

CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE A NIVEL
DE LABORATORIO CON FINES ACADÉMICOS ABASTECIDA CON ENERGÍA SOLAR.

JOSE LUIS PINZON GÓMEZ.

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

TUNJA

2020

CONSTRUCCION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE A NIVEL
DE LABORATORIO CON FINES ACADEMICOS ABASTECIDA CON ENERGIA SOLAR.

JOSE LUIS PINZON GOMEZ

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR:

PhD. CAMILO LESMES FABIAN
MSc. WILLIAM RICARDO MOZO MORENO

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

TUNJA

2020

Nota de aceptación:

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

1 septiembre de 2020

DEDICATORIA

A Dios por darme la sabiduría y la paciencia para afrontar cada reto a lo largo de estos años.

A mis padres Luis Alonso Pinzón y Carmenza Gómez por todas sus enseñanzas en este camino, por formarme día a día para ser una gran persona, por todos sus sacrificios para ayudarme a llegar hasta aquí y por ser el motor en mi vida para salir adelante y cumplir todas mis metas, este triunfo es para ellos.

Este logro va dedicado a mis hermanas Angélica, Andrea y Paola por siempre apoyarme y creer en mí.

A la familia Medina Gómez por sus consejos y paciencia a lo largo de este proceso.

A mis amigos de universidad por su compañía en cada uno de los momentos vividos en esta etapa que termina.

AGRADECIMIENTOS

Quiero mostrar mis agradecimientos a:

A Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida.

La universidad Santo Tomas seccional Tunja por creer y permitir la realización de este proyecto y por su formación como profesional en todos estos años de aprendizaje.

Al ingeniero Camilo Lesmes Fabián director de este proyecto por su disponibilidad y colaboración durante el desarrollo de este trabajo.

Al ingeniero William Ricardo Mozo Moreno director de este proyecto por su disponibilidad y colaboración durante el desarrollo de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE IMÁGENES	VIII
LISTA DE TABLAS	XI
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
1.DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
2.JUSTIFICACION.....	4
3.OBJETIVOS	6
3.1. Objetivo General:	6
3.2. Objetivo específico:	6
4.DELIMITACION.....	7
4.1. Tiempo:	7
4.2. Alcance:	7
4.3. Limitaciones:	8
5.MARCO REFERENCIAL	9
5.1. Plantas de tratamiento a nivel de Laboratorio:	9
5.2. Energía solar y sus diferentes usos en plantas de tratamiento de agua potable:	12
6.MARCO TEORICO	16
6.1. Tipos de Plantas de Tratamiento	16
6.1.1. Planta convencional:.....	16
6.1.2. Planta de filtración rápida	17
6.1.3. Planta de filtración en línea:	17
6.2. Tipos de flujo del agua:.....	18
6.2.1. Según la velocidad de flujo:.....	19
6.2.2. Según la velocidad con respecto al tiempo:	20
6.2.3. Según la dirección:	20
6.3. Características de agua potable:	21
6.3.1. Características físicas:	21
6.3.2. Características químicas del agua:	23
6.3.3. Características microbiológicas del agua:.....	24
6.4. Procesos de tratamiento de agua potable:	25
6.4.1. Aireación:	26
6.4.2. Coagulación:	26
6.4.3. Floculación:	28
6.4.4. Sedimentación:.....	29
6.4.5. Filtración:.....	31
6.4.6. Desinfección:	33
6.5. Marco Legal:	34
6.5.1. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico Ras 2000: ...	36
6.6. Energías renovables:	36
6.6.1. Energía fotovoltaica:	37
6.6.2. Paneles solares o módulos fotovoltaicos:	38
6.6.3. Baterías:.....	40
6.6.4. Controlador:	44
6.6.5. Inversor:.....	44
7.METODOLOGIA	45
7.1. Etapa de agua:	45
7.2. Etapa de electricidad:.....	45
8.UNIDAD DE LABORATORIO.	47
8.1. Determinación del caudal:.....	47

8.2. Aireación:	49
8.3. Sedimentación:	54
8.4. Coagulación:	59
8.5. Floculación:	63
8.6. Filtración:	69
8.7. Desinfección:	71
9.DISEÑO PLANTA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA.	77
9.1. Calculo de consumo de energía necesaria para la planta:	77
9.2. Rendimiento global del sistema fotovoltaico(R):	82
9.3. Cálculo número de paneles solares necesarios para el sistema:	82
9.4. Cálculo número de baterías:	84
9.5. Cuerpo del sistema:	85
9.6. Cableado:	87
9.7. Componentes de la planta de energía fotovoltaica:	88
9.7.1. Zona banco de paneles:	89
9.7.2. Zona panel de control de energía:	91
9.7.3. Zona panel de conexiones:	93
10.PROCESOS DE TRATAMIENTO ABASTECIDOS CON ENERGIA SOLAR.	95
10.1. Aireación y Coagulación:	95
10.2. Desinfección:	97
10.2.1. Equipo experimental unidad de desinfección:	100
11.CONSTRUCCION DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO.	102
12.INVERSION Y FINANCIAMIENTO.	105
13.PRUEBAS EXPERIMENTALES.	107
13.1. Parámetros a tratar:	107
13.2. Equipos utilizados:	108
13.3. Agua a tratar:	108
13.4. Planta de tratamiento de agua potable “Teatinos”.	109
13.5. Prueba de jarras:	112
13.6. Aireación:	115
13.7. Sedimentador:	116
13.8. Coagulación:	117
13.9. Floculación:	119
13.10. Filtración:	121
13.11. Desinfección:	122
14.RESULTADOS.	124
14.1. Funcionamiento planta de energía fotovoltaica:	128
15.CONCLUSIONES.	133
16.RECOMENDACIONES.	135
17.BIBLIOGRAFIA.	136
18.ANEXOS.	139

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Planta convencional. Romero (2000).	16
Imagen 2. Planta filtración rápida.	17
Imagen 3. Planta filtración en línea.	18
Imagen 4 Demanda de Cloro	34
Imagen 5.sistema fotovoltaico)	37
Imagen 6.Panel solar monocristalinos.	39
Imagen 7. Panel solar policristalinos	39
Imagen 8. Panel solar amorfo	40
Imagen 9. Batería monoblock	41
Imagen 10. Batería AGM.....	42
Imagen 11 Batería estacionaria.	42
Imagen 12 Batería de litio.....	43
Imagen 13 Batería de gel	43
Imagen 14Aireador de bandejas múltiples.....	51
Imagen 15.Sistema de Aireación por Difusión de Aire.	52
Imagen 16.Sistema de Aireación por Difusión de Aire.	52
Imagen 17 Sistema de Aireación por Difusión de Aire.	53
Imagen 18 Sistema de sedimentación tipo 1.	54
Imagen 19 Sistema de sedimentación tipo 1.	55
Imagen 20Unidad de sedimentación.....	57
Imagen 21 Unidad de Sedimentación.	58
Imagen 22 Unidad de sedimentación.....	59
Imagen 23 Unidad de Coagulación	60
Imagen 24. Unidad de Coagulación.	61
Imagen 25 Unidad de Coagulación.	62
Imagen 26 Floculador Flujo horizontal.	64
Imagen 27 Floculador Flujo horizontal.	65
Imagen 28 Floculador de Flujo Vertical.	66
Imagen 29. Floculador de Flujo Vertical	67
Imagen 30 Floculador de flujo vertical.....	68
Imagen 31.Unidad de filtración.....	70

Imagen 32 Unidad de Filtración.....	71
Imagen 33 Unidad de Aireación.....	72
Imagen 34 Unidad de Aireación.....	72
Imagen 35 Unidad de Aireación.....	73
Imagen 36. Unidad de laboratorio etapa de agua.	74
Imagen 37 Unidad de Laboratorio Etapa de Agua.	75
Imagen 38 Unidad de laboratorio Etapa de agua.	76
Imagen 39 Ubicación paneles solares.....	79
Imagen 40 Promedio mensual hora solares pico.	80
Imagen 41 Cuerpo del Sistema	85
Imagen 42 Cuerpo del sistema.	86
Imagen 43 Cuerpo del Sistema	86
Imagen 44 Conexiones.	87
Imagen 45 Diagrama Unifilar.	89
Imagen 46 zona Banco de Paneles.	91
Imagen 47 Zona Panel control de energia.....	93
Imagen 48 Zona Panel de Conexiones.....	94
Imagen 49 Conexiones Bomba de Aire (Aireación y Coagulación)	96
Imagen 50 Conexiones Bomba de Aire (Aireación y Coagulación)	96
Imagen 51 Protección unidad de Desinfección	97
Imagen 52 Protección unidad de Desinfección	98
Imagen 53 Protección unidad de Desinfección	98
Imagen 54 Lámpara Luz UV.	99
Imagen 55 Lámpara Luz UV.	100
Imagen 56 Conexión unidad de Desinfección.....	101
Imagen 57 Conexión unidad de Desinfección.....	102
Imagen 58 unidad fotovoltaica.....	104
Imagen 59 unidad fotovoltaica.....	104
Imagen 60. Planta de tratamiento “Teatinos”	109
Imagen 61. Planta de tratamiento “Teatinos”	110
Imagen 62 punto de verificación PTAP “Teatinos”	111
Imagen 63 Prueba de jarras.....	113

Imagen 64 unidad de Aireación construida.....	116
Imagen 65. Unidad de Sedimentación Construida.	117
Imagen 66. Unidad de Coagulación Construida.....	119
Imagen 67 Unidad de Floculación Construida.	120
Imagen 68. Unidad de Filtración Construida.	121
Imagen 69 Agua Tratada.....	126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Mecanismos de remoción de un filtro	32
Tabla 2. Características físicas	35
Tabla 3. Características Químicas	35
Tabla 4 Características microbiológicas	36
Tabla 5 : Rangos de caudal para plantas piloto	47
Tabla 6. Calculo de consumo energía.....	78
Tabla 7. Promedio hora pico sol.....	81
Tabla 8 Caculo de rendimiento global del sistema fotovoltaico	82
Tabla 9. Cálculo número de paneles necesarios.....	83
Tabla 10. Cálculo número de baterías sistema fotovoltaico	84
Tabla 11. Costo de la construcción del sistema fotovoltaico.	105
Tabla 12. Costos construcción de la planta hidráulica factura de compra.	106
Tabla 13. Unidades de turbidez inicial de las muestras.	111
Tabla 14. Prueba de jarras muestra día número uno planta de tratamiento de agua potable “Teatinos” ..	114
Tabla 15. Prueba de jarras muestra día número dos plantas de tratamiento de agua potable “Teatinos”. ..	114
Tabla 16. Dosis optimas de coagulante	117
Tabla 17. Dosis de coagulante aplicadas proceso coagulación	118
Tabla 18. Datos de turbidez tomada al final el proceso de floculación	120
Tabla 19. Datos de turbidez tomada al final el proceso de filtración	122
Tabla 20. Cálculo porcentaje de remoción tubería de salida del proceso de floculación).	125
Tabla 21. Cálculo porcentaje de remoción tubería de salida del proceso de filtración.....	125
Tabla 22. Cálculo porcentaje de remoción punto de verificación planta de tratamiento “Teatinos”	126
Tabla 23 Voltaje diario producido en la semana 1 por los paneles entrando al sistema	128
Tabla 24 Voltaje diario producido en la semana 2 por los paneles entrando al sistema	129
Tabla 25. Potencia diaria producido en la semana 1 por los paneles entrando al sistema	130
Tabla 26 Potencia diaria producido en la semana 2 por los paneles entrando al sistema	130

RESUMEN

Con el objeto de servir de complemento en la asignatura de tratamiento de agua, este proyecto presenta el proceso para la construcción de una planta de tratamiento a nivel de laboratorio con fines académicos abastecida con energía solar, para que los estudiantes de esta asignatura tengan un acercamiento físico a cada uno de los procesos llevados a cabo en la potabilización del agua.

En este marco de investigación se presenta la selección de dimensiones y materiales a usar para la unidad de tratamiento y la planta de energía solar que se usara para el abastecimiento de los componentes presentes en la unidad del laboratorio, para luego de esto realizar la construcción y puesta en marcha de la totalidad de sus unidades.

Se pretende, por tanto, que este proyecto se constituya en un aporte en el campo académico de los procesos de tratamiento de agua y el uso de energías alternativas como punto de referencia para futuras investigaciones en estos ámbitos académicos.

INTRODUCCIÓN

En la formación académica de los ingenieros es de vital importancia el combinar la teoría con la práctica, que los estudiantes tengan la capacidad y las herramientas para poder tener un acercamiento a las diferentes temáticas concernientes a su carrera profesional. En muchas ocasiones esto no es posible por distintos motivos ya sea por la dificultad de acceso o movilización hacia distintas estructuras que permitan un acercamiento físico a los diferentes conceptos impartidos por los docentes.

Por lo anterior este trabajo de grado propone la construcción de una planta de tratamiento a nivel de laboratorio con fines académicos abastecida con energía solar. La investigación está desarrollada en dos partes, la primera consta de la selección de las dimensiones y el material a usar en la construcción de la unidad de tratamiento, esto basado en una revisión y conceptualización bibliográfica previa, la segunda consiste en el dimensionamiento de los distintos componentes para el correcto funcionamiento de la planta de energía solar, para luego proceder a la construcción y verificación de la planta a nivel de laboratorio como herramienta para la asignatura de tratamiento de aguas.

Una vez construida la unidad de laboratorio, se realizan simulaciones del proceso de tratamiento con la totalidad de sus componentes (parte hidráulica y parte eléctrica) a las diferentes muestras de agua tomadas y de esta manera realizar una evaluación a los valores finales de turbidez obtenidos y el funcionamiento de la unidad de laboratorio como herramienta académica para los estudiantes.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El tratamiento de aguas es una de las temáticas más importantes que compone la línea de aguas en la formación academia como ingenieros civiles. El proceso académico de esta asignatura, el aprendizaje y los conceptos relacionados con los diferentes procesos llevados a cabo en una planta de tratamiento de agua potable se evidencia más de manera teórica y gráfica, complementados con los diferentes laboratorios; pero no existe la posibilidad de que los estudiantes tengan un acercamiento físico a todos los procesos de tratamiento y las diferentes temáticas vistas en el aula de clase.

De acuerdo a la necesidad de que los estudiantes cuenten con un equipo para que de manera práctica puedan materializar todos esos conocimientos, surge la idea de construir para la universidad un equipó que permita a los estudiantes potenciar y materializar todos esos conceptos vistos en la asignatura de tratamiento de aguas. La realización de este proyecto busca la construcción de un tren de procesos de tratamiento de agua potable a nivel de laboratorio que pueda ser usado como herramienta académica, para que los estudiantes puedan tener un acercamiento físico a cada uno de los procesos que compone una planta de tratamiento de agua potable y de esta manera puedan potenciar con la práctica cada uno de los conceptos vistos en el aula de clase.

Teniendo en cuenta que es poco lo que se habla acerca de las energías alternativas, y es mínimo el acercamiento de los estudiantes a estas; con la construcción de la planta de energía solar fotovoltaica para esta investigación se quiere generar un incentivo para que los estudiantes aprovechen este equipo y puedan incluir en sus diferentes ámbitos y campos académicos el uso de energías sostenibles que contribuyan con el cuidado del medio ambiente.

2. JUSTIFICACION

Es de vital importancia que los diferentes conceptos impartidos en el aula de clase por los docentes en la asignatura de tratamiento de aguas sean complementados de una manera más práctica, pues es importante que los estudiantes antes de salir a ejercer su carrera profesional se vean implicados de manera física con los diferentes procesos y problemas a los cuales se pueden enfrentar a la hora de ser profesionales. Es por esto que es importante que la universidad cuente con equipos que permitan al estudiante de manera practica la materialización de esos conceptos.

Aunque los laboratorios de aguas de la universidad Santo Tomas seccional Tunja cuentan con equipos como el test de jarras, que sirven para que los estudiantes aprendan de forma practica el comportamiento del agua en el proceso de coagulación y floculación, así como a determinar la cantidad de coagulante necesario a usar. El laboratorio no cuenta con un equipo que les permita tener un acercamiento practico de los diferentes procesos de tratamiento en general; de acuerdo a esto, con la realización de este proyecto se pretende la construcción a escala de laboratorio de un tren de procesos de tratamiento de agua potable con fines académicos comprendido por aireación, coagulación, floculación, sedimentación y filtración abastecida con energia solar, que sirva como herramienta para la materialización de los diferentes conceptos vistos en la asignatura de tratamiento de aguas, teniendo en cuenta que es fundamental combinar la teoría con la practica en la formación académica. Con la construcción de este equipo los estudiantes contarán con una herramienta para que de manera propia o con las indicaciones de los diferentes profesores de las áreas, experimenten y simulen los procesos de tratamiento con la ayuda de la planta a escala.

Con este proyecto, se pretende además de brindar un aporte académico al área de tratamiento de aguas, con la construccion de la planta de energía fotovoltaica, se pretende generar un incentivo para que los estudiantes y los diferentes semilleros de investigación que tiene la universidad, realicen

investigaciones de cómo usar este tipo de energías alternativas para los diferentes campos relacionados con sus carreras.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General:

- Construir a nivel de laboratorio un tren de procesos de agua potable comprendido por aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección la cual pueda ser utilizada como herramienta académica para la asignatura de tratamiento de aguas.

3.2. Objetivo específico:

- Definir las dimensiones y materiales a utilizar para las unidades de tratamiento de agua potable a nivel de laboratorio que incluya los procesos de tratamiento tradicionales como aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección.
- Construir una planta de energía fotovoltaica para el abastecimiento de los diferentes procesos de la unidad de tratamiento a nivel de laboratorio.
- Ensamblar la unidad previamente definida para su correcto funcionamiento en el laboratorio.

4. DELIMITACION.

4.1. Tiempo:

El tiempo destinado para la ejecución de este proyecto fue en total de once meses, los cuales se dividieron de la siguiente manera: los primeros cuatro meses se llevó a cabo la elaboración del anteproyecto, y los siguientes siete meses se usaron para la construcción y puesta en marcha de las diferentes unidades de tratamiento de la unidad a nivel de laboratorio así como los componentes eléctricos que componen la planta de energía fotovoltaica, además de los ensayos de laboratorio realizados en esta investigación.

4.2. Alcance:

Con la realización de este proyecto se pretende dejar un equipo que pueda ser usado como herramienta académica y que aporte en el proceso de formación de cada uno de los estudiantes de las facultades de ingeniería civil e ingeniería ambiental en el fortalecimiento de conceptos como el funcionamiento de los procesos de tratamiento presentes en una PTAP (aireación ,sedimentación, coagulación, floculación, filtración y desinfección, los tipos de partículas presentes, determinación de la dosificación del coagulante necesario para el proceso, materiales filtrantes, aprendidos en la asignatura de tratamiento de aguas.

Este proyecto, al tener fines académicos, se basa en la experimentación, selección y adaptación de las dimensiones de las diferentes unidades que componen el proceso de tratamiento, así como la elección del material para ser construida, esto basado en la previa revisión de textos, artículos científicos e investigaciones acerca de la construcción de plantas de tratamiento a nivel de laboratorio; para de esta manera, tener un punto de referencia y poder adaptarlas a las limitaciones de

espacio para poder ser ubicada en las instalaciones del laboratorio de aguas de la facultad de ingeniería ambiental de la Universidad Santo tomas seccional Tunja.

4.3. Limitaciones:

- Disponibilidad de tiempo y materiales en el laboratorio, para la realización de los diferentes ensayos.
- Presupuesto disponible para la realización del proyecto.
- Disponibilidad en el desplazamiento hacia el punto de muestreo seleccionado “Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) Teatinos “.
- Disponibilidad en el mercado de los diferentes componentes eléctricos necesarios para el funcionamiento de la planta de energía fotovoltaica (paneles solares, controlador, inversor, conexiones y cableado).
- Este proyecto se vio afectado debido a la situación actual que presenta el país por la presencia del covid-19 y las medidas tomadas por las diferentes entidades estatales con referencia al aislamiento obligatorio, ya que la universidad se encuentra cerrada y no es posible acceder al laboratorio para la realización de diferentes pruebas y caracterización de parámetros del agua que fueron contemplados para la realización de esta investigación. Por lo explicado anteriormente, para la puesta en marcha de la unidad solo fue posible abordar parámetros de turbidez; esto no influye de ninguna manera importante en el proyecto, es más un incentivo para desarrollar una segunda fase del mismo.

5. MARCO REFERENCIAL

A continuación, se realiza la revisión bibliográfica de textos y trabajos investigativos en los cuales se evidencie las alternativas de plantas de tratamiento de agua potable a nivel de laboratorio construidas, además de estudios en los cuales utilicen la energía solar en aspectos relacionados con plantas de tratamiento ya sea en sus diferentes procesos o en infraestructura.

La revisión bibliografía en este proceso de investigación nos aporta de gran manera en el proyecto pues a partir de ella se seleccionan las dimensiones de los procesos de tratamiento que componen la unidad de laboratorio y materiales para la construcción de la misma en esta primera fase de investigación.

5.1. Plantas de tratamiento a nivel de Laboratorio:

Opazo, Ahumada (2009) en su estudio diseño e implementación de una planta piloto con fines docentes, en la cual, con la intención de ayudar en el proceso académico de los estudiantes de la universidad de Chile, expone el diseño, construcción y puesta en marcha de una planta piloto para el laboratorio de esa institución académica, una vez realizada la planta el autor expone la importancia que tiene este tipo de equipos en la formación de los estudiantes. Pues es utilizada para la realización de experiencias guiadas por los docentes de las áreas de hidráulica y también como investigaciones propias de los estudiantes.

Romero (2000), en su libro “potabilización de agua” en el cual expone algunos conceptos que abarcan todo lo relacionado con el tratamiento de agua potable, expone los tipos de plantas de tratamiento que existen y que procesos se llevan a cabo dentro de estas, abarca el estudio de diferentes características presentes en el agua y que importancia presentan en el proceso de tratamiento, además de eso en su libro el autor presenta y realiza diferentes tipos y ejemplos de

diseño de procesos de tratamiento que conforman una planta de tratamiento, así como sus dimensiones , los pros y contra de estos diseños de unidades.

Espinosa, Martinez (2011) realizaron una investigacion en la cual propusieron el diseño de una planta móvil de potabilizacion de agua, la cual pueda ser utilizada en situaciones de desastre, esto por las condiciones de tamaño que presenta pues esta albergada en un contenedor de pequeño tamaño ademas cuenta con una fuente de generacion de energia propia para su funcionamiento, el cual fue evaluado con muestras provenientes de ríos cercanos a la provincia Del Guayas en ecuador , con los resultados obtenidos despues de realizar el tratamiento con la planta diseñada, se evidencia que la planta diseñada y construida funciona y cumple los parámetros de calidad establecidos por la norma ademas de permitir su funcionamiento en lapsos de tiempo de 24h para abastecer de agua a 300 familias.

Ruiz (2017), construyo el prototipo de una celda de electrocoagulación abastecida con energía fotovoltaica para tratamiento de aguas residuales en la industria minera en el Departamento de Cundinamarca, en el municipio de Cucunubá, el estudio fue llevado a cabo debido a que la base económica del municipio se sustenta en esta industria. El proyecto permitió evaluar la calidad del agua frente a los diferentes parámetros fisicoquímicos establecidos por la norma colombiana, utilizando el prototipo y el método de electrocoagulación con el cual fue posible evidenciar cambios significativos en la dureza, demanda de oxígeno (DQO) y turbiedad, mejorando la calidad del agua y permitiendo la reutilización de esta para actividades alternas como la agricultura.

Además, la utilización de la energía solar hace al prototipo autosuficiente a largo plazo permitiendo el aprovechamiento de estas energías limpias en el sector industrial. Con la realización de este proyecto se evidencian las ventajas que representaría para Colombia la utilización de la energía solar, puesto que por su ubicación geográfica, puede aprovechar en todos los meses del año hasta el 84% de los rayos del sol para su funcionamiento y aunque es un sector poco desarrollado, los

sistemas fotovoltaicos contribuyen al medio ambiente al no generar ningún residuo contaminante y además proveen energía limpia y autosustentable a lo largo de los años con un bajo costo de mantenimiento y una baja mano de obra para su cuidado.

Hernández, Corredor (2017), diseñaron una planta de tratamiento de agua potable a nivel de laboratorio para la universidad católica de Bogotá, estudiando y evaluando los diferentes materiales que serían utilizados en el proyecto, teniendo en cuenta aspectos como: precio, durabilidad, manejo para que el prototipo tuviera la mayor precisión y vida útil, así como resistencia mecánica y seguridad de las personas a cargo. Una vez diseñado, construido e instalado en el laboratorio, se realizaron una serie de pruebas al modelo para determinar las diferentes mejoras para lograr una eficiencia del 80% en la potabilización del agua. Esto evidencia la importancia de fomentar la creación de estos equipos en las diferentes universidades, para que los estudiantes identifiquen y estudien los diferentes procesos de tratamiento de agua cruda, potenciando de esta manera los conocimientos adquiridos en las aulas de clase.

Cárdenas, Medina (2017) En esta investigación los autores presentan el procedimiento que realizaron para el diseño y la construcción de una planta de tratamiento de agua potable a escala para el laboratorio de hidráulica de la universidad Santo Tomás sede Bogotá, una planta que simula las condiciones y los procesos realizados en una planta de tratamiento de agua potable real, los autores basaron su diseño en distintos parámetros establecidos por la normativa colombiana y por entidades internacionales, una vez realizado el diseño de las diferentes unidades desarrolladas en esta investigación se procede a la construcción y realización de pruebas para determinar la eficiencia presentada por la unidad construida, esto a partir de datos de muestras tomadas al final del tratamiento de la planta a nivel de laboratorio y datos sacados de un punto de agua ubicado en el laboratorio de la universidad, con los resultados obtenidos permitieron medir la eficiencia de la

planta presentando un 88% así como analizar al detalle fenómenos que ocurren en cada una de las etapas del tratamiento.

Parrado (2017), estudió la implementación de una planta a escala para el tratamiento de agua potable con fines académicos en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Piloto de Colombia. Este estudio tuvo como principal objetivo el potenciar los conocimientos de la comunidad académica por medio de la práctica. Por tanto, se diseñó y construyó una planta a escala de laboratorio que contemplara los diferentes procesos para el tratamiento del agua potable, como lo son: coagulación, floculación, sedimentación y filtración, estableciendo la realización de pruebas que determinaran si los resultados logrados con la utilización del prototipo eran significativos para su utilización por parte de los estudiantes.

Ademas de los diferentes proyectos investigados anteriormente se presentan los modelos existentes en las diferentes Entidades del Estado, como por ejemplo la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá. En este sentido, la planta de tratamiento “El Dorado” ubicada al sur de Bogotá cuenta en sus instalaciones con una planta piloto con una escala de 1 a 8 de la planta real. Por otro lado, las empresas públicas de Medellín cuentan con diversos modelos a escala de plantas de tratamiento de agua potable y aguas residuales.

5.2. Energía solar y sus diferentes usos en plantas de tratamiento de agua potable:

En Cuba, los autores Sarmiento, Gómez, Guerra, Toledano, Gonzales & Rodríguez (2003), estudiaron la aplicación de la energía solar y la luz ultravioleta en la potabilización del agua en escuelas primarias. En este estudio en primera instancia, se realizó una caracterización energética en la cual era posible observar en qué posición y en qué ángulo de inclinación tendrían que estar ubicados los paneles solares para obtener la mayor captación de rayos solares en las diferentes estaciones climáticas, considerando que estos estuviesen fijos en una sola posición durante todo el

año; esto considerando que Cuba por su ubicación geográfica en los meses de invierno no tendría una buena captación de los rayos solares para generar la energía que necesitan estos procesos de desinfección con luz ultravioleta. A partir de los resultados de lo estudiado durante esta caracterización energética teórica, procedieron a realizar la fase experimental, evaluando las facilidades energéticas para estimar el comportamiento de estas al ser aplicadas en los distintos colegios. Como dato clave en esta investigación, un factor importante que se debe tener en cuenta es la elección de la lámpara de luz ultravioleta y la estimación de energía que esta requeriría para ser utilizada.

Después de determinar todos estos aspectos para la realización del proyecto, los autores evidenciaron que la desinfección del agua con la aplicación de este método propuesto posee un conjunto de ventajas con respecto a otros métodos aplicados en regiones que están alejadas de redes de abastecimiento de agua que utilizan la cloración como método fundamental. El sistema anteriormente referenciado ofrece ventajas en el aprovechamiento de las instalaciones fotovoltaicas que poseen las diferentes instituciones educativas rurales para la desinfección del agua, además de la obtención de valores favorables los cuales indican la factibilidad de la aplicación de este método a mediana escala en zonas rurales. De igual manera, es necesario evaluar la posibilidad de encontrar un método más preciso para la captación de los rayos solares y un mayor aprovechamiento de estos.

García, Sepúlveda Ferreira (2017), elaboraron un estudio sobre la viabilidad técnica y económica de un sistema fotovoltaico en una planta de tratamiento de aguas en la ciudad de Cúcuta, en el Departamento de Norte de Santander, se enfocaron en evaluar la posibilidad de optimizar el circuito de iluminación de la planta, y analizaron de igual manera las dimensiones y consumos viables del nuevo sistema incorporando luces LED. Para evidenciar las características de diámetro y consumo de dicho circuito, utilizaron la herramienta PVsyst, la cual sirve para modelar el comportamiento de instalaciones fotovoltaicas, permitiendo el estudio, simulación y análisis. Además, esto resulta de

gran importancia puesto que permite dimensionar los sistemas teniendo en cuenta la radiación solar que podría recibir; sin depender de su ubicación, gracias a que la aplicación posee una base de datos meteorológicos y una proyección del movimiento del sol durante el día.

A continuación, teniendo en cuenta los datos de sus posibles dimensiones, su inclinación, estimación de número y el voltaje de las baterías que serían necesarias para el funcionamiento del panel, procedieron a realizar la evaluación financiera, llegando a la conclusión de que la implementación de este sistema podría ahorrar más de la mitad del coste de energía que se consume en un año. Por otro lado, es importante resaltar que la inversión inicial es alta y que la utilidad empezaría a verse a mediano plazo. Sin embargo, se debe tener certeza de que los datos de radiación sean reales para la dimensión del sistema, pues si estos no lo son, se estaría utilizando un sistema fotovoltaico que no estaría acorde con los requisitos de energía necesarios para hacer posible su funcionamiento.

Rodríguez, et al (2010), en su estudio sobre la tecnología solar aplicada a la purificación del agua, realizaron la evaluación de procesos como la desinfección y descontaminación de agua utilizando energía solar, en estos se analizó la eficiencia y estabilidad de los fotocatalizadores utilizados para estos procesos con presencia de un flujo bajo de agua.

Después de la realización de veinte pruebas a diferentes tipos de agua utilizadas en los diversos procesos industriales, estas pruebas de laboratorio revelaron que el uso de energía solar en estos dos procesos es viable técnicamente, pues se evidencio una reducción de población bacteriana, además de un aumento en la eficiencia al realizar el tratamiento en cuanto al consumo de energía y al tiempo de uso.

Por tanto, los autores proponen estos métodos de tratamiento como viables, en el entendido que la energía solar es una energía limpia, gratuita y que está presente en todas partes y el aprovechamiento

de esta podría ser de gran ayuda tanto para disminuir el problema de escasez de agua como de la crisis energética que presenta el planeta.

6. MARCO TEORICO

Una planta de tratamiento de agua potable es la reunión de una serie de estructuras con el objetivo de tratar el agua y remover todas las características no deseadas presentes en ella, con el objetivo de mejorar la calidad del agua para que sea apta para el consumo humano.

6.1. Tipos de Plantas de Tratamiento

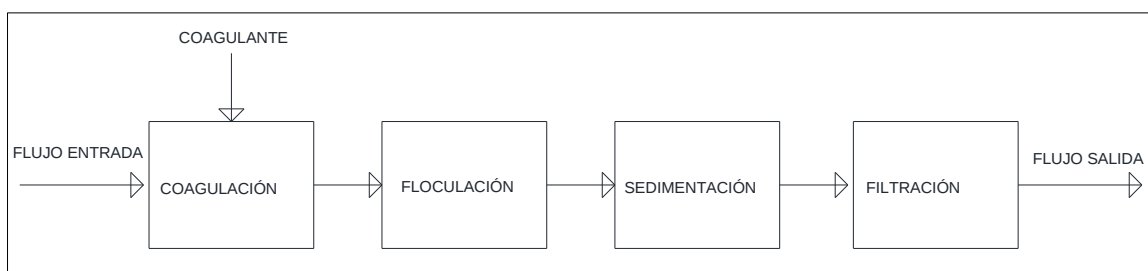
La calidad del agua cruda varia de gran manera dependiendo de la fuente de donde provenga, esta contiene características físicas, químicas y biológicas diferentes, es por esto que se debe identificar qué tipo de planta de tratamiento es la más eficiente para realizar el tratamiento. Según Romero (2000) en su texto purificación del agua en el cual describió los siguientes tipos de plantas de tratamiento.

6.1.1. Planta convencional:

En la cual se cuenta con los siguientes procesos de tratamiento:

Imagen 1.

Planta convencional. Romero (2000).



Nota: Procesos de Tratamiento Presentes en una Planta Convencional adaptado de Purificación del Agua, 3 Ed (Romero 2000).

Las plantas de tratamiento de agua convencionales son utilizadas cuando la turbidez del agua presenta un alto valor, esto se puede evidenciar en su color, en este proceso el agua se somete a la

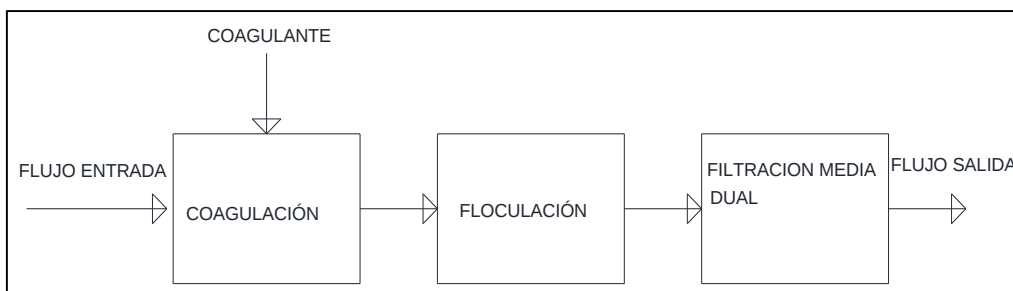
coagulación, floculación, sedimentación y la filtración para la remoción de todas aquellas partículas que no fueron retenidas en el proceso del sedimentador, y también para la contención de todos aquellos microorganismos patógenos que puedan afectar a la salud humana.

6.1.2. Planta de filtración rápida

Este tipo de plantas cuentan con procesos como la coagulación , floculación y filtración , son utilizadas en procesos de tratamiento en el cual el agua a tratar presenta moderados porcentajes de turbidez menores a 8 UNT Y 30 UC Según Ras-2000 TITULO C , utilizada comúnmente para tratar agua que provenga de una presa o embalse , se trata con filtración directa considerando que cuerpos de agua tan extensos sedimentarían en su proceso de flujo un gran porcentaje de partículas antes de que el agua presente algún tratamiento.

Imagen 2.

Planta filtración rápida.



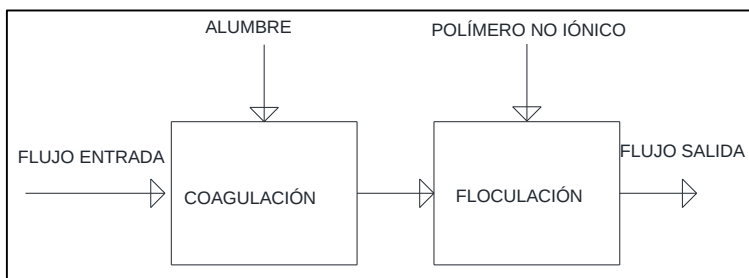
Nota: Procesos de Tratamiento Presentes en una Planta Filtración Rápida adaptado de Purificación del Agua, 3 Ed (Romero 2000).

6.1.3. Planta de filtración en línea:

Este tipo de plantas cuentan con procesos como coagulación y filtración, son utilizadas cuando se presenta un porcentaje muy bajo de turbiedad y su coloración es muy cercana a el agua cristalina.

Imagen 3.

Planta filtración en línea.



Nota: Procesos de Tratamiento Presentes en una Planta Filtración en Línea adaptado de Purificación del Agua, 3 Ed (Romero 2000).

6.2. Tipos de flujo del agua:

Sotelo (2002) en su libro hidráulica de canales afirma que el flujo en un canal se produce principalmente por la acción de la fuerza de gravedad, de la misma manera expone que el movimiento de un líquido en una superficie libre es afectado por las mismas fuerzas que intervienen en un flujo dentro de un tubo como:

- Fuerzas de resistencia ocasionadas por las paredes que la contienen y la fricción de la naturaleza del flujo.
- La fuerza producida por la presión que se ejerce sobre las fronteras del canal especialmente en las zonas donde su geometría es cambiante,
- La fuerza por la viscosidad del líquido que es de poca importancia si el flujo del canal es turbulento.
- La fuerza de tensión superficial
- Las fuerzas ocasionales debidas al movimiento de sedimentos arrastrados.

Los canales pueden ser de naturales o artificiales, los naturales como los ríos, arroyos quebradas y demás, y los artificiales son aquellos creados por el hombre. En cuanto a su geometría es necesario tener en cuenta los conceptos de pendiente (S), el cual se define como la inclinación del canal con respecto a la horizontal. De igual manera la sección transversal de un canal se refiere a la sección perpendicular a la dirección del flujo de agua. Es importante tener en cuenta los conceptos anteriormente mencionados puesto que el diseño de la planta se regirá bajo estas condiciones de conducción hidráulica.

El movimiento del agua en un canal se rige principalmente por la acción de fuerzas de viscosidad y de gravedad, en relación con las fuerzas de viscosidad el flujo se puede denominar como laminar o turbulento, determinándose así con el número de Reynolds que se define como.

(Ecuacion 1)

$$Re = \frac{V \cdot Rh}{\nu}$$

Donde:

Re= Numero de Reynolds

V=velocidad media en la sección m/s

Rh=D/4=Radio hidráulico m

ν = Viscosidad cinemática del agua en m/s²

6.2.1.Según la velocidad de flujo:

- Flujo laminar:

El movimiento del fluido es uniforme, sigue trayectorias regulares y definidas, es perfectamente ordenado, estratificado, el fluido se mueve en láminas paralelas definidas sin mezclarse.

(Ecuacion 2)

$$Re \leq 500$$

- Flujo turbulento:

El movimiento del fluido se da de forma caótica, las partículas se mueven de forma desordenada, formando pequeños remolinos.

(Ecuacion 3)

$$Re \geq 12.500$$

6.2.2. Según la velocidad con respecto al tiempo:

Además, de eso podemos clasificar los flujos teniendo en cuenta como criterio principal el tiempo como lo son:

- Flujo permanente

Se considera permanente si tanto la velocidad como la profundidad del flujo no cambia es decir es constante en un indefinido intervalo de tiempo.

- Flujo no permanente:

Se considera no permanente si el caudal o tirante del flujo no permanecen constantes en un intervalo de tiempo indefinido.

6.2.3. Según la dirección:

Se pueden clasificar teniendo como criterio principal el espacio como lo son:

- Flujo uniforme:

Ocurre cuando la velocidad, la profundidad y el área mojada en todos los puntos del canal es igual no cambia ni su magnitud, ni su dirección.

- Flujo variado

Ocurre cuando la velocidad, la profundidad y el área mojada varía gradualmente a lo largo del canal.

6.3. Características de agua potable:

El agua que es un recurso de vital importancia para los humanos como para la vida en general, por ello se ha visto la necesidad de inventar, utilizar diversos sistemas con el objetivo de tratar el agua para su distribución dejándola libre de organismos o patógenos que puedan afectar de alguna forma la vida del ser humano, para la ingeniería civil se torna como uno de los grandes problemas puesto que el agua cruda a tratar sus características físicas y químicas dependen fundamentalmente de la fuente de donde proviene, de la misma forma su tratamiento varía dependiendo de esas características , es por esta razón que para realizar un efectivo y correcto tratamiento se debe conocer las diferentes características que el agua posee para su tratamiento como lo son:

6.3.1. Características físicas:

Las características físicas son llamadas así porque pueden notarse por medio de los sentidos como lo son la vista, el olfato, Etc., e inciden directamente sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del agua.

- Turbidez:

Ramos, Paredes (2015) afirman que la turbidez es originada por las partículas que están en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra, etc.). es decir, aquellas partículas que por su tamaño se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua, es decir que la cantidad de sólidos en suspensión será directamente proporcional al valor de turbidez que presente el agua, una gran

cantidad de sólidos suspendidos le darán al agua una coloración oscura, la medición de la turbiedad se realiza mediante un turbidímetro, las unidades utilizadas son unidades nefelométricas de turbiedad (UNT), para el tratamiento de agua la remoción de la turbiedad no es un proceso complejo, sin embargo es un proceso costoso por que requiere la utilización de coagulantes,.

- Temperatura:

Dependerá de factores medioambientales y del valor de turbidez, puesto que un gran valor de turbidez no permitirá una buena absorción de calor teniendo en cuenta que a menor temperatura mejor disolución de oxígeno en el agua. La temperatura del agua tendrá gran incidencia para la reacción de los diferentes tipos de organismos presente en el agua, así como de la facilidad para el proceso de desinfección. Cárdenas (2000)

- Olor y sabor:

El olor y sabor del agua dependerá fundamentalmente de los componentes presentes en el agua y de su fuente de origen.

- Color:

Esta característica está ligada a la turbiedad o puede presentarse por factores diferentes a ella, el color natural del agua puede variar cuando ocurren procesos de descomposición de materia dentro de ella, materia orgánica del suelo presente en ella, y la presencia de metales.

6.3.2. Características químicas del agua:

- pH:

El Potencial de hidrogeno (pH), determina la acidez o alcalinidad del líquido, determina la concentración de iones de hidrogeno presentes en el agua, no se evidencia que agua con altos niveles de pH podría traer efectos para la salud de las personas, pero si ejerce efectos sobre el tratamiento, ya que es importante equilibrar el pH al momento del tratamiento para hacerlo más fácil y economico.

Por lo general aguas naturales (no contaminadas) presentan valores de pH en el rango de 5 a 9.

Cortes, Mora (2015) El Ph Influye de manera significativa en el proceso de coagulación porque afecta el tiempo requerido para la formación de floc y la carga sobre las partículas coloidales.

El pH es altamente importante para la vida de los organismos, ya que presentar altos o muy bajos valores de pH permite a estos organismos tener un medio desfavorable, ademas de eso cada desinfectante tiene un rango de pH para una mayor efectividad, es por esto que en valores de alcalinidad más altas se requiere un mayor porcentaje de dosis de desinfectante para una misma temperatura y tiempo de contacto. Barrenechea (2010).

- Dureza:

Esta tiene relación con los valores de pH y alcalinidad presentes en el agua, se define como la cantidad equivalente de carbonato de calcio. La remoción de la dureza en el tratamiento del agua se lleva a cabo mediante la utilización de cal-carbonato, conocido como ablandamiento cal-soda.

Según el Ras-2000 título C, el agua debe tener valores de dureza entre 40mg/L y 60mg/L de equivalente de carbonato de calcio (CaCO_3). La dureza del agua determina la conveniencia de uso, puede ser para uso doméstico, industrial, agrícola, para el consumo humano se considera el agua blanda o dura igual de satisfactoria.

- Oxígeno disuelto:

Barrenechea (2004) afirma que su presencia proviene fundamentalmente del aire y es fundamental en el agua. Puesto que bajos niveles de oxígeno pueden indicar contaminación elevada y actividad bacteriana elevada, la presencia de oxígeno disuelto en el agua depende en gran medida de la temperatura, presión y mineralización del agua.

- Cloro residual:

Aquella porción que queda en el agua después de realizar un periodo de contacto con sustancias químicas como el cloro este comúnmente utilizado en el proceso desinfección del agua. Debe quedar un efecto residual en el agua de manera que se tenga una protección en el transporte desde la potabilización hasta el consumo, a través de las redes de distribución y red hidráulica de las viviendas, esto con el fin de evitar que en este proceso el agua pueda ser recontaminada o los microorganismos presentes en ella se reproduzcan.

- Nitritos y nitratos:

Vargas (2004) El nitrógeno es un nutriente de vital importancia para el desarrollo de los seres vivos, por lo general en el agua se le encuentra formando amoníaco, nitritos y nitratos, su presencia en el agua indica procesos biológicos activos en el agua, los nitritos en concentraciones elevadas reaccionan en el organismo llegando a crear problemas en el transporte de oxígeno en el cuerpo.

6.3.3. Características microbiológicas del agua:

- Escherichia coli:

Según el decreto 1575 resolución 2115 de 2007 “la Escherichia coli es un bacilo Gram negativo no esporulado que se caracteriza por tener enzimas específicas como la B galactosidasa y B

glucoronidasa” es un indicativo claro de contaminación fecal en el agua que puede traer complicaciones médicas a la población que consuma agua que contenga estas bacterias.

- Coliformes totales:

Estas bacterias se encuentran en la totalidad de la naturaleza, es por eso que los Coliformes totales la componen aquellas bacterias que no provienen de las heces. Pero que igualmente indican contaminación en el agua.

- Coliformes fecales:

El termino Coliformes fecales se considera como un indicador de contaminación en el agua destinada para el consumo humano, su origen es principalmente fecal, su ausencia en el agua la hace bacteriológicamente segura.

- Mesófilos:

Bacteria que descompone la materia orgánica, este proceso sucede en temperaturas entre 30y 40 grados centígrados, el agua es utilizada como medio de eliminación de desechos en la cual puede albergar microorganismos patógenos no intestinales.

6.4. Procesos de tratamiento de agua potable:

El agua por ser captada de diferentes fuentes presenta propiedades físicas y químicas diferentes, que en mayor o menor medida pueden traer afectaciones al ser humano por ser consumida así, de esta manera se requiere que el agua pase por diferentes procesos de tratamiento para garantizar la calidad del agua, para la siguiente distribución a las personas.

6.4.1. Aireación:

Se entiende como aireación al proceso por el cual el aire es sometido a un contacto con el agua con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles que se puedan encontrar en ella, Romero (2000) menciona las funciones más importantes de la aireación como lo son:

- Transferir oxígeno al agua para aumentar el OD
- Remoción de compuestos orgánicos volátiles
- Reducir la concentración de CO₂
- La remoción de gases (metano, cloro y amoníaco)
- Remover las sustancias volátiles productoras de olores y sabores.

Para el tratamiento de aguas la aireación es el proceso en el cual se transfiere oxígeno al agua, de la misma manera se convierte en uno de los procesos de tratamiento que demanda de una gran cantidad de energía, porque requiere la utilización de equipos como lo son, equipos de turbina, aireadores mecánicos y equipos de aireación difusa.

6.4.2. Coagulación:

Aguilar et al (2002) define la coagulación como el proceso mediante el cual se remueven todas aquellas partículas suspendidas que contiene el agua por medio de una desestabilización de las partículas, producida por la acción de sustancias químicas llamadas coagulantes para permitir la formación de partículas de mayor tamaño y densidad. Esta remoción se realiza en unidades y tanques de mezcla rápida, los cuales por su movimiento agitan el agua para formar una mezcla homogénea entre el agua y los coagulantes en el menor lapso de tiempo posible. Restrepo (2009) afirma que este proceso se usa para:

- La remoción de la turbiedad del agua.
- Eliminación de bacterias y microorganismos.
- Eliminación de sustancias que puedan cambiar de sabor y olor el agua.
- Carga eléctrica y doble capa:

Las partículas coloidales, son las causantes de la turbiedad y del color, estas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situando sobre su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos del agua, estos iones que se adhieren a la partícula y se desplazan con ella, forman la capa adherida y comprimida, mientras que los iones que se adhieren débilmente constituyen la capa difusa, es por esto que existe un gradiente o potencial electrostático entre la superficie de la partícula y la solución, llamado potencial Zeta.

Para la evaluación y correcto funcionamiento de este proceso es necesario tener certeza de las características físicas y químicas del agua, puesto que son de vital importancia para determinar la dosis correcta de coagulante y de la misma manera el tiempo de mezcla necesario para un correcto tratamiento.

Los coagulantes que se utilizan para el tratamiento de agua potable son los siguientes:

- Sales de aluminio:

Sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, el alumbre $14\text{H}_2\text{O}$, estas sustancias son capaces de formar un floc ligeramente pesado, se usan comúnmente porque tienen bajo costo y un manejo en planta sencillo.

- Sales de hierro:

Es utilizado el cloruro férrico $FeCl_3$ y los sulfatos de hierro férrico y ferroso, $Fe(SO_4)_3$ Y $FeSO_4$, los cuales al momento de su uso forman un floc mucho más pesado y presentan una mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio.

- Polímeros o polielectrolitos:

Las concentraciones de estos elementos se realizan en porcentajes muy bajos ya que no se consideran coagulantes sino ayudantes de coagulación, son ampliamente usados puesto que al ser empleados en el tratamiento de agua reduce en gran número la cantidad de lodos.

Teniendo en cuenta lo estipulado en el Ras 2000-en la ficha técnica C.C.2, donde se indican los parámetros de diseño para mezcladores mecánicos en el proceso de coagulación.

- Tiempo de detención (T_d) menor de 60 seg.
- Gradiente medio de velocidad entre $500\ S^{-1}$ y $2000\ S^{-1}$

6.4.3.Floculación:

El fenómeno de floculación ocurre cuando las partículas se acumulan unas con otras incrementando su tamaño y su densidad, este fenómeno se produce por la acción de fuerzas físicas y químicas.

Además de eso, es importante tener en cuenta los valores de las propiedades presentes en el agua como lo son la temperatura, el pH puesto que estas características nos darán un indicio del comportamiento del agua en este proceso de tratamiento, el cual se lleva a cabo en un tanque o unidad en el cual el agua es mezclada suavemente por algún mecanismo sea hidráulico o mecánico en un

determinado tiempo. Este tiempo y la concentración optima de coagulante será determinada por la prueba de jarras.

- **Floculadores mecánicos:**

En este tipo de Floculadores se utiliza cualquier mecanismo que pueda generar un movimiento en el agua para garantizar una mezcla homogénea entre el agua y coagulante, generalmente son usadas paletas de eje horizontal o vertical que generan un movimiento de rotación bajo el agua generando así una turbulencia dentro de ella.

Según el Ras-2000 título C donde se especifican los parámetros de diseño de Floculadores hidráulicos donde gradiente de velocidad debe estar entre 20 s^{-1} y 70 s^{-1} y el tiempo de detención entre 20 y 30 min.

- **Floculadores hidráulicos:**

Los Floculadores hidráulicos consisten en tanques que poseen pantallas entre las cuales el agua fluye a una determinada velocidad, produciendo pequeños movimientos en el agua entre los cambios de dirección para generar turbulencia en ella, pueden ser de flujo vertical o de flujo horizontal.

Según el Ras-2000 título C donde se especifican los parámetros de diseño de Floculadores hidráulicos donde gradiente de velocidad debe estar entre 15 s^{-1} y 75 s^{-1} y el tiempo de detención entre 20 y 40 min.

6.4.4.Sedimentación:

Según Hernández, Corredor (2017) Es el proceso mediante el cual se remueve el material en suspensión por acción de la gravedad, es decir aquellas partículas que presenten peso específico y densidad mayores que el líquido serán depositadas en el fondo del sedimentador para luego ser

extraídas posteriormente, entre mayor sea el peso y la densidad de la partícula el tiempo que tarde en depositarse será menor.

Castrillón, Giraldo (2012) la sedimentación es un proceso totalmente físico, y se ve relacionada en gran forma con las propiedades de caída de las partículas que posee el agua, cuando se produce sedimentación el resultado final será un fluido clarificado y una suspensión más concentrada, las partículas se sedimentan de manera diferente, esta depende de la característica de la partícula como de su concentración estas pueden presentarse de distinta forma, sedimentación por partículas floculantes, sedimentación de partículas discretas y sedimentación de partículas por caída libre.

- Sedimentación por partículas discretas:

Manrique, Gómez (2016) Se llaman partículas discretas a aquellas que no cambian sus características como forma tamaño y densidad durante la caída. Es un tipo de sedimentación libre, sin interferencias, en función solamente de las propiedades del fluido y de la partícula. Cuando la partícula discreta está en un fluido en reposo se mueve verticalmente por la acción de la fuerza de gravedad, así mismo actuarán sobre la partícula una fuerza vertical hacia abajo igual al peso W de la partícula en el agua y otra fuerza vertical hacia arriba o fuerza de arrastre por la fricción.

- Sedimentación por partículas floculantes.

Maldonado (2004) Se consideran partículas floculantes aquellas producidas por la aglomeración de partículas coloidales que ya fueron desestabilizadas con la aplicación de agentes químicos, a diferencia de las partículas discretas las características de las partículas floculantes cambian durante la caída. Las partículas aglomeradas pierden su velocidad individual de sedimentación, y se sedimentan con la velocidad de la partícula nueva formada, así mismo el peso

de la partícula W , la fuerza de arrastre F cambia de esta manera las velocidades de asentamiento cambian con el tiempo y la profundidad.

Rincón et al (2014) Afirman que los sedimentadores de alta tasa mejoran la capacidad del sedimentador convencional pues la utilización de placas que son inclinadas respecto a la horizontal subdividen el espacio en compartimientos mejorando el área para decantación y originar el flujo laminar, las placas permiten que los lodos se deslicen por su propio peso para caer a la zona de lodos.

Blanco (2004) Expone las diferencias entre un sedimentador de tasa normal y alta tasa como: el fondo del decantador de tasa alta no es horizontal sino inclinado, la profundidad de, decantador es muy baja (unos pocos centímetros, de manera que es necesario construir un número considerable de placas superpuestas para tratar el agua, el flujo debe ser laminar 80 y 250.

6.4.5.Filtración:

El proceso de filtración es usado para remover las impurezas que pasen los procesos anteriores, este proceso se realiza por la decantación del agua, el agua pasa por sustancias porosas que por sus características puedan remover gran parte de las impurezas que pueda contener el agua, generalmente para este proceso son utilizadas como medio poroso materiales como capas de arena, material granular, la filtración puede realizarse de manera ascendente o descendente. Este proceso se utiliza como único tratamiento cuando las aguas a tratar son muy claras

Cadavid et al (2009) Afirma que el aspecto más importante de un sistema de filtración granular es el medio filtrante, la elección de medio depende del tamaño de la partícula, a menor tamaño producen mayores pérdidas de cabeza hidráulica, mientras que, con tamaños mayores tamaños de partículas menores pérdidas de cabeza, aunque no siendo tan efectivo su proceso de filtración. Todas las

partículas presentes en el sistema de filtración presentan diferentes tamaños es por esto que es necesario tener en cuenta conceptos importantes como tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad, El tamaño efectivo (TE) se expresa como el tamaño en milímetros de las partículas pues un 10% del medio filtrante en peso es más pequeño que ese tamaño, es decir es el tamaño del tamiz que permite el paso del 10% del medio filtrante, de igual manera se define el coeficiente de uniformidad (CU) como la relación del tamaño de granos que tiene un 60 % más fino que el mismo, al tamaño que tiene un 10% más fino que el mismo (Romero 2000).

(Ecuacion 4)

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{\text{Tamaño de partícula del 60\% que pasa}}{\text{Tamaño de partícula del 10\% que pasa}} = \frac{d_{60}}{TE}$$

Sánchez et al (1999) Define la maduración del filtro como la edad de desarrollo microbiológico de la biomembrana y del medio filtrante, ocasionado generalmente por las reducciones de calidad del efluente seleccionado, evaluando periodos de maduración en filtros nuevos en plantas a escala real finalizada la limpieza, reportando periodos de maduración que varían entre 6 horas y 12 semanas.

Romero (2000) muestras los diferentes tipos de mecanismos de remoción en un filtro los cuales son:

Tabla 1

Mecanismos de remoción de un filtro

Mecanismo	Descripción
1) CRIBADO	
a) Mecánico	Partículas más grandes que los poros del medio son retenidos mecánicamente
b) Oportunidad de contacto	Partículas más pequeñas que los poros del medio son retenidas por oportunidad de contacto
2) Sedimentación	Las partículas se sedimentan sobre el medio filtrante, dentro del filtro
3) Impacto inercial	Las partículas se sedimentan sobre el medio filtrante, dentro del filtro

4) Intercepción	Muchas partículas que se mueven a lo largo de una línea de corriente son removidas al entrar en contacto con el medio filtrante
5) Adhesión	las partículas floculantes se adhieren a la superficie del medio filtrante

Nota: mecanismos de remoción de filtro Romero adaptado de purificación del agua 3 Ed Romero (2000).

6.4.6.Desinfección:

La desinfección es el procesado tratamiento mediante el cual el agua se libera de todos aquellos organismos patógenos que pueden tener consecuencias negativas en el cuerpo al ser consumidas. Esta desinfección se realiza mediante la utilización de desinfectantes o químicos, los cuales provocan la destrucción de nutrientes y fuentes de alimentación de los microorganismos. La desinfección con cloro usualmente es la más utilizada por su bajo costo, la cantidad de aplicación de cloro depende del grado de contaminación microbiológica que presente el agua. (Castro 2002).

Barrenechea (2004) La desinfección del agua no es un proceso instantáneo, pues depende de tres factores importantes, el tiempo de contacto, concentración del desinfectante y la temperatura del agua, es por esto que cuando los microorganismos están en condiciones ideales para la perfecta acción del desinfectante adicionado se cumple la ley de chick, la cual nos indica la eficiencia del desinfectante.

Según el Ras-2000 título C se debe construir una gráfica de la dosis aplicada de cloro contra los residuales obtenidos, debe obtenerse la demanda de cloro, además de la diferencia entre la cantidad de cloro aplicado al agua y la cantidad de cloro total remanente al final del periodo de contacto.

Imagen 4
Demanda de Cloro



Nota: Curva Demanda de Cloro Adaptado de Ficha Técnica C.D.1. Ras-2000 Titulo C.

- **Demanda de cloro:**

Pérez (2005) define la demanda de cloro como la diferencia entre la cantidad de cloro agregado al agua y la cantidad de cloro residual, libre o combinado despues de un periodo de detención determinado. Es decir, la cantidad de cloro necesario para llegar al punto mínimo de la curva, denominado punto de ruptura.

6.5. Marco Legal:

El garantizar la calidad del agua para el recurso humano asegurándose que esta está libre de microorganismos o patógenos que de alguna forma puedan causar algún daño en el ser humano es de vital importancia, de igual forma el garantizar una disminución en las enfermedades que se pueden transmitir por el recurso hídrico. en Colombia existen normativas que regulan los parámetros que aseguran la calidad del recurso para el consumo humano, uno de ellos es el decreto 1575 de 2007 en la cual se establece “el sistema para la protección y control de la calidad del agua para el consumo humano”, el cual aplica para todas aquellas personas, empresas que se encarguen de la distribución y prestación de este servicio en todo el territorio nacional.

En el capítulo II del decreto 1575 resolución 2115/2007 el cual menciona las características físico químicas que debe tener el agua para que sea apta para el consumo humano, de igual forma específica los valores máximos permisibles.

Tabla 2.

Características físicas

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	EXPRESADAS COMO	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
Color aparente	Unidades de platino cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades nefelometricas de turbiedad (UNT)	2
pH	Unidades de pH	6.5-9.0

Nota: Valores Máximos Permitidos Para el Consumo Humano Adaptado de Decreto 1575 Resolución 2115 de 2007

Tabla 3.

Características Químicas.

CARACTERÍSTICA QUÍMICAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
Cloro residual	0.3 a 2.0
Carbono Orgánico Total	5.0
Nitritos	0.1
Nitratos	10
Alcalinidad total	200
Cloruros	250
Aluminio	0.2
Dureza total	300
Hierro total	0.3
Manganeso	0.1
Sulfatos	250
Coliformes totales	0 UFC/ 100 cm ³
Coliformes fecales	0 UFC/ 100 cm ³
Mercurio	0.001
Cianuro libre y disociable	0.05

Nota Características Químicas Valores Máximos Permitidos para el Consumo Humano Decreto 1575 Resolución 2115 de 2007

Tabla 4

Características microbiológicas

CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
Coliformes totales	0
Escherichia coli	0
Mesófilos	≤100

Nota: Características Microbiológicas Valores Máximos Permitidos para el Consumo Humano decreto 1575 resolución 2115 de 2007

6.5.1. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico Ras 2000:

En el cual en su sección C del título II, se encuentran las especificaciones del agua cruda para su tratamiento, además de eso se encuentra la descripción de los procesos de tratamiento con su respectiva operación, funcionamiento y mantenimiento, de la misma manera los requerimientos mínimos en cuanto al diseño de las diferentes etapas de tratamiento y las nuevas tecnologías que pueden ser usadas en el tratamiento.

6.6. Energías renovables:

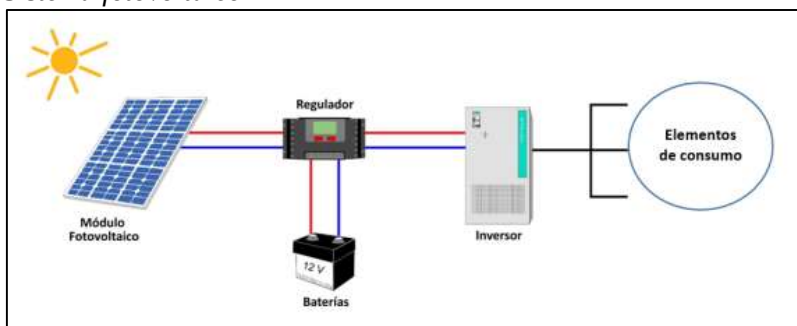
El aumento de la demanda de energía y además de eso la preocupación por el cambio climático ponen en evidencia la necesidad de mejorar o buscar de alguna manera la independencia energética no solo en las plantas de tratamiento de agua sino en todas las estructuras que se diseñan y se construyen a lo largo del tiempo, de esta manera se pone sobre la mesa la utilización de energías renovables o autosustentables como posible alivio para la demanda de energía.

Se denomina energía renovable aquellas fuentes de energía que se producen de forma continua y son inagotables, como lo son la energía solar, la energía eólica, energía hidráulica. El uso de estas energías se limita a la posición geográfica de donde se pretendan utilizar porque dependen de factores climáticos que varían a lo largo del planeta.

6.6.1. Energía fotovoltaica:

El fenómeno fotovoltaico se presenta cuando la luz solar incide sobre la superficie de las celdas solares y es transformada en energía eléctrica. Esta energía es almacenada y conducida hasta un controlador de carga. El controlador cumple la función de enviar toda o parte de esta energía hasta el banco de baterías en donde será almacenada, esta energía almacenada será distribuida a todos los elementos para producir la descarga de las baterías durante la noche o en los días en los que no se presente una buena radiación solar (Castañeda 2015)

Imagen 5.
Sistema fotovoltaico



Nota: Esquema de los Componentes Presentes en un Sistema Solar Fotovoltaico adaptado de “Desarrollo de un Sistema de Generación de Hidrógeno Acoplado al Tratamiento Electroquímico de Aguas Superficiales Utilizando Energía Solar”, Bailón (2013).

Las celdas solares están compuestas en mayor medida por sílice, un metal abundante en la tierra, estas celdas absorben todo el calor producido por el sol, y están conectadas en serie para generar el voltaje deseado.

Esta energía particularmente en Colombia tiene grandes ventajas por su ubicación geográfica, Colombia puede producir utilizando la energía solar alrededor 4,5 kWh/m² diarios. Es una energía limpia que no genera residuos o emisiones durante su funcionamiento, además puede variar su

producción dependiendo la demanda de energía y permite su fácil traslado transporte o instalación.

Ruiz (2017)

6.6.2. Paneles solares o módulos fotovoltaicos:

Los paneles solares son dispositivos que aprovechan los rayos solares para convertirlos en energía, estas unidades captan los rayos solares y pueden convertirla en energía fotovoltaica o energía térmica, en el caso particular los paneles que produce corriente eléctrica cuentan con celdas o también llamadas células que están constituidas por silicio o arseniuro de galio formadas en capas , para sacar el mayor provecho de estas unidades y captar la mayor cantidad de energía estos deben estar en directo contacto con el sol , existen diferentes tipos de paneles solares , como lo son monocristalinos , policristalinos y amorfo.

- **Paneles monocristalinos:**

Los paneles o módulos monocristalinos como su nombre lo indica están compuestas por células monocristalinos estas se diferencian porque presentan un color negro, están formados por células de silicio. Comercialmente presentan el precio más alto, este tipo de paneles presentan unas características muy buenas en condiciones climáticas donde se presente nubosidad alta y generalmente disminuyen su rendimiento ante temperaturas muy altas, además de eso necesitan un mantenimiento más exhaustivo, aunque presentan el rendimiento más alto.

Imagen 6

Panel solar monocristalinos.



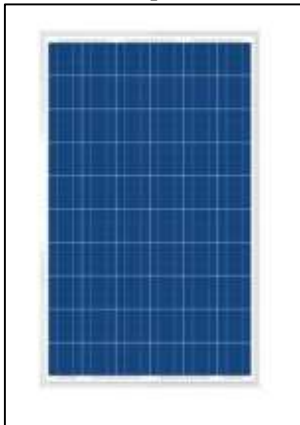
Nota: Panel Solar Monocristalino Adaptado de “Sobre Sunfields” (2020)

- **Paneles policristalinos:**

Este módulo está compuesto por células de silicio policristalino, que se diferencia de los paneles monocristalinos por su color, este tipo de paneles presenta un color azul, es comúnmente usado para sistemas fotovoltaicos de consumos no muy altos, con tensiones bajas, son altamente producidos y comprados en el mercado por su buen desempeño y su bajo coste con respecto a los otros módulos, tiene un fácil manejo e instalación, tienen una mayor resistencia al sobre calentamiento.

Imagen 7.

Panel solar policristalinos



Nota: Panel Solar Policristalino Adaptado de “Soty Solar” (2020)

- **Paneles solares amorfos:**

Este tipo de paneles se diferencia de los demás por su estilo de fabricación, estos módulos para su fabricación las células están reducidas hasta en el 50% del espesor para el ahorro de materias primas, es por esto que este tipo de paneles presentan el más bajo costo de todas las unidades fotovoltaicas, presentan el rendimiento más bajo y son utilizadas en sistemas con inversiones bajas y con consumos mínimos generalmente en zonas con climas altos pues presentan un mayor rendimiento, este tipo de paneles se diferencia visualmente de los otros tipos de paneles pues no presenta un color homogéneo, y las conexiones entre células no son visibles

*Imagen 8.
Panel solar amorfo*



Nota: Panel Solar Amorfo Adaptado de. "Sobre Sunfields" (2020)

6.6.3. Baterías:

El sistema de baterías presente en los sistemas fotovoltaicos tiene como propósito el almacenamiento de la energía eléctrica producida por los paneles solares, este sistema de acumulación se diseña para un determinado tiempo de autonomía que es fijado en el momento del diseño del sistema, los días de autonomía serán aquellos en los cuales se realiza solo la descarga de las baterías, cuentan con dos celdas de electrodos uno positivo y otro negativo. Se encargan de que toda la energía sea aprovechada en las noches o en los días donde se presente nubosidad.

Existen diferentes tipos de baterías usadas en sistemas fotovoltaicas unas de las cuales son:

- Monoblock:

Son baterías comúnmente usadas en pequeñas instalaciones, donde el consumo no es muy alto, donde no se cuente con mucho presupuesto y se busque tener una relación equilibrada entre el precio y la calidad. se usan generalmente en sistemas aislados y en sistemas de telecomunicaciones.

Imagen 9.

Batería monoblock



. Nota: Batería Monoblock Adaptado de “Monsolar” (2020)

- Baterías AGM:

Son baterías comúnmente usadas cuando se necesitan corrientes elevadas en cortos periodos de tiempo. No muy útiles en situaciones donde se presenten consumos diarios y se espere una vida útil muy larga, son ideales en situaciones en las cuales se necesite tener alta intensidad de descarga, no necesitan mantenimiento.

*Imagen 10.
Batería AGM*



Nota: Batería AGM Adaptado de AGM. "Solartex" (2020)

- **Baterías estacionarias:**

Baterías que presentan una vida útil de más de 20 años, perfectas en situaciones donde se necesite consumos diarios por largos periodos de tiempo, permiten ciclos profundos de descarga, durante su uso necesitan mantenimiento mínimo.

*Imagen 11
Batería estacionaria.*



Nota: Batería Estacionaria Adaptado de AGM. "Pro Viento" (2020).

- **Baterías de Litio:**

Son baterías que presentan procesos de carga mucho más rápido en comparación con los demás tipos de batería, además presenta la característica que permite la descarga de la batería en su totalidad, presenta un sistema de gestión de la batería que permite el sistema ininterrumpido de alimentación

autónoma aun en caso de falla, en cuestión de tamaño ocupan menos espacio que las demás baterías y no necesitan mantenimiento continuo, por sus características presentan el valor comercial más elevado.

Imagen 12
Batería de litio



Nota: Batería Litio Adaptado de. “Monsolar.com” (2020)

- **Baterías de gel:**

Presenta un funcionamiento de alta calidad, son usadas en instalaciones que presenten un consumo medio-alto, con periodos largos de consumo donde el mantenimiento sea complicado de realizar, garantizan una larga vida útil y un número elevado de ciclos de carga y descarga, presentan un excelente comportamiento en ambientes con vibraciones, golpes y altas temperatura.

Imagen 13
Batería de gel



Nota: Batería de Gel Adaptado de. “Solartex” (2020)

6.6.4. Controlador:

Tiene como función el regular la intensidad y la tensión producida por los paneles solares a lo largo del sistema hasta llegar a las baterías y de igual forma para la distribución hacia los elementos de consumo, asegurándose siempre de ser la misma para cuidar la vida útil de las baterías y de los diferentes elementos que componen el sistema.

El controlador de un sistema fotovoltaico tiene la función de regular las cargas de energía que entran a las baterías para evitar sobrecargas, es decir en el momento que las baterías están cargadas en su totalidad suspender la entrada de energía, de igual manera controlar la descarga total de las baterías en valores permisibles de descarga determinados por el diseñador del sistema.

6.6.5. Inversor:

Estos equipos tienen la función de transformar toda la energía producida por los paneles solares los cuales proporcionan la energía en forma de corriente continua que llega al inversor el cual transforma toda esa corriente en corriente alterna, esta corriente es la que usan los diferentes elementos que utilizan las personas en su vida cotidiana.

7. METODOLOGIA

A partir de la revisión bibliográfica seleccionada acerca de la construcción de unidades de tratamiento de agua potable a nivel de laboratorio buscando tener un punto de referencia en cuanto a las dimensiones utilizadas y a el material en el cual fueron construidas, para de esta manera ser adaptadas a las necesidades y limitaciones que tiene esta investigación, buscando como producto final la construcción de un tren de procesos de tratamiento de agua potable a nivel de laboratorio que sirva como herramienta académica en la asignatura de tratamiento de aguas y sea abastecida con energía solar.

7.1. Etapa de agua:

Esta etapa comprenderá todos los aspectos relacionados a la construcción y puesta en marcha de procesos de tratamiento que componen la unidad a nivel de laboratorio, así como los componentes hidráulicos (uniones, codos, registros, adaptadores, tubería) que estarán presentes para su correcto funcionamiento:

- Conceptualización de los procesos de tratamiento de agua tradicionales.
- Basada en la revisión bibliográfica previa se realiza la selección de las dimensiones de cada una de las unidades de tratamiento presentes en la planta (aireación, coagulación, floculación, filtración y desinfección).
- Elección de los materiales para la construcción de la unidad.
- Construcción y puesta a punto de la unidad a nivel de laboratorio.
- Verificación del funcionamiento de la unidad.

7.2. Etapa de electricidad:

Verificando que la etapa de agua este correctamente ejecutada, teniendo un funcionamiento hidráulico óptimo, se procederá a iniciar la etapa de electricidad en la cual se llevará a cabo todo lo relacionado con la construcción y puesta en marcha de la planta de energía solar.

- Cálculo de consumo energía necesario para el funcionamiento de los diferentes procesos presentes en la unidad
- Conceptualización de los componentes presentes en una unidad fotovoltaica
- Consulta horas solares pico(HSP) presentes en la ciudad de Tunja.
- Dimensionamiento de los componentes de la unidad (baterías, paneles, controlador, inversor, conexiones).
- Construcción y puesta a punto de la planta eléctrica.

Una vez construidas y verificadas las dos etapas anteriores, se desarrollará la última etapa donde se realizará la puesta en marcha de la unidad de tratamiento con la totalidad de sus componentes. Se llevará a cabo la realización de las pruebas de tratamiento a las diferentes muestras de agua tomadas en la entrada de agua de la planta de tratamiento de agua potable “Teatinos”.

8. UNIDAD DE LABORATORIO.

Para desarrollo de este proyecto se plante la construccion de una unidad de tratamiento de agua potable nivel de laboratorio con fines académicos en la cual se cuenten con diferentes procesos de tratamiento como lo son aireación, sedimentación, coagulación, floculación, filtración y desinfección, que pueda ser usada como herramienta para que los estudiantes tengan un equipo que les brinde la posibilidad de tener un acercamiento físico a los diferentes procesos de tratamiento y potencien con esta experimentación los diferentes conceptos vistos en la asignatura de tratamiento de aguas .

8.1. Determinación del caudal:

El caudal dispuesto para la realización de la unidad de tratamiento se determina tomando como punto de referencia el libro “Wáter Treatment Principles and Design” de James M. Montgomery en el cual el autor presenta algunos rangos de caudales posibles a trabajar en la realización de plantas de tratamiento a nivel de laboratorio.

*Tabla 5 :
Rangos de caudal para plantas piloto*

TAMAÑO	FLUJO APROXIMADO	EJEMPLO DE PRUEBAS PILOTO
Escala completa	> 3,8 ML/d	Efecto de los módulos de contracorriente en el rendimiento de la cuenca, efecto de canaletas de aguas residuales en el rendimiento de lavado a contracorriente
Escala grande	0,38-3,8 ML/d	Prueba de seguridad del proceso, la configuración de contacto de ozono, el régimen de lavado a contracorriente
Escala media	0.63-3,15 L/s	La extracción con aire, el régimen de lavado a contracorriente.
Escala pequeña	0,0063-0,63 L/s	Tasa de filtración , tiempo de contacto, selección del coagulante mediante el ensayo de jarras, la dosis de ozono en comparación con el color, la determinación de la demanda de desinfectante

Nota: Rangos de Caudales A trabajar Para la Construcción De Plantas de Tratamiento de Agua Potable a Nivel de Laboratorio Adaptado de “Wáter Treatment Principles and Design” J Montgomery. (1985).

De acuerdo a los rangos anteriormente mencionados se determina que la planta corresponde a una escala pequeña ya que estará dispuesta en el laboratorio de aguas de la facultad de ingeniería ambiental de la universidad Santo Tomas seccional Tunja y dispondrá un caudal de 0,360L/min que se encuentra en el rango de escala pequeña dada por el autor , este caudal escogido para la unidad de laboratorio al ser una herramienta académica será una guía para que los estudiantes puedan utilizar la planta y realizar simulaciones de tratamiento utilizando como punto de partida este caudal seleccionado.

Esto no quiere decir que el caudal seleccionado anteriormente para ser utilizado en la planta no pueda ser variado, como el objetivo con la construcción de la unidad de laboratorio es permitir que los estudiantes tengan un acercamiento físico al tratamiento y simulen los diferentes procesos , la unidad de laboratorio contara con llaves de paso que permiten aumentar o disminuir el caudal , esto para que los estudiantes puedan realizar distintos ensayos variando el caudal para comprender de qué manera este puede afectar el tratamiento que están realizando.

La construcción de la planta se basó fundamentalmente en ciertos parámetros importantes, como se describirán a continuación:

- La planta de tratamiento estaría ubicada en el laboratorio de aguas de la facultad de ingeniería ambiental de la Universidad Santo Tomas sede Tunja, es por esto que las dimensiones tendrían que estar limitadas al lugar donde quedaría ubicada la planta.
- Las diferentes unidades de tratamiento tendrían la capacidad de funcionar como un único elemento, esto buscando que los módulos de la planta puedan ser modificados por los estudiantes sin alterar de ningún modo la totalidad de la planta.
- Las unidades de tratamiento en su totalidad contarán con registros de paso entre ellas para aumentar o disminuir el caudal si las condiciones de los ensayos a realizar lo requieren.

- La planta de tratamiento como la planta eléctrica tendrán la capacidad de ser transportada por módulos sin ningún problema.
- El modelo diseñado será lo más didáctico posible, esto buscando que los estudiantes puedan interactuar con ella y usen los conocimientos que aprenden en el área de tratamiento de aguas.
- Los diferentes procesos de tratamiento se abastecerán con energía solar, es por esto que se construirá en materiales que no presenten ningún tipo de riesgo para la utilización de la planta por parte de los estudiantes.

Para la construcción de la unidad de tratamiento a nivel académico es necesario realizar la elección de las dimensiones de los diferentes procesos de tratamiento, esta selección está basada en la revisión bibliográfica previamente realizada de los diferentes autores que desarrollaron en sus proyectos plantas de tratamiento a nivel de laboratorio como Cárdenas, Medina (2017), Hernández, Corredor (2017), Parrado(2017), y conceptos contenidos en el texto “potabilización de agua” del autor Jaime Romero Rojas (2000), así mismo de todos los conocimientos recibidos en la asignatura de tratamiento de aguas y la experiencia con la construcción de prototipos similares al desarrollado en esta investigación.

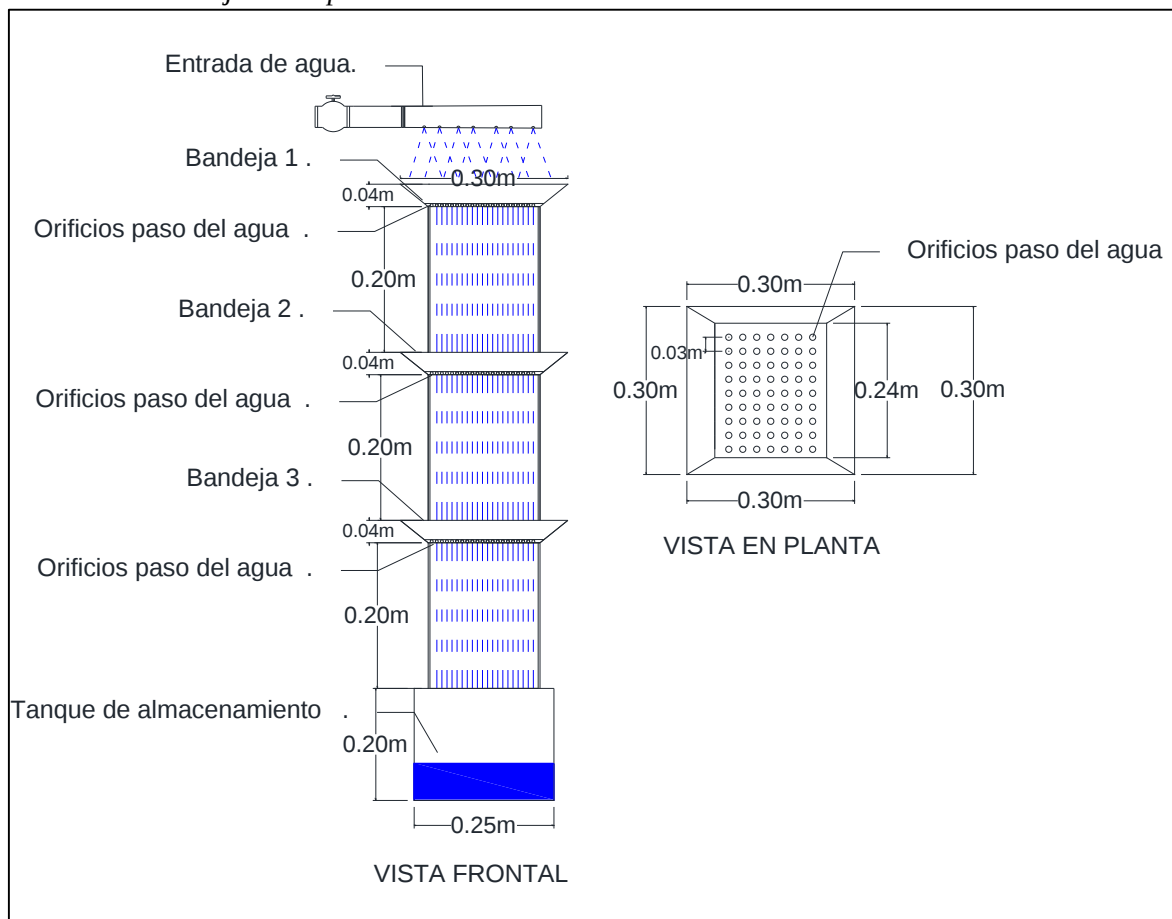
De acuerdo a las condiciones anteriormente mencionadas y buscando el cumplimiento de estos criterios se realiza la elección de las diferentes dimensiones a utilizar para las unidades de tratamiento que componen el prototipo de planta a nivel de laboratorio.

8.2. Aireación:

La unidad de aireación se realizó mediante la evaluación de dos tipos de aireadores contenidos en los textos anteriormente mencionados, un aireador de bandejas múltiples y un sistema de aireador por difusión de aire, la elección del aireador se realiza mediante la comparación de criterios importantes como lo son tamaño, precio y funcionalidad durante el tratamiento.

Para la evaluación de los dos tipos de aireadores seleccionados se realizan los respectivos planos con las dimensiones recomendadas por los autores, como se puede evidenciar en la imagen No 14 donde se encuentran las dimensiones del aireador de bandejas múltiples utilizado en su investigación por Cárdenas , Medina (2017) , este consiste en una serie de bandejas que presentan perforaciones en la parte inferior en los cuales se deja caer el agua hacia un tanque receptor presente en la base, comúnmente se usan de 3 a 5 bandejas, el espaciamiento entre bandejas utilizado por los autores es de 30 cm , adaptándolo para que cumpliera las condiciones de espacio de este proyecto ese distanciamiento se adaptó con una distancia de 20 cm para no alterar de gran forma el diseño presentado y utilizado por los autores , aun realizando esa adaptación de las dimensiones del aireador para las condiciones de esta investigación, evaluando su tamaño presenta una altura de más de 80cm sin contar el soporte, este aireador excede las condiciones de espacio y no cumple los requisitos iniciales que presenta el laboratorio para poder estar dentro de él .

Imagen 14
Aireador de bandejas múltiples.



Nota: Esquema Aireador Bandejas Múltiples Propuesto y Utilizado por Cárdenas, Martínez (2019) adaptado por el autor del proyecto

Imagen 15.

Sistema de Aireación por Difusión de Aire.

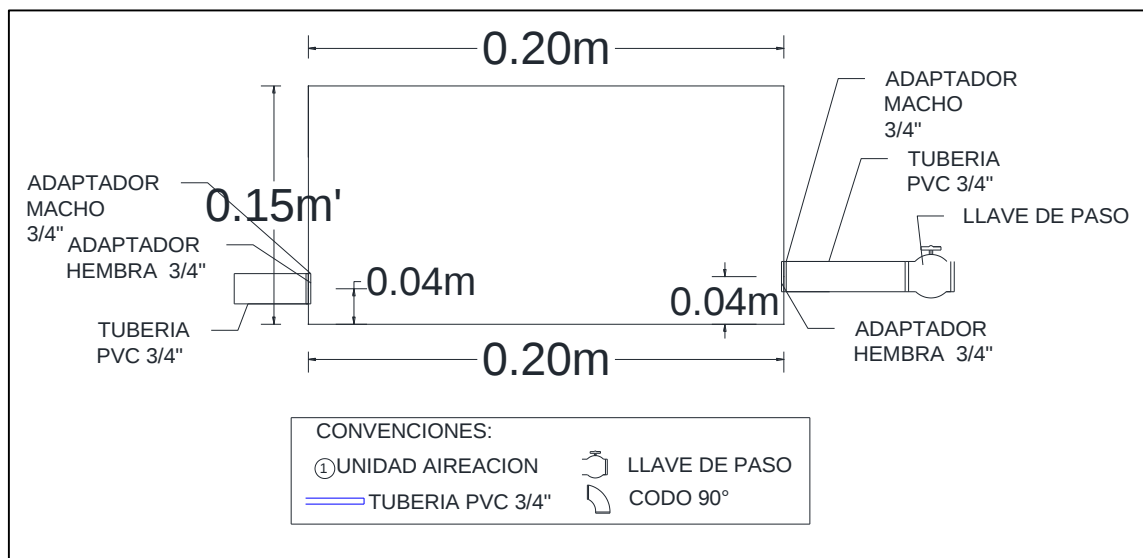
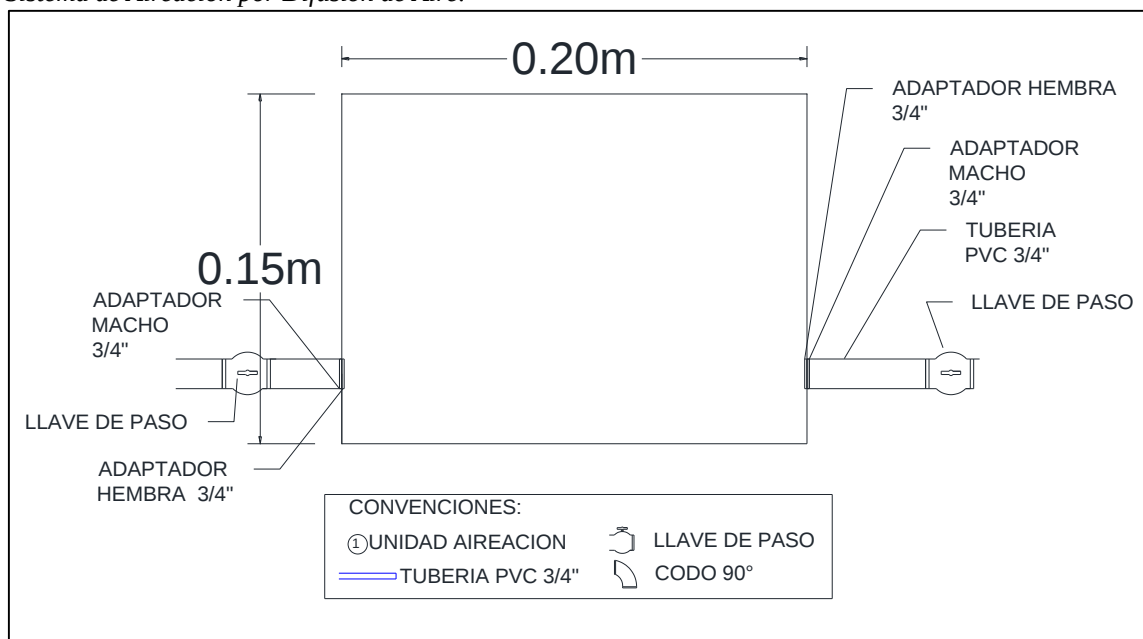


Imagen 16.

Sistema de Aireación por Difusión de Aire.



Nota: Vista Planta Esquema Sistema de Aireador por Difusión de aire (Elaboración propia)

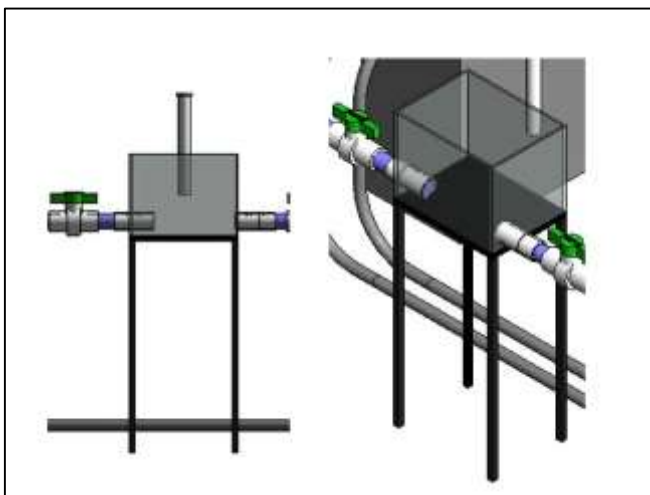
El segundo tipo de aireador consiste en un sistema de aireacion por difusion de aire propuesto en un ejemplo practico basado en un aireador a escala real planteado por el autor Romero(2000),

teniendo claro la estructura presentada por el autor y el funcionamiento , sus dimensiones fueron adaptadas en proporcion 1:10 para que cumpliera las condiciones de espacio del laboratorio, esta unidad consta de un tanque en forma rectangular con un volumen de agua de 3L , En este tipo de sistemas el aire es proporcionado desde el fondo del tanque mediante burbujas de aire , las cuales aportan oxigeno al liquido y generan la remocion de CO_2 , H_2S las dimensiones adaptadas para esta investigacion se puede notar que es un tanque que presenta un tamaño aceptable para los requerimientos del laboratorio ,y que ademas de eso no presenta ninguna complejidad para su contruccion .

Según lo mencionado anteriormente despues de realizarse la evaluacion de los diferentes criterios a cada uno de los tipos de aireadores, se elige para esta investigacion el sistema de aireacion por difusion de aire , este tipo de aireador seleccionado cumple los requisitos de tamaño requeridos por el laboratorio , y ademas para su funcionamiento nos permite el uso de la planta de enegia fotovoltaica cumpliendo asi los objetivos propuestos para esta investigacion en el uso de energia solar para el abastecimiento de los diferentes procesos de tratamiento .

Imagen 17

Sistema de Aireación por Difusión de Aire.



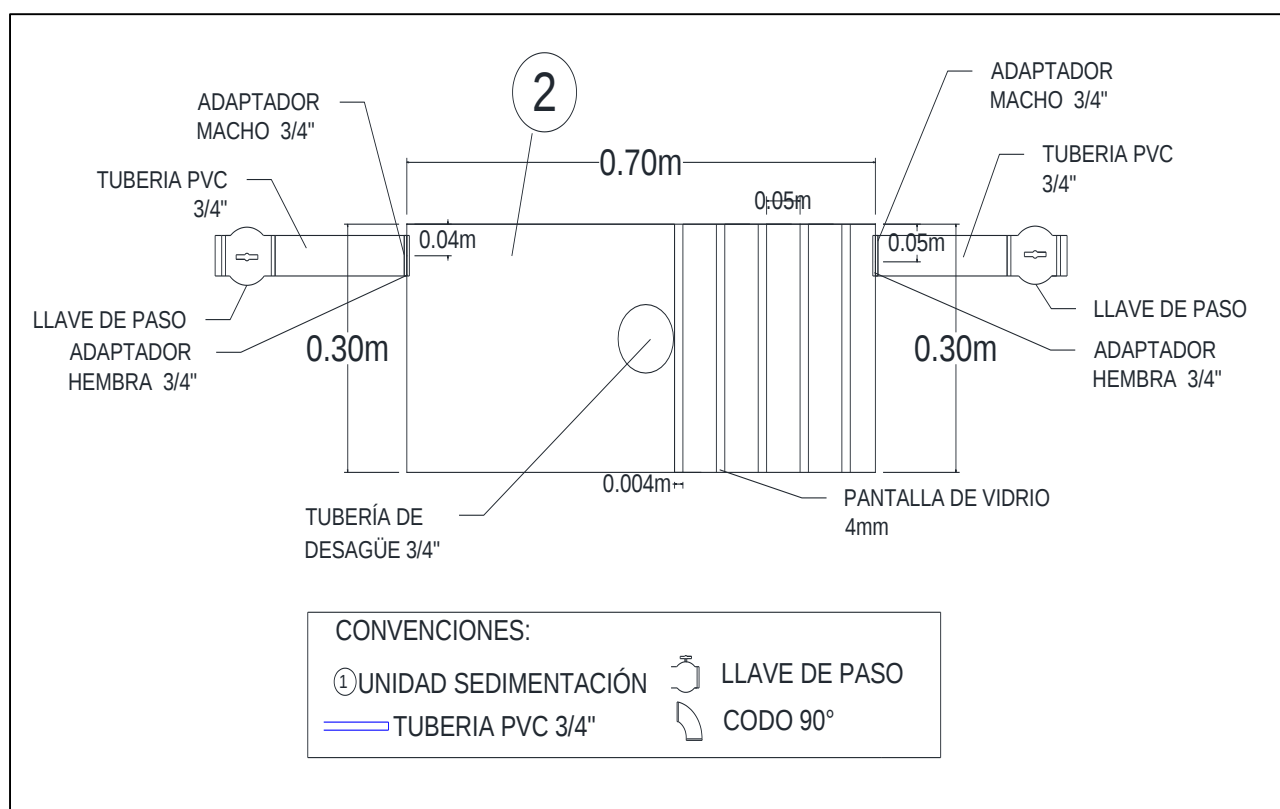
Nota Imágenes Modelado 3D Unidad de aireación seleccionada (Elaboración propia).

8.3. Sedimentación:

Para la selección de la unidad de sedimentación se evaluaron dos tipos de sedimentadores, las dimensiones de estos son las utilizadas por los autores Hernández, corredor (2017) véase imagen No 18 y 19, los autores en su proyecto presentan un sedimentador de placas paralelas con un volumen de 21 L, realizando la evaluación de este sedimentador se evidencia que este presenta un volumen de agua muy elevado y sus dimensiones exceden los requerimientos de espacio del laboratorio.

Imagen 18

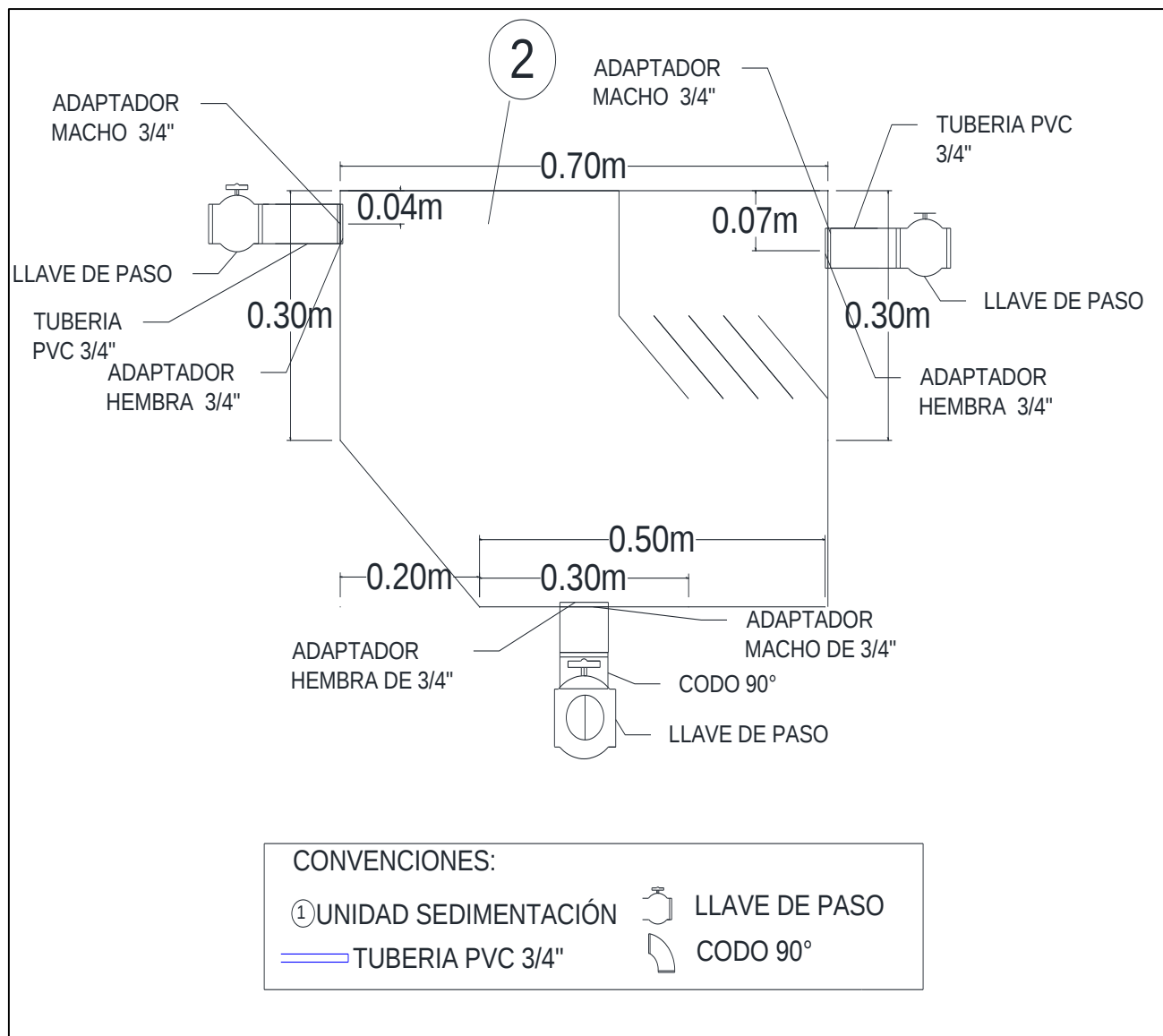
Sistema de sedimentación tipo 1.



Nota: Vista planta sedimentador utilizado por Hernández, corredor (2017) modificado por el autor del proyecto.

Imagen 19

Sistema de sedimentación tipo 1.



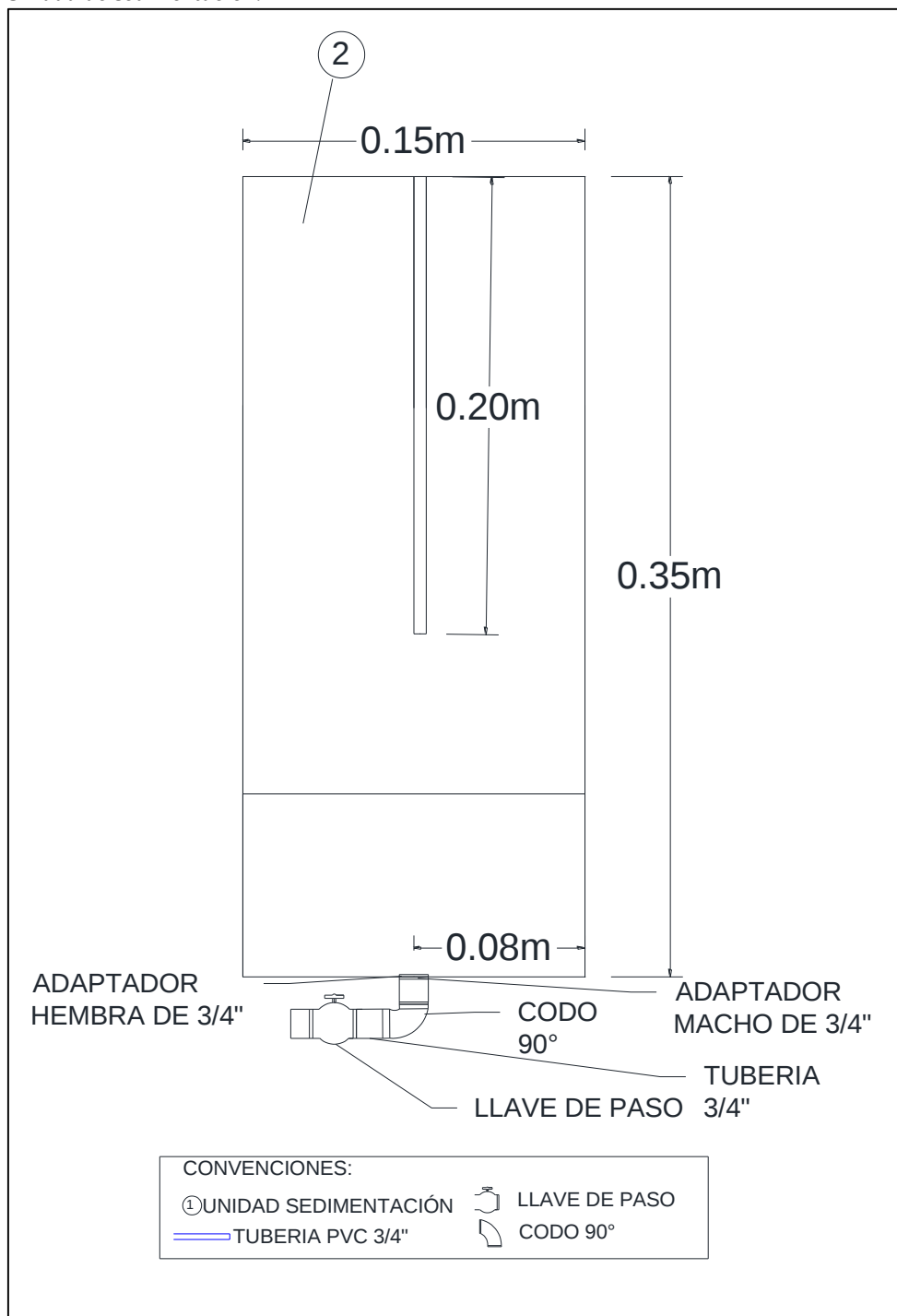
Nota. Vista Frontal Sedimentador utilizado por Hernández, Corredor (2017) modificado por el autor del proyecto.

El segundo tipo de sedimentador seleccionado esta basado en las dimensiones utilizadas por Parrado(2017), un sedimentador de tasa alta rectangular de fondo conico , este sedimentador esta dividido en 4 zonas importantes, zona de entrada donde el flujo del agua pasa para el inicio del

proceso esta zona distribuirá el agua de forma uniforme a lo largo del sedimentador , zona de sedimentación en la cual se distribuye el flujo de agua de manera constante a lo largo de la sección transversal del mismo para que las partículas que contiene el agua por acción de la fuerza de gravedad queden en ella , zona de lodos donde todas las partículas sedimentadas por sus características se moverán hacia el fondo del sedimentador , el cual posee una pendiente para que todas estas partículas queden en esa zona y no afecten de ninguna forma el proceso dentro de la unidad y luego ser expulsadas por la tubería de desagüe que contiene la unidad y por último la zona de salida en la cual todo el flujo del agua será reunido para continuar con el proceso de tratamiento hacia la siguiente unidad del proceso de potabilización.

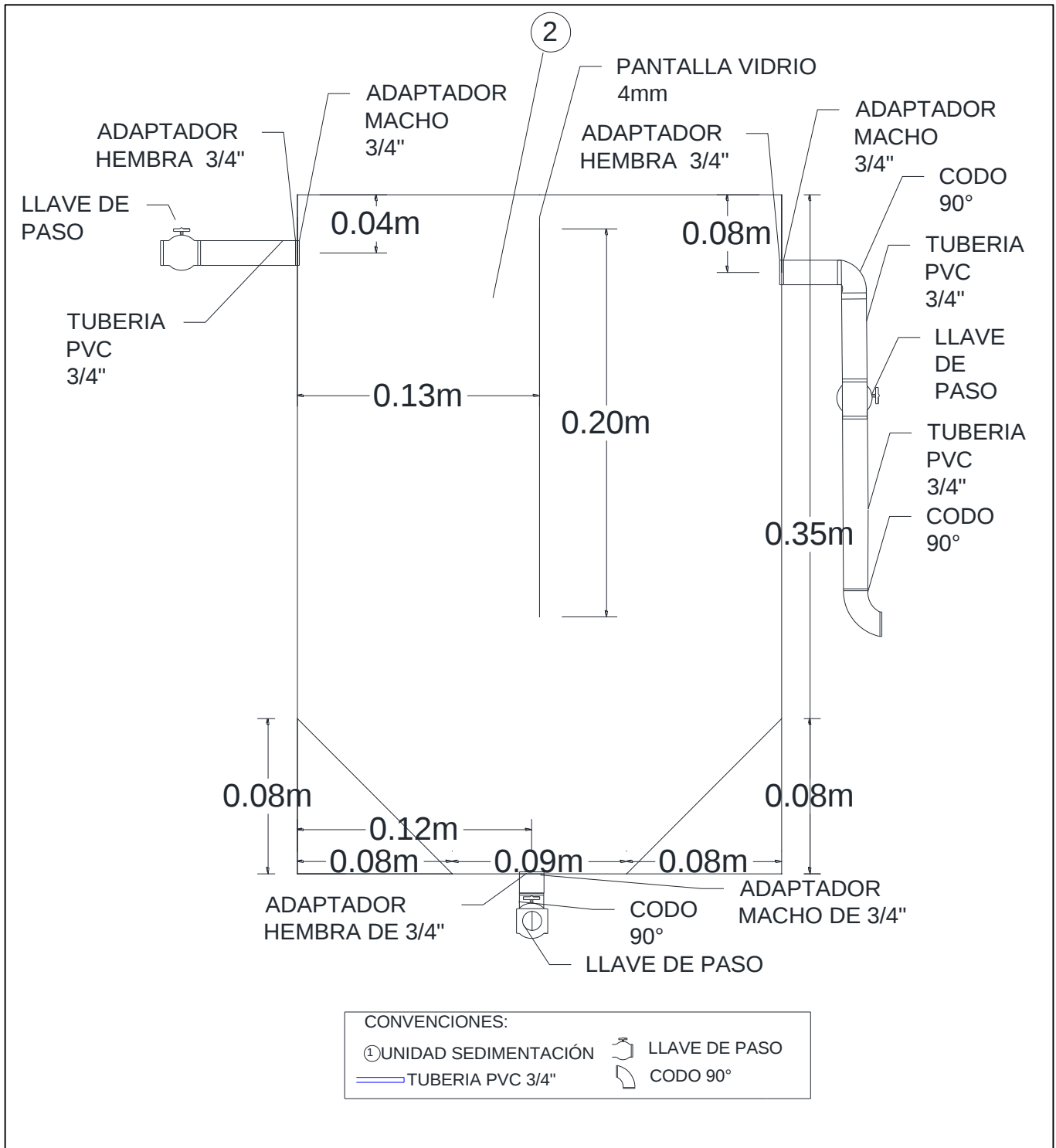
Aunque los dos tipos de sedimentadores presentan características similares en su forma pero varían mucho en su tamaño, la elección está basada en los criterios anteriormente mencionados en el documento es por eso que el sedimentador seleccionado para la construcción es el sedimentador tipo dos véase imagen No 20 y 21, pues presenta dimensiones que se acomodan más a las limitaciones de espacio presentes en el laboratorio.

Imagen 20
Unidad de sedimentación.



Nota: Vista Lateral Sedimentador Seleccionado (Elaboración propia).

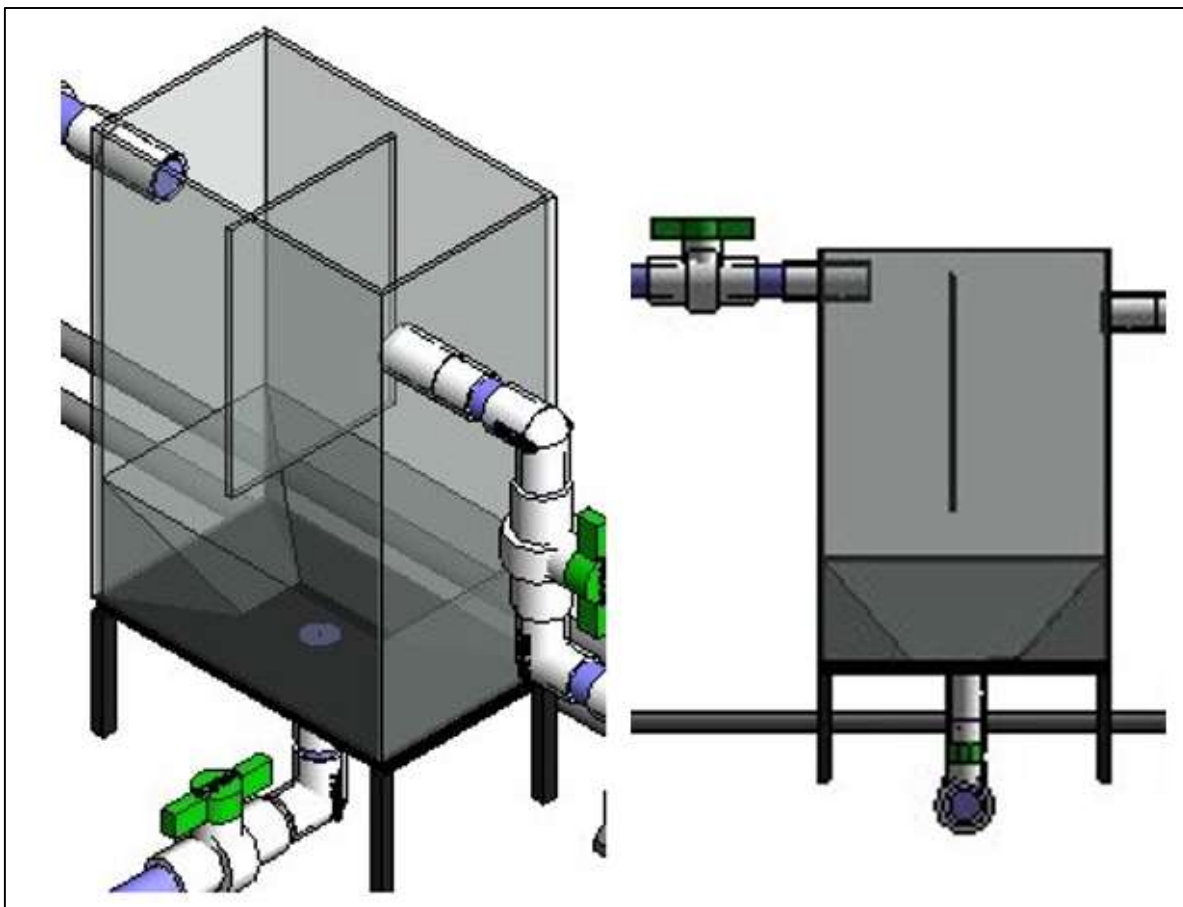
Imagen 21
Unidad de Sedimentación.



Nota: Vista frontal sedimentador seleccionado (Elaboración propia)

Imagen 22

Unidad de sedimentación.



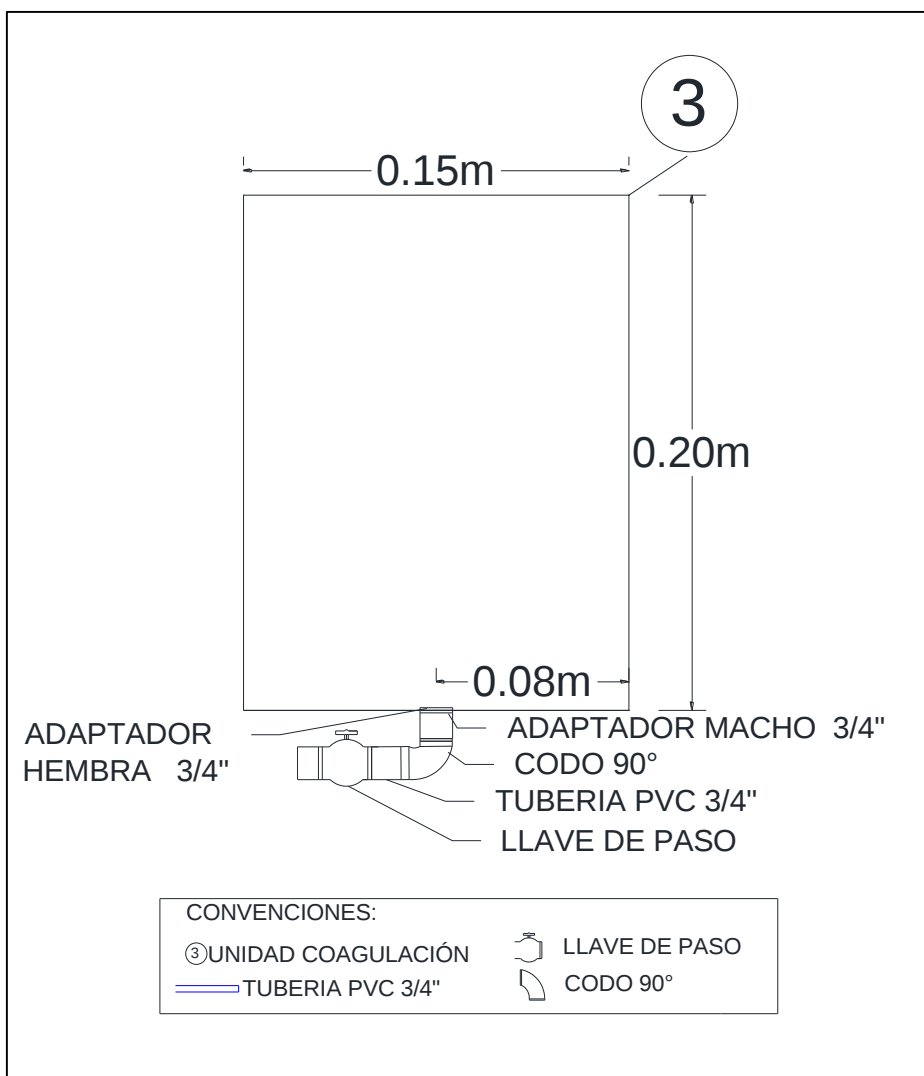
Nota imágenes. Modelado 3D sedimentador seleccionado (Elaboración propia).

8.4. Coagulación:

Para la unidad de coagulación se tomó como referencia los conceptos y diseños encontrados en el libro “potabilización de agua” del autor Jaime romero Rojas (2000) ya que en las demás investigaciones el proceso de coagulación es realizado en estructuras que por las limitantes de este proyecto serian complejas para su construcción.

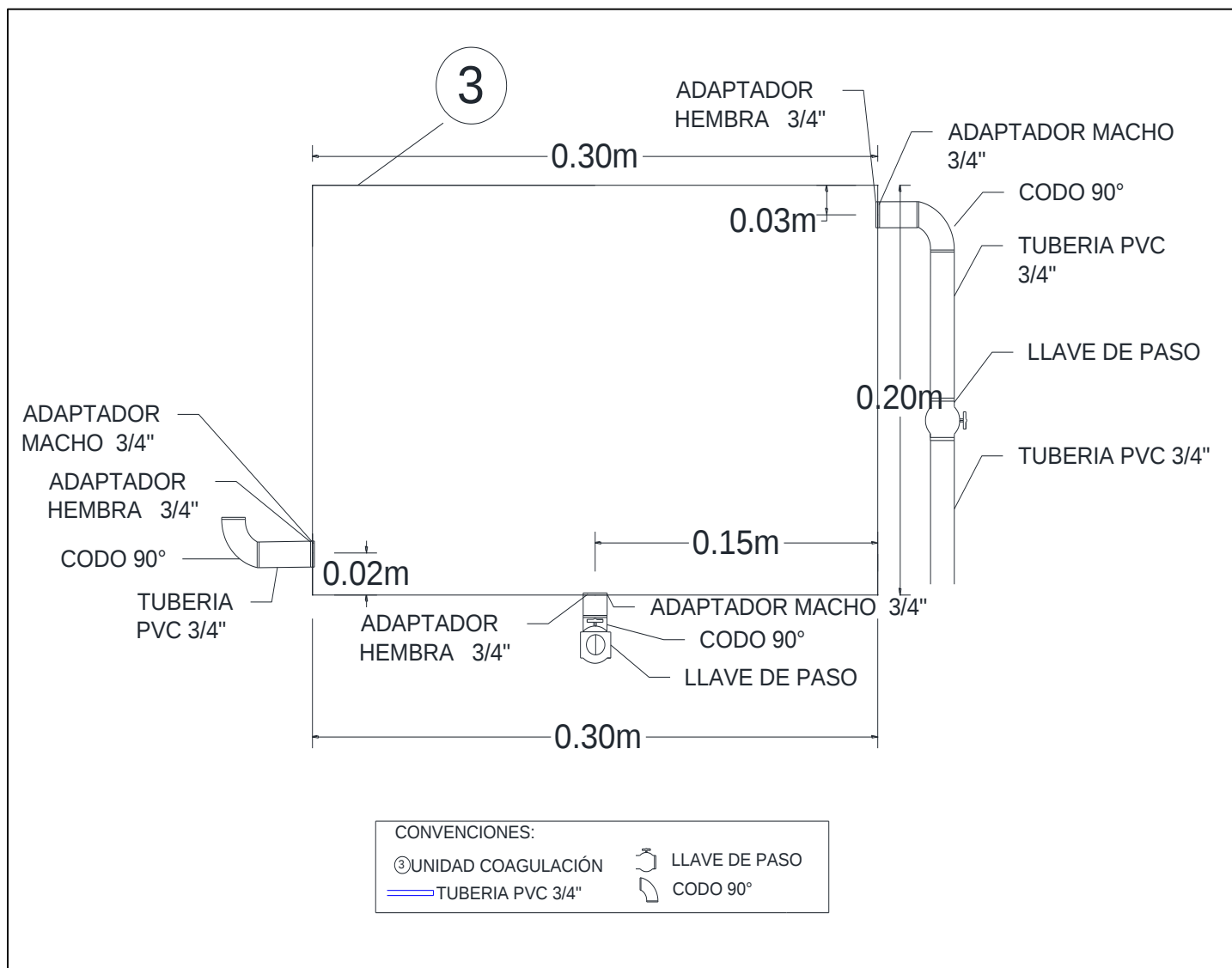
Imagen 23

Unidad de Coagulación



Nota: Vista lateral unidad de coagulación (Elaboración propia)

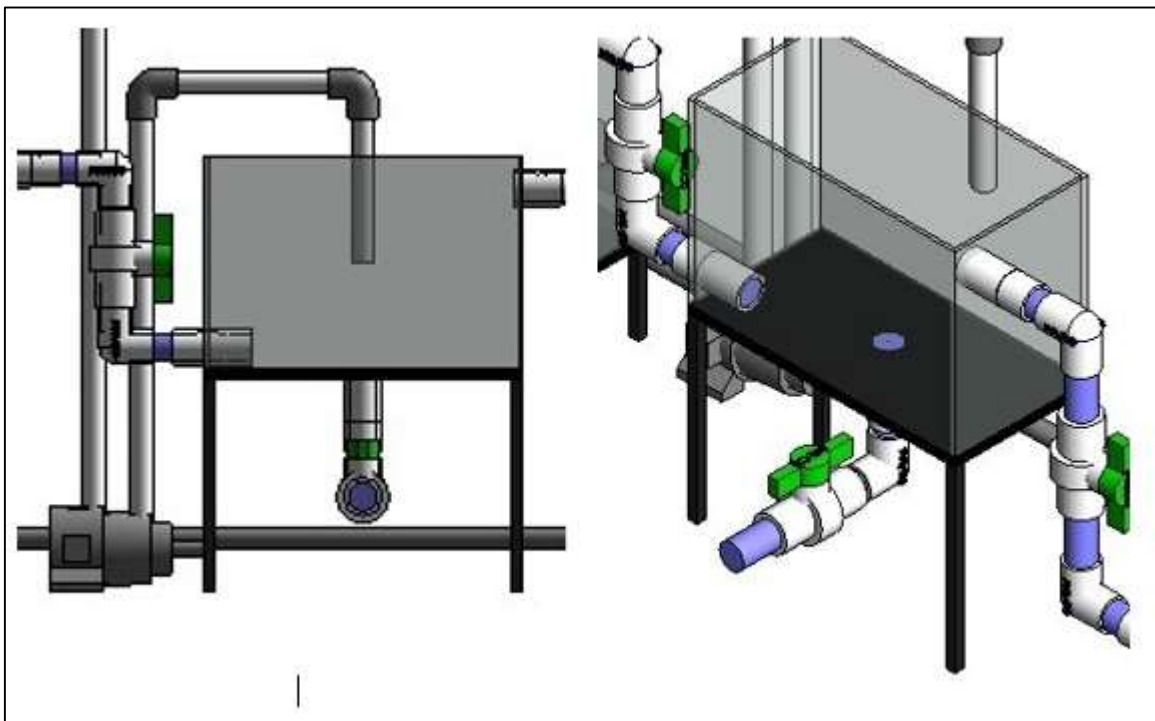
Imagen 24.
Unidad de Coagulación.



Nota: Vista frontal unidad de coagulación (Elaboración propia).

Imagen 25

Unidad de Coagulación.



Nota: Modelado 3D unidad de coagulación (Elaboración propia).

La unidad de coagulación esta formada por un recipiente de sección rectangular con un volumen de agua de 6,7L, es una unidad de mezcla rápida que utiliza un difusor de aire con el fin de crear turbulencia en el agua y lograr dispersar rápida y uniformemente sustancias químicas en este caso en particular el coagulante, este flujo de aire tendrá que ser lo suficiente bajo para que no altere las partículas en formación y no altere el proceso en la unidad de tratamiento.

De la misma manera el proceso de coagulación presenta la entrada de agua en la parte inferior de la estructura y la salida en la parte superior, esto a razón de buscar que la mezcla entre el agua y el

coagulante sea completa y que tenga el tiempo de retención suficiente (25min) para completar este proceso de mezcla.

Esta unidad de tratamiento cuenta con un desagüe en la parte inferior del tanque con el fin de vaciar al final del tratamiento todos los residuos químicos y todas las partículas generadas y acumuladas en el tanque durante el proceso de tratamiento, así mismo esta tubería de salida será de gran ayuda a la hora de realizar la limpieza del tanque una vez finalizado cada proceso de tratamiento.

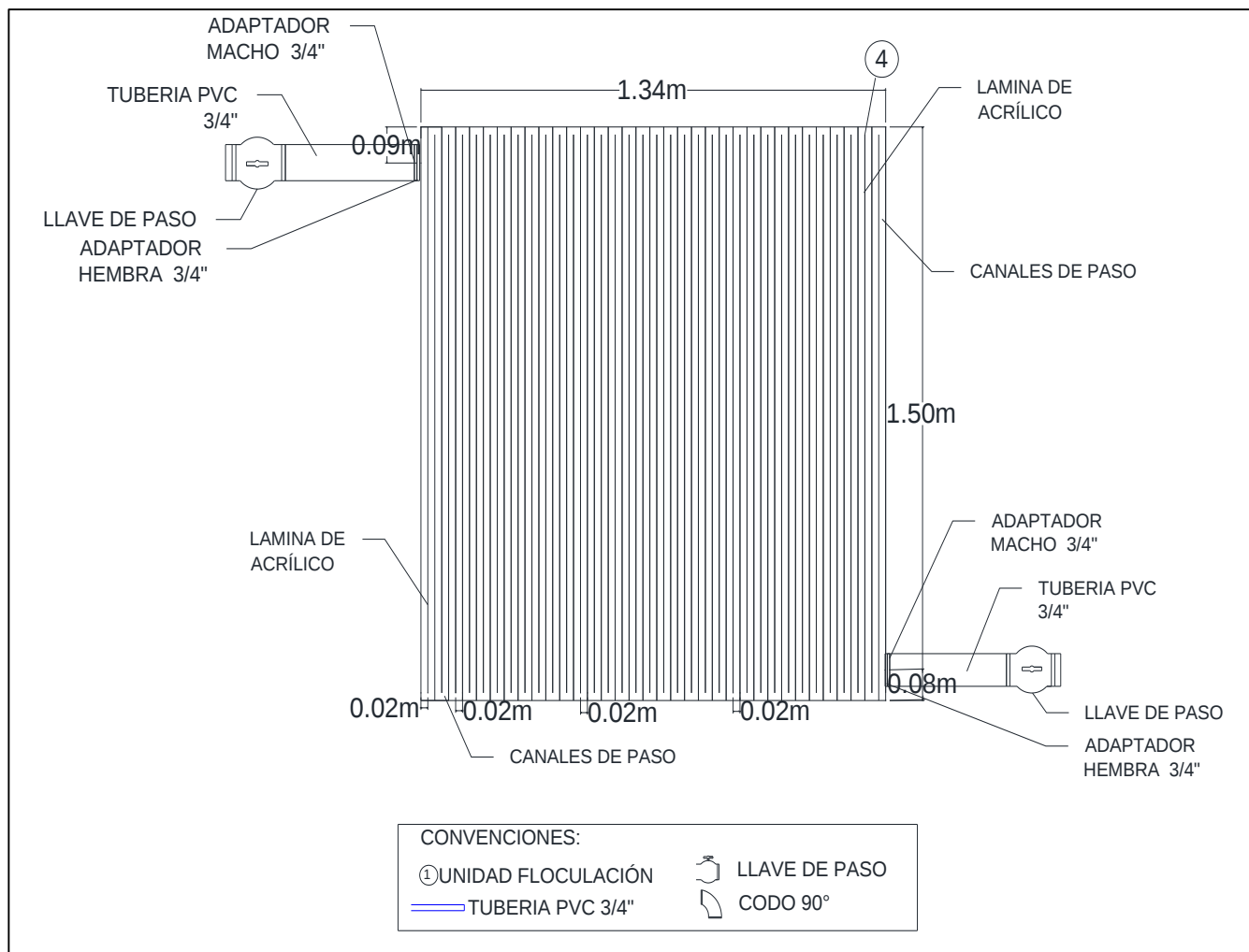
La unidad de coagulación presenta dimensiones acordes a los requisitos de espacio para su ubicación en el laboratorio, además de eso nos permite para su funcionamiento el abastecimiento de energía por medio de la planta fotovoltaica cumpliendo así con los objetivos propuestos para la realización de esta investigación.

8.5. Floculación:

Para el diseño de la unidad de floculación se evaluó la utilización de dos tipos de Floculadores el primero utilizado por Cárdenas, Medina (2017) un floculador hidráulico de flujo horizontal, este no fue diseñado bajo parámetros mínimos establecidos por la normativa colombiana RAS 2000 puesto que al ser diseñados con estos valores de tiempo de retención, velocidad de flujo harían que la estructura del floculador fuera muy grande y compleja para su construcción, es por esto que los autores respaldan el diseño en la investigación realizada por autores como Fair, Geyer y por parámetros dictados entidades como la “American Water Works Association”, aun con este diseño realizado por los autores mencionados como se evidencia en la imagen No 26 Y 27, las dimensiones presentadas por este floculador superan el metro de longitud tanto en su ancho como en el largo de la estructura, es por esto que para esta investigación la estructura de floculación presentada excede los requisitos de tamaño y no tendría el suficiente espacio para estar en el laboratorio.

Imagen 26

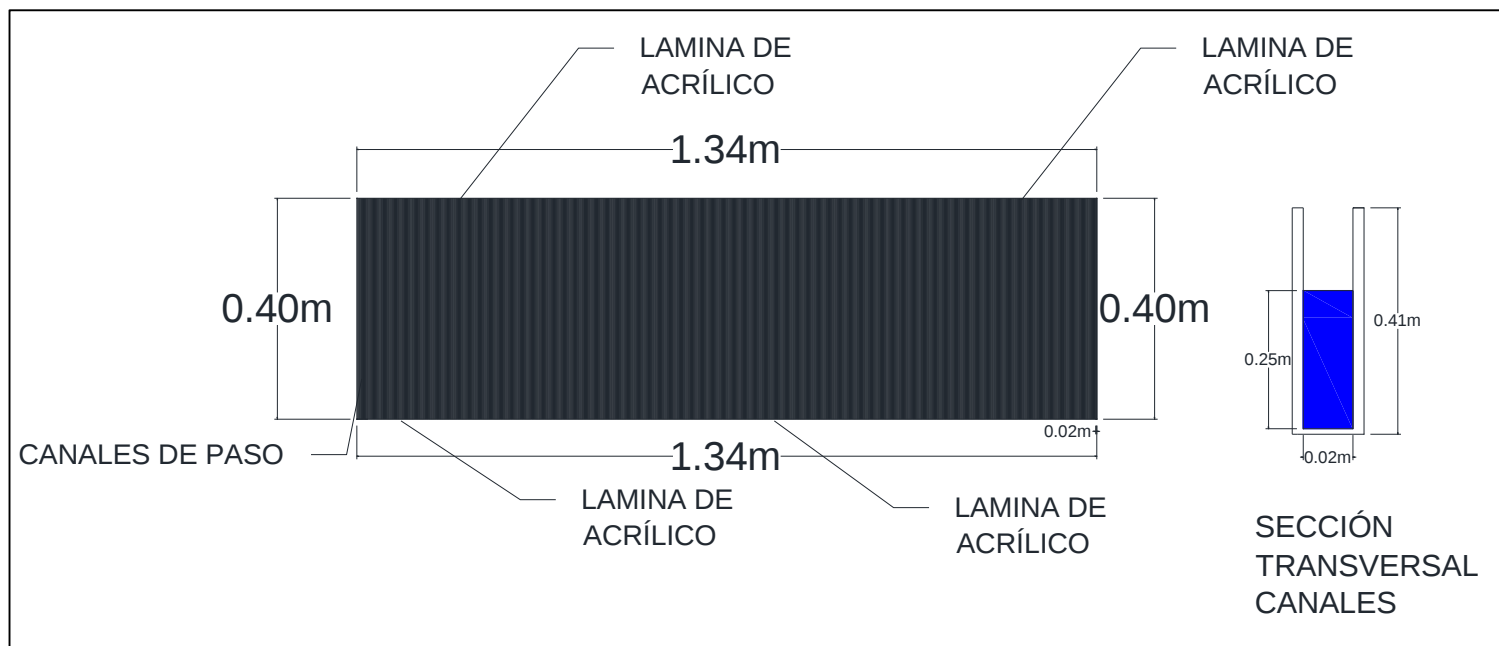
Floculador Flujo horizontal.



Nota: Floculador de flujo horizontal Cárdenas, Medina (2017). Adaptado por autor del proyecto

Imagen 27

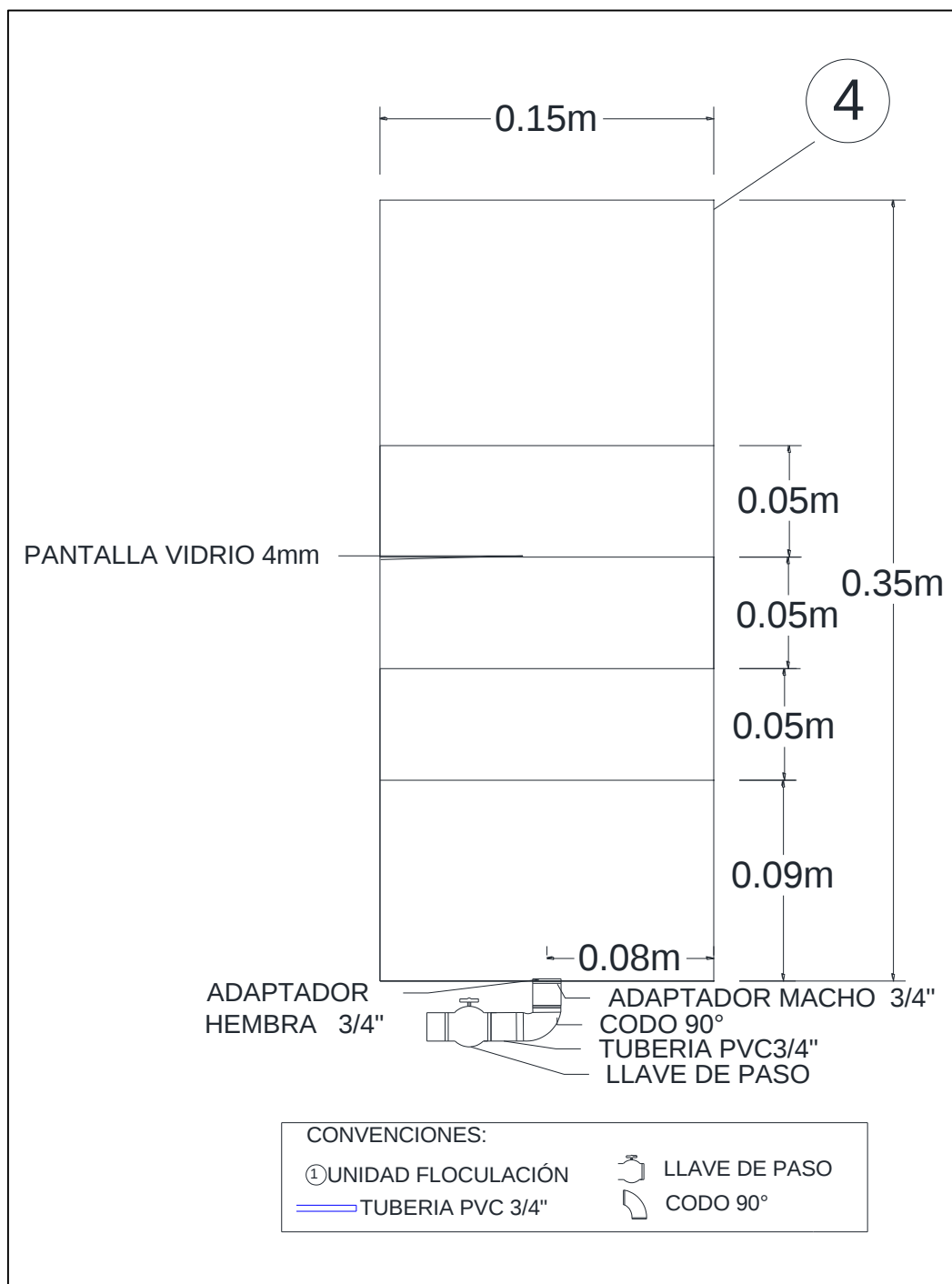
Floculador Flujo horizontal.



Nota: Floculador de flujo horizontal. Cárdenas, Medina (2017) Adaptado por autor del proyecto.

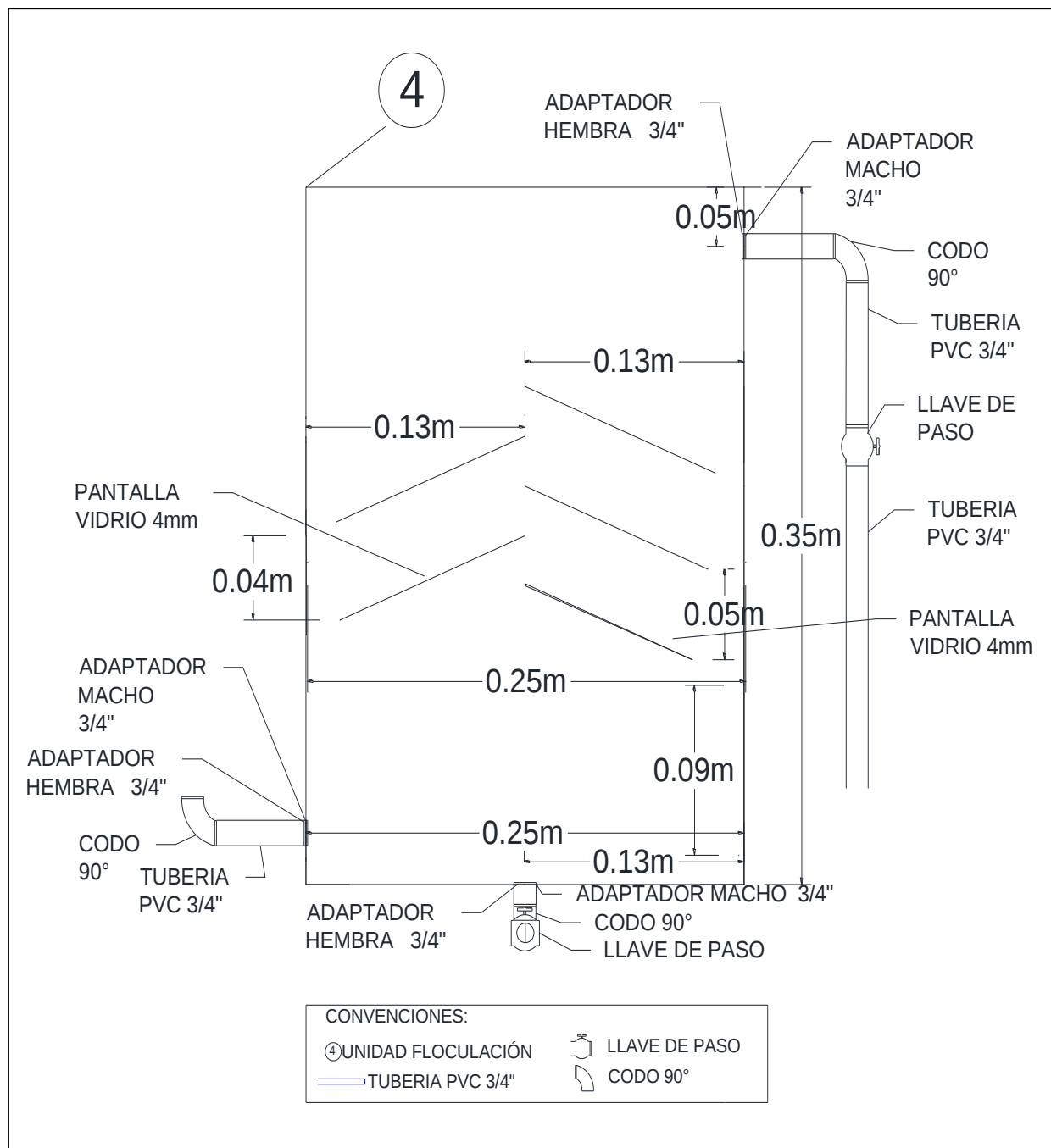
Imagen 28

Floculador de Flujo Vertical.



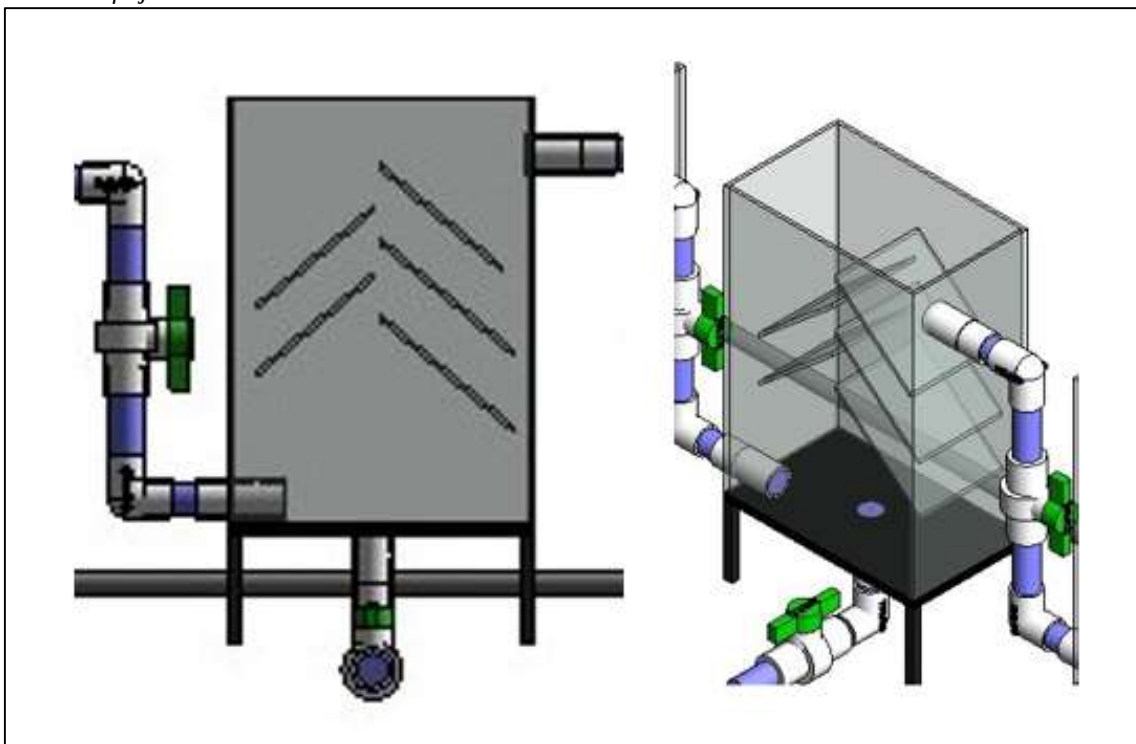
Nota: Unidad de floculación seleccionada (Elaboración propia)

Imagen 29.
Floculador de Flujo Vertical



Nota: Unidad de floculación seleccionada (Elaboración propia)

Imagen 30
Floculador de flujo vertical.



Nota: Modelado 3D floculador seleccionado (Elaboración propia).

El segundo tipo presentado para la unidad de floculación corresponde a un floculador hidráulico de flujo vertical, este floculador presenta una variación en su forma con respecto a los Floculadores comúnmente usados, como se evidencia en la imagen No 28 y 29 , La unidad de floculación cuenta con una superficie rectangular con un volumen de agua de 8L, el cual esta dividido por una serie de pantallas , dispuestas de tal forma que el agua realice su recorrido entre estas, se elige este floculador por las dimensiones que presenta pues son acordes al espacio asignado para estar en el laboratorio, generalmente este tipo de floculadores son usados en plantas de tratamiento con caudales bajos, este floculador presenta grandes ventajas como que no es necesario la utilización de ningún equipo mecánico y presenta un mantenimiento mínimo .

En este floculador el flujo del agua sera lento esto para que el gradiente de velocidad controle el grado de floculacion y no sea lo suficientemente alto para que el floc formado y coagulado en el proceso anterior no se rompa.

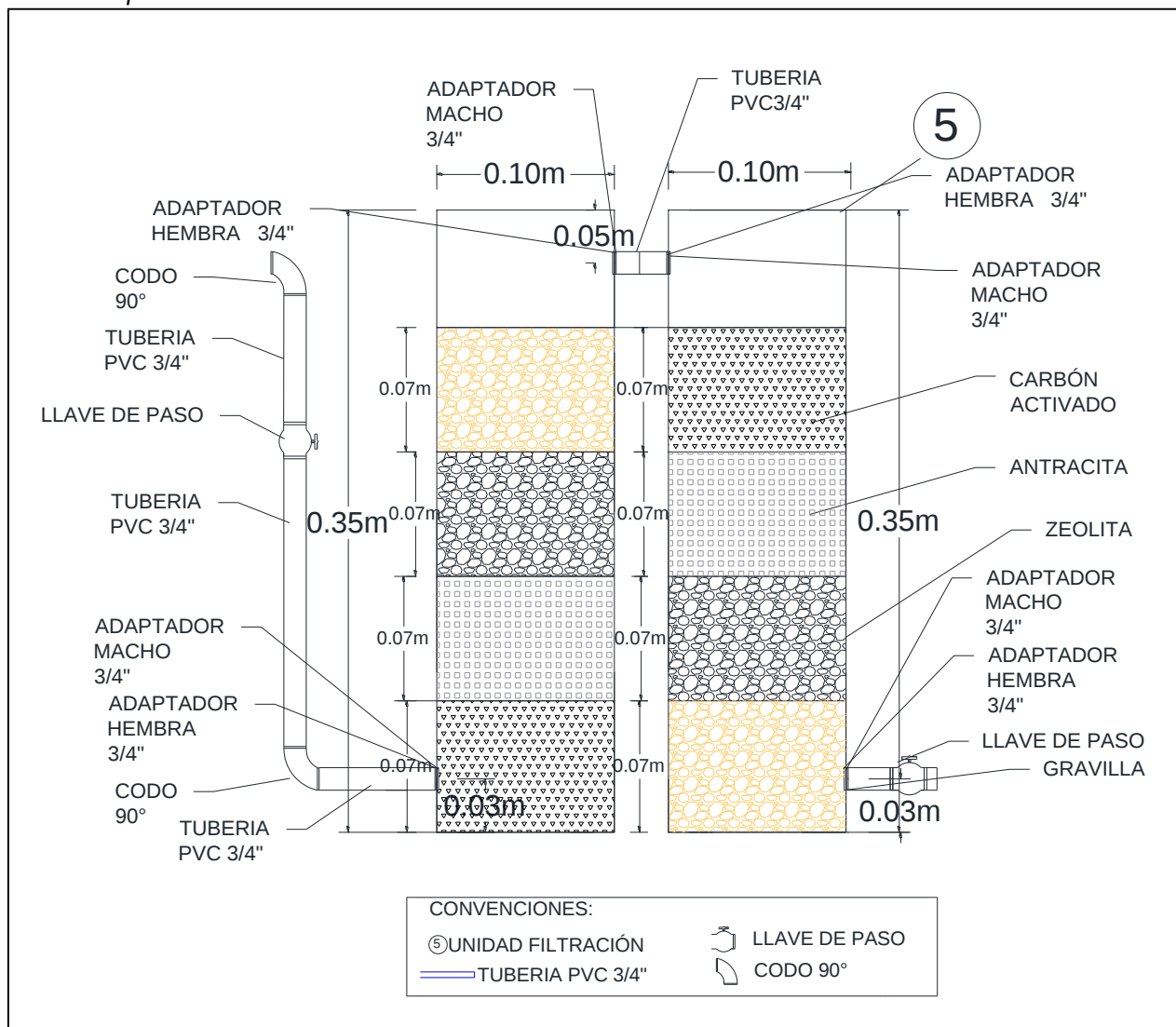
El tanque de floculacion dispondra de una tuberia de desagüe en la parte inferior en la cual todo el floc formado y retenido a lo largo del proceso se evacuara de la forma mas rapida posible.

8.6. Filtración:

La unidad de laboratorio contara con dos secciones de filtros por gravedad, uno inicial con flujo ascendente y una segunda unidad de filtracion con flujo descendente , esto para buscar un mejor proceso de filtracion en el agua, cada filtro contara con un lecho mezclado de diferentes capas de distintos materiales como lo son carbon activado, antracita, zeolita y gravilla . Cada lecho filtrante tendra un espesor de 7cm, el tamaño de partícula para los materiales que componen los filtros estaran en el rango de 0.8 –2 mm especificado en el Ras-2000 titulo C.

El caudal en el filtro sera repartido por la tuberia de manera constante esto ofreciendo una filtracion continua a lo largo de el area del material filtrante , el lavado de los filtros se realizara en contra del sentido del flujo del filtro.

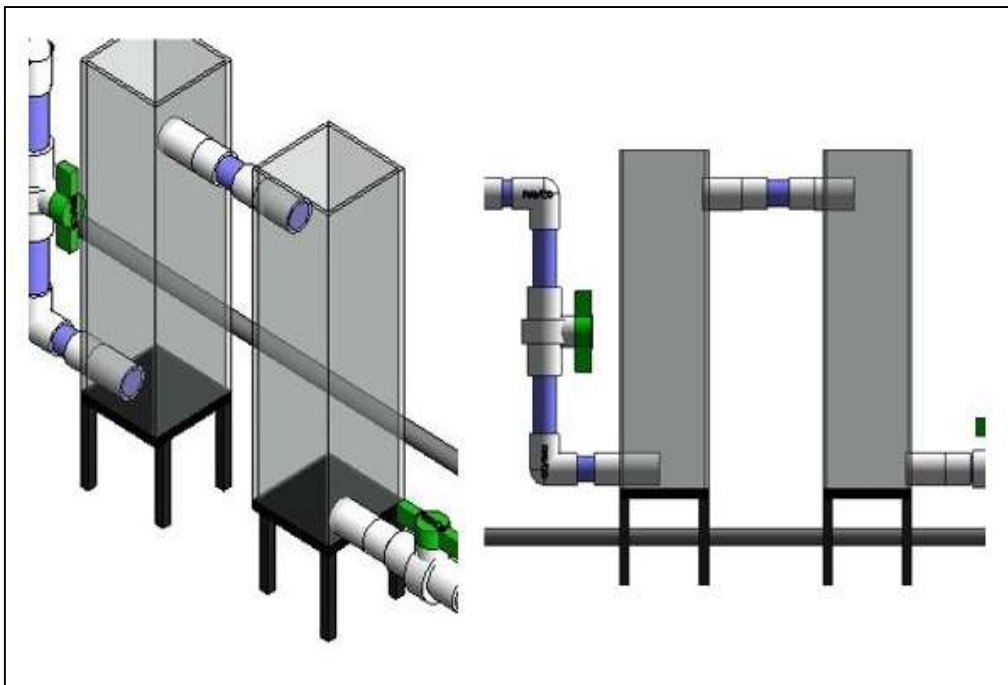
Imagen 31.
Unidad de filtración.



Nota: Vista Frontal Unidad de filtración (Elaboración propia)

Imagen 32

Unidad de Filtración.



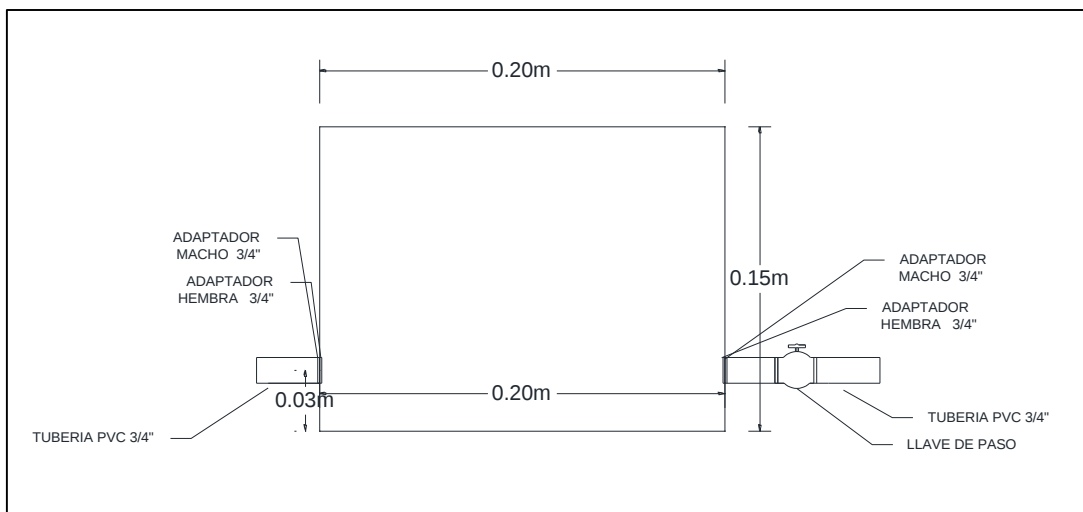
Nota: Modelado 3D unidad de filtración (Elaboración propia)

8.7. Desinfección:

La unidad de desinfección se basa fundamentalmente en las dimensiones propuestas para realizar las diferentes pruebas de desinfección por medio de Luz UV

Imagen 33

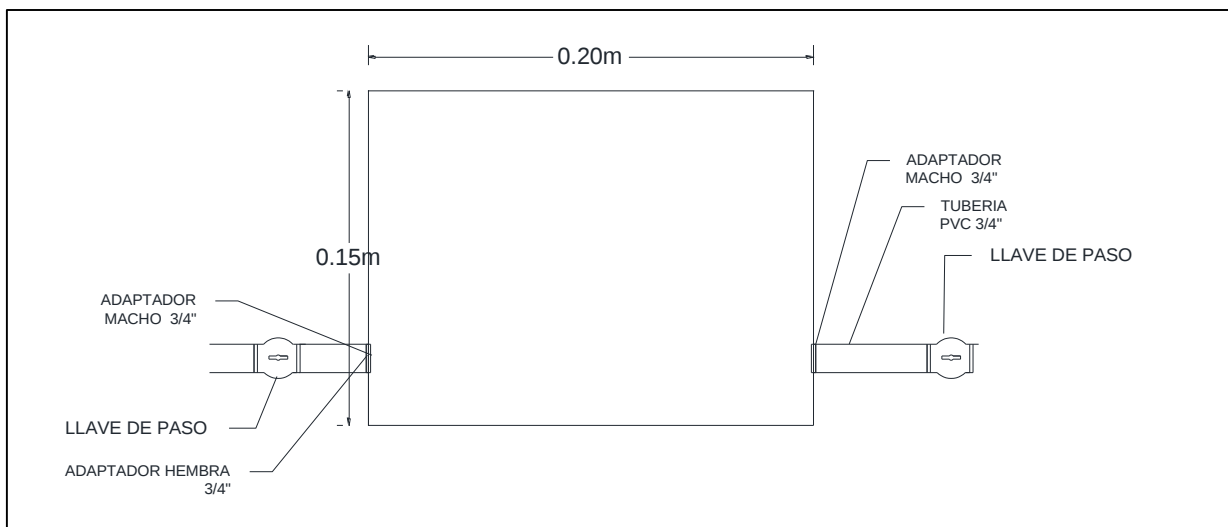
Unidad de Aireación.



Nota: Vista Frontal Esquema de Desinfección (Elaboración propia)

Imagen 34

Unidad de Aireación



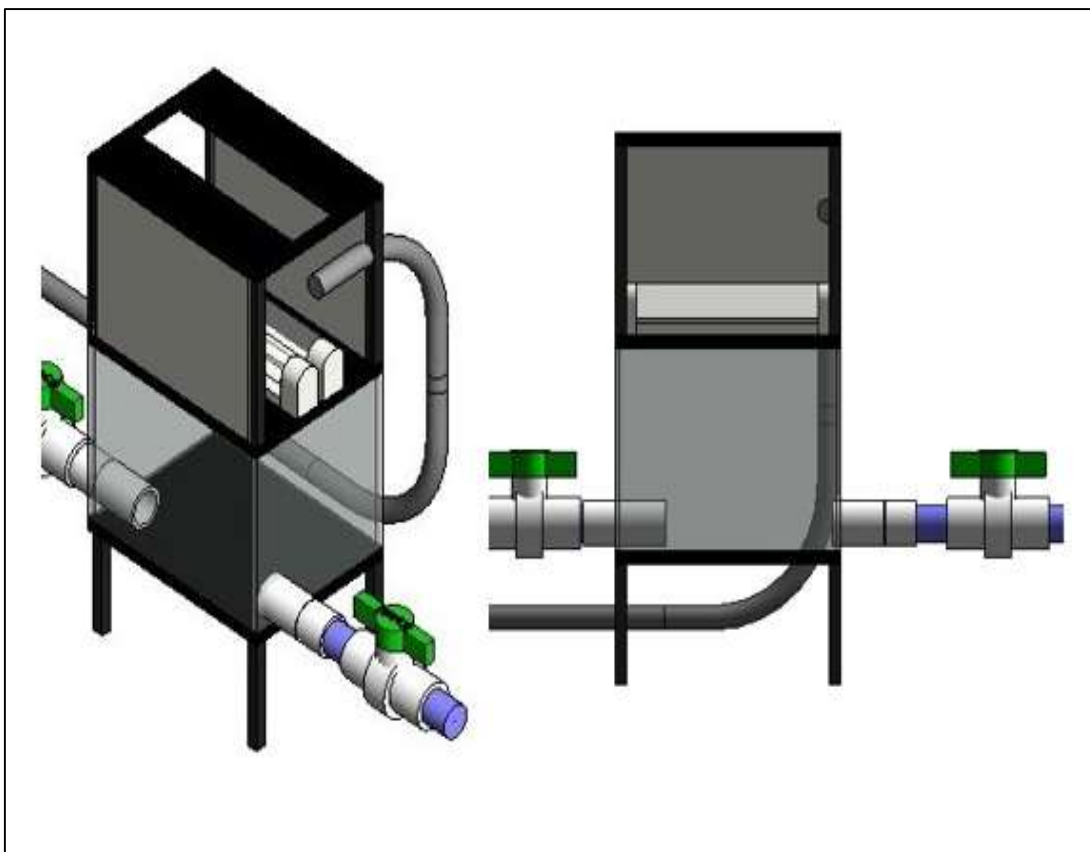
Nota: Vista en planta unidad de desinfección (Elaboración propia).

La unidad de desinfección estará conformada por un tanque de forma rectangular con un volumen de 4,5 L, esta unidad de tratamiento cuenta con llaves de paso al inicio para el control del agua a tratar del tanque de almacenamiento y al final del proceso para controlar el caudal de suministro para el consumo el

procedimiento realizado en la unidad de desinfección estará explicado más al detalle durante el transcurso del documento.

Imagen 35

Unidad de Desinfección.

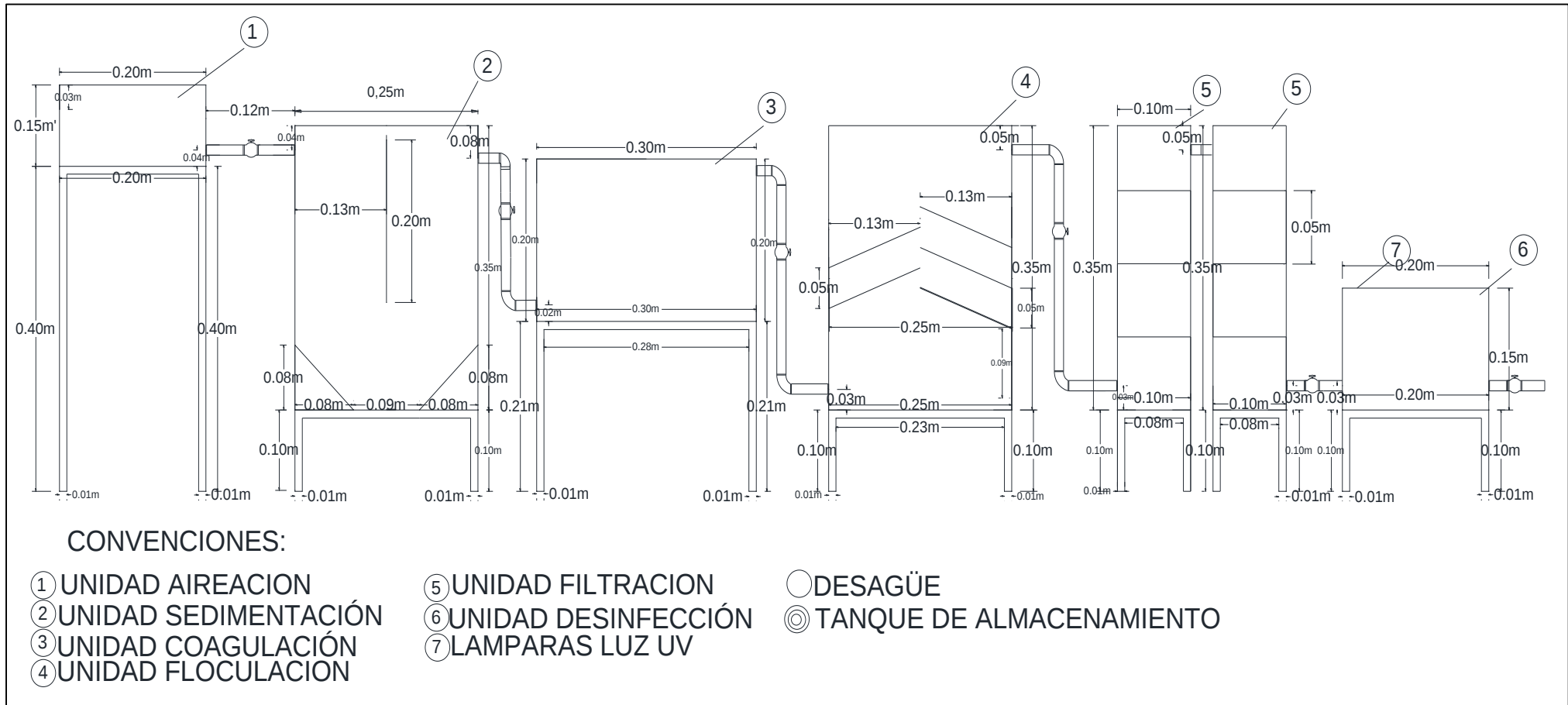


Nota: Modelado 3D Unidad de desinfección (Elaboración propia)

es por eso que Una vez dimensionado cada uno de los procesos de tratamiento que componen la unidad en la imagen No 36. Se puede observar la totalidad de las unidades ensambladas listas para su construcción.

Imagen 36.

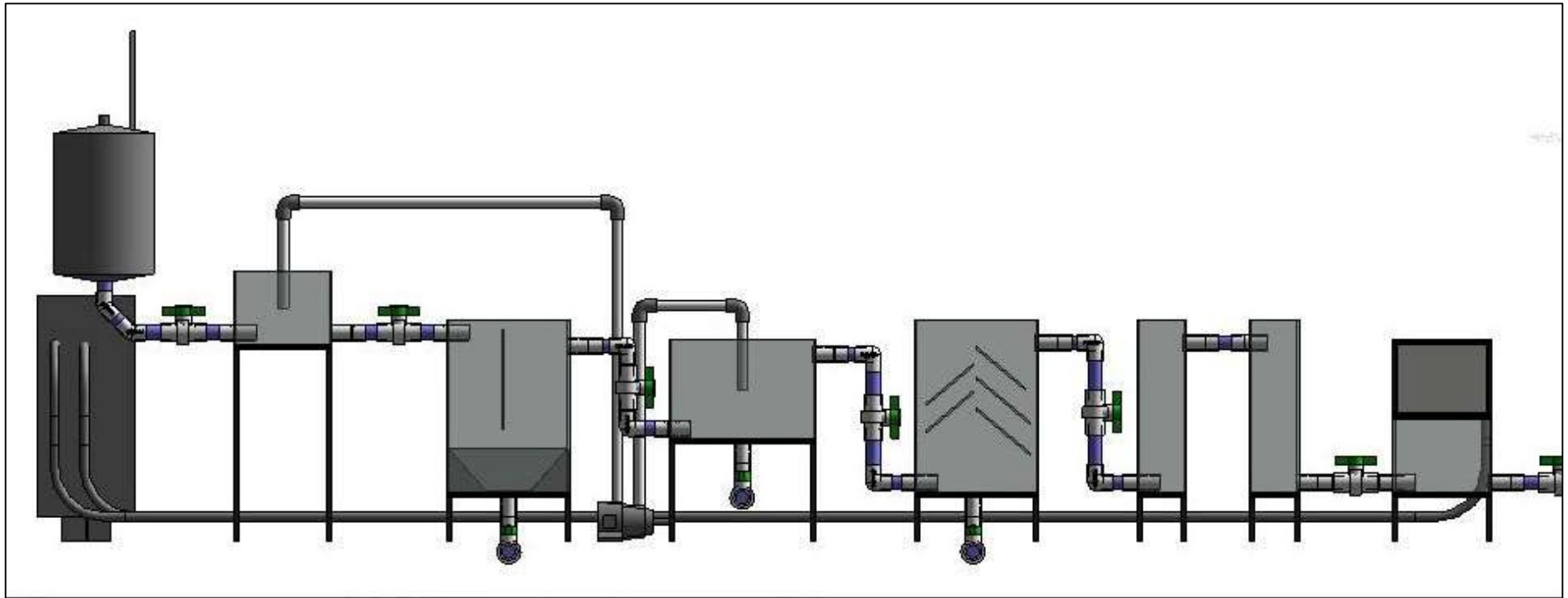
Unidad de laboratorio etapa de agua.



Nota: Unidad de tratamiento de agua optimizada con energia fotovoltaica (Elaboración propia)

Imagen 37

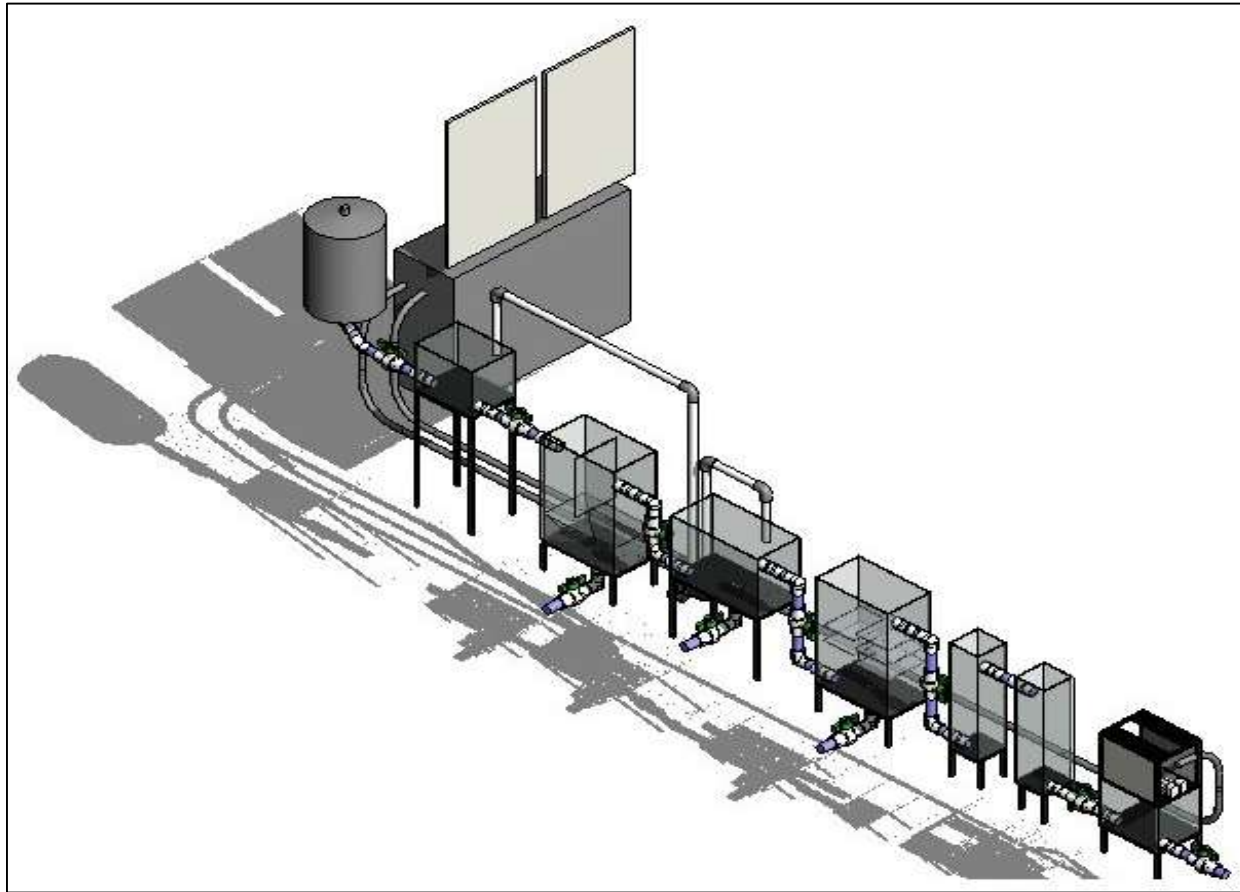
Unidad de Laboratorio Etapa de Agua.



Nota: Modelado 3D planta unidad de tratamiento de agua potable optimizada con energia fotovoltaica (Elaboración propia)

Imagen 38

Unidad de laboratorio Etapa de agua.



Nota: Modelado 3D planta unidad de tratamiento de agua potable optimizada con energia fotovoltaica (Elaboración propia)

9. DISEÑO PLANTA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA.

Para la realizacion de este proyecto se pretende construir una planta de energia solar para abastecer de energia los diferentes elementos electricos que componen la planta a nivel del laboratorio y con ello dejar un punto de partida para que los estudiantes utilicen el equipo construido y profundicen en el como usar este tipo de energias alternativas en las diferentes areas de su carrera profesional.

Como primera medida es necesario determinar que elementos seran utilizados en la unidad de laboratorio construida y que cantidad de energia requeririan estos elementos para su funcionamiento , esto es de vital importancia para conocer el potencial electrico de la planta electrica ,y dimensionar cada uno de los elementos que la conforman como lo son los paneles solares, controlador, baterias, inversor y las distintas conecciones necesarias para el funcionamiento.

La planta de energia solar tendra la capacidad de ser transportada a cualquier lugar donde se solicite su uso sin ninguna restriccion, se buscara las dimensiones apropiadas de cada uno de los elementos que la conforman cumpliendo con la demanda energetica necesaria y aprovechando al maximo el espacio asignado para la ubicación de la planta , el funcionamiento y mantenimiento de la planta sera completamente sencillo , su potencial electrico estara basado en el consumo de los distintos elementos utilizados para el funcionamiento de la unidad de laboratorio, los elementos electricos que la componen estaran aislados para que la personas encargadas de su operación no corran ningun riesgo electrico.

9.1. Calculo de consumo de energía necesaria para la planta:

Como se menciona anteriormente para el diseño de la planta de energia fotovoltaiica es necesario tener en cuenta los diferentes elementos electricos que sera utilizados en las unidades de tratamiento de agua. Como lo son el motor utilizado en la mezcla del proceso de coagulacion y en el proceso de aireacion y las lamparas de luz ultravioleta (UV) para el proceso de desinfeccion.

Para el calculo de el consumo necesario para el tratamiento se toman como referencia dos aspectos importantes, primero el numero de los componentes electricos y la potencia electrica requerida, asi como el tiempo de uso de estos elementos durante el tratamiento ,este calculo de consumo se tomara de dos formas , uno el consumo de los elementos en un dia completo, para con ese consumo calcular el consumo por hora y con ese consumo determinar las mejores opciones de los componentes de la planta por lo anterior tenemos que:

Tabla 6.

Calculo de consumo energía (Elaboración propia)

CALCULOS CONSUMO DE ENERGIA PLANTA					
DESCRIPCIÓN	NÚMERO	P(W)	HORAS / DÍA	DÍAS DE USO / SEMANA	ENERGÍA (WH/SEMANA)
Bomba de aire (Motor) coagulación y aireación	1	9	24	1	216
Luz UV	3	7	24	1	504
TOTAL CONSUMO (Wh/día)					720
TOTAL CONSUMO (Wh)					30

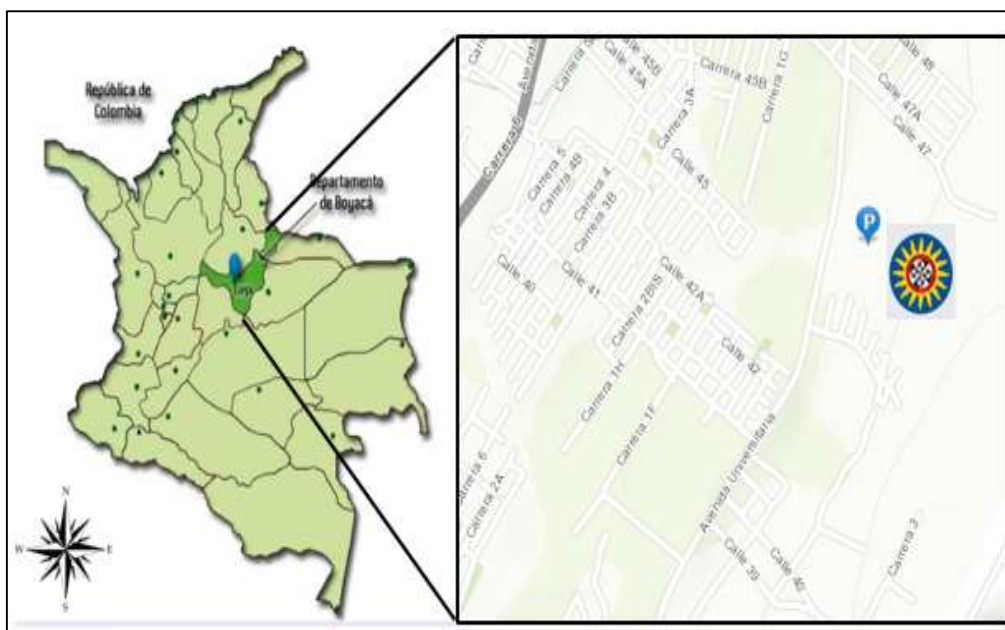
De acuerdo a lo mostrado en la tabla No. 6 el consumo electrico diario de los elementos sera de 720 (Wh/dia) y el consumo por hora de energia sera de 30 (Wh) estos datos son importantes debido a que con ellos se determinara el potencial electrico que debera tener la planta electrica para garantizar el funcionamiento de los elementos electricos para el funcionamiento de la planta a nivel de laboratorio.

Teniendo claro el consumo de los elementos electricos que seran utilizados para la unidad de laboratorio y el consumo de estos, se procede a realizar el estudio de las hora pico sol (HPS) presente en la ciudad de Tunja, para esto se utiliza la herramienta “POWER Data Acces Viewer”, esta herramienta presenta la ventaja de permitir obtener los datos en la ubicación probable de donde van a quedar ubicados los paneles en este caso en particular en el laboratorio de aguas ubicado en el edificio

Santo Domingo de Guzman de la universidad Santo Tomas en la ciudad de tunja, esta herramienta almacena diversas bases de datos de la NASA para medir parametros necesarios en el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico como lo es la hora pico solar (HPS), se realiza el estudio en el intervalo de un año, en el cual se encuentran los promedios mensuales de hora pico sol en este lapso de tiempo, esto para determinar que cantidad de energia solar podria ser captada por los paneles y de esta manera determinar que potencia necesitarian los paneles solares para cumplir la demanda energetica de los diferentes elementos que lo componen.

Imagen 39

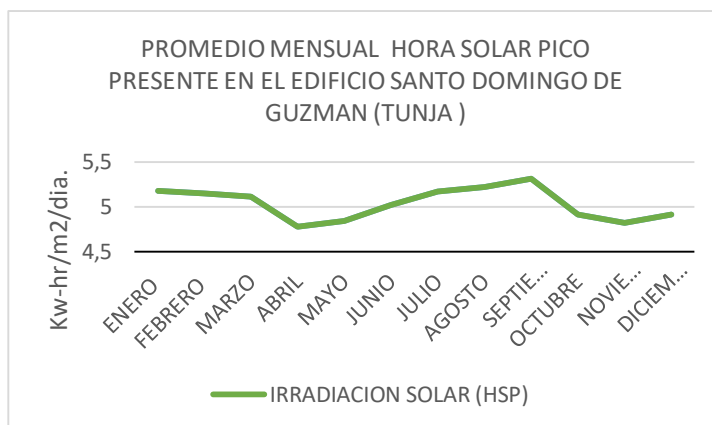
Ubicación paneles solares.



Nota: Ubicación Paneles Solares Edificio Santo Domingo de Guzmán. Tomado de “POWER Data Acces Viewer” (2020)

Imagen 40

Promedio mensual hora solares pico.



Nota: Curva Promedio hora pico sol Tomado de “POWER Data Acces Viewer” (2020).

De acuerdo a la imagen No. 40 se puede observar los rangos de hora solar pico en el periodo del año 2019-2020, evidenciando que el pico mas alto se encuentra en el mes de septiembre, de la misma manera el pico mas bajo se encuentra en el mes de abril. Esto obedece que el periodo comprendido entre abril y mayo son los meses en los cuales la ciudad de tunja presenta los picos mas altos de precipitacion, de igual forma su nubosidad es mucho mas alta, esto corresponde a esa disminucion en los valores de hora solar pico, asi mismo los picos mas altos son aquellos en los que se presentan las temporadas mas secas en la ciudad de Tunja en los periodos entre los meses de enero y marzo, y de la misma manera agosto y septiembre.

Tabla 7.

Promedio hora pico sol “POWER Data Acces Viewer” (2020).

	IRRADIACION SOLAR (HSP)
ENERO	5,18
FEBRERO	5,15
MARZO	5,11
ABRIL	4,78
MAYO	4,84
JUNIO	5,02
JULIO	5,17
AGOSTO	5,22
SEPTIEMBRE	5,31
OCTUBRE	4,91
NOVIEMBRE	4,82
DICIEMBRE	4,91
PROMEDIO	5,04

En la tabla No. 7 se pueden observar los valores promedio mensuales de hora solar pico correspondientes a la ciudad de Tunja, teniendo estos valores se procede a calcular el promedio anual de hora solar pico para diseñar el sistema ajustando todos sus componentes a ese potencial eléctrico calculado anteriormente (ver tabla No.6), para la realización de este proyecto se usará el promedio anual que será de $5.04 \text{ Kw-hr/ m}^2/\text{dia}$, teniendo claro el promedio hora solar pico presente en el lugar destinado para el posicionamiento de los paneles se determinará, la cantidad de paneles que serán necesarios para el abastecimiento de la energía necesaria para el sistema, el potencial de carga de las baterías y así mismo determinar el tipo de corriente a usar dentro del sistema, que tipo de panel tendría un mejor rendimiento para las condiciones presentes en la ubicación del sistema, tipo de controlador, tipo de inversor si fuera necesario y de los diferentes elementos que componen la planta eléctrica.

9.2. Rendimiento global del sistema fotovoltaico(R):

Antes de determinar el numero de paneles que seran necesarios para la planta de energia fotovoltaica es necesario determinar el rendimiento global del sistema esto es importante debido a que la generacion de energia se ve afectada por el rendimiento de todo el conjunto de elementos que conforman la planta, este valor tiene en cuenta el consumo de energia a suministrar, el cual depende de la posicion geografica donde estara ubicada el sistema, el calculo de este factor es importante puesto que aporta un factor de seguridad por si el sistema puede presentar perdidas de energía poder asegurar el cumplimiento de la demanda de energía requerida, este rendimiento se calcula asegurando un factor de seguridad del 20% al porcentaje de consumo de energía a producir y diseñar el sistema segun ese valor aumentado, este valor de consumo aumentado es un seguro para no presentar carencias de produccion energía en la unidad fotovoltaica.

Tabla 8

Caculo de rendimiento global del sistema fotovoltaico (Elaboración propia)

CALCULO RENDIMIENTO GLOBAL DEL SISTEMA	
TOTAL CONSUMO (Wh)	30
CONSUMO CON FACTOR DE SEGURIDAD 20%	36,0
HORA SOLAR PICO (HSP) SELECCIONADA	5,04

9.3. Cálculo número de paneles solares necesarios para el sistema:

Teniendo en cuenta este consumo aumentado tabla No. 8 con el factor de seguridad se procede a realizar el cálculo de los paneles fotovoltaicos necesarios para abastecer el sistema, para realizar este cálculo es necesario tener en cuenta los valores de hora solar pico que para este proyecto sera el promedio anual de hora solar pico (HSP) ver tabla No.7, ademas del rendimiento del sistema y la potencia del panel solar que por motivos practicos se acomoda de mayor forma a las exigencias de

diferentes factores tenidos en cuenta para la realización del proyecto (tamaño, peso, precio y disponibilidad en el mercado) se prueba con paneles de 30 W los cuales presentan dimensiones adecuadas para las limitaciones de espacio presentes para la ubicación del montaje una amplia gama de referencias en el mercado, y un alto beneficio costo- rendimiento.

(Ecuación 5)

$$\text{numero modulos solares} = (\text{consumo aumentado}) / (\text{HSP} * \text{R} * \text{potencia del modulo})$$

Tabla 9.

Cálculo número de paneles necesarios (Elaboración propia).

CALCULO NUMERO DE PANELES SOLARES	
CONSUMO CON FACTOR DE SEGURIDAD 20%	36
HORA SOLAR PICO (HSP) SELECCIONADA	5,04
POTENCIA DEL PANEL SELECCIONADA	30
RENDIMIENTO GLOBAL (%)	20
NUMERO DE PANELES NECESARIOS	1,2

De acuerdo a la tabla No. 9 seria necesario la utilizacion de 2 modulos de paneles solares conectados en serie para abastecer de energia el sistema, se redondea el numero mas alto para tener la certeza de que la demanda de energia sea cubierta, ademas de calcular el numero de paneles necesarios es pertinente definir la tension del sistema a la cual tanto los modulos como los diferentes componentes que lo conforman van a trabajar, comunmente son utilizadas tensiones de 12V, 24 y 48V, para este caso en particular la tension del sistema sera de 12 V

9.4. Cálculo número de baterías:

Para continuar con el correcto diseño del sistema de la planta de energía fotovoltaica es necesario calcular el número de baterías necesarias para almacenar la energía producida por los módulos fotovoltaicos, para eso se necesita partir de los datos de consumo y la tensión en la cual trabaja el sistema en general en este caso particular 12 V, además de eso determinar los días de autonomía del sistema, teniendo en cuenta que tanto la planta de tratamiento de agua como la planta de energía fotovoltaica serán utilizadas de manera didáctica como apoyo de las actividades académicas se asigna un valor de autonomía de 36 horas, teniendo la capacidad de conectar otro dispositivo o aumentar el tiempo de utilización de la unidad de laboratorio, las baterías a usar serán de 35 Ah de gel elegidas evaluando factores como peso, tamaño, disponibilidad en el mercado y vida útil.

(Ecuación 5)

$$\text{capacidad de almacenamiento} = (\text{consumo nec} * \text{días autonomía}) / (\text{Voltaje} * \text{prof descarga})$$

Tabla 10.

Cálculo número de baterías sistema fotovoltaico (Elaboración propia).

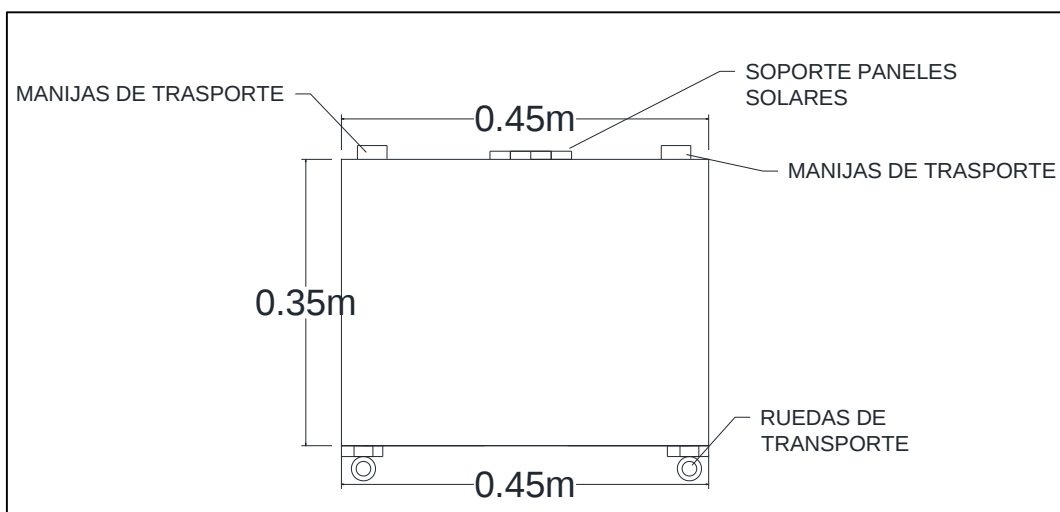
CALCULO BATERIAS DEL SISTEMA	
CAPACIDAD DE LAS BATERIAS (Ah)	45
HORAS DE AUTONOMIA	36
VOLTAJE DEL SISTEMA (V)	12
PRODUNDIDAD DE DESCARGA DE LA BATERIA(%)	0,5
CAPACIDAD NOMINAL DE LAS BATERIAS (Ah)	35
NUMERO DE BATERIAS NECESARIAS	1,3

Como se puede evidenciar en la tabla No. 10 la capacidad de almacenamiento según el consumo necesario sera de 45 Ah , este almacenamiento estara cubierto con el uso de 2 baterias de de 35 Ah para almacenar toda la energia producida por los modulos fotovoltaicos.

9.5. Cuerpo del sistema:

Imagen 41

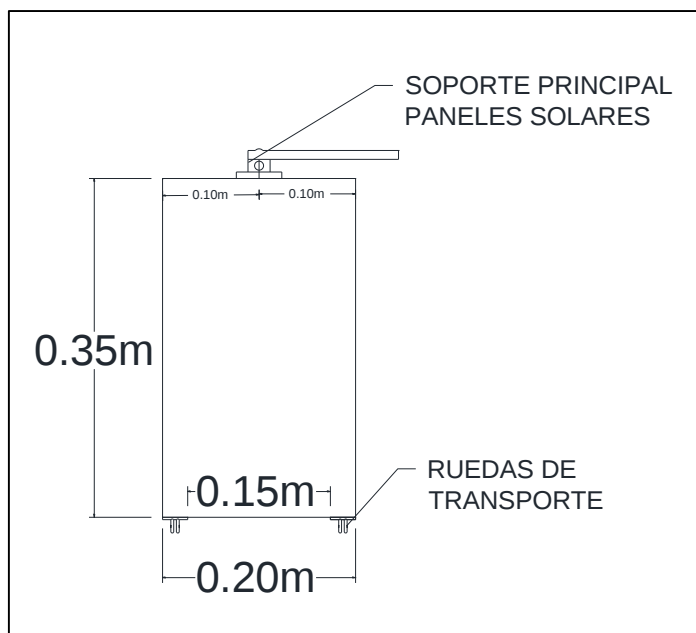
Cuerpo del Sistema



Nota: Vista Frontal Cuerpo del Sistema Planta de Tratamiento de Energía Fotovoltaica (Elaboración propia)

Imagen 42

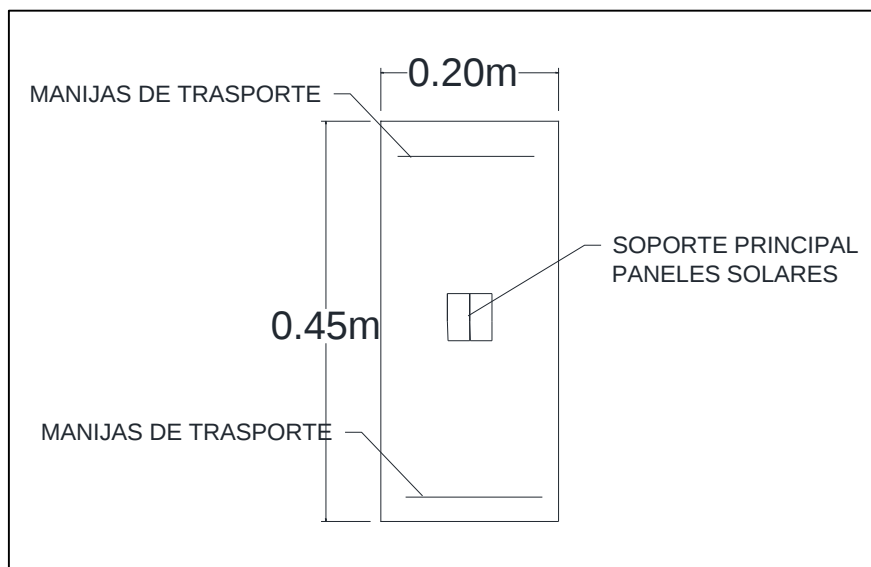
Cuerpo del sistema.



Nota: Vista Lateral Cuerpo del Sistema Planta de Tratamiento de Energía Fotovoltaica (Elaboración propia)

Imagen 43

Cuerpo del Sistema



Nota: Vista en planta cuerpo del sistema planta de tratamiento de energía fotovoltaica (Elaboración propia)

Teniendo en cuenta los criterios para la construcción de la planta de energía fotovoltaica y procurando mantener todos los componentes reunidos en un mismo módulo facilitando el mantenimiento de la planta fotovoltaica si lo requiere, haciendo que nuestro sistema sea compacto y no tengamos longitudes de cable muy largas y de esta manera evitar algún tipo de pérdida de voltaje o tensión, además nos brinda la ventaja de aislar sus componentes eléctricos de algún contacto con el agua para que la persona encargada del funcionamiento no corra ningún riesgo eléctrico. Para el cuerpo del sistema se utiliza un rack de dimensiones ver imagen No .41,42 Y 43 las cuales contienen sus diferentes vistas, este rack nos facilita que la planta de energía fotovoltaica pueda ser transportada a cualquier lugar sin ningún problema, que los elementos que la componen no corran ningún tipo de daño por manipulación de personas diferentes a las que realizan el tratamiento, y aprovechar en mayor medida el espacio disponible para que la planta de energía fotovoltaica no vaya a entorpecer ninguna actividad que se realice o espacio que se necesite en el laboratorio.

9.6. Cableado:

El cableado utilizado para las conexiones dentro del sistema tiene que tener en cuenta las condiciones de cada tramo, es decir la tensión y la intensidad presente en la planta de energía fotovoltaica, para este caso en particular se utiliza cableado AWN de calibre 14-12, este cable es comúnmente usado para extensiones de bajo consumo, para realizar conexiones internas de equipos electrodomésticos y cableados en iluminación, son cables fabricados en cobre estañado que presentan un aislamiento de policloruro de vinilo retardante de incendios.

Para la conexión entre paneles se usan conectores C4 hembra y macho, estos permiten la conexión entre sí de diferentes unidades de paneles, su uso es totalmente sencillo no requiere ninguna herramienta extra para su conexión se puede realizar únicamente utilizando la mano.

Imagen 44

Conexiones.



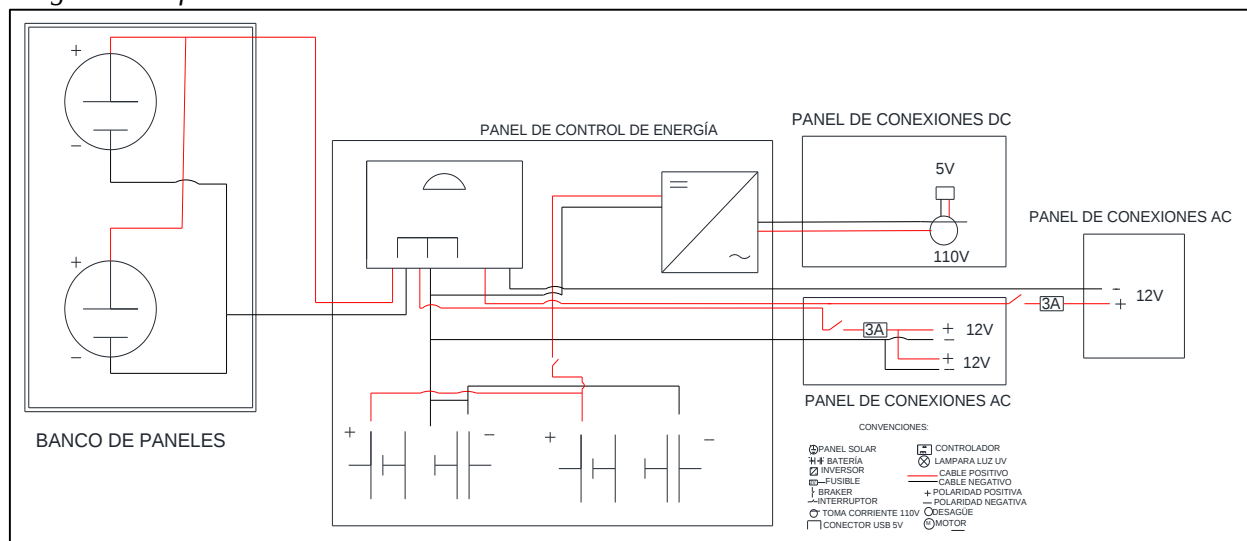
Nota: conectores C4 macho y hembra para las conexiones entre módulos solares tomado de CCEEA (2020).

Después de realizar el dimensionamiento de cada uno de los componentes de la planta de energía fotovoltaica se realiza el diagrama unifilar de esta en el cual se representa por medio de trazos cada uno de los componentes presentes en el sistema y la manera en que se encuentra conectado para su funcionamiento.

9.7. Componentes de la planta de energía fotovoltaica:

- 1 Rack como cuerpo del sistema
- 1 controlador PWN
- 1 inversor de 150w
- 2 baterías de gel (12v/38Ah/10h)
- 1 Braker o pin de corte principal
- 2 paneles solares policristalinos de 30 watts de potencia
- Conexiones de cable.

Imagen 45
Diagrama Unifilar.



Nota: Diagrama Conexiones Planta de Energía Fotovoltaica (Elaboración propia).

Como se puede ver en la imagen No.45 donde se representa gráficamente la manera en la que estarán dispuestas las conexiones para el funcionamiento de la planta, este diagrama se encuentra agrupado de izquierda a derecha en tres zonas importantes que se describen a continuación:

9.7.1. Zona banco de paneles:

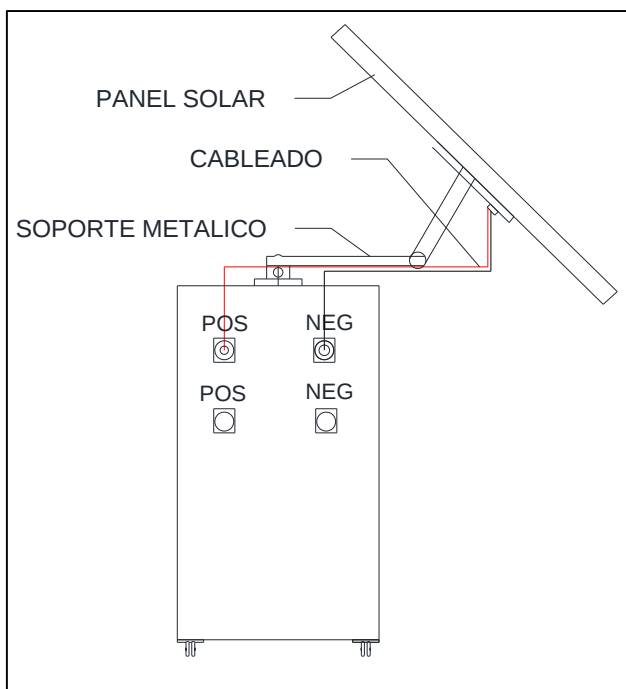
Esta primera zona se encarga de la captación de energía procedente de la radiación solar y convertirla en energía eléctrica para ser transportada hacia los diferentes elementos de la planta de energía fotovoltaica, esta zona la componen dos paneles solares policristalinos con dimensiones (67.4cmx38.8cmx2.5cm) conectados en serie con capacidad de producir 68 W/h cada uno, se usan paneles policristalinos debido a que son paneles los cuales con sus características una vez realizado el diseño cumplen satisfactoriamente la demanda de energía necesaria para los elementos que realizan el tratamiento, en términos económicos su valor se ajusta a los requerimientos del presupuesto del proyecto, en términos de rendimiento bajo las condiciones climáticas presentes en la ciudad de Tunja

y sus características presentan un rendimiento entre el 14 y el 16%, esta eficiencia eléctrica que es expresada en porcentaje se resume en la capacidad que tiene un panel fotovoltaico para convertir la luz solar en electricidad, su comportamiento en temperaturas bajas es mucho mejor comparado con los diferentes tipos de paneles existentes pues presenta una vida útil mayor.

Los paneles solares que serán utilizados en la realización de este proyecto estarán dispuestos en un soporte que cuenta con una bisagra que permite que sean plegables y se puedan mover de un lugar a otro sin que las unidades puedan presentar algún tipo de daño. El banco de paneles estará anclado al cuerpo de sistema mediante un soporte que permite variar la inclinación y posición de los paneles por si se desea o se requiere la captación de radiación solar en diferentes condiciones, este soporte presenta la capacidad de anclar y desanclar sin ningún tipo de inconveniente los paneles de manera sencilla.

Imagen 46

zona Banco de Paneles.



Nota: Detalle anclaje panel solar cuerpo del sistema (Elaboración propia)

9.7.2. Zona panel de control de energía:

Esta segunda zona está compuesta por los elementos que tienen la función de controlar, almacenar y disponer para el consumo toda la energía eléctrica que es producida por las unidades fotovoltaicas, como primer elemento se encuentra el controlador “PWN “ el cual tiene la función de regular la intensidad y tensión producida por los módulos fotovoltaicos procurando sea la adecuada para asegurar la carga optima de las baterías, en este caso para la realización de este proyecto el sistema de paneles solares proporcionan 12V de voltaje a lo largo de toda la unidad fotovoltaica. como su nombre lo indica este componente se encarga del control de los valores de carga y valores permitidos de profundidad de descarga de las baterías (50%) protegiendo así la vida útil de las misma.

El sistema cuenta con 2 baterías de gel de 35Ah, con un peso aproximado de 12 kg cada una conectadas en serie para el almacenamiento de toda la energía producida por los paneles solares, cumple

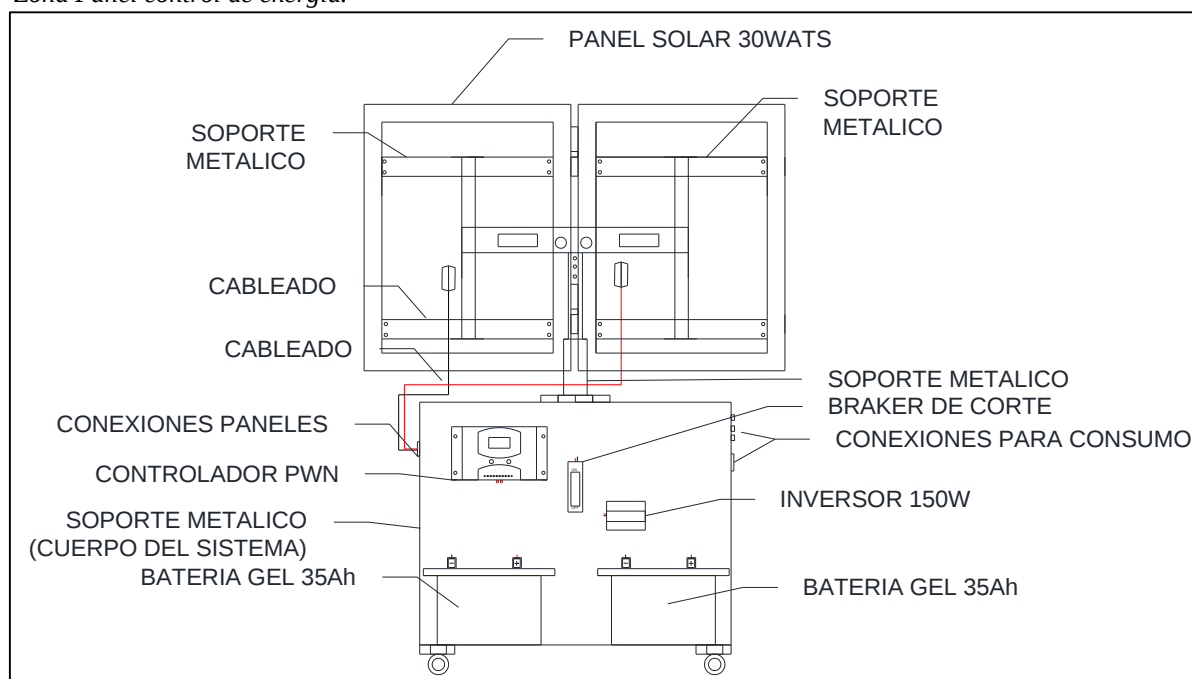
la función de abastecer de energía el sistema en las horas de autonomía que presenta la unidad de energía fotovoltaica, es decir en las horas de la noche o en los momentos en los cuales los paneles solares no presentan incidencia de sol para garantizar un suministro de energía estas baterías ponen a disposición toda esa energía almacenada dentro de ellas.

Después de realizar los diferentes cálculos para determinar la energía producida por el sistema es evidente que la energía producida por los paneles cumple correctamente y excede esa demanda de energía, en vista del aprovechamiento total de esa energía sabiendo que la planta puede ser transportada a diferentes lugares y además, será un apoyo para la academia se conecta a el sistema un inversor de 150w el cual tiene la capacidad de convertir corriente continua 12V(AC) que producen los paneles a corriente alterna(DC) de 110V y tener la capacidad de conectar otro dispositivo sea la carga de un computador o la carga de un celular sin interferir de ninguna manera el óptimo funcionamiento de la planta .

Para la seguridad de la planta de energía fotovoltaica, el sistema cuenta con la instalación de un braker de corte principal de 16A, este es un elemento de protección para evitar sobrecargas de energía, es decir en el momento que el sistema presente acumulación de energía excesiva el braker cortara el circuito suspendiendo tanto la producción como el suministro de energía hasta permitir que el operario de la unidad fotovoltaica solucione el problema.

Imagen 47

Zona Panel control de energía.



Nota: Zona Panel de Control de Energía Dispuestas Dentro del Cuerpo del Sistema (Elaboración propia)

9.7.3.Zona panel de conexiones:

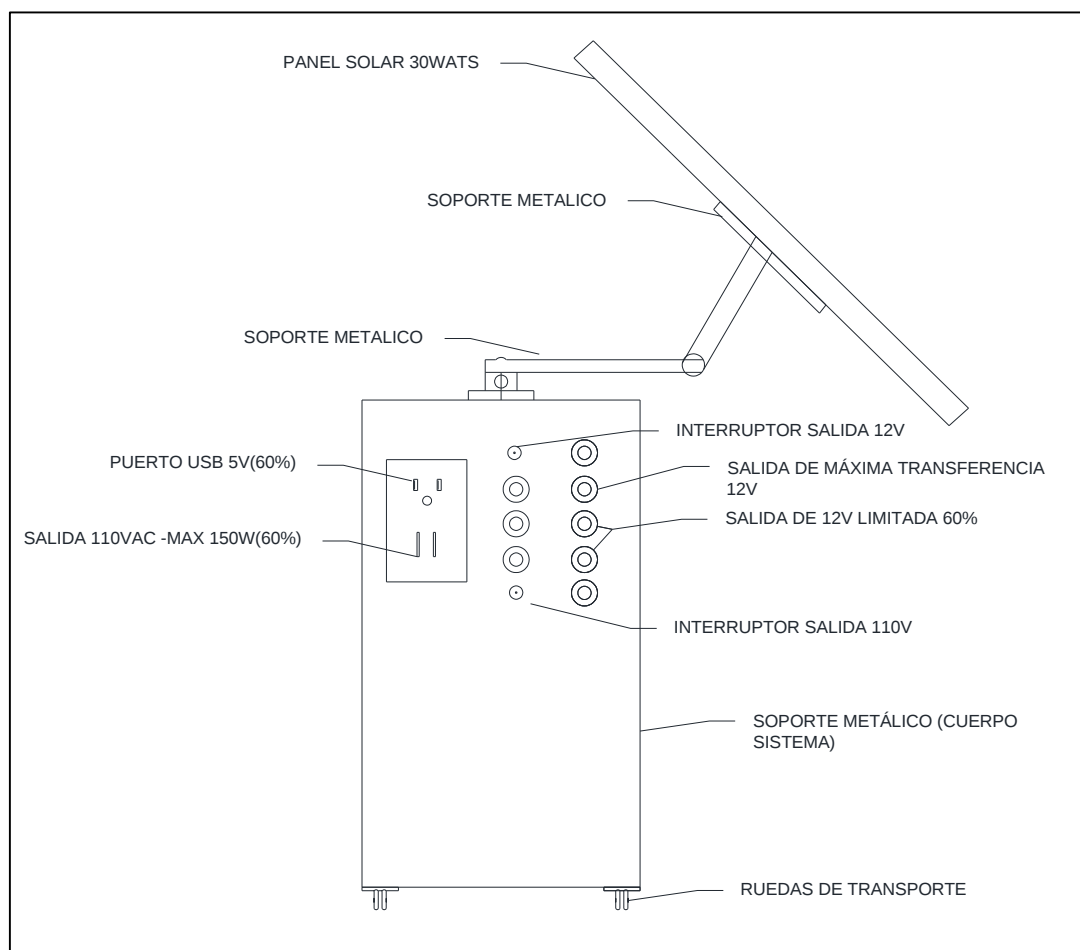
Esta es la zona encargada de la disposición de energía producida y almacenada a lo largo de la unidad fotovoltaica para el consumo eléctrico de los elementos utilizados para el tratamiento, esta zona de conexiones se compone de dos alternativas de consumo disponibles, está compuesta de tres posibles conexiones de corriente continua una conexión de máxima transferencia de 12 voltios que permite el consumo hasta el 50% de la capacidad de las baterías, y dos más adicionales que presentan la descarga hasta una profundidad máxima de 60% de capacidad de baterías .

Con la instalación del inversor se cuenta con una zona de consumo de corriente alterna de 110v y 5V, esta zona igualmente permite el consumo de energía de las baterías hasta el 60 %, la limitación de consumo de batería de las diferentes zonas de consumo radica en la mayor conservación de la vida útil de las baterías y de asegurar un funcionamiento óptimo de las mismas.

Para esta zona de consumo se cuenta con dos elementos de protección, se cuenta con la instalación de dos fusibles de 3A en caso de que la corriente exceda sus valores permitidos y pueda dañar alguno de los elementos que se encuentren conectados a la unidad de energía fotovoltaica, este elemento cortara el circuito y detendrá el suministro de energía hasta que el operario pueda solucionar el sistema.

Imagen 48

Zona Panel de Conexiones.



Nota: Esquema Zona de Conexiones para Consumo (Elaboración propia)

10. PROCESOS DE TRATAMIENTO ABASTECIDOS CON ENERGIA SOLAR.

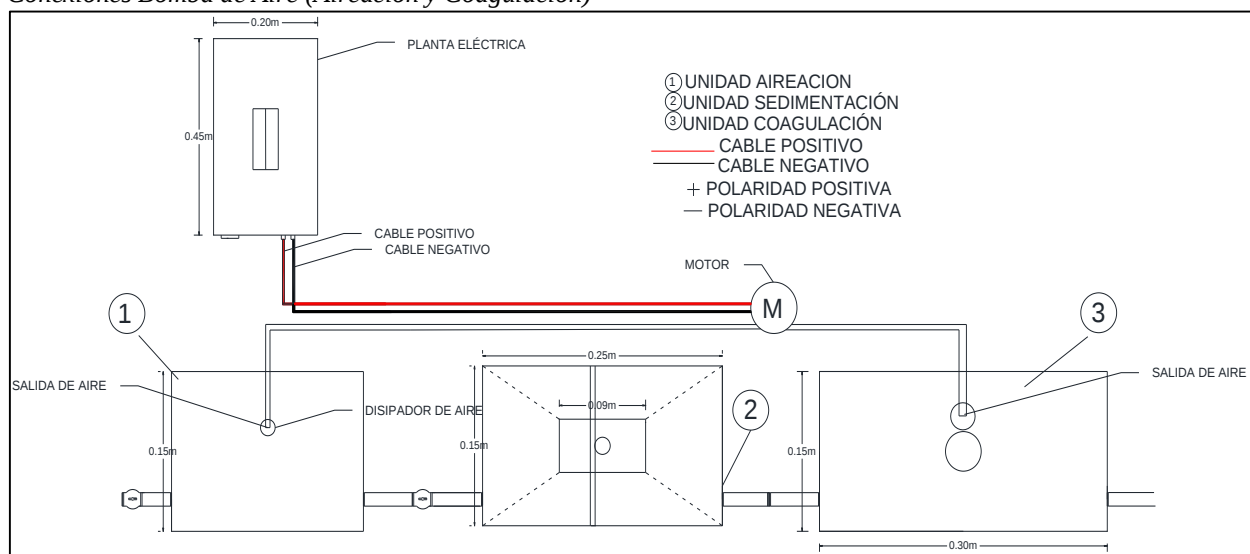
10.1. Aireación y Coagulación:

La unidad de aireación y coagulación contarán con el uso de un motor (bomba de aire) de 9w de potencia el cual estará conectado a la planta de energía fotovoltaica, en el proceso de aireación se llevará a cabo mediante el uso de uno de los ductos de salida de aire que llevará a cabo la infusión de aire en la mayor medida posible al agua mientras realice su paso por el tanque. En este proceso se busca la mayor infusión de aire al agua para aumentar los niveles de oxígeno y disminuir los valores de CO_2 presentes en el agua que se encuentra en tratamiento.

Para la unidad de coagulación se utiliza la segunda salida de aire presente en el motor (bomba de aire), este elemento durante el proceso suministra aire dentro del tanque para crear turbulencia en el agua, creando una mezcla homogénea representando un proceso de mezcla rápida por parte del agua que se encuentra en tratamiento y del componente químico usado para este proceso en este caso en particular policloruro de aluminio.

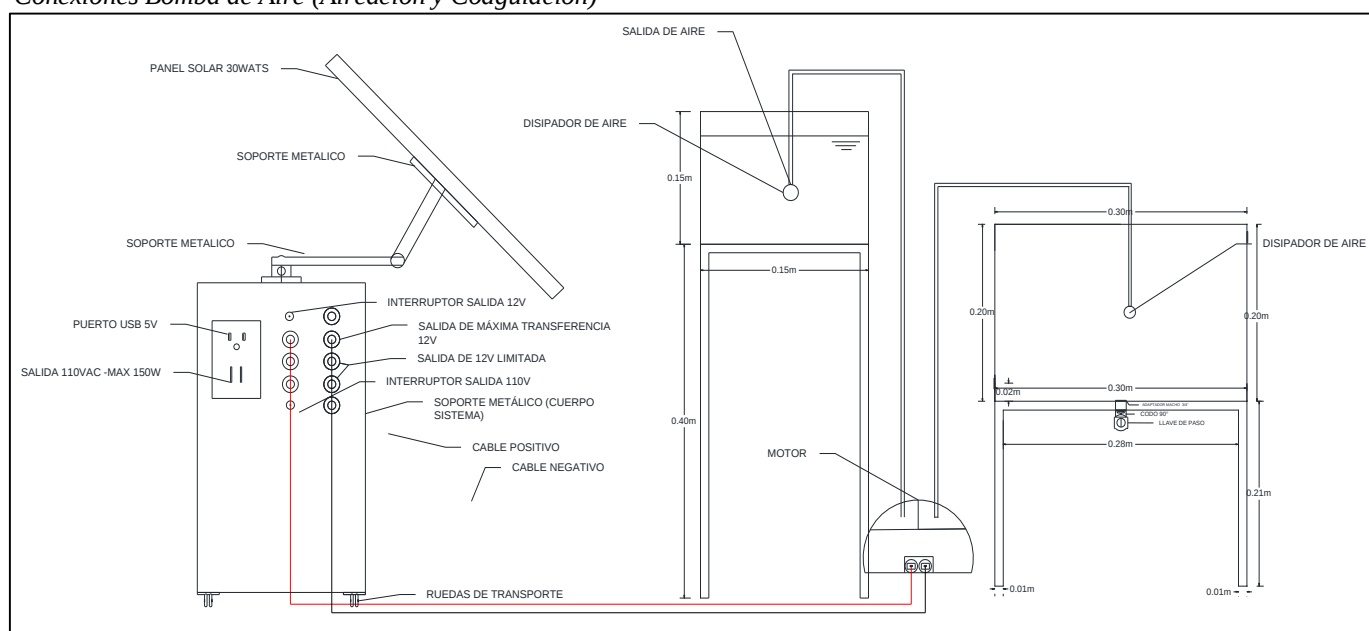
Se aprovecha la energía eléctrica producida por la planta fotovoltaica para el uso de estos mecanismos para el proceso de tratamiento pues comúnmente no son usados debido a que los elementos usados en estos procesos demandan una gran cantidad de energía, aumentando los costos de operación y siendo no viables, tener la posibilidad de contar con esta planta de suministro de energía es altamente positivo para de esta manera experimentar el uso de tratamientos poco convencionales para el agua.

Imagen 49
Conexiones Bomba de Aire (Aireación y Coagulación)



Nota: Vista en planta conexiones aireación y coagulación (Elaboración propia)

Imagen 50
Conexiones Bomba de Aire (Aireación y Coagulación)



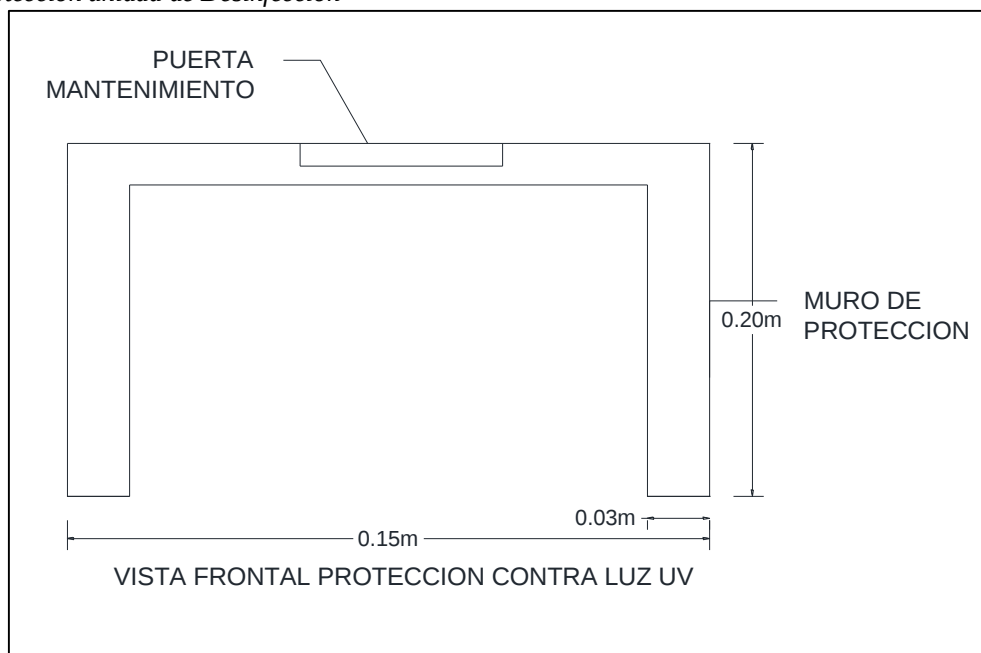
Nota: conexiones aireación y coagulación (Elaboración propia)

10.2. Desinfección:

Con el proposito de aprovechar de la mayor forma posible la energia suministrada por la planta electrica, e incentivar la investigacion con los equipos contruidos para este proyecto se pretende realizar la desinfeccion del agua para la planta utilizando lamparas de luz ultravioleta (UV), Esto evitando en mayor forma los residuos de cloro del tratamiento de desinfeccion comunmente usado, y con animo de probar un novedoso sistema de desinfeccion, al ser utilizadas las lamparas UV para el tratamietno sabiendo que la incidencia de esta luz sin elementos de proteccion puede ser perjudicial par las personas, se diseña una estructura de color oscuro en la cual la unidad de desinfeccion estara aislada, protegiendo de esta manera las personas que esten realizando la prueba.

Imagen 51

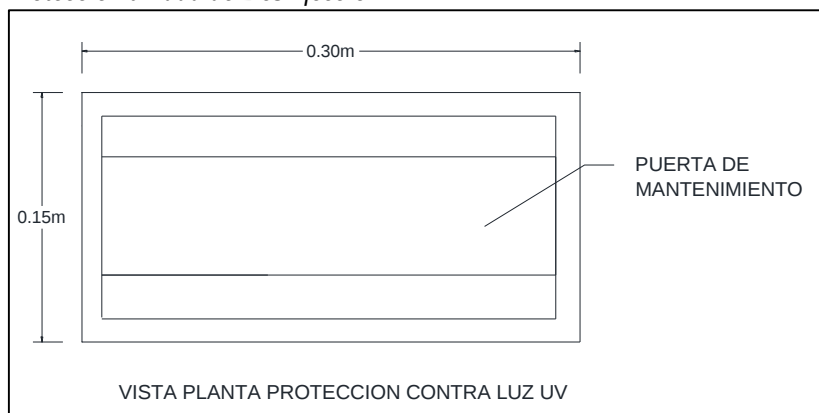
Protección unidad de Desinfección



Nota: Esquema de cubierta de protección (Elaboración propia)

Imagen 52

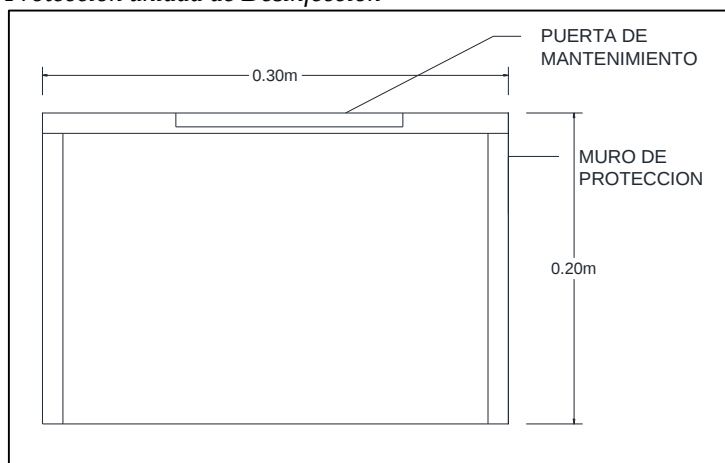
Protección unidad de Desinfección



Nota: Vista en planta protección luz UV (Elaboración propia)

Imagen 53

Protección unidad de Desinfección



Nota: Vista perfil protección luz UV (Elaboración propia)

La desinfección por luz ultravioleta consiste en hacer incidir sobre el agua rayos de luz UV esta luz es considerada germicida ya que al hacerla incidir en el agua puede inactivar microorganismos que se encuentre en el agua, cuando se produce la incidencia de luz en el agua por indefinidos periodos de tiempo los microorganismos presentes tienen a volverse incapaces de reproducirse e infectar el líquido en el que están.

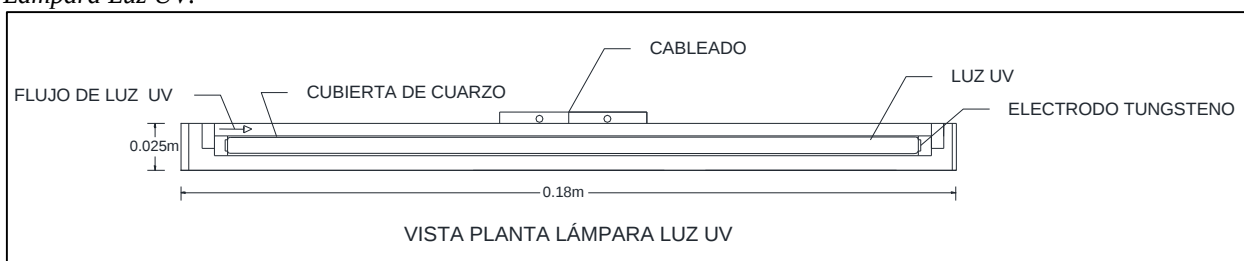
No se tiene concretamente el dato exacto de la dosis minima de irradiacion luz UV requerida para la inactivacion de los microorganismos presentes en el agua, esto debido a que las cantidades minimas de luz UV varian dependiendo las características del suministro de agua a la que se le va a realizar el tratamiento.

Diferentes investigadores y agencias que se han visto involucradas en el proceso de desinfeccion mediante el uso de luz UV afirman que el rango germicida de longitud de onda necesaria se encuentra entre 240 y 280 nm (nanometros) , y la dosificacion de luz uv requerida para la inactivacion de organismo varia entre $6000 \mu Ws/cm^2$ y $10000 \mu Ws/cm^2$.

El uso de este metodo de desinfeccion esta pensado en beneficiar de mayor manera el tratamiento ya que la luz UV puede inactivar microorganismos que son resistentes al cloro, ademas de eso disminuir notablemente los residuos de cloro en el agua tratada .

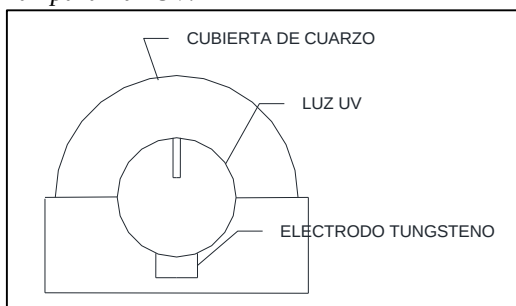
El sistema de luz UV debe diseñarse para insidir una cantida de luz suficiente por determinado tiempo para que el daño a los microorganismos sea el suficiente y estos no puedan causar ningun daño al agua y al consumidor de esta.

Imagen 54
Lámpara Luz UV.



Nota: Esquema Componentes lámpara luz UV (Elaboración propia)

Imagen 55
Lámpara Luz UV.



Nota: Esquema Componentes lámpara luz UV (Elaboración propia)

10.2.1. Equipo experimental unidad de desinfección:

Para desarrollar la prueba experimental de la desinfección mediante el uso de luz UV será necesario construir una cámara en la cual se le instalarán 3 lámparas de luz UV con un largo de 30 cm, y 2,5cm de ancho y 7 W de potencia, el contenedor tendrá un volumen de 3 L. las lámparas estarán ubicadas a 10 cm de la zona de incidencia que en este caso serán de 300cm², el contenedor estará aislado pues la incidencia de rayos UV en los ojos sin protección podría traer consecuencias negativas en la persona que este manejando la unidad de tratamiento.

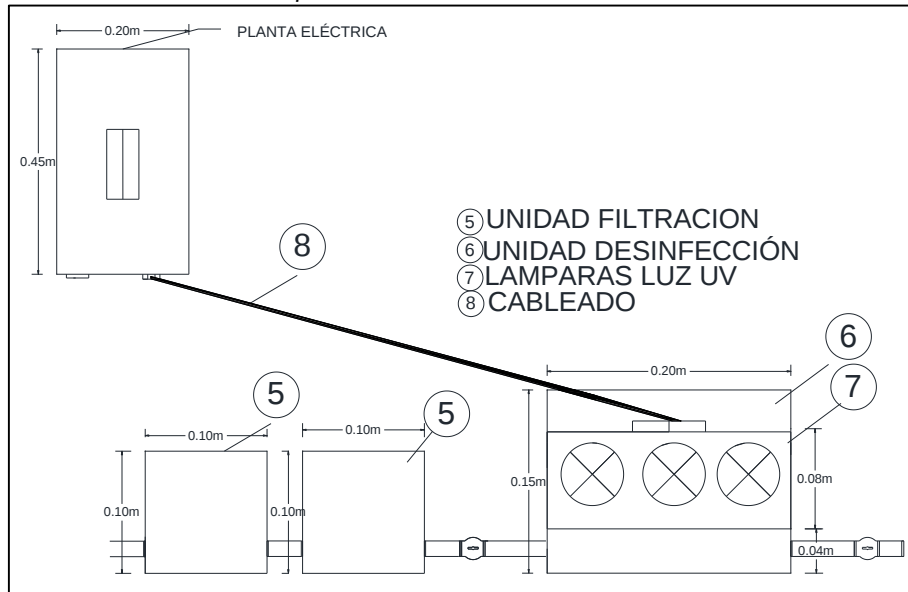
Con la selección de la unidad de desinfección y cada uno de los materiales que la componen lámparas cables etc., tendrán un fácil acceso para su mantenimiento o reparación si fuera necesario, el operario de la unidad tendrá la facilidad de limpiar, revisar, conectar todos los componentes de la unidad de desinfección.

La unidad de desinfección debe realizarse mantenimiento una vez usada, la unidad debe estar limpia y desinfectada antes de su uso. Durante su mantenimiento la cámara debe estar totalmente vacía y la corriente debe estar completamente suspendida.

La utilización de la unidad de energía fotovoltaica para el uso de desinfección mediante luz UV provee una gran ventaja pues esta unidad fotovoltaica garantiza el suministro constante de energía sin

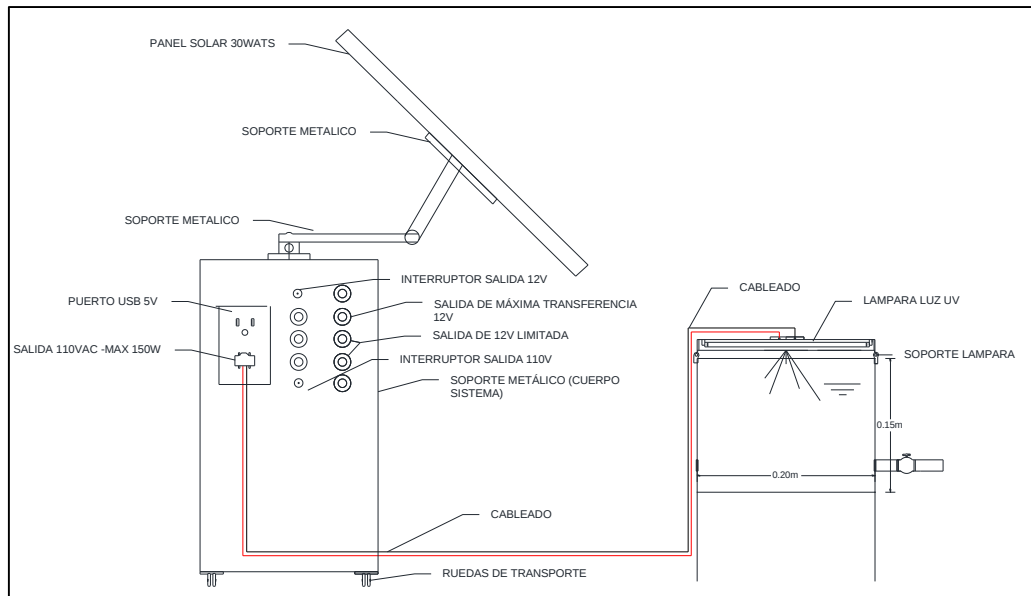
presentar cortes, lo que potencia la experimentación del tratamiento de desinfección por medio de luz UV.

Imagen 56
Conexión unidad de Desinfección.



Nota: Vista Planta Trazado Eléctrica Unidad de Desinfección con Luz UV (Elaboración propia)

Imagen 57

Conexión unidad de Desinfección

Nota: Conexión unidad de desinfección con luz UV (Elaboración propia)

11. CONSTRUCCION DE LA UNIDAD DE TRATAMIENTO.

Después de la selección de las dimensiones de cada uno de los elementos que componen la planta a nivel de laboratorio tanto en su parte hidráulica como es su parte eléctrica se procede a la materialización de cada uno de los procesos de tratamiento, se realiza la elección de los materiales a usar para la construcción de la misma, evaluando los mismos factores tenidos en cuenta para las diferentes estructuras precio, tamaño, facilidad de manejo, es por esto que después de evaluar los diferentes materiales posibles se elige el vidrio como material para elaborar los distintas unidades de tratamiento, esto debido a que la unidad de laboratorio será una herramienta académica el vidrio podrá brindarle esa visibilidad a todos los procesos para que la comunidad estudiantil pueda comprender de manera práctica los diferentes procesos llevados a cabo a la hora de realizar el tratamiento de agua, además el vidrio nos ofrece un buen comportamiento para elaboración de las diferentes formas de las unidades de tratamiento, y es un material reciclable que contribuye 100% a la protección del medio ambiente.

Para la construcción de las unidades de tratamiento se eligen paneles de vidrio de espesor 4mm esto porque nos ofrece un buen equilibrio precio resistencia frente a los otros espesores que existen en el mercado, es de aclarar que la vida útil de la planta está ligada al cuidado que se tenga a la hora de transportarla o de ser limpiada. Los diferentes accesorios que serán necesarios para el funcionamiento de las unidades de tratamiento como los son codos, uniones, válvulas, y la tubería serán de material PVC.

Las diferentes unidades de tratamiento al ser llenadas de agua hasta su capacidad tendrían un elevado peso , tendrán que contar con soportes los cuales cuenten con la capacidad de soportarlos sin ningún problema , es por esto que los para los soportes de las unidades de tratamiento se utilizaran perfiles metálicos , por su gran resistencia, además de eso su forma nos permite que las unidades estén ancladas y no presenten ningún tipo de riesgo de caída al momento de su manipulación , como los soportes son metálicos y es un material que presenta gran conductividad eléctrica , aun cuando no tendrán ningún contacto con los componentes eléctricos para mayor seguridad estarán cubiertos con algún material aislante eléctrico , ya sea caucho o cinta aislante, para de esta manera evitar en mayor manera cualquier riesgo para los estudiantes que estén operando planta de tratamiento de agua en el laboratorio .

Para la construcción de la planta eléctrica una vez conocido su consumo y dimensionamiento de cada uno de los elementos que la conforman para abastecer de energía correctamente la planta, se dispone a el ensamble de estos elementos para ello se cuenta con la ayuda de la empresa “Technology solutions Company” la cual brinda soporte en aspectos importantes como el suministro de los diferentes componentes de la planta y el ensamble de estos siguiendo cada uno de los parámetros asignados y mencionados a lo largo del documento por el autor del proyecto.

El producto final de este proyecto será la construcción de un tren de procesos de tratamiento de agua potable a nivel de laboratorio que sirva como herramienta académica y que estará ubicada en el laboratorio de aguas de la facultad de ingeniería ambiental de la Universidad Santo Tomás Seccional Tunja,

este proyecto es un punto de partida para futuras investigaciones en la profundización de las diferentes unidades que componen la planta de tratamiento de aguas a nivel de laboratorio , como en el estudio del uso de energías alternativas para el abastecimiento de energía de los diferentes proyectos que puedan surgir a partir de esta investigación.

Imagen 58
unidad fotovoltaica.



Nota. Equipo final construido Planta solar fotovoltaica (Elaboración propia)

Imagen 59

Unidad fotovoltaica.



Nota: Conexiones Planta Solar Equipo Construido. (Elaboración propia).

12. INVERSION Y FINANCIAMIENTO.

Para el desarrollo de esta investigación se contó con el apoyo financiero por parte de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja para la compra e instalación de los diferentes elementos que componen la planta de energía fotovoltaica.

Tabla 11.

Costo de la construcción del sistema fotovoltaico, datos obtenidos de la factura de compra expedida por la empresa “Technology solutions Company” (2020).

SISTEMA FOTOVOLTAICO						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR SUB	VALOR IVA (19%)	VALOR TOTAL
1	Panel solar fotovoltaico policristalino 30W 12V	8	\$ 82,160	\$ 82,160	Exento	\$ 657,280
2	Controlador PWM 30A	1	\$ 104,875	\$ 104,875	Exento	\$ 104,875
3	Baterías Gel 35AH 12V	2	\$ 258,440	\$ 516,880	\$ 98,207	\$ 615,087
4	Rack	1	\$ 104,000	\$ 104,000	\$ 19,760	\$ 123,760
5	Protecciones (Braker ,Dps)	1	\$ 241,800	\$ 241,800	\$ 45,942	\$ 287,742
6	Cable AWG 14-12	20	\$ 3,500	\$ 70,000	\$ 13,300	\$ 83,300
7	Conectores MC4 sencillos	1	\$ 10,000	\$ 10,000	\$ 1,900	\$ 11,900
8	Conectores Y	12	\$ 32,000	\$ 384,000	\$ 72,960	\$ 456,960
9	Borneras y accesorios de instalación	1	\$ 30,000	\$ 30,000	\$ 5,700	\$ 35,700
10	Soporte escualizable para 2 paneles	1	\$ 80,000	\$ 80,000	\$ 15,200	\$ 95,200
11	Instalación	1	\$ 150,000	\$ 150,000	\$ 28,500	\$ 178,500
TOTAL CON IVA						\$ 2.650,304

De igual forma para la construcción y compra de los diferentes elementos que componen la unidad de tratamiento en su parte hidráulica fue financiada con ayuda de los estudiantes de la asignatura

Tratamiento de agua potable de la facultad de ingeniería ambiental del periodo 2019-II y el autor del proyecto.

Tabla 12.

Costos construcción de la planta hidráulica factura de compra. (elaboración propia).

PLANTA HIDRAULICA		
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL
1	Fabricación de 7 unidades de vidrio 4mm	\$ 180,000
2	Fabricación de 7 soportes en ángulo metálico de 3/4	\$ 200,000
3	Registros, uniones , codos , adaptadores de 3/4 "	\$ 82,200
VALOR TOTAL		\$ 462,200

Para la realización del proyecto en su totalidad en la compra de sus componentes tanto en la parte hidráulica como su parte eléctrica se tuvo una inversión de tres millones ciento doce mil quinientos cuatro pesos (\$ 3.112.504). con esta inversión se cumplen los objetivos propuestos en esta investigación y se deja para la universidad un equipo que permite el acercamiento practico de los estudiantes a los diferentes procesos de tratamiento de agua y se pretende que esta investigacion sea un punto de partida para la comunidad académica de la Universidad Santo Tomas Seccional Tunja que quiera aprovechar esta investigación y la construccion de este equipo para realizar distintos proyectos con temas referentes a potabilización de agua y el uso de energías alternativas.

13. PRUEBAS EXPERIMENTALES.

El presente proyecto es de tipo experimental y fue desarrollado en el laboratorio de aguas de la facultad de ingeniería ambiental de la universidad santo tomas seccional Tunja.

Las pruebas realizadas en este proyecto son la validación y verificación del proceso de construcción de la unidad de tratamiento de agua potable a nivel de laboratorio abastecida con energía solar, así mismo al ser una herramienta académica es una guía del proceso que deben realizar los estudiantes para la ejecución de las diferentes simulaciones que ellos puedan hacer con ayuda del prototipo.

Toda la energía usada durante la realización de las pruebas experimentales será suministrada por la planta de energía fotovoltaica.

13.1. Parámetros a tratar:

Principalmente los parámetros a tratar a lo largo de la realización de este proyecto corresponden a la toma de datos de características químicas, físicas y microbiológicas contempladas en el decreto 1575 resolución 2115 de 2007, debido a la situación actual del país y las medidas de aislamiento por el Covid-19 la evaluación de estos parámetros se vio afectada por la dificultad en el desplazamiento hacia el punto de muestreo y la disponibilidad de los equipos por la falta de acceso al laboratorio de aguas de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja, por estas dificultades presentadas únicamente se pudieron evaluar parámetros físicos del agua como turbidez tomadas en dos etapas importantes.

- Datos tomados en el punto de muestreo seleccionado punto de entrada de agua a la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) “Teatinos”.

- Datos tomados al final del proceso de tratamiento en puntos importantes para evidenciar y evaluar el proceso de remoción de partículas en el agua, como lo son la salida del tanque de floculación, y la salida después del proceso de filtración.

Para la realización de este proyecto como se mencionó anteriormente las pruebas experimentales se basaron en parámetros como turbidez que sirven como punto de referencia para verificar el funcionamiento de la unidad de laboratorio, estos inconvenientes presentados no influyen de ninguna manera en el prototipo, es más un incentivo para que los estudiantes con ayuda del equipo ya construido realicen simulaciones de tratamiento con la evaluación de diferentes parámetros que no pudieron ser tomados en cuenta en esta investigación, para de esta manera continuar con las bases y propósitos de la unidad de tratamiento de agua potable .

13.2. Equipos utilizados:

Los instrumentos utilizados para este proyecto fueron inicialmente calibrados antes de su uso mediante las instrucciones contenidas en los diferentes manuales de los elementos

- Turbidímetro.
- Balanza de precisión.
- Test prueba de jarras.

13.3. Agua a tratar:

Como primera medida para la realización de las pruebas experimentales se lleva a cabo la elección del tipo de agua para realizar el tratamiento, se buscan lugares en los cuales se cuente con el volumen de agua suficiente para el muestreo, que el agua que se encuentre en estos sitios no presente grasas o aceites porque se podrían ver afectadas las unidades de tratamiento, además de eso que tuvieran fácil acceso ya que se contarían con un determinado número de muestras a tratar , al ser un

proceso de tratamiento de manera experimental se cuenta con la facilidad de acceder al punto de muestreo elegido ubicado en la entrada de agua de la planta de tratamiento “teatinos” para de esta manera tener un punto de referencia con datos reales con el fin de contrastar el comportamiento de los procesos experimentales llevados a cabo en la unidad de tratamiento en el laboratorio y el proceso de tratamiento de la planta de tratamiento de agua potable “Teatinos”.

13.4. Planta de tratamiento de agua potable “Teatinos”.

La planta de tratamiento de agua potable “Teatinos”, se encuentra localizada con coordenadas $5^{\circ}27'44.94''\text{N}$; $73^{\circ}26'47.19''\text{O}$, en la jurisdicción del municipio de Ventaquemada en la vereda San José del Gacal, departamento de Boyacá, a una altitud de 2976 m.s.n.m y se accede a ella, por medio de una vía sin pavimentar, pero en condiciones óptimas para su llegada a la planta. Contiguo a esta, se encuentra una amplia vegetación y zonas verdes, con predios privados y ocupados por las veredas circundantes al casco urbano del municipio y a la PTAP descrita.

Imagen 60.

Planta de tratamiento “Teatinos”



Nota: Localización planta de tratamiento “Teatinos” tomado de Google Earth (2020).

Imagen 61.
Planta de tratamiento “Teatinos”



Nota: Planta de tratamiento “Teatinos” (Elaboración propia).

Las muestras de agua son tomadas bajo los criterios contenidos en la norma NTC –ISO 5667-3 en la cual se dictan las directrices para la preservación y manejo de muestras, las muestras de agua fueron contenidas en recipientes de plástico de primer uso para que el agua no tenga ningún riesgo de ser mezclada con ninguna clase de sustancia que pueda afectar de alguna manera el tratamiento de esta, cada recipiente contiene alrededor de 10 litros de agua.

Para la realización de las pruebas se efectuó la toma de dos muestras de agua en la entrada de la planta de tratamiento de agua potable “teatinos”, en días diferentes para buscar obtener distintas características iniciales del agua, de la misma forma para buscar un punto de referencia a la hora de la realización de los ensayos en la unidad de tratamiento en el laboratorio los días de toma de muestra se realizó la toma de muestra de agua al final del proceso de tratamiento de la planta “teatinos”, estas muestras fueron tomadas en un punto de muestreo con el que cuenta la planta donde se realiza la respectiva verificación de calidad del agua al finalizar el proceso de potabilización.

Imagen 62
punto de verificación PTAP “Teatinos”



Nota: Punto muestreo para la verificación de la calidad del agua tratada (Elaboración propia).

Tabla 13.

Unidades de turbidez inicial de las muestras (Elaboración propia).

	TURBIDEZ (UNT)	COLOR	OLOR
MUESTRA DIA 1			
ENTRADA PLANTA	47,9	NO ACEPTABLE	ACEPTABLE
"TEATINOS"			
MUESTRA DIA 2			
ENTRADA PLANTA	41,7	NO ACEPTABLE	ACEPTABLE
"TEATINOS"			

Como se evidencia en la tabla No. 13 , como primera medida se toman los valores de turbidez inicial , solo se efectua la toma de este parametro puesto que los dias en los cuales se realizaron las pruebas por los inconvenientes anteriormente mencionados en el documento no se contaba con la disponibilidad del equipo necesario para medir las características iniciales del agua .

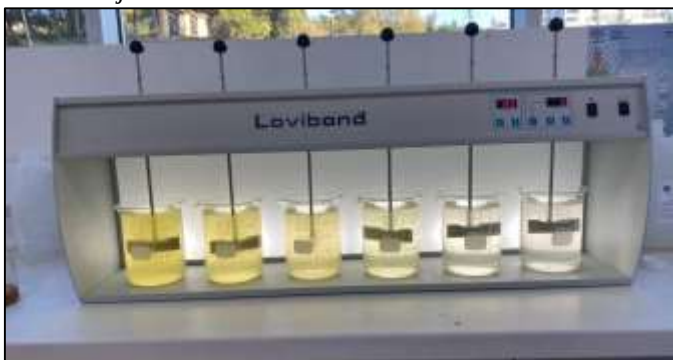
Después de medir las características iniciales del agua, y antes de realizar la prueba de jarras para determinar la cantidad de coagulante optimo que tiene que ser utilizada en el proceso de tratamiento

es necesario corroborar de manera práctica que el caudal que maneja la unidad de tratamiento en el laboratorio sea de 360ml/min, esta verificación del caudal se realiza con ayuda de un vaso de precipitado de 50ml el cual es llenado en lapsos de 10 segundos, en este tiempo el vaso de precipitado debe ser llenado hasta la altura de 6 ml, si la altura en el vaso no corresponde a la indicada se tendría que ajustar el registro que controla el caudal, este está ubicado en la entrada del proceso de aireación hasta tener los resultados correctos, una vez verificado el caudal se procede a realizar la prueba de jarras que se explica a continuación:

13.5. Prueba de jarras:

La prueba de jarras se elabora mediante lo especificado en la NTC 3903 de 20010 colocando en 5 o 6 vasos de precipitado o frascos de boca ancha, en este caso particular se usaron vasos de precipitado de 800ml, en los cuales se adiciona el coagulante en diferentes dosificaciones, el coagulante usado en este proyecto fue el policloruro de aluminio al 20%(PAC), este coagulante fue usado en este proyecto porque además de tener un bajo costo ofrece una mayor velocidad de sedimentación, requiere menores tiempos de mezclado, y tiene una rápida formación de floc, una vez llenados los vasos de precipitado con el agua de las muestras se le adiciona la dosificación del coagulante mientras se agita fuertemente con una frecuencia de 100 rpm durante un periodo de tiempo de 1-3 min, luego de esto se disminuye la frecuencia a 30-60 rpm dejando la mezcla en agitación lenta durante un periodo de tiempo aproximado de 5 a 15 min , durante esta etapa se puede apreciar el tamaño del floc formado en cada vaso y para de esta manera seleccionar la cantidad optima de coagulante a usar durante el tratamiento.

*Imagen 63
Prueba de jarras.*



Nota: Elaboración del Test de Jarras las muestras tomadas (Elaboración propia)

Este ensayo tiene como propósito el simular las condiciones en las cuales el agua se comportará durante el proceso de coagulación y floculación y de la misma manera en que tiempo se sedimentarán las partículas presentes en el agua. Este ensayo es usado para diseñar plantas de tratamiento de agua potable, y para determinar por medio experimental las dosis optimas de los diferentes insumos químicos que pueden aplicarse en una planta de tratamiento común.

Cabe recalcar que la práctica del ensayo de jarra es una práctica de manera experimental y depende de gran manera del criterio de quien realice los ensayos.

Para determinar la dosis optima de coagulante a usar se eligen aquellos vasos en los cuales el floc se formó de forma compacta, y que visiblemente se pueda ver un coagulo compacto, una vez seleccionado los vasos seleccionados aparentemente con las mejores características visibles, se dispone a tomar los valores de turbiedad que presenten esos vasos y depende a eso con el valor más bajo determinar la dosis optima de coagulante.

La clasificación visual para clasificar cada vaso según la formación de floc fue:

- Alta
- Media
- Baja

- No forma

La prueba de jarras fue realizada a cada una de las muestras tomadas para la realización de este proyecto, como se evidencia a continuación la dosificación de coagulante en la prueba de jarras (policloruro de aluminio) fue adicionada de forma ascendente desde 0,4 mg/l.

Tabla 14.

Prueba de jarras muestra día número uno planta de tratamiento de agua potable “Teatinos” (Elaboración propia).

PRUEBA DE JARRAS MUESTRA DIA 1 PTAP “TEATINOS”

Jarra	Volumen vaso(ml)	Dosificación de coagulante (mg/l)	Tiempo (min)	Rpm	Formación de floc	Clarificación visual	Turbidez inicial	Turbidez final
1	800	0,4	30	100-40	BAJA	NO	47,9	N/D
2	800	0,6	30	100-40	MEDIA	NO	47,9	N/D
3	800	0,8	30	100-40	ALTA	SI	47,9	3,1
4	800	1	30	100-40	ALTA	SI	47,9	3,7
5	800	1,2	30	100-40	ALTA	SI	47,9	3,3
6	800	1,4	30	100-40	ALTA	SI	47,9	3,5

Tabla 15.

Prueba de jarras muestra día número dos plantas de tratamiento de agua potable “Teatinos” (Elaboración propia).

PRUEBA DE JARRAS MUESTRA DIA 2 PTAP “TEATINOS”

Jarra	Volumen vaso(ml)	Dosificación de coagulante (mg/l)	Tiempo (min)	Rpm	Formación de floc	Clarificación visual	Turbidez inicial	Turbidez final
1	800	0,4	30	100-40	BAJA	NO	41,7	N/D
2	800	0,6	30	100-40	MEDIA	NO	41,7	N/D
3	800	0,8	30	100-40	ALTA	SI	41,7	3,1
4	800	1	30	100-40	ALTA	SI	41,7	3,5
5	800	1,2	30	100-40	ALTA	SI	41,7	3,7
6	800	1,4	30	100-40	ALTA	SI	41,7	3,9

Con los resultados obtenidos durante los ensayos de test de jarras de las muestras vease tabla No. 14 y tabla No. 15, después de analizar los resultados tanto cualitativamente como cuantitativamente, teniendo en cuenta que las dosificaciones de 0,8 mg/l y 1,0mg/l, presentan disminución de valores de turbidez, y que todas las dosificaciones presentan formación de floc alta, al tener resultados similares se determina optar por la utilización de la dosificación mas baja para disminuir los costos de operación y además de eso por que presentan los valores mas bajos de turbidez final luego de realizado el proceso.

Después de determinar en cada muestra la dosis optima de coagulante se procede a realizar el tratamiento de agua en cada una de las unidades que componen la planta a nivel de laboratorio, de igual manera se dispone a verificar el caudal de la planta 360ml/min , este caudal se verifica de manera practica como se indico anteriormente en el documento, este caudal se dispone justo antes de la entrada de la unidad de aireación para que este caudal sea constante a lo largo del tratamiento de agua.

13.6. Aireación:

El proceso de aireación se lleva a cabo en un recipiente rectangular , que cuenta con un volumen de 3L, en el cual el agua durante un tiempo aproximado de 8,5 min que es el tiempo que dura el agua en su paso por el tanque , se le añade oxígeno por medio de un motor difusor, luego de este proceso el agua sigue su flujo constante hacia el tanque sedimentador, el tanque de aireación compone la primera unidad de tratamiento usada en este proyecto.

Imagen 64
unidad de Aireación construida.

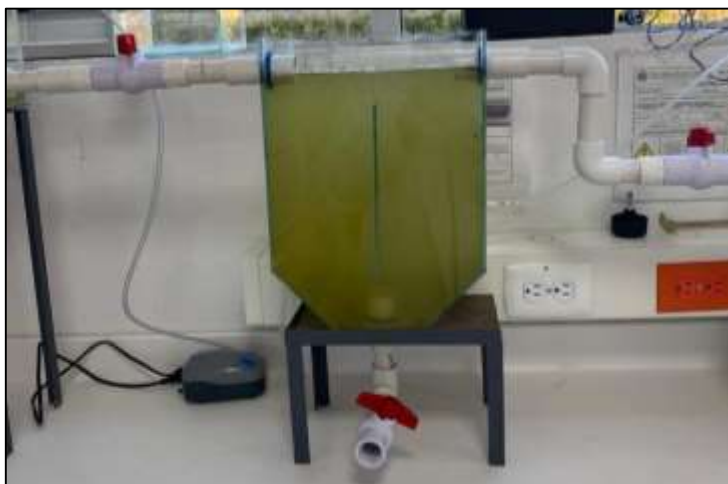


Nota: Simulación de pruebas de tratamiento Unidad de aireación (Elaboración propia)

13.7. Sedimentador:

Luego del proceso de aireación el agua sigue su curso hacia el proceso de sedimentación , este proceso lo compone un sedimentador de 7,5L de fondo conico en el cual el agua sigue su curso a lo largo de la unidad pasando por las diferentes etapas de sedimentacion , en este curso de agua las particulas contenidas en el agua que presenten un tamaño y densidad mayor que el agua por accion de la gravedad se separaran del liquido y estaran dispuestas en el fondo de la unidad en la zona de lodos .

*Imagen 65.
Unidad de Sedimentación Construida.*



Nota Simulaciones de tratamiento en Unidad de sedimentación (Elaboración propia)

13.8. Coagulación:

Después del proceso de sedimentación el agua sigue su curso con un caudal constante (360ml/min) hacia el tanque de coagulación , un recipiente de forma rectangular con un volumen de 6,7L, en este proceso se llevara a cabo la adición del coagulante que en este caso fue el policloruro de aluminio (PAC) , para realizar la mezcla rápida agua-coagulante se dispone de un difusor de aire el cual genera una turbulencia en el agua que genera que el compuesto químico se mezcle de manera uniforme con el agua . cabe recalcar que este difusor de aire cuenta con variaciones de velocidad, esto para controlar en mayor medida la concentración de aire, que este motor suministre la velocidad necesaria para realizar la mezcla y que no sea tan alta pues puede evitar la formación de floc en el proceso, la adición del coagulante se realizó manualmente de forma continua durante el tratamiento.

Tabla 16.

Dosis optimas de coagulante (Elaboración propia)

	DOSIS COAGULANTE (MG/L)
Muestra día 1 entrada planta "TEATINOS"	0,8
Muestra día 2 entrada planta "TEATINOS"	0,8

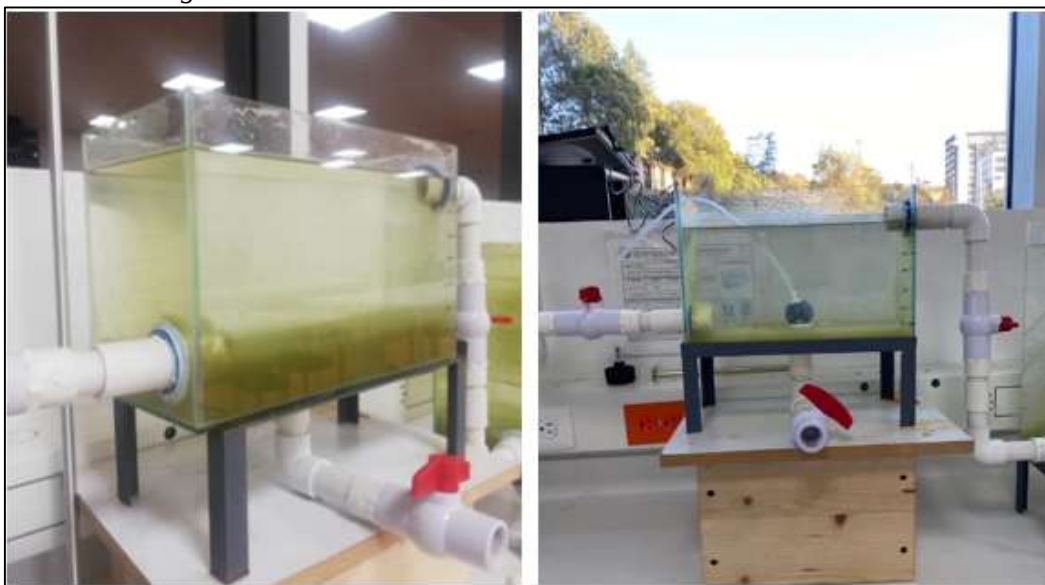
En la tabla No. 16 se puede observar las dosis de coagulante optimas obtenidas después de la realización de la prueba de jarras a las diferentes muestras de agua, el proceso de dosificación se realizó de forma manual aplicándole policloruro de aluminio a las diferentes muestras de agua cada minuto. Este proceso de adición de coagulante se realiza cada minuto para asegurar que el agua y el coagulante por medio del difusor de aire presenten una mezcla homogénea, y tengan el tiempo necesario durante el proceso para la formación de floc.

Tabla 17.

Dosis de coagulante aplicadas proceso coagulación (Elaboración propia)

	DOSIS COAGULANTE (MG/L)	DOSIS COAGULANTE (MG/L) APLICADA EN 1 MIN
Muestra día 1 entrada planta "TEATINOS"	0,8	0,36
Muestra día 2 entrada planta "TEATINOS"	0,8	0,36

*Imagen 66.
Unidad de Coagulación Construida.*



Nota: Simulaciones de Tratamiento Unidad de coagulación (Elaboración propia).

13.9. Floculación:

Luego de realizar el proceso en la unidad de coagulación, teniendo ya una mezcla homogénea y evidenciando la formación de floc dentro de esa unidad, el agua sigue su curso hacia la unidad de floculación, una unidad con un volumen de 8L de flujo ascendente, de esta manera el floc formado en el proceso anterior se va depositando en la parte inferior de la unidad, para que el agua clarificada siga su curso hacia la salida de la unidad al proceso de filtración, esta unidad cuenta con unas pantallas a lo largo de la unidad con el fin de no permitir la ascensión de las partículas de floc formadas e impedir que lleguen al tanque del proceso de filtración, el proceso de floculación desde la tubería de entrada siguiendo su flujo ascendente hasta llegar a la tubería tiene un tiempo de retención de 22 min.

Imagen 67
Unidad de Floculación Construida.



Nota:

Simulaciones de Tratamiento Unidad de floculación (Elaboración propia).

Una vez que el agua que se encuentra en proceso de tratamiento sigue su curso a lo largo de la unidad de floculación hasta la tubería de salida, se procede a la toma de turbidez para de esta manera tener un valor de comparación frente al agua que entro a la unidad y realizar el análisis de la eficiencia de remoción que tuvo el tratamiento hasta este proceso de floculación.

Tabla 18.

Datos de turbidez tomada al final el proceso de floculación (Elaboración propia)

	TURBIDEZ INICIAL (UNT)	TURBIDEZ SALIDA DEL FLOCULADOR (UNT)
Muestra día 1 entrada planta "TEATINOS"	47,9	3,64
Muestra día 2 entrada planta "TEATINOS"	41,7	3,14

Como se muestra en la tabla No. 18 los datos de turbidez tomados después del proceso de floculación evidencian como el tratamiento del agua es efectivo puesto que los valores de turbidez

aun cuando no se encuentran en el rango permitido por la normativa colombiana el proceso alcanza a disminuir notoriamente la turbidez en las diferentes muestras que fueron sometidas al proceso.

13.10. Filtración:

Después del proceso de floculación el agua entra en la unidad de filtración, esta unidad la componen dos filtros , uno de flujo ascendente y otro de flujo descendente esto con el fin de tener un mejor proceso de filtración , y permitir que el agua con un flujo lento pueda pasar por los diferentes materiales que componen estos y mejorar la calidad de agua en mayor medida, el proceso de filtración en los dos filtros consta de un tiempo de 8 min, luego de este proceso se lleva a cabo la toma de valores de turbidez para determinar hasta este punto el comportamiento de la unidad de laboratorio en la realización del tratamiento.

Imagen 68.

Unidad de Filtración Construida.



Nota: Simulación de Tratamiento Unidad de filtración (Elaboración propia).

Luego de tomados los datos de turbidez al final del proceso se puede evidenciar como los valores de turbidez de las diferentes muestras están por debajo del rango permitido (2 Unt) de acuerdo al decreto 1575 resolución 2115 de 2007.

Tabla 19.

Datos de turbidez tomada al final el proceso de filtración (Elaboración propia).

	TURBIDEZ INICIAL (UNT)	TURBIDEZ SALIDA DEL FLOCULADOR (UNT)	TURBIDEZ SALIDA FILTRACIÓN (UNT)
Muestra día 1 entrada planta "TEATINOS"	47,9	3,64	1,85
Muestra día 2 entrada PLANTA "TEATINOS"	41,7	3,14	1,93

13.11. Desinfección:

Para la realización de la prueba de desinfección se tomó como punto de partida la metodología utilizada por Sánchez, Villalobos, Gutiérrez , Caldera (2011) en el diseño de un sistema de desinfección de luz ultravioleta, es necesario primero determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas que contiene el agua pues de estos dependerá gran manera la determinación del tiempo necesario que tendrá que someterse el agua a la exposición de los rayos para la inactivación de los patógenos que esta pueda contener.

Para esta caracterización se tienen en cuenta parámetros como pH, temperatura, solidos suspendidos totales (SST) Y volátiles (SSV), conductividad, color, demanda química de oxígeno(DBO), oxígeno disuelto(OD) y turbidez que debe presentar valores menores de 2 UNT pues tener valores superiores podrían hacer que la desinfección con rayos UV sea ineficaz pues las partículas presentes podrían impedir que la luz UV penetre en la superficie de incidencia.

Después de obtenidos estos parámetros se realizarán pruebas con diferentes tiempos de exposición, este proceso será repetitivo para determinar el tiempo de dosificación de rayos UV necesario para cada muestra.

(Ecuación 6)

$$\text{dosificación} = \text{intensidad lámparas} \times \text{tiempo de retención}$$

La superficie de incidencia de luz UV para este proyecto será de 300cm^2 y 500cm^2 , la incidencia de luz estará en lapsos de tiempo determinados de 4 , 5 y 6 minutos estos tiempos de acuerdo a la metodología tomada como referencia para la realización de las pruebas, en estos lapsos de tiempo el agua estará sometida a contacto y luego de esto se procederá a determinar los parámetros finales y determinar el porcentaje de remoción de organismos del tratamiento bajo esta expresión.

(Ecuación 7)

$$\% \text{ remoción} = \frac{\text{Coliformes iniciales} - \text{Coliformes finales}}{\text{Coliformes iniciales}} \times 1$$

El caudal presente en esta prueba será el mismo caudal trabajado a lo largo de las diferentes unidades que componen la planta 360ml/min. Estas pruebas prácticas servirán para determinar si el equipo de desinfección es el adecuado para la planta si la potencia manejada por las lámparas es la necesaria para inactivar los organismos que el agua presente además de eso cual superficie es la más adecuada para el tratamiento, y que tiempo es necesario para lograr un mayor porcentaje de remoción de organismos.

Este proceso se beneficia del uso de la energía producida por la planta solar puesto que necesita una fuente de energía constante para su funcionamiento, el uso de la planta solar garantiza el funcionamiento de las lámparas UV durante largos periodos de tiempo sin ningún riesgo de caída de energía, lo cual además de ser beneficioso prácticamente económicamente también es bastante positivo. Pues el uso de estos tratamientos dependiendo de energías comunes traería un gasto significativo lo que haría que los gastos de operación fueran mayores y dejara de ser viable esa opción de tratamiento para la planta.

14. RESULTADOS.

Después de abastecer de energía los diferentes componentes eléctricos de las unidades de tratamiento se evidencia que la planta eléctrica satisface de manera efectiva la demanda energética de todas las unidades de tratamiento, además de eso que puede abastecer la planta de tratamiento con energía por más de 8 horas.

Tras la construcción de la planta de tratamiento de agua potable y la realización de las diferentes pruebas a las muestras de agua y una vez obtenidos diferentes valores de turbidez iniciales y finales, se evalúa el desempeño y el comportamiento de la unidad de tratamiento construida para saber en qué porcentaje son eficientes los procesos de tratamiento presentes en la unidad de laboratorio. y de esta manera realizar la comparación con las muestras tomadas en el punto de verificación de calidad de agua al finalizar el proceso de la planta de tratamiento “Teatinos “.

Esta evaluación se hace mediante la expresión

(Ecuación 8)

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100$$

Siendo:

E= eficiencia de remoción (%)

S_o= carga contaminante de entrada

S= carga contaminante de salida.

Esta evaluación se realiza en dos puntos importantes del tratamiento, uno será en la tubería de salida de la unidad de floculación, y el otro punto de evaluación estará ubicado en la tubería de salida del proceso de filtración.

Tabla 20.

Cálculo porcentaje de remoción tubería de salida del proceso de floculación (Elaboración propia).

	TURBIDEZ INICIAL (UNT)	TURBIDEZ SALIDA FLOCULADOR (UNT)	% REMOCIÓN
Muestra día 1 entrada planta "TEATINOS"	47,9	3,64	92,40
Muestra día 2 entrada planta "TEATINOS"	41,7	3,14	92,47

Como se puede observar en la tabla No. 20 en las diferentes muestras el porcentaje de remoción es de más del 90 % en los dos casos lo que nos indica que la planta hasta la unidad de floculación presenta un buen comportamiento durante el tratamiento del agua, removiéndole la mayor cantidad de partículas presentes en el agua, teniendo en cuenta que el proceso de tratamiento hasta ese punto estaría en el 80 %, es altamente positivo el comportamiento de la planta hasta ese punto, faltando aun el proceso de filtración que removería las partículas faltantes después del proceso de floculación.

Tabla 21.

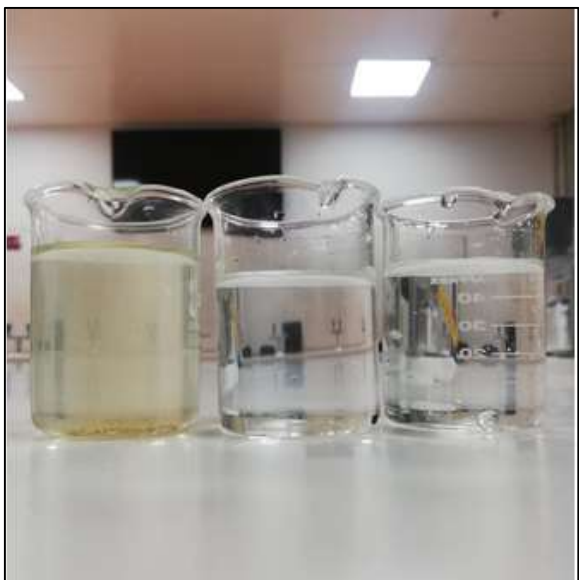
Cálculo porcentaje de remoción tubería de salida del proceso de filtración (Elaboración propia).

	TURBIDEZ INICIAL (UNT)	TURBIDEZ SALIDA FILTRACIÓN (UNT)	% REMOCIÓN
Muestra día 1 entrada planta "TEATINOS"	47,9	1,85	96,14
Muestra día 2 entrada planta "TEATINOS"	41,7	1,93	95,37

Después de realizada la toma de datos en la tubería de salida del proceso de filtración como se evidencia en la tabla No. 20, el porcentaje de remoción en las dos muestras fue de más del 95% lo que nos indica un tratamiento de agua optimo pues los valores de turbidez ya en este punto de la planta aun siendo una herramienta académica están por debajo de los permitidos por la normativa colombiana.

Imagen 69

Agua Tratada.



Nota: Resultado Agua Final Después del Tratamiento Realizado en la Unidad de Laboratorio (Elaboración propia).

Tabla 22.

Cálculo porcentaje de remoción punto de verificación planta de tratamiento “Teatinos” (Elaboración propia).

	TURBIDEZ INICIAL (UNT)	TURBIDEZ SALIDA DE LA PLANTA (UNT)	% REMOCIÓN
Muestra día 1 punto de verificación "TEATINOS"	47,9	1,2	97,49
Muestra día 2 punto de verificación "TEATINOS"	41,7	1	97,60

Como se evidencia en la tabla No 22 en donde se encuentran los valores de turbidez tomados al final del proceso de potabilización realizado por la planta de tratamiento “Teatinos “, el proceso realizado en la planta presenta una eficiencia de remoción de más del 97% esto es altamente positivo cumpliendo así con los estándares de calidad estipulados para el agua potable según la normativa colombiana decreto 1575 resolución 2115 de 2007.

Una vez realizadas las pruebas experimentales para la verificación del funcionamiento de la unidad de tratamiento a nivel de laboratorio, se demuestra que aun siendo una herramienta académica presenta un buen comportamiento en la disminución de valores de turbidez, con una remoción de más del 95%, se realiza la comparación con el tratamiento realizado por la planta “Teatinos”, para tener un punto de referencia hacia los datos obtenidos y contrastar con valores de una planta real con las pruebas realizadas a nivel de laboratorio.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente la planta a nivel de laboratorio en sus porcentajes de remoción varia solo 2% con respecto a la planta de tratamiento “Teatinos”, esto es importante para que los estudiantes con ayuda de los datos obtenidos en la realización de este proyecto, tengan un punto de partida hacia los diferentes ensayos que podrían realizar con la planta, como la caracterización físico, química para potenciar esta investigación y poder tener un proceso de simulación completo, para evaluar si la planta a nivel de laboratorio en un futuro podría tener un tratamiento efectivo cumpliendo los valores exigidos según la normativa colombiana.

Con la realización de las pruebas la unidad de tratamiento construida a nivel de laboratorio demuestra que, si es una herramienta de apoyo para la profundización académica de los distintos procesos que componen la misma, gracias a los materiales en las cuales fue construida los estudiantes tendrán la posibilidad de observar lo que pasa dentro de los diferentes procesos, la formación de floc, el proceso de sedimentación de las partículas, la adición de las correctas dosis de coagulante, los distintos parámetros que pueden influir a la hora del tratamiento, lo que afirma que la realización de este proyecto pone en manos de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja un equipo de laboratorio en el cual los estudiantes pueden tener un acercamiento hacia los diferentes procesos de tratamiento y que se convierta en un incentivo para la investigación de temas referentes al tratamiento de agua.

14.1. Funcionamiento planta de energía fotovoltaica:

Para la evaluación del funcionamiento de la planta eléctrica se tomaron lecturas del voltaje de energía producido por los paneles solares que ingresa al sistema, durante dos semanas que representa el tiempo en el cual se realizaron las diferentes pruebas de tratamiento, estos valores fueron tomados en periodos de tiempo entre las horas comprendidas entre las 8:00 am y 5:00 pm. este proceso de evaluación se realiza para determinar si la planta de energía fotovoltaica es eficiente y presenta un comportamiento óptimo para los requerimientos energéticos para los que fue diseñada.

Tabla 23

Voltaje diario producido en la semana 1 por los paneles entrando al sistema (Elaboración propia)

SEMANA 1					
VOLTAJE DIARIO PRODUCIDO POR LOS PANELES ENTRANDO AL SISTEMA (V)					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
8:00	14	13,2	14,1	13,7	12,1
9:00	14,1	13,5	13,4	12,7	13,1
10:00	13,2	14	13,2	12,9	12
11:00	12,9	12,7	12,5	12,1	14,1
12:00	13,2	13	13,5	13	13,3
13:00	13,5	13,1	13,4	13,4	12,8
14:00	13,7	12,7	12,9	13,7	13
15:00	14,2	13,3	14	13,9	12,7
16:00	13,2	12	12,5	12,5	13,6
17:00	13	12,7	12,1	12,1	12

Tabla 24

Voltaje diario producido en la semana 2 por los paneles entrando al sistema (Elaboración propia)

SEMANA 2					
VOLTAGE DIARIO PRODUCIDO POR LOS PANELES ENTRANDO AL SISTEMA (V)					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
8:00	13	12,7	12,9	13,1	12
9:00	13,6	13	12,8	12,7	12,9
10:00	12,7	13,1	12,9	13,7	13,5
11:00	14	12,7	13,4	12,7	13,6
12:00	14,2	14	12,8	13,5	13
13:00	13,1	12,9	14,1	13,5	13,6
14:00	12,8	13	12,1	13	12,9
15:00	12,9	13,5	13,2	13,5	13,6
16:00	12,2	12,1	13	12,9	12,1
17:00	12	12,4	12	12,5	12,7

En la tabla No.23 y 24 se pueden ver todos los datos obtenidos en las diferentes horas que comprenden las horas de utilidad solar reales presentes en la ubicación de los paneles para a partir de estos datos determinar si es eficiente o no el sistema en ese lapso de tiempo. Con la obtención de estos datos se procede a calcular la potencia producida por los paneles para determinar qué cantidad de energía está produciendo la planta de energía fotovoltaica mediante la expresión:

(Ecuación 9)

$$P=V*I$$

Donde:

P=potencia (watts)

V= voltaje (V)

I=Intensidad(Ah)

Para el cálculo de la potencia fue necesario tener en cuenta cada uno de los valores de voltaje entrante al sistema y el promedio de hora solar pico seleccionado para el diseño de la unidad con esto tenemos que:

Tabla 25.

Potencia diaria producido en la semana 1 por los paneles entrando al sistema (Elaboración propia)

SEMANA 1					
POTENCIA DIARIA PRODUCIDO POR LOS PANELES ENTRANDO AL SISTEMA (W)					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
8:00	70,56	66,528	71,064	69,048	60,984
9:00	71,064	68,04	67,536	64,008	66,024
10:00	66,528	70,56	66,528	65,016	60,48
11:00	65,016	64,008	63	60,984	71,064
12:00	66,528	65,52	68,04	65,52	67,032
13:00	68,04	66,024	67,536	67,536	64,512
14:00	69,048	64,008	65,016	69,048	65,52
15:00	71,568	67,032	70,56	70,056	64,008
16:00	66,528	60,48	63	63	68,544
17:00	65,52	64,008	60,984	60,984	60,48

Tabla 26

Potencia diaria producido en la semana 2 por los paneles entrando al sistema (Elaboración propia)

SEMANA 2					
POTENCIA DIARIA PRODUCIDO POR LOS PANELES ENTRANDO AL SISTEMA (w)					
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
8:00	65,52	64,008	65,016	66,024	60,48
9:00	68,544	65,52	64,512	64,008	65,016
10:00	64,008	66,024	65,016	69,048	68,04
11:00	70,56	64,008	67,536	64,008	68,544
12:00	71,568	70,56	64,512	68,04	65,52
13:00	66,024	65,016	71,064	68,04	68,544
14:00	64,512	65,52	60,984	65,52	65,016
15:00	65,016	68,04	66,528	68,04	68,544
16:00	61,488	60,984	65,52	65,016	60,984
17:00	60,48	62,496	60,48	63	64,008

Después de realizar los cálculos de potencia producida por los paneles en los periodos de estudio, se evidencia que el comportamiento de la planta es altamente positivo, presenta un funcionamiento

óptimo a lo largo del día, garantizando así los valores de potencia y corriente para el correcto funcionamiento del sistema y para el correcto sistema de cargado de baterías.

El uso de la energía producida por la planta solar diseñada y construida para este proyecto nos permite la posibilidad de tratar agua durante más de 12 horas garantizando todos sus procesos de tratamiento con todos sus componentes , sin necesidad de estar cargándose las baterías, la planta cuenta con ese periodo de autonomía para el descargue de las baterías hasta el 50%, esto beneficia de gran la unidad de laboratorio en general pues cuenta con un amplio tiempo de tratamiento sin necesidad de depender de ninguna fuente de energía alterna.

Después de la realización de las diferentes pruebas se evidencia como la planta de tratamiento presenta un óptimo desempeño en el tratamiento de agua, un mecanismo que funcione y permita de forma práctica observar en el laboratorio la simulación a menor escala de los procesos realizados en una planta de tratamiento, además de eso que permita el aprovechamiento de la energía solar para su funcionamiento y el de sus diferentes procesos.

Con la realización de las pruebas prácticas se verifica que la planta en su totalidad funciona como una unidad, poniendo en funcionamiento en conjunto sus dos pilares fundamentales cumpliendo el objetivo de esta investigación, teniendo una planta de tratamiento de agua potable que sirva como herramienta para la academia y que funcione con energía solar , poniendo a disposición la unidad para que sirva de ayuda para potenciar de gran manera la academia colocando en sus manos un recurso para materializar todos aquellos conceptos vistos en el aula de clase.

Con la construcción de la planta eléctrica para la unidad de tratamiento se determina que es factible el usar la energía solar como fuente de abastecimiento de energía para las diferentes unidades de las cuales consta el tratamiento (aireación, coagulación, desinfección) es factible económicamente puesto que no es necesario de una gran inversión para contar con una alternativa de energía que

funcione y que nos permita realizar el tratamiento de agua continuo y en óptimas condiciones. La planta de energía presento un comportamiento tan optimo que para el aprovechamiento de toda la energía que se estaba produciendo y con el objetivo de diseño de ser una ayuda para la academia se optó por la opción de permitir la conexión de mecanismos alternos al tratamiento sin alterar de ninguna manera el funcionamiento total de la planta.

La unidad de tratamiento tiene la capacidad de tratar agua por un poco más de 8 horas sin ninguna fuente de energía alterna simplemente con la anergia que fue producida por los paneles y almacenada en las baterías que contiene.

15. CONCLUSIONES.

- La planta de energía solar que más se acomoda a las necesidades energéticas de la unidad de tratamiento de agua potable a nivel de laboratorio está compuesta por paneles solares policristalinos de 30watts y baterías de 35Ah los cuales cumplen con la demanda energética de la unidad de tratamiento del laboratorio.
- Según el estudio realizado se definió que la mejor opción para la construcción de la unidad de tratamiento a nivel de laboratorio es el vidrio, en cuanto a dimensiones y características se definió lo siguiente para cada unidad: una unidad de aireación por difusión de aire, un sedimentador de tasa alta con volumen de 7.5L, un coagulador de mezcla rápida con una capacidad de 6.7 L, un Floculador de flujo vertical con un volumen de 8 L, una unidad de filtración con dos filtros (uno de flujo ascendente y otro descendente) y una unidad de desinfección por luz UV compuesta por un tanque cuadrado de 4.5 L.
- La unidad de tratamiento dimensionada y construida en este proyecto demostró su funcionalidad académica al ser usada en las diferentes clases y proyectos de ingeniería ambiental, ingeniería civil, ingeniería electrónica y el departamento de ciencias básicas de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja.
- La unidad de tratamiento construida en este proyecto cumple con las características de espacio necesarias para su funcionamiento y uso en el laboratorio de aguas de la facultad de ingeniería ambiental de la universidad Santo Tomas seccional Tunja
- Se estableció para esta primera fase de investigación el vidrio como el material más conveniente para la construcción de la unidad de laboratorio, para una estructura más grande

se ve la necesidad de utilizar materiales más resistentes como lamina de acero inoxidable o materiales acrílicos basándose en aspectos y recomendaciones del Ras-2000, como economía, resistencia, duración.

- La dosis optima que se establece para las dos muestras de agua despues de realizar el ensayo de jarras es de 0,36 mg/L de policloruro de aluminio (PAC), adicionado Cada minuto de forma manual, una vez el agua entra la unidad de coagulación.
- El prototipo construido para esta investigacion demostró una eficiencia de remoción del 95% una vez finalizado el tratamiento debido al bajo caudal de funcionamiento(360ml/min).

16. RECOMENDACIONES.

- Realizar pruebas de desinfección siguiendo los parámetros establecidos en esta investigación, con el fin de cumplir con los estándares de calidad del agua potable exigidos por la normativa colombiana.
- Realizar pruebas con la caracterización de los diferentes aspectos químicos, físicos y microbiológicos que por limitaciones presentes en esta primera fase de investigación no fue posible realizar.
- Desarrollar un proyecto de investigación en el cual se diseñe una unidad de tratamiento basada en el prototipo elaborado en este trabajo de grado.
- Evaluar el uso de la planta de energía solar construida para este trabajo de grado en futuros proyectos de investigación de las diferentes facultades de ingeniería.
- Promover el uso correcto y responsable de la unidad de tratamiento de agua, esto con el fin de garantizar la seguridad de los estudiantes y de los componentes del equipo.

17. BIBLIOGRAFIA.

- Aguilar, M. Saez, J. Llorens, M. Soler, A. Orduño J (2002) Tratamiento fisicoquímico de aguas residuales: coagulación-floculación, Universidad de Murcia, España.
- Alvarado Ladrón de Guevara, Jorge (2018). Diseño y cálculo de una instalación fotovoltaica aislada. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. Industriales (UPM)
<<http://oa.upm.es/view/institution/Industriales/>>.
- Avila-Prats, Deivis, Alesanco-García, Ramón, & Veliz-Alonso, Juan. (2011). Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras. Ingeniería Mecánica, 14(1), 22-30. Recuperado en 1 de agosto de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S181559442011000100003&lng=es&tlng=es.
- Blanco. C (2004) Diseño de un sedimentador de placa paralela con flujo horizontal bajo el concepto de la tasa de desplazamiento superficial. Universidad de los andes. Bogotá, Colombia.
- Barrenechea M (2004) Desinfección, tratamiento de agua para consumo humano, Lima Perú.
- Bailón A (2013) “Desarrollo de un sistema de generación de hidrogeno acoplado al tratamiento electroquímico de aguas superficiales utilizando energía solar “(tesis postgrado) Universidad Autónoma del estado de México, Toluca.
- Calderón R (2014) “Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamiento de aguas residuales a base de luz ultravioleta” (tesis de pregrado) universidad politécnica salesiana, cuenca ecuador.
- Cadavid,J, Zúñiga. D (2009) Construcción y análisis de un sistema de filtración granular a presión para un abastecimiento de agua de consumo humano en situaciones de emergencia. Universidad de las Andes, Bogotá, Colombia
- Castro L (2002) Modelo de desinfección de cloro en la planta de tratamiento de agua San Francisco Weiner de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá, Colombia.
- Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Alternas (CCEEA (2020) conexiones [imagen] recuperado de <https://ccee.co/>.
- Chae, K.-J. y Kang, J. (2013).” Estimating the energy independence of a municipal wastewater treatment plant incorporating green energy resources” Conversion y gestión de la energía, 75, 664–672. doi: 10.1016 / j. enconman.2013.08.028
- Díaz, J.A., Silva, T.B., & Cruz, A.C. (2015). “Tratamiento de soluciones acuosas con colorantes verde malaquita y remazol Amarillo por medio de electrocoagulación alimentada con energía solar” (Tesis de maestría) Universidad Autónoma de México.
- Edwin Javier Hernández Triana, Carlos Augusto Corredor Briceño, diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento para la potabilización de agua, se dispondrá en el laboratorio de aguas de la universidad católica de Colombia (2017) Bogotá.
- García,J, Sepúlveda.S y Jaimes,J, “Technical and economic feasibility study of implementing a photovoltaic system in a water treatment plant,” INGE CUC, vol. 14, no. 1, pp. 41-51, 2018. DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.14.1.2018.04>
- Google. (s.f). [Mapa planta de tratamiento Teatinos, Colombia Google Earth]. Recuperado el 15 Julio,2020,de:https://www.google.com/search?q=google+earth&rlz=1C1CHBD_esCO864CO864&oq=google+earth&aqs=chrome.69i57j35i39j0l5j69i64.3221j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8.
- Gu. Y, Li.Y, Li.X, Luo.P, Wang.H, Wang.X, Wu. J, Li.F(2017)” Energy self-sufficient wastewater treatment plants: feasibilities and challenges” college of enviromental science and engineering Universidad de Shanghai, China.
- Hernandez.E, Corredor.C (2017)” Diseño y construcción de una planta modelo de tratamiento para la potabilización de agua” (Tesis de pregrado) Universidad Católica, Bogotá, Colombia.
- H.B. Wright, W. I. Calms (1998) Water disinfection by ultraviolet light, Trabajo presentado en el Simposio Regional Sobre Calidad del Agua: Desinfección Efectiva. Simposio sobre calidad del

- agua: desinfección efectiva, Lima, Perú. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/e/fulltext/simposio/ponen10.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM] (Ed.), 2002. Perfil del Estado de los Recursos y del Medio Ambiente en Colombia 2001. Sistema de Información Ambiental de Colombia SIAC. Tomo 3. Colombia
- Lahera.R(2010).” infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales”. Quivera. Revista de Estudios Territoriales, 12(2), undefined-undefined. [fecha de Consulta 28 de agosto de 2019]. ISSN: 1405-8626. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=401/40115676004>
- Manrique.I, Gomez.D(2016) Diseño y construcción de una torre de sedimentación para la evaluación de los procesos de remoción y eficiencia en el tratamiento de agua potable, Universidad católica, Bogotá, Colombia.
- Maldonado.V(2004) Teoría de sedimentación, tratamiento de agua para consumo humano, centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente, Lima Perú.
- Ministerio de la protección social, Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (junio de 2007). Resolución 2115 de 2007. Obtenido de Ministerio de la protección social, Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial: <http://www.ins.gov.co/tramites-y-servicios/programas-decalidad/Documents/resolucion%202115%20de%202007,MPS-MAVDT.pdf>
- Ministerio de desarrollo económico. Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS 2000. Bogotá: MinDesarrollo, 2000.
- Martínez A (2013)” Desarrollo de un Sistema de generación de hidrogeno acoplado al tratamiento electroquímico de aguas superficiales utilizando energía solar “(Tesis de maestría), Universidad Autónoma Del Estado de México
- Montgomery, J (1985) “Wáter treatment principles and design” A. Wiley – Interscience publication.
- Monsolar(2020).Bateríamonoblock[imagen]recuperado de <https://www.monsolar.com/fotovoltaica-aislada/baterias.html>
- Monsolar (2020). Batería litio [imagen] recuperado de <https://www.monsolar.com/fotovoltaica-aislada/baterias.html>
- NASA (2020) Prediction Of Worldwide Energy Resources. Data Access Viewer. Online. Available: <https://power.larc.nasa.gov/>.
- Opazo Contreras, R., & Ahumada, G. (noviembre de 2004). Diseño e implementación de planta piloto de tratamiento de agua potable con fines docentes. Obtenido de Universidad de Chile: http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/Guia_PtaPiloto.pdf
- Pérez J (2005) tratamiento de agua ,Desinfección, Facultad de ingeniería de minas , Universidad Nacional de Colombia.
- Parrado.C (2017)” Implementación de una planta a escala para tratamiento de agua potable con fines académicos para el laboratorio de ingeniería civil de la universidad piloto de Colombia” (Tesis de pregrado) Universidad Piloto Bogotá Colombia.
- ProViento (2020) Batería.estacionaria.[Imagen]recuperado.de:<http://www.proviento.com.co/baterias.html>.
- Ramos L, Paredes P (2015)” Captación, evaluación tratamiento y diseño de una planta de consumo de agua potable en la localidad Pampas de Pajonal distrito de Mollebaya” (tesis pregrado) Universidad nacional de San Agustín Arequipa, Ecuador.
- Rozas.G.2003, Aproximación Psico Comunitario Ambiental al Problema de Calentamiento Global, 1 Académico, Departamento de Psicología, Universidad de Chile recuperado de: <http://www.revistapsicologia.uchile.cl/index.php/RDP/article/viewFile/17388/18151>
- Romero Rojas, Jairo Alberto. Purificación del Agua. 3 ed. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000.
- Rodríguez, J., Jorge, C., Zúñiga, P., Solís, J., Estrada, W., Cristóbal, R., Maurtua, D., Garate, J., Zanabria, P. (2010). Tecnología solar aplicada a la purificación de agua. *TECNIA*, 20(1). <https://doi.org/10.21754/tecnia.v20i1.108>

- Rincón. A, Herrera O, Ortiz MF (2014) Esquema para el dimensionamiento de unidades de sedimentación de alta tasa de flujo ascendente, Universidad católica de Pereira. Colombia.
- Ruiz. P (2017) "Prototipo de una celda de electrocoagulación abastecida con energía fotovoltaica para tratamiento de aguas residuales en la industria minera" (Tesis de pregrado) corporación universitaria minuto de Dios.
- Sanchez.L, Latorre.J, Galvis.G(1999) Periodo de maduración efecto de la limpieza de la biomembrana en un filtro lento en arena, 20 congreso de ingeniería ambiental y sanitaria, Brasil.
- Salazar, L. (2012). Diseño de plantas potabilizadoras. Módulo didáctico. Medellín: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD.
- Sarmiento. A, Gómez, Guerra.L, Toledano.D, Lorenzo.F, Rodríguez (2003) "Aplicación de la energía solar y la luz ultravioleta en la potabilización del agua en escuelas primarias" energética vol. XXIV.
- Sobre Sunfields (2020). Panel solar monocristalino [Imagen] recuperado de <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/sunpower/>.
- Sobre Sunfields (2020). Panel solar amorfo [Imagen] recuperado de <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/sunpower/>
- Soty Solar (2020). Panel solar policristalino [Imagen] recuperado de <https://sotysolar.es/placas-solares/monocristalinas-policristalinas>
- Solar Tex (2020). Batería AGM [Imagen] recuperado de <https://www.solartex.co/tienda/categoria-producto/baterias-agm/>
- Solar Tex (2020). Batería Gel [Imagen] recuperado de <https://www.solartex.co/tienda/categoria-producto/baterias-agm/>
- Vargas L (2004) Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida, centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. Lima, Perú.
- Stillwell.S, King.C, Webber.E, Duncan.J, Harderberger.A (2011) "el Nexus energia-agua en Texas" Universidad de Texas en Austin.
- Zhang. Y, Sivakumar.M, Yang.S, Enever.K, Ramezaniapour.M(2017) "aplication of solar energy in wáter treatment processes: a review, Desalinización, volumen 428, páginas 116-145.

18. ANEXOS.

Anexo 1. Plano unidad de aireación.

Anexo 2. Plano unidad de sedimentación.

Anexo 3. Plano unidad de coagulación.

Anexo 4. Plano unidad de floculación.

Anexo 5. Plano unidad de filtración.

Anexo 6. Plano unidad de desinfección.

Anexo 7. Plano unidad de tratamiento de agua potable.

Anexo 8. Diagrama unifilar planta de energía fotovoltaica.

Anexo 9. Detalle planta de energía fotovoltaica.

Anexo 10. Plano cuerpo del sistema planta de energía fotovoltaica.

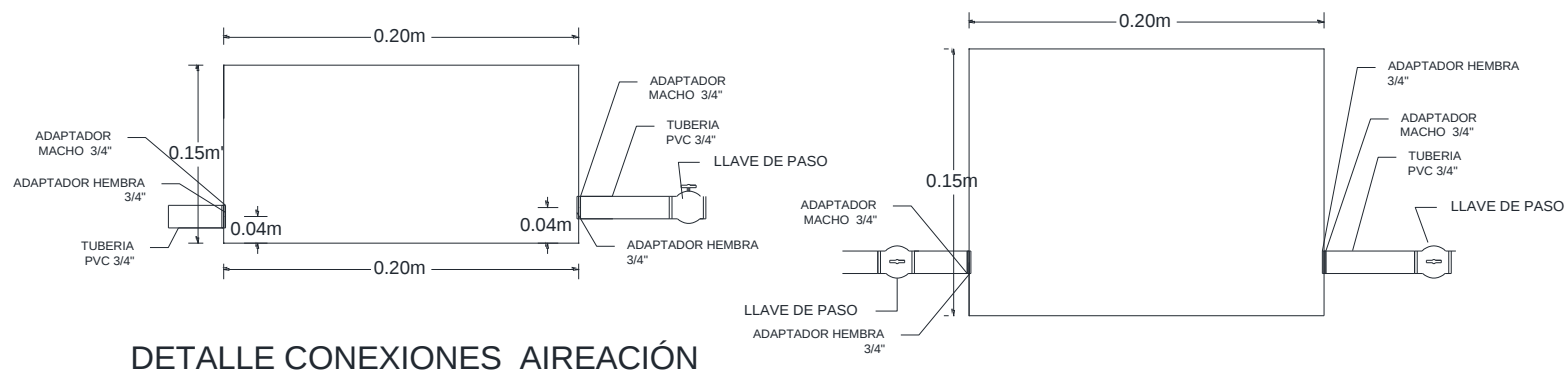
Anexo 11. Plano detalle conexión unidad de aireación y coagulación.

Anexo 12. Plano detalle conexión unida de desinfección.

Anexo 13. Plano detalle protección luz UV.

Anexo 1.

UNIDAD DE AIREACIÓN



DETALLE CONEXIONES AIREACIÓN

VISTA PLANTA AIREACIÓN

CONVENCIONES:

- UNIDAD AIREACION
- TUBERIA PVC 3/4"
- LLAVE DE PASO
- CODO 90°

CONTIENE:
UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
OPTIMIZADA CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA
TUNJA, BOYACA

PL. N°:
1
DE:
13

DESCRIPCION:
CONTIENE DETALLE UNIDAD DE AIREACIÓN

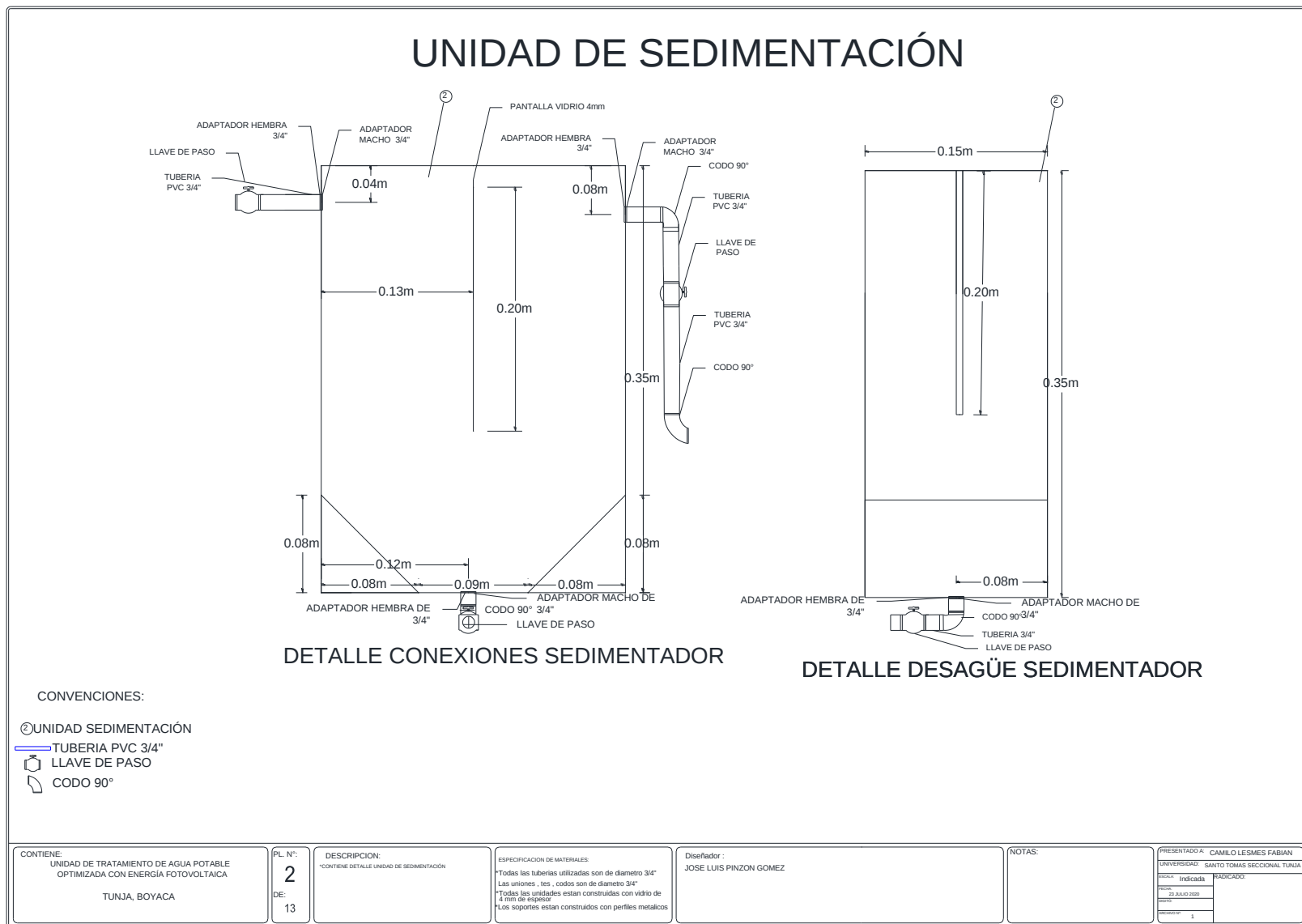
ESPECIFICACION DE MATERIALES:
*Todas las tuberías utilizadas son de diámetro 3/4"
Las uniones, tes, codos son de diámetro 3/4"
*Todas las unidades están construidas con vidrio de 4 mm de espesor
*Los soportes están contruidos con perfiles metálicos

Diseñador:
JOSE LUIS PINZON GOMEZ

NOTAS:

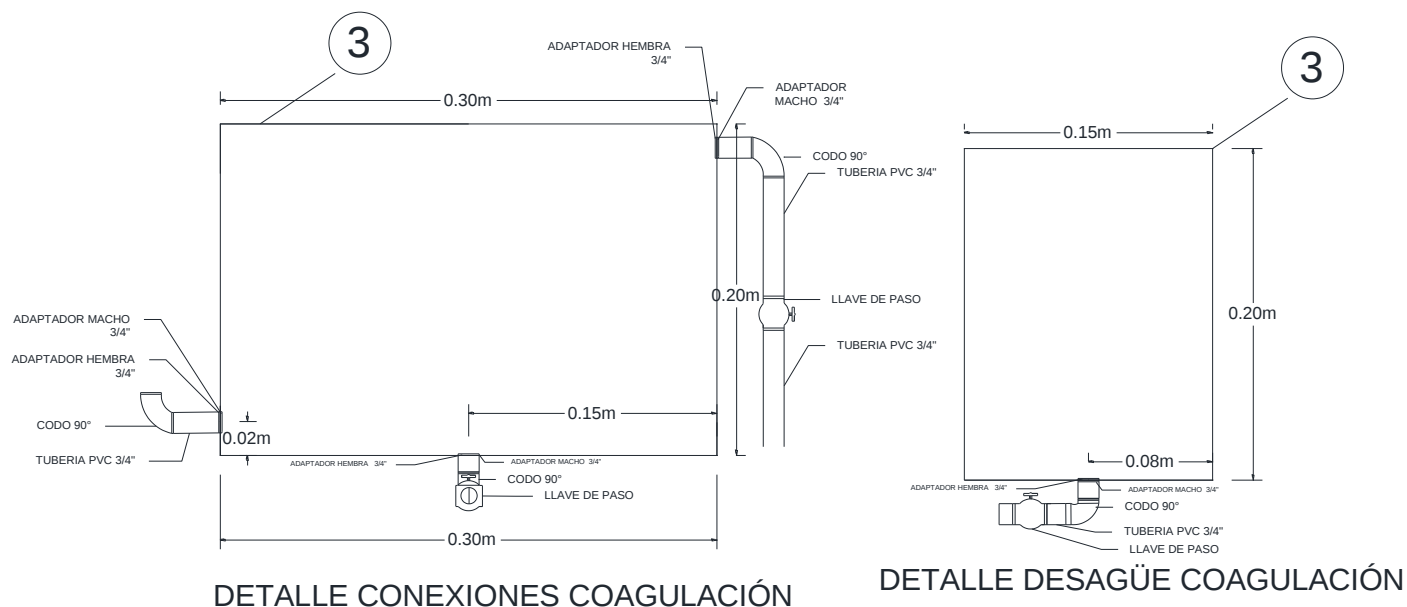
PRESENTADO A: CAMILO LESMES FABIAN
UNIVERSIDAD: SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA
FECHA: 23 JUNIO 2020
INDICADA: 1
FIRMADO:

ANEXO 2



ANEXO 3

UNIDAD DE COAGULACIÓN



CONVENCIONES:

③ UNIDAD COAGULACION

— TUBERIA PVC 3/4"

⊞ LLAVE DE PASO

⌒ CODO 90°

CONTIENE:
UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
OPTIMIZADA CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA

TUNJA, BOYACA

PL. N°:

3

DE:

13

DESCRIPCION:

*CONTIENE DETALLE UNIDAD DE COAGULACIÓN

ESPECIFICACION DE MATERIALES:

*Todas las tuberías utilizadas son de diámetro 3/4"

Las uniones, tes, codos son de diámetro 3/4"

*Todas las unidades están construidas con vidrio de

4 mm de espesor

*Los soportes están contruidos con perfiles metálicos

Diseñador:

JOSE LUIS PINZON GOMEZ

NOTAS:

PRESENTADO A: CAMILO LESMES FABIAN

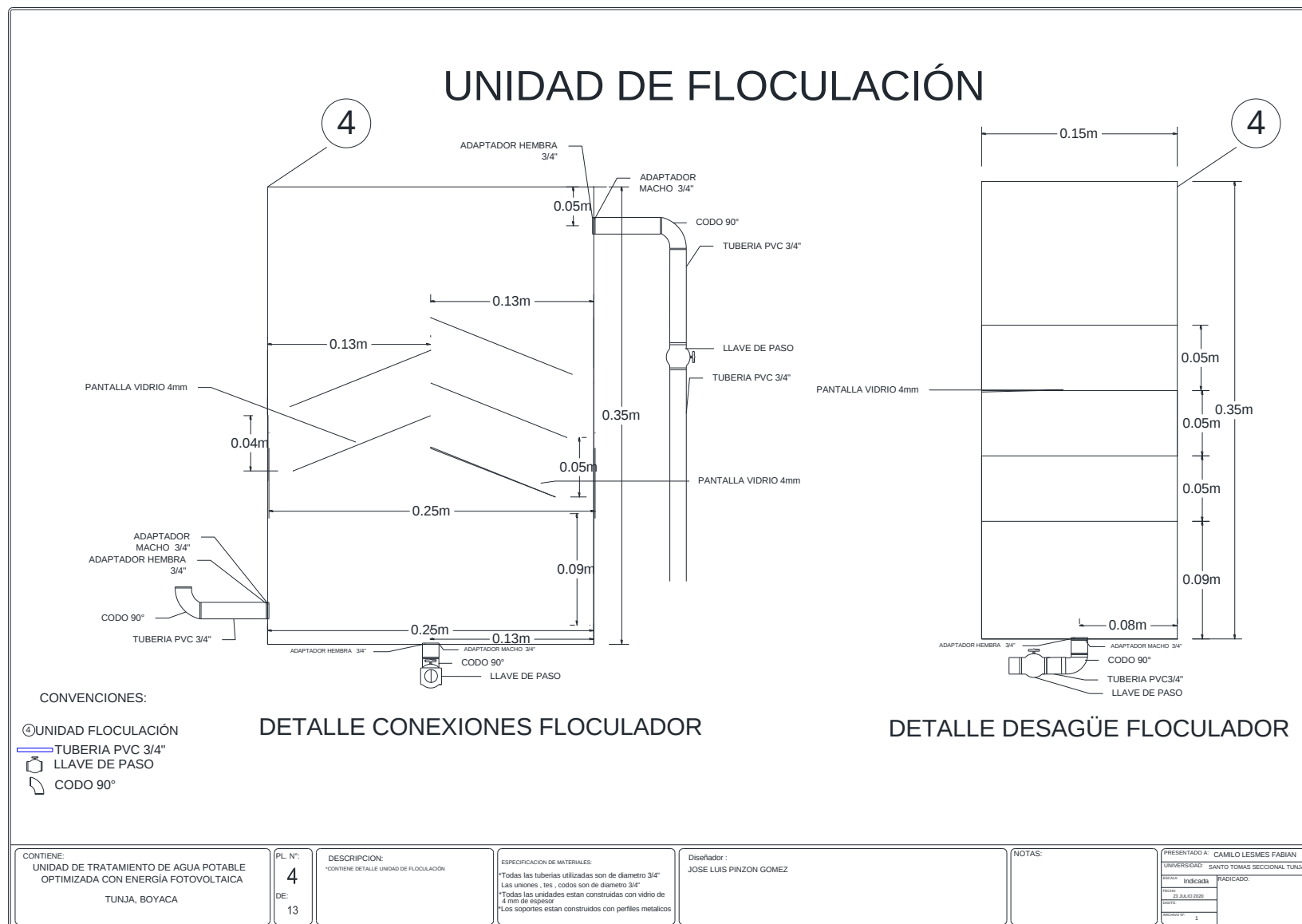
UNIVERSIDAD: SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA

FECHA: 23 JULIO 2020

INDICADO: RADICADO:

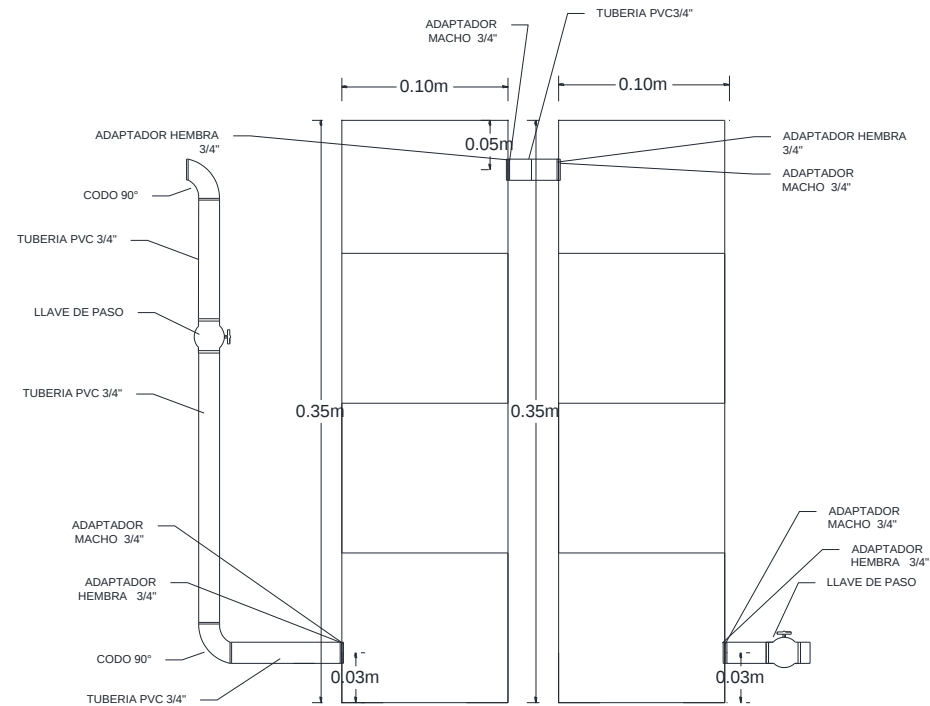
ARCHIVO: 1

ANEXO 4.



ANEXO 5

UNIDAD DE FILTRACIÓN



CONVENCIONES:

⑤ UNIDAD FILTRACIÓN

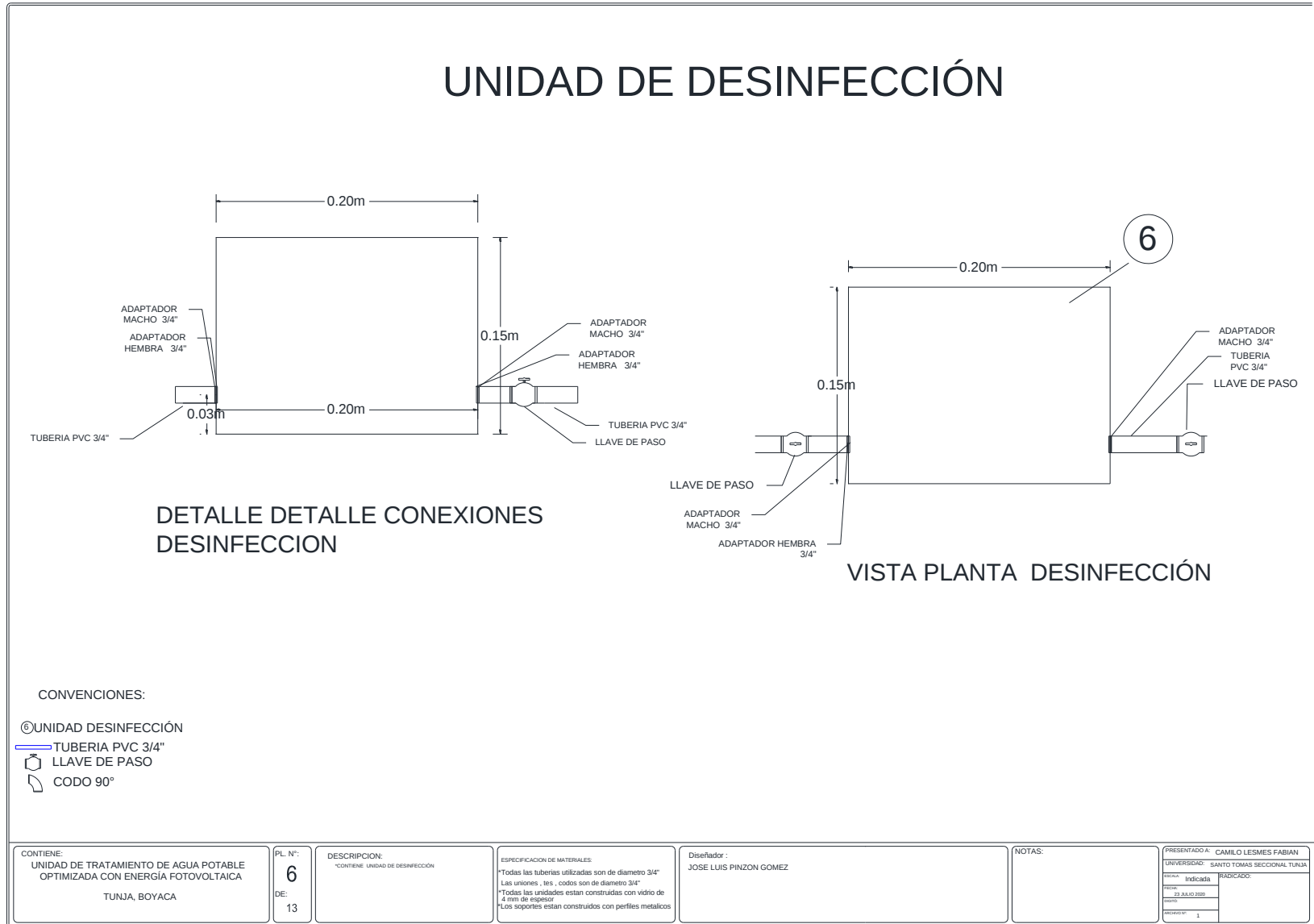
— TUBERIA PVC 3/4"

 LLAVE DE PASO

 CODO 90°

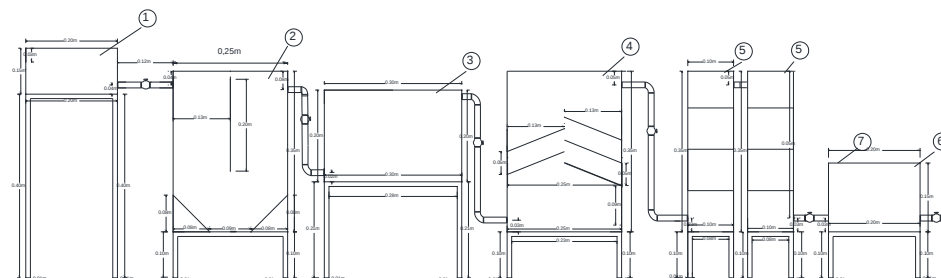
CONTIENE: UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE OPTIMIZADA CON ENERGIA FOTOVOLTAICA TUNJA, BOYACA	PL. N°: 5 DE: 13	DESCRIPCION: "CONTIENE UNIDAD DE FILTRACIÓN	ESPECIFICACION DE MATERIALES: "Todas las tuberías utilizadas son de diámetro 3/4" Las uniones , tes , codos son de diámetro 3/4" "Todas las unidades estan construidas con vidrio de 4 mm de espesor "Los soportes estan construidos con perfiles metalicos	Diseñador : JOSE LUIS PINZON GOMEZ	NOTAS:	PRESENTADO A: CAMILO LESMES FABIAN UNIVERSIDAD: SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA ESCALA: Indicada FECHA: 23 JULIO 2020 DISEÑO: ARCHIVO Nº: 1
--	--	--	---	---------------------------------------	--------	--

ANEXO 6.

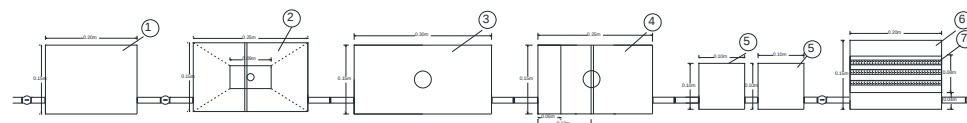


ANEXO 7

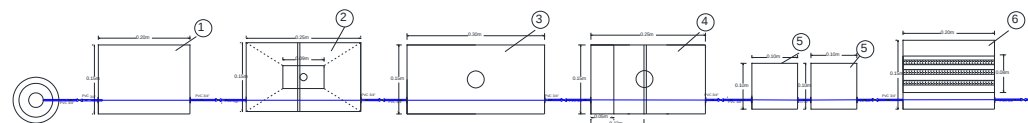
UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE OPTIMIZADA CON ENERGIA FOTOVOLTAICA



VISTA PERFIL



VISTA PLANTA



VISTA PLANTA HIDRAULICA

CONVENCIONES:

- ① UNIDAD AIREACION
- ② UNIDAD SEDIMENTACIÓN
- ③ UNIDAD COAGULACIÓN
- ④ UNIDAD FLOCULACIÓN
- ⑤ UNIDAD FILTRACIÓN
- ⑥ UNIDAD DESINFECCIÓN
- ⑦ LAMPARAS LUZ UV
- DESAGÜE
- ⊙ TANQUE DE ALMACENAMIENTO

⋈ LLAVE DE PASO

→ DIRECCIÓN DE FLUJO

— AGUA EN TRATAMIENTO

— TUBERÍA PVC 3/4"

⬢ LLAVE DE PASO

⬢ CODO 90°

CONTIENE:

UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
OPTIMIZADA CON ENERGIA FOTOVOLTAICA

TUNJA, BOYACA

PL. N°:

7

DE:

13

DESCRIPCION:

*CONTIENE VISTA EN PLANTA HIDRAULICA
*CONTIENE VISTA EN PLANTA UNIDAD DE TRATAMIENTO
*CONTIENE VISTA PERFIL UNIDAD DE TRATAMIENTO

ESPECIFICACION DE MATERIALES:

*Todas las tuberías utilizadas son de diametro 3/4"
*Las uniones, tes, codos son de diametro 3/4"
*Todas las unidades estan construidas con vidrio de 4 mm de espesor
*Los soportes estan construidos con perfiles metalicos

Diseñador:

JOSE LUIS PINZON GOMEZ

NOTAS:

PRESENTADO A: CAMILO LESMES FABIAN

UNIVERSIDAD: SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA

FECHA: Indicada

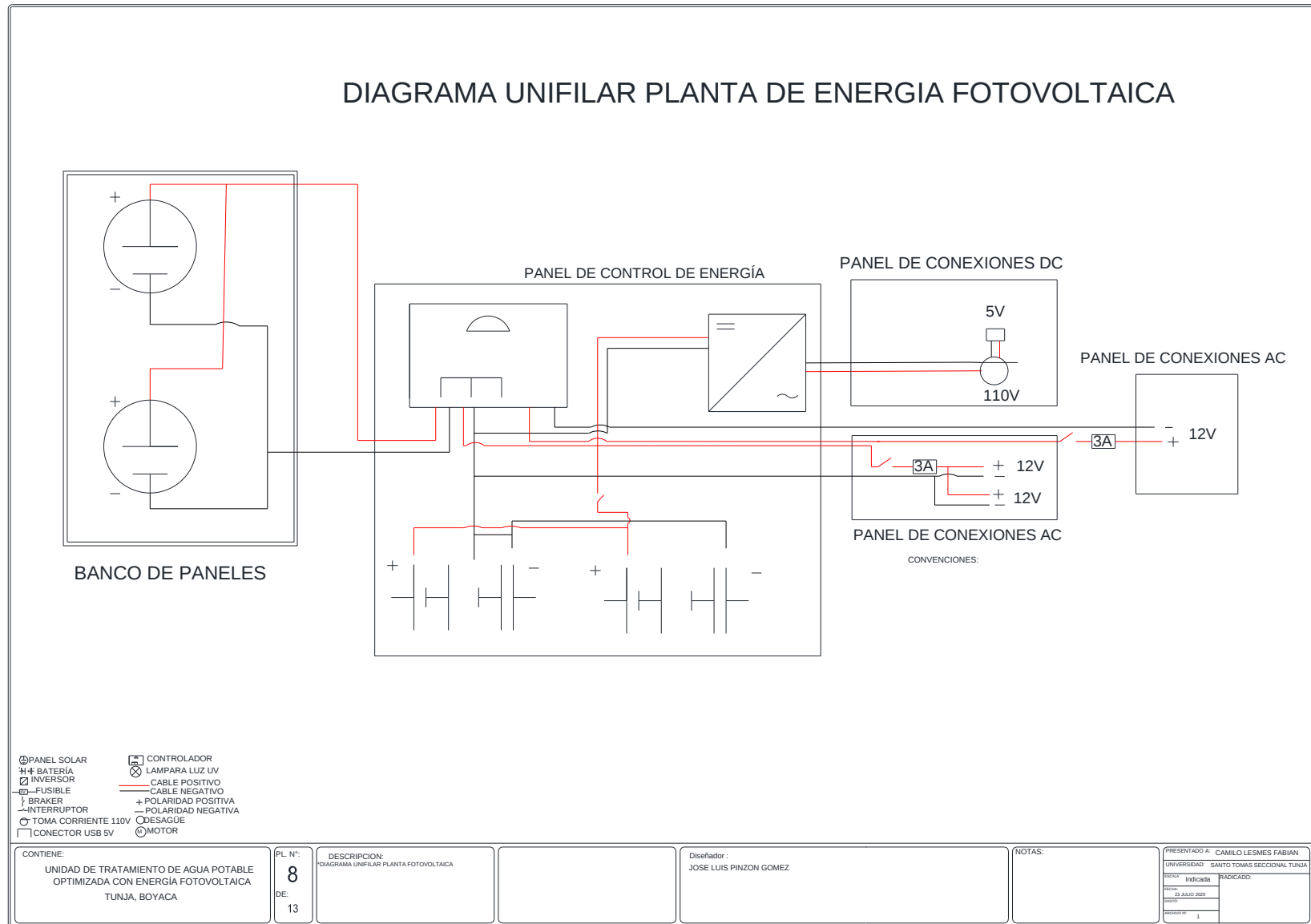
FECHA: 22 JULIO 2020

FECHA: 22 JULIO 2020

FECHA: 22 JULIO 2020

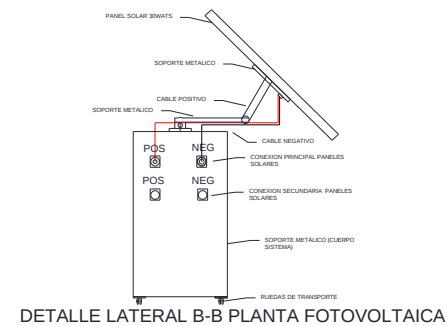
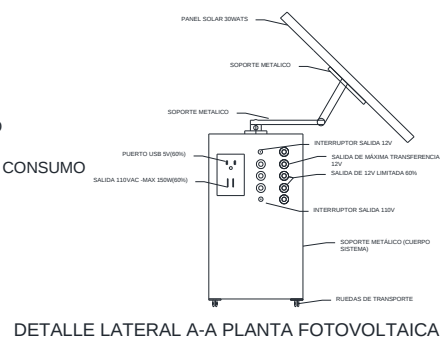
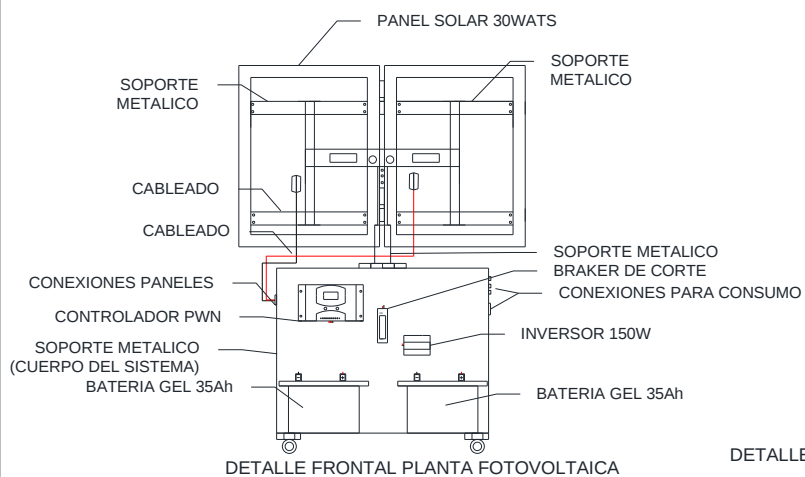
FECHA: 22 JULIO 2020

ANEXO 8



ANEXO 9

PLANTA DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA



CONTIENE:

UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
OPTIMIZADA CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA
TUNJA, BOYACA

PL. N°:

9

DE:

13

DESCRIPCION:

DETALLE FRONTAL PLANTA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
DETALLE LATERAL A-A PLANTA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA
DETALLE LATERAL B-B PLANTA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Diseñador :

JOSE LUIS PINZON GOMEZ

NOTAS:

PRESENTADO A: CAMILO LESMES FABIAN

UNIVERSIDAD: SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA

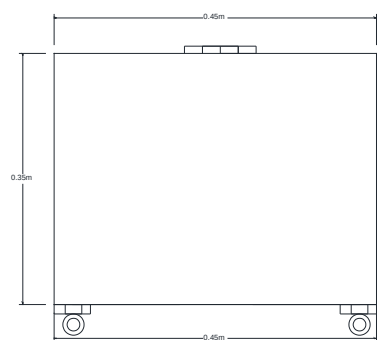
TÍTULO: Indicada RADICADO:

FECHA: 23 JULIO 2020

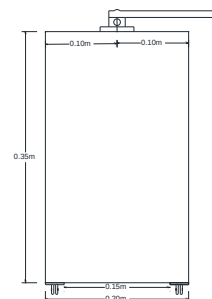
FOLIO: 1

ANEXO 10

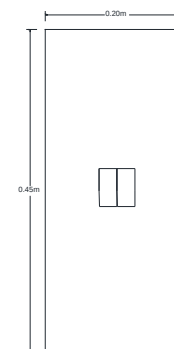
CUERPO SISTEMA



VISTA PERFIL CUERPO SISTEMA



VISTA LATERAL CUERPO SISTEMA



VISTA PLANTA CUERPO SISTEMA

CONTIENE:

UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
OPTIMIZADA CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA
TUNJA, BOYACA

PL. N°:

10

DE:

13

DESCRIPCION:

VISTA FRONTAL CUERPO DEL SISTEMA
VISTA LATERAL CUERPO DEL SISTEMA
VISTA PLANTA CUERPO DEL SISTEMA

Diseñador:

JOSE LUIS PINZON GOMEZ

NOTAS:

PRESENTADO A: CAMILO LESMES FABIAN

UNIVERSIDAD: SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA

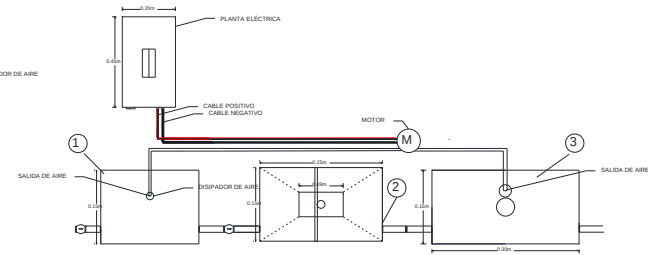
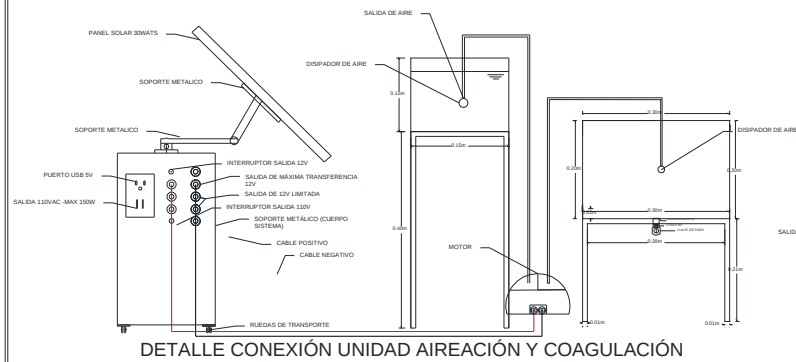
FECHA: Indicada

FECHA: 23 JUNIO 2020

PAGINA: 1

REVISADO: 1

UNIDAD DE AIREACIÓN Y COAGULACIÓN

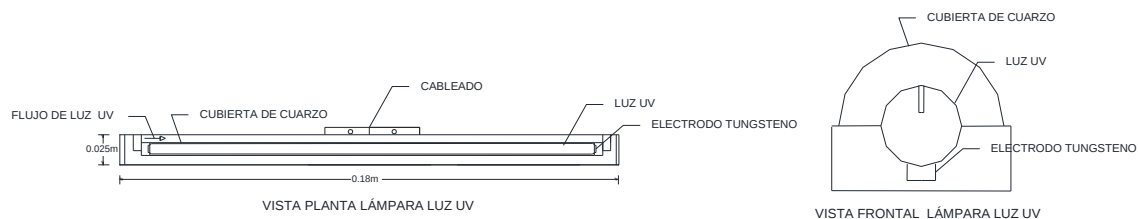


DETALLE PLANTA CONEXIÓN UNIDAD AIREACIÓN Y COAGULACIÓN

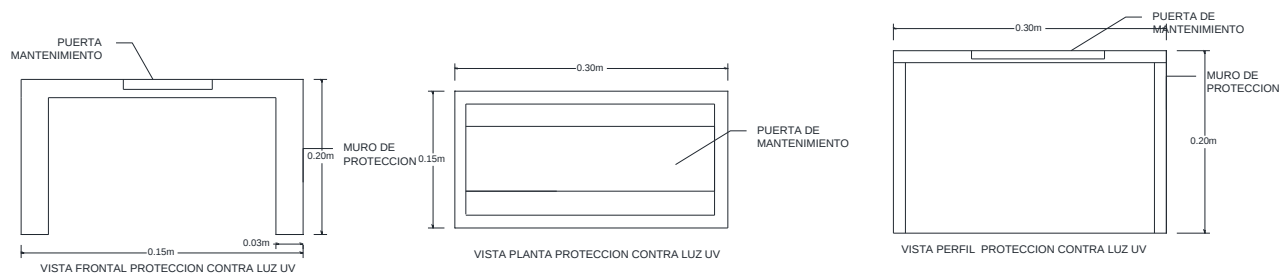
CONTIENE: UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE OPTIMIZADA CON ENERGIA FOTOVOLTAICA TUNJA, BOYACA	PL. N°: 11 DE: 13	DESCRIPCION: "DETALLE CONEXION AIRRACION Y COAGULACION "VISTA PLANTA DETALLE CONEXION AIRRACION Y COAGULACION		Diseñador : JOSE LUIS PINZON GOMEZ	NOTAS:	PRESENTADO A: CAMILO LESMES FABIAN UNIVERSIDAD: SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA RADICADO: FECHA: 23 JULIO 2020 FECHA: RECIBIDO N°: 1
--	--	--	--	---	--------	--

ANEXO 13.

PROTECCIÓN LUZ UV



DETALLE LAMPARA LUZ UV



DETALLE PROTECCIÓN LUZ UV

CONTIENE:

UNIDAD DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
OPTIMIZADA CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA
TUNJA, BOYACA

PL. N°:

13

DE:

13

DESCRIPCIÓN:

*DETALLE PROTECCION LUZ UV
*VISTA PLANTA PROTECCION LUZ UV
*VISTA FRONTAL PROTECCION LUZ UV
*DETALLE LAMPARA LUZ UV

Diseñador:

JOSE LUIS PINZON GOMEZ

NOTAS:

PRESENTADO A: CAMILO LESMES FABIAN

UNIVERSIDAD: SANTO TOMAS SECCIONAL TUNJA

FECHA: Indicada

FECHA: 23.04.2020

FOLIO: 1