



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**Elaboración del Modelo Físico y Guía Metodológica para la  
Práctica de Tratamiento de Aguas Residuales Mediante un  
Filtro Percolador de la Asignatura de Hidrosanitaria de la  
Universidad del Azuay**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN  
GERENCIA DE CONSTRUCCIONES**

**Autores:**

**CÉSAR ARTURO ORMAZA CÁRDENAS**

**MARÍA BELÉN ORTIZ ORTIZ**

**Director:**

**JOSÚE BERNARDO LARRIVA VÁSQUEZ**

**CUENCA, ECUADOR**

**2020**

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación le dedico primeramente a Dios por otorgarme paz para soportar aquellos momentos difíciles y por darme sabiduría para llevar una vida de bien, tomando decisiones durante mi vida y sobre todo por estar presente en cada momento de la misma sin dejarme solo.

A mis padres, Arturo y Raquel por el apoyo incondicional que me brindaron a cada momento por los consejos y la sabiduría que me otorgaron, pues de alguna manera espero poder recompensar todo el esfuerzo que realizaron por mi educación como la de mis hermanos.

A mis tíos, tías, primos y primas que me apoyaron siempre en los buenos y malos momentos, además de brindarme su apoyo cuando más lo necesitaba; de manera especial quiero agradecer a Ezequiel Cárdenas y Fernando Andrade puesto que sin su apoyo no podría lograr mi meta, espero algún día pagar la enorme deuda que tengo con ustedes.

A mis abuelos Arturo Ormaza B, Concepción Torres Z, César Cárdenas M. y Fanny Flores J, que sé muy bien que desde el cielo me observan, a ellos les agradezco infinitamente por cuidarme y guiarme en cada instante.

A mis hermanos Alex y Fanny que me apoyaron en cada una de las etapas de mi vida y supieron comprenderme en lo más mínimo, por cada una de las historias de nuestra vida.

También a mis queridos amigos y compañeros, gracias por estar presentes en todos los momentos buenos y malos, dentro de la vida educativa como fuera de ella, por aquellas anécdotas llenas de risas y por todos los recuerdos que pasamos juntos, atesorare cada momento siempre.

César Arturo Ormaza Cárdenas.

## DEDICATORIA

El cumplimiento de una meta profesional es el comienzo de nuevos proyectos que enriquecerán mi vida en todo ámbito, a través de las experiencias que se adquieren a lo largo del camino que conlleva la perseverancia y el empeño. En esta ocasión quiero agradecer de todo corazón por el apoyo y confianza depositada por parte de mis padres Julio César Ortiz y Ximena Alexandra Ortiz, quienes han sido mi mayor inspiración para no declinar en el duro camino de obtener mi titulación, además, de ser los responsables de mi educación, tanto ética como académica y han hecho de mí una adulta responsable, confiada y perseverante.

En este espacio quiero agradecer la confianza depositada en mí por parte de mi única hermana Giuliana Meylin Ortiz, a quien le debo su compañía y para quien busco ser una persona de ejemplo a seguir. Con su amor incondicional y paz me transmitía fuerzas necesarias para seguir luchando por mis sueños.

Además, deseo agradecer a mi abuelita María Estela por acogerme con gran cariño en su seno familiar y permitirme convivir con ella en la ciudad de Cuenca, lo que me condujo a culminar mi carrera de forma exitosa.

Con gran estima deseo agradecer el amor entregado por mi abuelita Fanny Dorinda Meza, quien ha sido una parte fundamental en mi vida, ya que, siempre ha depositado su confianza y cariño ante todas las decisiones que he tomado. Al mismo tiempo, ha sido la persona con quien he podido celebrar mis triunfos y mis derrotas, alguien con quien quisiera celebrar el presente este éxito.

Quiero agradecer a una persona muy especial que he tenido el placer de conocer a lo largo de este camino universitario, se trata de mi enamorado Renato Xavier Guartatanga, a quien le debo muchos de mis logros universitarios y ha sido la persona que me ha inspirado en continuar mi lucha. Renato ha sido la persona que ha caminado conmigo en esta travesía y a quien también tengo el gusto de llamarlo mi colega y compañero, la persona con la que celebrar esta meta me llena de ilusión y alegría, pues ha sabido ser todo lo que he necesitado y estar en cada uno de los peldaños conquistados.

María Belén Ortiz Ortiz

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer a la Universidad del Azuay por la oportunidad que nos otorgó de estudiar la carrera de Ingeniería Civil y Gerencia de Construcciones de una manera versátil, con buen trato y con grandes profesionales especializados, además de todas las experiencias y anécdotas dentro de nuestra vida universitaria.

Nuestra gratitud con el director de tesis Ing. PhD. Josué Larriva Vásquez, por ayudándonos siempre en que lo necesitamos, otorgándonos su tiempo en cada paso a seguir durante este trabajo, confiando en nosotros y guiándonos hasta el final de nuestra carrera universitaria.

Agradecemos a los miembros del tribunal designado, Ingeniera Belén Arévalo e Ingeniero César Arévalo, por tomarse el tiempo en la revisión y corrección del presente trabajo.

Finalmente, a cada uno de los docentes que imparten su sabiduría en las aulas, por formarnos como ingenieros y personas de bien, a través de sus conocimientos y experiencias.

César Arturo Ormaza Cárdenas

María Belén Ortiz Ortiz

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	V
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS .....	IX
ÍNDICE DE ANEXOS.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT .....	XII
PRELIMINARES.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
ANTECEDENTES.....	2
PROBLEMÁTICA.....	2
JUSTIFICACIÓN .....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
ALCANCES Y RESULTADOS.....	4
CAPITULO I.....	5
1. MARCO TEÓRICO .....	5
1.1 TRATAMIENTOS SECUNDARIOS DE AGUAS RESIDUALES .....	5
1.1.1. DEFINICIÓN DE HIDROSANITARIA .....	7
1.1.2. DEFINICIÓN DE FILTRO PERCOLADOR.....	8
1.1.3. TIPOS DE FILTROS PERCOLADORES.....	9
1.1.4. CRITERIOS DE DISEÑO .....	10
1.2. ELABORACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA .....	15
1.2.1. DEFINICIÓN DE GUÍA METODOLÓGICA .....	15
1.2.2. CONSIDERACIONES GENERALES .....	16
1.2.3. FICHA DE RESULTADOS .....	17
CAPÍTULO II .....	18
2. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL MODELO DINÁMICO .....	18
2.1. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE LA MAQUETA .....	18
2.2. DIMENSIONAMIENTO .....	19
2.2.1. TANQUE DE ENTRADA.....	21
2.2.2. MECANISMO GIRATORIO ELÉCTRICO .....	23

2.2.3.	TANQUE FILTRO .....	24
2.2.4.	TANQUE DE SALIDA .....	26
2.2.5.	PLACAS METÁLICAS.....	28
2.2.6.	ESTRUCTURA METÁLICA.....	31
2.3.	MATERIALES USADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO DE FILTRO PERCOLADOR .....	34
2.3.1.	MATERIALES USADOS EN EL PROTOTIPO DE FILTRO PERCOLADOR.....	35
2.3.2.	MATERIALES USADOS EN EL MODELO FÍSICO DEFINITIVO DE FILTRO PERCOLADOR, SISTEMA GIRATORIO .....	38
2.3.3.	MATERIALES USADOS EN EL MODELO FISICO DEFINITIVO DE FILTRO PERCOLADOR, ESTRUCTURA METALICA .....	43
2.4.	VALIDACIÓN DE RESULTADOS .....	48
CAPÍTULO III.....		51
3.	GUÍA METODOLÓGICA PARA EL ENSAYO DE LABORATORIO DE FILTROS PERCOLADORES DE LA ASIGNATURA HIDROSANITARIA DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY.....	51
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE UN FILTRO PERCOLADOR .....	51
3.1.1.	OBJETIVO GENERAL.....	51
3.1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	51
3.1.3.	ALCANCE.....	52
3.1.4.	DEFINICIONES .....	52
3.1.5.	INSTRUMENTOS .....	54
3.1.6.	METODOLOGÍA .....	57
3.1.7.	CÁLCULOS DE LABORATORIO.....	60
3.1.8.	RESULTADOS.....	67
3.2.	ELABORACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS .....	70
CONCLUSIONES.....		78
RECOMENDACIONES .....		79
BIBLIOGRAFÍA.....		80
ANEXOS.....		81

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### CAPITULO I

FIGURA 1 - 1 SEDIMENTADOR SECUNDARIO.....	6
FIGURA 1 - 2 EDAR DE FILTRO PERCOLADORES EN CONSTRUCCIÓN.....	9
FIGURA 1 - 3 SISTEMAS DE DRENAJE INFERIOR PARA FILTROS DE PIEDRA.....	12

### CAPITULO II

FIGURA 2 - 1 VISUALIZACIÓN DEL MODELO FÍSICO Y SUS PARTES.....	20
FIGURA 2 - 2 BOSQUEJO DE LOS TANQUES DE ENTRADA 1-A Y 1-B.....	22
FIGURA 2 - 3 TANQUE DE ENTRADA.....	22
FIGURA 2 - 4 MECANISMO GIRATORIO.....	23
FIGURA 2 - 5 SISTEMA GIRATORIO CONECTADO, VISTA FRONTAL.....	24
FIGURA 2 - 6 BOSQUEJO DE LOS TANQUES FILTRO 2-A Y 2-B.....	25
FIGURA 2 - 7 TANQUES FILTRO.....	26
FIGURA 2 - 8 TANQUE DE SALIDA 3-A Y 3-B.....	27
FIGURA 2 - 9 TANQUE DE SALIDA.....	28
FIGURA 2 - 10 VISUALIZACIÓN DE LOS TRES TIPOS DE PLACAS.....	30
FIGURA 2 - 11 DIMENSIONES DE LAS PLACAS METÁLICAS.....	30
FIGURA 2 - 12 VISTA FRONTAL DE LA ESTRUCTURA METÁLICA Y SUS PARTES.....	32
FIGURA 2 - 13 VISTA EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA METÁLICA Y SUS PARTES.....	32
FIGURA 2 - 14 VISTA 3D ESTRUCTURA METÁLICA ARMADA.....	33
FIGURA 2 - 15 DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA METÁLICA Y SUS PARTES.....	34
FIGURA 2 - 16 TIRAS DE EUCALIPTO.....	35
FIGURA 2 - 17 TIRAS DE MADERA PARA ENCOFRADO.....	35
FIGURA 2 - 18 CONTENEDOR PLÁSTICO.....	36
FIGURA 2 - 19 MALLA ELECTROSOLDADA.....	36
FIGURA 2 - 20 BOMBA DE AGUA PARA PECERAS.....	37
FIGURA 2 - 21 CATALINAS, PIÑONES Y CADENAS DE BICICLETA.....	37
FIGURA 2 - 22 NEPLO DE ACERO.....	38
FIGURA 2 - 23 UNIÓN UNIVERSAL DE 3/4 DE PULGADA.....	38
FIGURA 2 - 24 NEPLO DE POLIPROPILENO 6CM.....	39
FIGURA 2 - 25 VÁLVULA ESFÉRICA H-H.....	39
FIGURA 2 - 26 UNIÓN HEMBRA ROSCABLE.....	40
FIGURA 2 - 27 ROCIADOR PARA JARDÍN DE COBRE.....	40
FIGURA 2 - 28 REDUCTOR DE ACERO.....	41
FIGURA 2 - 29 POLEA SIMPLE DE 8 PULGADAS.....	41
FIGURA 2 - 30 POLEA DOBLE DE 2 PULGADAS.....	41
FIGURA 2 - 31 UNIÓN TIPO T DE 3/4 DE PULGADA.....	42
FIGURA 2 - 32 NEPLO DE POLIPROPILENO 15CM.....	42
FIGURA 2 - 33 TAPÓN PVC ROSCA HEMBRA.....	43
FIGURA 2 - 34 TEFLÓN.....	43
FIGURA 2 - 35 TUBOS DE ACERO 4CM X 4CM.....	44
FIGURA 2 - 36 ÁNGULOS DE ACERO 2CM X 2CM.....	44

FIGURA 2 - 37 TUBOS DE ACERO 1CM X 1CM. ....	45
FIGURA 2 - 38 PERFILES T DE ALUMINIO. ....	45
FIGURA 2 - 39 LÁMINAS DE VIDRIO DE 8 LÍNEAS.....	45
FIGURA 2 - 40 SELLADOR DE SILICONA. ....	46
FIGURA 2 - 41 PERNOS DE 2 PULGADAS.....	46
FIGURA 2 - 42 TORNILLO ALLEN DE 1/4 DE PULGADA.....	47
FIGURA 2 - 43 MOTOR DE LIMPIAPARABRISAS 12V.....	47
FIGURA 2 - 44 REDUCTOR DE VOLTAJE 110V A 12V.....	48
FIGURA 2 - 45 BANDAS INDUSTRIALES.....	48

### CAPITULO III

FIGURA 3 - 1 MODELO FÍSICO ARMADO.....	53
FIGURA 3 - 2 BALANZA.....	54
FIGURA 3 - 3 RECIPIENTE DE 500ML.....	54
FIGURA 3 - 4 RECIPIENTE DE 50 LITROS.....	55
FIGURA 3 - 5 CRONOMETRO.....	55
FIGURA 3 - 6 PLAYO.....	56
FIGURA 3 - 7 DESTORNILLADOR PUNTA DE ESTRELLA.....	56
FIGURA 3 - 8 LLAVE HEXAGONAL DE 8MM.....	56
FIGURA 3 - 9 LLAVE INGLESA DE 11MM.....	57
FIGURA 3 - 10 PRUEBAS CON AGUA SINTÉTICA CON EL PROTOTIPO INICIAL DEL PROYECTO.....	60
FIGURA 3 - 11 PRUEBAS CON AGUA SINTÉTICA RESIDUAL EN EL MODELO FÍSICO FINAL. .....	62
FIGURA 3 - 12 MODELO FÍSICO DEFINITIVO.....	72
FIGURA 3 - 13 MEZCLA DE MATERIALES PARA EL AGUA SINTÉTICA.....	73
FIGURA 3 - 14 VERTIDO DEL AGUA SINTÉTICA LOS TANQUES DE ENTRADA.....	73
FIGURA 3 - 15 ABERTURA DE LAS LLAVES EN EL MECANISMO GIRATORIO.....	74
FIGURA 3 - 16 PROCESO DE RETENCIÓN EN EL MODELO FÍSICO.....	75
FIGURA 3 - 17 MUESTRAS PARA DETERMINAR LOS RESULTADOS LUEGO DEL ENSAYO.....	75



## ÍNDICE DE TABLAS

### CAPITULO I

TABLA 1-1 INFORMACIÓN TÍPICA PARA DISEÑO DE LOS FILTROS PERCOLADORES. -----	10
TABLA 1-2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS FILTRANTES.-----	11
TABLA 1-3. CAUDALES DE DOSIFICACIÓN TÍPICOS DE FILTROS PERCOLADORES. -----	13
TABLA 1-4. CONSTANTES DE TRATABILIDAD TÍPICAS PARA FILTROS PERCOLADORES.	15

### CAPITULO II

TABLA 2 - 1 DIMENSIONES DEL MODELO FÍSICO. ....	49
TABLA 2 - 2 COMPONENTES DEL MECANISMO GIRATORIO. ....	49
TABLA 2 - 3 PRUEBAS DEL PROTOTIPO INICIAL DEL PROYECTO. ....	50

### CAPITULO III

TABLA 3 - 1 COMPONENTES Y CANTIDADES PARA LA FABRICACIÓN DEL AGUA SINTÉTICA. ....	58
TABLA 3 - 2 VOLUMEN Y TIEMPO DE VACIADO EN EL PROTOTIPO A UNA ABERTURA DE 15°. ....	61
TABLA 3 - 3 VOLUMEN Y TIEMPO DE VACIADO A UNA ABERTURA DE 10°. ....	63
TABLA 3 - 4 TIEMPO DE RETENCIÓN CON UNA ABERTURA DE 10°. ....	63
TABLA 3 - 5 VOLUMEN Y TIEMPO DE VACIADO A UNA ABERTURA DE 15°. ....	64
TABLA 3 - 6 TIEMPO DE RETENCIÓN CON UNA ABERTURA DE 15°. ....	65
TABLA 3 - 7 VOLUMEN Y TIEMPO DE VACIADO A UNA ABERTURA DE 30°. ....	65
TABLA 3 - 8 TIEMPO DE RETENCIÓN CON UNA ABERTURA DE 30°. ....	66
TABLA 3 - 9 VOLUMEN Y TIEMPO DE VACIADO A UNA ABERTURA DE 45°. ....	66
TABLA 3 - 10 TIEMPO DE RETENCIÓN CON UNA ABERTURA DE 45°. ....	67
TABLA 3 - 11 DATOS DEL AGUA QUÍMICA DE ENTRADA. ....	68
TABLA 3 - 12 DATOS DEL AGUA TRATADA CON FILTRO GRAVA. ....	68
TABLA 3 - 13 DATOS DEL AGUA TRATADA CON FILTRO PLÁSTICO. ....	69
TABLA 3 - 14 EFICIENCIA DEL AGUA TRATADA CON FILTRO GRAVA. ....	69
TABLA 3 - 15 EFICIENCIA DEL AGUA TRATADA CON FILTRO PLÁSTICO. ....	69

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO. 1 FICHA DE RESULTADOS.....	81
ANEXO. 2 PLANO 1-1, VISTA FRONTAL DEL MODELO DEFINITIVO (PARTES).....	82
ANEXO. 3 PLANO 1-2, VISTA FRONTAL DEL MODELO DEFINITIVO (MEDIDAS).....	83
ANEXO. 4 PLANO 2-1, VISTA LATERAL DERECHA DEL MODELO DEFINITIVO (PARTES).....	84
ANEXO. 5 PLANO 2-2, VISTA LATERAL DERECHA DEL MODELO DEFINITIVO (MEDIDAS).....	85
ANEXO. 6 PLANO 3-1, VISTA EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA METÁLICA (PARTES).....	86
ANEXO. 7 PLANO 3-2, VISTA EN PLANTA DE LA ESTRUCTURA METÁLICA (MEDIDAS).....	87
ANEXO. 8 PLANO 4-1, DISEÑO DE PLACAS METÁLICAS (PARTES).....	88
ANEXO. 9 PLANO 4-2, DISEÑO DE PLACAS METÁLICAS (MEDIDAS).....	89
ANEXO. 10 PLANO 5, VISUALIZACIÓN DEL MODELO FÍSICO.....	90
ANEXO. 11 VISUALIZACIÓN 3D DEL MODELO FÍSICO COMPLETO.....	91
ANEXO. 12 VISUALIZACIÓN 3D ESTRUCTURA METÁLICA ARMADA.....	92

**“ELABORACIÓN DEL MODELO FÍSICO Y GUÍA  
METODOLÓGICA PARA EL ENSAYO DE AGUAS  
RESIDUALES MEDIANTE PRUEBAS A TRAVÉS DE UN  
FILTRO PERCOLADOR DE LA ASIGNATURA DE  
HIDROSANITARIA DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY”**

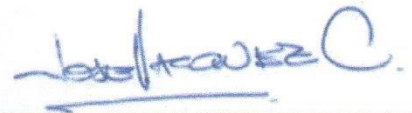
**RESUMEN**

En el presente trabajo se realiza el modelo físico y la correspondiente guía metodológica para la práctica de percolador de la asignatura de Hidrosanitaria. Este documento detalla a profundidad el fundamento teórico, cálculos, esquema del sistema, funcionamiento y validación de datos para el uso del modelo físico que se empleará para la realización de la práctica de laboratorio. Finalmente, se desarrolla la guía metodológica a utilizarse para la ejecución de la práctica, en ella se detalla pasos a seguir, así como los resultados que se deben obtener, a partir de los cuales los estudiantes adquirirán las destrezas necesarias que permitirán fortalecer el conocimiento teórico acerca de un filtro percolador.

**Palabras Clave:** hidrosanitaria, filtro percolador, modelo físico, guía metodológica.



Ing. Josué Bernardo Larriva V. PhD  
**Director del Trabajo de Titulación**



Ing. José Fernando Vázquez C. M.Sc  
**Director de la Escuela**



César Arturo Ormaza Cárdenas

**Autor**



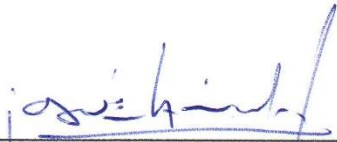
María Belén Ortiz Ortiz

**Autora**

## ABSTRACT

This work developed a physical model and a corresponding methodological guide for the practice of a percolator in Hydrosanitary. This document detailed the theoretical foundation, calculations, system scheme, functioning and validation of data of the physical model to be used for laboratory practice. Finally, the methodological guide for the development of the practice is presented, the guide specifies every step to be followed and the results to be obtained. From these indications the students acquired the necessary skills to reinforce the theoretical knowledge about a filter percolator.

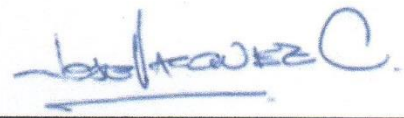
**Keywords:** Hydrosanitary, filter percolator, physical model, methodological guide.



---

Ing. Josué Bernardo Larriva V. PhD

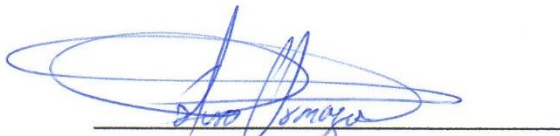
**Thesis Director**



---

Ing. José Fernando Vázquez C. M.Sc

**Faculty Director**



---

César Arturo Ormaza Cárdenas

**Author**

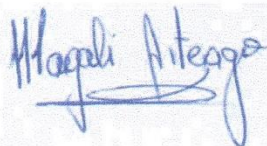


---

María Belén Ortiz Ortiz

**Author**

Translated by



María Belén Ortiz

**ELABORACIÓN DEL MODELO FÍSICO Y GUÍA METODOLÓGICA  
PARA EL ENSAYO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE PRUEBAS A  
TRAVÉS DE UN FILTRO PERCOLADOR DE LA ASIGNATURA DE  
HIDROSANITARIA DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**PRELIMINARES**

**INTRODUCCIÓN**

Hoy se conoce muchas maneras de tratar el agua residual mediante el empleo de mecanismos que depuran y filtran la materia orgánica con el uso de bacterias que requieren oxígeno.

El uso de filtros percoladores ayuda a depurar mediante poros los elementos orgánicos pequeños, estos poros permiten el paso del aire en contracorriente con la caída del agua dotándole de oxígeno para que pueda llevar a cabo su proceso biológico (Polo, Vecillas, & Martínez, 2015).

En este trabajo se detalla la aplicación y diseño de un filtro percolador con dos tipos de material filtrante, junto con un modelo físico con el fin de ilustrar el funcionamiento de uno real, también se presenta una guía metodológica la cual servirá para la realización de prácticas en el laboratorio de hidráulica.

La Universidad del Azuay cuenta con un laboratorio de hidráulica, donde este proyecto en conjunto con otros realizados anteriormente, servirá para el aprendizaje de nuevos estudiantes reforzando los conocimientos adquiridos de este tema con prácticas reales; es decir, se enseñará de manera práctica y teórica para reforzar el conocimiento.

## **ANTECEDENTES**

Dentro de la Universidad del Azuay en la Facultad de Ciencia y Tecnología, se dispone de un laboratorio de Hidráulica, en el cual se podrán realizar prácticas para las asignaturas de Hidrosanitaria y Mecánica de Fluidos. Este proyecto será un aporte al crecimiento educativo de los estudiantes puesto que forma parte de los mecanismos a utilizar dentro de las prácticas de laboratorio y que adoptan temas sobre el tratamiento de agua junto con su conducción y manejo.

## **PROBLEMÁTICA**

El conocimiento impartido dentro de la carrera de Ingeniería Civil, debe ser un conjunto multidisciplinario de actividades, para que sus estudiantes consoliden el aprendizaje dentro de una de sus ramas, como es el caso de la asignatura de hidrosanitaria, puesto que se requiere la adquisición de conocimientos prácticos y reales que no permite palpar la simple teoría, con ello crear un discernimiento y conocimiento crítico mediante las pruebas en el laboratorio de lo aprendido en el aula.

Existen varios sistemas de depuración de materia orgánica y uno de ellos son los filtros percoladores, de los cuales se requiere conocer su funcionalidad mediante prácticas de laboratorio.

La falta del material didáctico impide la total comprensión del uso y funcionamiento de los filtros percoladores, por lo que al realizar prácticas en el laboratorio permitirá generar un mejor aprendizaje sobre el tratamiento del agua residual y del cómo trabajan las bacterias que desintegran la materia orgánica presente en este tipo de aguas.

## **JUSTIFICACIÓN**

En la realización de las prácticas de laboratorio, es necesario contar con un sistema paso a paso detallando cada punto para que el alumno comprenda el tema de una manera versátil, entonces es fundamental, realizar una guía metodológica que ayudará a interpretar el funcionamiento del modelo físico que se utiliza en el laboratorio. El estudiante al seguir esta guía, podrá realizar ensayos de una manera correcta que le simplifica el tiempo, además de otorgarle el conocimiento de mecanismos reales que depuran el agua.

Así mismo, tendrán la oportunidad de usar el modelo con su respectivo manual para realizar prácticas de laboratorio; en este manual se detalla el uso adecuado y el mantenimiento del modelo físico, además lograrán ver los componentes y elementos que este contiene.

Las personas encargadas de realizar la práctica deberán dar lectura previa al manual de uso, sobre todo a los pasos de instalación del modelo físico y la guía metodológica, para que así puedan realizar el ensayo sin inconvenientes, procurando tener orden al realizar las prácticas para comprender de manera rápida y fácil los resultados obtenidos, otorgando un aprendizaje llamativo y útil que sirve para entender prácticamente lo teórico.

## **OBJETIVO GENERAL**

- Elaborar de un modelo físico y guía metodológica para la práctica de depuración de materia orgánica presente en aguas residuales, mediante el uso de un filtro percolador.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir conceptos básicos sobre los filtros percoladores junto con sus partes.
- Elaborar un modelo físico donde se muestre el funcionamiento del sistema.
- Generar una guía metodológica que sirva para la realización de las prácticas en el laboratorio.

## **ALCANCES Y RESULTADOS**

El presente trabajo de titulación contiene una descripción detallada y cálculos de cada uno de los parámetros a considerar para el diseño y elaboración de la maqueta con su respectiva guía metodológica para la ejecución de la práctica de laboratorio, cuyos resultados se presentarán en una ficha.



## **CAPITULO I**

### **1. MARCO TEÓRICO**

#### **1.1 TRATAMIENTOS SECUNDARIOS DE AGUAS RESIDUALES**

El agua es el elemento más importante para la vida que se desarrolla en el planeta Tierra. El ser humano es uno de los principales consumidores de este recurso con el objetivo de cumplir o llevar a cabo varias de sus actividades que le permiten vivir una vida plena y placentera.

Pero así, de la misma forma que consume, también genera una lista sin fin de desperdicios que requieren de tratamiento y gestión para evitar contaminación en su propio entorno. Los hechos históricos sitúan varias razones por las que el ser humano debe dar énfasis en el tratamiento de las aguas que ha usado; por ejemplo, el brote del cólera arrebató la vida de 10 millones de personas, diezmando significativamente la población europea del siglo XIX; es decir, generó una necesidad por el saneamiento y limpieza pública.

A pesar de que nuestro planeta está conformado por 3/4 de agua, es apenas el 1% apta para el consumo, puesto que el 96% de ella es salada y el 2% se encuentra en los casquetes polares y en los más altos nevados de nuestro planeta. Razón por lo que resulta de suma importancia el ahorro de este elemento y también evitar su desperdicio; puesto que muchas de las actividades industriales y sociales dependen de este recurso (Swimtonic Technology, 2019).

Los tratamientos de aguas residuales se pueden clasificar de algunas maneras de acuerdo con los procesos unitarios y sus operaciones; razón por lo que existe diferencia entre los preliminares, primarios, secundarios y terciarios. Los preliminares consisten en tamices, rejillas o microfiltros para descartar cualquier material voluminoso y abrasivo; los primarios se encargan de remover aquellos materiales que se pueden sedimentar.

Por otro lado, se encuentran los tratamientos secundarios que son nuestro objeto de estudio que se centran en reducir la demanda biológica de oxígeno (DBO), lo que

significa la reducción de los nutrientes y contaminantes disueltos en el agua, con la finalidad de hacer posible su reutilización y final vertido en los cuerpos de agua.

Uno de estos tratamientos secundarios es el filtro percolador, que se aplica mediante rociadores o tubos con aberturas cuyo efluente se cuela a través de material filtrante; durante esta fase de percolados procesos como la filtración, conversión biológica y absorción, eliminan los contaminantes; este tipo de tratamiento es aceptado siempre y cuando se restrinja el acceso al público y los cultivos usados, no se destinen para consumo humano; sin embargo, se aconseja tratamientos posteriores para garantizar la calidad en el agua y un bajo impacto medio ambiental (Henry & Heinke, 1999).

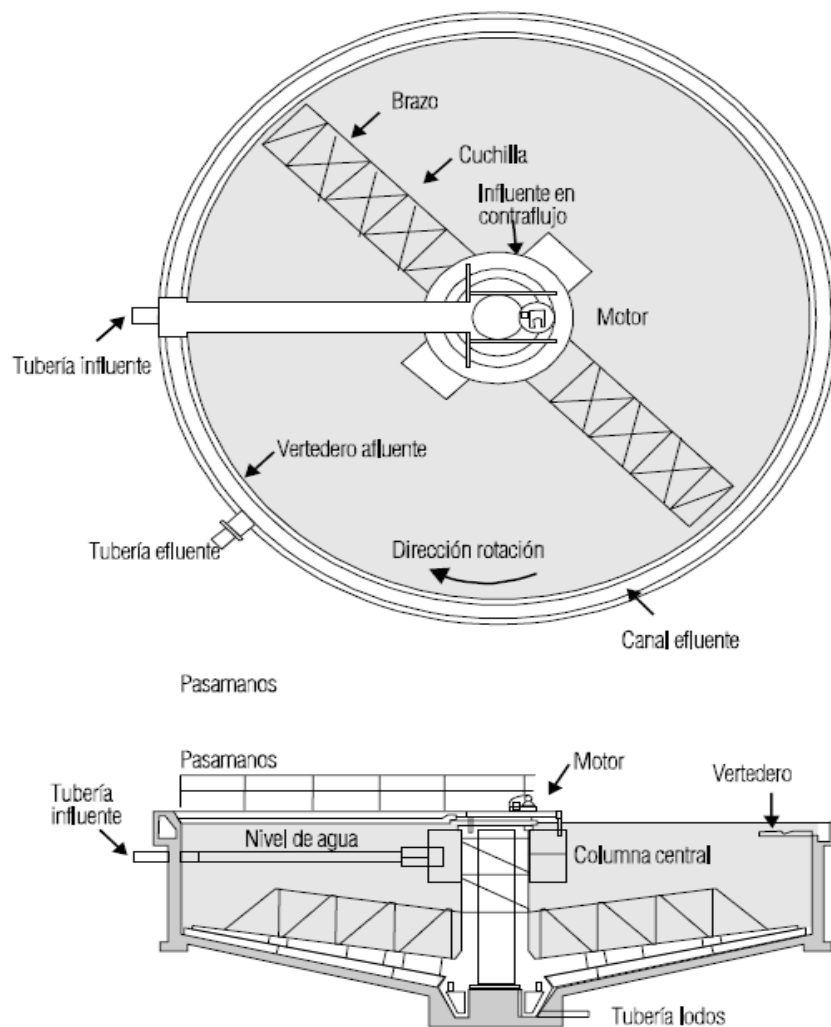


Figura 1 - 1 Sedimentador Secundario.

Fuente: (Orozco Jaramillo, 2005)

### **1.1.1. DEFINICIÓN DE HIDROSANITARIA**

Dentro del amplio campo de la Mecánica de Fluidos se encuentra el concepto de hidrosanitaria, el mismo que es una unión de Hidráulica y Sanitaria; es decir comprende los estudios sobre la captación, distribución, mantenimiento de agua y agua residual; además esta rama se encarga de estudiar los diseños para recolectar el agua de una fuente natural, su potabilización y distribución a lo largo de un sector poblado, por otro lado se encarga de los diseños para tratar el agua residual de origen industrial como doméstico, hasta el punto en el que este se deposita.

#### **Definición de Aguas Residuales**

Todas aquellas aguas usadas en la actividad doméstica o industrial son consideradas aguas residuales o servidas, su tratamiento consiste en reducir la cantidad del elemento contaminante que afecte los parámetros de calidad para su uso. El agua residual tiene cerca del 70% de sólidos suspendidos y entre 45% a 50% de sólidos fijos (Orozco Jaramillo, 2005).

#### **Materia Orgánica**

Es la parte más importante de la contaminación del agua, puesto que agota el oxígeno disuelto presente en los ríos, lagos, etc. La materia orgánica (MO) que está presente en las aguas residuales está compuesta por carbono, hidrogeno, oxígeno junto con el nitrógeno en algunos casos, también presentan compuestos como el fósforo, azufre, hierro, etc. (Orozco Jaramillo, 2005).

La MO se divide por conveniencia en varios grupos como proteínas, carbonatos, surfactantes, aceites y grasas, cada una con diversas características en base a su composición (Orozco Jaramillo, 2005).

#### **Tratamiento de aguas residuales con lecho fijo**

Estos tratamientos poseen reactores con el lecho fijo que puede ser de grava o material sintético, el tratamiento es efectuado por la biomasa adherida a un medio sólido donde el sustrato como el oxígeno se difunden por el filme biológico reaccionando y produciendo biomasa adicional, los reactores de medio fijo son filtros biológicos o percoladores y los biodiscos, el filtro percolador forma parte de los

tratamientos de lecho fijo biológico debido a que posee todas estas características (Orozco Jaramillo, 2005).

### **1.1.2. DEFINICIÓN DE FILTRO PERCOLADOR**

El filtro percolador o también conocido como biofiltro, es un proceso muy utilizado en el tratamiento de aguas residuales, se encarga de poner en contacto estas aguas con biomasa adherida a un medio de soporte fijo generando un lecho de oxidación biológica.

Su objetivo es el reducir la carga orgánica presente en el agua residual, vertiendo la misma sobre un lecho de material natural o artificial como piedras o rosetas plásticas respectivamente.

El lecho del filtro percolador debe ser de materiales altamente permeables en el mismo que se adhieran microorganismos y a través del cual el residuo líquido se infiltra, por lo general el tamaño de la piedra a utilizarse es de 2.5 a 10 cm de diámetro colocados en un tanque de profundidad variable en dependencia del diseño a realizar, estos tanques pueden ser de 1 a 2.5m con un promedio de 1.8m (Romero Rojas, 2010).

Estos filtros poseen sistemas de drenaje inferior para recolectar el agua residual tratada y los sólidos que se desprenden del mismo. El sistema debe ser poroso permitiendo el acceso del aire pues se trata de un sistema de tratamiento anaerobio. El residuo orgánico presente en el agua residual es absorbido por la biomasa adherida al lecho filtrante (Romero Rojas, 2010).

Como lo afirma Ferrer Polo y Robles Martínez:

“La cantidad de materia orgánica o biomasa fija sobre la superficie del medio aumenta con la carga orgánica alcanzando un espesor máximo, a su vez es controlado por varios factores físicos como la velocidad de dosificación hidráulica, tipo de medio, tipo de materia orgánica, temperatura, etc. Después del pasar por el filtro los lodos producidos son recogidos en un decantador secundario.

La recirculación del agua residual frecuentemente permite aumentar la eficiencia de este filtro. Un aumento en el caudal permite una mejor distribución del efluente

sobre superficies no mojadas manteniendo la máxima capacidad de tratamiento del filtro” (Polo, AVECILLAS, & MARTINEZ, 2015).

### **Reactor o Filtro**

Es el recipiente cilíndrico de varios diámetros puede medir hasta 60m con profundidades de 1.5 a 2.5m, mientras más profundo, mayor la pérdida de carga. El sistema de distribución del agua residual consiste en una tubería o canal que gira alrededor del eje central cuya velocidad de giro varía entre 0.5 a 2 rpm cuando tiene brazos perpendiculares (Orozco Jaramillo, 2005).

El medio de contacto: material natural como grava de 5 a 10cm de diámetro o material artificial como láminas de plástico entrelazadas (Orozco Jaramillo, 2005).



Figura 1 - 2 EDAR de filtro percoladores en construcción.

Fuente: (Polo, AVECILLAS, & MARTINEZ, 2015).

### **1.1.3. TIPOS DE FILTROS PERCOLADORES**

Los filtros percoladores se clasifican en función de las cargas hidráulicas y orgánicas aplicadas. La carga hidráulica es el caudal total incluyendo la recirculación, dividida por el área del filtro y la carga orgánica se define como Kg de DQO/día dividido por el volumen total del filtro (Polo, AVECILLAS, & MARTINEZ, 2015).

Los filtros se clasifican desde baja carga, carga intermedia, alta carga, muy alta, de desbaste y doble etapa (METCALF & EDDY, INC., 1995).

### 1.1.4. CRITERIOS DE DISEÑO

Los datos principales al momento de construir un filtro percolador son de vital importancia muchos de estos se encuentran en la Tabla 1-1. El cual se parte principalmente del tipo de filtro que se requiere en dependencia de la carga, en este proyecto se determinó que será de carga baja, para continuar con el diseño se requiere escoger el medio filtrante, profundidad y diámetro del tanque conociendo el agua que se requiere depurar.

Es importante conocer sobre los sistemas de drenaje y ventilación, al ser un tratamiento anaerobio, se requiere de oxígeno para que las bacterias presentes en el filtro cumplan con su función de depuración, además de saber cómo desplazar el agua tratada hacia el siguiente sistema de tratamiento.

Tabla 1-1 Información típica para diseño de los filtros percoladores.

Elemento	Baja carga	Carga intermedia	Carga alta	Muy alta carga	De desbaste	Doble etapa
Medio filtrante <sup>b</sup>	Piedra, escoria	Piedra, escoria	Piedra	Piedra	Plástico, madera	Roca, plástico
Carga hidráulica m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> · día	1,20-3,50	3,50-9,40	9,40-37,55	11,70-70,40	47,0-188,0	9,40-37,55
Carga orgánica, kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> · d	0,08-0,40	0,25-0,50	0,50-0,95	0,48-1,60	1,6-8,0	0,95-1,80
Profundidad, m	1,80-2,40	1,80-2,40	0,90-1,80			
Relación de recirculación	0	0-1	1-2	1-2	1-4	0,5-2
Moscas en el filtro	Abundantes	Algunas	Escasas	Escasas o ninguna	Escasas o ninguna	Escasas o ninguna
Arrastre de sólidos	Intermitente	Intermitente	Continuo	Continua	Continua	Continua
Eficiencia de eliminación de la DBO, %	8-90	50-70	65-85	65-80	40-65	85-95
Effluente	Bien nitrificado	Parcialmente nitrificado	Escasamente nitrificado	Escasamente nitrificado	No nitrificado	Bien nitrificado

Fuente: (METCALF & EDDY, INC., 1995)

## Tipos de Medios Filtrantes

Existen dos tipos de medios filtrantes, el primero es aquel formado por piedra partida o rodada, es decir medio natural y el segundo es aquel formado por material artificial como el plástico, este es más utilizado para aguas industriales de gran carga orgánica. Estos medios poseen varias características a considerar como tamaño, masa, superficie y porosidad en dependencia del tipo de material (Polo, AVECILLAS, & MARTINEZ, 2015).

En la Tabla 1-2 se muestran las características de los medios filtrantes que se utilizaran en las prácticas de laboratorio, en dependencia del material.

Tabla 1-2. Características de los medios filtrantes.

Medio	Tamaño nominal mm	Masa/volumen kg/m <sup>3</sup>	Superficie específica m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	Porosidad
Gravas de río				
Pequeñas	25 - 65	1250 - 1450	55 - 70	40 - 50
Grandes	100 - 120	800 - 1000	40 - 50	50 - 60
Escorias de hornos				
Pequeñas	50 - 80	900 - 1200	55 - 70	40 - 50
Grandes	75 - 125	800 - 1000	45 - 60	50 - 60
Plástico				
Convencional	600 x 600 x 1200 <sup>a</sup>	30 - 100	80 - 100	94 - 97
Alta sup. especific.	600 x 600 x 1200 <sup>a</sup>	30 - 100	100 - 200	94 - 97
Madera	1200x 1200 x 500 <sup>a</sup>	150 - 175	40 - 50	70 - 80

<sup>a</sup> Tamaño del módulo

Fuente: (Polo, AVECILLAS, & MARTINEZ, 2015)

## Sistemas de Drenaje Inferior

El filtro percolador debe poseer un sistema de drenaje que recoja el agua residual tratada que consiste en dispositivos que se encargan de recolectar el agua y los sólidos desprendidos del material filtrante y guiarlos hasta el tanque de sedimentación. Cuando se utilizan materiales filtrantes de tipo rocoso, el drenaje inferior se suele construir de bloques de arcilla vitrificada que descansan sobre un falso fondo por encima de la solera del filtro, también se utilizan parrillas de fibra de vidrio como material para la construcción del sistema de drenaje (METCALF & EDDY, INC., 1995).

Este drenaje requiere ranuras u orificios para admitir el agua del efluente, estos son colocados con pendientes del 1 al 2% hasta la sección de recolección (Orozco Jaramillo, 2005).

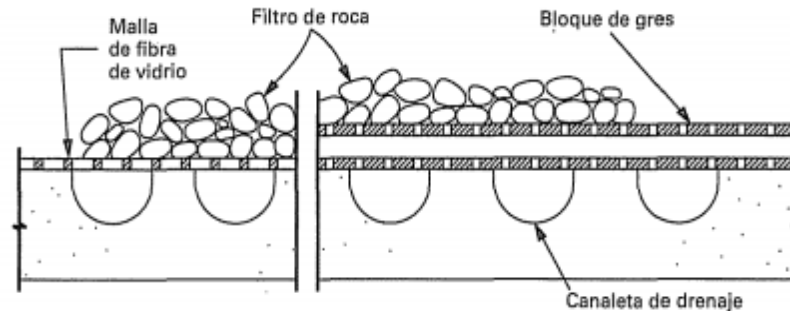


Figura 1 - 3 Sistemas de drenaje inferior para filtros de piedra.

Fuente: (METCALF & EDDY, INC., 1995)

## Ventilación

Una de las partes más importantes en los filtros percoladores es la ventilación, ya que es indispensable un correcto flujo de aire que regula la temperatura en el sistema de tratamiento, los factores principales que intervienen en la ventilación de un flujo abierto son su parte superior que permite la ventilación natural y la acción del viento (METCALF & EDDY, INC., 1995).

Al tratarse de un sistema aerobio requiere de una buena ventilación, permitiendo el flujo de aire que debe ser alrededor de  $0.3\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{min}$  de área filtrante (Orozco Jaramillo, 2005).

## Formulación para el diseño de un filtro percolador

### 1) Velocidad de rotación

$$n = \frac{1.66(Q_T)}{(A)(DR)} \quad (1)$$

Donde:

$n$ = Velocidad de rotación del distribuidor r.p.m

$Q_T$ = Carga hidráulica total aplicada,  $\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h} = Q + Q_r$



Q= Carga hidráulica del agua residual afluyente, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*h

Q<sub>r</sub>= Carga hidráulica del caudal recirculado, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>\*h

A= Número de brazos del distribuidor

DR= Caudal de dosificación, cm/paso del brazo distribuidor

Para la dosificación los valores típicos de diseño se encuentran en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3. Caudales de dosificación típicos de filtros percoladores.

Carga orgánica, kg/m <sup>3</sup> ·d	Dosificación, mm/paso
<0,4	73
0,8	150
1,2	225
1,6	300
2,4	450
3,2	600

Fuente: (METCALF & EDDY, INC., 1995)

2) Ventilación natural del aire

$$D_{aire} = 3.53 \left( \frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_h} \right) Z \quad (2)$$

Donde:

D<sub>aire</sub> = Ventilación natural del aire, mm de agua

T<sub>c</sub> = Temperatura menor, °K

T<sub>h</sub> = Temperatura mayor, °K

Z = Altura del filtro

3) Temperatura media del filtro

$$T_m = \frac{T_2 - T_1}{\ln \left( \frac{T_2}{T_1} \right)} \quad (3)$$

Donde:

T<sub>1</sub> = Temperatura mayor, °K

T<sub>2</sub> = Temperatura menor, °K

## 4) Rendimiento de eliminación en los filtros percoladores

$$\frac{S_e}{S_i} = \exp[-k_{20}D(Q_v)^{-n}] \quad (4)$$

Donde:

$S_e$  = DBO<sub>5</sub> total del efluente del filtro decantado, mg/l

$S_i$  = DBO<sub>5</sub> total del agua residual afluyente al filtro, mg/l

$k_{20}$  = Constante de tratabilidad correspondiente a una determinada profundidad del medio filtrante (D) a 20 °C

D = Profundidad del filtro, m

$Q_v$  = Caudal volumétrico aplicado por unidad de superficie del filtro, (Q/A), m<sup>3</sup>/h\*m<sup>2</sup>

A = Superficie del filtro, m<sup>2</sup>

n = Constante empírica, normalmente 0.5

## 5) Constante de Tratabilidad

El valor de esta constante se deduce mediante estudios de una planta piloto en filtros de 6m de profundidad, el valor de esta se debe corregir por temperatura mediante la siguiente ecuación:

$$k_T = k_{20}(1.035)^{T-20} \quad (5.1)$$

Donde:

$k_T$  = Constante de tratabilidad a la temperatura de diseño

$k_{20}$  = Constante de tratabilidad a 20 °C

T = Temperatura mínima esperada

En casos en las que se pretenda usar el valor de una constante de tratabilidad media, se tiene:

$$k_2 = k_1 \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^x \quad (5.2)$$

Donde:

$k_1$  = Constante de tratabilidad para un filtro de profundidad  $D_1$

$k_2$  = Constante de tratabilidad para un filtro de profundidad  $D_2$

$D_1$  = Profundidad del primer filtro

$D_2$  = Profundidad del segundo filtro

La constante de tratabilidad típica para los filtros percoladores en dependencia de su agua residual tiene un rango de valores obtenidos a una temperatura de 20 °C obsérvese la Tabla 1-4.

Tabla 1-4. Constantes de tratabilidad típicas para filtros percoladores.

Tipo de agua residual	Constante de tratabilidad, $k$ , $l/m^2 \cdot h^{0,5}$
Domésticas	6,71-10,32
Domésticas y alimentarias	6,20-8,62
Envasado de frutas	2,05-5,16
Envasado de carnes	3,10-5,16
Residuos de papeleras	2,06-4,13
Procesado de patatas	3,61-5,16
Refinerías	2,06-7,23

Fuente: (METCALF & EDDY, INC., 1995)

## 1.2. ELABORACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA

### 1.2.1. DEFINICIÓN DE GUÍA METODOLÓGICA

La guía metodológica es un documento escrito o digital elaborada para el correcto desarrollo y planificación de procesos, dentro de este documento se dictaminan definiciones fundamentales, antecedentes que deben realizarse antes de llevar a cabo la práctica, instrucciones de los pasos que se deben seguir de forma secuencial para efectuar el ensayo y la forma correcta de leer e interpretar los resultados que arroje el experimento, lo que significará una ayuda sumamente importante para los estudiantes puesto que reducirán tiempos y primará la eficiencia en el laboratorio (Schulte, 2003).

El apartado correspondiente a la guía metodológica supone un plan o estrategia para cumplir con los objetivos del proyecto y la práctica de laboratorio, para los que se englobaría en las siguientes metas:

- Direccionar la conducción de la práctica de laboratorio para garantizar la correcta recopilación de datos, su validez y credibilidad al momento de interpretar los resultados obtenidos.
- Proporcionar una ayuda para la adecuada ejecución del ensayo de laboratorio con le finalidad de afianzar y reforzar los conocimientos teóricos adquiridos en clase.

### **1.2.2. CONSIDERACIONES GENERALES**

Una meta principal para el presente proyecto es que la guía metodológica ayude a descifrar los resultados obtenidos y proponga sistemas de interpretación, evaluación y análisis en general. Para el diseño de la guía metodológica se deberá respetar los siguientes parámetros (Schulte, 2003):

- Contar con conocimientos de los conceptos básicos, requerimientos mínimos y criterios de diseño correspondientes a las asignaturas de Hidráulica;
- Correcta identificación del problema e incógnitas a solventar al momento de efectuar la práctica de laboratorio;
- Presentación lógica y coherente en la que se analice y organice la información necesaria para efectuar el ensayo;
- Establecer relaciones entre los otros procesos que forman parte del tratamiento de aguas residuales;
- Redacción de forma secuencial de los pasos correctos a seguir para ejecutar la práctica de laboratorio; y
- Aprobación de la guía metodológica por parte de expertos en el área de Hidráulica.

### **1.2.3. FICHA DE RESULTADOS**

La ficha de resultados es una herramienta imprescindible al momento de presentar los resultados obtenidos de la práctica de laboratorio, es necesario tomar en cuenta que esta ficha se presenta al final de efectuar todos los pasos recomendados en el apartado metodológico.

Este instrumento investigativo debe cumplir con características tales como: simplicidad, consistencia, claridad y compactación para que así resuma y permita una adecuada interpretación por parte de ellos estudiantes. Tales resultados se deberán presentar al docente a cargo siguiendo los parámetros académicos previamente designados para posterior revisión y aprobación, mediante esta metodología se podrá evaluar el desempeño de cada estudiante al momento de realizar el ensayo (Schulte, 2003) (Álvarez, Paredes, & Arteaga, 2015).

## CAPÍTULO II

### 2. DISEÑO Y CONSTRUCCION DEL MODELO DINÁMICO

#### 2.1. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE LA MAQUETA

El presente proyecto tiene como destino ser una herramienta de gran utilidad para el laboratorio de la Universidad del Azuay, su uso se destina exclusivamente a los estudiantes y docentes de la Facultad de Ciencia y Tecnología, las dimensiones del modelo se sustentarán en función del caudal a tratarse.

La maqueta de filtro percolador funciona en caída libre, es decir, la gravedad es la causante de generar el paso del agua a través del todo el sistema del mecanismo; además nuestra propuesta estará compuesta por un afluente que alimenta la unidad mecánica de riego y un efluente que se convertirá en el producto del experimento ejecutado; de esta manera, estos puntos serán claves para ejecutar el diseño del modelo.

El filtro percolador constará físicamente por dos partes principales, que permitirán hacer una comparación entre dos medios filtrantes, estas se subdividen en tres tanques y el mecanismo eléctrico giratorio, los cuales cumplen funciones específicas: tanque de entrada, mecanismo giratorio de distribución, tanque filtro, tanque de salida.

- **Tanque de Entrada:** El modelo de filtro percolador posee en la parte superior un tanque que alimenta al mecanismo, el contenedor conduce el afluente a las otras partes del filtro, el tanque se encuentra en condiciones libres y su forma es semejante a un prisma rectangular.

- **Mecanismo Eléctrico Giratorio:** Esta sección consta de dos partes, una estática y la otra dinámica; la primera de ellas está compuesta por tubería de PVC y acero fijada a la estructura inicial del modelo, la segunda se encuentra sujeta al componente giratorio del rociador de jardín, este a su vez conectado a las poleas que giraran por las bandas cuya fuerza está dada por un motor de 12V.

- **Tanque Filtro:** En la parte central de la maqueta se encuentra el tanque más grande que se trata del filtro que es la sección principal del tratamiento de aguas residuales; el contenedor tiene una forma prismática rectangular, reforzado con filos de acero y aluminio, además de poseer cristales de ocho líneas que garantizan seguridad al momento de ejecutar la práctica.
- **Tanque de Salida:** En la parte inferior del modelo se encuentra el tanque de salida, cuya función principal es recolectar el producto de agua sintética filtrada usada en el mecanismo, el contenedor se encuentra en condiciones libres y tiene una forma prismática rectangular.

## 2.2. DIMENSIONAMIENTO

El tratamiento de agua residual mediante el uso de un filtro percolador consta de dos secciones idénticas, que se subdividen en cuatro puntos estratégicos: tanque de entrada, mecanismo giratorio eléctrico, tanque filtro y tanque de salida; la red de distribución del tanque de entrada al mecanismo giratorio tendrá una apertura de 3/4 de pulgada desde la tubería hasta la sección del rociador, cuya entrada coincide con la misma medida mencionada y la salida tiene una dimensión de 1/4 de pulgada. Luego se encontrará un reductor de 1/4 a 1/2 de pulgada que se vincula con la polea cuya entrada tiene una medida de 1/2 de pulgada y su salida es de 3/4 de pulgada; finalmente se conecta a una “T” de 3/4 de pulgada, en cuyos extremos se encuentran tapones PVC que cierran el paso lateral.

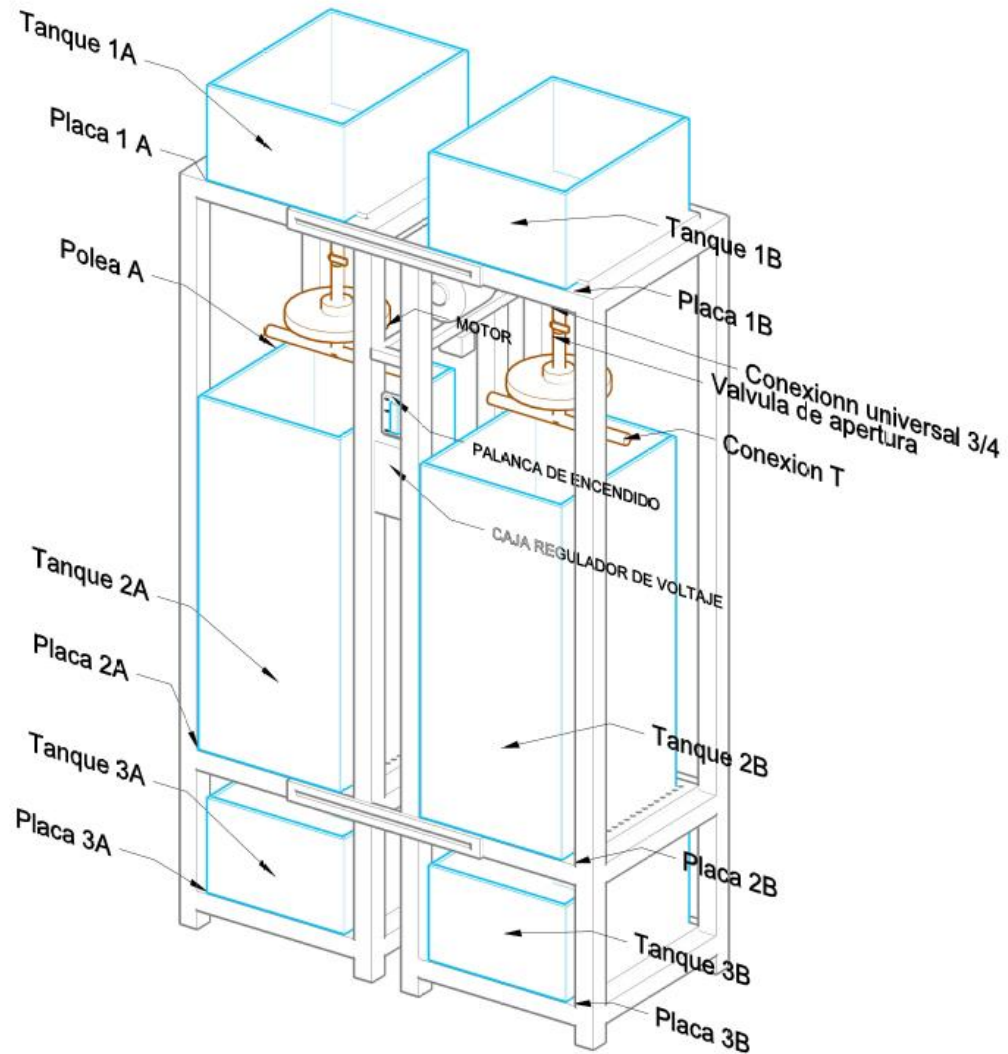


Figura 2 - 1 Visualización del modelo físico y sus partes.

Fuente: Autores.

En el momento en el que el agua se rocíe dentro del tanque filtro, el material filtrante se encargará de retener la máxima cantidad de materia orgánica presente en el agua sintética, ofreciendo un paso libre del líquido a través de sus poros, reposando sobre una placa perforada con agujeros de 3mm que permitan la recolección del agua depurada en el tanque de salida.



### 2.2.1. TANQUE DE ENTRADA

El tanque de entrada cumple la función de almacenar en primera instancia el agua sintética que se someterá a tratamiento, los tanques de entrada tanto 1-A y 1-B comparten las mismas dimensiones; por lo que, tendrán la misma capacidad de almacenamiento. Se debe realizar el ensayo de laboratorio para un aforo de 20 litros en cada tanque, poseen una altura de 20 cm y una sección rectangular de 39,5cm x 30,5 cm. A partir de estas medidas obtenemos 24,1 litros; sin embargo, se trabajará con la medida de 20 litros para así evitar desbordamientos.

$$VT = A * H \quad (6)$$

Donde:

**VT**= Volumen total del tanque en cm<sup>3</sup>

**A**= Área de la sección transversal del tanque en cm<sup>2</sup>

**H**= Altura real máxima del tanque en cm

Partiendo el análisis de 24 litros se deducirán las siguientes dimensiones del tanque:

$$24000 \text{ cm}^3 = A * 20 \text{ cm}$$

$$A = \frac{24000 \text{ cm}^3}{20 \text{ cm}}$$

$$A = 1200 \text{ cm}^2$$

Imponiendo un a=30,5 cm se puede determinar el otro lado de la sección rectangular.

$$A = a * b \quad (7)$$

De tal modo:

**A**= Área de la sección transversal del tanque en cm<sup>2</sup>

**a**= Lado de la sección transversal del tanque en cm

**b**= Lado de la sección transversal del tanque en cm

Entonces:

$$1200 \text{ cm}^2 = 30,5 \text{ cm} * b$$

$$b = \frac{1200 \text{ cm}^2}{30,5 \text{ cm}}$$

$$b = 39,34 \text{ cm} \approx 39,5 \text{ cm}$$

Por razones constructivas se toma un valor de lado de 39,5cm, dando como resultado una capacidad total del tanque de 24,1 litros, considerando el espesor del cristal es de 0,75 cm las medidas exteriores de área rectangular serán de 41 cm x 32 cm.

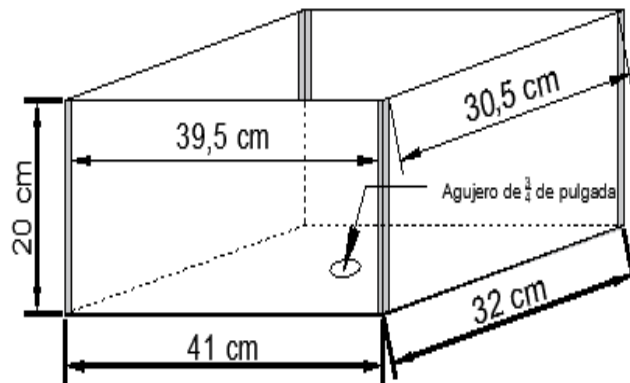


Figura 2 - 2 Bosquejo de los tanques de Entrada 1-A y 1-B.

Fuente: Autores.

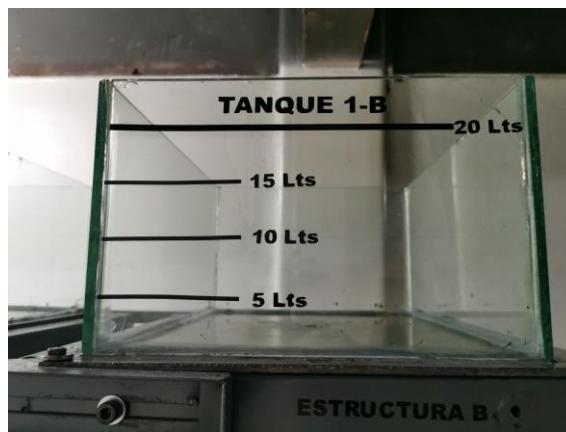


Figura 2 - 3 Tanque de entrada.

Fuente: Autores.

### 2.2.2. MECANISMO GIRATORIO ELÉCTRICO

Es la fuente dinámica del modelo de filtro percolador, está compuesta por un motor limpiaparabrisas de 12V, conjuntamente con un adaptador de voltaje de 110V a 12V cuyas dimensiones son de 11 cm x 9 cm x 15cm. La conexión a las partes fijas; es decir, los tanques 1-A y 1-B se encuentra en la unión universal respectiva de los contenedores, debido a esto, permitirá en un futuro un mantenimiento adecuado del sistema, este a su vez se conecta a un neplo de PVC de 3/4 de pulgada de diámetro, luego a una válvula con apertura de 90° conjuntamente a otro neplo de PVC de 3/4 de pulgada de diámetro para ser sujetado por una unión de PVC, posteriormente a un rociador en donde se genera el movimiento giratorio gracias a poleas de aluminio que van enlazadas por un reductor de 1/4 a 1/2 de pulgada que finalmente conduce el flujo hacia una “T” con tapones en los extremos.



Figura 2 - 4 Mecanismo Giratorio.

Fuente: Autores.

Los mecanismos giratorios tanto de la sección 1-A como 1-B son parecidos, aunque con una diferencia en las poleas que permiten el continuo movimiento de los rociadores, la polea 1-B con respecto a la polea 1-A está invertida para aprovechar el movimiento unidireccional del motor conectado a una polea doble.

El motor de 12V se enlaza a un reductor de voltaje y a su vez a una palanca de encendido que se caracteriza por brindar un movimiento giratorio con dos velocidades. Este sistema descansa sobre un riel que le permite desplazarse horizontalmente, de tal manera que nos permita tensar las bandas o aflojarlas para retirarlas.



Figura 2 - 5 Sistema giratorio conectado, vista frontal.

Fuente: Autores.

### 2.2.3. TANQUE FILTRO

El tanque filtro es una de las secciones centrales del modelo físico que denominaremos con la nomenclatura de 2-A y 2-B, está compuesto por una estructura metálica de acero fijado a la placa inferior que a su vez sirve de colador para el sistema filtrante alojado en el interior de dicho contenedor, además de esto, el tanque se encuentra reforzado con un vidrio de 8 líneas conectado a la estructura metálica mediante perfiles “T” de aluminio. Presenta características específicas que le permiten cumplir su labor como una resistencia a las presiones generadas por el material filtrante y el agua sintética, una capacidad de 94 litros con una altura de 75 cm, que le permite retener la mayor cantidad de material orgánico y dejar el libre paso del agua.

$$VTF = A * H \quad (8)$$

Donde:

**VTF**= Volumen total del tanque filtro en  $\text{cm}^3$

**A**= Área de la sección transversal del tanque en  $\text{cm}^2$

**H**= Altura real máxima del tanque en cm

Partiendo de la capacidad máxima de 94 litros se deducen las siguientes dimensiones:

$$94000 \text{ cm}^3 = A * 75 \text{ cm}$$

$$A = \frac{94000 \text{ cm}^3}{75 \text{ cm}}$$

$$A = 1253,33 \text{ cm}^2$$

Imponiéndonos un  $a=38 \text{ cm}$  y usando la fórmula (7) descrita con anterioridad, se determina la medida del lado opuesto de la sección rectangular.

$$A = 38 \text{ cm} * b$$

$$1254 \text{ cm}^2 = 38 \text{ cm} * b$$

$$b = \frac{1254 \text{ cm}^2}{38 \text{ cm}}$$

$$b = 33 \text{ cm}$$

Se debe considerar el espesor de 1 cm de las barras metálicas de la estructura, lo que resulta un aporte a las medidas exteriores de 40 cm x 35 cm.

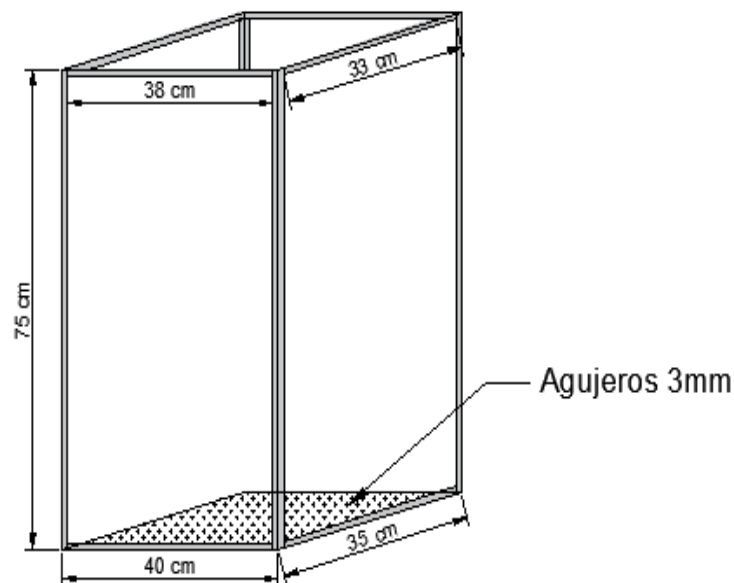


Figura 2 - 6 Bosquejo de los tanques Filtro 2-A y 2-B.

Fuente: Autores.

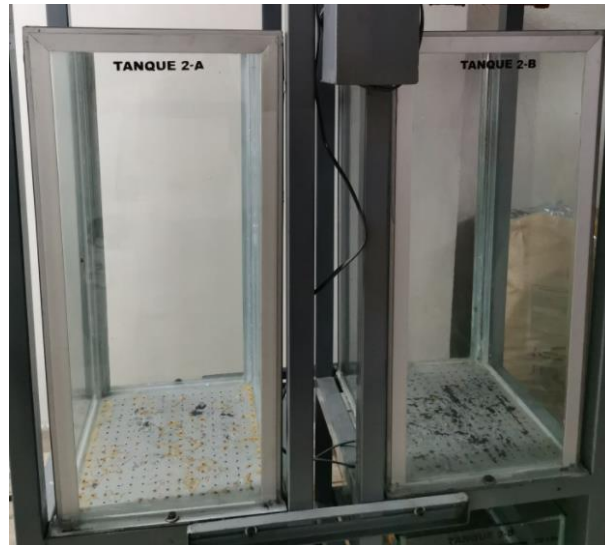


Figura 2 - 7 Tanques Filtro.

Fuente: Autores.

#### 2.2.4. TANQUE DE SALIDA

El tanque de salida es la parte final del modelo propuesto, denominado con la siguiente nomenclatura 3-A y 3-B, cuya función principal es recolectar el agua sintética sometida a ensayo de percolador; se parte del dato obtenido previamente en el dimensionamiento del tanque de entrada que nos otorgó un volumen total del contenedor de 24, 1 litros para determinar las dimensiones que tendrá el tanque de salida.

$$VTS = A * H \quad (9)$$

Donde:

**VTS**= Volumen total del tanque en  $\text{cm}^3$

**A**= Área de la sección transversal del tanque en  $\text{cm}^2$

**H**= Altura real máxima del tanque en cm

$$24000 \text{ cm}^3 = A * 20 \text{ cm}$$

$$A = \frac{24000 \text{ cm}^3}{20 \text{ cm}}$$

$$A = 1200 \text{ cm}^2$$

Imponiendo un  $a = 30,5 \text{ cm}$  se puede determinar el otro lado de la sección rectangular mediante el empleo de la fórmula (7) descrita con anterioridad.

$$A = 30,5 \text{ cm} * b$$

$$1200 \text{ cm}^2 = 30,5 \text{ cm} * b$$

$$b = \frac{1200 \text{ cm}^2}{30,5 \text{ cm}}$$

$$b = 39,34 \text{ cm} \approx 39,5 \text{ cm}$$

De igual manera que en los casos de los tanques de entrada las medidas exteriores del área rectangular serán de  $41 \text{ cm} \times 32 \text{ cm}$ .

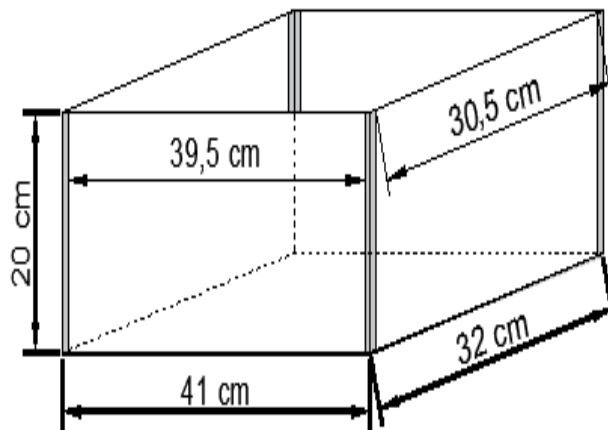


Figura 2 - 8 Tanque de Salida 3-A y 3-B.

Fuente: Autores.



Figura 2 - 9 Tanque de salida.

Fuente: Autores.

### 2.2.5. PLACAS METÁLICAS

Las placas metálicas de acero tienen un espesor de 0,5 cm con el propósito de resistir las cargas a las que van a ser expuestas ante el peso de los tanques añadido el líquido de prueba y los implementos usados para la ejecución del proceso de filtración; en total se trata de seis placas destinadas a cada tanque del modelo con sus respectivas características de fijación; sin embargo, cuentan con una misma sección transversal cuyo lado es de 36 cm que permite su idónea colocación sobre la estructura metálica general de la maqueta, cada par de placas tendrán sus respectivos orificios donde se colocaran los pernos para el anclaje a la estructura global.

$$AP = ap * bp \quad (10)$$

Donde:

**AP**= Área de la sección transversal de la placa en cm<sup>2</sup>

**ap**= Lado de la sección transversal de la placa en cm

**bp**= Lado de la sección transversal de la placa en cm

El área de la sección transversal de la placa debe ser mayor que el área de los tanques mencionados anteriormente para permitir un anclaje adecuado de las piezas y ofrecer seguridad al operador del experimento; por lo tanto, se parte de un área de 1620



$\text{cm}^2$  que es superior al área de  $1312 \text{ cm}^2$ , perteneciente a los tanques 1-A, 1-B, 3-A y 3-B.

De tal manera que:

$$1620 \text{ cm}^2 = ap * bp$$

$$1620 \text{ cm}^2 = 36 \text{ cm} * bp$$

$$bp = \frac{1620 \text{ cm}^2}{36 \text{ cm}}$$

$$bp = 45 \text{ cm}$$

De acuerdo a sus características de anclaje y distribución de fluido tenemos los siguientes pares de placas:

- **Placa 1-A y 1-B:** Estas placas presentan un agujero en su parte central circular de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, soldado a un neplo de acero de la misma medida para distribuir el flujo hacia el mecanismo giratorio partiendo de los tanques de entrada 1-A y 1-B que reposan sobre estas placas mencionadas. Se encuentran ancladas por cuatro pernos distribuidos a 1 cm de cada lado de la superficie de la placa.
- **Placa 2-A y 2-B:** Sobre estas placas reposaran los tanques filtro 2-A y 2-B, su función principal la desarrollan como un colador del filtro dotadas de agujero de 3 mm de diámetro con una separación cada 2 cm a lo largo de un área de 36 cm x 36 cm. Sujetas a la estructura general del modelo mediante pernos ubicados a 1 cm del lado mayor y a 22,5 cm del lado menor en ambos extremos de la placa.
- **Placa 3-A y 3-B:** La función principal que tienen estas placas de la parte inferior de la maqueta es soportar el peso del tanque 3-A y 3-B, así como, del líquido que almacena para posterior análisis. Del mismo modo que en los anteriores casos estas placas se encuentran fijadas por pernos ubicados a 1 cm del lado mayor y a 22,5 cm del lado menor en ambos extremos de la placa.

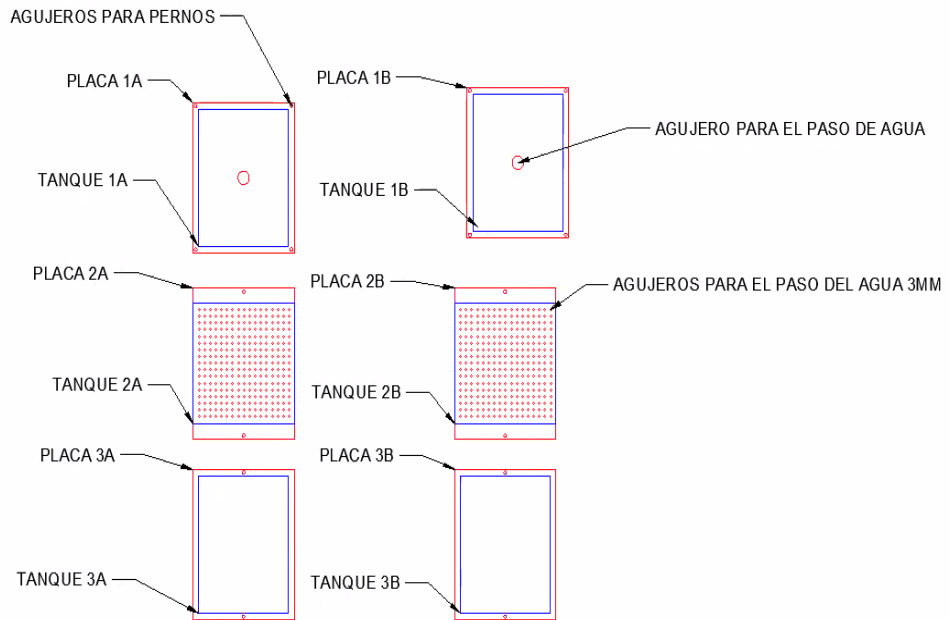


Figura 2 - 10 Visualización de los tres tipos de placas.

Fuente: Autores

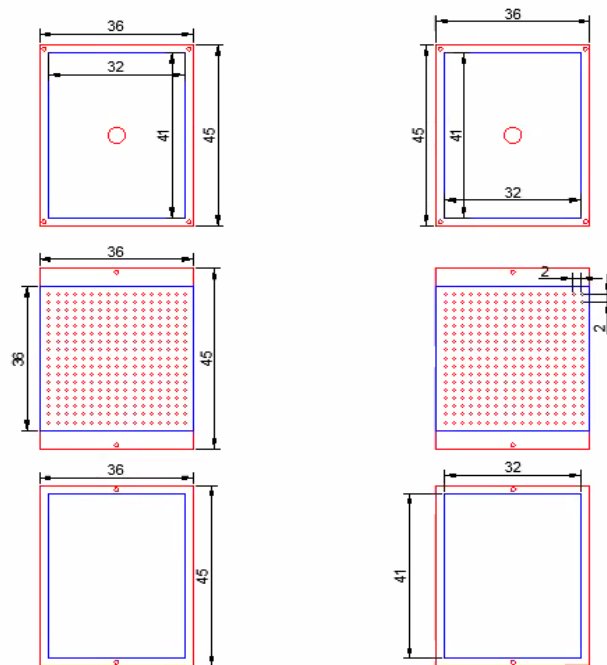


Figura 2 - 11 Dimensiones de las placas metálicas.

Fuente: Autores.

### 2.2.6. ESTRUCTURA METÁLICA

La estructura general de la maqueta se compone por dos secciones codependientes de acero construidas con tubos cuadrados de 4 cm x 4 cm, recubierta con láminas de acero y con ángulos de 2 cm x 2 cm, cuya función principal es soportar todos los tanques y placas que conforman el sistema de filtración, así como el peso generado por el agua sintética previamente confeccionada. El mecanismo giratorio funciona siempre que estas estructuras estén conectadas, ya que la parte A sostiene el motor del sistema mientras que la parte B el variador de voltaje necesario para la sección mecánica.

Tanto la estructura A como B, se encuentran conectadas por rieles empernadas en sus extremos a 10 cm de cada borde, se colocan dos rieles en el lado frontal y dos rieles en el lado posterior, permitiendo una separación mínima entre estructuras de 7 cm, así como, una separación máxima de 21 cm, esto nos permite mantener una distancia propicia en dependencia de la longitud de las bandas a usarse.

En la estructura A, se reposa soldada del lado derecho un riel que permite el desplazamiento del motor con la finalidad de ajustar las bandas y de poder remover el motor ya que se encuentra empernado al riel; mientras que, en la estructura B del lado izquierdo se encuentra soldada la palanca accionadora del movimiento giratorio y la caja del adaptador de voltaje, fijado con dos pernos pequeños que permitan su apertura en caso de mantenimiento.

Finalmente, la estructura global del modelo físico está dotado para su movilidad con cuatro ruedas de goma de diámetro 5 cm en cada sección A y B, distribuidas en pares de fijas y móviles para cada parte, permitiendo un transporte o movimiento dentro del laboratorio.

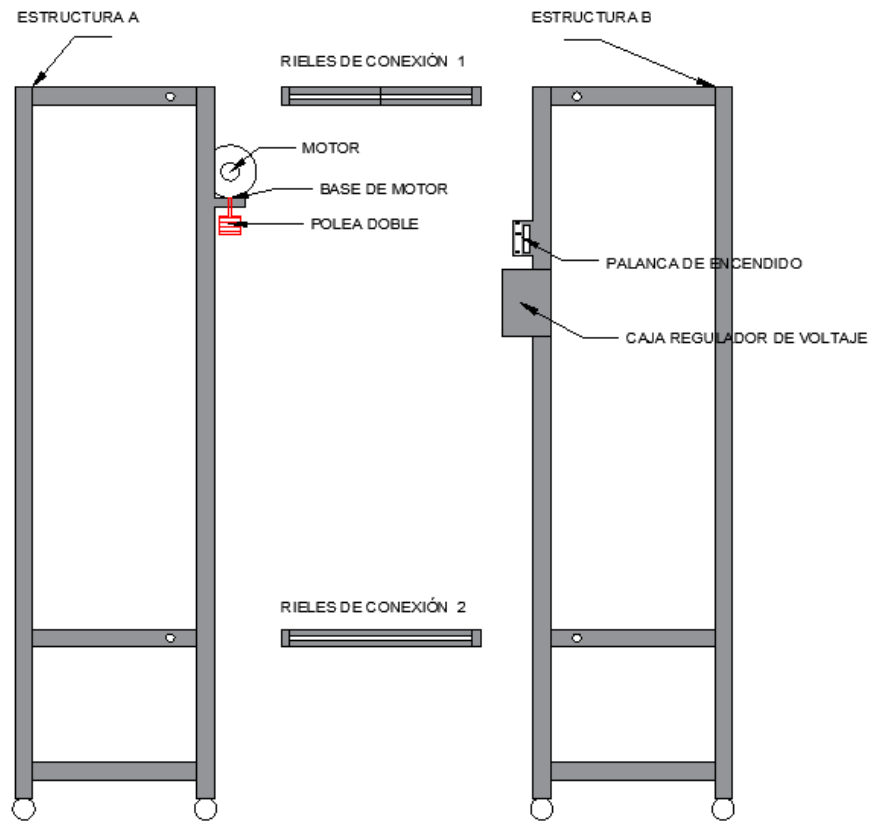


Figura 2 - 12 Vista frontal de la estructura metálica y sus partes.

Fuente: Autores.

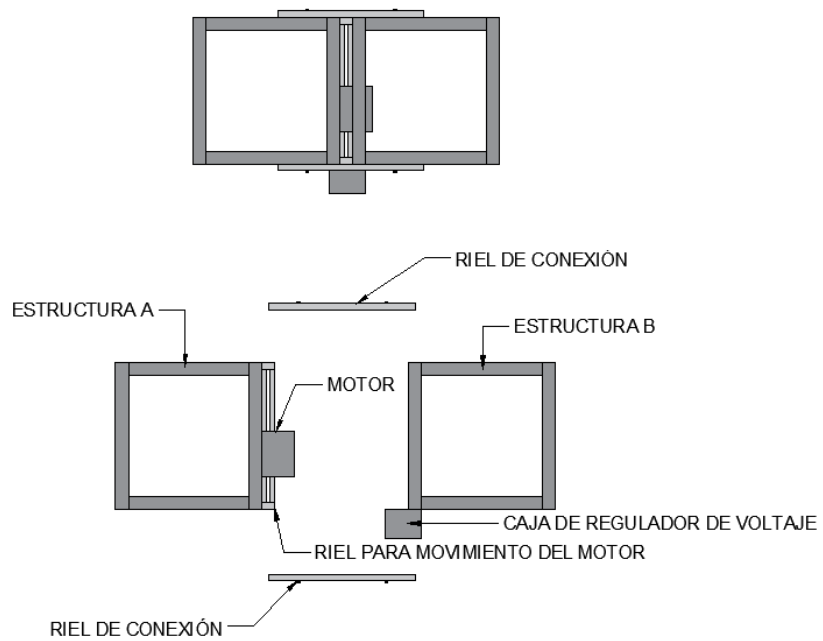


Figura 2 - 13 Vista en planta de la estructura metálica y sus partes.

Fuente: Autores.



Figura 2 - 14 Vista 3D estructura metálica armada.

Fuente: Autores.

Las dimensiones globales de la maqueta física son las siguientes: una altura sin considerar ruedas de movimiento de 1,60 m, un ancho de 45 cm con espacios de 37 cm que permitan la colocación cómoda de los tanques por cada sección, una longitud mínima de 97 cm tomando en cuenta una separación en los rieles de sujeción de ambas partes de 7 cm y una longitud máxima de 111 cm considerando 21 cm de separación entre pernos del riel.



### 2.3.1. MATERIALES USADOS EN EL PROTOTIPO DE FILTRO PERCOLADOR

- **Tiras de eucalipto:** Con dimensiones de 4 cm x 5 cm. Se utilizaron como sostén, principalmente en la estructura sostén del prototipo.



Figura 2 - 16 Tiras de Eucalipto.

Fuente: <https://ezequielmaderas.com>

- **Tabla de encofrado:** Desempeña la función principal de base de los tanques del prototipo, al mismo tiempo, del agua sintética confeccionada.



Figura 2 - 17 Tiras de madera para encofrado.

Fuentes: <https://co.all.biz>

- **Contenedores plásticos:** Cumplen la función indispensable de almacenar el agua sintética creada, para el prototipo se empleó dos tipos de tanques uno de ellos tiene capacidad de 10 litros, mientras que, su semejante tiene una capacidad de 30 litros.



Figura 2 - 18 Contenedor plástico.

Fuente: <https://www.pycca.com>

- **Malla electrosoldada:** Posee un área de superficie de  $30\text{ cm}^2 \times 30\text{ cm}^2$ , filtrando con ello los sedimentos grandes que se pueden alojar en el agua residual, ubicada en el fondo del tanque filtro del prototipo.



Figura 2 - 19 Malla electrosoldada.

Fuente: <https://chatarrassalamanca.es>



- **Bomba de agua (Pecera):** Se trata de un motor o bomba usado generalmente en peceras, que tiene características técnicas de 110V y una potencia 34 Watts.



Figura 2 - 20 Bomba de agua para peceras.

Fuente: Autores.

- **Catalina, piñón pequeño y cadena de bicicleta:** La catalina está soldada al mecanismo giratorio del prototipo, este conjunto mecánico permite el movimiento giratorio del sistema. El piñón está adaptado a las necesidades de la bomba, además la cadena de bicicleta semeja a una banda transmisora del movimiento circular.

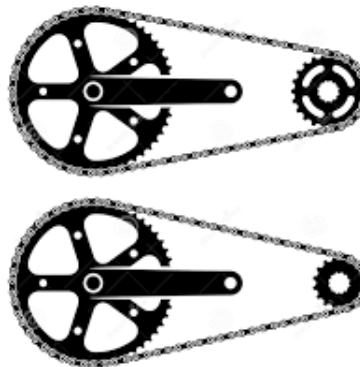


Figura 2 - 21 Catalinas, piñones y cadenas de bicicleta.

Fuente: <https://es.dreamstime.com>

### 2.3.2. MATERIALES USADOS EN EL MODELO FÍSICO DEFINITIVO DE FILTRO PERCOLADOR, SISTEMA GIRATORIO

- **Neplo de acero inoxidable  $\frac{3}{4}$  de pulgada:** Este neplo se encuentra soldado directamente a las placas de los tanques 1-A y 1-B permitiendo la salida de agua de los mismos hacia el mecanismo giratorio.



Figura 2 - 22 Neplo de Acero.

Fuente: <https://www.ludepa.ec>

- **Unión universal PVC  $\frac{3}{4}$  de pulgada:** Esta unión nos permite separar el mecanismo giratorio de ambos sistemas, de tal manera que se pueda realizar el mantenimiento respectivo.



Figura 2 - 23 Unión universal de  $\frac{3}{4}$  de pulgada.

Fuente: <https://megahierro.com>

- **Neplo polipropileno de 6cm ( $\frac{3}{4}$  de pulgada):** Sirve para la conexión del sistema giratorio, entre la unión universal y la válvula,

también entre la válvula y la unión hembra que se conecta al mecanismo del rociador, finalmente también se ocupó este neplo para conectar las poleas de 8 pulgadas con las uniones tipo T.



Figura 2 - 24 Neplo de polipropileno 6cm.

Fuente: <https://www.mariorubio.com.ec>

- **Válvula esférica estándar tipo H-H de  $\frac{3}{4}$  de pulgada:** Se utiliza para la regulación del caudal según el grado de giro, el cierre se efectúa a los  $0^\circ$  y su apertura máxima a los  $90^\circ$ , permitiendo el acceso del fluido desde el tanque distribuidor hacia el filtro.



Figura 2 - 25 Válvula esférica H-H.

Fuente: <https://edesa.com.ec>

- **Unión hembra roscable de  $\frac{3}{4}$  de pulgada:** La válvula en el mecanismo giratorio se conecta a un neplo de  $\frac{3}{4}$  de pulgada el mismo que debe ser enlazado a la unión hembra y posteriormente al mecanismo del rociador.



Figura 2 - 26 Unión hembra roscable

Fuente: <https://plastigamawavin.com>

- **Rociador de jardín con entrada de  $\frac{3}{4}$  de pulgada y salida de  $\frac{1}{2}$ :** El mecanismo giratorio depende de una pieza fundamental del rociador, el cual permite el giro de las tuberías evitando filtraciones.



Figura 2 - 27 Rociador para jardín de cobre.

Fuente: <https://i3.wp.com>

- **Reductor de acero inoxidable de  $\frac{1}{4}$  a  $\frac{1}{2}$  de pulgada:** Esta pieza permite la conexión entre la salida del rociador a las poleas para efectuar el movimiento mecánico.



Figura 2 - 28 Reductor de acero.

Fuente: <https://ae01.alicdn.com>

- **Polea simple de 8 pulgadas (aluminio):** La polea simple se encarga de transmitir el movimiento al mecanismo giratorio otorgados por el motor.



Figura 2 - 29 Polea simple de 8 pulgadas.

Fuente: <https://images-na.ssl-images-amazon.com>

- **Polea doble de 2 pulgadas (aluminio):** Es la encargada de transmitir el movimiento en dos direcciones, desde el motor hacia los respectivos mecanismos giratorios de cada estructura.



Figura 2 - 30 Polea doble de 2 pulgadas.

Fuente: <https://http2.mlstatic.com>

- **Unión tipo T de ¾ de pulgada:** Es la encargada de distribuir el líquido en dos direcciones opuestas, conectadas a esta unión, se encuentran los nepllos que distribuirán el agua residual hacia el filtro.



Figura 2 - 31 Unión tipo T de ¾ de pulgada.

Fuente: <https://www.ludepa.ec>

- **Neplo polipropileno de 15cm (¾ de pulgada):** Conectados a la unión T, sirven para distribuir el líquido hacia el tanque filtro por agujeros pequeños a lo largo de su dimensión.



Figura 2 - 32 Neplo de polipropileno 15cm.

Fuente: <https://www.mariorubio.com.ec>

- **Tapón PVC rosca hembra de ¾ de pulgada:** Se conecta al extremo del neplo de 15cm para evitar la salida del fluido.



Figura 2 - 33 Tapón PVC rosca hembra.

Fuente: <https://static.wixstatic.com>

- **Teflón:** Es usado para la impermeabilización entre las conexiones a lo largo del mecanismo giratorio, evitando fugas entre cada elemento.



Figura 2 - 34 Teflón.

Fuente: <https://http2.mlstatic.com>

### **2.3.3. MATERIALES USADOS EN EL MODELO FISICO DEFINITIVO DE FILTRO PERCOLADOR, ESTRUCTURA METALICA**

- **Tubos de acero de 4cm X 4cm:** Con estos tubos se construye la parte estructural del modelo físico, otorgando soporte a los tanques y distribuyendo las cargas del peso completo de todo el modelo hacia el suelo.

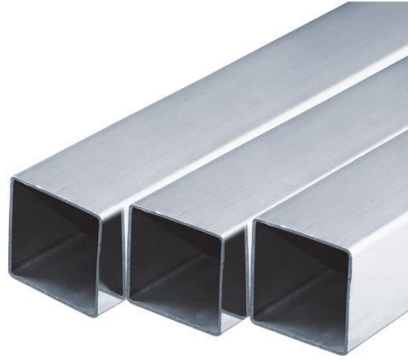


Figura 2 - 35 Tubos de acero 4cm x 4cm.

Fuente: <https://lh3.googleusercontent.com>

- **Ángulos de acero de 2cm X 2cm:** Con los ángulos se fabricaron los rieles de conexión entre estructuras que permiten expandir o contraer la separación de las mismas en dependencia del tamaño de las bandas, además con los rieles se construyó el soporte del motor que del mismo modo permite que se pueda mover para ajustar las bandas.



Figura 2 - 36 Ángulos de acero 2cm x 2cm.

Fuente: <https://http2.mlstatic.com>

- **Tubos de acero de 1cm X 1cm:** Conforman la parte estructural de los tanques filtros 2-A y 2-B, con la finalidad de que estos puedan resistir altas presiones sin romper los cristales, se encuentran soldados a sus respectivas placas evitando filtraciones.





Figura 2 - 37 Tubos de acero 1cm x 1cm.

Fuente: <https://http2.mlstatic.com>

- **Perfil T de aluminio de 2cm X 2cm:** Se encuentran unidos a la estructura metálica de los tanques filtro, en estos se conectarán los vidrios.



Figura 2 - 38 Perfiles T de aluminio.

Fuente: <https://http2.mlstatic.com>

- **Vidrio de 8 líneas (0,75 cm de espesor):** Todos los tanques son construidos con este material, su grosor añade resistencia contra impactos, dificultando la ruptura de los tanques y fisuras por caídas o golpes.

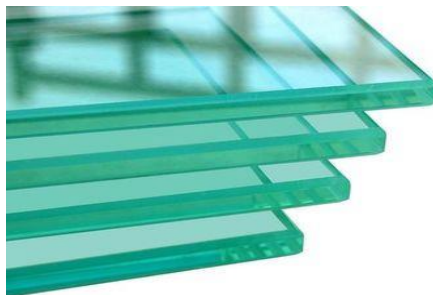


Figura 2 - 39 Láminas de Vidrio de 8 líneas.

Fuente: <https://www.cristalamedida.com>

- **Sellador de silicona transparente:** El sellador es un tipo de pegamento especial para los vidrios, permite impermeabilizar las conexiones entre las láminas de cristal, además de los tanques con sus placas, evitando fugas.



Figura 2 - 40 Sellador de silicona.

Fuente: <https://i.ytimg.com>

- **Pernos de 2 pulgadas:** Estos pernos fijan las placas de cada uno de los tanques a la estructura metálica, permitiendo su retirada del mismo para el respectivo mantenimiento, se encuentran un total de 8 en cada estructura, 4 para el primer tanque y 2 pares para los tanques filtros y receptores.



Figura 2 - 41 Pernos de 2 pulgadas.

Fuente: <https://www.torniper.com>

- **Tornillo Allen de ¼ de pulgada:** Estos tornillos se encuentran en los rieles que conectan las estructuras, sirven para fijarlas después de seleccionar la separación ideal entre estas.



Figura 2 - 42 Tornillo Allen de 1/4 de pulgada.

Fuente: <https://www.maferbul.com>

- **Motor de limpiaparabrisas 12V:** A este motor se le adapta una polea doble permitiendo el traslado de giro hacia los respectivos mecanismos en el modelo, cuenta con la fuerza y velocidad de giro requerida para los ensayos de laboratorio, sin embargo, al ser de 12V se le debe adaptar un regulador de voltaje que permita conectar la fuente a un tomacorriente cotidiano, cuyo voltaje en Ecuador es de 110V.



Figura 2 - 43 Motor de limpiaparabrisas 12V.

Fuente: <https://sc02.alicdn.com>

- **Reductor de voltaje 110V a 12V:** Permite el cambio de voltaje desde un tomacorriente ordinario, el cual otorga 110V al motor que recibe 12V y posee una intensidad de 2 amperios.

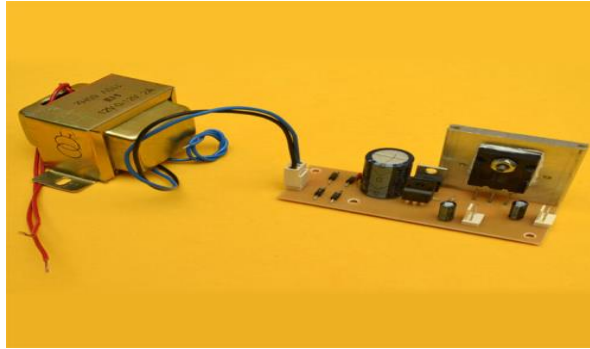


Figura 2 - 44 Reductor de voltaje 110V a 12V.

Fuente: <https://www.videorockola.com>

- **Bandas industriales:** Son las encargadas de distribuir el movimiento y la fuerza de giro desde el motor a las poleas de cada mecanismo giratorio.



Figura 2 - 45 Bandas industriales.

Fuente: <https://www.hivimar.com>

## 2.4. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Una vez concluida la etapa de prediseño y las pruebas correspondientes en el modelo prototipo, se determinaron las dimensiones de las secciones que componen el modelo físico necesario para ejecutar las prácticas de laboratorio, estas medidas se describen en la siguiente Tabla 2-1, considerando que las dimensiones que se presentan son internas y externas de los contenedores, además que el espesor del vidrio es de 0,75 cm.

Tabla 2 - 1 Dimensiones del modelo físico.

MODELO FÍSICO			
TANQUE DE ENTRADA			
	ALTURA	ANCHO	LARGO
<i>Medidas Internas</i>	20cm	30.5cm	39.5cm
<i>Medidas Externas</i>	20cm	32cm	41cm
TANQUE FILTRO			
	ALTURA	ANCHO	LARGO
<i>Medidas Internas</i>	75cm	33cm	38cm
<i>Medidas Externas</i>	75cm	35cm	40cm
TANQUE DE SALIDA			
	ALTURA	ANCHO	LARGO
<i>Medidas Internas</i>	20cm	30.5cm	39.5cm
<i>Medidas Externas</i>	20cm	32cm	41cm

Fuente: Autores.

Para el mecanismo giratorio, se utilizaron una serie de accesorios que se pueden reemplazar con facilidad, estos se encuentran descritos en la Tabla 2-2.

Tabla 2 - 2 Componentes del mecanismo giratorio.

SISTEMA GIRATORIO ELECTRICO		
COMPONENTES	MATERIAL	CANTIDAD POR MECANISMO
UNION UNIVERSAL	PVC	1
NEPLO ¾ (6cm)	PVC	3
UNION	PVC	1
VALVULA	ACERO	1
ROSIADOR	COBRE	1
UNION T	PVC	1

NEPLO ¾ (15cm)	PVC	2
TAPÓN	PVC	2
REDUCTOR	ACERO	1
POLEA	ALUMINIO	1

Fuente: Autores.

Luego de hacer respectivas pruebas en el prototipo inicial del proyecto, se pudo determinar que la mejor opción para realizar el ensayo es con un caudal muy bajo, eso se obtuvo según la apertura de llave que nos permite variar desde los 0° hasta los 90°, los resultados se pueden observar en la Tabla 2-3, donde también se encuentran los tiempos de retención en el tanque filtrante.

Tabla 2 - 3 Pruebas del prototipo inicial del proyecto.

<b>Pruebas según apertura de llave</b>				
<b>Abertura (grados)</b>	<b>Volumen (litros)</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Caudal Q (lt/s)</b>	<b>Tiempo de Retención</b>
10°	10	1h 43min 52seg	0.0016	2h 05min 20seg
15°	10	28min 54seg	0.0057	54 min 22seg
30°	10	10min 48seg	0.0154	39min 28seg
45°	10	7min 32seg	0.0221	23min 10seg

Fuente: Autores.

### **CAPÍTULO III**

## **3. GUÍA METODOLÓGICA PARA EL ENSAYO DE LABORATORIO DE FILTROS PERCOLADORES DE LA ASIGNATURA HIDROSANITARIA DE LA UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

### **3.1. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO DE UN FILTRO PERCOLADOR**

El ensayo percolador tiene como propósito el separar partículas o sedimentos que enturbian el agua que es el objeto del experimento, por lo que se propone que, para una correcta ejecución de la práctica de laboratorio, deberá usarse como herramienta fundamental el modelo físico elaborado previamente, el que se detalló en el capítulo anterior; además que será el instrumento principal de aprendizaje para los estudiantes acerca de cómo se desarrolla el proceso de percolación en aguas residuales.

#### **3.1.1. OBJETIVO GENERAL**

- Ejecutar las prácticas de laboratorio mediante ensayos de percolación usando como herramienta principal el modelo físico elaborado bajo condiciones de seguridad y calidad, aplicando los conocimientos teóricos impartidos en la cátedra de Hidrosanitaria y Mecánica de Fluidos.

#### **3.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Examinar el funcionamiento del modelo físico de filtro percolador.
- Contrarrestar los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio ante los datos procesado mediante el uso de fórmulas teóricas.

### 3.1.3. ALCANCE

Al realizar esta práctica de laboratorio se espera generar efectos positivos académicos dentro de la formación técnica de los futuros profesionales, con ello se logra un mayor aprendizaje y comprensión acerca del funcionamiento de un filtro percolador de agua residual, permitiendo además observar de cerca cada componente del modelo físico y el paso del líquido a través del mecanismo giratorio; siendo una parte importante porque permite una distribución equitativa característica de este tratamiento.

### 3.1.4. DEFINICIONES

**Filtro Percolador.** - Se caracteriza por ser uno de los principales representantes de los tratamientos aerobios de cultivo fijo, su nombre se origina en los filtros de contacto que fueron utilizados con anterioridad. Este mecanismo se compone por un lecho con un medio permeable al que se adhieren bacterias, microorganismos y patógenos presentes en el agua a tratar, para posteriormente ser colado del filtro y eliminar la mayor cantidad de contaminación del líquido. El medio filtrante puede tener un origen natural como piedras o grava, así como artificial compuesto de plástico con superficie adherente (Trujillo Guillen, 2012).



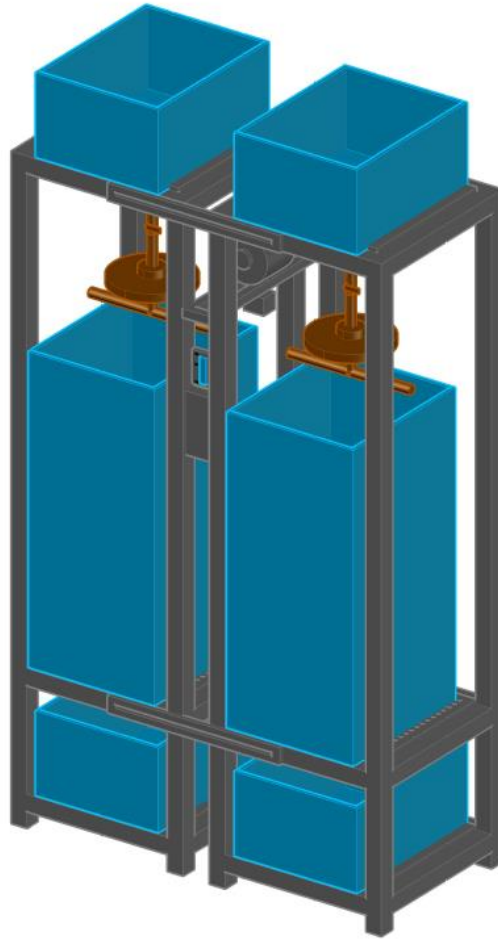


Figura 3 - 1 Modelo físico armado.

Fuente: Autores.

**Tanque Filtro.** -Se trata del contenedor central del tratamiento secundario de depuración, que para este caso puntual cuenta con características propias que permiten satisfacer las necesidades del experimento, como también busca cumplir un trabajo eficiente al incorporar un colador de acero de 5 mm de espesor en la base de dicho tanque. Además, este depósito se encuentra reforzado por barras de acero, perfiles “T” de aluminio y cristales de 8 líneas para garantizar seguridad durante la ejecución del experimento.

### 3.1.5. INSTRUMENTOS

**Modelo físico.** – El modelo físico está constituido por 6 tanques: 2 tanques de entrada, 2 tanques filtro, un sistema giratorio eléctrico y 2 tanques de salida; los primeros tanques cuentan con una capacidad tolerable de 20 litros cada uno, en donde se depositará el agua química fabricada previamente bajo las recomendaciones previstas; el segundo tanque posee una capacidad máxima de 94 litros en donde se realizará el ensayo de percolación, el mecanismo giratorio eléctrico propulsado por un motor limpiaparabrisas de 12V, bandas y poleas; el tercer depósito cuenta con una capacidad de 20 litros de dimensiones semejantes a los denominados tanques de salida, en donde se almacenará el líquido producto del proceso de filtración.

**Balanza.** – Instrumento de medición empleado la cantidad en gramos de los componentes requeridos para elaborar el agua sintética.



Figura 3 - 2 Balanza.

Fuente: <https://balanzasycomplementos.wordpress.com/>

**Recipiente de volumen (500 ml).** – Este recipiente es necesario para medir correctamente el componente líquido.



Figura 3 - 3 Recipiente de 500ml.

Fuente: <https://es.aliexpress.com>

**Recipientes de volumen (50 litros).** – Estos depósitos ayudarán a preparar de manera efectiva el agua química que será objeto de la práctica de percolación.



Figura 3 - 4 Recipiente de 50 litros.

Fuente: <https://www.reyplast.pe>

**Cronómetro.** – Instrumento de medición de tiempo que nos permitirá determinar los flujos y tiempos de retención.



Figura 3 - 5 Cronometro.

Fuente: <https://www.dondeporte.com>

**Playo.** – Herramienta manual que permite el desmonte del modelo físico, con lo que facilita el mantenimiento y limpieza de las secciones.



Figura 3 - 6 Playo.

Fuente: <https://ingcoecuador.com>

**Destornillador.** – Herramienta manual que permite abrir la caja del regulador de voltaje, que ayudará con el mantenimiento y la limpieza.



Figura 3 - 7 Destornillador punta de estrella.

Fuente: <http://hubmakerspace.do/blog/destornillador/>

**Llave N°8 hexagonal (8 mm).** – Herramienta manual que permite el desmonte de los pernos Allen, dando al pertinente mantenimiento y limpieza de tal sección.



Figura 3 - 8 Llave hexagonal de 8mm.

Fuente: <http://spanish.furniturecrewbolts.com>

**Llave inglesa N°11 (11 mm).** – Herramienta manual empleada para el desmonte y fijación de los pernos que sujetan las distintas partes del modelo físico.



Figura 3 - 9 Llave Inglesa de 11mm.

Fuente: <https://www.amazon.es>

### **3.1.6. METODOLOGÍA**

Para llevar a cabo el desarrollo del tercer capítulo del presente estudio de titulación, se desarrolló dos ensayos con agua sintética residual elaborada por los mismos investigadores.

Se tomó como referencia principal el artículo escrito por Rodríguez, I. & Lozano, W. (2012), publicado en la Revista Didáctica Ambiental, para efectuar la elaboración del agua sintética, cuya fracción orgánica se estima es del 70% y el 30% de materia inorgánica.

Por lo general, surgieron varios inconvenientes al momento de realizar los estudios de depuración de aguas residuales a nivel de laboratorio, por lo que emergió la necesidad de fabricar un sustrato sintético que tenga una preparación sencilla y con ingredientes comunes.

Cada uno de estos elementos tiene una respectiva dosificación para confeccionar un agua residual, cuyo volumen es de 50 litros, repartida en los dos tanques de entrada del modelo físico de filtro percolador, las cantidades a utilizar se las puede encontrar en la Tabla 3-1.

Tabla 3 - 1 Componentes y cantidades para la fabricación del agua sintética.

<b>COMPUESTO</b>	<b>CANTIDAD</b>
<b>Gelatina sin sabor</b>	7,5 g
<b>Almidón</b>	60 g
<b>Leche en polvo</b>	100 g
<b>Jabón de tocador</b>	50 ml
<b>Sal común</b>	100 g
<b>Azúcar</b>	200 g

Fuente: Autores.

Cada ingrediente debe mezclarse asegurando una solución homogénea, por lo que se requerirá de movimiento circulatorio con un utensilio durante un período de 5 minutos o hasta garantizar una mezcla uniforme de todos los componentes.

1. Llenar hasta la marca de 20 litros respectivamente los tanques de entrada 1-A y 1-B (Figura 2-2) con el agua sintética previamente elaborada; se recomienda no sacudir o menear la estructura para evitar el desborde libre del líquido fuera del tanque;
2. Conectar el circuito eléctrico a un tomacorriente de 110V para dar energía al motor y caja reguladora de voltaje, lo que permitirá accionar el movimiento giratorio;
3. Abrir las llaves de los mecanismos giratorios (Figura 2-3) al mismo tiempo a cualquier tipo de abertura que se indique por parte del docente, esto podrá lograrlo con señaléticas fijadas por detrás de las llaves;
4. Tomar los tiempos de flujo del líquido contenido en los tanques de entrada con la ayuda del cronometro;
5. Dejar que se vacíe los tanques de entrada y apagar el circuito eléctrico giratorio;
6. Determinar el caudal mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (11)$$

**Donde:**

**Q**= Caudal en  $\frac{Lt}{s}$

**V**= Volumen del tanque de entrada 20 litros

**t**= Tiempo en segundos que se demora en vaciar el tanque de entrada respectivamente 1-A y 1-B tomado con la ayuda de un cronómetro;

7. Determinar un caudal medio, al aplicar la siguiente fórmula:

$$Qm = \frac{\Sigma Q}{n} \quad (12)$$

**Donde:**

**Qm**= Caudal promedio en  $\frac{Lt}{s}$

**$\Sigma Q$** = Sumatoria de todos los caudales que se toman

**n**= Número de muestras que se realicen;

8. Esperar que el agua termine su recorrido por los tipos de filtros que se encuentran en los tanques centrales del modelo físico 2-A y 2-B (Figura 2-5);

9. Tomar muestras del agua filtrada en los tanques de salida 3-A y 3-B (Figura 2-6) etiquetarlas con sus características, las cuales deberán ser enviadas al laboratorio para su correspondiente análisis, en el que se determinará la cantidad de  $DBO_5$  y  $DQO$ ; y

10. Repetir el proceso, si desea probar con distintas aberturas de la llave, aunque para la presente práctica se recomienda un bajo caudal, el que se obtiene con una abertura mínima.

### 3.1.7. CÁLCULOS DE LABORATORIO

#### PRUEBA DE LABORATORIO CON EL PROTOTIPO INICIAL CON AGUA SINTÉTICA



Figura 3 - 10 Pruebas con agua sintética con el prototipo inicial del proyecto.

Fuente: Autores.

- Para la abertura de la llave de paso a  $15^\circ$  (Figura 3-10)
  1. Llenar el contenedor inicial hasta la marca de 10 litros, con ayuda del cronometro tomar los tiempos en el que se vacía el tanque completamente. En la Tabla 3-2, se muestra cada uno de estos caudales en sus tres diferentes aberturas de la llave de paso.



Tabla 3 - 2 Volumen y tiempo de vaciado en el prototipo a una apertura de 15°.

ABERTURA	FILTRO PIEDRA	
	Volumen	Tiempo
	15°	10 litros

Fuente: Autores.

2. Calcular el caudal con la ecuación (11).

$$Q = \frac{10 \text{ litros}}{2152 \text{ seg}} = 0.0046 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} = 4.64E - 06 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

**PRUEBA DE LABORATORIO EN EL MODELO FÍSICO**  
**DEFINITIVO CON AGUA SINTÉTICA**



Figura 3 - 11 Pruebas con agua sintética residual en el modelo físico final.

Fuente: Autores.

- Para la abertura de la llave de paso (Figura 3-11) a  $10^\circ$ .
1. Con el depósito inicial lleno hasta la marca de 20 litros, se debe tomar el tiempo con la ayuda de un cronometro hasta que estos tanques se vacíen completamente, distribuyendo su contenido hacia las demás secciones. En la Tabla 3-2 se muestran los valores obtenidos.

Tabla 3 - 3 Volumen y tiempo de vaciado a una abertura de 10°

<b>ABERTURA</b>	<b>FILTRO PLÁSTICO</b>		<b>FILTRO PIEDRA</b>	
	<b>Volumen</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Volumen</b>	<b>Tiempo</b>
<b>10°</b>	5 litros	49min 49seg	5litros	49min 56seg
	10 litros	1h 43min 47seg	10 litros	1h 44min 14seg
	15 litros	2h 40min 58seg	15 litros	2h 41min 01seg
	20 litros	3h 31min 30seg	20 litros	3h 31min 45seg

Fuente: Autores.

2. Calcular el caudal con la ecuación (11).

**FILTRO PLÁSTICO**

$$Q = \frac{20 \text{ litros}}{12690 \text{ seg}} = 0,00157 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} = 1,57\text{E} - 06 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

**FILTRO PIEDRA**

$$Q = \frac{20 \text{ litros}}{12705 \text{ seg}} = 0,00157 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} = 1,57\text{E} - 06 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

3. Calcular el tiempo de retención según el material filtrante con la ayuda de un cronómetro que deberá empezar su medición desde la apertura de llave de paso hasta que la última gota complete su recorrido, los resultados se hallan en la Tabla 3-4.

Tabla 3 - 4 Tiempo de retención con una abertura de 10°.

<b>FILTRO PLÁSTICO</b>		<b>FILTRO PIEDRA</b>	
<b>MIN</b>	<b>SEG</b>	<b>MIN</b>	<b>SEG</b>
256	16	258	56

Fuente: Autores.

- Para la abertura de la llave de paso (Figura 3-11) a 15°.
4. Llenar los tanques distribuidores hasta la marca de 20 litros y utilizando un cronometro se toma el tiempo hasta que se vacíen completamente, distribuyendo su contenido hacia las demás secciones, en la Tabla 3-5 se encuentran los resultados obtenidos.

Tabla 3 - 5 Volumen y tiempo de vaciado a una abertura de 15°.

ABERTURA 15°	FILTRO PLÁSTICO		FILTRO PIEDRA	
	Volumen	Tiempo	Volumen	Tiempo
	5 litros	14min 29seg	5litros	14min 23seg
	10 litros	29min 01seg	10 litros	28min 47seg
	15 litros	50min 42seg	15 litros	50min 19seg
	20 litros	1h 13min 06seg	20 litros	1h 12min 13seg

Fuente: Autores.

5. Calcular el caudal con la ecuación (11).

FILTRO PLÁSTICO

$$Q = \frac{20 \text{ litros}}{4386 \text{ seg}} = 0,00456 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} = 4,56\text{E} - 03 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

FILTRO PIEDRA

$$Q = \frac{20 \text{ litros}}{4333 \text{ seg}} = 0,00461 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} = 4,61\text{E} - 03 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

6. Repitiendo el paso 3 se calcula el tiempo de retención de cada material filtrante, los resultados se pueden apreciar en la Tabla 3-6.

Tabla 3 - 6 Tiempo de retención con una abertura de 15°.

FILTRO PLÁSTICO		FILTRO PIEDRA	
MIN	SEG	MIN	SEG
102	02	106	12

Fuente: Autores.

- Para la abertura de la llave de paso (Figura 3-11) a 30°.
7. Al igual que los pasos 1 y 4 se llenan los tanques iniciales hasta la marca de 20 litros, además se debe tomar el tiempo con la ayuda de un cronometro hasta que estos tanques se vacíen completamente. Los valores obtenidos se hallan en la Tabla 3-7.

Tabla 3 - 7 Volumen y tiempo de vaciado a una abertura de 30°.

ABERTURA	FILTRO PLÁSTICO		FILTRO PIEDRA	
	Volumen	Tiempo	Volumen	Tiempo
30°	5 litros	5min 08seg	5litros	4min 57seg
	10 litros	10min 58seg	10 litros	10min 43seg
	15 litros	16min 39seg	15 litros	16min 20seg
	20 litros	23min 42seg	20 litros	23min 11seg

Fuente: Autores

8. Calcular el caudal con la ecuación (11).

FILTRO PLÁSTICO

$$Q = \frac{20 \text{ litros}}{1422 \text{ seg}} = 0,01406 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} = 1,14\text{E} - 02 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

FILTRO PIEDRA

$$Q = \frac{20 \text{ litros}}{1391 \text{ seg}} = 0,01437 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} = 1,14\text{E} - 02 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

9. Con la ayuda de un cronómetro, se calculó el tiempo de retención en cada material como lo indica el paso 3, los resultados se describen en la Tabla 3-8.

Tabla 3 - 8 Tiempo de retención con una abertura de 30°.

FILTRO PLÁSTICO		FILTRO PIEDRA	
MIN	SEG	MIN	SEG
75	12	77	58

Fuente: Autores.

- Para la abertura de la llave de paso (Figura 3-11) a 45°.

10. Como en pasos anteriores, después depositar el líquido hasta los 20 litros, se debe tomar el tiempo con la ayuda de un cronometro hasta que estos tanques se vacíen, la Tabla 3-9 muestra los valores obtenidos.

Tabla 3 - 9 Volumen y tiempo de vaciado a una abertura de 45°.

ABERTURA	FILTRO PLÁSTICO		FILTRO PIEDRA	
	Volumen	Tiempo	Volumen	Tiempo
45°	5 litros	3min 27seg	5litros	3min 21seg
	10 litros	7min 32seg	10 litros	7min 25seg
	15 litros	11min 43seg	15 litros	11min 33seg
	20 litros	17min 13seg	20 litros	17min 02seg

Fuente: Autores.

11. Calcular el caudal con la ecuación (11).

#### FILTRO PLÁSTICO

$$Q = \frac{20 \text{ litros}}{1033 \text{ seg}} = 0,01936 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} = 1,94\text{E} - 02 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

#### FILTRO PIEDRA

$$Q = \frac{20 \text{ litros}}{1022 \text{ seg}} = 0,01957 \frac{\text{litros}}{\text{seg}} = 1,96\text{E} - 02 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

12. Según el material filtrante se calcula el tiempo de retención con la ayuda de un cronómetro, marcando desde el inicio del experimento hasta el fin del recorrido en el tanque filtrante, los resultados se hallan en la Tabla 3-10.

Tabla 3 - 10 Tiempo de retención con una abertura de 45°.

FILTRO PLÁSTICO		FILTRO PIEDRA	
MIN	SEG	MIN	SEG
47	08	48	11

Fuente: Autores.

### 3.1.8. RESULTADOS

#### Depuración del filtro percolador

Uno de los logros más destacados que presume el filtro percolador es el de depurar las aguas residuales con su sistema de aireación y con sus medios filtrantes; en este caso los parámetros de estudio para la verificación de depuración del agua serán tres factores: DBO<sub>5</sub>, DQO y sólidos suspendidos.

Las pruebas de laboratorio del agua tratada con el filtro percolador se realizaron en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Ucubamba de la ciudad de Cuenca, en donde se pudo testear los parámetros de pureza,

utilizando tres muestras como: el agua química previo tratamiento de depuración, muestra sometida al tratamiento a través del medio filtrante grava y muestra sometida al tratamiento a través del medio filtrante plástico.

A continuación, en la Tabla 3-11 se presentan las características del agua química previa exposición al tratamiento:

Tabla 3 - 11 Datos del agua química de entrada.

<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DQO</b>	<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS</b>
<b>400 mg/L</b>	<b>815 mg/L</b>	<b>162 mg/L</b>

Fuente: Autores.

El tratamiento de esta agua se realizó mediante el uso de un filtro percolador, a una temperatura ambiente de alrededor 20°C y con condiciones libres de presión.

Esta agua química preparada con anticipación bajo las instrucciones mencionadas en la guía metodológica, se la dispuso al tratamiento de depuración a las 07H30 am con una apertura mínima de la llave de 10°, con lo que tardo aproximadamente 3 horas en terminar su tratamiento, posteriormente se envasaron las muestras en contenedores limpios y se etiquetaron con sus características.

En la siguiente Tabla 3-12 se detalla los resultados que arrojó el agua tratada con un medio filtrante natural:

Tabla 3 - 12 Datos del agua tratada con filtro grava.

<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DQO</b>	<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS</b>
<b>84 mg/L</b>	<b>254 mg/L</b>	<b>10 mg/L</b>

Fuente: Autores.

Seguidamente en la Tabla 3-13 se describe los resultados que arrojó el agua tratada con un medio filtrante artificial:



Tabla 3 - 13 Datos del agua tratada con filtro plástico

<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DQO</b>	<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS</b>
<b>82 mg/L</b>	<b>252 mg/L</b>	<b>9 mg/L</b>

Fuente: Autores.

Al comparar los resultados del agua tratada con el medio filtrante grava con respecto al agua de entrada se puede apreciar una eficiencia de tales magnitudes al aplicar la siguiente fórmula:

$$\%E = \frac{(S_o - S)}{S_o} * 100 \tag{13}$$

**Donde:**

**%E**= Eficiencia de remoción del sistema

**S<sub>o</sub>**= Carga contaminante de entrada

**S**= Carga contaminante de salida;

Tabla 3 - 14 Eficiencia del agua tratada con filtro grava

<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DQO</b>	<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS</b>
<b>79%</b>	<b>68,83%</b>	<b>93,82%</b>

Fuente: Autores.

Tabla 3 - 15 Eficiencia del agua tratada con filtro plástico

<b>DBO<sub>5</sub></b>	<b>DQO</b>	<b>SÓLIDOS SUSPENDIDOS</b>
<b>79,5%</b>	<b>69,08%</b>	<b>94,44%</b>

Fuente: Autores.

Los resultados de las eficiencias arrojados por los dos tipos de medios filtrantes demuestran que su variabilidad es mínima, pues, ambos filtros remueven los

contaminantes del agua con un porcentaje similar; cabe señalar que, aunque este análisis demuestra que el medio filtrante más eficiente es el compuesto por fibras de plástico reciclado, no obstante, el medio filtrante natural compuesto por partículas de grava cumple su función de una manera exitosa, demostrando el desempeño de ambos filtros satisfactoriamente para el cumplimiento de la práctica de laboratorio.

### **3.2. ELABORACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS**

#### **ENSAYO DE AGUAS SINTÉTICAS MEDIANTE PRUEBAS DE PERCOLACIÓN DE CULTIVO FIJO**

##### **OBJETIVO GENERAL**

- Ejecutar las prácticas de laboratorio mediante ensayos de percolación usando como herramienta principal el modelo físico obteniendo resultados fidedignos para una mejor comprensión de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

##### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Aprender el manejo y uso del modelo físico de filtro percolador mediante las prácticas ejercidas en el laboratorio.
- Comparar los resultados obtenidos en el laboratorio contra los resultados procesados en las fórmulas teóricas.

##### **DESCRIPCIÓN**

El proceso de filtración persigue un propósito claro, que es el separar partículas o sedimentos visibles que enturbian el agua, esta práctica de laboratorio se fundamenta en la elaboración de un ensayo de aguas sintéticas mediante pruebas de filtración de cultivo fijo, esto dará paso a

una depuración del objeto de estudio; es decir, el agua química por acción de la gravedad, el tiempo promedio para la presente práctica es de 3 horas, sin tomar en cuenta el tiempo de análisis en el laboratorio de las características de DBO<sub>5</sub> y DQO del agua sintética.

### FÓRMULAS UTILIZADAS

Las fórmulas necesarias para ejecutar de forma correcta la práctica de laboratorio mediante pruebas de percolación, se describirán a continuación:

#### ECUACIÓN DE CAUDAL

$$Q = \frac{V}{t} \quad (11)$$

**Donde:**

**Q**= Caudal en  $\frac{Lt}{s}$ .

**V**= Volumen del tanque de entrada 20 litros.

**t**= Tiempo en segundos que se demora en vaciar el tanque de entrada respectivamente 1-A y 1-B tomado con la ayuda de un cronómetro (Figura 2-2).

#### ECUACIÓN DE CAUDAL MEDIO

$$Qm = \frac{\Sigma Q}{n} \quad (12)$$

**Donde:**

**Qm**= Caudal promedio en  $\frac{Lt}{s}$ .

**ΣQ**= Sumatoria de todos los caudales que se toman.

**n**= Número de muestras que se realicen.



Figura 3 - 12 Modelo físico definitivo.

Fuente: Autores.

## GUÍA PARA REALIZAR LA PRÁCTICA DE FILTRACIÓN MEDIANTE EL USO DE UN FILTRO PERCOLADOR

Con antelación se debe preparar adecuadamente la mezcla de agua sintética que será el objeto de análisis de la práctica de laboratorio. Mantener en posición estable a toda la estructura global durante todo el tiempo que tome realizar el experimento.

### **Dosificación recomendada:**

Gelatina sin sabor	7,5 g
Almidón	60 g

Leche en polvo	100 g
Jabón de tocador	50 ml
Sal común	100 g
Azúcar	200 g



Figura 3 - 13 Mezcla de materiales para el agua sintética.

Fuente: Autores.

1. Tomar una muestra del agua sintética antes de ser expuesta al tratamiento de filtración y se la etiqueta con sus respectivas características;
2. Llenar los tanques de entrada (Figura 3-12) hasta la marca de 20 litros, respectivamente, con el agua química previamente elaborada. Se recomienda seguir las proporciones descritas con anterioridad y evitar movimientos bruscos que generen el movimiento libre del fluido contenido en la parte superior;

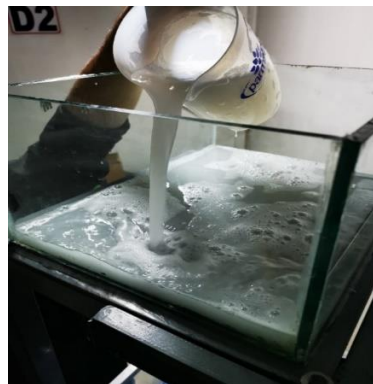


Figura 3 - 14 Vertido del agua sintética los tanques de entrada.

Fuente: Autores.

3. Conectar el motor y caja reguladora de voltaje a una fuente eléctrica de 110V;
4. Abrir las llaves de paso ubicadas por encima del mecanismo giratorio de los rociadores del modelo físico. Dependiendo de los grados de abertura se podrá apreciar un flujo mayor o menor del líquido, ya que es directamente proporcional, a mayor abertura en la llave, mayor afluencia del agua habrá;



Figura 3 - 15 Abertura de las llaves en el mecanismo giratorio.

Fuente: Autores.

5. Determinar el caudal mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (11)$$

**Donde:**

**Q**= Caudal en  $\frac{Lt}{s}$ .

**V**= Volumen del tanque de entrada 20 litros.

**t**= Tiempo en segundos que se demora en vaciar el tanque de entrada respectivamente 1-A y 1-B tomado con la ayuda de un cronómetro (Figura 2-2);

6. Esperar que los tanques de entrada 1-A y 1-B se vacíen respectivamente, apagar el circuito eléctrico y cerrar las llaves de paso ubicadas en la parte superior del sistema giratorio. El tiempo de espera estimado para este paso

es de aproximadamente 5 horas, este tiempo está en dependencia del ángulo de apertura de la llave;

7. Esperar que el fluido termine su recorrido a través de los poros y cavidades de los materiales filtrantes, previamente colocados en los depósitos centrales;



Figura 3 - 16 Proceso de retención en el modelo físico.

Fuente: Autores.

8. Tomar las muestras finales de los dos tanques de salida 3-A y 3-B (Figura 2-6) respectivamente y etiquetarlas con sus características pertinentes;



Figura 3 - 17 Muestras para determinar los resultados luego del ensayo.

Fuente: Autores.

9. Repetir el proceso cambiando la abertura de la llave, si desea mayor o menor caudal;

## **LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO**

10. Quitar los pernos de anclaje de los tanques de salida 3-A y 3-B (Figura 2-6) y con sumo cuidado entre dos personas retirar el tanque, vaciar el contenido en una alcantarilla y lavarlo con agua potable;
11. Quitar las bandas de goma que permiten el movimiento giratorio del mecanismo eléctrico;
12. Desenroscar y quitar el sistema giratorio en parte de la unión universal, para limpiarlo, lo que evitará la obstrucción en los agujeros de salida; esto también permitirá un espacio oportuno para la remoción del material filtrante de los depósitos centrales 2-A y 2-B (Figura 2-5), que a su vez elimina el peso difícil de transportar;
13. Quitar los pernos de anclaje de los tanques 2-A y 2-B, remover los tanques y lavarlos y procurar que los coladores inferiores de los tanques se encuentren sin ningún tipo de obstrucción; y
14. Quitar los pernos de anclaje de los tanques de entrada 1-A y 1-B con mucho cuidado retirar y lavar los tanques con agua, evitando golpes en su parte inferior porque se encuentra fijado el neplo, alimentador del fluido.



## **CUESTIONARIO**

**Resolver el siguiente cuestionario luego de concluir la práctica de laboratorio**

- 1. ¿Qué entiende usted sobre filtro percolador?**
- 2. ¿Qué tipo de tratamiento es el que ejerce un filtro percolador? Explique.**
- 3. ¿Mencione por lo menos tres tipos de materiales filtrantes que puede usarse en el modelo físico?**
- 4. ¿Qué sucede en el sistema si existe mayor apertura de la llave?**
- 5. ¿Cuáles son los porcentajes de materia orgánica e inorgánica para un agua sintética?**
- 6. ¿Por qué es importante elaborar un agua sintética homogénea?**

## CONCLUSIONES

- En el presente proyecto se construyó el modelo físico de filtro percolador que se caracteriza por estar dotado de dos secciones filtrantes, este sistema permitirá observar y evidenciar el proceso secundario de tratamiento de las aguas residuales, en beneficio de los futuros estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad del Azuay; además, se formuló su correspondiente ficha y guía metodológica que servirá de instructivos para los investigadores posteriores.
- Se definieron conceptos oportunos para comprender de mejor manera el uso de los filtros percoladores dentro del tratamiento secundario de aguas residuales y con ello lograr realizar una prueba de laboratorio exitosa, lo que a su vez dio paso a pre-dimensionar el prototipo y finalmente el dimensionamiento del modelo físico definitivo.
- Dentro del segundo capítulo del presente trabajo se detalla el proceso constructivo del modelo físico, las pruebas realizadas en el prototipo del proyecto y los resultados de estas primeras etapas que arrojaron un tiempo de retención máximo de 1 hora con 43 minutos y un caudal de 0.0016 Lt/s, datos que posteriormente se vincularon a los resultados del modelo físico definitivo.
- Finalmente, se elaboró una guía metodológica basada en los procesos ejecutados en las pruebas con el prototipo, esta parte permitirá al estudiante comprender más de cerca el funcionamiento del sistema y analizar el ensayo de una manera adecuada, con lo que se formará el conocimiento práctico conjuntamente con la instrucción teórica impartida por el docente.

## RECOMENDACIONES

- Para garantizar éxito en el proceso de experimentación se debe estudiar con antelación la teoría relacionada con tratamientos secundarios de aguas residuales de cultivo fijo, en donde se explica cada uno de los factores y parámetros que intervienen en el método de depuración.
- Se recomienda que el experimento se ejecute con una abertura leve para la llave de paso, pues, como se vio en las pruebas realizadas con el prototipo y modelo físico a mayor abertura de la llave se genera mayor caudal y con ello menor tiempo de retención. En este caso, el ensayo centra su éxito en mayor tiempo de retención en el filtro, por lo que se requiere que el caudal sea muy pequeño.
- Se recomienda evitar en lo posible separar las estructuras A y B que conforman el cuerpo global sostén del modelo físico, puesto que son separables también son codependientes, ya que, la parte A mantiene el motor eléctrico y la parte B la caja reguladora de voltaje; por ello, no se recomienda apartarlas, pues, podría generar problemas eléctricos o fallas de conexión.
- Se recomienda limpiar o cambiar los materiales filtrantes de los tanques centrales del modelo físico cada cierto tiempo pues estos medios se saturan y no podrán cumplir su función de depuración.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, R., Paredes, L., & Arteaga, J. (2015). *Guía metodológica para la elaboración de proyectos de investigación en posgrado*. Cuernavaca: Universidad Internacional.
- Henry, J. G., & Heinke, G. W. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México D.F.: Pearson Educación.
- METCALF & EDDY, INC. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Madrid: McGraw-Hill.
- Orozco Jaramillo, A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales*. Bogotá: Acodal.
- Polo, F. J., AVECILLAS, S. A., & MARTINEZ, R. A. (2015). *Tratamiento biológico de aguas residuales*. Valencia: U.P. de Valencia.
- Romero Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales Teoría y principio de diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Schulte, S. (2003). *Guía Conceptual y Metodológica para el Desarrollo y Planificación*. Santiago: CEPAL.
- Swimtonic Technology. (15 de Diciembre de 2019). *La importancia del agua para la vida*. Obtenido de <https://www.swimtonictech.com/es/2018/03/22/la-importancia-del-agua-la-vida/>
- Trujillo Guillen, H. A. (2012). *Procesos Biológicos*. Tuxtla Gutierrez Chiapas: Universidad Autónoma de Chiapas.

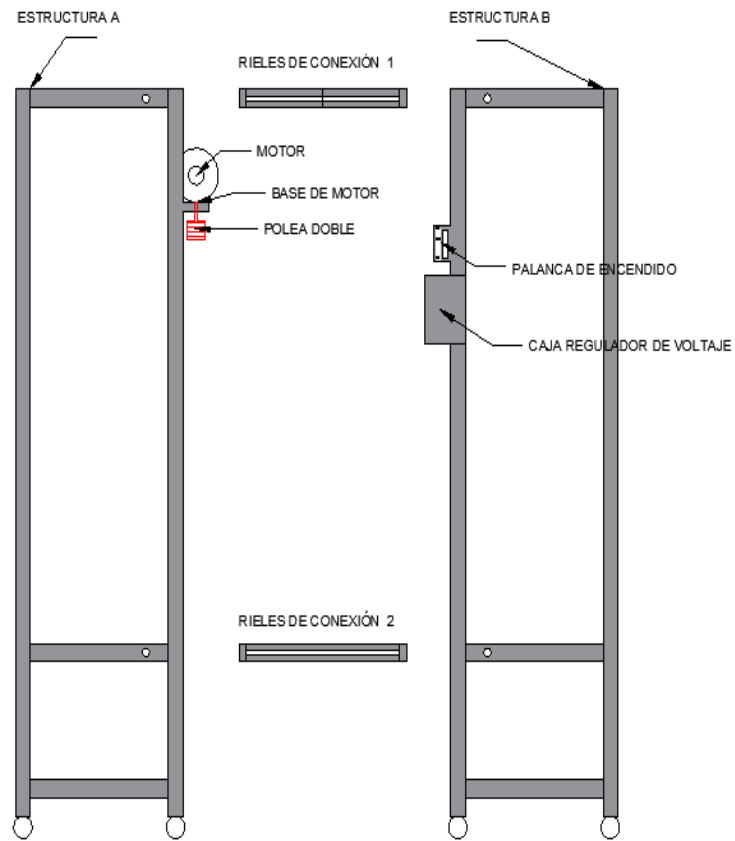
**ANEXOS**

Anexo. 1 Ficha de resultados.

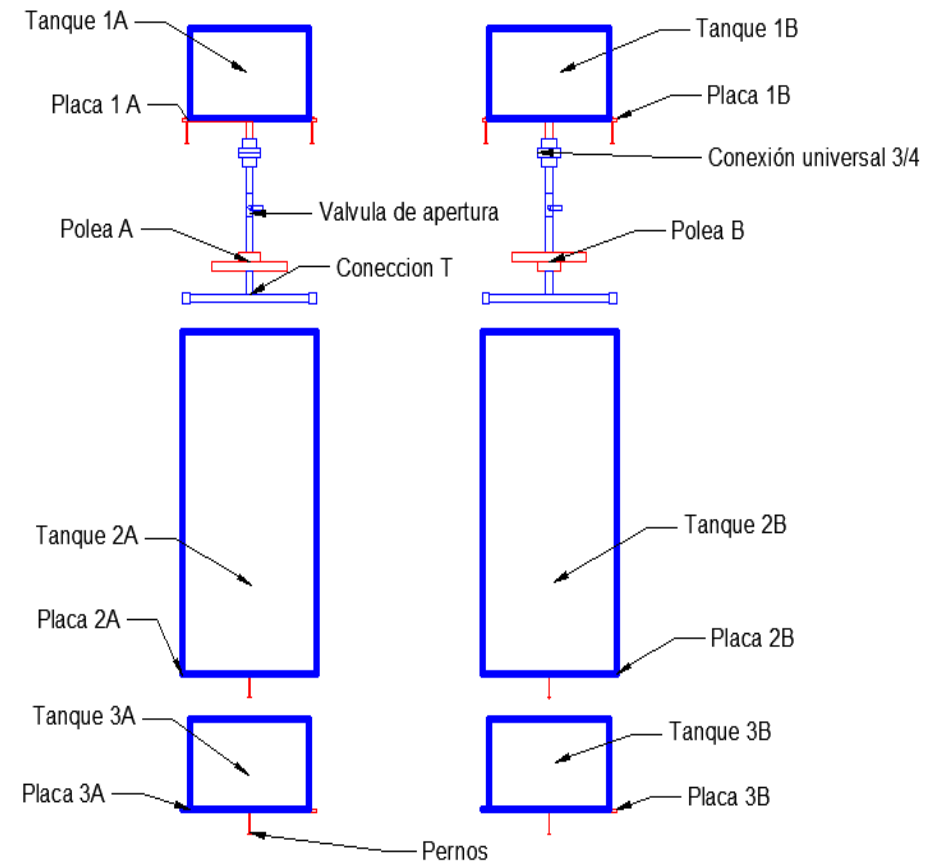
Fecha:					Hora Inicio:		Hora Fin:	
Apertura de llave	Filtro Tanque A				Filtro Tanque B			
	Volumen	Tiempo	Caudal	Tiempo de retención	Volumen	Tiempo	Caudal	Tiempo de retención
	litros (lt)	segundos (s)	lt/s	minutos	litros (lt)	segundos (s)	lt/s	minutos
	5				5			
	10				10			
	15				15			
	20				20			
	Caudal promedio Qr				Caudal promedio Qr			
Tiempo Total				Tiempo Total				

Fuente: Autores.

Anexo. 2 Plano 1-1, Vista frontal del modelo definitivo (Partes).

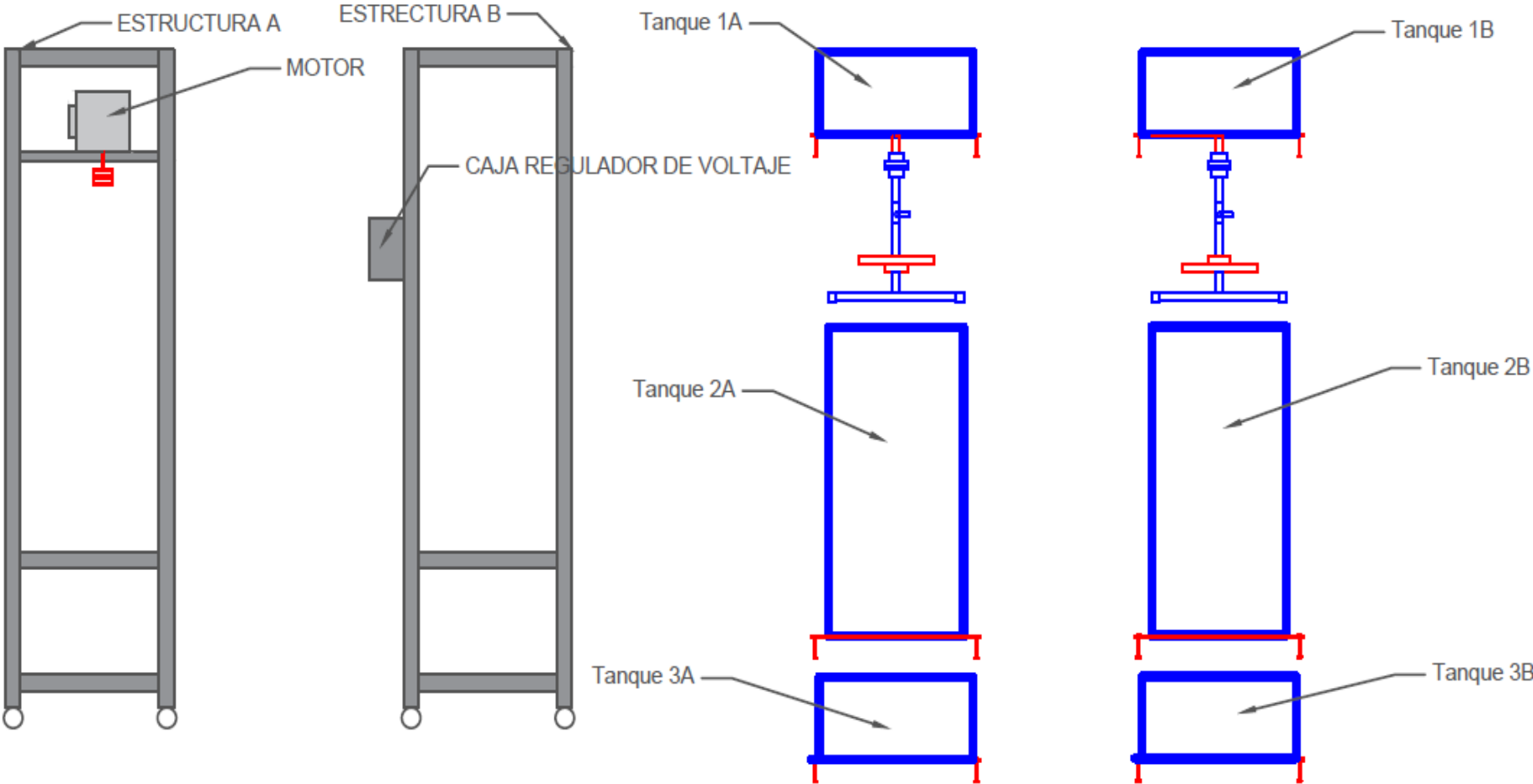


Fuente: Autores.





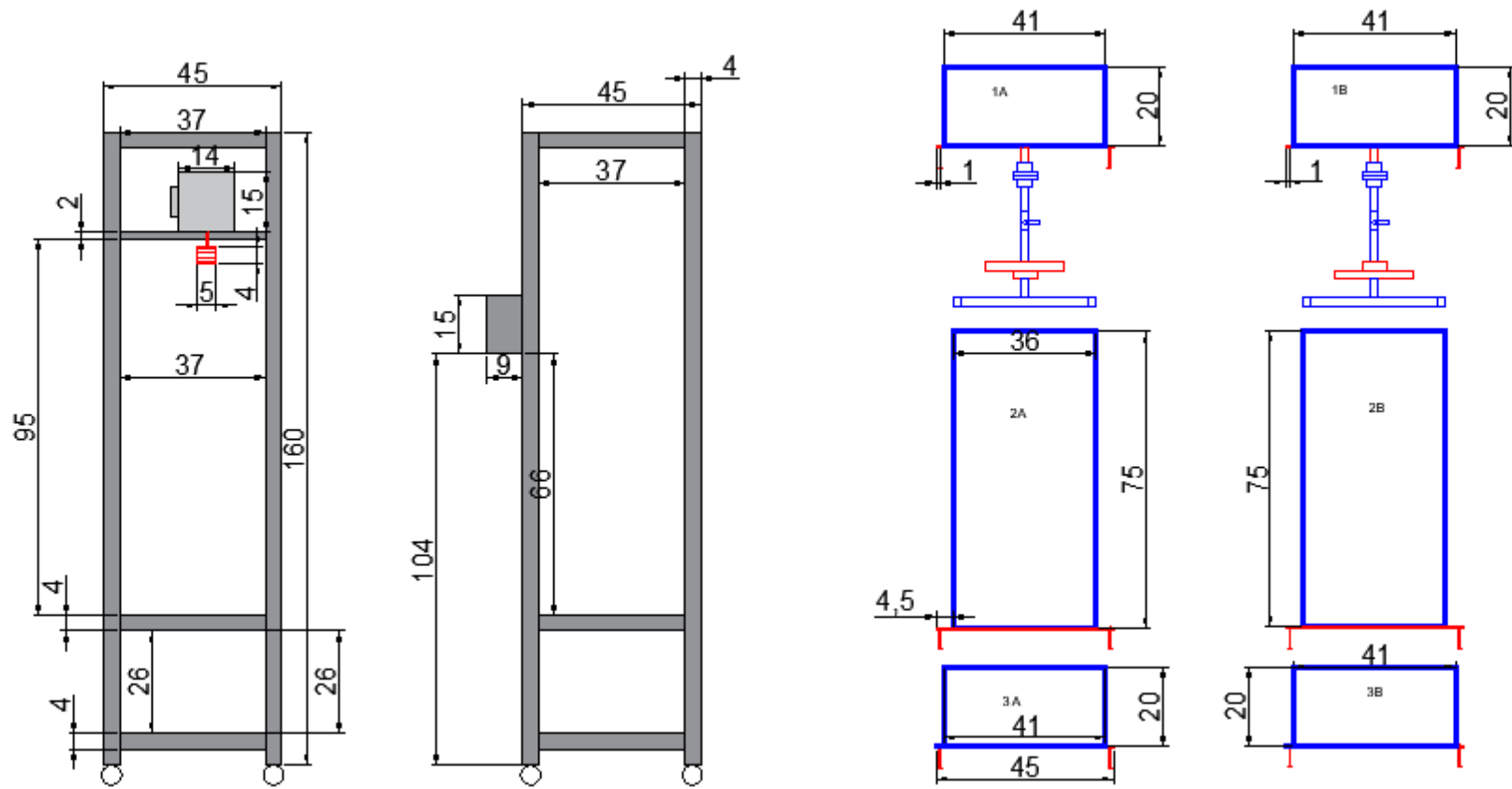
Anexo. 4 Plano 2-1, Vista lateral derecha del modelo definitivo (Partes).



Fuente: Autores.

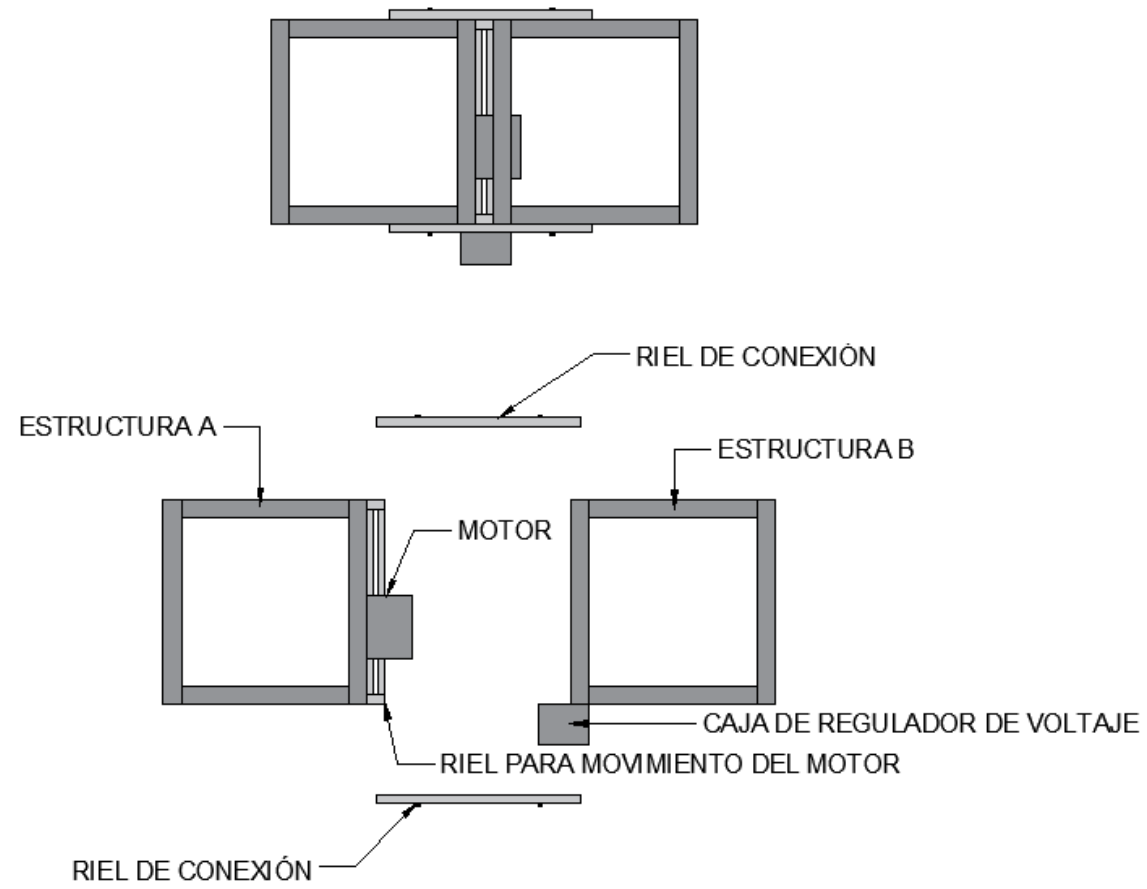


Anexo. 5 Plano 2-2, Vista lateral derecha del modelo definitivo (Medidas).



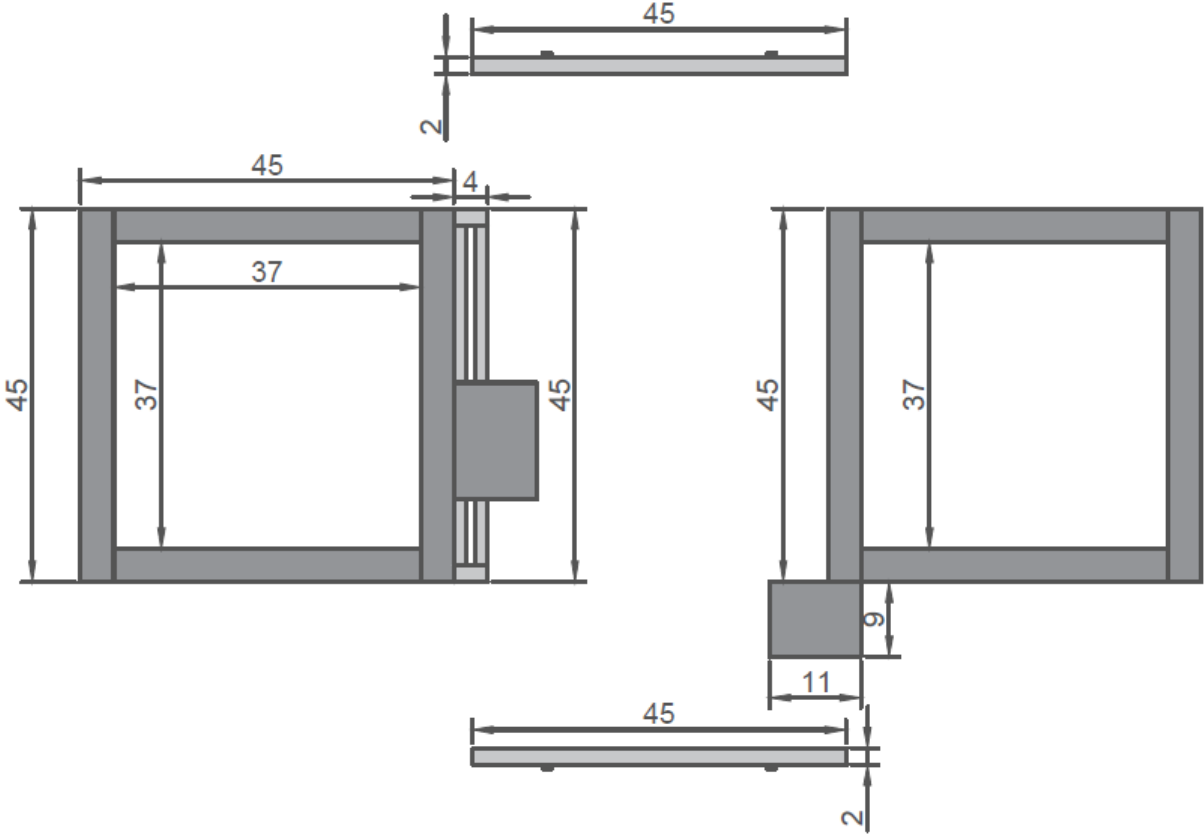
Fuente: Autores.

Anexo. 6 Plano 3-1, vista en planta de la estructura metálica (Partes).



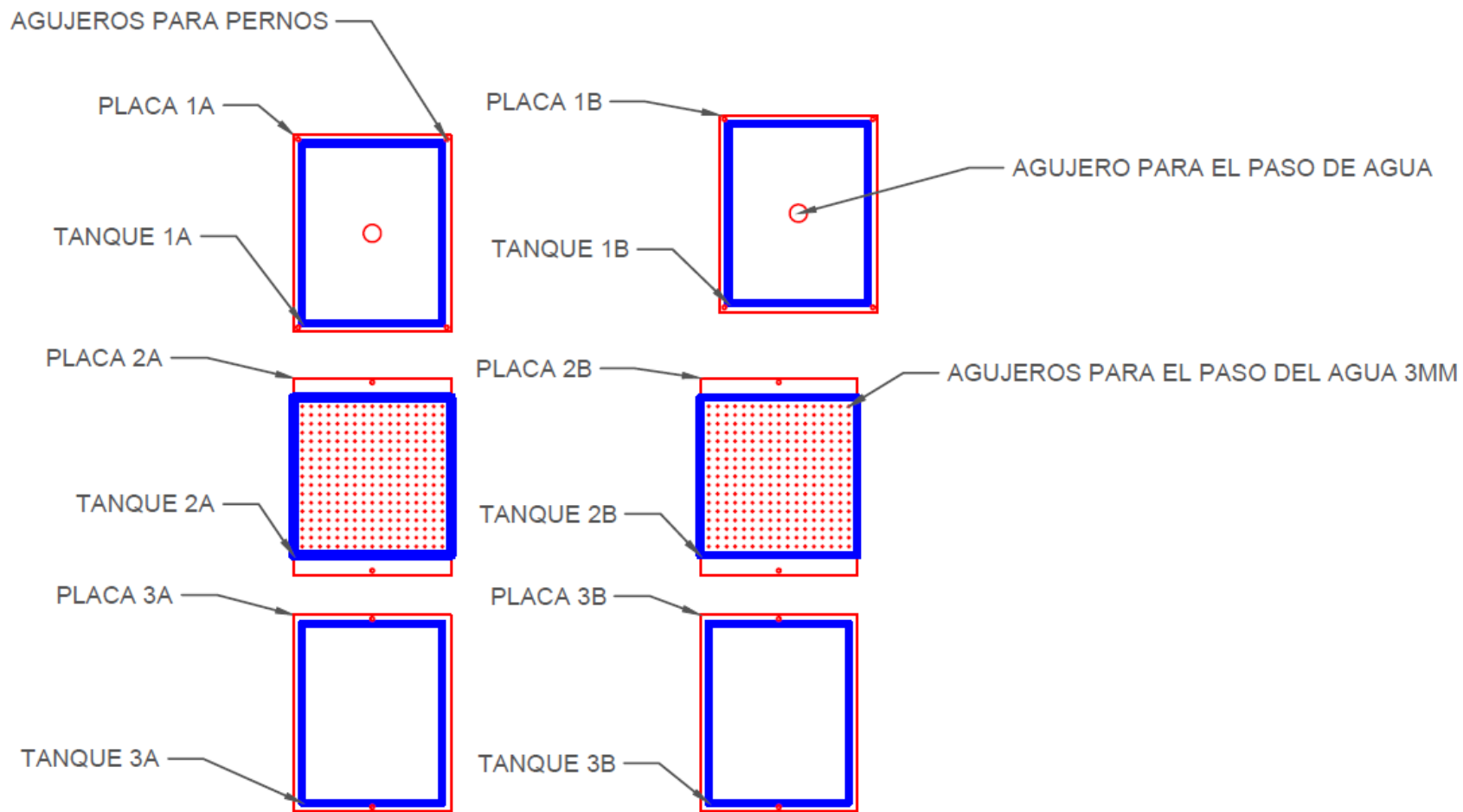
Fuente: Autores.

Anexo. 7 Plano 3-2, vista en planta de la estructura metálica (Medidas).



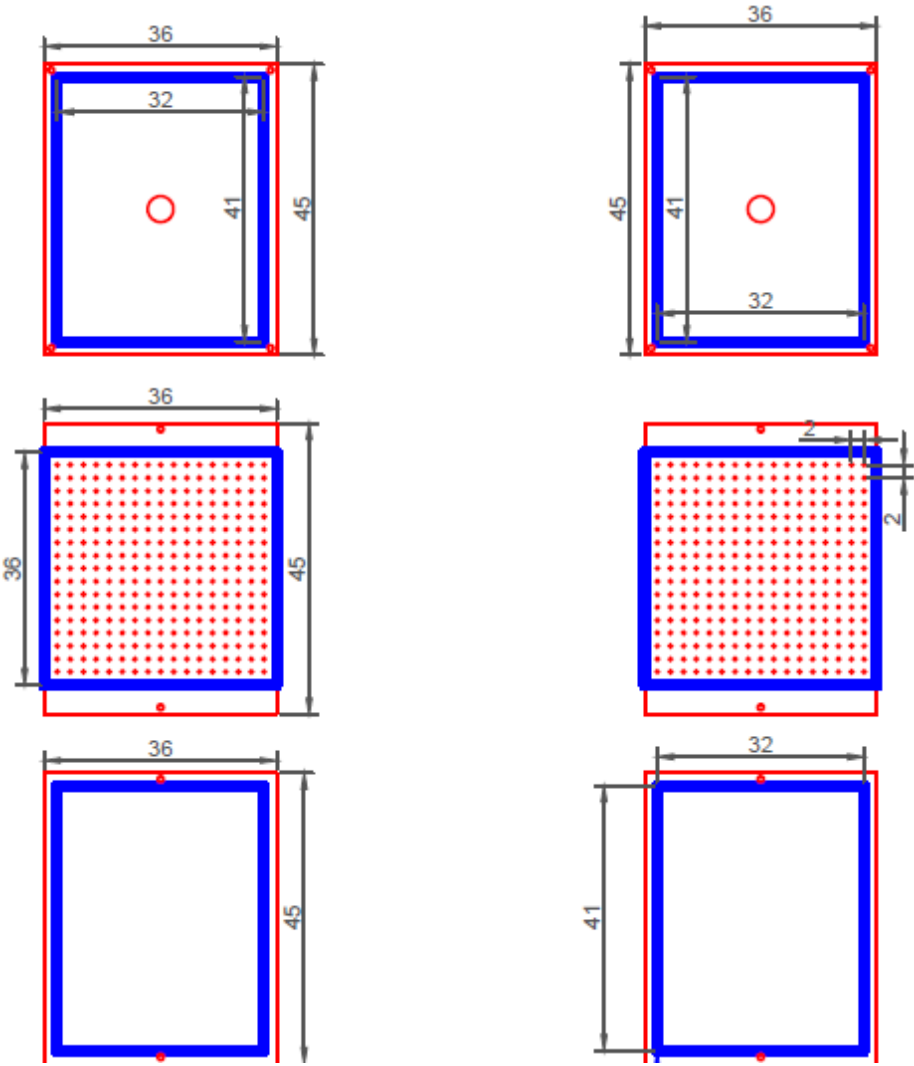
Fuente: Autores.

Anexo. 8 Plano 4-1, Diseño de placas metálicas (Partes).



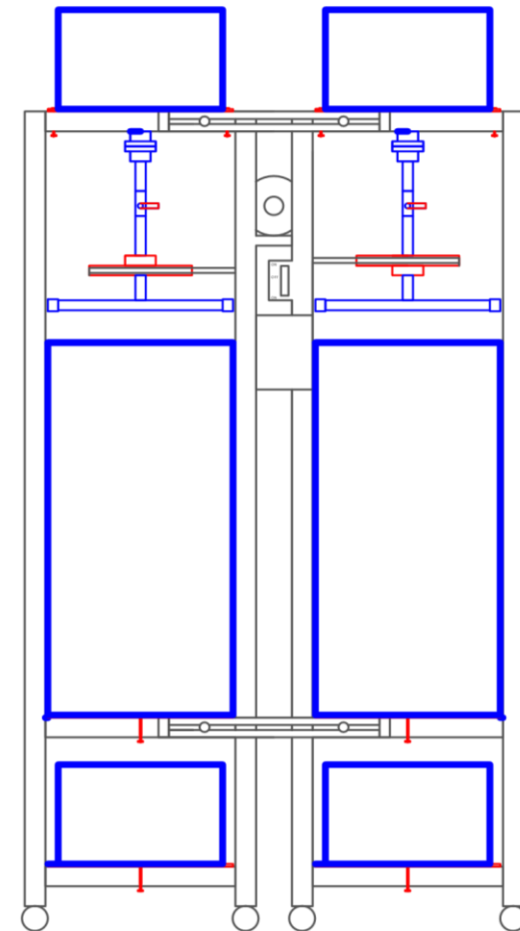
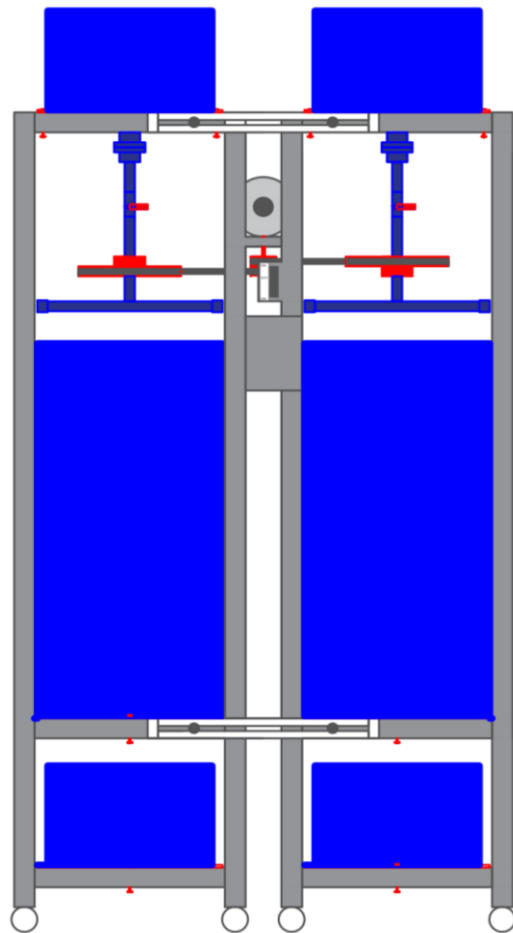
Fuente: Autores.

Anexo. 9 Plano 4-2, Diseño de placas metálicas (Medidas).



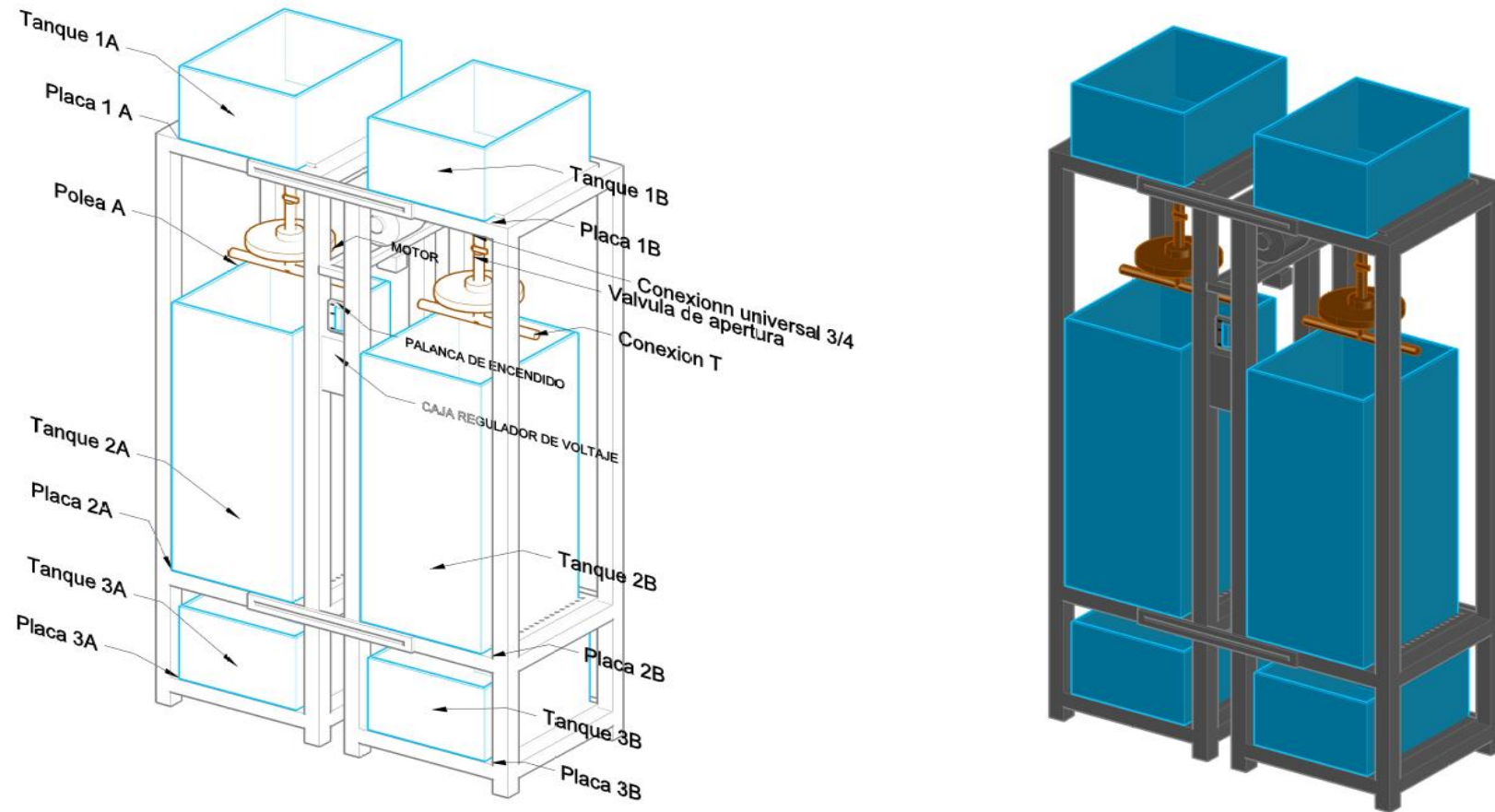
Fuente: Autores.

Anexo. 10 Plano 5, Visualización del modelo físico.



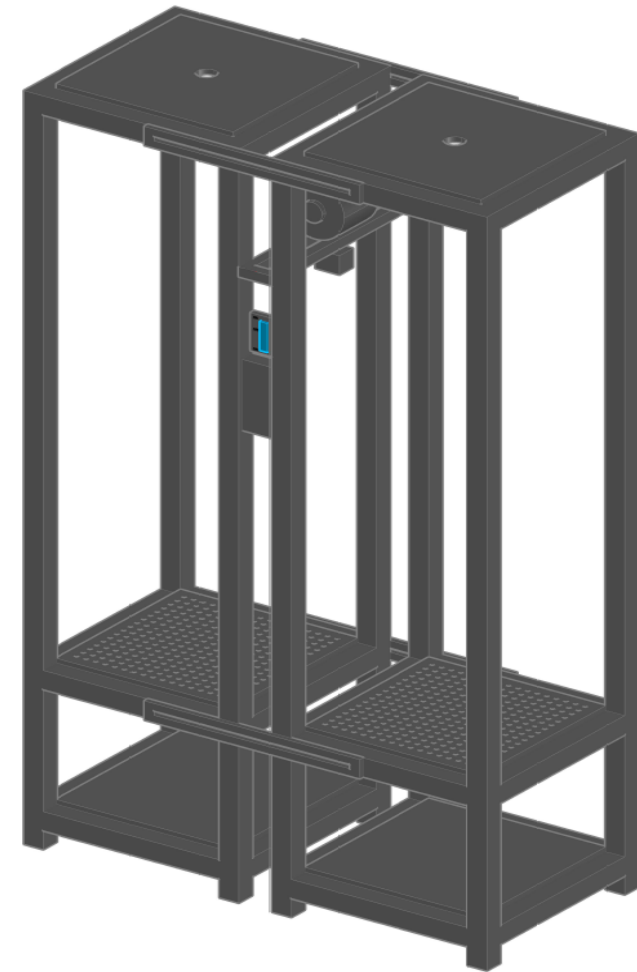
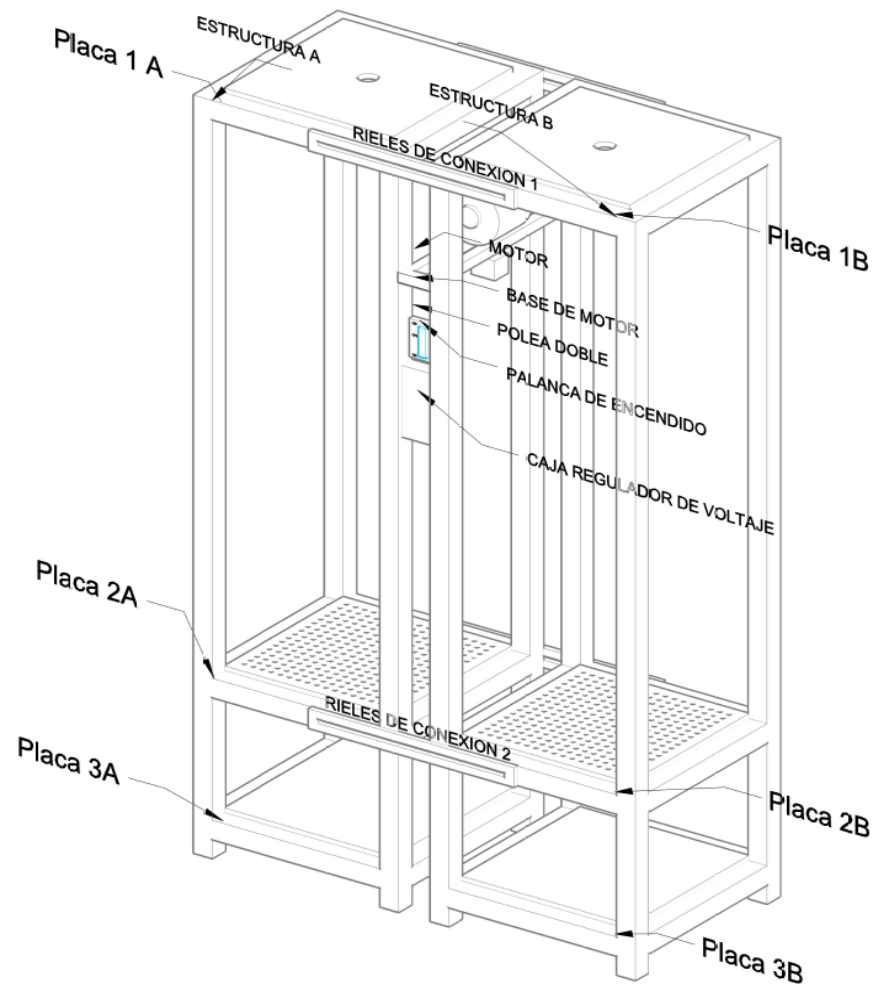
Fuente: Autores.

Anexo. 11 Visualización 3D del modelo físico completo.



Fuente: Autores.

Anexo. 12 Visualización 3D estructura metálica armada.



Fuente: Autores.