal (L/s)	0.1 - 0.4
Presión (m.c.a)	29-oct
Peso (Kg)	6
Dimensiones (mm)	L (283mm)
	A (152mm)
	H (174mm)
Voltage (V)	110

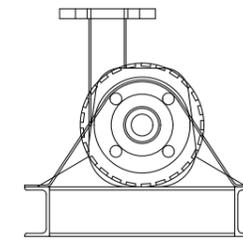


Se implementará una bomba de agua periférica a la entrada de la columna de adsorción para impulsar el agua hasta la altura necesaria.

Nota:



Falso fondo:
 *40 orificios.
 *Separación de 0.014m.
 *Centro a centro de 0.029m.
 *8 filas con un ángulo entre ellas de 45°.
 *Estará sostenido por 4 patas.



Bomba de agua periférica 0.5 HP Humboldt

*La columna se construirá en fibra de vidrio, calibre 1 cm, los accesorios a implementar para su construcción son de PVC.
 *Se usarán 4 diámetros diferente de grava.
 *Para el retrolavado de intercambio iónico y adsorción se utilizará un tanque diferente al tanque de desinfección.



Diseño 8.1.7: Columna de adsorción
 Universidad de Antioquia

Proyecto de investigación: Diseño constructivo de la segunda etapa de la planta piloto de potabilización para el laboratorio de Procesos Físicoquímicos.

REVISIÓN:
 Darío Naranjo Fernandez

Columna de adsorción

Contenido:
 Vista lateral.
 Vista frontal.
 Vista superior.

ESCALA: Indicada.

FECHA: 15/04/2021

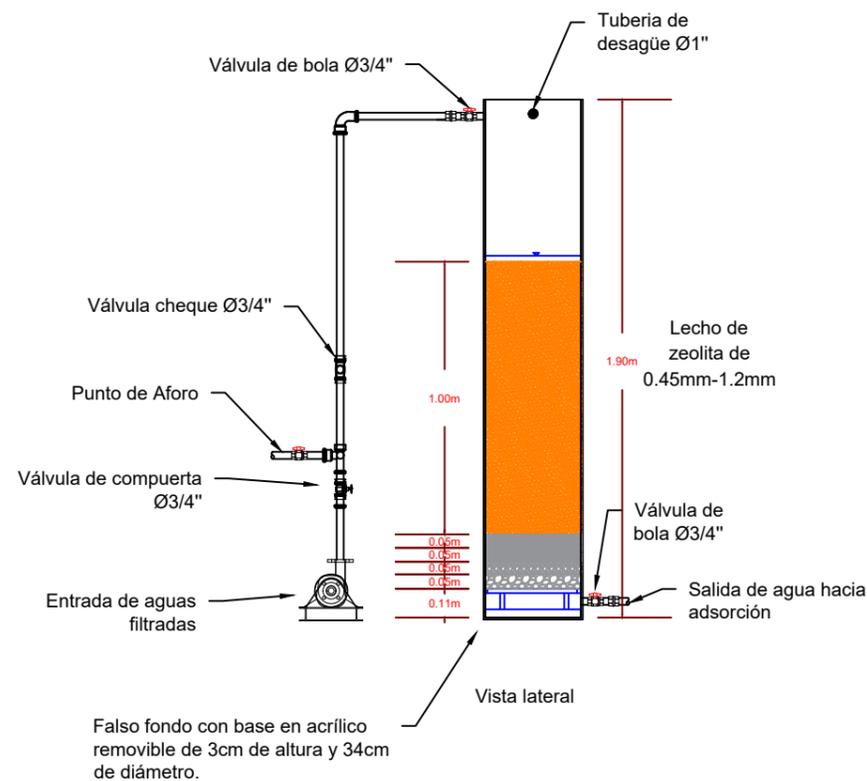
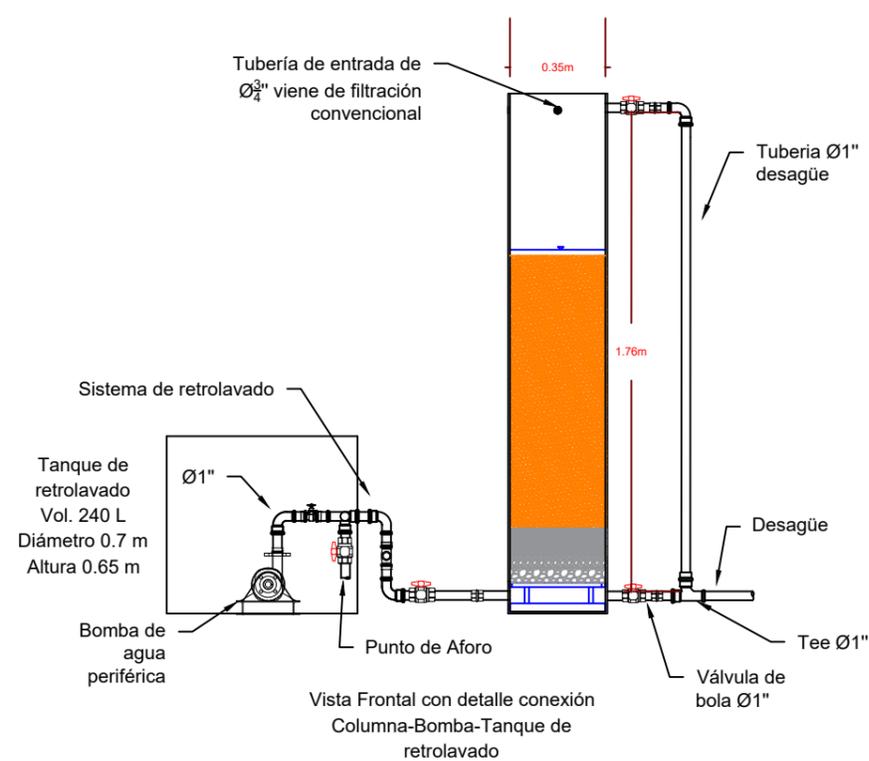
PLANO: Hidráulico

1

1

PLATAFORMA: ACAD-DWG

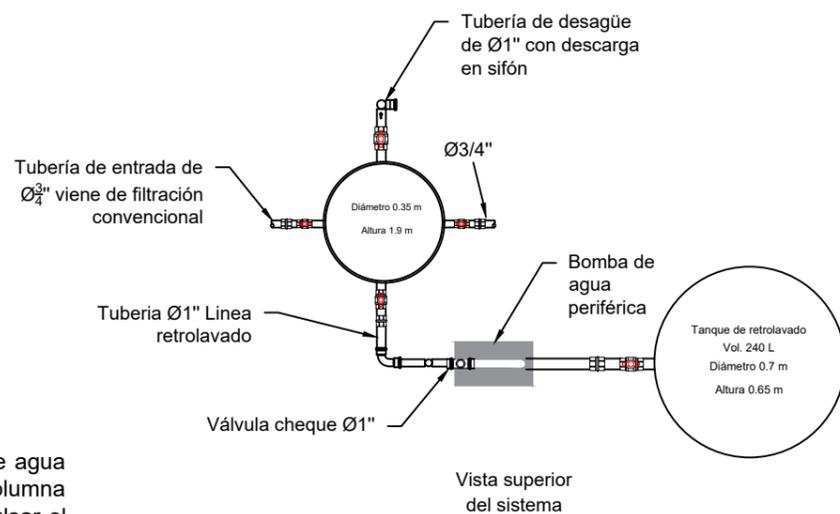
TAMAÑO: ISO A3 : 420x297



Ficha Tecnica Ø Tubería	
Tubería 1"	
Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Material	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS 1" (33 mm)
Presión de trabajo	RDE 21 (200 psi)
Resolución	501

Ficha Tecnica Ø Tubería	
Tubería de 3/4"	
Uso	Presión agua potable
País de origen y fabricante	PAVCO WAVIN - Colombia
Material	PVC
Norma de fabricación	NTC 382
Diámetro nominal	IPS 3/4" (26 mm)
Presión de trabajo	RDE 21 (200 psi)
Resolución	501

Ficha Tecnica Bomba	
Bomba Periferica	
Modelo	XKm60-1
Potencia	0.5 HP
f Condensador	20
SUC/DES	1" - 1"
Caudal (L/s)	0.1 - 0.4
Presión (m.c.a)	29-oct
Peso (Kg)	6
Dimensiones (mm)	L (283mm)
	A (152mm)
	H (174mm)
Voltage (V)	110



Se implementará una bomba de agua periférica a la entrada de la columna de intercambio iónico para impulsar el agua hasta la altura necesaria.

Nota:		
<p>Falso fondo: *40 orificios. *Separación de 0.014m. *Centro a centro de 0.029m. *8 filas con un ángulo entre ellas de 45°. *Estará sostenido por 4 patas.</p>	<p>Bomba de agua periférica 0.5 HP Humboldt</p>	<p>*La columna se construirá en fibra de vidrio, calibre 1 cm, los accesorios a implementar para su construcción son de PVC. *Se usarán 4 diámetros diferente de grava. *Para el retrolavado de intercambio iónico y adsorción se utilizará un tanque diferente al tanque de desinfección.</p>



Diseño 8.1.8: Columna de intercambio iónico
 Universidad de Antioquia

Proyecto de investigación: Diseño constructivo de la segunda etapa de la planta piloto de potabilización para el laboratorio de Procesos Físicoquímicos.

REVISIÓN:
 Darío Naranjo Fernandez

Columna de intercambio iónico

Contenido:
 Vista lateral.
 Vista frontal.
 Vista superior.

ESCALA: Indicada.

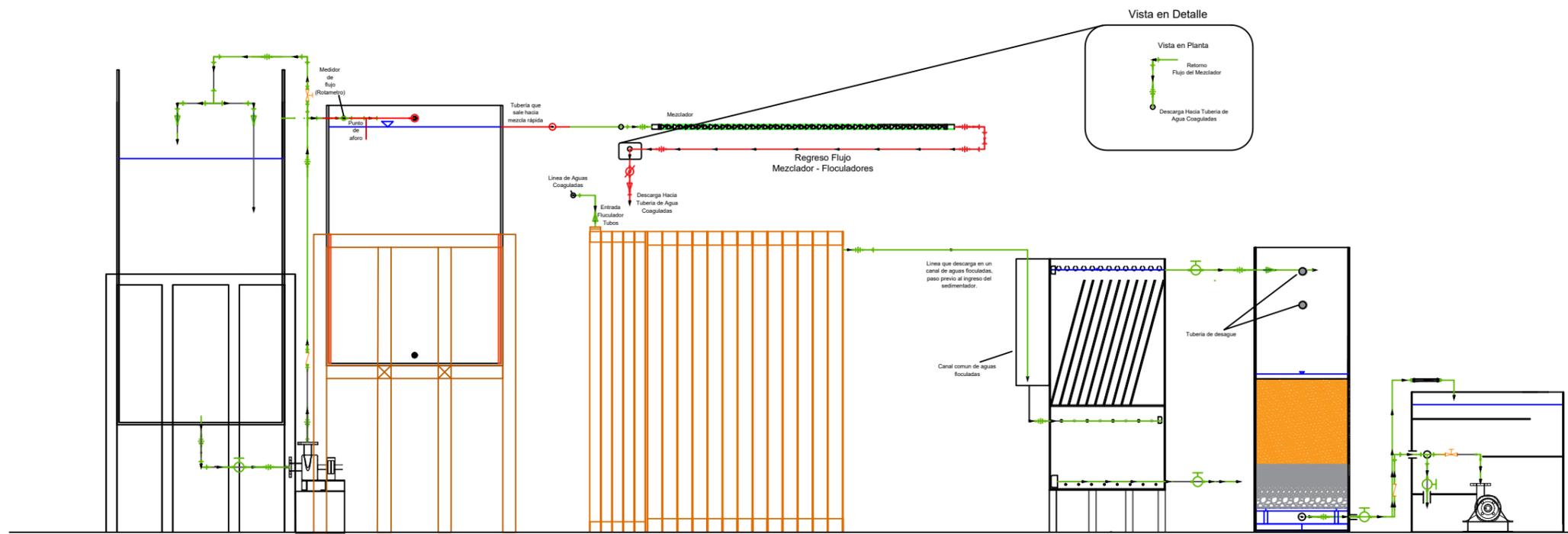
FECHA: 15/04/2021

PLANO: Hidráulico

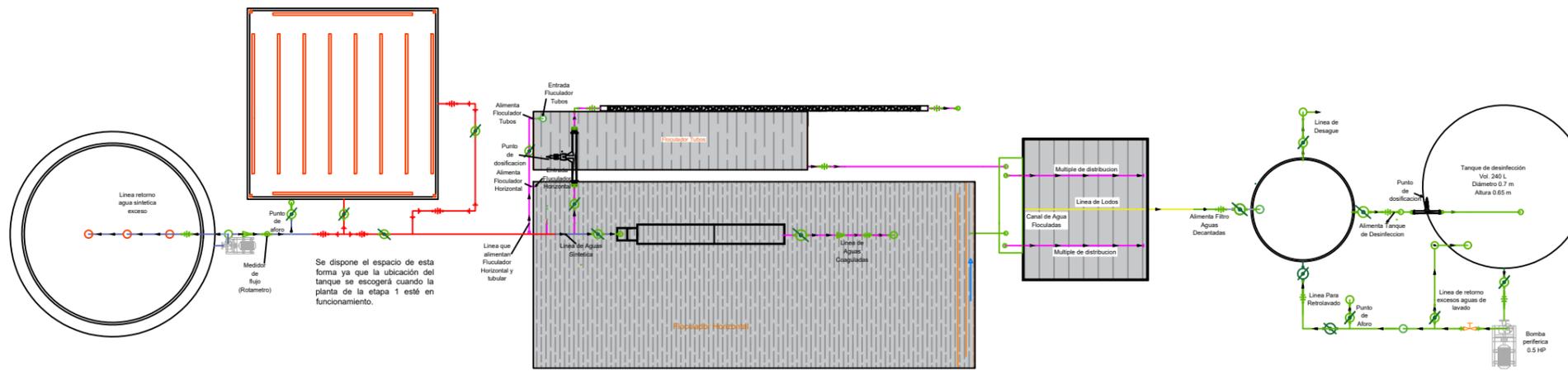
1 / 1

PLATAFORMA: ACAD-DWG

TAMAÑO: ISO A3 : 420x297



Vista lateral



Vista superior plata general

Tabla de convenciones para los accesorios, dispositivos, equipos y líneas de Direccion de Flujo

Valvula compuerta	Bomba Periferica	Rotametro
Adaptador macho	Cheque	Valvula de bola
Union universal	Tee que sube	Tee que baja
Reduccion	Codo que sube	Codo que baja
Continucion Linea de Flujo	Adaptador Hembra	Linea que pasa por debajo
	<p>Flechas de Direccion de Flujo</p> <p>Tuberia Visible</p> <p>Linea Discontinua tramo oculto</p> <p>Linea Continua tramo visible</p>	



Diseño 8.1.9: Planta general con tanque de aireación
Universidad de Antioquia

Proyecto de investigación: Diseño constructivo de la segunda etapa de la planta piloto de potabilización para el laboratorio de Procesos Físicoquímicos.

REVISIÓN:
Darío Naranjo Fernandez

Planta general con tanque de aireación

Contenido:
Vista lateral.
Vista superior.

ESCALA: Indicada.

FECHA: 23/04/2021

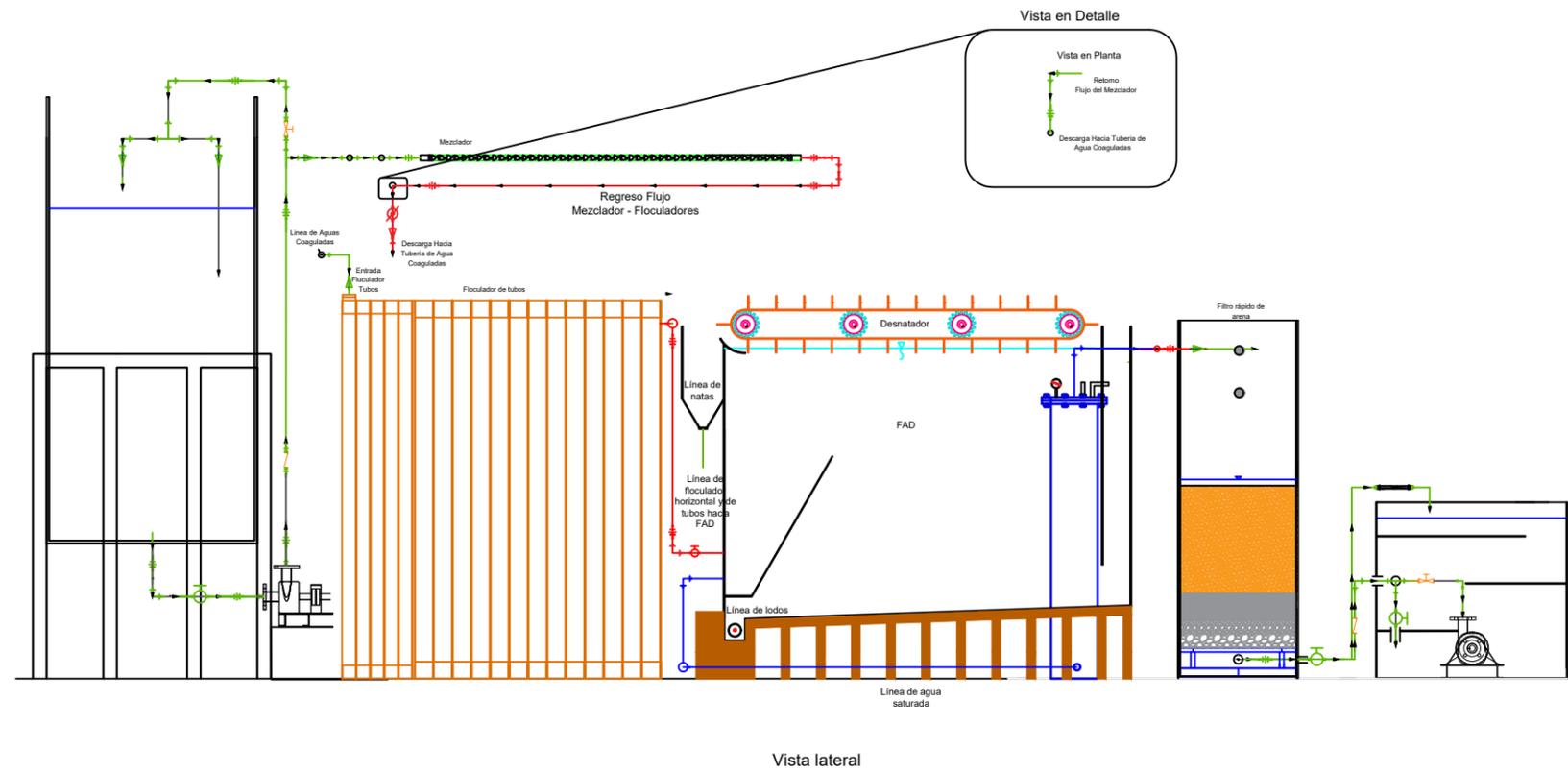
PLANO: Hidráulico

1

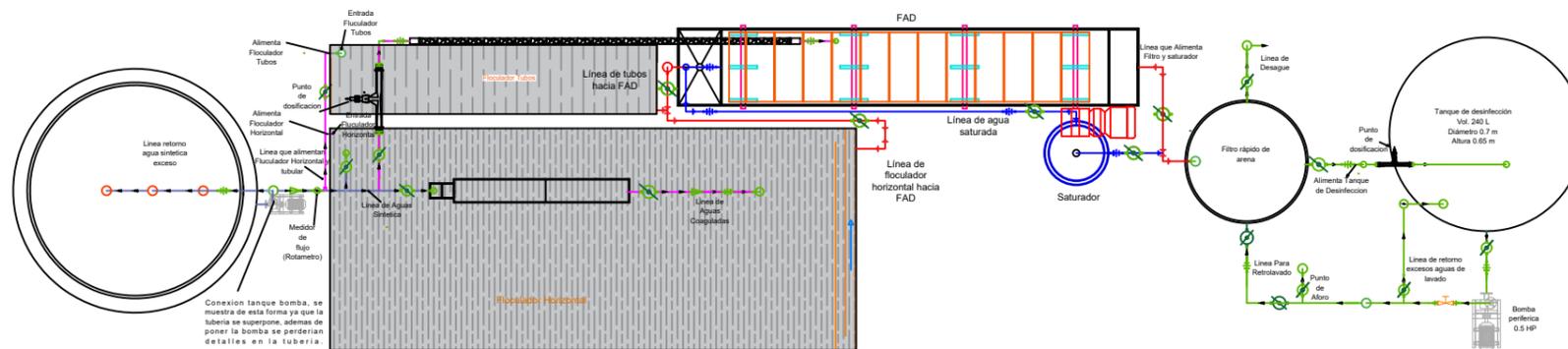
1

PLATAFORMA: ACAD-DWG

TAMAÑO: ISO A3 : 420x297



Vista lateral



Vista superior Plata General

Tabla de convenciones para los accesorios, dispositivos, equipos y líneas de Dirección de Flujo

		Rotámetro
Valvula compuerta	Bomba Periferica	
		Valvula de bola
Adaptador macho	Cheque	
		Tee que baja
Union universal	Tee que sube	
		Codo que baja
Reduccion	Codo que sube	
		Línea que pasa por debajo
Continucion Línea de Flujo	Adaptador Hembra	
	Tubería etapa 2	
Flechas de Direccion de Flujo		
	Línea Discontinua tramo oculto	
	Línea Continua tramo visible	



Diseño 8.1.11: Planta general con flotación por aire disuelto
Universidad de Antioquia

Proyecto de investigación: Diseño constructivo de la segunda etapa de la planta piloto de potabilización para el laboratorio de Procesos Físicoquímicos.

REVISIÓN:
Darío Naranjo Fernandez

Planta general con Flotación por aire disuelto (FAD)

Contenido:
Vista lateral.
Vista superior.

ESCALA: Indicada.

FECHA: 08/04/2021

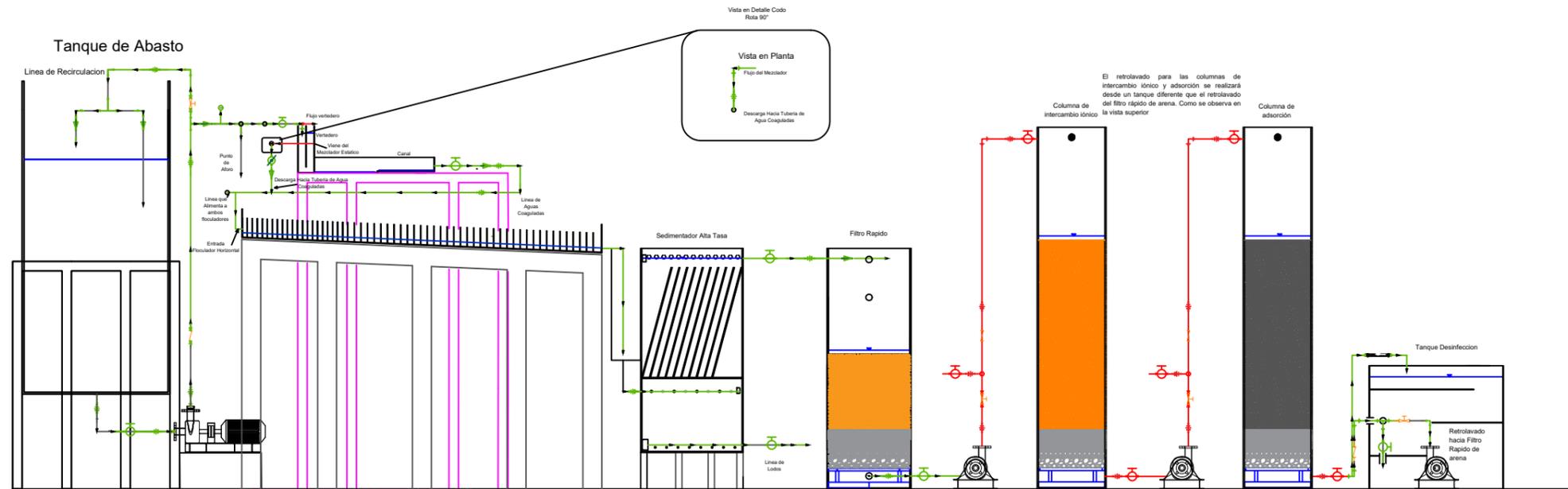
PLANO: Hidráulico

1

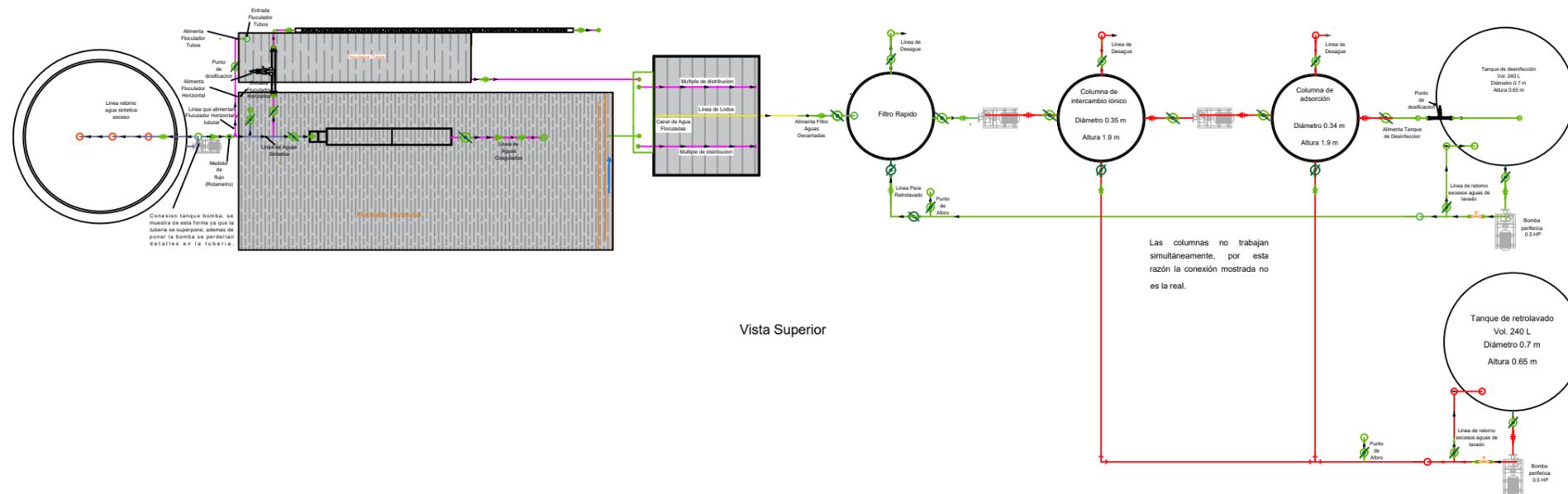
1

PLATAFORMA: ACAD-DWG

TAMAÑO: ISO A3 : 420x297



Vista lateral



Vista Superior

Tabla de convenciones para los accesorios, dispositivos, equipos y líneas de Dirección de Flujo		
		Rotámetro
Valvula compuerta	Bomba Periferica	
		Valvula de bola
Adaptador macho	Cheque	
		Tee que baja
Union universal	Tee que sube	
		Codo que baja
Reduccion	Codo que sube	
		Linea que pasa por debajo
Continucion Linea de Flujo	Adaptador Hembra	
	Tuberia Visible	
Flechas de Direccion de Flujo	 	



Diseño 8.1.12: Planta general con columnas de intercambio iónico y adsorción.
 Universidad de Antioquia

Proyecto de investigación: Diseño constructivo de la segunda etapa de la planta piloto de potabilización para el laboratorio de Procesos Físicoquímicos.

REVISIÓN:
 Darío Naranjo Fernandez

Planta general con columnas de intercambio iónico y adsorción

Contenido:
 Vista lateral.
 Vista superior.

ESCALA: Indicada.

PLATAFORMA: ACAD-DWG

FECHA: 20/04/2021

PLANO: Hidráulico

TAMAÑO: ISO A3 : 420x297

1 / 1

8.2. Memorias de cálculo

8.2.1. Tanque de aireación

Caudal	0,0002	m ³ /s
Tiempo de operación	3600	s
	60	min
Volumen Tanque		
¥	0,72	m ³
	720	L
Dimensiones del tanque		
Largo	0,8	m
Ancho	0,8	m
Altura	1,1	m

8.2.2. Floculador horizontal

Temperatura	25	C
k	3	-
Densidad	997,82	kg/m ³
V cinemática	0,000000891	m ² /s
V máx. giro	0,15	m/s
Borde libre	0,1	m
Altura tabique	0,2	m
Ancho unidad	0,55	m
Rh	0,000767	m

Datos Z1		
Q	0,0002	m ³ /s
V promedio	0,1	m/s
TRH	3,5	min
	210	seg
V entra	0,08	m/s
n fibra	0,01	-
Espesor "e"	0,002	m

Gradiente 1 (60 RPM)	41	s ⁻¹
Profundidad flujo en la unidad	0,1	m
Distancia total recorrida		
L1	17	m
Area transversal		
A1	0,0025	m ²
Espacio entre tabiques (Ancho canal)		
b1	0,025	m
	2,5	cm
Espacio entre tabique y pared		
E1	0,038	m
	3,8	cm
Velocidad de giro		
Vg 1	0,000533333	m/s
Ancho del tanque		
B1	0,59	m
Número tramos		
M1	28,60	29
Número de tabiques		
N1	28	-
Largo del floculador		
P1	0,770	m
	77	cm
Radio Hidráulico		
Rh	0,01111	m
Perdidas Z1		
h11	0,03	m
	2,70	cm
h21	0,0043	m

	0,43	cm
Perdida total Z1		
H1	0,0313	m
Pendiente		
S1	0,041	m/m
	4,07	%
Pendiente en grados		
	2,33	

Datos Z2		
Q	0,0002	m3/s
V inicial	0,1	m/s
TRH	4,5	min
	270	seg
V entra	0,06	m/s
n fibra	0,01	-
Espesor "e"	0,002	m
Gradiente 2 (45 RPM)	26	s-1
Profundidad flujo en la unidad	0,1	m
Distancia total recorrida		
L2	16	m
Area transversal		
A2	0,00333333	m2
Espacio entre tabiques (Ancho canal)		
b2	0,033	m
	3,3	cm
Espacio entre tabique y pared		
E2	0,05	m
	5,00	cm
Velocidad de giro		
Vg 2	0,0004	m/s
Ancho del tanque		

B2	0,60	m
Numero tramos		
M2	27,00	27
Numero de tabiques		
N2	26	-
Largo del floculador		
P2	0,95	m
	95	cm
Radio Hidraulico		
Rh	0,01429	m
Perdidas Z2		
h12	0,01	m
	1,43	cm
h22	0,0017	m
	0,17	cm
Perdida total Z2		
H2	0,0160	m
Pendiente		
S2	0,02	m/m
	1,68	%
Pendiente en grados		
	0,96	

Numero de Camp			Resultado
Ncamp	15408	Entre 20000 y 150000	Aceptable

8.2.3. Flotación por aire disuelto

Datos de entrada			
Parámetro	Valor	Unidades	Observación
Caudal (Q)	0,20	L/s	
Caudal (Q)	17,28	m3/d	
Presión atmosférica	0,84	atm	Presión de Medellín
Temperatura	25	°C	Temperatura

Relación aire - sólidos (A/S)	0,04	mg _{AIRE} /mg _{SST}	
Fracción de aire disuelto (f)	0,6	-	Entre 0,6 a 0,9
SST _E	1080,00	mg/L	400 UNT
SST _s	108	mg/L	
SST	972,00	mg/L	
Constante de Henry (O ₂)	1,34E-03	mol/atm*L	A 25 °C
Fracción molar (O ₂)	0,21	-	
PM (O ₂)	32,00	g/mol	
Constante de Henry (N ₂)	6,56E-04	mol/atm*L	A 25 °C
Fracción molar (N ₂)	0,78	-	
PM (N ₂)	28,01	g/mol	
Presión de operación y concentración de saturación para el saturador			
Cálculos			
Parámetro	Valor	Unidades	Observación
Constante de Henry (Aire)	0,00079308	mol/atm*L	
PM (Aire)	28,570	g/mol	
Constante de Henry (Aire)	22,66	mg _{AIRE} /L.atm	
K _H (25 °C) (Aire)	22,75	mg _{AIRE} /L.atm	
S _{AIRE} (25 °C)	19,11	mg/L	
Presión de operación (P _o)	4,25	atm	4 a 7
Concentración de saturación (S _a)	96,26	mg/L	
Dimensiones celda de saturacion (Sin relleno)			
Datos de entrada			
Parámetro	Valor	Unidades	Observación
Carga Superficial (q)	525	m ³ /m ² *d	Entre 500 a 1400 m ³ /m ² *h
Altura (H)	1	m	1-5 min
Cálculos			
Parámetro	Valor	Unidades	Observacion
Área (A)	3,29E-02	m ²	
Diámetro	20,47	cm	
Diámetro	8,06	Pulg	
Volumen (V)	3,29E-02	m ³	
Tiempo de retención (TRH)	2,74	min	
Dimensiones celda de flotación			
Datos de entrada			

Parámetro	Valor	Unidades	Observación
V _f	3	cm/min	Entre 12 a 230,4 m/d
V _f	5,00E-04	m/s	
Altura (h)	1,0	m	2 a 3 m
Largo (a)	1,50	m	Entre 4 a 12 metros
Ancho (b)	0,27	m	b < 8 metros
Relacion L/h	1,5		4
Cálculos			
Parámetro	Valor	Unidades	Observación
Área Superficial	0,40	m ²	
Volumen	0,40	m ³	
q	43,20	m ³ /m ² .d	150 a 300
Tiempo de retención (TRH)	33,33	min	20 a 40 min
Tiempo de retención (TRH)	0,54	h	
Tasa de aplicación de sólidos (q _s)	1,75	Kg SST/m ³ *h	

8.2.4. Columna de adsorción

Columna de adsorción con carbón activado			
Párametros de diseño	Valor	Unidades	Observaciones
Caudal (Q)	17,28	m ³ /día	$Q = V * A$
HLR (Qh)	192	m ³ /m ² *d	
Área transversal del lecho (AT)	0,09	m ²	
Díametro (∅)	0,34	m	0,34
Altura del lecho	1,02	m	
Altura de la columna con expansión	1,52	m	
Volumen del lecho	0,09	m ³	
Volumen vacío	0,04112942 1	m ³	0,45
Tiempo	0,00238017 5	d	3,42745172
MCAG	33,8	Kg	La cantidad de CAG a utilizar varía de acuerdo a la densidad del mismo
Concentración inicial (Co)	100,0	mg/L	

Concentración de ruptura (Ce)	10	mg/L	
Tiempo de servicio del CAG	3	d	0
Número de cambios	110		Al año se deben de realizar 110 cambios de CAG al año
Caída de presión			
HLR (Qh)	3,27226666 7	gal/min*ft 2	
Altura del lecho	3	ft	
ΔP	124,17491	lb/ft ²	
ΔP	0,86232574 3	psi	Se deberán realizar retrolavados cuando la unidad de adsorción alcance esta presión

Estratificación del lecho			
Material lecho filtrante	Altura (m)	Cantidad (m ³)	Cantidad (L)
Falso fondo	0,1	-	-
Soporte Grava 19-25 mm (¾" a 1")	0,15	0,014	14
Arena 0,4 - 1,2 mm	0,45	0,041	41

Altura total de la columna	Altura (m)
Lecho de soporte	0,2
Lecho filtrante	1,0
Falso fondo	0,11
Borde libre	0,6
Altura total	1,9

8.2.5. Columna de Intercambio Iónico

Criterios para el diseño			
Párametros de diseño	Valor	Unidades	Observaciones
Tiempo de contacto mínimo	1.7 - 7.5	min	
Lecho de resina mínimo	76	cm	
Relación flujo a través de la resina y el volumen	2.23 - 11.15	l/s/m ³	

Densidad de la Zeolita	0,9	g/cm ³	0,9 – 1,1 g/cm ³
Viscosidad dinámica	0,000961	Pa.s	
Columna de zeolita			
Párametros de diseño	Valor	Unidades	Observaciones
Caudal (Q)	0,2	L/s	
	0,0002	m ³ /s	
Tiempo de contacto	3,5	min	
	210	s	
Altura del Lecho	1	m	
Área superficial	0,042	m ²	
Volumen	0,10	m ³	
Diámetro	0,35	m	
Relación del flujo a través de la zeolita y el volumen	2,10	l/s/m ³	ok
Tasa de flujo de servicio	0,0021	m ³ /m ³ *s	
Altura del lecho expandido	1,5	m	
Velocidad de asentamiento de la Zeolita (Vs)	9,9	m/min	
	0,165	m/s	
Velocidad necesaria para lavado (Vb)	0,99	m/min	> 0.6 m/min
	0,0165	m/s	
Corrección por temperatura 22°C	0,0167	m/s	
	1,003	m/min	> 0.6 m/min
Porosidad del lecho expandido e	0,604		
	0,39	39	%
Profundidad del lecho expandido	1,541649732	m	
	154,1649732	cm	
Lecho de expansión	0,541649732	54,1649732	%
Caudal de lavado	0,000702251	m ³ /s	
Volumen de agua para lavado (5 min)	0,210675173	m ³	
	210,6751734	L	

Estratificación del lecho			
Material lecho filtrante	Altura (m)	Cantidad (m³)	Cantidad (L)
Falso fondo	0,1	-	-
Soporte Grava 19-25 mm (¾" a 1")	0,15	0,014	14
Arena 0,4 - 1,2 mm	0,45	0,041	41

Altura total de la columna	Altura (m)
Lecho de soporte	0,2
Lecho filtrante	1,0
Falso fondo	0,11
Borde libre	0,6
Altura total	1,91

8.3. APU y presupuesto del proyecto

8.3.1. APU-Tanque de aireación

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO-SISTEMA DE AIREACIÓN	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tanque	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tanque de 285 L	UNIDAD	1,00	880.000,00	880.000,00
			SUBTOTAL	880.000,00
			TOTAL	880.000,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				15.000,00	15.000,00
				TOTAL	15.000,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	916.100,00
----------------------------	-------------------

A.U. 15%	137.415,00
-----------------	-------------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	1.053.515,00
------------------------------	---------------------

REDONDEAR	1.053.515
------------------	------------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO-TANQUE DE AIREACIÓN	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE soporte	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Soporte	UNIDAD	1,00	480.000,00	480.000,00
			SUBTOTAL	480.000,00
			TOTAL	480.000,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				15.000,00	15.000,00
				TOTAL	15.000,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	516.100,00
----------------------------	-------------------

A.U. 15%	77.415,00
-----------------	------------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	593.515,00
REDONDEAR	593.515

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO-TANQUE DE AIREACIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CODO 90 ° Ø1/2" PVC - RDE 13.5	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Codo 90 - Ø1/2" PVC	UNIDAD	1,00	595,00	595
Limpiador y soldadura	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	995,00
			TOTAL	995,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	4,00	3.750,00
Monitor	1,00	6.100	4,00	1.525,00
			TOTAL	5.275

TOTAL COSTO DIRECTO	6.270,00
----------------------------	-----------------

A.U. 15%	940,50
-----------------	---------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	7.210,50
------------------------------	-----------------

REDONDEAR	7.211
------------------	--------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - SISTEMA DE ABASTO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO DE TEE Ø1/2" RDE - 13.5	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tee - Ø1/2" PVC	UNIDAD	1,00	784,00	784,00
Limpiador y soldadura	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	1.184,00
			TOTAL	1.184,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	11.734,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	1.760,10
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	13.494,10
------------------------------	------------------

REDONDEAR	13.495
------------------	---------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - SISTEMA DE AIREACIÓN	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO DE VÁLVULA DE BOLA - Ø1/2"	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Valvula de Bola - Ø1/2"	UNIDAD	1,00	8.052,00	8.052,00
Limpiador y soldadura	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	8.452,00
			TOTAL	8.452,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	19.002,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	2.850,30
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	21.852,30
REDONDEAR	21.853

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO-SISTEMA DE AIREACIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍA Ø1/2" - RDE 13.5	UNIDAD:	m
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tubería de PVC - Ø1/2" - RDE 13.5	m	1,00	6.700,00	6.700,00
Limpiador y Lubricante	UNIDAD	1,00	600,00	600,00
			SUBTOTAL	7.300,00
			TOTAL	7.300,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	17.850,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	2.677,50
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	20.527,50
REDONDEAR	20.528

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO-SISTEMA DE AIREACIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE UNIVERSAL Ø1/2"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Universal - Ø1/2"	UNIDAD	1,00	3.303,00	3.303,00
			SUBTOTAL	3.303,00
			TOTAL	3.303,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	13.853,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	2.077,95
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	15.930,95
REDONDEAR	15.931

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -SISTEMA DE AIREACIÓN	ÍTEM:	
--------------	-------------------------------------	--------------	--

DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Valvula Bola - Ø3/4"	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Valvula Bola - Ø3/4"	UNIDAD	1,00	11.125,00	11.125,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	11.525,00
			TOTAL	11.525,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/DIA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	32.625,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.893,75
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	37.518,75
REDONDEAR	37.519

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -SISTEMA DE AIREACIÓN	ÍTEM:
--------------	-------------------------------------	--------------

DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Universal - Ø3/4"	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Universal - Ø3/4"	UNIDAD	1,00	5.857,00	5.857,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	6.257,00
			TOTAL	6.257,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	16.807,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	2.521,05
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	19.328,05
REDONDEAR	19.329

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -SISTEMA DE AIREACIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE tubería- Ø3/4"	UNIDAD:	m

FECHA:

01/2021

CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tubería - Ø 3/4"	m	1,00	8.300,00	8.300,00
Limpiador y Lubricante		1,00	600,00	600,00
			SUBTOTAL	8.900,00
			TOTAL	8.900,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO**19.450,00****A.U. 15%****2.917,50****PRECIO UNITARIO TOTAL****22.367,50****REDONDEAR****22.368****ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS****OBRA:**

PLANTA PILOTO -SISTEMA DE AIREACIÓN

ÍTEM:**DESCRIPCIÓN:**

SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Cortinas difusoras

UNIDAD:**FECHA:**

01/2021

CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tubería - Ø 3/4"	m	1,00	13.900,00	13.900,00
Limpiador y Lubricante		1,00	600,00	600,00
			SUBTOTAL	14.500,00
			TOTAL	14.500,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	25.050,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	3.757,50
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	28.807,50
REDONDEAR	28.808

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -SISTEMA DE AIREACIÓN	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Bombas de aire 4 salidas	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Bomba de aire (6 salidas)	m	1,00	284.331,00	284.331,00
Limpiador y Lubricante		1,00	600,00	600,00
			SUBTOTAL	284.931,00
			TOTAL	284.931,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	295.481,00
----------------------------	-------------------

A.U. 15%	44.322,15
-----------------	------------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	339.803,15
REDONDEAR	339.804

8.3.2. APU-Ablandamiento

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO-ABLANDAMIENTO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CODO 90° - Ø3/4"	UNIDAD:	UNIDAD

FECHA: 01/2021

CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Codo 90° - Ø3/4"	UNIDAD	1,00	952,00	952,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	1.352,00
			TOTAL	1.352,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	3,00	2.033,33
			TOTAL	9.533

TOTAL COSTO DIRECTO**10.885,33****A.U. 15%****1.632,80****PRECIO UNITARIO TOTAL****12.518,13****REDONDEAR****12.519****ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS****OBRA:** PLANTA PILOTO-ABLANDAMIENTO**ÍTEM:****DESCRIPCIÓN:** SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TEE- Ø3/4"**UNIDAD:** UNIDAD**FECHA:** 01/2021**CANTIDAD:****1. MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tee - Ø3/4"	UNIDAD	1,00	2.648,00	2.648
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	3.048,00
			TOTAL	3.048,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	13.598,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	2.039,70
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	15.637,70
REDONDEAR	15.638

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO-ABLANDAMIENTO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tubo venturi	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tubo venturi	UNIDAD	1,00	35.000,00	35.000,00

			SUBTOTAL	35.000,00
			TOTAL	35.000,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	56.100,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	8.415,00
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	64.515,00
REDONDEAR	64.515

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO-ABLANDAMIENTO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Bomba peristáltica 0 - 100 RPM	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Bomba peristáltica 0 - 100 RPM	UNIDAD	1,00	3.800.000,00	3.800.000,00
			SUBTOTAL	3.800.000,00

			TOTAL	6.257,00
--	--	--	--------------	-----------------

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	16.807,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	2.521,05
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	19.328,05
------------------------------	------------------

REDONDEAR	19.329
------------------	---------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO-ABLANDAMIENTO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Unión hembra - Ø3/4	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Unión hembra - Ø3/4	UNIDAD	2,00	700,00	1.400
Limpiador y soldadura	UNIDAD	2,00	400,00	800,00
			SUBTOTAL	2.200,00
			TOTAL	2.200,00

			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
	1,00				15.000,00
				TOTAL	15.000,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	361.100,00
----------------------------	-------------------

A.U. 15%	54.165,00
-----------------	------------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	415.265,00
REDONDEAR	415.265

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO-ABLANDAMIENTO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Soporte Flocculador	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tanque de sedimentación	m	1,00	360.000,00	360.000
			SUBTOTAL	360.000,00
			TOTAL	360.000,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL

			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
	1,00				15.000,00
				TOTAL	15.000,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	396.100,00
----------------------------	-------------------

A.U. 15%	59.415,00
-----------------	------------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	455.515,00
------------------------------	-------------------

REDONDEAR	455.515
------------------	----------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -SISTEMA DE AIREACIÓN	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Valvula Bola - Ø3/4"	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Valvula Bola - Ø3/4"	UNIDAD	1,00	11.125,00	11.125,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	11.525,00
			TOTAL	11.525,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL

			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/DIA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	32.625,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.893,75
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	37.518,75
REDONDEAR	37.519

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -DAF	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Valvula Bola - Ø 1 1/2"	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Valvula Bola - Ø 1 1/2"	UNIDAD	1,00	24.900,00	24.900,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	25.300,00
			TOTAL	25.300,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL

			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/DIA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	46.400,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	6.960,00
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	53.360,00
REDONDEAR	53.360

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ABLANDAMIENTO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Universal - Ø1 1/2"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Universal - Ø1 1/2"	UNIDAD	1,00	9.000,00	9.000,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	9.400,00
			TOTAL	9.400,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL

			TOTAL	0,00
--	--	--	--------------	-------------

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	30.500,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.575,00
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	35.075,00
REDONDEAR	35.075

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -SEDIMENTACIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tapón liso - Ø3/4"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	ene-21	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tapón liso - Ø3/4"	UNIDAD	1	679	679
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1	400	400
			SUBTOTAL	1.079,00
			TOTAL	1.079,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL

				TOTAL	0
--	--	--	--	--------------	----------

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,5	30000	2	7.500,00
Monitor	1	6.100	2	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	11.629,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	1.744,35
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	13.373,35
REDONDEAR	13.374

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ABLANDAMIENTO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tapón liso - Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	ene-21	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tapón liso - Ø1"	UNIDAD	1	1.139,00	1.139,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1	400	400,00
			SUBTOTAL	1.539,00
			TOTAL	1.539,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL

				TOTAL	0

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,5	30000	2	7.500,00
Monitor	1	6.100	2	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	12.089,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	1.813,35
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	13.902,35
------------------------------	------------------

REDONDEAR	13.903
------------------	---------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ABLANDAMIENTO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tapón liso - Ø1 1/2"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	ene-21	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tapón liso - Ø1 1/2"	UNIDAD	1	3.569,00	3.569,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1	400	400,00
			SUBTOTAL	3.969,00
			TOTAL	3.969,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL

				TOTAL	0

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,5	30000	2	7.500,00
Monitor	1	6.100	2	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	14.519,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	2.177,85
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	16.696,85
------------------------------	------------------

REDONDEAR	16.697
------------------	---------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ABLANDAMIENTO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tubería - Ø1 1/2"	UNIDAD:	m
FECHA:	ene-21	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tubería - Ø1 1/2"	m	1	12.000,00	12.000,00
Lubricante y limpiador	UNIDAD	1	600	600,00
			SUBTOTAL	12.600,00
			TOTAL	12.600,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL

			TOTAL	0

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,5	30000	1	15.000,00
Monitor	1	6.100	1	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	24.700,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	3.705,00
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	28.405,00
------------------------------	------------------

REDONDEAR	28.405
------------------	---------------

8.3.3. APU-Flotación por aire disuelto

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -DAF	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Codo 90 - Ø3/4"	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Codo 90 - Ø3/4"	UNIDAD	1,00	952,00	952,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	1.352,00
			TOTAL	1.352,00

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	16.807,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	2.521,05
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	19.328,05
REDONDEAR	19.329

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -DAF	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Valvula Bola - Ø3/4"	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Valvula Bola - Ø3/4"	UNIDAD	1,00	11.125,00	11.125,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	11.525,00
			TOTAL	11.525,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
-------------	------	-------------	-------------	-------------

				TOTAL	15.000,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/DIA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	3.036.100,00
----------------------------	---------------------

A.U. 15%	455.415,00
-----------------	-------------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	3.491.515,00
REDONDEAR	3.491.515

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -DAF	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Saturador	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Saturador	UNIDAD	1,00	5.000.000,00	5.000.000,00
			SUBTOTAL	5.000.000,00
			TOTAL	5.000.000,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
	1,00			15.000,00	15.000,00
				TOTAL	15.000,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/DIA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	5.036.100,00
----------------------------	---------------------

A.U. 15%	755.415,00
-----------------	-------------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	5.791.515,00
------------------------------	---------------------

REDONDEAR	5.791.515
------------------	------------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -DAF	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Modulo de Saturación	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Modulo de Saturación	UNIDAD	1,00	5.000.000,00	5.000.000,00
			SUBTOTAL	5.000.000,00
			TOTAL	5.000.000,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
	1,00			15.000,00	15.000,00
				TOTAL	15.000,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/DIA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	5.036.100,00
----------------------------	---------------------

A.U. 15%	755.415,00
-----------------	-------------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	5.791.515,00
REDONDEAR	5.791.515

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO MEZCLA LENTA	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Modulo de Tanque de flotación	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Modulo Tanque de Flotación	UNIDAD	1,00	760.000,00	760.000,00
			SUBTOTAL	760.000,00
			TOTAL	760.000,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
	1,00			15.000,00	15.000,00
				TOTAL	15.000,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/DIA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	796.100,00
----------------------------	-------------------

A.U. 15%	119.415,00
-----------------	-------------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	915.515,00
REDONDEAR	915.515

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -SEDIMENTACIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tapón liso - Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tapón liso - Ø1"	UNIDAD	1,00	1.139,00	1.139,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	1.539,00
			TOTAL	1.539,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	12.089,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	1.813,35
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	13.902,35
REDONDEAR	13.903

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -DAF	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Valvula Bola - Ø 1 1/2"	UNIDAD:
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Valvula Bola - Ø 1 1/2"	UNIDAD	1,00	24.900,00	24.900,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	25.300,00
			TOTAL	25.300,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/DIA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	46.400,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	6.960,00
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	53.360,00
REDONDEAR	53.360

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -DAF	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE tubería- Ø1 1/2"	UNIDAD:	m
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
tubería- Ø1 1/2"	m	1,00	10.300,00	10.300,00
Limpiador y Lubricante		1,00	600,00	600,00
			SUBTOTAL	10.900,00
			TOTAL	10.900,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	10.550

TOTAL COSTO DIRECTO	21.450,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	3.217,50
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	24.667,50
REDONDEAR	24.668

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - DAF	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Universal - Ø1 1/2"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Universal - Ø1 1/2"	UNIDAD	1,00	9.000,00	9.000,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	9.400,00
			TOTAL	9.400,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	30.500,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.575,00
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	35.075,00
REDONDEAR	35.075

8.3.4. APU -Columna de adsorción

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Codo 90 - Ø3/4"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Codo 90 - Ø3/4"	UNIDAD	1,00	952,00	952,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	1.352,00
			TOTAL	1.352,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL

				TOTAL	0,00
--	--	--	--	--------------	-------------

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	4,00	1.525,00
			TOTAL	9.025

TOTAL COSTO DIRECTO	10.377,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	1.556,55
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	11.933,55
------------------------------	------------------

REDONDEAR	11.934
------------------	---------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tubería - Ø3/4"	UNIDAD:	m
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tubería - Ø3/4"	m	1,00	8.300,00	8.300,00
Lubricante y limpiador	UNIDAD	1,00	600,00	600,00
			SUBTOTAL	8.900,00
			TOTAL	8.900,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	18.050

TOTAL COSTO DIRECTO	26.950,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.042,50
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	30.992,50
REDONDEAR	30.993

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Válvula de bola- Ø3/4"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Válvula de bola- Ø3/4"	UNIDAD	1,00	11.125,00	11.125,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	11.525,00
			TOTAL	11.525,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	18.050

TOTAL COSTO DIRECTO	29.575,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.436,25
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	34.011,25
REDONDEAR	34.012

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Universal - Ø3/4"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Universal - Ø3/4"	UNIDAD	1,00	5.857,00	5.857,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	6.257,00
			TOTAL	6.257,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	27.357,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.103,55
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	31.460,55
REDONDEAR	31.461
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Módulo de Adsorción	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Módulo de Adsorción	UNIDAD	1,00	1.660.000,00	1.660.000,00
			SUBTOTAL	1.660.000,00
			TOTAL	1.660.000,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
	1,00			15.000,00	15.000,00
				TOTAL	15.000,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	1.696.100,00
----------------------------	---------------------

A.U. 15%	254.415,00
-----------------	-------------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	1.950.515,00
REDONDEAR	1.950.515

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Codo 90 - Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Codo 90 - Ø1"	UNIDAD	1,00	1.860,00	1.860,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	2.260,00
			TOTAL	2.260,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00

Monitor	1,00	6.100	4,00	1.525,00
			TOTAL	9.025

TOTAL COSTO DIRECTO	11.285,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	1.692,75
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	12.977,75
REDONDEAR	12.978

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA: PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN: SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tubería - Ø1"	UNIDAD: m
FECHA: 01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tubería - Ø1"	m	1,00	11.200,00	11.200,00
Lubricante y limpiador	UNIDAD	1,00	600,00	600,00
			SUBTOTAL	11.800,00
			TOTAL	11.800,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	18.050

TOTAL COSTO DIRECTO	29.850,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.477,50
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	34.327,50
REDONDEAR	34.328

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA: PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN: SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Grava	UNIDAD: Kg
FECHA: 01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Grava 1" - 3/4"	Kg	1,00	22.600,00	22.600,00
Grava 3/4" - 1/2"	Kg		22.600,00	0,00
Grava 1/2" - 1/8"	Kg		22.600,00	0,00
Grava 1/8" - malla 10	Kg		22.600,00	0,00
			SUBTOTAL	22.600,00
			TOTAL	22.600,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
	1,00			15.000,00	15.000,00
				TOTAL	15.000,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	58.700,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	8.805,00
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	67.505,00
REDONDEAR	67.505

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA: PLANTA PILOTO -ADSORCIÓN	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN: SUMINISTRO E INSTALACIÓN- Carbón activado	UNIDAD: Kg
FECHA: 01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Carbón activado	Kg	1,00	15.000,00	15.000,00
			SUBTOTAL	15.000,00
			TOTAL	15.000,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	36.100,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	5.415,00
----------	----------

PRECIO UNITARIO TOTAL	41.515,00
REDONDEAR	41.515

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA: PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN: SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Codo 90 - Ø1"	UNIDAD: UNIDAD
FECHA: 01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Codo 90 - Ø1"	UNIDAD	1,00	1.860,00	1.860,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	2.260,00
			TOTAL	2.260,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	4,00	1.525,00
			TOTAL	9.025

TOTAL COSTO DIRECTO	11.285,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	1.692,75
----------	----------

PRECIO UNITARIO TOTAL	12.977,75
REDONDEAR	12.978

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Válvula de bola- Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Codo 90 - Ø1"	UNIDAD	1,00	14.912,00	14.912,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	15.312,00
			TOTAL	15.312,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	18.050

TOTAL COSTO DIRECTO	33.362,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	5.004,30
----------	----------

PRECIO UNITARIO TOTAL	38.366,30
REDONDEAR	38.367
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	

OBRA: PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN: SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Universal - Ø1"	UNIDAD: UNIDAD
FECHA: 01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Universal - Ø1"	UNIDAD	1,00	8.854,00	8.854,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	9.254,00
			TOTAL	9.254,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	30.354,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.553,10
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	34.907,10
------------------------------	------------------

REDONDEAR	34.908
------------------	---------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Válvula de compuerta- Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Válvula de compuerta- Ø1"	UNIDAD	1,00	11.125,00	11.125,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	11.525,00
			TOTAL	11.525,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	32.625,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.893,75
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	37.518,75
REDONDEAR	37.519

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tee- Ø3/4"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Válvula de compuerta- Ø1"	UNIDAD	1,00	1.324,00	1.324,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	1.724,00
			TOTAL	1.724,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	18.050

TOTAL COSTO DIRECTO	19.774,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	2.966,10
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	22.740,10
REDONDEAR	22.741

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Unión macho-Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Válvula de compuerta- Ø1"	UNIDAD	1,00	1.552,00	1.552,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	1.952,00
			TOTAL	1.952,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	18.050

TOTAL COSTO DIRECTO	20.002,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	3.000,30
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	23.002,30
------------------------------	------------------

REDONDEAR	23.003
------------------	---------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
--------------	---------------------------	--------------	--

DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Bomba periférica 0.5 HP - Humboldt	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Bomba periférica 0.5 HP - Humboldt	UNIDAD	1,00	399.800,00	399.800,00
			SUBTOTAL	399.800,00
			TOTAL	399.800,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	420.900,00
----------------------------	-------------------

A.U. 15%	63.135,00
-----------------	------------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	484.035,00
REDONDEAR	484.035

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
--------------	---------------------------	--------------	--

DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Válvula cheque-Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Bomba periférica 0.5 HP - Humboldt	UNIDAD	1,00	34.900,00	34.900,00
			SUBTOTAL	34.900,00
			TOTAL	34.900,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	56.000,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	8.400,00
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	64.400,00
REDONDEAR	64.400

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tee - Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD

FECHA: 01/2021

CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tee - Ø1"	UNIDAD	2,00	2.589,00	5.178,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	5.578,00
			TOTAL	5.578,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO**26.678,00****A.U. 15%****4.001,70****PRECIO UNITARIO TOTAL****30.679,70****REDONDEAR****30.680****ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Válvula de compuerta- Ø3/4"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Válvula de compuerta- Ø 3/4"	UNIDAD	1,00	27.900,00	27.900,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	28.300,00
			TOTAL	28.300,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	49.400,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	7.410,00
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	56.810,00
------------------------------	------------------

REDONDEAR	56.810
------------------	---------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO - ADSORCIÓN	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Válvula de cheque- Ø3/4"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Válvula de cheque- Ø 3/4"	UNIDAD	1,00	30.900,00	30.900,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	31.300,00
			TOTAL	31.300,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	52.400,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	7.860,00
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	60.260,00
REDONDEAR	60.260

8.3.5. APU-Columna de intercambio iónico

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA: PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:
--	--------------

DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Codo 90 - Ø3/4"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Codo 90 - Ø3/4"	UNIDAD	1,00	952,00	952,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	1.352,00
			TOTAL	1.352,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	4,00	1.525,00
			TOTAL	9.025

TOTAL COSTO DIRECTO	10.377,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	1.556,55
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	11.933,55
REDONDEAR	11.934

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tubería - Ø3/4"	UNIDAD:	m

FECHA: 01/2021

CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tubería - Ø3/4"	m	1,00	8.300,00	8.300,00
Lubricante y limpiador	UNIDAD	1,00	600,00	600,00
			SUBTOTAL	8.900,00
			TOTAL	8.900,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	18.050

TOTAL COSTO DIRECTO**26.950,00****A.U. 15%****4.042,50****PRECIO UNITARIO TOTAL****30.992,50****REDONDEAR****30.993****ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

OBRA:	PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Válvula de bola- Ø3/4"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Válvula de bola- Ø3/4"	UNIDAD	1,00	11.125,00	11.125,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	11.525,00
			TOTAL	11.525,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	18.050

TOTAL COSTO DIRECTO	29.575,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.436,25
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	34.011,25
REDONDEAR	34.012

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Universal - Ø3/4"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Universal - Ø3/4"	UNIDAD	1,00	5.857,00	5.857,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	6.257,00
			TOTAL	6.257,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	27.357,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.103,55
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	31.460,55
REDONDEAR	31.461

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Módulo de Intercambio	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
-------------	--------	----------	--------------	-----------

Módulo de Intercambio	UNIDAD	1,00	1.660.000,00	1.660.000,00
			SUBTOTAL	1.660.000,00
			TOTAL	1.660.000,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
	1,00			15.000,00	15.000,00
				TOTAL	15.000,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	1.696.100,00
----------------------------	---------------------

A.U. 15%	254.415,00
-----------------	-------------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	1.950.515,00
------------------------------	---------------------

REDONDEAR	1.950.515
------------------	------------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Codo 90 - Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Codo 90 - Ø1"	UNIDAD	1,00	1.860,00	1.860,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	2.260,00

			TOTAL	2.260,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4. MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	2,00	7.500,00
Monitor	1,00	6.100	4,00	1.525,00
			TOTAL	9.025

TOTAL COSTO DIRECTO	11.285,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	1.692,75
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	12.977,75
------------------------------	------------------

REDONDEAR	12.978
------------------	---------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tubería - Ø1"	UNIDAD:	m
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tubería - Ø1"	m	1,00	11.200,00	11.200,00
Lubricante y limpiador	UNIDAD	1,00	600,00	600,00
			SUBTOTAL	11.800,00
			TOTAL	11.800,00

			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	18.050

TOTAL COSTO DIRECTO	33.362,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	5.004,30
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	38.366,30
REDONDEAR	38.367

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Universal - Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Universal - Ø1"	UNIDAD	1,00	8.854,00	8.854,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	9.254,00
			TOTAL	9.254,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL

			TOTAL	0,00
--	--	--	--------------	-------------

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	30.354,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.553,10
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	34.907,10
REDONDEAR	34.908

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Válvula de compuerta- Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Válvula de compuerta- Ø1"	UNIDAD	1,00	11.125,00	11.125,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	11.525,00
			TOTAL	11.525,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	32.625,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.893,75
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	37.518,75
REDONDEAR	37.519

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA: PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:
DESCRIPCIÓN: SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tee- Ø3/4"	UNIDAD: UNIDAD
FECHA: 01/2021	CANTIDAD:

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Válvula de compuerta- Ø1"	UNIDAD	1,00	1.324,00	1.324,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	1.724,00
			TOTAL	1.724,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	2,00	3.050,00
			TOTAL	18.050

TOTAL COSTO DIRECTO	19.774,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	2.966,10
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	22.740,10
------------------------------	------------------

REDONDEAR	22.741
------------------	---------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Unión macho-Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Válvula de compuerta- Ø1"	UNIDAD	1,00	1.552,00	1.552,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	1.952,00
			TOTAL	1.952,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
----------	---------	-----------	-------	--------	-------------

				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	420.900,00
----------------------------	-------------------

A.U. 15%	63.135,00
-----------------	------------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	484.035,00
REDONDEAR	484.035

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Válvula cheque-Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Bomba periférica 0.5 HP - Humboldt	UNIDAD	1,00	34.900,00	34.900,00
			SUBTOTAL	34.900,00
			TOTAL	34.900,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL

				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	56.000,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	8.400,00
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	64.400,00
------------------------------	------------------

REDONDEAR	64.400
------------------	---------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Tee - Ø1"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Tee - Ø1"	UNIDAD	2,00	2.589,00	5.178,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	5.578,00
			TOTAL	5.578,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	26.678,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	4.001,70
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	30.679,70
REDONDEAR	30.680

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Válvula de compuerta- Ø3/4"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Válvula de compuerta- Ø 3/4"	UNIDAD	1,00	27.900,00	27.900,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	28.300,00
			TOTAL	28.300,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	49.400,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	7.410,00
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	56.810,00
------------------------------	------------------

REDONDEAR	56.810
------------------	---------------

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

OBRA:	PLANTA PILOTO -INTERCAMBIO IÓNICO	ÍTEM:	
DESCRIPCIÓN:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE Válvula de cheque- Ø3/4"	UNIDAD:	UNIDAD
FECHA:	01/2021	CANTIDAD:	

1. MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL
Válvula de cheque- Ø 3/4"	UNIDAD	1,00	30.900,00	30.900,00
Soldadura y limpiador	UNIDAD	1,00	400,00	400,00
			SUBTOTAL	31.300,00
			TOTAL	31.300,00

2. EQUIPOS

DESCRIPCIÓN	TIPO	TARIFA/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
			TOTAL	0,00

3. TRANSPORTE

MATERIAL	VOLUMEN	DISTANCIA	M3-KM	TARIFA	VR. PARCIAL
				TOTAL	0,00

4.MANO DE OBRA

TRABAJADOR	No.	JORNAL/HORA	RENDIMIENTO	VR. PARCIAL
Profesor	0,50	30000,	1,00	15.000,00
Monitor	1,00	6.100	1,00	6.100,00
			TOTAL	21.100

TOTAL COSTO DIRECTO	52.400,00
----------------------------	------------------

A.U. 15%	7.860,00
-----------------	-----------------

PRECIO UNITARIO TOTAL	60.260,00
REDONDEAR	60.260

8.3.6. Presupuesto del proyecto

ÍTEM Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	VALOR UNITARIO (\$)	VALOR TOTAL (\$)
1	SISTEMA DE AIREACIÓN				\$ 3.378.196
1.1	ENTRADA				\$ 99.327
1.1.1	Tubería - Ø1/2"	m	0,5	\$ 20.528	\$ 10.264,00
1.1.2	Válvula de bola Ø1/2"	UNIDAD	2	\$ 21.853	\$ 43.706,00
1.1.3	Universal- Ø1/2"	UNIDAD	2	\$ 15.931	\$ 31.862,00
1.1.4	Tee- Ø1/2"	UNIDAD	1	\$ 13.495	\$ 13.495,00
1.2	TANQUE DE AIREACIÓN				\$ 3.069.754
1.2.1	Tanque	UNIDAD	1	\$ 1.053.515	\$ 1.053.515
1.2.2	Difusores de membrana	UNIDAD	14	\$ 28.808	\$ 403.312
1.2.3	Compresor de aire	UNIDAD	3	\$ 339.804	\$ 1.019.412
1.2.4	Soporte	UNIDAD	1	\$ 593.515	\$ 593.515
1.3	DESAGUE				\$ 79.216
1.3.1	Tubería desague - Ø3/4"	m	1	\$ 22.368	\$ 22.368
1.3.2	Válvula de bola Ø3/4"	UNIDAD	1	\$ 37.519	\$ 37.519
1.3.3	Universal Ø3/4"	UNIDAD	1	\$ 19.329	\$ 19.329
1.3	SALIDA				\$ 129.899
1.3.1	Tubería - Ø1/2"	m	2	\$ 20.528	\$ 41.056
1.3.3	Válvula de bola Ø1/2"	UNIDAD	1	\$ 21.853	\$ 21.853
1.3.4	Universal- Ø1/2"	UNIDAD	2	\$ 15.931	\$ 31.862
1.3.5	Tee- Ø1/2"	UNIDAD	1	\$ 13.495	\$ 13.495
1.3.6	Codo de 90° - Ø1/2" PVC	UNIDAD	3	\$ 7.211	\$ 21.633
2	ABLANDAMIENTO				\$ 9.637.552
2.1	ENTRADA				\$ 125.882,50
2.1.1	Universal- Ø3/4"	UNIDAD	2	\$ 19.329,00	\$ 38.658,00
2.1.2	Codo de 90° - Ø3/4"	UNIDAD	2	\$ 12.519,00	\$ 25.038,00
2.1.3	Tubería - Ø3/4"	m	1,5	\$ 16.445,00	\$ 24.667,50
2.1.4	Valvula de Bola - Ø3/4"	UNIDAD	1	\$ 37.519	\$ 37.519,00
2.2	MEDIO				\$ 4.937.752
2.2.1	Universal- Ø3/4"	UNIDAD	7	\$ 19.329	\$ 135.303
2.2.2	Valvula de Bola - Ø3/4"	UNIDAD	4	\$ 37.519	\$ 150.076
2.2.3	Adaptador hembra - Ø3/4"	UNIDAD	4	\$ 14.663	\$ 58.652
2.2.4	Modulo de floculación	UNIDAD	2	\$ 869.515	\$ 1.739.030
2.2.5	Modulo de sedimentación	UNIDAD	1	\$ 1.030.515	\$ 1.030.515
2.2.6	Soporte floculador	UNIDAD	2	\$ 455.515	\$ 911.030
2.2.7	Soporte sedimentador	UNIDAD	1	\$ 415.265	\$ 415.265
2.2.8	Codo 90 - Ø3/4"	UNIDAD	7	\$ 12.519	\$ 87.633
2.2.9	Tubo Venturi	UNIDAD	2	\$ 64.515	\$ 129.030
2.2.10	Tee - Ø3/4"	UNIDAD	1	\$ 15.638	\$ 15.638
2.2.11	Válvula de bola Ø1 1/2"	UNIDAD	1	\$ 53.360	\$ 53.360
2.2.12	universal - Ø1 1/2"	UNIDAD	1	\$ 35.075	\$ 35.075
2.2.13	Multiples de distribución del sedimentador - Ø3/4"	m	1	\$ 16.445	\$ 16.445
2.2.14	Tapon liso Ø 3/4"	UNIDAD	1	\$ 13.374	\$ 13.374
2.2.15	Tapon liso - Ø 1"	UNIDAD	1	\$ 13.903	\$ 13.903
2.2.16	Tapon liso - Ø 1 1/2"	UNIDAD	1	\$ 16.697	\$ 16.697
2.2.17	Tubería de lodos sedimentador - Ø 1 1/2"	m	1	\$ 35.248	\$ 35.248
2.2.18	Reducción de - Ø 1 a 3/4"	UNIDAD	2	\$ 28.405	\$ 56.810
2.2.19	Tubería - Ø3/4"	m	1,5	\$ 16.445	\$ 24.668
2.3	SALIDA				\$ 179.653
2.3.1	Tubería - Ø3/4"	m	1	\$ 16.445	\$ 16.445
2.3.2	Válvula de bola- Ø3/4"	UNIDAD	1	\$ 37.519	\$ 37.519
2.3.3	Universal- Ø3/4"	UNIDAD	1	\$ 19.329	\$ 19.329
	Tubo Venturi	UNIDAD	1	\$ 64.515	\$ 64.515
	Adaptador hembra - Ø3/4"	UNIDAD	2	\$ 14.663	\$ 29.326
2.3.4	Codo 90 - Ø3/4"	UNIDAD	1	\$ 12.519	\$ 12.519
2.4	DOSIFICACIÓN				\$ 4.394.265
2.4.1	Bomba peristáltica 0 - 100 RPM	UNIDAD	1	\$ 4.394.265	\$ 4.394.265
3	DAF				\$ 11.638.562
3.1	ENTRADA				\$ 511.001
3.1.1	Tubería - Ø3/4"	m	2,6	\$ 22.368	\$ 58.157
3.1.2	Válvula de bola- Ø3/4"	UNIDAD	2	\$ 37.519	\$ 75.038
3.1.3	Universal - Ø3/4"	UNIDAD	5	\$ 19.329	\$ 96.645
3.1.4	Tee- Ø3/4"	UNIDAD	1	\$ 22.741	\$ 22.741
3.1.5	Codo 90 - Ø3/4"	UNIDAD	6	\$ 43.070	\$ 258.420
3.2	SATURADOR				\$ 6.130.833
3.2.1	Modulo de saturación	UNIDAD	1	\$ 5.791.515	\$ 5.791.515
3.2.2	Tubería - Ø3/4"	UNIDAD	2,6	\$ 22.368	\$ 58.157
3.2.3	Codo 90 - Ø3/4"	UNIDAD	6	\$ 43.070	\$ 258.420
3.2.4	Tee- Ø3/4"	UNIDAD	1	\$ 22.741	\$ 22.741
3.3	TANQUE DE FLOTACIÓN				\$ 4.793.545
3.3.1	Barrentas	UNIDAD	1	\$ 3.491.515	\$ 3.491.515
3.3.2	Soporte	UNIDAD	1	\$ 386.515	\$ 386.515
3.3.3	Modulo de Tanque de Flotación	UNIDAD	1	\$ 915.515	\$ 915.515
3.4	SALIDA				\$ 56.848
3.4.1	Tubería-Ø3/4"	m	0,6	\$ 22.368	\$ 13.421
3.4.2	Universal - Ø3/4"	UNIDAD	1	\$ 19.329	\$ 19.329
3.4.3	Válvula de bola- Ø3/4"	UNIDAD	1	\$ 37.519	\$ 37.519
3.5	TOLVA DE LODOS				\$ 146.335
3.5.1	Tubería natas - Ø3/4"	m	1	\$ 22.368	\$ 22.368
3.5.2	Tubería de lodos - Ø 1 1/2"	m	1	\$ 24.668	\$ 24.668
3.5.3	Válvula de bola- Ø 1 1/2"	UNIDAD	1	\$ 53.360	\$ 53.360
3.5.4	Universal - Ø3/4"	UNIDAD	1	\$ 19.329	\$ 19.329
3.5.5	Universal - Ø1 1/2"	UNIDAD	1	\$ 35.075	\$ 35.075
3.5.6	Tapon liso Ø 1 1/2"	UNIDAD	1	\$ 13.903	\$ 13.903

4	INTERCAMBIO IÓNICO					\$ 4.423.771
4.1	ENTRADA					\$ 922.627
4.1.1	Codo 90 - Ø3/4"	UNIDAD	1	\$	11.934	\$ 11.934
4.1.2	Tubería - Ø3/4"	m	3	\$	30.993	\$ 92.979
4.1.3	Tee- Ø3/4"	UNIDAD	1	\$	22.741	\$ 22.741
4.1.4	Universal - Ø3/4"	UNIDAD	4	\$	31.461	\$ 125.844
4.1.5	Válvula de bola- Ø3/4"	UNIDAD	2	\$	34.012	\$ 68.024
4.1.6	Válvula cheque-Ø3/4"	UNIDAD	1	\$	60.260	\$ 60.260
4.1.7	Válvula de compuerta- Ø 3/4"	UNIDAD	1	\$	56.810	\$ 56.810
4.1.8	Bomba periférica 0.5 HP - Humboldt	UNIDAD	1	\$	484.035	\$ 484.035
4.2	CENTRO					\$ 2.061.835
4.2.1	Zeolita	Kg	1	\$	43.815	\$ 43.815
4.2.2	Grava	UNIDAD	1	\$	67.505	\$ 67.505
4.2.3	Módulo de Intercambio	UNIDAD	1	\$	1.950.515	\$ 1.950.515
4.3	DESAGUE					\$ 306.170
4.3.1	Tubería - Ø1	m	3	\$	34.328	\$ 102.984
4.3.2	Tee- Ø1"	UNIDAD	1	\$	30.680	\$ 30.680
4.3.3	Codo 90 - Ø1"	UNIDAD	2	\$	12.978	\$ 25.956
4.3.4	Universal - Ø1"	UNIDAD	2	\$	34.908	\$ 69.816
4.3.5	Válvula de bola- Ø1"	UNIDAD	2	\$	38.367	\$ 76.734
4.4	SALIDA					\$ 90.439
4.4.1	Válvula de bola- Ø1"	UNIDAD	1	\$	38.367	\$ 38.367
4.4.2	Universal - Ø1"	UNIDAD	1	\$	34.908	\$ 34.908
4.4.3	Tubería - Ø1"	UNIDAD	0,5	\$	34.328	\$ 17.164
4.5	SALIDA DE RETROLVADO					\$ 1.042.700
4.5.1	Bomba periférica 0.5 HP - Humboldt	UNIDAD	1	\$	484.035	\$ 484.035
4.5.2	Tubería - Ø1"	m	3	\$	34.328	\$ 102.984
4.5.3	Codo 90 - Ø1"	UNIDAD	5	\$	12.978	\$ 64.890
4.5.4	Válvula cheque-Ø1"	UNIDAD	1	\$	64.400	\$ 64.400
4.5.5	Tee-Ø1"	UNIDAD	1	\$	30.680	\$ 30.680
4.5.6	Universal - Ø1"	UNIDAD	3	\$	34.908	\$ 104.724
4.5.7	Válvula de compuerta Ø1"	UNIDAD	1	\$	37.519	\$ 37.519
4.5.8	Válvula de bola- Ø1"	UNIDAD	4	\$	38.367	\$ 153.468
5	ADSORCIÓN					\$ 4.370.022
5.1	ENTRADA					\$ 881.183
5.1.1	Codo 90 - Ø3/4"	UNIDAD	1	\$	11.934	\$ 11.934
5.1.2	Tubería - Ø3/4"	m	3	\$	30.993	\$ 92.979
5.1.3	Tee- Ø3/4"	UNIDAD	1	\$	22.741	\$ 22.741
5.1.4	Universal - Ø3/4"	UNIDAD	4	\$	21.100	\$ 84.400
5.1.5	Válvula de bola- Ø3/4"	UNIDAD	2	\$	34.012	\$ 68.024
5.1.6	Válvula cheque-Ø3/4"	UNIDAD	1	\$	60.260	\$ 60.260
5.1.7	Válvula de compuerta- Ø 3/4"	UNIDAD	1	\$	56.810	\$ 56.810
5.1.8	Bomba periférica 0.5 HP - Humboldt	UNIDAD	1	\$	484.035	\$ 484.035
5.2	CENTRO					\$ 2.059.535
5.2.1	Carbón Activado	Kg	1	\$	41.515	\$ 41.515
5.2.2	Grava	UNIDAD	1	\$	67.505	\$ 67.505
5.2.3	Módulo de Intercambio	UNIDAD	1	\$	1.950.515	\$ 1.950.515
5.3	DESAGUE					\$ 306.170
5.3.1	Tubería - Ø1	m	3	\$	34.328	\$ 102.984
5.3.2	Tee- Ø1"	UNIDAD	1	\$	30.680	\$ 30.680
5.3.3	Codo 90 - Ø1"	UNIDAD	2	\$	12.978	\$ 25.956
5.3.4	Universal - Ø1"	UNIDAD	2	\$	34.908	\$ 69.816
5.3.5	Válvula de bola- Ø1"	UNIDAD	2	\$	38.367	\$ 76.734
5.4	SALIDA					\$ 90.439
5.4.1	Válvula de bola- Ø1"	UNIDAD	1	\$	38.367	\$ 38.367
5.4.2	Universal - Ø1"	UNIDAD	1	\$	34.908	\$ 34.908
5.4.3	Tubería - Ø1"	UNIDAD	0,5	\$	34.328	\$ 17.164
5.5	SALIDA DE RETROLVADO					\$ 1.032.695
5.5.1	Bomba periférica 0.5 HP - Humboldt	UNIDAD	1	\$	484.035	\$ 484.035
5.5.2	Tubería - Ø1"	m	3	\$	30.993	\$ 92.979
5.5.3	Codo 90 - Ø1"	UNIDAD	5	\$	12.978	\$ 64.890
5.5.4	Válvula cheque-Ø1"	UNIDAD	1	\$	64.400	\$ 64.400
5.5.5	Tee-Ø1"	UNIDAD	1	\$	30.680	\$ 30.680
5.5.6	Universal - Ø1"	UNIDAD	3	\$	34.908	\$ 104.724
5.5.7	Válvula de compuerta Ø1"	UNIDAD	1	\$	37.519	\$ 37.519
5.5.8	Válvula de bola- Ø1"	UNIDAD	4	\$	38.367	\$ 153.468
SUBTOTAL SISTEMA DE ACUEDUCTO						33.448.102,6
I.V.A (19% De las Utilidades previstas en un 10%)						508.411,2
TOTAL						33.956.513,8

8.4. Fichas técnicas

8.4.1. Cortinas difusoras

BOYU®	
CORTINAS DIFUSORAS	
Parámetro	Valor
Uso	Aireación
Modelo	TN-04
Material	Neopreno
Caudal	30 L/h
Diámetro del cuerpo	10 mm
Longitud	60 cm – 24 pulg
Longitud espiga	13 mm
Diámetro de conexión	4/6 mm

8.4.2. Compresor de aire

BOYU®	
COMPRESOR DE AIRE	
Parámetro	Valor
Modelo	ACQ-005
Voltaje	AC230-115V
Potencia	70W
Flujo máximo de aire	60 L/min
Medidas	196*106*127 mm
Presión	0.03 MPa
Frecuencia	50/60 Hz

8.4.3. Tubo Venturi

 Mazzei TUBO VENTURI	
Parámetro	Valor
Rosca de entrada y salida	1/2"
Material	POM - Polioximetileno, polióxido de metileno
Tamaño	Estándar
Rango de flujo	0,29 a 0,81 m ³ /h
Presión de trabajo	0,7 a 9,5 Bar
Capacidad de autocebado	3 a 37 L/h

8.4.4. Bomba peristáltica

 Fisherbrand QUALITY. RELIABILITY. VALUE.	
BOMBA PERISTALTICA	
Parámetro	Valor
Modelo N°	CTP100 - 15327527
Caudal, mL/min	Desde 0,002 hasta 1,65
rpm	Desde 1,2 hasta 10

8.4.5. Bomba periférica

 BOMBA PERIFÉRICA								
Modelo	HP	SUC/DES	CAUDAL (L/s)	PRESIÓN (m.c.a)	PESO (Kg)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
Xkm60-1	0.5	1" / 1"	0,1 – 0,4	29 - 10	6	283	152	174