



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERIA QUIMICA

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE
FILTRACIÓN DE AGUA POR COLUMNAS QUE PERMITE SU
CONEXIÓN EN SECUENCIA MEDIANTE IMPRESIÓN 3D**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: CRISTOFER ALEXANDER LAYEDRA AMBO

DIRECTORA: ING. MABEL MARIELA PARADA RIVERA

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Cristofer Alexander Layedra Ambo**

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

Yo, Cristofer Alexander Layedra Ambo, declaro que el presente trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 14 de abril de 2023.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Cristofer Alexander Layedra Ambo', with a large, stylized flourish above the name.

Cristofer Alexander Layedra Ambo

0604734319

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico **DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE FILTRACIÓN DE AGUA POR COLUMNAS QUE PERMITE SU CONEXIÓN EN SECUENCIA MEDIANTE IMPRESIÓN 3D**, realizado por el señor: **CRISTOFELR ALEXANDER LAYEDRA AMBO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Dr. Fabián Ernesto Arias Arias
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2023-04-14

Ing. Mabel Mariela Parada Rivera
DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-04-14

Dr. Jorge Efrén Silva Yumi
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2023-04-14

DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mi hermana Nayeli, mis padres María y Ángel quienes me han brindado apoyo para culminar mis estudios y a los maestros quienes aportaron de su conocimiento para formarme como profesional.

Cristofer

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a la ESPOCH que como institución brindó todos los medios necesarios para culminar mis estudios superiores, a la Ingeniera Mabel Parada, al Doctor Jorge Silva y a la Ingeniera Valeria Tapia por ser personas de gran calidez humana, haberme guiado por el trayecto de la excelencia y por el apoyo brindado durante la realización del presente trabajo.

Cristofer

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Antecedentes de investigación.....	4
2.2 Referencias teóricas.....	6
2.2.1 <i>Tratamiento de aguas por columnas</i>	6
2.2.2 <i>Adsorción</i>	8
2.2.3 <i>Tipos de adsorción</i>	8
2.2.3.1 <i>Adsorción física</i>	8
2.2.3.2 <i>Adsorción química</i>	8
2.2.4 Fundamentos de la adsorción	9
2.2.4.1 <i>Curvas de ruptura</i>	9
2.2.5 <i>Tipos de adsorbentes</i>	10
2.2.6 <i>Totora (Schoenoplectus californicus)</i>	10
2.2.7 <i>Filamentos para impresión 3D</i>	11

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	13
3.1	Localización del proyecto	13
3.2	Ingeniería del proyecto	14
3.2.1	<i>Tipo de estudio</i>	14
3.2.2	<i>Metodología</i>	15
3.2.2.1	<i>Métodos</i>	15
3.2.3	<i>Técnicas de laboratorio</i>	16
3.2.3.1	<i>Obtención de la totora como material filtrante</i>	16
3.2.3.2	<i>Activación de la totora</i>	16
3.2.3.3	<i>Medición de la concentración de adsorbato</i>	17
3.2.4	<i>Determinación de variables dependientes e independientes</i>	18
3.2.5	<i>Modelo geométrico del diseño</i>	18
3.2.6	<i>Dimensionamiento</i>	18
3.2.7	<i>Modelado en Software</i>	19
3.2.8	<i>Selección de material del equipo</i>	20
3.2.9	<i>Softwares ocupados en la elaboración del equipo</i>	20
3.2.10	<i>Piezas de la torre de filtración</i>	20
3.2.11	<i>Ensamble del equipo</i>	21
3.2.12	<i>Análisis del diseño</i>	22
3.2.12.1	<i>Validación</i>	23
3.2.12.2	<i>Caracterización del agua a tratar</i>	23

CAPITULO IV

4.	RESULTADOS	24
4.1	Resultados de patentes revisados	24
4.2	Resultados del dimensionamiento de la torre	24
4.3	Resultados del diseño de la torre	26
4.3.1	<i>Dimensionamiento del cabezal de la torre (pieza A)</i>	26
4.3.2	<i>Dimensionamiento de la pieza de unión (pieza B)</i>	28
4.3.3	<i>Dimensionamiento de la torre de empaquetamiento (pieza C)</i>	29
4.4	Resultado selección de material de la torre	30
4.5	Ensamble de la torre	31
4.6	Resultados curva de calibración	33
4.7	Datos finales de las muestras	34
4.8	Resultados de validación del proceso de filtración	36

4.9	Análisis de costos	38
------------	---------------------------------	-----------

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
5.1	Conclusiones	40
5.2	Recomendaciones	41

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Documentos antecedentes de la investigación.....	5
Tabla 2-2:	Análisis Físicoquímico de Totora en base seca	11
Tabla 2-3:	Características de principales filamentos usados en el modelado por adición.	12
Tabla 3-1:	Características localización geográfica de la Facultad de Ciencias-ESPOCH.	13
Tabla 3-2:	Softwares usados para diseño e impresión de objetos en 3D	20
Tabla 4-1:	Patentes de apoyo al diseño de la torre de filtración	24
Tabla 4-2:	Dimensionamiento de la Torre	26
Tabla 4-3:	Resumen dimensiones principales de la pieza A.....	27
Tabla 4-4:	Resumen dimensiones pieza B	29
Tabla 4-5:	Opciones de material plástico para impresión 3D	31
Tabla 4-6:	Cuantificación de la curva de calibración.....	33
Tabla 4-7:	Resultados caracterización de las muestras	35
Tabla 4-8:	Media de resultados de las muestras.....	35
Tabla 4-9:	Capacidad de adsorción de totora (<i>Schoenoplectus californicus</i>)	36
Tabla 4-10:	Calificación de cada etapa del proceso según la coloración.....	37
Tabla 4-11:	Descripción de costos por pieza del equipo.....	39
Tabla 4-12:	Análisis de costos de fabricación de la torre de filtración con tres etapas.....	39

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Esquema curva de ruptura.....	9
Ilustración 3-1:	Localización geográfica de GIMA- -ESPOCH.....	14
Ilustración 3-2:	Gráfica de ensamble general.....	22
Ilustración 4-1:	Pieza A cabezal y salida de la torre	27
Ilustración 4-2:	Pieza B2 unión con rejilla.....	28
Ilustración 4-3:	Comparación general de la pieza B	28
Ilustración 4-4:	Comparación de las rejillas.....	29
Ilustración 4-5:	Pieza C torre de empaquetamiento	30
Ilustración 4-6:	Equipo ensamblado para una etapa.....	32
Ilustración 4-7:	Equipo ensamblado con tres torres de filtración.....	33
Ilustración 4-8:	Curva de calibración de solución de Cr	34
Ilustración 4-9:	Comparación de color de las muestras.....	36
Ilustración 4-10:	Escala de color de las muestras obtenidas	37
Ilustración 4-11:	Comparación de adsorción en las tres etapas.....	38

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2497
- ANEXO B:** DIMENSIONAMIENTO DE LA PIEZA A
- ANEXO C:** DIMENSIONAMIENTO DE LA PIEZA B
- ANEXO D:** DIMENSIONAMIENTO DE LA PIEZA C
- ANEXO E:** ACTIVACIÓN DE LA TOTORA
- ANEXO F:** ENSAMBLE FINAL DEL EQUIPO POR CADA ETAPA
- ANEXO G:** COMPARACIÓN DE MUESTRAS OBTENIDAS AL FINAL DE CADA ETAPA

RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo el diseño y elaboración de un sistema de filtración de agua por columnas que permite su conexión en secuencia, mediante impresión 3D, para lo cual se analizó el estado del arte y técnica, estableciendo características propias al prototipo, posterior se modeló el equipo en el software Fusion 360 y se imprimió en 3D las piezas para su respectiva validación con pruebas de adsorción con una solución de sulfato de básico de cromo al 1% (p/v). El dimensionamiento del equipo se realizó con la idea de uso para pruebas a nivel laboratorio, según el área que ocuparía y el volumen de 50 ml del tanque de almacenamiento. Se diseñó el equipo en base a tres columnas conectadas en serie; se experimentó usando totora (*Schoenoplectus californicus*) como material adsorbente, llenando el 90% de la torre con 5 g y se realizó tres repeticiones para cada etapa: de una, dos y tres columnas, obteniendo un total de nueve muestras para medición de concentración por electrofotometría UV-visible, realizando la curva de calibración y midiendo la absorbancia, para después calcular la concentración final de proceso. Como método de validación se observó el cambio de coloración en cada columna, se calificó según el cambio de coloración en escala de 1 a 3, para finalmente concluir que el número de secciones conectadas en serie debe ser superior a dos para evidenciar cambios muy notorios en la coloración y respecto a características del material adsorbente se halló que su capacidad adsorbente es de 66,170 mg por cada gramo de material; y finalmente el porcentaje adsorbido para la etapa uno, dos y tres es de 69,2%, 85,7% y 91,1% respectivamente. Se recomienda realizar un estudio más minucioso al material filtrante, para determinar curvas de adsorción propias de cada material.

Palabras clave: <ADSORCIÓN>, <MODELADO 3D>, <TORRES DE FILTRACIÓN>, <TRAMIENTO DE AGUA>, <MODELO FÍSICO>.

0819-DBRA-UPT-2023

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Rafael Rojas', is written over a faint circular official seal. The signature is fluid and cursive.

ABSTRACT

The objective of this work was the design and development of a water filtration system by columns that allow its connection in sequence, by means of 3D printing, for which the state of the art and technique was analyzed, establishing the characteristics of the prototype; then the equipment was modeled in the Fusion 360 software and the parts were 3D printed for their respective validation with adsorption tests with a 1% (w/v) basic chromium sulfate solution. The sizing of the equipment was carried out with the idea of using it for laboratory tests, according to the area it would occupy and the 50 ml volume of the storage tank. The equipment was designed based on three columns connected in series; it was experimented using cattail (*Schoenoplectus californicus*) as adsorbent material, filling 90% of the tower with 5 g and three replications were made for each stage: one, two and three columns, obtaining a total of nine samples for concentration measurement by UV-visible electro photometry, making the calibration curve and measuring the absorbance, to later calculate the final concentration of the process. As a validation method, the change of coloration in each column was observed; it was qualified according to the change of coloration in a scale from 1 to 3, to finally conclude that the number of sections connected in series should be higher than two to show very noticeable changes in the coloration and regarding the characteristics of the adsorbent material; it was found that its adsorbent capacity is 66.170 mg for each gram of material, and finally the percentage adsorbed for stage one, two and three is 69.2%, 85.7% and 91.1% respectively. A more detailed study of the filter material is recommended, in order to determine the adsorption curves specific to each material.

Keywords:<ADSORPTION>, <3D MODELING>, <FILTRATION TOWERS>, <WATER TREATMENT>, <PHYSICAL MODEL>



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

Ced: 1103696132

INTRODUCCIÓN

La demanda de agua ha ido en aumento en función al crecimiento de la población, es por ello por lo que la disponibilidad de agua se reduce conforme las industrias demandan una mayor cantidad para realizar los procesos de producción. Esta escasez de agua es debida a la mala calidad con la que el agua es devuelta a las cuencas hídricas y afecta el presente y compromete el futuro de la vida en la Tierra (Tusiime et al., 2022, p.1). Para Mahuad et al. (2022, p. 14) uno de los desafíos de las ciudades de los países en desarrollo es otorgar el suministro de agua adecuada para la salud de sus habitantes. Sin embargo, la demanda de agua en muchas ciudades de países subdesarrollados supera el suministro de agua dotado, debido principalmente a la industrialización, la urbanización y la alta población del Estado que se encuentra en crecimiento.

Descubrir nuevas fuentes de agua dulce no cumple con la necesidad de la situación, por ello es esencial complementar a las fuentes de agua dulce con otras fuentes de agua provenientes de la reutilización de agua contaminada (Quispe et al., 2022, p.2). Feng, Cao y Long (2022, p. 83) plantean varias alternativas para solucionar este problema, entre las alternativas se encuentra el tratamiento de aguas por columnas de filtración y adsorción, pues el agua consumida por industrias se puede utilizar para hacer frente a la escasez de agua y evitar la misma contaminación hacia otras fuentes hídricas.

La adsorción es un fenómeno que depende principalmente de la naturaleza química de la superficie del adsorbente y el adsorbato; para Ataguba y Brink (2021, p. 56) es el proceso más económico y eficiente para el tratamiento de agua; razón por la cual, ha sido utilizada para la búsqueda de materiales que faciliten la eliminación de solutos presentes en soluciones nocivos para medio ambiente. Requiere menos inversión en términos de costo inicial y espacio de terreno, tiene un diseño simple, no presenta ningún otro efecto tóxico y elimina muchos más residuos orgánicos, en comparación con otros tratamientos convencionales usados para el control de la contaminación del agua, por ello la evaluación del rendimiento de un sistema de filtración a escala de laboratorio para el tratamiento y la reutilización del agua sirve como fundamento para futuros estudios basados en hallar materiales filtrantes que adsorban con mayor facilidad ciertos componentes presentes en el agua que son difíciles de separar (Patel, 2019, p. 1).

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Armijos (2015, p. 22) enuncia que la población e industria en crecimiento y el uso excesivo de agua amenazan ecosistemas enteros en el planeta Tierra. La concentración de colorantes, sales, materia orgánica, sólidos en suspensión, tensioactivos y compuestos clorados provocan la dificultad en el tratamiento de los efluentes industriales.

El agua contaminada tiene un impacto tenaz sobre el medio ambiente, principalmente es generada por procesos que originan residuos disueltos en el agua o que se encuentran en suspensión. El proceso de lavado arrastra consigo todos los contaminantes de la manufactura en la industria, como por ejemplo en la fabricación de telas donde el agua contaminada con colorantes afecta directamente a los ecosistemas donde es desechada (Pino et al., 2021, p. 16).

La remoción de contaminantes mediante la utilización de materiales adsorbentes empacados en filtros es un tratamiento que disminuye la contaminación existente en los efluentes, para Maldonado y Molina (2011) es un tratamiento terciario que facilita el proceso de tratamiento de aguas y para ello han aparecido a lo largo de los años diferentes tipos de filtros, con los que se realizan ensayos de laboratorio para determinar el rendimiento de cada filtro.

Un problema extra retratado por Alulema y Caiza (2015, p. 37) es que en la actualidad los filtros comerciales de agua vienen empacados en una sola pieza para facilitar el uso y ensamblaje, pero esto conlleva a que sean de un solo uso para cuando hayan cumplido su vida útil, razón por la cual son desechados generando residuos plásticos que son liberados al ambiente y aún más contaminantes al medio ambiente.

1.2 Justificación

La idea del presente trabajo nace del proyecto de investigación “Analizar materiales y nanomateriales para aplicaciones energéticas y medio ambientales”, llevado a cabo por el Grupo de Investigación en Materiales Avanzados (GIMA). Es un proyecto viable, pues en cuanto a los costos de producción son bajos debido al dimensionamiento mismo del equipo, el cual está dirigido a fuentes donde el caudal del líquido contaminado es relativamente bajo; sin embargo, la propuesta es cimiento para futuros proyectos de implantación a escala industrial, pues bastará con

proyectar el diseño con los materiales adsorbentes de bajo costo y alto rendimiento que se vayan descubriendo para el tratamiento de contaminantes presentes en el agua.

La reutilización de agua para producción y la necesidad de ahorro energético genera el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten eliminar la mayor cantidad de contaminación en el agua (Bastidas, 2012, p.15); por esta razón se propone el diseño de un prototipo de sistema de torres de filtración de agua a escala de laboratorio que facilite los ensayos en busca de un material filtrante, sea fácil de ensamblar de acuerdo al número de filtraciones que se necesite y que represente un costo relativamente bajo de producción.

El uso de filtros que adsorban gran parte de material dañino deja absuelto el uso de equipos de un solo uso o de una sola torre de filtración, pues el uso de distintos materiales filtrantes, de acuerdo con las características del agua a tratar, reduce la concentración de contaminantes en las descargas de cada torre y esta misma pueda ser gestionada de un modo sostenible con el fin de garantizar la existencia y la gestión sostenible del agua para toda la población.

El sexto objetivo del desarrollo sostenible presentado por la Organización de las Naciones Unidas rumbo a la agenda 2030, resalta la disponibilidad de agua y su gestión sostenible; y va de la mano con el tratamiento de aguas por columnas de filtración, pues 80% de aguas residuales se vierten en las bocas de agua natural sin ningún previo tratamiento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo de sistema de filtración de agua por columnas que permite su conexión en secuencia, mediante impresión 3D

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar el estado de técnica y del arte mediante la revisión de bases de datos para establecer las características propias del prototipo del sistema de columnas a diseñar.
- Modelar el prototipo del sistema mediante el uso de un software para su posterior impresión.
- Emplear la técnica de fabricación por adición para la construcción del prototipo de columnas de filtración mediante la impresión en 3D.
- Validar el diseño del equipo a través de la caracterización cualitativa del líquido clarificado

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

A través de los años se han desarrollado distintos tipos de filtros para la purificación de agua, pero el proceso de purificación depende necesariamente del tipo de material y sus características, pues existen materiales menos resistentes al aumento de caudal que influyen en el rendimiento de agua perdida por retro lavado. Rincón et al. (2015, pp. 171-173) desarrollaron un modelo didáctico de columnas filtrantes según los requerimientos técnicos de los laboratorios de Geotecnia e Hidráulica de la Universidad Católica de Colombia y concluye que el material apropiado para construir su prototipo es un acrílico transparente, pues permite observar el funcionamiento del sistema de filtración por el interior, facilita la manipulación y limpieza.

El proceso de filtración por columnas es una técnica de tratamiento de agua relativamente lenta y de bajo nivel de contaminación, este mismo proceso se ha usado para la remoción de color aparente y turbiedad; durante los primeros treinta y cinco días que se aplicó esta técnica se obtuvo el máximo incremento en la eficiencia del proceso demostrando un 85% de eficiencia para la salida de la primera columna y al final de la segunda columna se obtuvo una eficiencia del 95% de la remoción de contaminantes (Ataguba y Brink, 2021, p. 64).

La adsorción se ha estudiado en dos modos continuo y discontinuo; en modo discontinuo para obtener las curvas de roturas del sistema en diferentes condiciones de operación y de modo continuo para el estudio de rendimientos de los distintos materiales filtrantes (Romero et al., 2012, p. 22). Se ha demostrado que materiales microporosos conllevan a procesos más tardíos por su curva cinética lenta y los materiales mesoporosos muestra menor capacidad de adsorción, pero con cinéticas más veloces (Pérez-Vidal et al., 2016, p.280).

La adsorción es un tratamiento terciario usado para maximizar la calidad del efluente del mínimo requerido, para este proceso se utiliza una columna de filtración para evitar el uso de energía adicional y aprovechar la gravedad y el material filtrante, también se demuestra que el uso de un sistema de columnas maximiza el rendimiento de calidad de agua realizando el proceso denominado el afluente (Vásquez et al., 2016, p.330).

Para proyección industrial a partir del prototipo a escala laboratorio de una columna de filtración adecuada se debe proyectar primero el número de columnas que deben conectarse en serie para

obtener mejores resultados de adsorción. Otros factores tales como los múltiples materiales adsorbentes y varios sistemas de adsorbato, se deben considerar en la proporción que entrará al sistema (Patel, 2019, p.13).

Si bien el uso de totora (*Schoenoplectus californicus*) como un material adsorbente aún se encuentra en estudios para comprobar su aplicación en la remoción de diferentes metales pesados que se encuentran en aguas contaminadas, Samudio et al. (2021, pp. 109-111) comprueban que con totora (*T. Dominguisis*), una variante de la totora *californicus*, hay una remoción de metales pesados en aguas preparadas con soluciones de sulfatos, para ese caso comparando la remoción de Cu y Cr a diferentes concentraciones. Para el caso de Cr se obtuvo una remoción del 16% al 46% para soluciones de concentración de 0.72 a 5.5 mg/L, por otro lado para el caso de Cu se obtuvo una concentración del 68 al 93% para concentraciones variables de entre 1.13 mg/L a 11.25 mg/L.

Tabla 2-1: Documentos antecedentes de la investigación

AUTOR(ES)	TEMA	AÑO	ENLACE DE ACCESO
Rincón, J.M., Rincón, S., Guevara, P., Ballén, D., Morales, J.C. y Monroy, N.,	Producción de carbón activado mediante métodos físicos a partir de carbón de El Cerrejón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorerías.	2007	10.18257/raccefyn.138
Ataguba, C Brink, I	Design and construction of laboratory-scale activated carbon, gravel and rice husk filter columns for the treatment of stormwater runoff from automobile workshops	2021	10.17159/2309-8775/2021/V63N1A6
Pérez-Vidal, Andrea Díaz-Gómez, Jaime Salamanca-Rojas, Karen L. Rojas-Torres, Leidy Y.	Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y olla Cerámica	2016	10.15446/rsap.v18n2.48712
Vásquez, Wislenny Vásquez, Wisnelklys Hernández, Carlos Niño, Zulay M	Design of a filtration system for amine solutions used in washing CO ₂ in ammonia plants	2016	https://www.redalyc.org/pdf/707/70748810011.pdf
Patel, Himanshu	Fixed-bed column adsorption study: a comprehensive review	2019	10.1007/s13201-019-0927-7
Bastidas, Liliana	Diseño de un Filtro con Piroclastos Finos para la Purificación del Agua de la	2012	http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1770

	Comunidad de San Francisco (Baños - Tungurahua)		
Maldonado, Andrea Molina, Renato	Estudio Para La Reducción De Colorantes De Aguas Residuales De La Industria Textil a Través De Procesos Electroquímicos	2011	https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1508/13/UPS-CT002191.pdf
Sadia, Mamoona Mahmood, Abid Ibrahim, Muhammad Kashif, Muhammad Hassan, Abul Quddusi, Ali	Environmental Technology & Innovation Microplastics pollution from wastewater treatment plants: A critical review on challenges, detection, sustainable removal techniques and circular economy	2022	https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102946
Rashid, Ruhma Shafiq, Iqrash Akhter, Parveen Iqbal, Muhammad Javid Hussain, Murid	A state-of-the-art review on wastewater treatment techniques: the effectiveness of adsorption method	2021	10.1007/s11356-021-12395-x
Samudio, Antonio Nakayama, Héctor Ávalos, Claudia Cantero, Isaura Benítez, Juan Ayala, José	Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por <i>Typha domingensis</i>	2021	https://doi.org/10.32480/rscep.2021.26.2.100

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Layedra, C. 2023.

2.2 Referencias teóricas

2.2.1 Tratamiento de aguas por columnas

Varias técnicas han sido reportadas a lo largo del tiempo para el tratamiento de aguas residuales. Por lo general, incluyen procesos físicos, químicos y biológicos que se consideran lo suficientemente efectivos para el tratamiento del agua de muchas maneras, esta selección depende de varios factores como la concentración del colorante, la composición de las aguas residuales, el costo del proceso o las impurezas adicionales presentes en las aguas residuales, por ello las características distintivas de cada método de tratamiento pueden ser beneficiosas en un sentido pero también pueden ser restringidas en otro (Rashid et al., 2021, p. 9053). Las técnicas de tratamiento que requieren altos costos de instalación y funcionamiento, mayor tiempo de procesamiento, bajo rendimiento y que producen subproductos tóxicos después del tratamiento a menudo son menos importantes para las aplicaciones industriales (Rashid et al., 2021, p. 9054).

La separación o eliminación de colorantes y materia orgánica mediante filtración por membrana se encuentra entre las técnicas de tratamiento de aguas residuales más eficientes y económicamente efectivas de diferentes industrias. Sin embargo, el desarrollo de membranas con suficiente estabilidad térmica y un rendimiento mejorado sigue siendo una tarea desafiante (Rashid et al., 2021, p. 9055).

La tecnología de nanofiltración (NF) se ha revelado como un método exitoso de purificación y separación en el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, el rendimiento de la membrana NF puede verse severamente restringido por la polimerización por concentración y el ensuciamiento (Rashid et al., 2021, p. 9055). El ensuciamiento disminuye la permeabilidad de la membrana, ya que provoca el bloqueo de los poros de la membrana al formar una capa de compuestos orgánicos. Además, la alta salinidad juega un papel negativo en el flujo de la membrana, ya que la presión osmótica es alta debido al rechazo de sal; por lo tanto, se desea una membrana NF con la superficie hidrófila con grandes rendimientos para el tratamiento de aguas residuales textiles. Por lo general, las membranas NF comerciales a nivel industrial tienen morfologías superficiales de ajuste perfecto, lo que resulta en un alto rechazo de sales y compuestos orgánicos (colorantes); por lo tanto, la ocurrencia del flujo de permeación disminuye (Rashid et al., 2021, p. 9055).

El método de ultrafiltración (UF) tiene un interés creciente en el teñido y el fraccionamiento de la sal, ya que permite una alta penetración de la sal con un flujo de permeación mejorado. Los estudios comparativos revelan que las membranas de UF tienen una alta eficiencia de separación, ya que proporcionan una mejor permeabilidad de la sal y mantienen un alto rendimiento debido a la baja presión osmótica. Para preparar membranas de UF eficientes, se ha utilizado ampliamente una gran cantidad de materiales poliméricos que contienen poliacrilonitrilo (PAN), polisulfona (PSf), acetato de celulosa (CA), polietersulfona (PES) y poli(fluoruro de vinilideno) (PVDF) (Rojas et al., 2012, p. 110).

Por tema de factibilidad de costos el tratamiento de aguas por columnas se dan de dos maneras principalmente: filtración y adsorción, en donde el agua a tratar entrará a la columna para disminuir su concentración de contaminantes, por ejemplo, en la filtración se hace pasar el agua por un medio poroso para retener la materia que se encuentre en suspensión (Pino et al., 2021, p.84).

2.2.2 Adsorción

La adsorción es un procedimiento en el cual sucede una transferencia de masa desde una fase líquida hacia la superficie sólida del material adsorbente, este sólido se utiliza con el fin de eliminar una o varias sustancias que se encuentran en solución generalmente en agua, el material más usado como adsorbente es el carbón activado, pues tiene una alta capacidad adsorbente y una cinética de intercambio muy rápida (Caviedes Rubio et al., 2015, p. 82).

La adsorción es utilizada con el objetivo de eliminar olores o malos gustos en el agua, pero en la industria es utilizada para eliminar sustancias orgánicas, pigmentos, solventes, aceites minerales y vegetales, distintos tensioactivos y demás compuestos que se encuentren disueltos en el agua (Sadia et al., 2022, p. 83).

El proceso de adsorción se da en tres etapas consecutivas, la primera de esta denominada difusión externa, etapa en la cual el adsorbato se aproxima a la superficie externa del material sólido, esta superficie normalmente es menor al 1% del total del material; la segunda etapa del proceso se denomina difusión interna, en esta etapa el adsorbato se dirige por el interior de los poros del material sólido para finalmente adherirse en toda la superficie del material adsorbente (Barazorda y Condori, 2019, p. 7).

Existen dos términos para dirigirse a las dos sustancias líquida y sólida que interactúan en el proceso, el adsorbente es aquel material sólido que facilita la superficie de adhesión; y por otro lado el adsorbato que es el material líquido o gaseoso que será adsorbido (Norouzi, 2019, p. 328).

2.2.3 Tipos de adsorción

2.2.3.1 Adsorción física

Se da por las fuerzas débiles atractivas de Van der Waals, es un tipo de adsorción reversible que presenta valores entálpicos bajos, de alrededor de 20 kJ/mol, debido a que las moléculas del adsorbato no se adhieren a la superficie del adsorbente, pues son liberadas y viajan sobre esta superficie, pudiendo ser recuperadas posteriormente (Barazorda y Condori, 2019, p. 8).

2.2.3.2 Adsorción química

La adsorción química es naturalmente irreversible por ende también tiene una entalpía mayor que la de la adsorción física con 200 kJ/mol, como lo dice Patel (2019, p.2) debido a que “Las fuerzas

electrostáticas más fuertes, como los enlaces químicos covalentes o electrostáticos, juegan un papel vital en la atracción entre el adsorbente y el adsorbato”.

2.2.4 Fundamentos de la adsorción

Para McCabe, Smith y Harriott (2007, pp. 885-890) cuando la adsorción se da en un lecho fijo las concentraciones no se mantienen constantes, sino que son variables tanto para la fase sólida, como para la fase fluida. En primera instancia la transferencia de masa se da principalmente en la entrada del lecho, específicamente en la parte donde se ponen en contacto el material adsorbente con el líquido adsorbato. En el inicio del proceso el adsorbente no contiene concentraciones de adsorbato, pero con el pasar del tiempo en el proceso este mismo adsorbente aumenta la concentración de adsorbato y por consiguiente la concentración en el adsorbato se disminuye exponencialmente referente a la distancia, y finaliza hasta llegar al extremo final de la torre (Barazorda y Condori 2019, p. 27). En otras palabras, la zona de transferencia de masa dentro de la torre cambia con el tiempo y no es constante, por ello esta zona de transferencia es denominada como una región donde existe el mayor cambio de la concentración.

2.2.4.1 Curvas de ruptura

Lo perfiles de cómo sucede la transferencia de masa interna son medibles con sensores dentro de la columna, sin embargo, la mayoría de columnas no cuentan con esta tecnología, es por ello que estos perfiles también pueden ser predecibles frente al tiempo y ser graficados en la curva de ruptura, esta curva representa la saturación del lecho en función a la concentración, es recomendable trabajar con una saturación máxima del adsorbente del 30%, pues la transferencia de masa ya no se da de manera cercana a la ideal (McCabe, Smith y Harriott 2007, pp. 885-890).

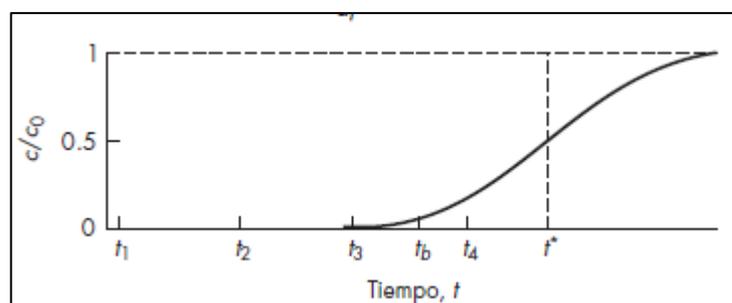


Ilustración 2-1: Esquema curva de ruptura

Fuente: McCabe, Smith y Harriott 2007, p. 887

En una curva de ruptura ideal (ver Ilustración 1-2) todo adsorbato que ingresa como alimentación es adsorbido, pero la concentración en el adsorbente es muy elevada, generando así que la regeneración completa del material adsorbente sea muy costosa. Para mayor rendimiento de adsorción se debe crear una zona de transferencia de masa muy estrecha, es decir reducir el diámetro de la torre e incrementar su altura, para un caso ideal en donde su ancho sea infinitesimal, la curva de ruptura sería una línea vertical que va de 0 a 1 (McCabe, Smith y Harriott 2007, p. 887).

2.2.5 Tipos de adsorbentes

Los adsorbentes para filtración líquido sólido son materiales naturales o sintéticos que tienen una estructura amorfa y microcristalina, entre los materiales más usados como adsorbentes están: carbón activo que son producidos a larga escala, pero también existen de alúmina activada, zeolita, gel de sílice, tierra de batán, otras y otros compuestos generalmente provenientes de arcillas.

Con el pasar de los años se han desarrollado muchos adsorbentes para un amplio rango de compuestos que se someterán a separación. Por regla general, los adsorbentes tienen una orna granular y esférica con un rango de tamaño de entre 0,1 mm a 12 mm. Una partícula adsorbente debe tener también una estructura muy porosa, con numerosos finos poros en toda su estructura, su volumen debe alcanzar el 50% del volumen total de la partícula. Hay varios adsorbentes comerciales que serán descritos y todos estos se caracterizan porque contienen grandes áreas de superficie de poros, que se encuentran por lo general entre 100 a más de 2000 m²/g (Álvarez et al. 2014, p. 24).

2.2.6 Totora (*Schoenoplectus californicus*)

La totora es un macrófito de humedal emergente que tiene aproximadamente tres partes identificables con diferentes características, estas son: las raíces, el cuelmo sumergido y el cuelmo aéreo (Corsino et al., 2013, p. 29). El sistema de raíces se desarrolla como una estructura similar a una red que almacena nutrientes y ayuda a la planta a sobrevivir durante las estaciones secas y las condiciones adversas. Esta estructura en forma de red puede tener un grosor de 0,50 a 3 m, según la edad de la planta y su objetivo es proporcionar a la planta un soporte estable para el crecimiento.

No existen las suficientes investigaciones al respecto, pero se estima que la totora se encuentra en una situación de peligro, aunque llega a ser invasiva para las fuentes hídricas, debido a la sobreexplotación sin reposición de sus tallos. Esto principalmente se debe, entre otros factores, al crecimiento poblacional desordenado que invade las fuentes de agua, por ende incrementa el

abastecimiento indiscriminado del agua que genera contaminación y destruyen sus ecosistemas (Gavilanez y Zurita 2021, p. 1806).

Otro estudio realizado por Dick et al. (2017, pp. 36-41) en Río Grande, Brasil, analizó las características químicas de las cañas de totora (ver Tabla 2-2), el rendimiento de pulpa Kraft y las propiedades físicas de sus fibras. Este estudio reportó contenidos de holocelulosa de 55.89%, contenidos de lignina de 22.19%, contenidos de extracto total de 11.98%, extractos de acetona de 3.60%, solubilidad en ácido de 2.70%, contenido de ácido urónico de 1.85%, contenido de cenizas de 7.67% y contenido de sílice de 4,80%. Con base en el análisis físico de las fibras de totora, se planteó que, si bien su longitud era similar a las fibras de eucalipto, su ancho era menor, lo que podría reducir la resistencia final del papel de totora. Este estudio indicó que el alto nivel de extractos totales, contenido de sílice y contenido de ácido hexurónico, y el menor ancho de las fibras de totora podrían ser desfavorables durante el proceso de producción de celulosa. La pulpa celulósica de fibra corta se produjo con el método Kraft y proporcionó un número Kappa de 45,74 y un rendimiento purificado de 45,85% (Hidalgo y García 2018, p. 470).

Tabla 1-2: Análisis Físicoquímico de Totora en base seca

Determinación	Unidad	Método de análisis	Resultados
Grasa	%	INEN 523	1.95
Cenizas	%	INEN 401	9.21
Humedad	%	INEN 518	9.29
Proteína	%	INEN 519	9.75
Fibra	%	INEN 522	22.21
Carbohidratos	%	-	47.59

Fuente: Gavilanez y Zurita 2021, p. 1805

2.2.7 Filamentos para impresión 3D

Existen distintos tipos de filamentos para usar en el extrusor de la impresora 3D, pero comercialmente los más usados son aquellos filamentos que contienen polímeros de 1.75 mm a 3 mm de diámetro que se encuentran enrollados en carretes con un peso que oscila entre los 0.775 kg hasta los 2.5 kg (ver Tabla 3-2), generalmente por costos y asequibilidad se utilizan tres plásticos que son: el ácido poliláctico (PLA), que es un polímero derivado del ácido láctico, es sintetizado a partir de recursos renovables como productos del agro con alto contenido en almidón por ejemplo remolacha, granos de maíz, trigo, entre otros; el acetonitrilo-butadieno-estireno (ABS) que es un termoplástico derivado del petróleo; y el tereftalato de polietileno (PETG), que

es un polímero sintético de los más usados en impresión 3D, este material es sintetizado a partir de la copolimerización del polietileno (PET), agregándole ciclohexano dimetanol en lugar de etilenglicol (Oussai, Bártfai y Kátai, 2021, p. 4).

Tabla 2-3: Características de principales filamentos usados en el modelado por adición.

FILAMENTO	CARACTERISTICAS
PLA	Termoplástico sintetizado por materia renovable Es biodegradable Densidad entre 1,2 g/cm ³ y 1,4 g/cm ³ Más usado en impresión 3D Temperatura de impresión entre 170 °C y 210 °C. No necesita tener una cama de precalentamiento
ABS	Termoplástico a base de petróleo Segundo más usado en Impresión 3D Es duro, tenaz y rígido Soporta entre -20 °C en bajas y 80 °C Temperatura de impresión entre e 230 °C a 260 °C Debe tener una cama de precalentamiento con una temperatura entre 60 °C-80 °C. Es usada en piezas de lego, carcasas para móviles, automovilismo, etc.
PETG	Termo plasto a base de petróleo y síntesis Temperatura de transición vítrea de 85 °C Temperatura de boquilla 210 °C a 250 °C Resistencia alta contra el agua, químicos y a la fatiga Resistencia media al calor Material de mayor durabilidad en el tiempo

Fuente: OUSSAI, 2021, p. 22.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Localización del proyecto

El presente proyecto técnico se llevó a cabo en la provincia de Chimborazo ciudad Riobamba, en las instalaciones de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, será utilizado por estudiantes y docentes de la institución orientados principalmente para el Grupo de Investigación de Materiales Avanzados (GIMA) que lleva a cabo el proyecto denominado “Analizar materiales y nanomateriales para aplicaciones energéticas y medio ambientales”.

Tabla 3-1: Características localización geográfica de la Facultad de Ciencias-ESPOCH.

PROVINCIA	Chimborazo
CANTÓN	Riobamba
PARROQUIA	Lizarzaburu
COORDENADAS GEOGRÁFICAS	78°40'39.24" de longitud occidental y a1°39'14.58" de latitud sur
ALTITUD	2754 m.s.n.m.
CLIMA	Temperatura promedio máxima: 17 °C
	Temperatura promedio mínima: 8 °C

Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2020)

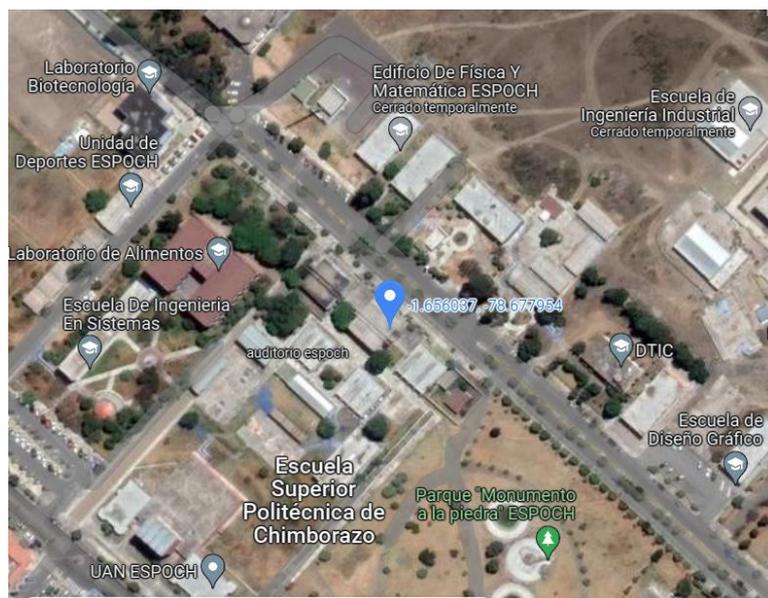


Ilustración 3-1: Localización geográfica de GIMA- -ESPOCH

Realizado por: Layedra, C, 2023

3.2 Ingeniería del proyecto

3.2.1 Tipo de estudio

El presente proyecto técnico tiene como intención la construcción de un prototipo de torre de filtración por adsorción escala laboratorio, para el uso en pruebas de investigación de materiales adsorbentes con el que contará el Grupo de Investigación de Materiales Avanzados (GIMA), este equipo fue realizado en plástico tereftalato de polietileno (PETG). El presente trabajo es de tipo técnico, puesto que, se llevó a cabo mediante la recopilación de datos provenientes de fuentes bibliográficas de estudios anteriormente realizados basados en la construcción de torres de filtración, así como de materiales adsorbentes; por otro lado, la operación unitaria que prevalece en el funcionamiento del equipo es la adsorción y para el cumplimiento de los objetivos técnicos planteados, se aplicaron los métodos investigativos respectivos, estos son deductivo, inductivo y experimental con el fin de obtener un diseño óptimo y una construcción del equipo con uso del plástico PETG para el método de impresión en 3D por deposición por extrusión, desarrollando así el proyecto de una manera sistemática y ordenada para su posterior validación por experimentación.

3.2.2 Metodología

El presente proyecto cuenta con métodos investigativos tales como la deducción, la inducción y la experimentación. Para el diseño como tal de la torre de filtración se consideran distintos parámetros que son fundamentales para su funcionamiento como, por ejemplo: el caudal de circulación, el dimensionamiento de la torre, el material del medio filtrante, la cantidad de adsorbente y el volumen total de agua que se desea filtrar. Además, con ayuda de cálculos ingenieriles basados en los requerimientos del grupo de investigación GIMA se obtuvieron las dimensiones del equipo, sean estos la altura, el diámetro, el volumen y el área ocupada.

3.2.2.1 Métodos

a) Método deductivo

Dávila (2006, p. 180) define al método deductivo como una aproximación al razonamiento basado netamente en la deducción, es decir, partir de un caso general sacar una conclusión sobre algo más específico. El razonamiento utilizado en el método deductivo se puede presentar, formal o informalmente, en una variedad de formas diferentes y una de las formas más comunes del método deductivo es el silogismo, en este modelo se dan enunciados que condiciona la verdad y de ellos se extrae una conclusión. Por ejemplo, es aplicada con la necesidad creada a partir de la comprensión del funcionamiento de la adsorción que es utilizada para el tratamiento de aguas y a partir de esta necesidad surge la idea de la búsqueda de mejores materiales adsorbentes que ayuden al medio ambiente (Dávila, 2006, p.181); motivo por el cual fue usado como método para la validación del equipo por uso del enfoque cualitativo del agua preparada en laboratorio con contaminantes de cierta coloración y ser comparada al final del proceso.

Precedente a esto se anuncia que los cálculos involucrados vienen en base a los requerimientos del grupo de investigación GIMA de la ESPOCH, permitiendo así la indagación científica y el suplemento de información en base a las asignaturas correspondientes de Operaciones Unitarias, Balance de masa e Ingeniería de plantas

b) Método inductivo

Como lo define Castellanos (2018, p. 140) el método inductivo permite pasar de hechos o fenómenos particulares hacia hechos más generales; el presente proyecto tiene por idea el uso como

instrumento para el desarrollo de investigación en la búsqueda de materiales adsorbentes para filtración por ello se inició su diseño con la idea de torres ya diseñadas con ciertos materiales a ciertas dimensiones y llevar el escalamiento dimensional para ser ajustado al uso de distintos tipos de materiales adsorbentes y distintas aguas a tratar.

c) Método experimental

El método experimental facilitó la validación propia del equipo construido; permitió la obtención de datos reales sobre rendimiento del proceso en cualquiera de las tres etapas de filtración, así como de todo el proceso en funcionamiento en serie. En este punto se ayudó al análisis del requerimiento de bombas que no fue necesaria para la alimentación al equipo, el caudal y la capacidad adsorbente del material dentro de las torres.

3.2.3 Técnicas de laboratorio

3.2.3.1 Obtención de la totora como material filtrante

La totora no se recolectó directamente de los lagos o ríos de la región interandina, si no que ya se contaba con el material en el grupo de investigación GIMA, por lo que una vez limpia y seca la totora se siguen los pasos siguientes:

- 1) Pelar con cuidado la totora retirando la cáscara color verde y aprovechar la base blanca del tallo que tiene una textura esponjosa.
- 2) Realizar una molienda, de preferencia con un molino automático hasta obtener un polvo fino.
- 3) Realizar un tamizado del polvo de totora hasta haber pasado por el tamiz más fino con el que se disponga.
- 4) De ser posible realizar más de una etapa de molienda al material que quedó en mallas más gruesas para obtener menor pérdida de material.
- 5) Almacenar la muestra cerrada en un lugar seco.

3.2.3.2 Activación de la totora

Para mejorar el rango de áreas superficiales de contacto de las partículas de totora y por ende mejorar la eficiencia de adsorción se realiza una activación química de la totora con hidróxidos de sodio o potasio como lo indica la técnica de Sánchez (2019, p. 52), aunque su estudio concluye

que con hidróxido de sodio se obtiene una mayor porosidad en la muestra, la activación se realizó con hidróxido de potasio por disponibilidad (Ver Anexo E), siguiendo los siguientes pasos descritos por la autora:

- 1) Preparar una solución 1% de hidróxido de potasio
- 2) Sumergir a la solución la muestra molida y agitar durante 30 minutos
- 3) Retirar la muestra de la solución (Filtrar o decantar)
- 4) Realizar mínimo tres lavados con agua destilada la muestra
- 5) Secar la muestra a una temperatura de entre 40 °C a 60 °C según la naturaleza de la muestra, hasta obtener un peso constante

Las reacciones que suceden en el proceso de activación se dan con el rompimiento de los enlaces glicosídicos de las cadenas poliméricas que constituyen las fibras de totora, generando más concentración de grupos OH, que intervienen en la adsorción del cromo con la finalidad de activar el material lignocelulósico.

3.2.3.3 Medición de la concentración de adsorbato

Para la determinación de la concentración del adsorbato a la salida de los procesos se hace uso de la técnica de medición por espectrofotometría UV-visible que está basada en el proceso de absorción de la radiación ultravioleta-visible, siguiendo los pasos descritos por Díaz et al. (2016, p. 6).

- 1) Preparar mínimo cinco soluciones a concentraciones conocidas de sulfato de cromo (1%, 0.8%, 0.6%, 0.4%, 0.3%, 0.1% y 0.05%) a partir de la solución concentrada.
- 2) En el equipo de espectrofotometría UV-visible realizar un barrido usando un blanco (agua destilada) y posterior una solución de concentración media, para hallar la longitud de onda que se ajuste a la muestra.
- 3) El equipo muestra una gráfica con varios picos, seleccionar la longitud de onda donde se encuentre el máximo valor.
- 4) Para obtener la curva de calibración se inicia una nueva medición y se mide el espectro de absorción ajustando la longitud de onda y tras realizar el blanco iniciar la medición con las muestras empezando con la de menor concentración hasta la de mayor.
- 5) Guardar los datos en un archivo excel y graficar la curva de calibración absorbancia vs concentración con la línea de tendencia y su respectiva ecuación.
- 6) Empezar una nueva toma de muestras para obtener datos de absorbancia respectivos a cada muestra de final de proceso.

- 7) Con los datos de absorbancia interpolar en la gráfica de calibración para obtener valores de concentración respectivos.

3.2.4 *Determinación de variables dependientes e independientes*

Para empezar con el diseño del prototipo se necesita identificar las variables, por ello se designa como variables independientes:

- Dimensiones de tanque de almacenamiento de agua, estas dimensiones son propuestas con el volumen máximo que soporta el equipo.
- Cantidad y tamaño del medio filtrante: es ya caracterizado por los trabajos de investigación del grupo GIMA, por lo que se parte con base a sus investigaciones.

Se designa como variables dependientes:

- Caudal de circulación: viene dado por la abertura de válvula del tanque, el mismo que es medido con el volumen de solución entrante al equipo en un tiempo determinado del proceso.
- Dimensiones de las columnas de filtración: estos valores son calculados en función a la variable de área impuesta según las necesidades del grupo de investigación GIMA, en función de la facilidad constructiva.

3.2.5 *Modelo geométrico del diseño*

Se realiza varios bosquejos de la idea principal del equipo, tomando en consideración el estudio del arte de trabajos anteriores a la realización del proyecto, en este punto se determinó el número de columnas de filtración que se ensamblan, así como los espesores de las capas, formas de las boquillas de entrada y salida, forma de las distintas secciones y el tipo y color del material plástico en que se será creado el prototipo.

3.2.6 *Dimensionamiento*

Se calculó el área de almacenamiento del agua a tratar, tomando en cuenta el diámetro de un embudo plástico de hasta 150 ml; y a partir del volumen que ya viene indicado en el embudo se realizan los posteriores cálculos para el dimensionamiento de la torre.

Se tiene en cuenta que es una torre que será empacada por distintos materiales y será usada para investigación de nuevos materiales adsorbentes, por ende se parte de la idea basada en la similitud, en donde las torres de adsorción tienen una relación de 5 a 8 respecto a altura/diámetro (H/D) (Calle y Mayra, 2019, p. 30). Por ello se escoge una relación de 5 H/D y un diámetro de 2 cm. Se

calculó también el diámetro que tendrá la columna de filtración, con base circular, teniendo en cuenta que su área viene dada por:

$$A_c = \pi * r^2$$

Donde:

A_c Área de la columna de filtración en centímetros cuadrados

r es el radio de la columna de filtración en centímetros

Habiendo previamente impuesto un valor al área de acuerdo con el tamaño deseado. A partir de aquí se calcula el volumen total de la columna mediante:

$$V_c = A_c * h_c$$

Donde:

V_c Volumen total columna de filtración en centímetros cúbicos

A_c Área de la columna de filtración centímetros cuadrados

h_c Altura de la columna de filtración en centímetros

Se determinará el volumen del lecho filtrante mediante:

Volumen de lecho filtrante=Área de la columna de filtración * Altura de lecho filtrante

3.2.7 Modelado en Software

Para este punto se elige el software que se tiene mayor afinidad para modelado 3D, para ello se seleccionó el programa Fusion 360, pues es más didáctico que otros programas y se cuenta con licencia educativa, es decir que no genera un gasto extra por compra de licencias y además es compatible con los archivos para posterior impresión.

Con el modelo geométrico propuesto se siguen los siguientes pasos:

- 1) Crear el modelo estructural en la simulación
- 2) Posterior a ello se agregan secciones de ser necesario que la pieza completa sea ensamblada en diferentes componentes.
- 3) Añadir el armado simulado dentro del programa para verificar que las piezas encajen
- 4) Finalmente agregar etiquetas e informes, con el fin de facilitar el armado del equipo cuando se haya impreso los componentes.

3.2.8 Selección de material del equipo

Para la selección del material plástico con el que será creado el prototipo se toma en cuenta los plásticos que se encuentran en el mercado el PLA, ABS y PETG; cuyas características están descritas en la Tabla 3-2. Para la selección misma del material se compara las propiedades mecánicas y físicas de los dos materiales en referencia a una ponderación numérica del 1 al 3, siendo uno la calificación más baja y tres la mejor, para su posterior selección en base a la calificación más alta que obtenga el material.

3.2.9 Softwares ocupados en la elaboración del equipo

A continuación, se presenta la tabla resumen de los programas a usar para el modelado e impresión en 3D, también se menciona la función que tiene el programa dentro del desarrollo del presente proyecto, siendo el Fusion 360 con licencia educativa el principal programa usado para modelar todas las piezas.

Tabla 3-2: Softwares usados para diseño e impresión de objetos en 3D

Software	Función
FUSION 360	Diseñar el croquis y el boceto de la torre
AUTOCAD	Modela sólidos y superficies de objetos
OCTOPRINT	Controlar y supervisar la impresora conectada a PC
PRUSASLICER	Exportar archivos de impresión

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Layedra, C. 2023.

3.2.10 Piezas de la torre de filtración

Para el diseño del equipo se ha tomado en cuenta que la construcción del equipo permite su conexión en serie de hasta tres columnas de filtración, en la que cada una puede ser empacada con el mismo o distintos tipos de material filtrante, para facilitar su conexión en el armado del equipo ya sea de una sola fase, de dos fases o de tres fases de ser necesario, se diseñó independientemente tres elementos:

- a) **Pieza A (Cabezal):** Es la cabeza y cola del equipo, el armado del equipo siempre se realiza en vertical para facilitar el paso de agua por ayuda de la gravedad y evitar el uso de energía extra para mover el fluido, por ende, debe contar con una boquilla para facilitar su adición a una manguera.

- b) **Pieza B (Unión):** Es la unión universal de los componentes de la torre, permite el apego entre el cabezal y la torre de empaquetamiento, o entre torres, esta unión tiene el diseño intermedio de una rejilla con secciones paralelas, un solo agujero intermedio para permitir el paso directo de agua a la torre o de cinco agujeros que permiten empacar la torre con materiales con un diámetro menor a la de rejilla.

- c) **Pieza C:** Es la torre de empaquetamiento como tal, en donde se va a depositar el material filtrante y se efectúa la transferencia de masa del adsorbato al adsorbente, fue diseñado como un tubo hueco y tiene la función de empaquetar cuando se encuentre unido a la pieza B; de este modo se facilita la limpieza del tubo y se facilita el empacamiento de la torre con distintos materiales.

3.2.11 Ensamble del equipo

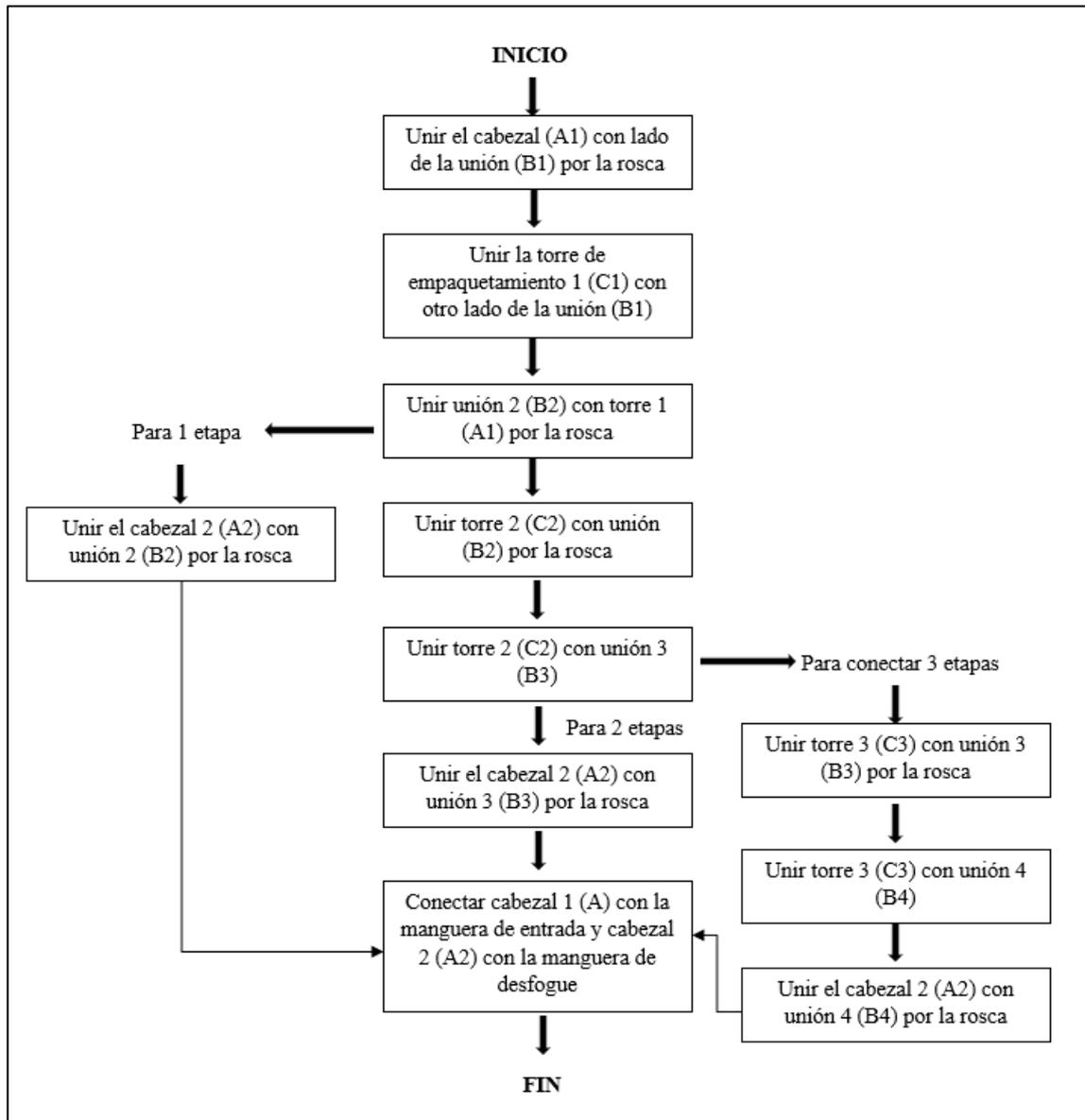


Ilustración 1-2: Gráfica de ensamble general

Realizado por: Layedra, C. 2023.

3.2.12 Análisis del diseño

Para este punto se realizó pruebas al equipo con Totorá (*Schoenoplectus californicus*) como material adsorbente elegido por el titular, pues es el material que se encontraba disponible en el grupo de investigación GIMA, el cual se encuentra realizando trabajos de investigación con el mismo. Para ello se realizaron tres ensayos pasando por el equipo un agua previamente preparada con concentraciones conocidas de sulfato básico de cromo (color verde), con el fin de recopilar datos para validar el equipo de acuerdo con el cálculo de su eficiencia. No se optó por el uso de

una bomba para la entrada de agua al equipo, puesto que el prototipo a escala piloto será utilizado para investigación de laboratorio y no carga con agua contaminada directamente de una vertiente.

3.2.12.1 Validación

Se comparó las coloraciones de la solución entrante, con las de la salida de la etapa 1, etapa 2 y etapa 3; posteriormente se realizó una tabla de valor con calificaciones notoria, levemente notoria y no hay cambio visible, cada uno con una calificación del 1 al 3, siendo 3 el valor de mejor resultado, al final se cuantifica este valor y se procede a una validación primaria si sobrepasa el 70% de la calificación total.

Para una segunda etapa de validación se tomaron datos de las concentraciones finales en cada etapa y se consigue una media para cada etapa, a partir de esta se compara el porcentaje de contaminante adsorbido en cada etapa y se elige si es o no recomendable la realización de dos o más etapas.

3.2.12.2 Caracterización del agua a tratar

Para hallar las concentraciones al final de cada etapa se realizó tres ensayos para obtener una media de sus concentraciones en función a la absorbancia medida en el equipo de espectrofotometría UV visible, para ello se siguió los pasos descritos en la técnica del punto 3.2.3.3 Medición de la concentración de adsorbato.

Para la preparación de la solución que entrará al sistema, fue preparada una solución al 1% (masa/volumen) de sulfato de cromo, es decir se prepara una solución de 10 g de sulfato de cromo en un litro de agua destilada, se pasa por una etapa de filtración en la torre, por dos etapas y por tres etapas hasta obtener tres muestras por etapa, las cuales fueron medidas en el espectrofotómetro para determinar su concentración final y porcentaje de adsorción.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Resultados de patentes revisados

A continuación, se presenta un cuadro resumen de las patentes que se revisaron para la construcción de la torre de filtración, en donde se formó la idea de la geometría de la torre, así como el número y forma final de las piezas que componen el equipo de filtración.

Tabla 4-1: Patentes de apoyo al diseño de la torre de filtración

Autor(es)	Nombre de patente	Año	Aplicación	Enlace de acceso
Tomita Naotoshi; Shimada Kaoru; Ueno Yoshiyuki	Adsorption carrier-packed column	2003	Toray IND INC	https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/051988930/publication/EP3006060A1?q=adsorption%20column
Ueno Yoshiyuki; Fujidea Hiroaki; Tanaka Kazumi	Adsorbent for the removal of blood cells	2009	Toray Industries	https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/049082581/publication/WO2013129384A1?q=adsorption%20column
Liu Shujiang; Chen Zhanying; Chang Yinzhong	Adsorption column	2019	Beijing Radionuclide Laboratory	https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/068303333/publication/CN209549091U?q=adsorption%20column
Mendelsohn M	Filtration column	1973	BIO RAD Laboratories	https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/022084240/publication/US3732981A?q=filtration%20column
Bittner Donald L; Mendelsohn Monroe	Filtration column		BIO RAD Laboratories	https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/024594729/publication/US3512648A?q=filtration%20column
Rolland Matthieu; Brunard Nathalie; Viguie Jean- Christopher	Secondary filtration device applicable to a three-phase process	2007	AAF International [US]; Ernryd leif ab [se]; texaco inc [us]	https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/036955262/publication/WO2007080247A1?q=filtration%20column

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Layedra, C. 2023.

4.2 Resultados del dimensionamiento de la torre

Dentro de los parámetros del dimensionamiento se calculó diámetro interno de la columna de empaquetamiento, así como de la altura, volumen y área ocupada, mismos valores que son resumidos en la Tabla 7-4, en esta también se detalla la masa y altura del material adsorbente, que tiene un tamaño de partícula de entre 500 y 2000 μm , que son los tamaños de tamices que se contó en laboratorio para la realización del presente trabajo.

Diámetro interno de la torre (D_i)= $2r$; en donde $r=1$ cm

$$D_i = 2 * r$$

$$D_i = 2 * (1 \text{ cm})$$

$$D_i = 2 \text{ cm}$$

Área ocupada por la columna

$$A_c = \pi * r^2$$

$$A_c = \pi * (1 \text{ cm})^2$$

$$A_c = 3.14 \text{ cm}^2$$

Altura de la columna

$$h_c = \text{Relación} \frac{D_i}{H} * D_i$$

$$h_c = 5 * 2 \text{ cm}$$

$$h_c = 10 \text{ cm}$$

Volumen de la columna

$$V_c = A_c * h_c$$

$$V_c = 3.14 \text{ cm}^2 * 10 \text{ cm}$$

$$V_c = 31.4 \text{ cm}^3$$

Caudal de entrada a la torre

$$Q_c = \frac{\text{Volumen solución}}{\text{Tiempo}}$$

$$Q_c = \frac{50 \text{ ml}}{173 \text{ min}}$$

$$Q_c = 0.289 \text{ ml/min}$$

Tabla 4-2: Dimensionamiento de la Torre

DIMENSIÓN	VALOR
Área de la columna (cm ²)	3.14
Altura de la columna (cm)	10
Volumen de la columna (cm ³)	31.4
Caudal de entrada (ml/min)	0.289
Radio (cm)	1
Diámetro (cm)	2
Volumen tanque de almacenamiento (cm ³)	50
Altura del medio adsorbente (cm)	9
Masa del medio adsorbente (g)	5

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Layedra, C. 2023.

4.3 Resultados del diseño de la torre

4.3.1 Dimensionamiento del cabezal de la torre (pieza A)

Se realiza un solo diseño universal para la pieza, esta misma está diseñada con una boquilla similar a la boquilla de un Kitasato que facilita su conexión con una manguera que tenga entre 0,5 y 0,8 cm de diámetro, medidas que por lo general son usadas en los instrumentos de laboratorio; también en su base cuenta con una rosca de 1 cm de alto para facilitar la unión con las demás piezas. Para su diseño se realizó un croquis y posterior se generó un sólido por revolución. Sus medidas son descritas en Anexo B.

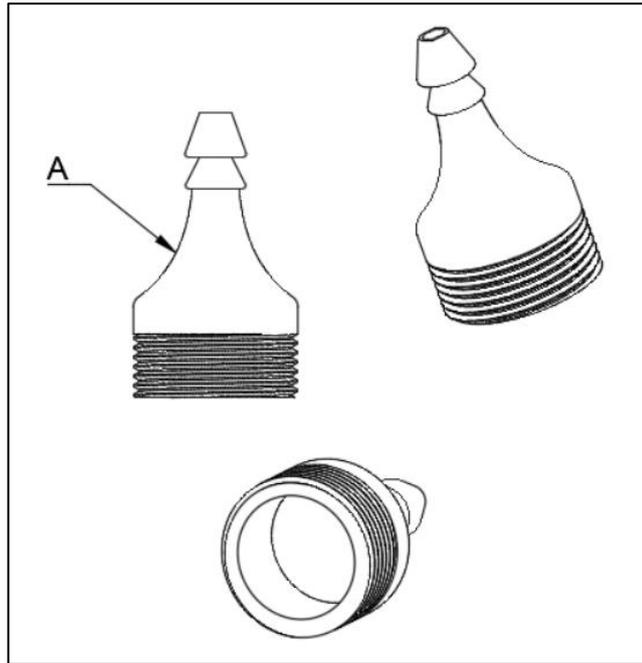


Ilustración 2-1: Pieza A cabezal y salida de la torre

Realizado por: Layedra, C. 2023.

Teniendo en cuenta un diámetro nominal de 2 cm en el diseño de la torre y que el material de impresión fue plástico PETG se hace uso de tablas de diámetro exterior de tuberías para escalar la medida acorde a una tubería de PVC, pues no existen medidas para tuberías del material de impresión PETG y se extrapolan los valores para un diámetro interior de 20 mm según tablas de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2497 TUBERÍA PLÁSTICA. TUBOS DE PVC RÍGIDO UNIÓN POR ROSCA, PARA CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE A PRESIÓN. CÉDULA 80. REQUISITOS (2015, pp. 3-4); según la norma para tuberías de 20 mm de diámetro nominal (Ver Anexo A) se debe tener un diámetro exterior de 26,67 mm, para ello también se denomina una rosca de $\frac{3}{4}$.

Tabla 4-3: Resumen dimensiones principales de la pieza A

Dimensión	Tamaño (mm)
Altura	45
Diámetro externo	26.7
Diámetro interno	20
Boquilla diámetro interno	4
Boquilla diámetro externo	5

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Layedra, C. 2023.

4.3.2 Dimensionamiento de la pieza de unión (pieza B)

La pieza B ha sido diseñada con tres diseños distintos (descritos en el Anexo C), en donde todas sus dimensiones son exactamente las mismas con la diferencia de forma y tamaño de aberturas de (malla) en su base interior. El diseño general cuenta con dos roscas internas de fijación en los extremos para permitir unir las piezas A y C, de igual manera se trabajó con el diseño para partículas de hasta 1 mm de grosor.

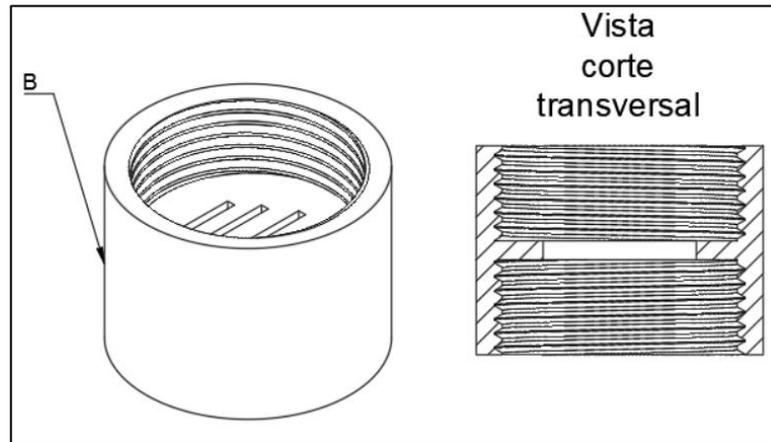


Ilustración 4-2: Pieza B2 unión con rejilla

Realizado por: Layedra, C. 2023.

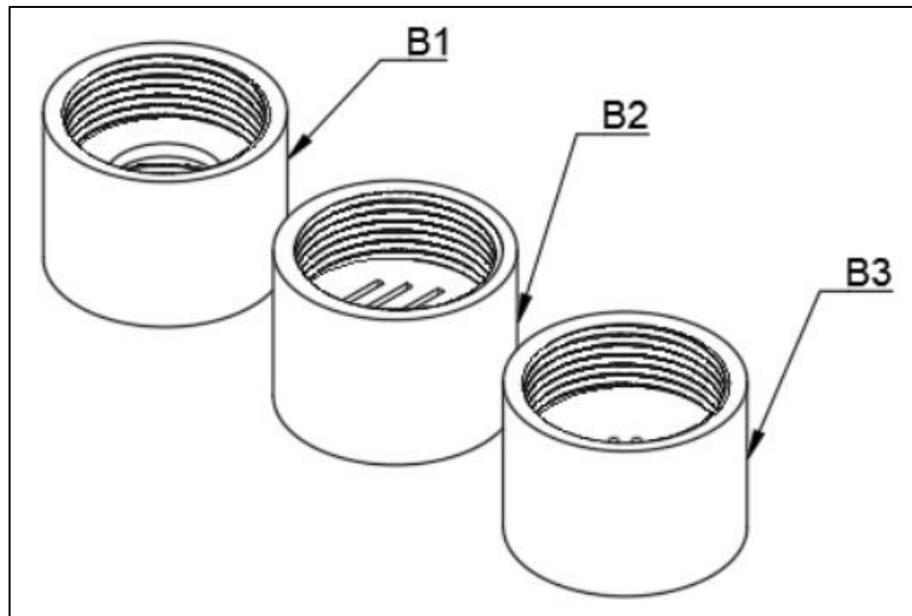


Ilustración 4-3: Comparación general de la pieza B

Realizado por: Layedra, C. 2023.

La pieza B1 permite la entrada del caudal a la torre evitando pérdidas del líquido por la acumulación en las paredes de la pieza. La pieza B2 y B3 tienen su diferencia en la malla, pues

la primera cuenta con una rejilla de cinco agujeros alargados de 1 mm con separación de 2 mm, y la segunda cuenta con cinco agujeros centrados de 1 mm de diámetro.

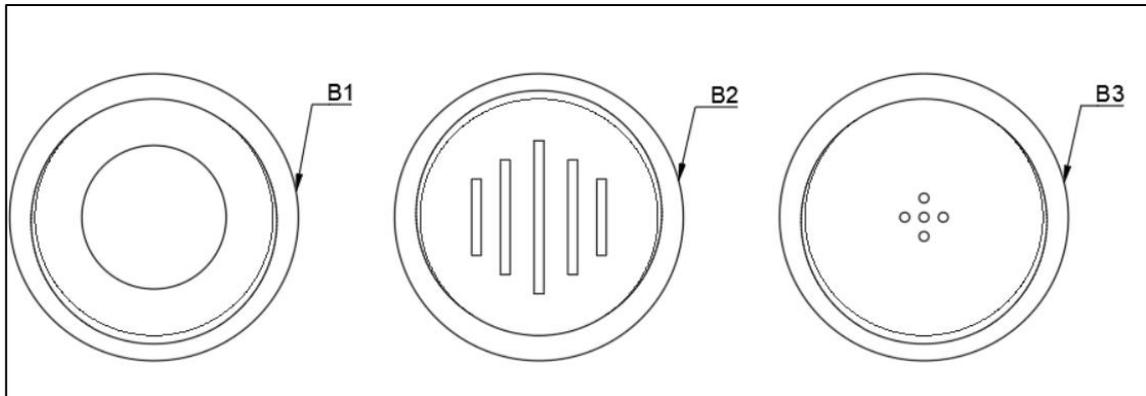


Ilustración 4-4: Comparación de las rejillas

Realizado por: Layedra, C. 2023.

De igual manera se detallan las dimensiones generales de pieza B en la Tabla 9-4 y sus dimensiones específicas se encuentran descritas en el Anexo C.

Tabla 4-4: Resumen dimensiones pieza B

Dimensión	PIEZAS		
	B1	B2	B3
Diámetro externo (mm)	30	30	30
Diámetro interno (mm)	26.7	26.7	26.7
Altura de la rosca (mm)	10	10	10
Aberturas	1	5	5
Diámetro aberturas (mm)	15	1	1

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Layedra, C. 2023.

4.3.3 Dimensionamiento de la torre de empaquetamiento (pieza C)

La torre de empaquetamiento ha sido diseñada para facilitar el cambio de material y la limpieza de esta, cuyas medidas exactas se encuentran descritas en el Anexo D, por ello se diseña como una tubería hueca tomando en cuenta las dimensiones del cabezal, tanto su diámetro nominal, como su grosor. Según la Tabla 7-4 la torre cuenta con una altura de 10 cm y se llena con material adsorbente a una altura de 9 cm, por lo tanto, se deja 1 cm que servirá como rosca externa para

conectar a la pieza B y esta misma marca de donde inicia la rosca sirve como indicativo hasta qué punto llenar la torre de empaquetamiento.

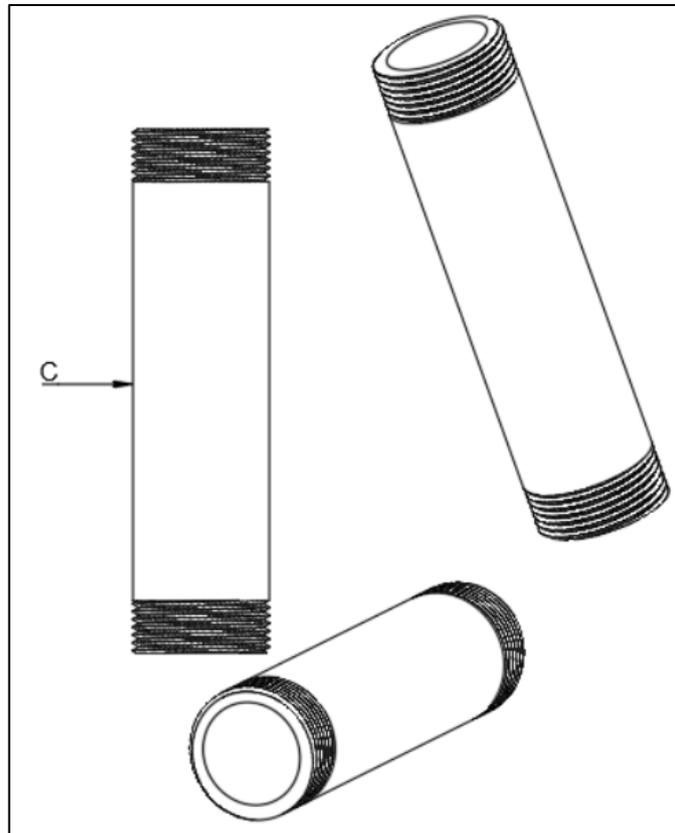


Ilustración 4-5: Pieza C torre de empaquetamiento

Realizado por: Layedra, C. 2023.

4.4 Resultado selección de material de la torre

Según la Tabla 10-4 Opciones de material plástico para impresión, se selecciona el PETG como material base para la impresión 3D de la torre, este material es de los más resistentes en el mercado, tiene una degradabilidad baja y se estima dure cinco años sin presentar degradación alguna, sus propiedades mecánicas de dureza, tenacidad y rigidez no son muy distintas del PLA y ABS, pero sin embargo tiene mejor propiedad. El costo de impresión se calificó con 2 pues es un material no muy accesible porque su precio de impresión ronda los 3 dólares en comparación al 1,50 \$ de PLA (para análisis de costos ver Tabla 16-4), en cuanto a la seguridad de uso los tres materiales tienen la calificación más alta pues son los más usados en impresión 3D y se garantiza prácticamente su calidad en el mercado.

Tabla 4-5: Opciones de material plástico para impresión 3D

Parámetro	Opción 1	Opción 2	Opción 3
	Material plástico		
	PLA	ABS	PETG
Degradabilidad	1	2	3
Dureza, tenacidad y rigidez	2	2	3
Temperatura de soporte	2	3	3
Seguridad de uso	3	3	3
Costo de impresión	3	2	2
TOTAL	11	12	14

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Layedra, C. 2023.

4.5 Ensamble de la torre

Tanto la torre de empaquetamiento (C) como el cabezal (A) presentan roscas exteriores que facilitan la fijación de los componentes con la unión (B), esta misma unión presenta una rosca interna por ambos extremos con una distancia de fijado de 1 cm para mantener una distancia de seguridad del enganche, de igual forma los tres componentes tienen una dirección de giro de rosca hacia la derecha y del mismo tamaño con el fin de facilitar el acople y favorezca el entendimiento su funcionamiento.

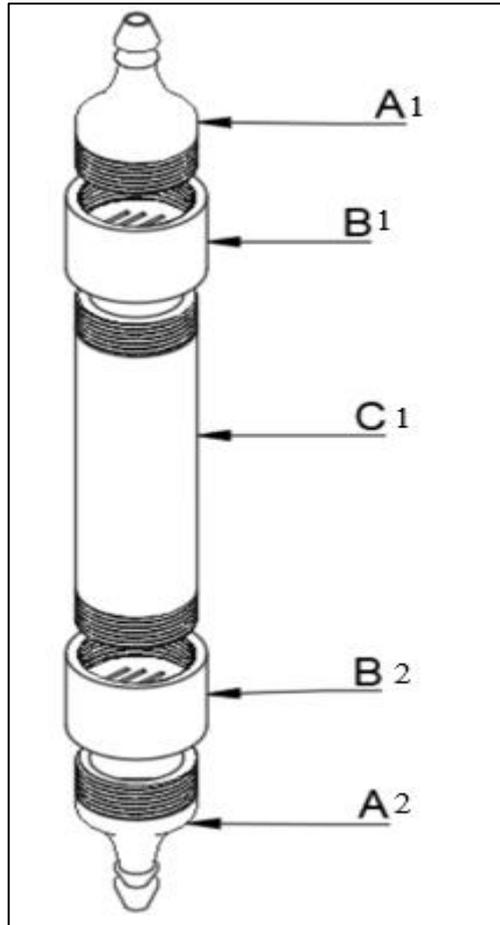


Ilustración 4-6: Equipo ensamblado para una etapa

Realizado por: Layedra, C. 2023.

Para comparación de la adsorción se desarrollan tres etapas, por ende, son impresos 2 componentes A, tres componentes C y cuatro componentes B. El uso de la pieza B es independiente al armado de la torre, no importa si seleccionó B2 o B3 según la rejilla que sea necesaria, el armado es el mismo según la ilustración 10-4 para un equipo completo con tres torres de adsorción conectadas en serie. Para seguir los pasos de ensamblaje según el número de etapas necesarias (ver la Ilustración 3-3). Para ver el equipo real ya conectado en sus distintas etapas dirigirse al Anexo F.

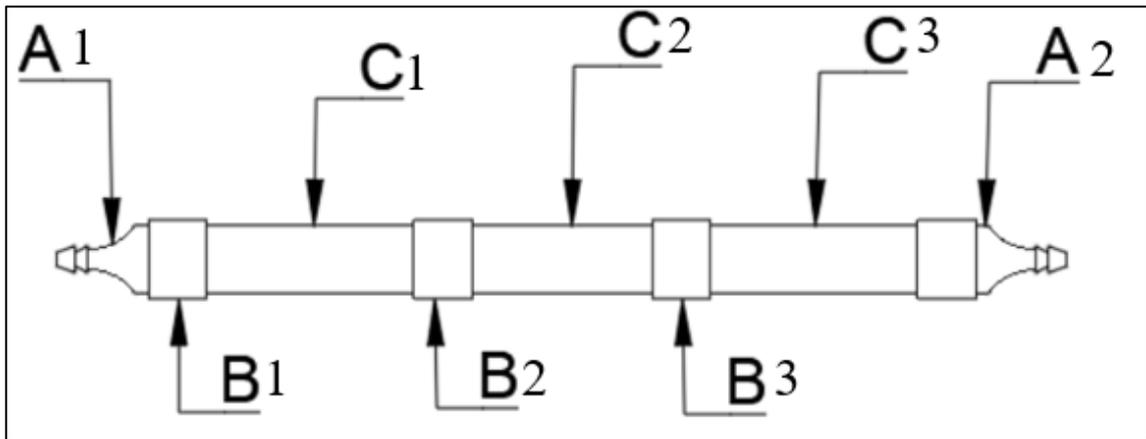


Ilustración 4-7: Equipo ensamblado con tres torres de filtración

Realizado por: Layedra, C. 2023.

4.6 Resultados curva de calibración

Para la realización de la curva de calibración correspondiente a la solución de sulfato de cromo se determinó en el equipo de espectrofotometría UV-visible una longitud de onda de análisis ideal de 595 nm; con el valor de longitud de onda se realizó una cuantificación por método de curva estándar obteniendo los resultados descritos en la tabla siguiente:

Tabla 4-6: Cuantificación de la curva de calibración

FECHA & HORA	ESTÁNDAR	CONCENTRACIÓN (%)	PROMEDIO ABSORBANCIA
3/2/2023 12:40	1	0,05	0,031
3/2/2023 12:57	2	0,10	0,076
3/2/2023 12:44	3	0,30	0,180
3/2/2023 12:47	4	0,40	0,322
3/2/2023 12:49	5	0,60	0,494
3/2/2023 12:50	6	0,80	0,658
3/2/2023 12:52	7	1,00	0,834

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Layedra, C. 2023.

De los datos arrojados por el equipo se presenta también la longitud de recorrido del haz de luz, siendo 10 mm, se obtiene que la desviación estándar de los datos es de 0,994, entonces no se encuentran dispersos y pueden ser trabajados con ellos para la interpolación en la obtención de las concentraciones finales después de cada etapa, posterior se realiza el ajuste lineal de la recta en la gráfica concentración vs absorbancia y se obtiene la ecuación respectiva.

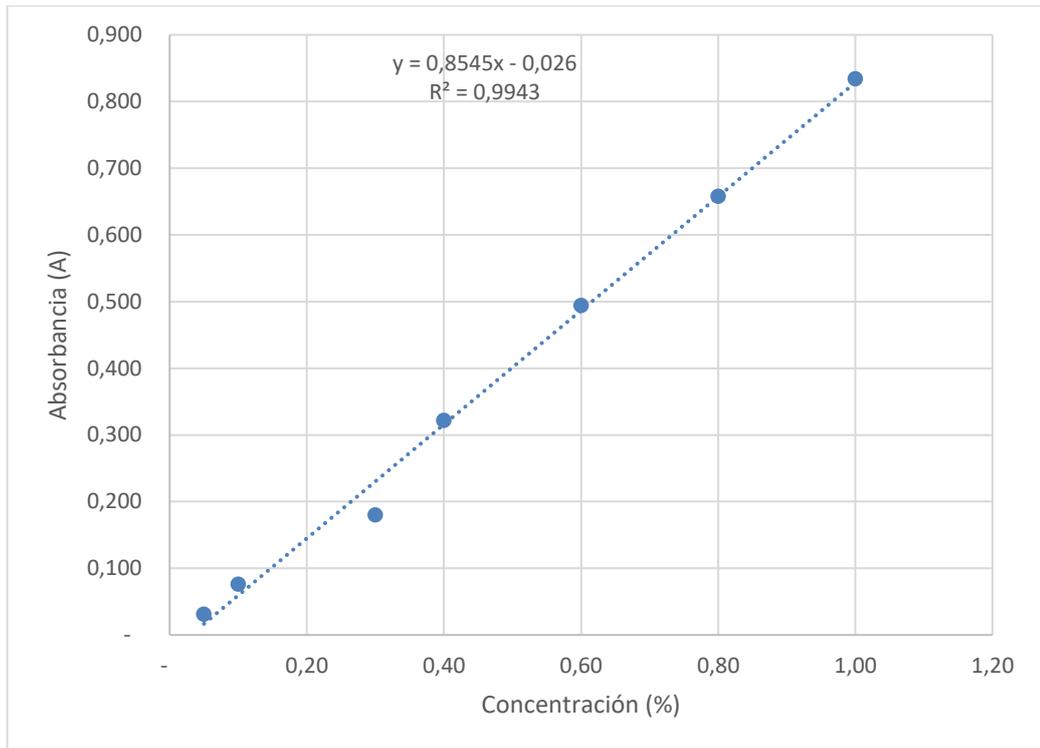


Ilustración 4-8: Curva de calibración de solución de Cr

Realizado por: Layedra, C. 2023.

4.7 Datos finales de las muestras

Para la obtención de las muestras se realizó tres repeticiones (R) para cada etapa de las torres, siendo “TORRE” la nomenclatura para el grupo de muestras tomada al final de cada etapa. Se realizó el experimento con 50 ml (V_e) de solución al 1 % de sulfato de cromo, volumen de entrada, el cual pasó del tanque a la torre en 150 minutos (t_e), a partir de estos datos se calcula caudal de entrada.

$$Q_e = \frac{V_e}{t_e}$$

$$Q_e = \frac{50 \text{ ml}}{150 \text{ min}}$$

$$Q_e = 0.33 \text{ ml/min}$$

Tabla 4-7: Resultados caracterización de las muestras

Fuente: Elaboración propia

ETAPA	TORRE 1			TORRE 2			TORRE 3		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Masa de adsorbente (g)	5.009	4.996	5.006	5.008	4.999	5.000	5.001	5.000	4.994
Volumen final adsorbato (ml)	47	48,5	48	46,5	45	45	42	41,5	43,5
Tiempo del proceso (min)	176	167	178	352	346	365	526	534	522
Absorbancia medida (A)	0,362	0,395	0,415	0,185	0,198	0,209	0,142	0,129	0,131
Concentración Calculada (% peso /volumen)	0,283	0,312	0,329	0,132	0,143	0,153	0,095	0,084	0,086
Porcentaje de adsorción (%) (rendimiento)	71,667	68,847	67,138	86,792	85,681	84,741	90,466	91,577	91,406

Realizado por: Layedra, C. 2023.

Para comparación de absorbancia según su concentración, se determinó en el punto 4.5 que la absorbancia para la solución de entrada al 1% (peso/volumen) es 0.834, se calcularon los valores correspondientes a concentración dependiendo de su valor de absorbancia y de igual manera el porcentaje adsorbido por el material empacado, se sacó una media de estas para describir los tres procesos de manera general y fueron descritos en la tabla siguiente.

Tabla 4-8: Media de resultados de las muestras

	TORRE 1	TORRE 2	TORRE 3
Masa de adsorbente (g)	5.004	5.002	4.998
Volumen final adsorbato (ml)	47,833	45,500	42,333
Volumen retenido en la torre (ml)	2,167	4,500	7,667
Porcentaje retenido (%)	4,333	9,000	15,333
Tiempo del proceso (minutos)	173,667	354,333	527,333
Absorbancia (A)	0,391	0,197	0,134
Concentración final media (% peso /volumen)	0,308	0,143	0,089
Porcentaje de adsorción media (%) (rendimiento)	69,218	85,738	91,150
Caudal filtrado (ml/min)	0,275	0,128	0,080

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Layedra, C. 2023.

Tabla 4-9: Capacidad de adsorción de totora (*Schoenoplectus californicus*)

	TORRE 1	TORRE 2	TORRE 3
Concentración (mg/L)	3078,247	1426,213	885,030
Masa Adsorbente (g)	5.004	10.006	10.011
Volumen de la muestra (L)	0,048	0,046	0,042
Capacidad Adsorbente (mg/g)	66,170	73.682	75.970

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Layedra, C. 2023.

La capacidad de adsorción de la totora se ha calculado un total de 66,170 mg de contaminantes por cada gramo de material adsorbente, sin embargo, en un total de dos torres conectadas en serie se percibe un total adsorbido de 73.682 mg de contaminante por cada gramo de adsorbente este incremento puede deberse a que cierta cantidad de líquido queda retenido en la anterior etapa, por lo que entra a una segunda etapa solo alrededor del 96% del líquido total entrante al proceso.

4.8 Resultados de validación del proceso de filtración



Ilustración 4-9: Comparación de color de las muestras

Realizado por: Layedra, C. 2023



Ilustración 4-10: Escala de color de las muestras obtenidas

Realizado por: Layedra, C. 2023

Se tomó una imagen comparando las soluciones (Anexo G) de salida con la de entrada y se extrajeron los colores con ayuda del programa Adobe Photoshop para facilitar su comparación en el cambio de coloración percibida en cada etapa, esto con el fin de calificar la adsorción en una escala de 1 a 3 (siendo 3 un cambio muy notorio en la transparencia) en cada etapa según su tono de color como se describe en la tabla siguiente:

Tabla 4-10: Calificación de cada etapa del proceso según la coloración de la solución

	Descripción del color	Calificación			Total
		M1	M2	M3	
INICIO	Verde oscuro, intenso, no presenta transparencia	-			-
TORRE 1	Verde oscuro, no intenso, presenta una leve transparencia, leve clarificación respecto al inicio	2	2	2	6
TORRE 2	Verde esmeralda, más clarificado, presenta transparencia, pero todavía se visualiza coloración	3	2	2	7
TORRE 3	Verde agua, transparente permite ver a través del líquido, aun se visualiza una leve coloración verde	3	3	3	9

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Layedra, C. 2023.

Con una calificación de 6 sobre 9, descrita en la Tabla 15-4, la etapa de una torre presenta los menores cambios en la coloración, aunque existe un cambio levemente notorio se visualiza que el proceso debe ser de más de una etapa. En la torre 2 se obtuvo una calificación de 7 que pasa del 70% de la calificación total, aunque se presencia el cambio, puede ser mejorable con una tercera etapa. En la torre 3 es en la que mayor cambio se presencia, obteniendo un líquido clarificado casi transparente, pues todavía se presencia levemente la coloración inicial. Las tres etapas evidencian que se adsorbe el contaminante de la solución preparada, por lo que ratifica el funcionamiento de la totora como material adsorbente.

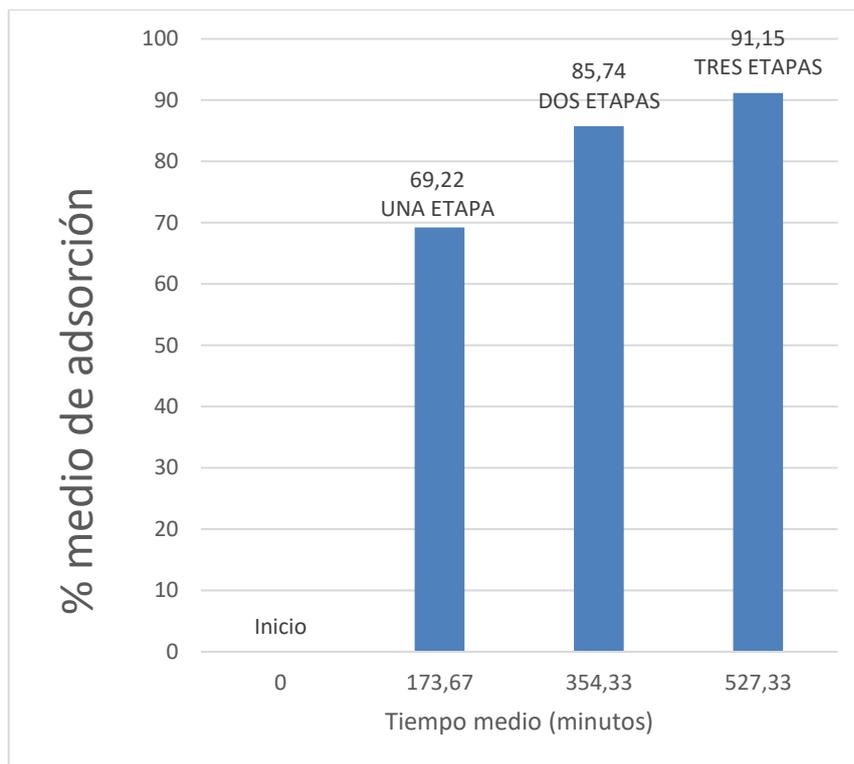


Ilustración 4-11: Comparación de adsorción en las tres etapas

Realizado por: Layedra, C. 2023.

En la gráfica de comparación de adsorción por etapas (Ilustración 14-4) se comprueba que existe un alto porcentaje de adsorción durante la primera etapa con 69,22% adsorbido, para la segunda etapa se logra un porcentaje de adsorción del 85,74% que representa un incremento del 16,52% respecto a la primera torre de adsorción; para una tercera etapa se logra un 91,15% de adsorción, de igual manera representa un incremento en el rendimiento del 21,93% sobre la primera etapa y solo del 5,41% respecto a la segunda etapa, sin embargo reduce significativamente la concentración de cromo en la solución por lo que se comprueba la validación del experimento en cada una de sus etapas.

4.9 Análisis de costos

A continuación, se presenta un resumen de los costos de fabricación del prototipo de torre de filtración que permite su conexión en secuencia. No se toma en cuenta como un costo adicional la licencia del programa Fusion 360, que tiene opciones de pago que rondan los 75\$ al mes, puesto que se contaba con la licencia educativa que cuenta con todas las herramientas básicas necesarias para diseño y análisis.

Tabla 4-11: Descripción de costos por pieza del equipo

Nombre	Horas de impresión	Costo por hora de impresión (\$)	Costo total (\$)
Pieza A	2	2,75	5,50
Pieza B	3,5	2,75	9,625
Pieza C	5,5	2,75	15,125
TOTAL	11	-	30,25

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Layedra, C. 2023

Tabla 4-12: Análisis de costos de fabricación de la torre de filtración con tres etapas.

	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Costo total
Cabezal (pieza A)	2	5,50	11,00
Pieza de unión (pieza B)	4	9,625	38,50
Torre de empaquetamiento (pieza C)	3	15,125	45,38
Teflón	1	0,35	0,35
Manguera 3/4	1 (m)	3,00	3,00
Válvula de bola 3/4	1	2,00	2,00
Tanque de almacenamiento (embudo plástico)	1	1,00	1,00
Sellador silicona	1	3,50	3,50
Material adsorbente (Totora)	-	5,00	5,00
Total	-	-	109,73

Fuente: Elaboración propia

Realizado por: Layedra, C. 2023

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se analizó el estado de la técnica y del arte y se diferenciaron características únicas y novedosas del prototipo, entre ellas la facilidad del montaje y desmontaje del equipo por su conexión con roscas de 1 cm de empaquetamiento en cada componente, facilidad del cambio de material filtrante y limpieza del equipo; sobre todo por la forma de las rejillas únicas del prototipo en la pieza B.

Se modeló el prototipo en el programa Fusión 360 con licencia educativa, en función de los tamaños requeridos por el grupo de investigación GIMA, partiendo de la base de un tanque de almacenamiento de 150 ml y un diámetro de columna de 2 cm, además se verificó dentro de los análisis dimensionales que brinda el programa que las piezas calcen adecuadamente, para evitar problemas durante la impresión de la pieza o durante el ensamble, de igual manera se modeló sus diferentes componentes teniendo en cuenta una filtración de tres etapas conectadas en serie ayudando el paso del fluido por la fuerza de la gravedad.

Se empleó la técnica de fabricación por adición de filamentos plásticos para la fabricación de dos piezas A, cuatro piezas B y tres piezas C, correspondientes a tres torres de filtración conectadas en paralelo, habiendo seleccionado primeramente como material plástico el PETG un filamento con mucha mayor resistencia al agua, agentes químicos, calor y paso de tiempo, además de presentar mejores características mecánicas que evitan su degradación con una vida útil del equipo de mínimo cinco años.

Se validó el diseño de dos formas descritas en el punto 4.8, la primera está dada por un cuadro cualitativo en comparación a la coloración final del agua tratada pasante por cada etapa, haciendo uso de totora (*Schoenoplectus californicus*) molida hasta un tamaño de partícula de entre 2 mm y 1 mm como material adsorbente, siendo la primera filtración la que tiene un cambio de coloración muy notoria en comparación a la solución 1% (peso/volumen) de sulfato básico de cromo entrante, por otro lado la segunda y tercera etapa es menos notorio la clarificación del agua tratada pero existe el cambio pertinente. La segunda etapa está basada en la Ilustración 14-4 que compara el porcentaje de adsorción en cada etapa, siendo la primera la más eficiente, pero totalmente útiles las tres etapas para obtener un rendimiento máximo del 91.15%, que puede seguir en aumento si se añaden más torres conectadas en serie.

5.2 Recomendaciones

- Si en el lugar de impresión del prototipo no se ha realizado impresiones anteriores con el material seleccionado, se recomienda realizar piezas de prueba para calibración de impresión y verificar si el material plástico puede llegar a expandirse lo suficiente como para realizar una corrección de hasta -0.2 mm en el diseño.
- Realizar más de cinco lavadas con agua destilada al material filtrante, después de su activación química para retirar todo el contenido del hidróxido que puede haber quedado en el material.
- Se recomienda realizar una investigación de las propiedades fisicoquímicas del material filtrante para selección del método de adsorción sea esta química o física.
- De ser posible realizar una comparación en rendimiento de adsorción de alguna solución coloreada con el material filtrante activado físicamente con agua destilada o químicamente con hidróxido de sodio e hidróxido de potasio, pues el método de activación actúa sobre los centros activos del material aumentando su capacidad de adsorción.
- Se recomienda como otro trabajo de titulación realizar una investigación de adsorción con totora (*Schoenoplectus californicus*) con mediciones y caracterizaciones más exhaustivas en aguas contaminadas con metales pesados, que sean regidas por normas medioambientales internacionales o nacionales.

BIBLIOGRAFÍA

- ALULEMA, M; & CAIZA, F.** Diseño y construcción de un clarificador para la bebida del TZAWAR MISHKI en la producción de alcohol. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba - Ecuador. 2015. p. 37.
- ÁLVAREZ, S; et al.** La Adsorción como Alternativa de Tratamiento de Contaminantes Emergentes en Aguas. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Químicas. Madrid – España. 2014. p. 24.
- ARMIJOS, M.** Implementación de un prototipo de filtro a base de carbón activado para una mejor disposición final de los vertidos de la quesera La Cocihc Colta. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba - Ecuador. 2015. p. 37.
- ATAGUBA, C; & BRINK, I.** "Design and construction of laboratory-scale activated carbon, gravel and rice husk filter columns for the treatment of stormwater runoff from automobile workshops". Journal of the South African Institution of Civil Engineering [en línea], 2021, (United State of America) vol. 63, no. 1, pp. 61-66. [Consulta: 16 de octubre de 2022]. ISSN 23098775. Disponible en: 10.17159/2309-8775/2021/V63N1A6.
- BASTIDAS, L.** Diseño de un Filtro con Piroclastos Finos para la Purificación del Agua de la Comunidad de San Francisco (Baños - Tungurahua). (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba - Ecuador. 2012. p. 15.
- CALLE, D; & MAYRA, R.,** 2019. Elaboración del modelo físico y la guía metodológica de una columna de filtración de arena, antracita y carbón activado para la asignatura de Hidrosanitaria de la Universidad del Azuay. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad del Azuay. Cuenca - Ecuador. 2019. p. 30.
- DÍAZ, N; et al.** "Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas". SAE Technical Papers [en línea], 2016, (España) vol. 32, no. 1, p. 8. [Consulta: 16 de octubre de 2022]. ISSN 26883627. Disponible en: 10.4271/841496.
- GAVILANEZ, I; & ZURITA, S.** "Divulgación de la Obtención y Uso de Harina de Totora *Schoenoplectus Californicus*, Producto no Maderable por sus Características Físico Químicas". Dominio de las Ciencias [en línea], 2021, vol. 7, pp. 1798-1811. [Consulta: 22 de octubre de 2022]. ISSN: 2477-8818. Disponible en: <http://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/index>
- HIDALGO, J; & GARCÍA, J.** Totora (*Schoenoplectus californicus*) and its potential as a construction material. Industrial Crops and Products [en línea], 2017, vol. 112, no. 1, pp. 467-480. [Consulta: 22 de octubre de 2022]. ISSN 09266690. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.029>.
- MCCABE, W; et al.** *Operaciones en las que intervienen partículas de sólidos*. 7ma edición. Ciudad de México - México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. ISBN 9789701061749. pp. 888-890.
- NOROUZI, A.** "Modeling of adsorption in a packed bed tower, the case study of methane removal and parametric calculation". Journal of Environmental Treatment Techniques [en línea], 2019, vol. 7, no. 3, pp. 324-333. [Consulta: 02 de noviembre de 2022]. ISSN 23091185. Disponible en: <http://www.jett.dormaj.com>.

- OUSSAI, A; et al.** "Development of 3d printing raw materials from plastic waste. A case study on recycled polyethylene terephthalate". Applied Sciences [en línea], 2021, vol. 11, no. 16, pp. 384-396. [Consulta: 02 de noviembre de 2022]. ISSN 20763417. Disponible en: 10.3390/app11167338.
- PATEL, H.** "Fixed-bed column adsorption study: a comprehensive review". Applied Water Science [en línea], 2019, vol. 9, no. 3. pp. 1-13. [Consulta: 14 de noviembre de 2022]. ISSN 2190-5487. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13201-019-0927-7>.
- PÉREZ A; et al.** "Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y olla Cerámica". Revista de Salud Publica [en línea], 2016, vol. 18, no. 2, pp. 275-289. [Consulta: 14 de noviembre de 2022]. ISSN 01240064. Disponible en: 10.15446/rsap.v18n2.48712.
- PINO, M.; et al.** "Efectividad De Los Lechos Filtrantes En La Reducción De Sulfatos Y Carbonato De Calcio En El Agua De Consumo Humano". Perfiles [en línea], 2021 vol. 1, no. 26, pp. 83-89. [Consulta: 15 de noviembre de 2022]. ISSN 22002498. Disponible en: 10.47187/perf.v1i26.139.
- QUISPE, J; et al.** "Use of biochar-based column filtration systems for greywater treatment: A systematic literature review". Journal of Water Process Engineering [en línea], 2022, vol. 48, no 6. ISSN 22147144. Disponible en: 10.1016/j.jwpe.2022.102908.
- RASHID, R; et al.**, 2021. A state-of-the-art review on wastewater treatment techniques: the effectiveness of adsorption method. Environmental Science and Pollution Research, vol. 28, no. 8, pp. 9050-9066. [Consulta: 04 de enero de 2023]. ISSN 16147499. DOI 10.1007/s11356-021-12395-x.
- RINCÓN, J; et al.** "Producción de carbón activado mediante métodos físicos a partir de carbón de El Cerrejón y su aplicación en el tratamiento de aguas residuales provenientes de tintorerías". Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales [en línea], 2015, vol. 39, no. 51, p. 171. [Consulta: 15 de noviembre de 2022]. ISSN 0370-3908. Disponible en: 10.18257/racefyn.138.
- ROJAS, N; et al.** "Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales". Quivera Año [en línea], 2012, vol. 14, pp. 109-129. [Consulta: 07 de noviembre de 2022]. ISSN 1405-8626, Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894007>.
- ROMERO, L; et al.** "Bank filtration drinking water treatment in a costal lagoon in south Brazil". Applied Water Science [en línea], 2012, vol. 25, no. 4. p. 22. [Consulta: 04 de octubre de 2022]. ISSN 3721-9597. Disponible en: <http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3>.
- SADIA, M; et al.** "Environmental Technology & Innovation Microplastics pollution from wastewater treatment plants: A critical review on challenges , detection , sustainable removal techniques and circular economy". Environmental Technology & Innovation [en línea], 2022, vol. 28, p. 102946. [Consulta: 04 de octubre de 2022]. ISSN 2352-1864. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102946>.
- SAMUDIO, A; et al.** "Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por *Typha domingensis*". Sociedad Científica del Paraguay [en línea], 2021, vol. 26, no. 2, pp. 100-113. [Consulta: 07 de noviembre de 2022]. ISSN 02241735. Disponible en: <https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.2.100>.
- SÁNCHEZ, A.**, 2019. Estudio preliminar de la activación comparativa con hidróxido de sodio e hidróxido de potasio mediante áreas superficiales y microscopía electrónica de barrido (SEM) del carbón pirolítico obtenido de la balsa (*ochroma pyramidale*). (Trabajo de

titulación) (Pregrado). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química. Quito - Ecuador. 2019, p. 52.

TUSHIME, A; et al. "Performance of lab-scale filtration system for grey water treatment and reuse". Environmental Challenges [en línea], 2022, vol. 9, no. 8, pp. 100641. [Consulta: 07 de noviembre de 2022]. ISSN 26670100. DOI 10.1016/j.envc.2022.100641. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100641>.

VÁSQUEZ, W; et al. "Design of a filtration system for amine solutions used in washing CO₂ in ammonia plants". Revista Ingeniería UC [en línea], 2016, vol. 23, no. 3, pp. 327-340. [Consulta: 19 de diciembre de 2022]. ISSN 1316-6832, Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/707/70748810011.pdf>.



ANEXOS

ANEXO A: NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2497

INEN
Servicio Ecuatoriano de Normalización
Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2497
Primera revisión

TUBERÍA PLÁSTICA. TUBOS DE PVC RÍGIDO UNIÓN POR ROSCA, PARA CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE A PRESIÓN. CEDULA 80. REQUISITOS

PLASTIC PIPES. RIGID PVC PIPES. THREADED CONNECTIONS FOR CONDUCTING POTABLE WATER UNDER PRESSURE. SCHEDULE 80. REQUIREMENTS

DESCRIPCIÓN: Línea de tubería, conexión, tubo de material plástico, tubo de PVC para agua a presión, 630, 20040-20

4. TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, se adoptan las definiciones contempladas en la NTE INEN 1333 y las que a continuación se detallan:

4.1 Cédula. Clasificación de tubos originada por la industria de tuberías de hierro y adoptada para tubos de PVC.

NOTA Esta clasificación está definida en la norma ASTM F412 y es utilizada en la norma ASTM D1789 para tubos de PVC, la que establece los requisitos para las cédulas 40, 80 y 125. Las cédulas 40, 80 y 125 son nombres propios originados en las normas MSS para tubos de hierro.

4.2 Ecuación de esfuerzo. Ecuación que establece la relación entre esfuerzo, presión nominal y dimensiones del tubo.

$\sigma_s = (PN / 2e) (DE + e)$

donde

σ_s es el esfuerzo hidrostático de diseño en MPa
 PN es la presión nominal en MPa
 DE es el diámetro exterior promedio en mm
 e es el espesor mínimo de pared en mm

5. REQUISITOS

5.1 Material

5.1.1 Composición

El material de los tubos debe componerse substancialmente de cloruro de polivinilo al cual se pueden añadir aquellos aditivos necesarios para facilitar el procesamiento, de esta polímero, y la producción de tubos fríos, durables, con buen terminado en su superficie, con buena resistencia mecánica y elasticidad, capaz de cumplir los requisitos de esta norma.

5.1.2 Material recuperado.

El fabricante podrá usar su propio material recuperado limpio, siempre y cuando este provenga de su proceso de extrusión de tubos de PVC y que el producto final cumpla con todos los requerimientos de esta norma.

5.1.3 Utilización de aditivos

Ningún aditivo deberá utilizarse, individualmente o como conjunto, en cantidad suficiente para producir tóxicos peligrosos, daño en las propiedades químicas y físicas del producto, no deben propiciar el crecimiento microbiano ni dar lugar a olores o sabores extraños, turbiedad y color.

5.2 Presentación

Los tubos podrán suministrarse con sus extremos lisos o roscados.

5.3 Requisitos del roscado

El tipo de rosca será a elección del usuario.

NOTA. Para la selección del tipo de rosca podrá consultarse lo establecido en la NTE INEN 117.

NTE INEN 2497

5.4 Aspecto visual

5.4.1 Homogeneidad

Los tubos deben ser homogéneos a través de su pared y uniformes en color, opacidad y densidad.

5.4.2 Aspecto superficial

La superficie interna y externa del tubo, a simple vista, debe ser uniforme y estar exenta de grietas, fisuras, perforaciones, rugosidades, protuberancias o irregularidades de material extraño.

5.4.3 Color

Los tubos deben ser de color gris. El tono será a elección del fabricante.

5.5 Bromatológicos y organolépticos

Los tubos de PVC para su uso en el transporte de agua potable deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 1372, además de los establecidos en esta norma.

5.6 Dimensiones y tolerancias

5.6.1 Diámetro

Las dimensiones del diámetro exterior promedio, las tolerancias y el máximo ovalamiento, medidas de acuerdo con la NTE INEN 499, deben ser los establecidos en la tabla 1. El ovalamiento máximo aplicará a los tubos, previo al roscado y al transporte.

TABLA 1. Diámetro nominal externo, tolerancias y ovalamiento para tubos de PVC cédula 80.

Diámetro nominal externo del tubo DNE* (mm)	Tolerancias de diámetro externo (mm)	Ovalamiento máximo (mm) (diámetro máximo menos diámetro mínimo)	Denominación de la rosca
21,34	± 0,1	0,41	1/2"
26,67	± 0,1	0,51	3/4"
33,4	± 0,13	0,51	1"
42,16	± 0,13	0,61	1 1/4"
48,26	± 0,15	0,61	1 1/2"
60,32	± 0,15	0,61	2"
73,02	± 0,18	0,76	2 1/2"
88,91	± 0,2	0,76	3"
114,3	± 0,23	0,76	4"
147,3	± 0,25	1,52	5"
168,28	± 0,28	1,78	6"
219,08	± 0,35	3,81	8"

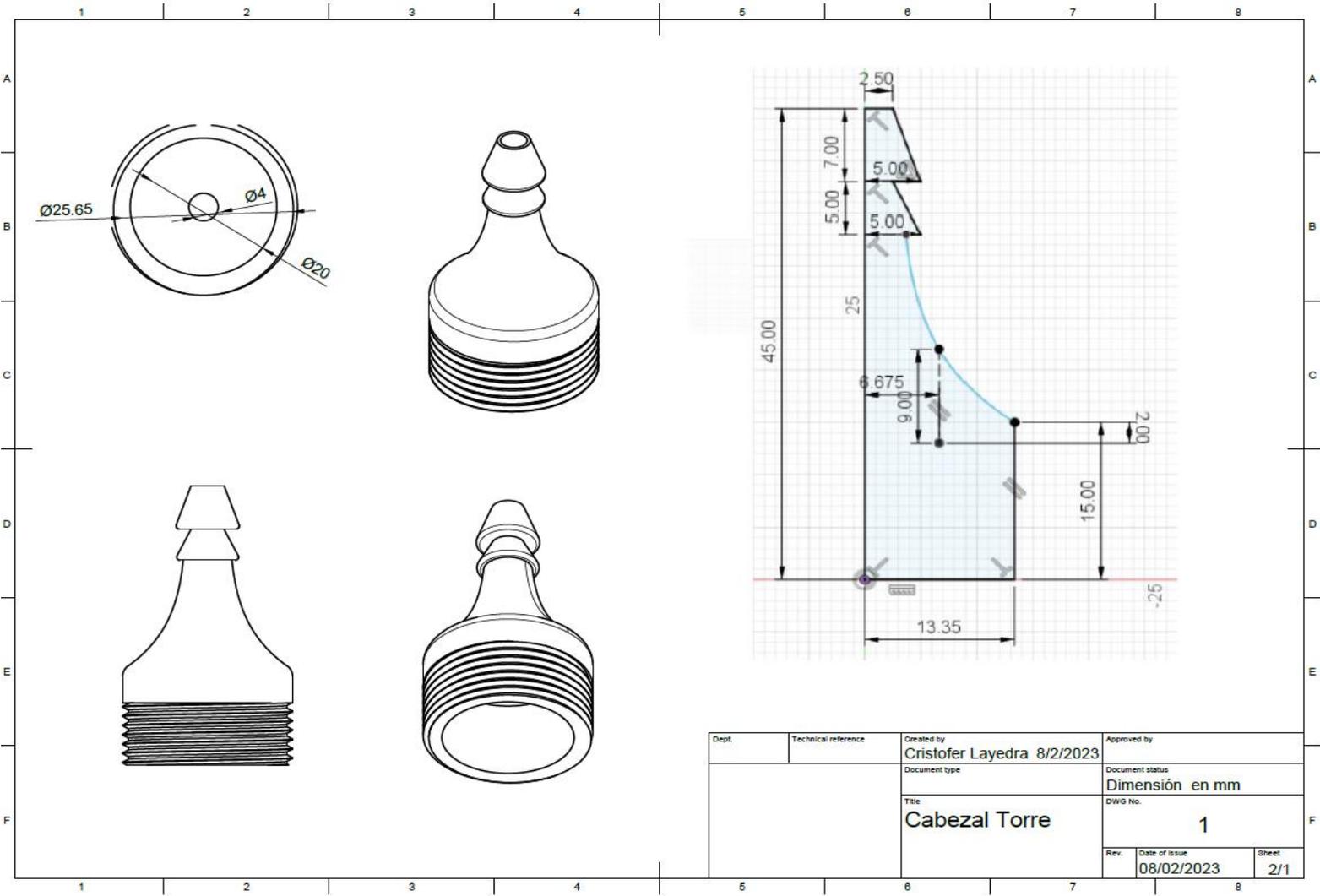
* El diámetro nominal externo DNE equivale al diámetro exterior promedio

5.6.2 Espesor de pared

Los espesores mínimos de pared, medidos de acuerdo con la NTE INEN 499, deben ser los establecidos en la tabla 2. Los valores se obtienen aplicando la ecuación de esfuerzo dada en 4.2 con un esfuerzo hidrostático de diseño σ_s de 13,834 MPa.

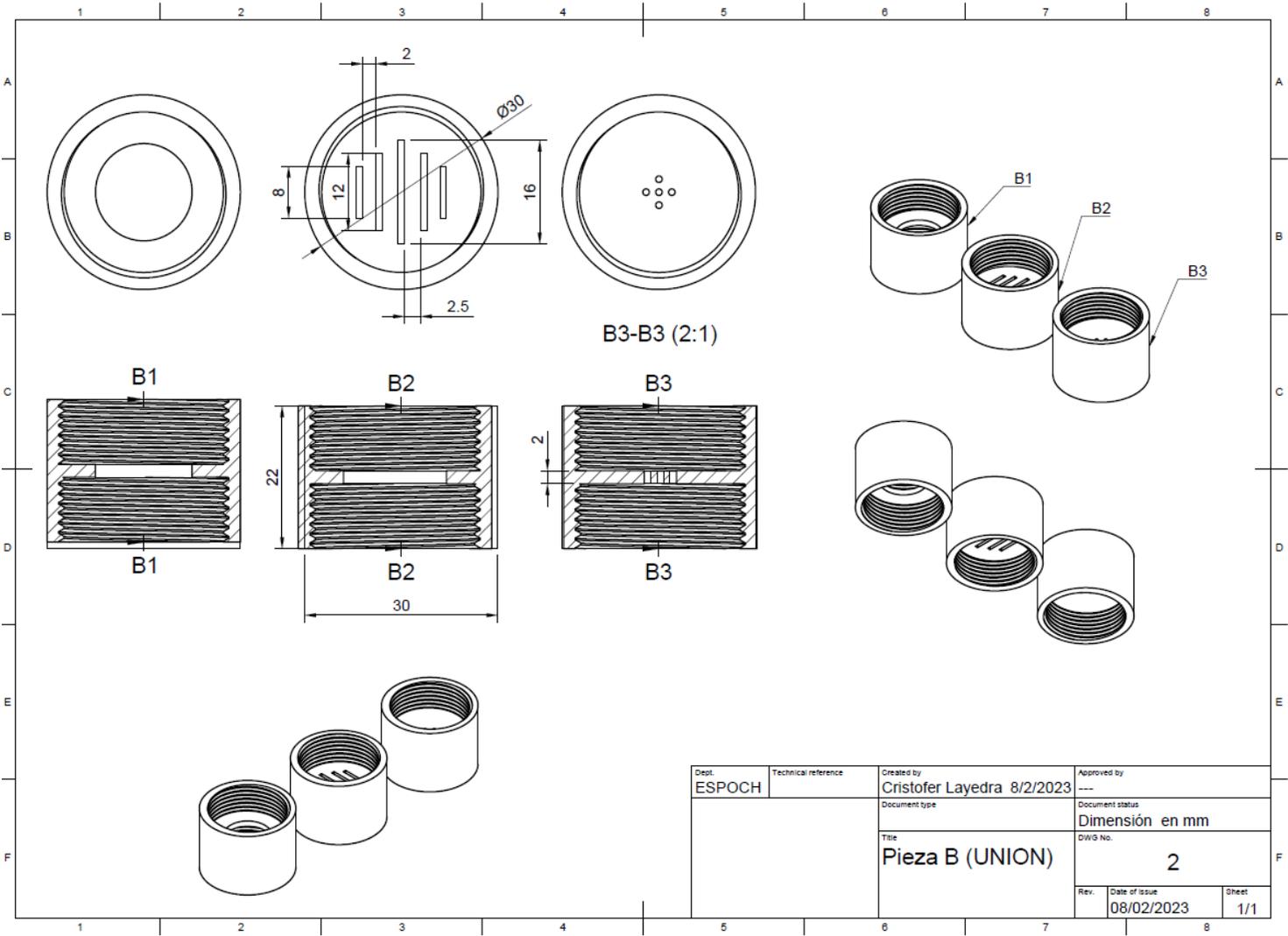
<p>NOTAS:</p> <p>a) Carátula de la norma</p> <p>b) Objetivo, alcance y definiciones de la Norma</p> <p>c) Tolerancias para el diámetro exterior medio y ovalamiento</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado</p> <p><input type="checkbox"/> Preliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Certificado</p> <p><input type="checkbox"/> Informativo</p> <p><input type="checkbox"/> Por aprobar</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>Elaborado Por: Cristófer Layedra</p>	TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR			
			LAMINA	ESCALA	FECHA	
			1	1:1	2023/02/10	

ANEXO B: DIMENSIONAMIENTO DE LA PIEZA A

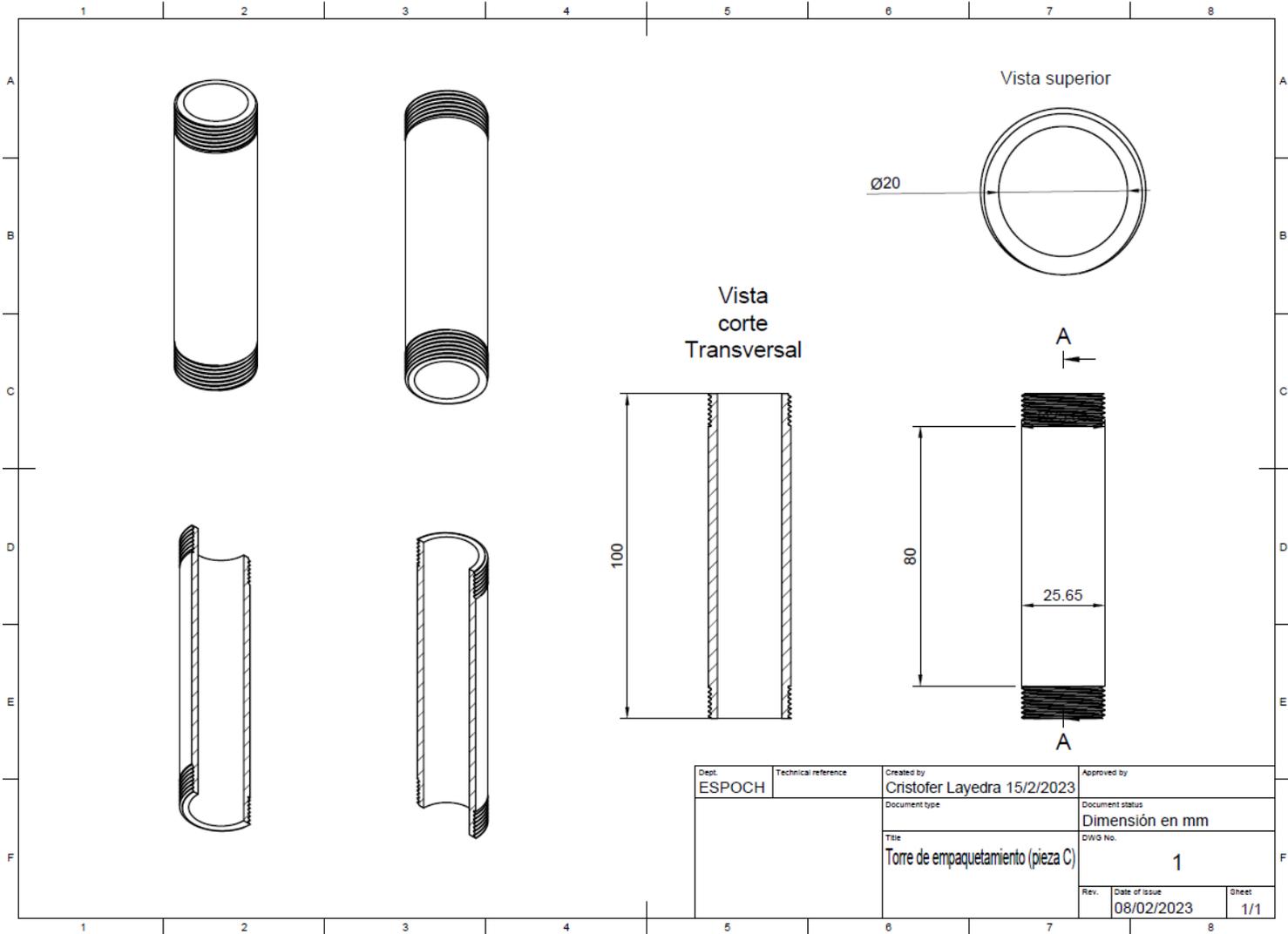


Dept.	Technical reference	Created by Cristofer Layedra 8/2/2023	Approved by
		Document type	Document status
		Title Cabezal Torre	Dimensión en mm
		DWG No.	1
Rev.	Date of issue	Sheet	
	08/02/2023	2/1	

ANEXO C: DIMENSIONAMIENTO DE LA PIEZA B



ANEXO D: DIMENSIONAMIENTO DE LA PIEZA C



Dept. ESPOCH	Technical reference	Created by Cristofer Layedra 15/2/2023	Approved by
		Document type	Document status Dimensión en mm
		Title Torre de empaquetamiento (pieza C)	DWG No. 1
		Rev.	Date of issue 08/02/2023
			Sheet 1/1

ANEXO E: ACTIVACIÓN DE LA TOTORA

a)



b)

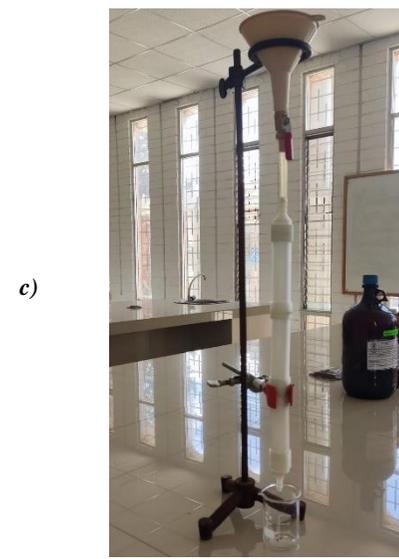
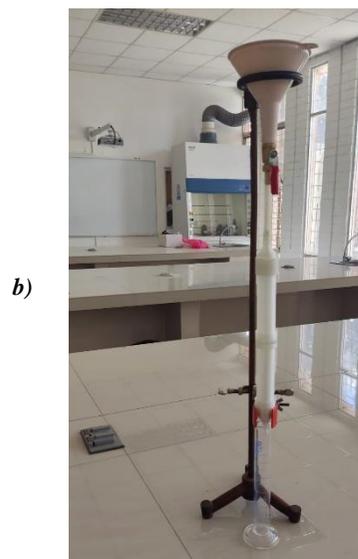
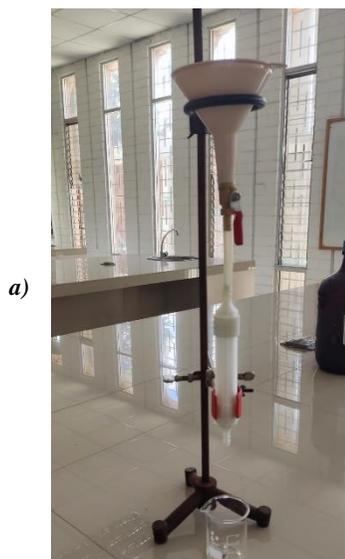


c)



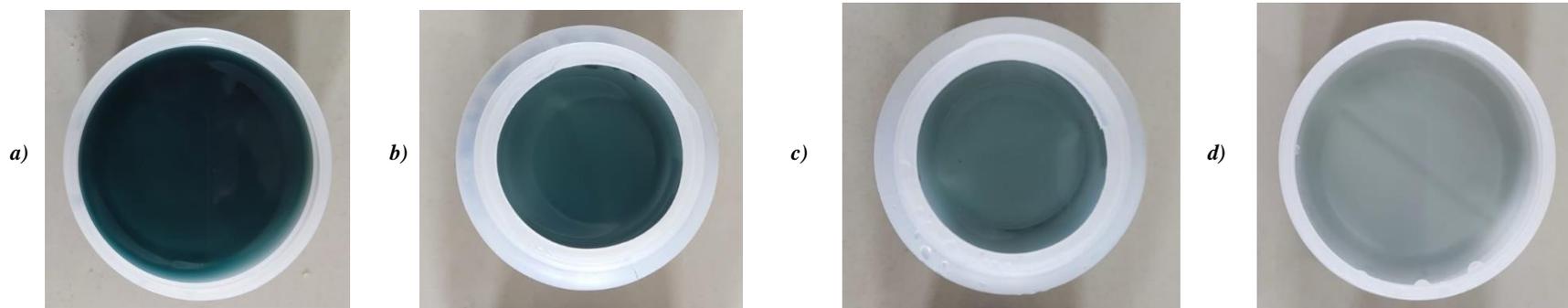
NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA Elaborado Por: Cristofer Layedra	TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		
			LAMINA	ESCALA	FECHA
a) Columna de tamices b) Preparación del hidróxido de potasio c) Lavado de totora activada	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		1	1:1	2023/02/10

ANEXO F: ENSAMBLE FINAL DEL EQUIPO POR CADA ETAPA



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA Elaborado Por: Cristofer Layedra	TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		
			LAMINA	ESCALA	FECHA
a) Columna de una sola etapa b) Columna de dos etapas c) Columna de tres etapas	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		1	1:1	2023/02/10

ANEXO G: COMPARACIÓN DE MUESTRAS OBTENIDAS AL FINAL DE CADA ETAPA



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUIMICA Elaborado Por: Cristofer Layedra	TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		
			LAMINA	ESCALA	FECHA
a) Solución inicial b) Agua obtenida al final de la primera etapa c) Agua obtenida al final de la segunda etapa d) Agua obtenida al final de la tercera etapa	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Información <input type="checkbox"/> Por aprobar <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		1	1:1	2023/02/10



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 26 / 06 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Cristofer Alexander Layedra Ambo
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo



0819-DBRA-UPT-2023