



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS PARA USO AGRÍCOLA
MEDIANTE CARBÓN ACTIVADO Y NANOPARTÍCULAS DE
COBRE**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

BYRON ALEXANDER GRANDA PARRALES

HUGO VINICIO CHICA ROBALINO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS PARA USO AGRÍCOLA
MEDIANTE CARBÓN ACTIVADO Y NANOPARTÍCULAS DE
COBRE**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: BYRON ALEXANDER GRANDA PARRALES

HUGO VINICIO CHICA ROBALINO

DIRECTOR: Ing. MARCO VINICIO GUEVARA GRANIZO

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, **Byron Alexander Granda Parrales; Hugo Vinicio Chica Robalino**

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

Nosotros, Byron Alexander Granda Parrales y Hugo Vinicio Chica Robalino, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 5 de diciembre de 2023



Byron Alexander Granda Parrales
131554356-9



Hugo Vinicio Chica Robalino
171966426-8

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS PARA USO AGRÍCOLA MEDIANTE CARBÓN ACTIVADO Y NANOPARTÍCULAS DE COBRE**, realizado por los señores: **BYRON ALEXANDER GRANDA PARRALES** y **HUGO VINICIO CHICA ROBALINO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-12-05
Dr. Marco Vinicio Guevara Granizo DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-05
BQF. Mishell Carolina Moreno Samaniego MSc. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-05

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de integración curricular a todos quienes de alguna u otra manera aportaron en mi formación académica. A mi familia, amigos, compañeros y docentes que me motivaron a seguir adelante en los momentos más difíciles.

Byron Granda.

Dedico este trabajo de integración curricular a cada uno de mis seres queridos, a mi familia y a mi tía Mónica Robalino, su apoyo constante y bondad han sido un reflejo de amor y aliento incondicional que he tomado como ejemplo en mi proceder como persona.

Hugo Chica.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más profundo agradecimiento a Dios, a mis padres, hermanos y sobrinos quienes con su apoyo incondicional en todo momento de mi carrera han sido un pilar fundamental para cumplir con esta meta. También quiero agradecer a la Carrera de Mecánica, a cada uno de los docentes que me supieron impartir sus conocimientos y sin duda agradecer a mis tutores quienes aportaron de la mejor manera a culminar este trabajo de integración curricular.

Byron Granda.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia especialmente a mis padres quienes fueron mi mayor fuente de inspiración y motor para alcanzar mis metas. Gracias a la Carrera de Mecánica por el proceso de formación tanto en lo académico como en lo personal, he sido testigo del compromiso de la escuela por promover ideas innovadoras y por supuesto habilidades tan necesarias como el trabajo en equipo, he de agradecer también a todas aquellas personas amigos y compañeros que estuvieron presentes durante este proceso. Finalmente, agradezco a nuestros tutores por brindarnos el apoyo necesario a través de su experiencia y conocimiento para alcanzar con éxito la culminación del trabajo de integración curricular.

Hugo Chica.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.3.1. <i>Justificación teórica</i>	3
1.3.2. <i>Justificación social</i>	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Aguas servidas.....	5
2.1.1. <i>Según su naturaleza</i>	5
2.1.2. <i>Según su origen</i>	5
2.1.2.1. <i>Aguas residuales municipales domésticas</i>	5
2.1.2.2. <i>Aguas residuales municipales de servicio</i>	5
2.1.2.3. <i>Industriales</i>	6
2.1.2.4. <i>Agropecuarias</i>	6
2.1.3. <i>Composición</i>	7
2.1.4. <i>Caudales de aguas residuales</i>	7
2.2. Tratamiento de aguas servidas.....	8
2.2.1. <i>Proceso del tratamiento de aguas servidas</i>	8

2.3.	Nanotecnología.....	8
2.3.1.	<i>Riesgos para la salud</i>	9
2.3.2.	<i>Riesgos para el medio ambiente</i>	9
2.4.	Nanopartículas de cobre.....	9
2.5.	Carbón activado.....	10
2.5.1.	<i>Aplicaciones del carbón activado en el agua</i>	11
2.5.2.	<i>Tipos de carbón activado</i>	12
2.6.	Carbón activado para adsorber gases.....	12
2.7.	Carbón activado para el tratamiento de líquidos.....	12
2.7.1.	<i>Carbón activado en polvo o PAC</i>	12
2.7.2.	<i>Carbón activado granular o GAC</i>	13
2.8.	Elementos de un filtro de carbono activado.....	14
2.9.	Eficiencia de los filtros de carbón activado granular.....	14
2.9.1.	<i>Filtración</i>	14
2.9.2.	<i>Adsorción</i>	14
2.10.	Procesos de adsorción.....	15
2.10.1.	<i>Quimisorción</i>	15
2.10.2.	<i>Fisorción</i>	15
2.10.3.	<i>Factores que afectan la adsorción</i>	16
2.11.	Capacidad de adsorción del carbono activado.....	16
2.11.1.	<i>Propiedades de textura del carbón activado</i>	17
2.11.2.	<i>Tamaño de malla del carbón activado</i>	18
2.12.	Normativa del agua.....	19

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	21
3.1.	Metodología del diseño.....	21
3.2.	Definición del producto.....	21
3.2.1.	<i>Función de despliegue de calidad (QFD)</i>	22
3.2.1.1.	<i>Voz del usuario</i>	22
3.2.1.2.	<i>Voz del ingeniero</i>	22
3.2.1.3.	<i>Casa de la calidad</i>	23
3.2.2.	<i>Resultados en base a la casa de la calidad</i>	23
3.2.2.1.	<i>Adsorción adecuada</i>	23
3.2.2.2.	<i>Toma de muestras</i>	24

3.2.2.3.	<i>Selección de materiales</i>	24
3.3.	Diseño conceptual	24
3.3.1.	<i>Análisis funcional del diseño</i>	24
3.3.2.	<i>Análisis modular del diseño</i>	24
3.3.3.	<i>Alternativas de diseño</i>	25
3.3.4.	<i>Evaluación de soluciones del módulo</i>	26
3.4.	Diseño de materialización	28
3.4.1.	<i>Estimación del volumen de agua a utilizar</i>	28
3.4.2.	<i>Características físicas del medio filtrante</i>	29
3.4.3.	<i>Velocidad de filtración y velocidad de flujo</i>	30
3.4.4.	<i>Geometría del filtro</i>	30
3.4.5.	<i>Caudal mínimo de operación</i>	30
3.4.6.	<i>Tiempo de contacto</i>	31
3.4.7.	<i>Altura de capas de carbón activado en el filtro</i>	31
3.4.8.	<i>Zonas de transferencia de masa en camas de CAG</i>	32
3.4.9.	<i>Características de la curva de ruptura</i>	34
3.4.10.	<i>Constante de velocidad de adsorción</i>	34
3.4.11.	<i>Número de filtros</i>	35
3.4.12.	<i>Diseño del sistema de filtración</i>	36
3.4.13.	<i>Ecuación de Bernoulli</i>	38
3.4.14.	<i>Selección de la bomba</i>	41
3.4.15.	<i>Sistema eléctrico para sensores de nivel tipo boya</i>	45
3.4.16.	<i>Diseño 3D en Solidworks</i>	50
3.4.17.	<i>Simulación en ANSYS</i>	51
3.4.17.1.	<i>Simulación del fluido a través del filtro</i>	51
3.4.17.2.	<i>Simulación de la estructura</i>	55

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	58
4.1.	Construcción del prototipo	58
4.1.1.	<i>Estructura</i>	58
4.1.2.	<i>Tanque de almacenamiento</i>	58
4.1.3.	<i>Tanque de reserva</i>	59
4.1.4.	<i>Bomba hidráulica</i>	59
4.1.5.	<i>Elementos eléctricos</i>	60

4.1.5.1.	<i>Sensor de nivel de agua</i>	60
4.1.5.2.	<i>Contactador</i>	60
4.1.5.3.	<i>Breaker</i>	61
4.1.6.	<i>Sistema de tuberías</i>	61
4.2.	Proceso de las nanopartículas de cobre	61
4.2.1.	<i>Ultrasonido de nanopartículas</i>	62
4.2.2.	<i>Procedimiento de centrifugado</i>	63
4.2.3.	<i>Proceso de secado de nanopartículas</i>	63
4.2.4.	<i>Proceso de triturado</i>	64
4.2.5.	<i>Disolución madre o disolución stock</i>	64
4.3.	Procesado de muestras de agua	65
4.3.1.	<i>Recolección de muestras de agua sin tratamiento de nanopartículas</i>	65
4.3.2.	<i>Recolección de muestras de agua con tratamiento de nanopartículas</i>	66
4.3.2.1.	<i>Preparación de los cartuchos</i>	66
4.3.2.2.	<i>Recolección de muestras después del tratamiento</i>	67
4.3.3.	<i>Análisis de muestras de agua antes y después del tratamiento</i>	67
4.4.	Resultados del análisis de las muestras de agua antes y después del tratamiento	69
4.5.	Análisis de costos del sistema	80
4.5.1.	<i>Costos directos</i>	80
4.5.1.1.	<i>Costo de materiales y elementos</i>	81
4.5.1.2.	<i>Costo de mano de obra</i>	82
4.5.1.3.	<i>Costo de herramientas y equipos</i>	82
4.5.1.4.	Costos directos totales	82
4.5.2.	<i>Costos indirectos</i>	82
4.6.	Costos totales	83

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
5.1.	Conclusiones	84
5.2.	Recomendaciones	86

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Aplicaciones del carbón activado.....	11
Tabla 2-2: Tipos de carbón activado.....	12
Tabla 2-3: Características de un filtro de carbón activado.....	14
Tabla 2-4: Proceso de adsorción en la filtración.....	15
Tabla 2-5: Clasificación del tamaño de poro.....	17
Tabla 2-6: Abertura de distintas mallas de carbón activado.....	18
Tabla 2-7: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola.....	19
Tabla 2-8: Parámetros de los niveles de la calidad del agua para riego agrícola.....	20
Tabla 3-1: Especificaciones del usuario.....	22
Tabla 3-2: Especificaciones del ingeniero.....	22
Tabla 3-3: Análisis de alternativas del carbón activado.....	25
Tabla 3-4: Análisis de alternativas de materiales de la mesa de soporte.....	26
Tabla 3-5: Análisis de alternativas de filtros y contenedor.....	26
Tabla 3-6: Análisis de criterios ponderados.....	27
Tabla 3-7: Análisis del criterio costo.....	27
Tabla 3-8: Análisis del criterio adsorción.....	27
Tabla 3-9: Análisis del criterio materiales.....	27
Tabla 3-10: Análisis del criterio tamaño.....	27
Tabla 3-11: Análisis del criterio mantenimiento.....	28
Tabla 3-12: Resultado final de la selección de alternativas.....	28
Tabla 3-13: Tamaño de malla y sus propiedades.....	29
Tabla 3-14: Capas de carbón activado y su proporción.....	31
Tabla 3-15: Datos de trabajo conocidos.....	37
Tabla 3-16: Cálculo de pérdidas de presión para distintos diámetros de tubería.....	37
Tabla 3-17: Accesorios de la instalación.....	39
Tabla 3-18: Valores de K para diferentes accesorios.....	40
Tabla 3-19: Valores referenciales según Swamme.....	40
Tabla 3-20: Iteraciones de factor de fricción para diámetro de tubería de 25 mm (3/4 ").....	41
Tabla 4-1: Concentraciones de nanopartículas de cobre.....	66
Tabla 4-2: Resultados del análisis de las muestras de agua.....	70
Tabla 4-3: Calidad de agua para muestra de agua sin tratar.....	70
Tabla 4-4: Calidad de agua para F1-C1.....	71
Tabla 4-5: Calidad de agua para F2-C1.....	71

Tabla 4-6: Calidad de agua para F3-C1	72
Tabla 4-7: Calidad de agua para F2-C2	72
Tabla 4-8: Calidad de agua para F3-C2	73
Tabla 4-9: Calidad de agua para F2-C3	73
Tabla 4-10: Calidad de agua para F3-C3	74
Tabla 4-11: Costo de materiales y elementos	81
Tabla 4-12: Costo de mano de obra	82
Tabla 4-13: Costo de herramientas y equipos	82
Tabla 4-14: Costo directos totales.....	82
Tabla 4-15: Costos indirectos	82
Tabla 4-16: Costos totales.....	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Clasificación de las aguas residuales	6
Ilustración 2-2: Composición de las aguas residuales	7
Ilustración 2-3: Proceso para el tratamiento de aguas servidas	8
Ilustración 2-4: Nanotubos de carbono	8
Ilustración 2-5: Microscopía electrónica de barrido.....	10
Ilustración 2-6: Carbón activado granular	10
Ilustración 3-1: Etapas para el diseño y construcción	21
Ilustración 3-2: Casa de la calidad	23
Ilustración 3-3: Análisis funcional del equipo.....	24
Ilustración 3-4: Análisis modular del sistema de tratamiento de agua	25
Ilustración 3-5: Profundidad de un filtro	33
Ilustración 3-6: Influencia del tiempo de operación del filtro sobre la	33
Ilustración 3-7: Volumen de líquido tratado de CAG	34
Ilustración 3-8: Relación entre el número de filtros y el % de remoción a la salida	35
Ilustración 3-9: Instalación en carga	41
Ilustración 3-10: Curva de prestaciones de la marca Pedrollo	44
Ilustración 3-11: Valores de potencia y altura para diferentes bombas marca Pedrollo	44
Ilustración 3-12: Elementos del sensor tipo boya.....	45
Ilustración 3-13: Interruptor conmutador	46
Ilustración 3-14: Conexión C-NC	46
Ilustración 3-15: Conexión C-NO	47
Ilustración 3-16: Conexión en serie de los sensores con la bomba	47
Ilustración 3-17: Configuración para tanque.....	48
Ilustración 3-18: Configuración para cisterna	48
Ilustración 3-19: Circuito de potencia y circuito de mando para encendido de bomba	49
Ilustración 3-20: Circuito de potencia y circuito de mando cuando la bomba esta apagada.....	49
Ilustración 3-21: Circuito de potencia	50
Ilustración 3-22: Circuito de mando.....	50
Ilustración 3-23: Simulación del sistema de tratamiento	51
Ilustración 3-24: Elemento para simulación modelado en Solidworks	51
Ilustración 3-25: Velocidad en el interior del porta filtro.....	52
Ilustración 3-26: Cartucho de carbón activado.....	52
Ilustración 3-27: Análisis de flujo laminar en ANSYS	53

Ilustración 3-28: Fluido atravesando la primera malla.....	53
Ilustración 3-29: Fluido atravesando la segunda malla	54
Ilustración 3-30: Fluido atravesando la tercera malla	54
Ilustración 3-31: Fluido saliendo del filtro.....	55
Ilustración 3-32: Análisis estructural	55
Ilustración 3-33: Factor de seguridad de la estructura.....	56
Ilustración 4-1: Estructura.....	58
Ilustración 4-2: Tanque de almacenamiento	58
Ilustración 4-3: Tanque de reserva	59
Ilustración 4-4: Bomba de agua de 1/2 hp.....	59
Ilustración 4-5: Sensor de nivel de agua	60
Ilustración 4-6: Contactor.....	60
Ilustración 4-7: Breaker.....	61
Ilustración 4-8: Construcción del sistema de tuberías y filtros	61
Ilustración 4-9: Nanopartículas de cobre en.....	62
Ilustración 4-10: Nanopartículas en máquina.....	62
Ilustración 4-11: Centrifugado de nanopartículas	63
Ilustración 4-12: Secado de nanopartículas.....	63
Ilustración 4-13: Triturado de nanopartículas	64
Ilustración 4-14: Pesaje y disolución madre.....	64
Ilustración 4-15: Planta de tratamiento de San Vicente de Lacas	65
Ilustración 4-16: Recolección de muestras en la salida de la planta de tratamiento.....	65
Ilustración 4-17: Colocación de carbón activado y nanopartículas.....	66
Ilustración 4-18: Sellado del cartucho.....	67
Ilustración 4-19: Muestra de agua tratada	67
Ilustración 4-20: Análisis de la calidad del agua.....	68
Ilustración 4-21: Preparación de los equipos.....	68
Ilustración 4-22: Esterilización de los materiales.....	69
Ilustración 4-23: Cultivo de coliformes.....	69
Ilustración 4-24: Comparación de pH	74
Ilustración 4-25: Comparación de conductividad.....	75
Ilustración 4-26: Comparación de contenido de sólidos disueltos	75
Ilustración 4-27: Comparación de color	76
Ilustración 4-28: Comparación de turbidez.....	76
Ilustración 4-29: Comparación de dureza.....	77
Ilustración 4-30: Comparación de contenido de calcio	77

Ilustración 4-31: Comparación de contenido de magnesio	78
Ilustración 4-32: Comparación de alcalinidad.....	78
Ilustración 4-33: Comparación de contenido de cloruros.....	79
Ilustración 4-34: Comparación de contenido de nitratos.....	79
Ilustración 4-35: Comparación de contenido de fosfatos	79
Ilustración 4-36: Comparación de contenido de coliformes fecales.....	80

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BOMBA HIDRÁULICA

ANEXO B: MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA

ANEXO C: MANUAL DE MANTENIMIENTO

ANEXO D: PLANOS DE DETALLE DEL PROTOTIPO

RESUMEN

El siguiente proyecto técnico presenta el desarrollo de un sistema de tratamiento de aguas servidas complementarios a los existentes en comunidades rurales del Ecuador, tomando como punto de partida la comunidad de “San Vicente de Lacas”. Dicho sistema debe ser eficiente y fácil de implementar por lo cual se buscaron alternativas para lograr ese objetivo, siendo la más idónea el uso de nanopartículas de cobre. El dimensionamiento del prototipo se realizó en función de caudales controlados y cálculos estandarizados, por este motivo consta de dos partes principales, un tanque reservorio que fue utilizado como cisterna con capacidad para 250 litros conectado a una bomba y un tanque elevado. Luego el sistema está conformado por tres filtros conectados en serie, que a su vez cuentan con dos componentes, el porta cartuchos y el cartucho. Los cartuchos fueron impresos en resina y en su interior se encuentra la disposición del carbón activado que se hizo en función de los tamaños de malla de mayor a menor. Debido a que fueron concentraciones diferentes se hizo dos cartuchos adicionales, pues si bien es cierto el sistema está preparado para únicamente tres filtros, la eficiencia del proyecto radica en encontrar la concentración óptima y funcional de nanopartículas de cobre, pudiendo intercambiar el filtro del medio con tres cartuchos distintos, uno por cada disolución. Para corroborar las eficiencias de cada disolución se tomó muestras, una para el primer filtro y tres por filtro a partir del segundo, teniendo un total de siete pruebas, estas fueron sometidas a estudios de calidad de agua y presencia de coliformes fecales encontrando resultados óptimos para las tres concentraciones, pero resaltando la eficacia del 100% para la concentración más baja. En este sentido, se concluyó que las concentraciones de nanopartículas de cobre no necesariamente deben ser altas para obtener buenos resultados.

Palabras clave: <SISTEMA DE TRATAMIENTO>, <AGUAS SERVIDAS>, <NANOPARTÍCULAS DE COBRE>, <CARBÓN ACTIVADO>, <CALIDAD DE AGUA>

2161-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

The following technical project presents the development of a wastewater treatment system complementary to those existing in rural communities in Ecuador, taking the community of “San Vicente de Lacas” as a starting point. This system must be efficient and easy to implement, which is why alternatives were sought to achieve this objective, the most suitable being the use of copper nanoparticles. The prototype sizing was based on controlled flow rates and standardized calculations. For this reason, it consists of two main parts: a reservoir tank that was used as a cistern with a capacity of 250 liters connected to a pump and an elevated tank. Then, the system comprises three filters connected in series, which have two components: the cartridge holder and the cartridge. The cartridges were printed in resin, and inside is the arrangement of the activated carbon that was made based on the mesh sizes from largest to smallest. Because they were different concentrations, two additional cartridges were made because although the system is indeed prepared for only three filters, the efficiency of the project lies in finding the optimal and functional concentration of copper nanoparticles, being able to exchange the medium filter with three different cartridges, one for each solution. Samples were taken to corroborate the efficiencies of each solution. One for the first filter and three per filter from the second, having a total of seven tests; these were subjected to studies of water quality and the presence of fecal coliforms, finding optimal results for the three concentrations but highlighting the 100% effectiveness for the lowest concentration. It was concluded that the concentrations of copper nanoparticles do not necessarily have to be high to obtain good results.

Keywords: <TREATMENT SYSTEM>, <WASTEWATER>, <COPPER NANOPARTICLES>, <ACTIVATED CARBON>, <WATER QUALITY>



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas servidas en Ecuador es un tema que requiere especial atención para garantizar la salud pública y la protección del medio ambiente. Actualmente, el crecimiento poblacional que se genera en diversas ciudades o comunidades hace que cada vez se acumulen más desechos que generalmente terminan en ríos o afluentes de agua y que finalmente se depositan en el mar. A pesar de que algunas de estas aguas servidas pasan por un tratamiento específico antes de ser devuelta a los ríos, no siempre se cumple con los parámetros establecidos en las normas del control de calidad del agua. Recientemente se están investigando diversas tecnologías para mejorar la eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, una de las tecnologías emergentes en este ámbito es el uso de nanopartículas de cobre (Punia et al., 2021).

Las nanopartículas son de un tamaño extremadamente reducido, inferior a 100 nanómetros, que han presentado propiedades exclusivas debido a su pequeño tamaño y que pueden ser aprovechadas para mejorar la eficiencia en los sistemas de desinfección del agua. Por ejemplo, las nanopartículas de cobre tienen características antibacterianas que favorecen la eliminación de bacterias patógenas presentes en las aguas residuales, también posee propiedades que se han estudiado en el tratamiento de aguas residuales, como su capacidad para oxidar contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua (Luan, Teychene y Huang, 2019).

Sin embargo, no todo es positivo ya que el uso de nanopartículas en el tratamiento de aguas residuales también plantea varios desafíos ante el medio ambiente, la seguridad y salud de las personas. En este sentido, es imprescindible garantizar que las nanopartículas utilizadas puedan ser retenidas por el sistema de filtración mediante carbón activado, evitando que se desprendan al medio ambiente y que presenten riesgos latentes para la salud humana. Por lo tanto, el sistema que se plantea en este documento es con la finalidad de seguir investigando y desarrollando tecnologías de tratamiento de aguas residuales que utilicen nanopartículas de manera controlada, segura y efectiva para la comunidad (Bernier et al., 2018).

La metodología utilizada en el desarrollo de este tema de integración curricular fue comprender el comportamiento de las nanopartículas a través de lo investigado en las diversas bibliografías, posteriormente plantear un sistema analizado por medio de simulación computacional y luego se construyó un prototipo para comprobar su funcionamiento que corrobore los resultados requeridos para el sistema de tratamiento de aguas residuales.

En resumen, el uso de nanopartículas de cobre en el tratamiento de aguas servidas es una tecnología emergente con gran potencial para mejorar la eficacia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, para que posteriormente puedan ser reutilizadas en sistemas de riego agrícola o incluso para una posible potabilización. Sin embargo, es necesario enfrentar los desafíos asociados con el uso de nanopartículas y garantizar que se cumplan las medidas de seguridad.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Mediante datos publicados por la Organización Mundial de la Salud (2022), el agua para consumo humano microbiológicamente contaminada tiene la capacidad de transmitir enfermedades y, según se calcula, causa 485 000 muertes por diarrea cada año. Aunque los riesgos tóxicos más relevantes para el agua de estas características provienen del arsénico, el fluoruro, el nitrato, pesticidas, productos farmacéuticos y los plásticos en general.

Mientras en el Ecuador, según datos recolectados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en 2020, el 73,8% de Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM) realizaron tratamientos de aguas residuales, previo a su descarga final; mientras que el 23% de municipios no realizan tratamiento alguno (INEC, 2016).

En la provincia de Chimborazo existen varias comunidades que no cuentan con un sistema adecuado de tratamiento de aguas residuales, las cuales son vertidas directamente en ríos, provocando diversas enfermedades en sus propios habitantes y generando una creciente contaminación a los cultivos agrícolas que son regados con esta agua y que posteriormente consumen o comercializan estos alimentos, generando una cadena de enfermedades e infecciones en la población (Terán et al., 2021).

Por ejemplo, en la comunidad de San Vicente de las Lacas ubicada en las afueras de Riobamba, vía a Penipe, se encuentra una pequeña planta de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales que propone depurar el agua de agentes microbianos y devolver el agua a su normal cauce con parámetros de calidad impuestos por la ley. Sin embargo, es necesario proveer una mayor calidad al agua a la salida de la planta de tratamiento para evitar enfermedades graves en los habitantes del sector.

1.2. Planteamiento del problema

El siguiente trabajo toma como referencia el estado actual del sistema de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de San Vicente de las Lacas, con la finalidad de analizar el agua tratada a la salida del sistema y a través de la utilización de nanopartículas de cobre como agente bactericida, mejorar las condiciones del agua antes de ser devueltas al afluente de riego. Dichas nanopartículas atacan a microorganismos, bacterias y agentes indeseables debido a que sus propiedades físicas y químicas actúan sobre los sistemas biológicos de los microorganismos, siendo elementos bactericidas, ideal para la purificación de agua. (Almaya et al., 2012, p. 87).

Mediante la síntesis y el uso de nanopartículas de cobre, se produce una serie de reacciones en el interior de los tanques, en las cuales se degradan los diferentes contaminantes del agua dando como resultado final un proceso de depuración exitoso y la disminución de los parámetros ambientales para la devolución de agua tratada. Dando importancia a la retención de las

nanopartículas utilizadas en el proceso para evitar la afectación de la naturaleza y de los habitantes en general.

Dicho trabajo permite entender el funcionamiento del sistema, como operan las distintas variables para aumentar la remoción de los contaminantes y evitar el flujo de nanopartículas hacia la naturaleza. De esta manera, se adquiere la experiencia y el conocimiento para la construcción futura de un pequeño prototipo que evidencie un correcto desenvolvimiento para el tratamiento de aguas residuales.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica

Se requiere diseñar un prototipo de pruebas que permita implementar nanopartículas de cobre en el agua contaminada, que posteriormente sea desinfectada y devuelta a su cauce natural para de esta forma desarrollar la nanotecnología tanto en la Facultad de Mecánica como en la Facultad de Ciencias de la ESPOCH, para lo cual es necesario aplicar cálculos matemáticos y métodos computacionales de diseño mediante software CAD, realizar una adecuada selección de materiales, además de analizar el compartimiento de las nanopartículas para verificar la acción antibacteriana y desinfectante que se produzca en el prototipo y la retención adecuada de las nanopartículas evitando su exposición en la naturaleza.

1.3.2. Justificación social

Los resultados favorables del proyecto tienen un impacto positivo en la sociedad ya que los habitantes de sectores aledaños a la planta de tratamiento de humedales artificiales son beneficiados con la obtención de agua que esté dentro de los parámetros técnicos que indican las normas de control de calidad del agua. Pudiendo utilizar este líquido con mayor seguridad en el riego de plantaciones y el cultivo de alimentos.

De esta forma se previene la contaminación ambiental y el deterioro a la salud de las personas que tienen contacto directo con las afluentes hídricas y hacen uso de ella. Evitando la propagación de enfermedades provocadas por el consumo de agua contaminada y la proliferación de bacterias en el riego de cultivos que se realiza en el sector.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y construir un sistema para el tratamiento de aguas servidas para uso agrícola mediante carbón activado y nanopartículas de cobre.

1.4.2. Objetivos específicos

- Estudiar el proceso de la síntesis de nanopartículas de cobre para una correcta utilización en el proceso del tratamiento del agua.
- Determinar los parámetros de tratamiento del agua para uso agrícola de acuerdo con lo especificado en el Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULA).

- Calcular y analizar los datos adquiridos para establecer un adecuado dimensionamiento de los componentes que integran el sistema de tratamiento de agua.
- Construir un prototipo para el proceso de tratamiento de aguas residuales con la implementación de nanopartículas de cobre para analizar el comportamiento de los microorganismos presentes en el agua a tratar.
- Evaluar los resultados de las pruebas realizadas en el prototipo construido con la finalidad de obtener datos numéricos y realizar una adecuada comparación.
- Verificar que los niveles de contaminación disminuyeron con la aplicación de las nanopartículas para establecer la calidad del agua dentro de los parámetros técnicos descritos en el TULA.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Aguas servidas

Las aguas servidas se pueden clasificar en función de diversos criterios, tales como:

2.1.1. *Según su naturaleza*

Según su naturaleza, se dividen en contaminantes conservativos y contaminantes no conservativos. Los contaminantes conservativos están presentes en los ríos, están determinados por la ley de dilución, que establece la relación entre el caudal del vertido y el de los ríos. Mientras que los contaminantes no conservativos son aquellos compuestos orgánicos e inorgánicos que pueden sufrir cambios a través de procesos físicos, químicos o biológicos en los ríos y no están directamente relacionados con la concentración del vertido. Entre los ejemplos de contaminantes no conservativos se encuentran el amoníaco, los fenoles y la materia orgánica (Granja y Tapia, 2013, p. 17-19).

2.1.2. *Según su origen*

Cabe destacar que el término antropogénicas son las que genera el hombre en sus diversas actividades, descartando en este apartado aquellas aguas residuales de origen natural, debido a que esta última hace referencia únicamente a contaminantes referentes a hojas, tierra y pasto arrastradas hacia corrientes de agua naturales.

2.1.2.1. *Aguas residuales municipales domésticas*

En términos precisos, las aguas residuales domésticas se refieren al agua utilizada para fines de higiene, como baños, cocinas y lavanderías. Estas aguas residuales contienen principalmente residuos humanos que son eliminados a través de instalaciones de plomería y sistemas de alcantarillado. También pueden incluir residuos generados en establecimientos comerciales, públicos y similares. Se estima que las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca de 99,9 % y apenas 0,1 % de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, esta pequeña fracción de sólidos es la que presenta los mayores problemas en su tratamiento y su disposición (Almaya et al., 2012, p. 87).

2.1.2.2. *Aguas residuales municipales de servicio*

Se refieren a las aguas residuales generadas en áreas urbanas y suburbanas, las cuales pueden ser originadas en diferentes lugares como hogares, comercios, instituciones y otros establecimientos. Las aguas residuales municipales de servicio incluyen tanto las aguas residuales domésticas como las industriales y pueden contener una amplia variedad de contaminantes tales como materia orgánica, nutrientes, metales pesados, productos químicos tóxicos y microorganismos patógenos. Es decir, las aguas residuales del tipo municipales poseen grandes volúmenes, un alto contenido de materia orgánica y por ende presencia de diferentes tipos de patógenos.

2.1.2.3. Industriales

Acorde con el informe de vigilancia tecnológica para tratamientos avanzados de aguas residuales industriales, se definen a las mismas como todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de origen pluvial. Las aguas residuales generadas por diversas instalaciones industriales contienen tanto compuestos orgánicos como inorgánicos. En comparación con las aguas residuales domésticas, los efluentes industriales a menudo contienen sustancias que no pueden ser eliminadas por métodos de tratamiento convencionales, ya sea porque están presentes en altas concentraciones o debido a sus características químicas.

Muchos de los compuestos orgánicos e inorgánicos que se han identificado en aguas residuales industriales son objeto de regulación especial debido a su toxicidad o a sus efectos biológicos a largo plazo (Rodríguez et al., 2006, p. 10).



Ilustración 2-1: Clasificación de las aguas residuales

Fuente: Granja y Tapia, 2013

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

2.1.2.4. Agropecuarias

Ahora bien, se puede encontrar materia orgánica en todas las aguas residuales, aunque algunas sustancias son más peligrosas para el medio ambiente y necesitan más atención para reducir su efecto como es el caso de las aguas residuales industriales. Puesto que son especialmente complicadas porque contienen una mezcla de materia orgánica e inorgánica que no se puede tratar de la misma manera para su recuperación o disposición adecuada.

Además, en muchas ocasiones, contienen compuestos orgánicos en concentraciones demasiado bajas para que su recuperación sea rentable, pero lo suficientemente altas para ser una fuente importante de contaminación, como los bifenilos policlorados, fenoles y otros, que en concentraciones menores a 1 g/L pueden causar daños irreparables a los organismos acuáticos y a la salud humana. Estos compuestos orgánicos tienen diferencias estructurales que explican su

efecto contaminante en el agua y en la naturaleza, por lo que se deben analizar sus principales características para poder definir posibles formas de eliminarlos de las aguas residuales y mejorar la calidad del agua (García, 2001, p. 5-6).

2.1.3. Composición

La composición de las aguas residuales es de aproximadamente 99.9% agua, mientras que el resto está formado por materia sólida que a su vez se divide en materia mineral y materia orgánica. La materia mineral se origina de los subproductos que son desechados en el día a día y de la calidad del agua potable que abastece a los hogares. La materia orgánica proviene exclusivamente de la actividad humana y está compuesta por materia carbonácea, proteínas y grasas (Rojas, 2002).

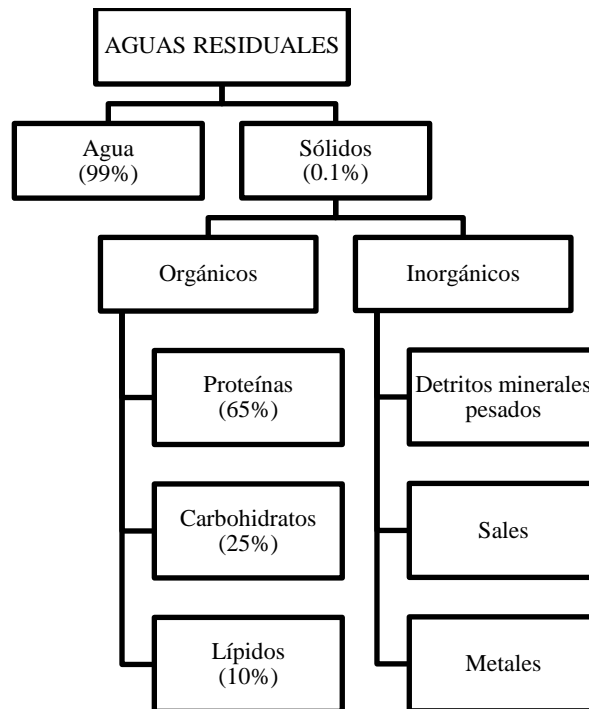


Ilustración 2-2: Composición de las aguas residuales

Fuente: Lara, 2011

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Los contaminantes orgánicos generan como consecuencia la reducción del oxígeno, producto de la degradación biológica de los compuestos. En el caso de los contaminantes inorgánicos, el resultado ha sido un posible efecto tóxico (Raffo y Ruiz, 2014).

2.1.4. Caudales de aguas residuales

Las aguas residuales varían su caudal según la utilización de los usuarios, provocando una dificultad para medir con precisión este valor. La unidad básica para el caudal es volumen de agua residual (m^3) por unidad de tiempo (día). Las unidades utilizadas para expresar el caudal de diseño de diferentes equipos en la planta de tratamiento son variables. En equipos con bajo tiempo de retención hidráulica como las rejillas y los desarenadores, el caudal de diseño se expresa en m^3/s , mientras que para los tanques de sedimentación se expresa en m^3/h (Amy et al., 2017).

2.2. Tratamiento de aguas servidas

El tratamiento de las aguas residuales fue realizado con la intención de prevenir la contaminación química, física, biológica, bioquímica, y radioactiva de los cuerpos de agua receptores. El tratamiento de las aguas residuales ha sido provocado por el elevado nivel de desarrollo que ha experimentado la civilización mundial y que se caracteriza por el desenfrenado aumento de la densidad demográfica y el desarrollo industrial. Las principales razones por las que se ha realizado un tratamiento de las aguas residuales son: salud pública, higiene, economía, estética y cuestiones legales (Rojas, 2002, p. 9).

2.2.1. Proceso del tratamiento de aguas servidas

El proceso básico que se realiza para el tratamiento de aguas servidas se evidencia en la siguiente ilustración:

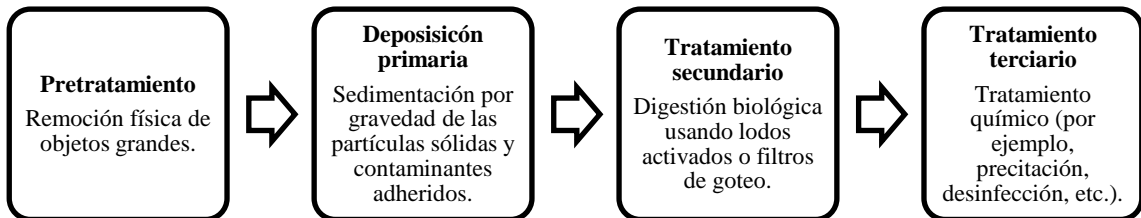


Ilustración 2-3: Proceso para el tratamiento de aguas servidas

Fuente: Reynolds, 2022

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

2.3. Nanotecnología

Empleando las palabras de Calle (2010), la palabra nanotecnología ha sido usada extensivamente para definir la ciencia y técnicas que se aplican a un nivel de nano escala, esto es una medida extremadamente pequeña, que permite trabajar y manipular las estructuras moleculares y sus átomos.

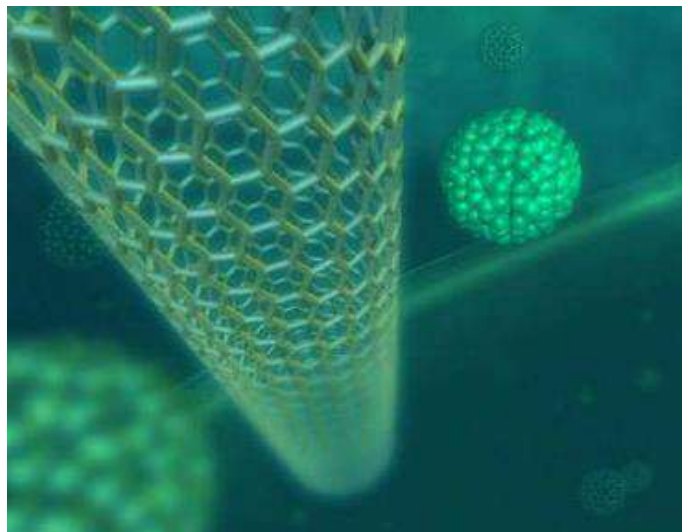


Ilustración 2-4: Nanotubos de carbono

Fuente: Calle, 2010

2.3.1. Riesgos para la salud

El uso de nanotecnología trajo consigo enormes beneficios para enfrentar varios retos en distintos ámbitos de la vida cotidiana, pero se tiene que considerar los efectos negativos asociados al uso de nanopartículas. Varios científicos han mostrado su preocupación ante los estragos a largo plazo ligado con las aplicaciones de nanotecnología, porque en la actualidad se sabe muy poco sobre las consecuencias para la salud humana. Por ello, es importante tener especial cuidado en la manipulación y uso de nanopartículas para evitar el contacto directo y prevenir cualquier tipo de afectación (Mendoza y Rodríguez, 2007, p. 172).

Es importante un manejo responsable de las nanopartículas de cobre, a través del uso de equipos de protección como mascarillas, guantes, gafas de seguridad y una ropa adecuada, tratando de minimizar el contacto directo entre el cuerpo y las nanopartículas.

2.3.2. Riesgos para el medio ambiente

Al igual que la salud se puede ver afectada por la nanotecnología, los riesgos para el medio ambiente son latentes, porque los productos que han sido fabricados a base de nanopartículas al desecharse son como cualquier otro producto se descomponen en un intervalo de tiempo determinado, pero al hablar de nano-basura se convierte en un problema difícil de abordar. El tamaño de estas partículas hace que sea prácticamente imposible de limpiar, afectando distintos tipos de ecosistemas con la alteración de su entorno natural. Es así que, en 2005, se demostró mediante análisis de laboratorio que eran tóxicas para las bacterias del suelo y otras pruebas indicaron que podrían causar daño cerebral en los peces (Callisaya, 2010, p. 89).

En este sentido, se suma la responsabilidad civil de manejar con precaución los desechos de nanopartículas, tomando en consideración el daño irremediable que se puede producir ante el medio ambiente.

2.4. Nanopartículas de cobre

Las nanopartículas de cobre cuentan con propiedades antifúngicas y antibacterianas, lo cual ha resultado en una gran área de estudio y presentándose como un recambio viable para combatir microorganismos en diferentes tipos de aplicaciones. Varios investigadores han asegurado que su proceso de acción antimicrobiana proviene de la liberación de Cu^{2+} , lo que provoca que estos iones ataquen a la membrana celular bacteriana y dañe las células y su función enzimática produciendo la muerte de las bacterias. Además, se ha determinado que cuenta con una baja solubilidad en agua permitiendo una constante liberación de iones Cu^{2+} para un uso prolongado que puede durar lo suficiente para realizar el proceso de desinfección de grandes cantidades de agua, según los volúmenes que se manejen (Díaz, 2021, p. 3-4).

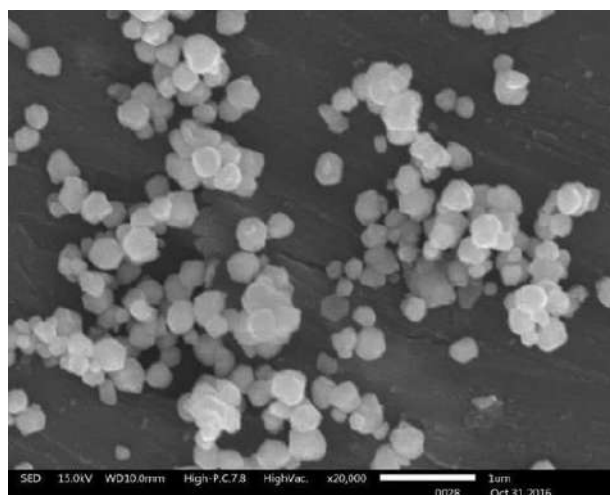


Ilustración 2-5: Microscopía electrónica de barrido de nanopartículas de cobre

Fuente: Pariona et al., 2018

Aunque los estudios para comprender el comportamiento de las nanopartículas de cobre aún se siguen desarrollando, varios casos indicaron que pueden relacionarse e interactuar con elementos como el azufre y fósforo. Por esta razón, biomoléculas presentes como el ADN y proteínas pueden tergiversar sus estructuras moleculares y por ende se produce el efecto bactericida en presencia de las nanopartículas de cobre (Trepiana, 2015, p. 20).

2.5. Carbón activado

Para el tratamiento del agua se hace imprescindible contar con un elemento que tenga la capacidad de filtrar y retener las nanopartículas presentes en el sistema de desinfección, siendo el carbón activado el componente adecuado para realizar esta labor, ya que cuenta con una estructura porosa dispuesta de manera artificial para un mayor grado de porosidad interna. Desde el punto de vista de Rodríguez, el carbón activado es un producto muy adsorbente, porque el tamaño y la distribución de sus porosidades en la estructura pueden ser modificados para satisfacer las necesidades de la tecnología actual y futura (Rodríguez, 2006).



Ilustración 2-6: Carbón activado granular

Fuente: Sevilla, 2011

2.5.1. Aplicaciones del carbón activado en el agua

El uso del carbón activado en el tratamiento del agua es amplio y diverso gracias a su habilidad para atrapar sustancias contaminantes y compuestos orgánicos, esto debido a su versatilidad y capacidad de adsorción lo cual lo convierte en una herramienta efectiva para mejorar la calidad del agua en diversas situaciones. Algunas de las aplicaciones más frecuentes incluyen:

Tabla 2-1: Aplicaciones del carbón activado

Aplicación	Características
Mejorar propiedades organolépticas en el agua.	Mejorar las características sensoriales como sabor, olor y apariencia.
Reducir riesgos para la salud.	Mediante la eliminación de contaminantes el carbón activado es conocido por su capacidad de adsorber una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos.
Prevenir daños a las membranas de ósmosis inversa y a las resinas de intercambio iónico.	El carbón activado es altamente efectivo para eliminar el cloro y los compuestos clorados presentes en el agua. Estos compuestos pueden dañar las membranas de ósmosis inversa y las resinas de intercambio iónico, reduciendo su vida útil y eficiencia.
Tratamiento terciario de aguas residuales.	El tratamiento terciario se enfoca en la eliminación de micro contaminantes, como hormonas, productos de cuidado personal, productos farmacéuticos y sustancias químicas de baja concentración.
Tratamiento para el agua de proceso industrial de alta pureza.	Se pueden utilizar tipos especiales de carbón activado para la adsorción de productos químicos específicos, como colorantes, aceites, compuestos aromáticos y otros contaminantes específicos que puedan estar presentes en el agua de proceso.
Purificación de aire y gases.	Eliminación de olores y compuestos volátiles orgánicos, control de emisiones industriales, descontaminación del aire, purificación de gases en aplicaciones especializadas.

Fuente: Gáfaró y Nigrimis, 2019

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

2.5.2. Tipos de carbón activado

Existen dos categorías principales de carbones activados según su aplicación:

- Carbones activados para purificación en medios líquidos.
- Carbones activados para purificación en medios gaseosos.

Por otro lado, al tratarse de un material adsorbente altamente poroso y con una extensa superficie interna, se pueden distinguir una clasificación particular en función de sus diferentes rangos de superficie interna y por ende en sus variedades comerciales, que van desde 500 hasta 1500 m²/g. Estos rangos se dividen en tres grupos principales, dependiendo del tipo de aplicación.

Tabla 2-2: Tipos de carbón activado

Tipo de carbón	Tamaño de partícula
Carbón activado en polvo	1 – 150 µm
Carbón activado granular	0.5 – 4 mm
Carbón activado extruido	0.8 – 4 mm

Fuente: American Water Chemical

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

2.6. Carbón activado para adsorber gases

Así mismo, se emplea el carbón activado como un medio de filtración, particularmente en la purificación de gases y en el control de emisiones. El proceso de fabricación del carbón activado implica utilizar materias primas con un alto contenido de carbono, lo que permite considerar opciones viables desde el punto de vista económico y técnico, como el uso de residuos como cáscaras de naranja y conchas de coco (De La Hoz, Lugo y Sarmiento, 2019, p. 49-50).

2.7. Carbón activado para el tratamiento de líquidos

Gran parte de los carbones utilizados para tratar gases no son eficaces en el tratamiento de determinados líquidos debido a sus características físicas y químicas, es decir, los materiales menos densos resultan más adecuados para el tratamiento de líquidos, por otro lado, dependiendo del proceso (granulación o pulverización), el carbón activado puede adoptar diferentes formas.

2.7.1. Carbón activado en polvo o PAC

El carbón activado en polvo (PAC) se produce a partir de diversas materias primas como turba, carbón bituminoso, cáscaras de coco, madera y carbón de lignito. Durante el proceso de activación, estas materias primas se someten a altas temperaturas en presencia de vapor o a temperaturas moderadas con productos químicos activadores. En primer lugar, se eliminan los componentes volátiles de la materia prima, lo que crea una estructura porosa fina. Posteriormente, los poros se agrandan, lo que resulta en una estructura interna de poros amplia necesaria para lograr una adsorción significativa de sustancias químicas orgánicas. Después de la activación, se pueden llevar a cabo procesos adicionales, como trituración, cribado, clasificación y envasado. Para utilizar el PAC, se mezcla con agua para crear una suspensión que se añade en un momento apropiado durante el proceso de tratamiento del agua. El carbón activado, junto con los

contaminantes que ha adsorbido, se elimina mediante sedimentación o filtración. El número de yodo se emplea como una medida de la superficie disponible de un carbón y su capacidad para eliminar ciertos sabores, olores químicos y también impurezas de bajo peso molecular. Un valor mínimo de 500 mg/g de índice de yodo se considera necesario para cualquier tipo de PAC. Este valor se determinó a través de pruebas de rendimiento realizadas en la mayoría de los carbones activados fabricados que han sido exitosamente utilizados en el tratamiento del agua (American Water Works Association, 2010, p. 7-10).

2.7.2. Carbón activado granular o GAC

Los principales componentes utilizados en la fabricación de carbones activados granulares son coque de petróleo, carbón bituminoso y lignito. Estos materiales se someten a un proceso preliminar antes de ser cocidos en un horno, donde son calentados a altas temperaturas y reaccionan con vapor para desarrollar una estructura interna de poros extensa, necesaria para la adsorción. El procesamiento adicional incluye trituración, clasificación, tamizado y empaquetado. La elección de la materia prima y las condiciones de activación empleadas influyen en la capacidad de adsorción y en las propiedades físicas de los carbones producidos. En general, los carbones granulares fabricados a partir de coque de petróleo presentan un tamaño de poro promedio más pequeño, que se traduce en una mayor área superficial y una alta densidad aparente. Con respecto a la distribución de tamaño de partícula podemos notar que los carbones activados granulares con una amplia variedad de distribuciones de tamaño han demostrado ser efectivos en su desempeño. Sin embargo, es difícil especificar una distribución de tamaño adecuada para una aplicación específica sin considerar la naturaleza del agua a tratar, el proceso de tratamiento particular y otros factores de control. En general, las partículas de mayor tamaño permiten tasas de carga hidráulica y retrolavado más altas, pero pueden tener tasas de adsorción ligeramente más bajas. La distribución de tamaño de partícula para un tipo específico de carbón generalmente se define mediante un rango de tamaño de partícula, rango de tamaño efectivo y coeficiente de uniformidad máximo.

Cuando se utiliza carbón activado granular en el tratamiento de agua municipal, este se expone a diversas fuerzas externas durante el transporte, la carga en los lechos de adsorción y el retrolavado. Estas fuerzas pueden provocar el aplastamiento de los gránulos de carbono por impacto, la abrasión entre los gránulos y la generación de finos no deseados. Debido a la dificultad de desarrollar una prueba que simule todas las condiciones de manipulación posibles, la industria no ha establecido una prueba estándar para predecir la durabilidad del carbón activado (American Water Works Association, 2017, p. 673).

Además, un aspecto crucial para tener en cuenta en relación con el carbón activado granular (GAC) es la posibilidad de su regeneración, ya sea in situ o fuera del sitio. Por lo general, en instalaciones de gran tamaño es factible llevar a cabo una regeneración in situ, mientras que en

instalaciones más pequeñas no resulta viable. El método más común de regeneración del carbón activado implica la activación térmica, que consta de tres etapas principales: el secado, seguido del calentamiento y finalmente, la gasificación de los residuos orgánicos mediante un gas oxidante (American Water Chemical).

2.8. Elementos de un filtro de carbono activado

Es fundamental definir la configuración y geometría de un filtro de carbón activado, con el objetivo de lograr una interacción efectiva entre el fluido a tratar y el carbón activado. Para ello, es necesario seleccionar cuidadosamente el tipo de carbón activado apropiado en función de su aplicación, no obstante, existen ciertos elementos básicos que se deben considerar al momento de diseñar un filtro de carbón activado los cuales son:

Tabla 2-3: Características de un filtro de carbón activado

Elemento	Características
Soporte mecánico	Contiene el lecho filtrante.
Carcasa	Posee las líneas de entrada y salida del fluido.
Lecho filtrante	Elemento donde se genera la retención de solutos.
Materiales químicamente resistentes	Materiales que eviten corrosión.
Materiales resistentes al proceso	Duración en condiciones adversas.
Materiales no tóxicos	Al formar parte de un sistema sanitizante debe estar conformado a partir de materiales que no sean nocivos para las personas y la naturaleza.

Fuente: Cartuche, 2022, p. 11

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

2.9. Eficiencia de los filtros de carbón activado granular

La efectividad del carbón activado para la adsorción de compuestos en el agua, así como la cantidad requerida y su duración, dependen de varios factores, tales como:

2.9.1. Filtración

El proceso de filtración se entiende como aquel por el cual el agua a tratar (efluente) pasa a través de un medio filtrante, de esta forma a medida que se atraviesa dicho medio, se retienen las impurezas, por esta misma razón dependiendo del tipo de impurezas y el medio, existen diferentes métodos físicos y químicos para la eliminación de contaminantes del agua.

2.9.2. Adsorción

Dentro de los principios que sustentan el proceso de filtración se encuentra la adsorción, dicho proceso como lo hace notar la AWC, se refiere a la eliminación de una impureza de un líquido a la superficie de un sólido, una partícula suspendida nacida en agua se adhiere a una superficie sólida cuando la adsorción ocurre. La adsorción por lo tanto hace referencia a la unión de átomos, iones o moléculas de un gas, líquido o sólido a una superficie. En el contexto de la filtración de

agua, las partículas sólidas suspendidas en el líquido se adhieren a la superficie sólida del medio utilizado (American Water Chemical).

La cantidad de adsorbato que puede captar un adsorbente (carbón activado) se encuentra en función de las características y de la concentración del adsorbato que no es más que las moléculas adsorbidas en la superficie del sólido, con mayor concentración que en la fase líquida y de la temperatura en general. Dicha cantidad de materia adsorbida en función de la concentración a temperatura constante se conoce como isoterma de adsorción. Las moléculas se unen a la superficie de carbón activo y se produce el proceso que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2-4: Proceso de adsorción en la filtración

Macrotransporte	Microtransporte	Adsorción
Movimiento del material orgánico a través del sistema de macroporos del carbón activo.	Movimiento del material orgánico a través del sistema de microporos del carbón activo.	Adhesión física del material orgánico a la superficie del carbón activo en los mesoporos y microporos del carbón activo.

Fuente: Sevilla, 2011

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

2.10. Procesos de adsorción

Los procesos de adsorción se han utilizado para el tratamiento de agua potable con la finalidad de eliminar compuestos que causan color, olor y sabor desagradables, al tratarse básicamente de un proceso de acumulación, se ha podido realizar a partir de reacciones o atracciones físicas.

2.10.1. Quimisorción

Tal como menciona el Departamento de Química de la Universidad de Valencia, las moléculas de gas atrapadas se mantienen unidas a la superficie, formando un enlace químico fuerte, definiendo así las características propias de la quimisorción. Estos enlaces mencionados son fuertes, producto de entalpías mayores a los de otros procesos, dicho proceso implica que se rompan y formen enlaces, por lo que la molécula que es químicamente absorbida no mantendrá los mismos enlaces que poseía durante su fase gaseosa (Tunón et al., 2009).

Ahora bien, se han podido emplear diferentes criterios que permitan diferenciar entre los procesos de adsorción física y adsorción química, para que se considere quimisorción necesariamente debe existir una transferencia de electrones, generalmente lenta e irreversible y con una energía de activación apreciable. El criterio de transferencia de carga es usualmente usado para diferenciar entre el proceso de adsorción química y física (Martínez, 2012, p. 85).

2.10.2. Fisorción

La fisorción ha sido condicionada por las fuerzas de atracción y repulsión que influyen en la condensación de vapores y en la desviación de la idealidad de los gases reales. La medición del

descenso de la presión (y/o volumen) del gas o el aumento de peso del adsorbente se puede emplear para seguir el proceso de adsorción a una temperatura constante. Tras un tiempo determinado, la presión se mantiene constante y el peso del sólido deja de aumentar. La cantidad de gas adsorbida se ve influenciada por varios factores, incluyendo la presión, la temperatura, la superficie específica y la porosidad del adsorbente, y la naturaleza del sistema (Martín, 1990, p. 7). La fuerza predominante en la fisisorción es la fuerza de Van der Waals. A pesar de que esta interacción es muy débil, de alrededor de 10 a 100 MeV (un millón de veces un electrón voltio), la fisisorción tiene un papel importante en la naturaleza. Cuando un átomo adsorbido se acerca a una superficie, la fuerza de Van der Waals se vuelve atractiva. Sin embargo, en este proceso, la función de onda del electrón empieza a superponerse con la de los átomos de la superficie, lo que resulta en un aumento de la energía del sistema debido a la ortogonalidad de las funciones de onda del átomo que se aproxima y de los átomos de la superficie (Zaremba y Kohn, 1977).

2.10.3. Factores que afectan la adsorción

Debido a la complejidad de las superficies sólidas y nuestra falta de habilidad para caracterizar completamente sus interacciones con las moléculas adsorbidas, nuestro entendimiento del proceso de adsorción se ve restringido. A pesar de esto, todavía podemos desarrollar una descripción de los factores que influyen en la adsorción, siendo el más importante el hecho de que la capacidad de adsorción de un adsorbente está directamente relacionada con su área superficial específica (Smith, Van Ness y Abbott, 1997, p. 613).

Entre los principales factores que influyen en la adsorción se encuentran los siguientes:

1. Las características del adsorbente, que incluyen:
 - Propiedades texturales como su área superficial específica, diámetro promedio de poros y volumen de poros.
 - Propiedades fisicoquímicas, como la carga de su superficie, la concentración y los tipos de sitios activos y la composición química.
2. Las propiedades físicas y químicas del adsorbato, como el tamaño de la molécula, su polaridad, solubilidad, composición química y concentración en la solución.
3. Las propiedades presentes en la fase líquida, tales como la temperatura, el pH, la polaridad y fuerza iónica (Amézquita, 2010, p. 13).

2.11. Capacidad de adsorción del carbono activado

La capacidad de adsorción de un carbón activado se ve influenciada por diversos factores, incluyendo su área superficial, distribución de poros y composición química. El área superficial es un factor clave, ya que proporciona una mayor cantidad de sitios de adsorción para las moléculas de adsorbato. Además, los grupos químicos presentes en la superficie del carbón activado son otro factor importante que influye en el proceso de adsorción. Estos grupos pueden incluir átomos heteroatómicos que pueden crear grupos superficiales ácidos o básicos que afectan

el carácter hidrófobo del carbón activado. La presencia de grupos carboxilos es responsable de las propiedades ácidas de la superficie de los carbones activados, mientras que los electrones de las capas grafénicas pueden dar lugar a propiedades básicas (Rodríguez, Giraldo y Moreno, 2010, p. 2). La capacidad de adsorción de un carbón activado depende de la combinación de estos factores, y puede variar en función de la fuente y el proceso de activación utilizado para producir el carbón. Es importante seleccionar el carbón adecuado para una aplicación específica con el fin de maximizar su capacidad de adsorción y minimizar los costos de tratamiento.

2.11.1. Propiedades de textura del carbón activado

Las propiedades de textura del carbón activado se relacionan con las características físicas de su superficie porosa, estas características incluyen el área superficial. El área superficial hace referencia al tamaño del área de los poros que se ha generado en la estructura del carbón activado, para este tipo de materiales es extremadamente elevada, evaluada mediante la absorción de nitrógeno y se destaca por su gran proporción de microporos (poros con un diámetro inferior a 2 nanómetros). Estas particularidades le otorgan notables propiedades adsorbentes que pueden ser empleadas en diversas áreas (Giraldo, García y Moreno, 2007, p. 3).

El tamaño de poro confiere diferentes facultades al carbón activado, por ejemplo, en general, los microporos que cuentan con un tamaño menor a 2 nm le brindan la elevada superficie y capacidad de retención, mientras que los mesoporos con un tamaño aproximado de entre 2-50 nm y macroporos de tamaño mayor a 50 nm son necesarios para retener moléculas de gran tamaño y para auxiliar el acceso y la rápida expansión de las moléculas hasta la superficie interna del sólido. Por otra parte, el carbón activado no cuenta con abundante especificidad ante un proceso de retención, es un adsorbente considerado universal. Sin embargo, por su naturaleza careciente de polos y por el tipo de fuerzas que se aplican en el proceso de adsorción, hace favorable la retención de moléculas, con características apolares principalmente y de alto volumen molecular. En cambio, sustancias presentes como el oxígeno, hidrógeno y agua, prácticamente no pueden ser retenidas por el carbón activado a temperatura ambiente (Rodríguez y Molina, 2002, p. 163).

Acorde con la información presentada según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) y de acuerdo con materiales en adsorción y catálisis mostrada en la revista de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ), tenemos la siguiente clasificación de tamaño de poro:

Tabla 2-5: Clasificación del tamaño de poro

Clasificación	Tamaño (nm)
Macroporos	≥ 50
Mesoporos	2 - 50
Supermicroporos	0.7 - 2
Ultramicroporos	≤ 0.7

Fuente: Rodríguez, 2010

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Finalmente, dentro de las propiedades de textura se encuentra la designada como distribución de poros que puede ser del tipo homogénea o heterogénea, la importancia de este tipo de distribución radica en que una distribución de poros homogénea permite una adsorción más efectiva, debido a que los poros se distribuyen de manera uniforme a lo largo del material.

Existen diferentes mecanismos para evaluar la distribución de poros del carbón activado, esto resulta evidente pues al influir directamente en el tamaño y la accesibilidad de los poros, resultará en que poros más grandes pueden adsorber moléculas más grandes, mientras que los poros más pequeños serán efectivos en el proceso de adsorción de moléculas más pequeñas. Por lo tanto, las propiedades de textura del carbón activado son cruciales para su capacidad de adsorber diversos contaminantes en diversas situaciones. Es decir, la optimización de estas propiedades puede mejorar su eficacia en aplicaciones de purificación de agua, aire y procesos industriales.

2.11.2. Tamaño de malla del carbón activado

Las mallas o tamices son empleados en pilas para separar los granos en diferentes fracciones según su tamaño, permitiendo así determinar las distribuciones de tamaño de las partículas. Por lo general, se utilizan mallas o tamices para partículas mayores a aproximadamente 50 micras (0,050 mm). Cada malla o tamiz se identifica mediante un número que indica la cantidad de hilos que se cruzan en cada pulgada cuadrada. Por ejemplo, una malla número 8 tiene 8 hilos verticales y 8 hilos horizontales, formando una cuadrícula por cada pulgada cuadrada.

Las granulometrías de los medios granulares utilizados en el tratamiento de agua se expresan con dos cifras. Por ejemplo, un carbón activado con una granulometría de 8 x 30 indica un rango de partículas que pasan a través de la malla número 8 y quedan retenidas en la malla número 30. Esto significa que la granulometría o el rango de partículas va desde 2.38 mm hasta 0.595 mm (Carbotécnia, 2022). La siguiente tabla muestra la conversión del número de malla de milímetros a pulgadas en base a la US.Standard Sieve.

Tabla 2-6: Abertura de distintas mallas de carbón activado

Número de malla	Abertura(mm)	Abertura (in)
4	4.76	0.187
8	2.38	0.0937
10	2	0.0787
16	1.19	0.0469
20	0.841	0.0331
25	0.707	0.0278
30	0.595	0.0234
35	0.500	0.0197
40	0.420	0.0165

Fuente: Carbotécnia, 2022

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

2.12. Normativa del agua

La Constitución del Ecuador estableció lo fundamental que resulta el derecho de todo ser humano al agua, fue considerado patrimonio estratégico, irrenunciable, de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado y constituye un elemento vital para la naturaleza y la existencia de los seres humanos (Núñez, 2018, p. 3).

En Ecuador, todas las aguas servidas deberían recibir un tratamiento según como manda la ley. Esto consta en el Texto Unificado de Legislación Ambiental TULA, (específicamente en el Registro Oficial - Suplemento N° 387), donde se describen los parámetros del agua para uso agrícola y que son bastante bajos en comparación a estándares europeos (Torske, 2019).

A continuación, se muestran los criterios de calidad para el uso del agua en actividades agrícolas:

Tabla 2-7: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola

PARÁMETRO	EXPRERSADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	Película visible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Zinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Material flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,5
Oxígeno disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

Fuente: Registro oficial suplemento 387, 2015, p. 15

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Además de los criterios anteriormente mencionados, la autoridad ambiental competente proporcionó los parámetros para la interpretación de la calidad del agua para uso agrícola:

Tabla 2-8: Parámetros de los niveles de la calidad del agua para riego agrícola

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN *		
		Ninguno	Ligero Moderado	Severo
Salinidad: (1)				
CE (2)	milimhos/cm	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
SDT (3)	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltración: (4)				
RAS=0-3 y CE		> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
RAS=3-6 y CE		> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
RAS=6-12 y CE		> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
RAS=12-20 y CE		> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
RAS=20-40 y CE		> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9
Toxicidad por iones específicos (5) Sodio:				
Irrigación superficial RAS (6)		< 3,0	3,0 – 9,0	> 9,0
Aspersión		< 3,0	> 3,0	---
Cloruros				
Irrigación superficial	meq/l	< 4,0	4,0 – 10,0	> 10,0
Aspersión	meq/l	< 0,6	0,6 – 3,0	> 3,0
Boro	mg/l	< 0,7	3,0	> 3,0
Efectos misceláneos (7)				
Nitrógeno (N-NO ₃)	mg/l	< 5,0	5,0 – 30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃) solo aspersión	meq/l	< 1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
pH	Rango normal		6,5 – 8,4	
* Es el grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego (1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos (2) CE = Conductividad eléctrica del agua de regadío (1 milimhos/cm = 1000 micromhos/cm) (3) SDT = Sólidos disueltos totales (4) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo (5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos (6) RAS, relación de absorción de sodio ajustada (7) Afecta a los cultivos susceptibles				

Fuente: Registro oficial suplemento 387, 2015, p. 16

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe el procedimiento que se utilizó para la selección de los materiales y los cálculos que se realizaron para lograr los objetivos del trabajo. Los procedimientos que se describen son la metodología del diseño, el cálculo y selección del carbón activado, filtros y tuberías, cálculos del caudal de trabajo, análisis mediante software Solidworks y simulación por medio de software ANSYS para una adecuada construcción del prototipo.

3.1. Metodología del diseño

En el desarrollo de este trabajo se aplicó el método de diseño concurrente, de tal forma que garantice que las necesidades de la comunidad o usuarios potenciales sean cubiertas e incorporen los criterios y sugerencias ingenieriles para adecuar un prototipo con un funcionamiento óptimo, eficaz y seguro. A continuación, se muestra el proceso de diseño que se utilizó para obtener el diseño y simulación del prototipo.

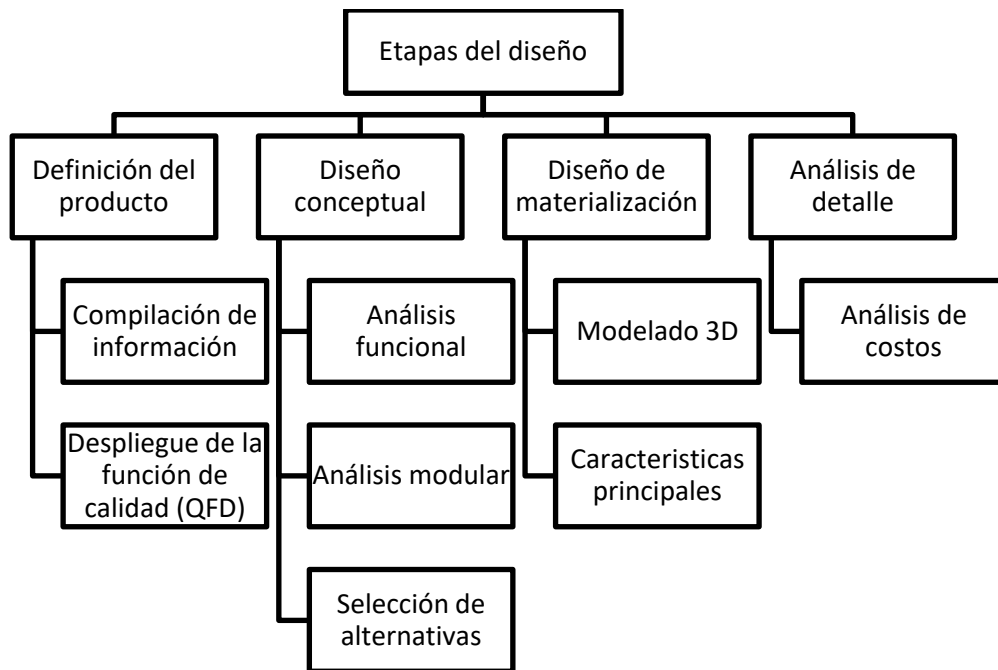


Ilustración 3-1: Etapas para el diseño y construcción

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

3.2. Definición del producto

Los detalles y especificaciones del prototipo a construir se basan en función a la información bibliográfica recolectada en el capítulo anterior, haciendo uso de los conceptos ya estudiados y verificando la existencia de materiales disponibles en el mercado. Cada una de estas particularidades se evaluaron mediante la casa de la calidad (QFD), para determinar las características primordiales que necesitaba el modelo de construcción.

3.2.1. Función de despliegue de calidad (QFD)

3.2.1.1. Voz del usuario

Tomando en cuenta la preocupación de la población ante la necesidad de agua con un tratamiento adecuado, se considera lo siguiente:

Tabla 3-1: Especificaciones del usuario

Voz del usuario	
1	Fácil de usar
2	Bajo costo
3	Mantenimiento accesible
4	Larga duración
5	Amigable con el ambiente
6	Buen caudal de tratamiento
7	Tiempo de operación

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

3.2.1.2. Voz del ingeniero

Conforme a lo establecido por la voz del usuario se propone las siguientes especificaciones técnicas en base a la voz del ingeniero:

Tabla 3-2: Especificaciones del ingeniero

Voz del ingeniero		
1	Selección de materiales	Según lo que ofrece el mercado, para aportar a un fácil mantenimiento del prototipo.
2	Toma de muestras	Con la finalidad de hacer análisis del agua en cada uno de los sistemas filtrantes y verificar el correcto tratamiento del agua.
3	Caudal de flujo laminar	Para realizar un tratamiento apropiado al agua en cada uno de los sistemas de filtración.
4	Nanopartículas de cobre	Se propone su utilización por que su síntesis es más fácil y su toxicidad es relativamente menor en comparación con otras nanopartículas.
5	Adsorción	El tamaño de grano del carbón activado se debe seleccionar de manera oportuna para una mejor retención de partículas.
6	Tamaño del sistema	Debe ser adecuado al caudal que se debe tratar y según la capacidad de los filtros para evitar el paso de las nanopartículas de cobre.
7	Traslucides de componentes	Evita que los microorganismos presentes en el agua se vuelvan resistentes a la acción producida por el efecto antibacteriano de las nanopartículas de cobre.

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

3.2.1.3. Casa de la calidad

La casa de la calidad presenta una estructura que permite evaluar cada uno de los parámetros propuestos por la voz del usuario en conjunto con las propuestas realizadas por la voz del ingeniero, con la finalidad de realizar una selección adecuada de ideas para implementar en el diseño del prototipo, tal como se detalla a continuación.

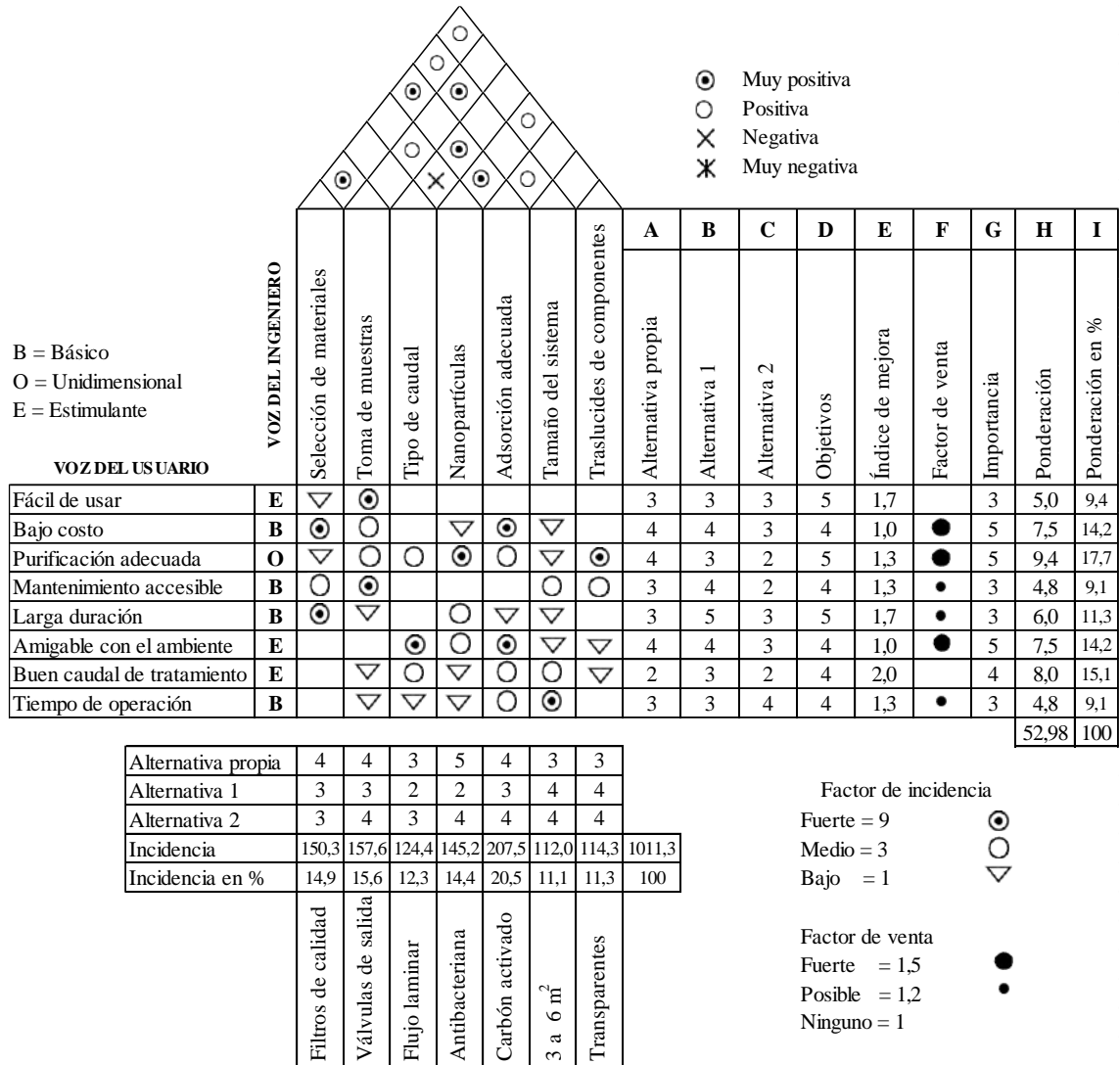


Ilustración 3-2: Casa de la calidad

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

3.2.2. Resultados en base a la casa de la calidad

En base a lo que indica el porcentaje de incidencia se realizó una evaluación a las especificaciones técnicas que tienen un mayor porcentaje de incidencia sobre el prototipo.

3.2.2.1. Adsorción adecuada

Presentó una incidencia del 20.5% en la realización del prototipo, haciendo efecto directo en el bajo costo del sistema y amigable con el medio ambiente. El carbón activado es uno de los elementos que se encuentran con facilidad en el mercado y además presenta un mínimo impacto

ambiental. La adsorción que este material presenta es adecuada para la ejecución del tratamiento de las aguas residuales.

3.2.2.2. Toma de muestras

Es vital realizar diferentes tomas de muestras del sistema, es por ello que presentó una incidencia del 15,6%. Se consideraron válvulas, de las cuales una de ellas permite el funcionamiento de todo el sistema y las otras válvulas permiten obtener muestras de agua después de cada uno de los filtros para verificar que cada uno esté cumpliendo su función.

3.2.2.3. Selección de materiales

Una correcta selección de materiales cuenta con una incidencia del 14.9% en donde se propuso hacer uso de tuberías PVC para el traslado del agua a tratar, además de una estructura que soporte el tanque de acrílico en donde se va a posar el fluido en primera instancia a una altura considerable para que pueda fluir de modo que el efecto bactericida de las nanopartículas de cobre haga su efecto y que el carbón activado realice el correcto trabajo de retención.

3.3. Diseño conceptual

En este apartado se expone el análisis funcional, análisis modular y las alternativas que existen para aportar a la construcción del prototipo de pruebas en base a los criterios relacionados con las etapas del diseño.

3.3.1. Análisis funcional del diseño

Se especifican las entradas y salidas del sistema para el tratamiento de aguas, es decir el planteamiento del funcionamiento del equipo. Tal como se detalla a continuación:

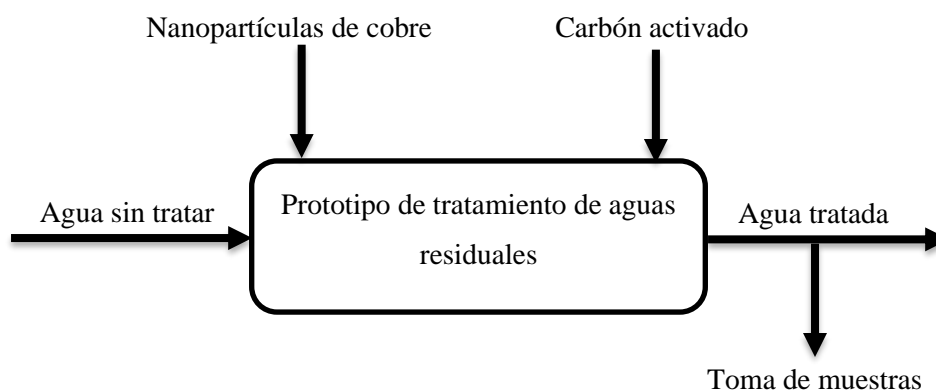


Ilustración 3-3: Análisis funcional del equipo

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Según la ilustración anterior, se requiere de la entrada de agua sin tratamiento, dos acciones que generan las nanopartículas de cobre y el carbón activado, una salida de toma de muestras del sistema y la salida del agua tratada al finalizar el proceso de desinfección.

3.3.2. Análisis modular del diseño

Se detallan los procesos de funcionamiento del sistema según los subprocesos que intervienen en los niveles de desinfección del agua. Como se muestra en la siguiente ilustración:



Ilustración 3-4: Análisis modular del sistema de tratamiento de agua

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

La ilustración anterior muestra el comportamiento que se realiza en el proceso de tratamiento del agua residual, pasando por tres etapas que concluyen con la salida del agua tratada por medio de las nanopartículas de cobre y que posteriormente será devuelta a su afluente natural sin ningún contaminante o agente tóxico para el medio ambiente, siendo apta para ser utilizada en riego agrícola, lo que se comprueba a través de las tomas de muestras y el análisis químico de las mismas.

3.3.3. Alternativas de diseño

Para tener la certeza de elegir la mejor opción, nos basamos en diferentes aspectos con los que cuentan cada una de las alternativas y los comparamos entre sí para seleccionar la ideal. Haciendo un análisis a través de las ventajas y desventajas que presentan sus propiedades, se obtuvo la información que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3-3: Análisis de alternativas del carbón activado

Carbón activado	Malla 8x30	Ventajas	Retención del 80%
		Desventajas	Permite el paso de partículas medianas
	Malla 10x18	Ventajas	Retención del 90%
		Desventajas	Permite el paso de partículas finas
	Malla 12x40	Ventajas	Retención del 99%
		Desventajas	Costo

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

El análisis realizado al carbón activado muestra que la malla 12 x 40 es aquella que retiene mejor las micropartículas que se encuentran en el agua. Sin embargo, las otras mallas también cuentan con un porcentaje adecuado de retención de partículas de diferentes tamaños. En este sentido, se optó por utilizar los tres tipos de mallas en un cartucho de carbón hecho a través de impresión 3D, en capas ordenadas de mayor a menor granulometría, con el objetivo de retener distintos tipos de microorganismos de varios tamaños en cada una de las capas de carbón activado y que sean detenidas las nanopartículas de cobre en el interior del filtro para erradicar la contaminación que estas podrían generar en el ambiente.

Por otra parte, se realizó el análisis de alternativas para recurrir al mejor material para la construcción de la mesa de soporte, encontrando los resultados que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3-4: Análisis de alternativas de materiales de la mesa de soporte

Materiales para mesa de soporte	Acero inoxidable	Ventajas	Resistente a la corrosión Durabilidad
		Desventajas	Costoso Pesado
	Acero estructural	Ventajas	Buena resistencia Precio accesible
		Desventajas	Fácil corrosión
	Aluminio	Ventajas	Ligero Estético
		Desventajas	Débil Fácil deterioro

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

El acero inoxidable pudo ser una buena opción por las propiedades que presenta, porque tiene una apariencia estética muy buena y su durabilidad es excelente, sin embargo, el alto costo del material hace que no sea adecuado para optar por aplicarlo al proyecto. Por lo tanto, se elige el acero estructural comercial para la mesa de soporte, siendo el más adecuado para la aplicación en cuanto a peso y costo del material, además se puede alargar su vida útil con un mantenimiento basado en pintura anticorrosiva.

Tabla 3-5: Análisis de alternativas de filtros y contenedor

Filtros de agua y contenedor principal	Blanco, azul, negro, etc.	Ventajas	Resistente
		Desventajas	Perjudica el correcto tratamiento del agua
	Transparente	Ventajas	Permite el paso de luz y evita el desarrollo de bacterias
		Desventajas	Menos resistente

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

La opción viable es elegir un filtro de agua y un contenedor transparente, para que permita el paso de luz al interior y evite el crecimiento de microorganismos y bacterias en el proceso de desinfección que desarrollan el agua junto con las nanopartículas de cobre.

3.3.4. Evaluación de soluciones del módulo

Se evaluó cada una de las alternativas de solución que se va a aplicar al desarrollo del prototipo a través del método de criterios ponderados, intercambiando cada uno de los criterios y examinando los resultados de cada una de las alternativas, consiguiendo los resultados que se muestran a continuación en las siguientes tablas.

Tabla 3-6: Análisis de criterios ponderados

Parámetros	Costo	Adsorción	Materiales	Tamaño	Mantenimiento	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo		0,5	1	1	1	4,5	0,26
Adsorción	0,5		0,5	0,5	0,5	3	0,17
Materiales	0	1		0	1	3	0,17
Tamaño	1	0	1		0	3	0,17
Mantenimiento	0,5	0,5	1	1		4	0,23
TOTAL						17,5	1

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Tabla 3-7: Análisis del criterio costo

Criterio 1: Costo					
	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A		1	1	3	0,55
B	0,5		0	1,5	0,27
C	0	0		1	0,18
TOTAL				5,5	1,00

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Tabla 3-8: Análisis del criterio adsorción

Criterio 2: Adsorción					
	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A		1	1	3	0,48
B	0,25		0,5	1,75	0,28
C	0	0,5		1,5	0,24
TOTAL				6,25	1,00

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Tabla 3-9: Análisis del criterio materiales

Criterio 3: Materiales					
	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A		1	1	3	0,30
B	1		1	3	0,30
C	2	1		4	0,40
TOTAL				10	1

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Tabla 3-10: Análisis del criterio tamaño

Criterio 4: Tamaño					
	A	B	C	$\Sigma+1$	Ponderación
A		1	1	3	0,35
B	0,5		1	2,5	0,29
C	1	1		3	0,35
TOTAL				8,5	1

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Tabla 3-11: Análisis del criterio mantenimiento

Criterio 5: Mantenimiento					
	A	B	C	$\sum+1$	Ponderación
A		1	0,5	2,5	0,33
B	0,75		1	2,75	0,37
C	0,75	0,5		2,25	0,30
TOTAL				7,5	1

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Tabla 3-12: Resultado final de la selección de alternativas

Resultados Finales							
Conclusión	Costo	Adsorción	Materiales	Tamaño	Mantenimiento	\sum	Prioridad
Alternativa A	0,140	0,082	0,051	0,061	0,076	0,411	1
Alternativa B	0,070	0,048	0,051	0,050	0,084	0,304	2
Alternativa C	0,047	0,041	0,069	0,061	0,069	0,286	3

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

En base a lo analizado se pudo determinar que la mejor opción es la alternativa A para definir los componentes y el prediseño general del prototipo para el tratamiento de aguas residuales con carbón activado y nanopartículas de cobre.

3.4. Diseño de materialización

3.4.1. Estimación del volumen de agua a utilizar

Tomando en consideración que cada uno de los filtros puede albergar aproximadamente 1 250 ml (1.25 L) de agua y que se cuenta con 3 filtros en el sistema, además del largo de la tubería y un excedente de ocho veces la cantidad de agua que necesitan los filtros para mantener una reserva de agua a tratar que se encontrará en el depósito principal, se calcula lo siguiente:

$$V = V_f \cdot n_f + V_t + V_e \cdot n_f \cdot n_r \quad (1)$$

$$V = 1250 \cdot 3 + 5000 + 1250 \cdot 3 \cdot 8$$

$$V = 38\,750 \text{ ml} = 38.75 \text{ L}$$

V: volumen del depósito principal [ml]

n_f : número de filtros [adimensional]

V_t : volumen en la tubería [ml]

V_e : volumen excedente [ml]

n_r : multiplicador de reserva [adimensional]

Por lo tanto, aproximamos este valor a 40 litros de agua con los que va a funcionar el prototipo y por ende el tanque de reserva principal llevará las siguientes medidas:

$$\text{Altura} = 25 \text{ cm}$$

$$\text{Ancho} = 40 \text{ cm}$$

$$\text{Profundidad} = 50 \text{ cm}$$

Con estas medidas se obtiene un volumen de 50 litros, esto para evitar que el fluido se derrame y se mantenga estable en el recipiente.

3.4.2. Características físicas del medio filtrante

Cabe destacar que el carbón activado usado en sistemas de tratamiento de agua se comercializa por lo general en número de malla, esta malla indica la dimensión de la partícula, es decir la distribución del tamaño de un medio granular, pues dependiendo de esta característica cambia la capacidad de adsorción y el flujo de servicio del carbón activado. Es decir, a mayor tamaño de partículas se obtiene una menor área superficial, y por ende se reduce la eficiencia de adsorción, sin embargo, el flujo de servicio va a ser mayor al pasar una mayor cantidad de agua por el medio filtrante (Fuentes, 2021).

El valor de la esfericidad del carbón activado granular está directamente relacionado con el tamaño de la malla, ya que este último se refiere a la forma de las partículas y no a su tamaño. La esfericidad se mide como un valor numérico que indica qué tan cercanas están las partículas a una forma esférica perfecta. Para determinar este valor, se parte de la investigación realizada por Daniel Cabezas, quien utilizó un carbón activado proveniente de la marca comercial Sumiwater, ubicada en Quito. Este carbón activado de tipo granular se procesa a partir de la cáscara de coco, la cual presenta una alta densidad, un gran volumen de microporos y una amplia área de superficie. Su investigación encontró que los valores de esfericidad fluctúan en un rango de 0.65-0.85 por lo cual se toma un valor promedio de 0.74 (Cabezas, 2021, p. 97).

Para el cálculo de la porosidad es necesario conocer los valores de densidad relativa concernientes a los ofrecidos por los fabricantes y la densidad real del carbón activado, dicha densidad real se puede calcular utilizando una masa conocida de muestra en un cilindro graduado debido a que se trata de la masa de una cantidad de carbono dividida por el volumen que ocupa incluyendo el volumen de poros y los vacíos entre partículas. Sin embargo, con el fin de encontrar valores corroborados, se recurrió a los resultados obtenidos en experiencias prácticas con carbón activado granular en la planta de tratamiento de agua de Rietvlei, artículo escrito para la Universidad de Rand Afrikaans University, en donde se describe que la porosidad era de 0.69 para el carbono de tamaño 12 x 40 y de 0.66 para el carbono de tamaño 8 x 30 (Clements y Haarhoff, 2006, p. 89).

En base a estos valores promedio se asume una porosidad proporcional de 0.67 para una malla de 10 x 18, la siguiente tabla muestra las características del lecho filtrante en base a los tamaños de los diferentes granos de carbón activado, con esta información se propuso una alternativa de cartucho de sedimentos, que se ajustará al tipo de agua a tratar y por ende que cumplirá con el requisito mínimo de altura en el filtro a evaluar.

Tabla 3-13: Tamaño de malla y sus propiedades

Tamaño de malla	Tamaño específico de partícula [mm]	Esfericidad teórica	Porosidad
12 x 40	1.73 - 0.420	0.74	0.69
10 x 18	2 - 1.015	0.74	0.67
8 x 30	2.38 - 0.595	0.74	0.66

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

3.4.3. Velocidad de filtración y velocidad de flujo

La velocidad de filtrado del prototipo se estableció en $v_f = 5$ m/h según indican las normas para lechos filtrantes con la finalidad de que tenga una transición lenta en su paso por el filtro de carbón activado y se realice la correcta retención de las nanopartículas de cobre. En ese sentido, la granulometría del carbón activado puede variarse en capas con diámetros distintos y por ende la cantidad de adsorción es diferente en cada capa, logrando así una mejor filtración del agua que se requiere tratar, es importante considerar la velocidad del flujo como un aspecto relevante. Se recomienda mantenerla dentro de ciertos límites para evitar que las partículas arrastradas por el agua se sedimenten. Se sugiere un valor mínimo de 0.30 m/s. Así mismo, se deben evitar velocidades excesivas, entre 3 y 5 m/s, para prevenir la erosión de las paredes de las tuberías. Sin embargo, en la práctica, generalmente no se alcanzan estos valores óptimos. Los valores mínimos suelen ser de 0.5 m/s y los máximos varían entre 2.1 y 2.5 m/s (Roberti, 2018).

3.4.4. Geometría del filtro

De acuerdo con los valores de diámetro y altura para el cartucho que contendrá el lecho filtrante, se podrá calcular el área de este.

$$A_f = \pi \cdot r^2 \quad (2)$$

$$A_f = \pi \cdot (3.175)^2$$

$$A_f = 31.67 \text{ cm}^2 = 0.003167 \text{ m}^2$$

A_f : área superficial del cartucho [cm^2]

r : radio del filtro [cm]

3.4.5. Caudal mínimo de operación

El área de filtro se calcula mediante la ecuación (3) y a partir de dicha ecuación se puede conocer el caudal mínimo de diseño:

$$A_f = \frac{Q_{min}}{v_f} \quad (3)$$

$$Q_{min} = A_f \cdot v_f$$

$$Q_{min} = 0.003167 \text{ m}^2 \cdot 5 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

$$Q_{min} = 0.015835 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 0.264 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

Q_{min} : caudal mínimo de operación [m^3/h]

A_f : área superficial del cartucho [m^2]

v_f : velocidad de filtración [m/h]

El sistema empieza trabajando con un caudal de diseño de 4 l/min y a medida que pasa por cada uno de los filtros su caudal va disminuyendo, manteniéndose siempre por encima del caudal mínimo de operación.

3.4.6. *Tiempo de contacto*

El tiempo de contacto se refiere al intervalo en el que el agua atraviesa el lecho filtrante y puede interactuar con las partículas de carbón activado para adsorber los contaminantes. La duración del tiempo de contacto puede variar según el diseño del sistema, el flujo de agua y los requisitos particulares del tratamiento. En general, se busca un tiempo de contacto adecuado que permita una adsorción efectiva de los contaminantes presentes en el agua por parte del carbón activado.

$$V = A_f \cdot h_f \quad (4)$$

$$V = 0.003167 \text{ m}^2 \cdot 0.762 \text{ m} = 0.00241 \text{ m}^3$$

V: volumen del medio filtrante [m³]

h_f: Altura del medio filtrante [m]

Luego de obtener el volumen del medio filtrante se pudo obtener el tiempo de retención o tiempo de contacto entre el agua a tratar y el carbón activado junto con las nanopartículas de cobre.

$$T_c = \frac{V}{Q_{\text{diseño}}} \quad (5)$$

$$T_c = \frac{0.00241 \text{ m}^3}{0.04 \text{ m}^3/\text{min}} = 0.060 \text{ min}$$

3.4.7. *Altura de capas de carbón activado en el filtro*

Según las diferentes estratificaciones acorde con el tamaño de partícula por cada grano de carbón activado mostrado en la tabla anterior, presente en el apartado características físicas del medio filtrante, se realiza la correspondiente relación del porcentaje de altura con los lechos filtrantes, por lo que se estima la altura en base a los filtros comerciales presentes en el mercado.

Tabla 3-14: Capas de carbón activado y su proporción

Número de malla	Altura [cm]
12 x 40	8.13
10 x 18	8.13
8 x 30	8.13
Total	25.4

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

La disposición de diversas capas tiene como objetivo principal prolongar la eficacia de la cama filtrante compuesta por el medio granular. En este sentido, se ha diseñado el filtro de manera que tres tipos de medios granulares la compongan. En la parte superior, se ubicará el medio con malla de mayor tamaño, mientras que en la parte inferior se colocará el que contiene partículas más pequeñas. Esto garantiza que el medio granular superior retenga las partículas suspendidas de mayor tamaño, impulsadas por el agua, y el medio inferior retenga las de menor tamaño, contribuyendo así a extender el tiempo de operación del filtro.

Flujo laminar

Asumiendo que el agua a tratar se encuentra a 20 °C los datos son densidad $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$, viscosidad $\eta=1.002 \cdot 10^{-3} \text{ kg/(ms)}$ y el diámetro del lecho filtrante es $D=0.0635 \text{ m}^2$. Se resuelve la ecuación de Reynolds:

$$R = \frac{\rho \cdot D \cdot v_f}{\eta} \quad (6)$$
$$R = \frac{1000 \cdot 0.0635 \cdot 1.39 \cdot 10^{-3}}{1.002 \cdot 10^{-3}}$$
$$R = 88.089$$

R: Reynolds [adimensional]

ρ : densidad del agua [kg/m^3]

D: diámetro del filtro [m]

v_f : velocidad de filtración [m/s]

η : viscosidad del agua en [kg/m s]

Según lo que indica el principio de Reynolds es que todo valor menor a 2000 refleja un flujo laminar, siendo este un número adimensional. Por lo tanto, se corrobora que el flujo de agua cumple con un régimen adecuado para una desinfección eficaz.

3.4.8. Zonas de transferencia de masa en camas de CAG

El carbón activado granular se utiliza en tanques o columnas a través de las cuales fluye el fluido que se va a purificar. La altura de la cama de carbón se representa como "a", mientras que la altura de la zona de transferencia de masa (ZTM) se denota como " a_T ", el diámetro de la columna se representa como "D". La ZTM es la parte de la cama de carbón donde ocurre la adsorción, es decir, la distancia entre la capa de carbón saturado en la parte superior y la capa de carbón no utilizada en la parte inferior.

A medida que la columna continúa operando, la ZTM se desplaza a lo largo de toda la longitud hasta que su parte inferior alcanza el fondo de la columna. En este punto, la pendiente de la curva en el gráfico aumenta abruptamente. Mientras la ZTM se desplaza fuera de la columna, la curva continúa aumentando de manera constante. Una vez que toda la ZTM ha salido, la cama de carbón se satura por completo y la concentración de impurezas en el efluente, denominada " C_f " es igual a la del influente, C_o ; Esta curva se conoce como curva de ruptura, y el punto en el que la concentración de soluto en el efluente supera un valor máximo establecido para el tratamiento se denomina punto de ruptura (Olarde, 2007, p. 18).

La siguiente gráfica muestra el corte longitudinal de un filtro de carbono del tipo granular, el sistema de coordenadas descrito se corresponde con la longitud del filtro y las concentraciones inicial y finales antes descritas.

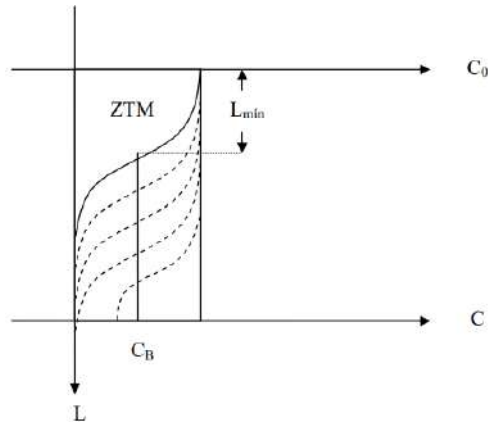


Ilustración 3-5: Profundidad de un filtro de carbón activado

Fuente: Ramos, 2015

La figura anterior muestra la zona de transferencia de masa (ZTM) que es la que se encuentra sobre la curva superior o línea continua y que representa la concentración del contaminante al ingresar al filtro, que es del 100% debido a que aún no se ha eliminado ninguna impureza. A medida que el agua atraviesa el filtro, la concentración del contaminante disminuye gradualmente hasta llegar a la salida del filtro, donde el agua está completamente libre de impurezas. Las líneas punteadas son curvas que se forman a medida que el filtro se utiliza más, acumulando partículas en su interior y disminuyendo su capacidad de adsorción y eficacia.

C_B representa la concentración máxima permitida en la salida del filtro, establecida por normas o requisitos en función del porcentaje de eliminación deseado. Si la concentración en la salida del filtro es mayor que C_B , significa que el filtro ya no cumple con su función y debe ser reemplazado en el momento exacto t_B en que se alcanza C_B , L_{min} representa la longitud mínima requerida para el filtro, de manera que el agua en la salida tenga una concentración inferior a C_B . Si la longitud del filtro es menor a L_{min} , no tiene sentido tener el filtro, ya que no cumplirá con su función. Graficando la concentración en la salida del filtro en función del tiempo de operación, se obtendrá una curva de filtración como se muestra a continuación (Ramos, 2015, p. 13).

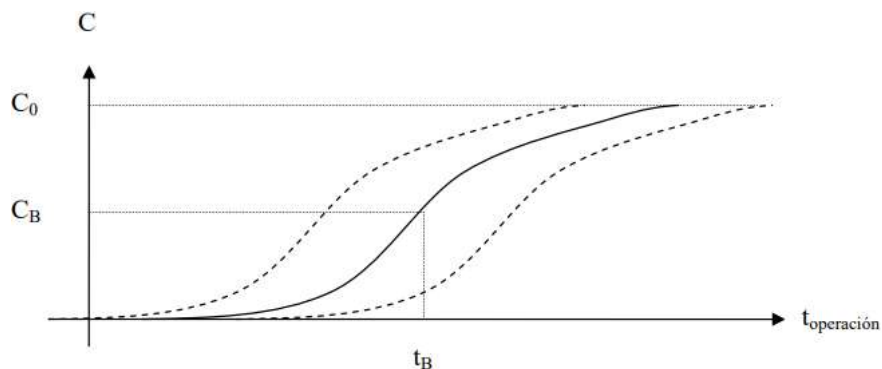


Ilustración 3-6: Influencia del tiempo de operación del filtro sobre la concentración de salida

Fuente: Ramos, 2015

3.4.9. Características de la curva de ruptura

Dicha curva de ruptura dentro de un sistema de adsorción puede modificarse si se cambia el tiempo de contacto en cama vacía (TCCV), este parámetro se entiende como tiempo de estancamiento del fluido si la cama de carbón estuviera vacía; por lo que no corresponde al tiempo real en el que el fluido y el carbón se encuentran en contacto, la fórmula para calcular el TCCV es la siguiente.

$$TCCV = \frac{V}{F} \quad (7)$$

V: volumen de la cama de CAG [l]

F: flujo volumétrico [l/min]

El valor de TCCV puede variar al aumentar o disminuir la altura de la cama a flujo constante o al cambiar el flujo a una altura de cama constante, si se varía el TCCV se altera lógicamente la curva de ruptura, si el TCCV es menor será menor el tiempo en alcanzar el punto de ruptura. La relación económica entre el volumen de la cama y la frecuencia con la que se remueve el carbón es evidente, a mayor volumen de cama, serán mayores los tiempos de sustitución. Si se incrementa el TCCV por lo tanto se aumenta el grado de utilización del carbón al retrasar la aparición del punto de ruptura (Ramos, 2015, p. 19).

Si se sobrepasa cierta altura de la cama se aumenta el efecto del costo por volumen adicional, contrastando con la disminución de costos por el correcto uso del carbón, la siguiente gráfica muestra la profundidad de cama óptima en función de los costos.

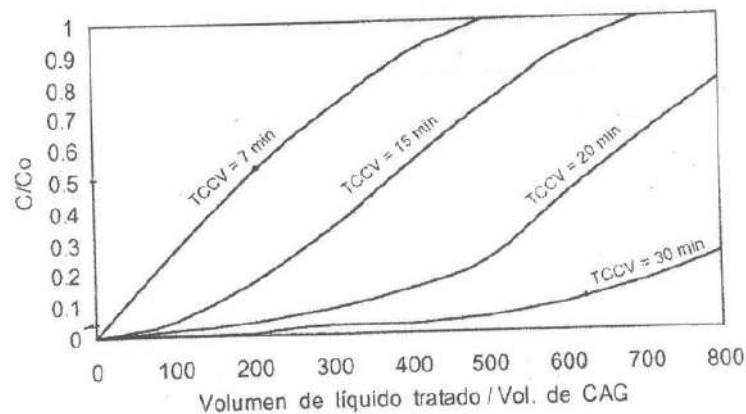


Ilustración 3-7: Volumen de líquido tratado de CAG

Fuente: Ramos, 2015

3.4.10. Constante de velocidad de adsorción

La constante de velocidad de adsorción aumenta de forma sustancial si se disminuye el tamaño de la partícula de carbón, disminuyendo a su vez la longitud de la ZTM, por esta razón si el tamaño de grano es menor la velocidad de adsorción es mayor, es decir, mientras más corta la ZTM para un carbón dado el punto de ruptura aparece más tarde resultando una curva de ruptura pronunciada hacia arriba. La obtención de varias curvas TCCV's brindan la información necesaria para que se dimensione el adsorbedor.

El TCCV seleccionado se corresponde a la combinación más barata entre el volumen de absorbedor y la frecuencia de sustitución del carbón, dicha selección se realiza principalmente en función de la frecuencia de la sustitución del carbón. La curva de ruptura permite estimar la frecuencia de sustitución y también brinda información acerca de la posibilidad y eficiencia de conectar más de un absorbedor en serie, si la ZTM es muy larga con una curva de ruptura acostada es conveniente la disposición en serie, de esta forma es posible sustituir el carbón agotado del primer filtro en serie, al mismo tiempo que los demás equipos siguen activos (Ramos, 2015, p. 19).

3.4.11. Número de filtros

Las líneas discontinuas en el gráfico representan el comportamiento de otros contaminantes. Estas líneas se desplazan hacia la izquierda o hacia la derecha dependiendo de la adsortividad K de la sustancia. Si la adsortividad es menor (indicando que se adsorbe con dificultad), la línea se desplaza hacia la izquierda, mientras que, si K es mayor, la línea se desplaza hacia la derecha. En el eje Y se representa la concentración de salida C dividida por la concentración inicial C₀, que permanece constante a lo largo del tiempo.

Esta relación C/C₀ representa el porcentaje de remoción medido en la salida del filtro. En el eje X, se reemplaza el tiempo de operación por el número de "filtros" de agua que han pasado a través del filtro, donde "filtro" se refiere al volumen de agua que cabe en el filtro. Esto resulta en el gráfico de concentración de salida en función del tiempo de operación, ya que el "tiempo de operación" en el gráfico anterior se refiere al número de veces que se ha utilizado el filtro, en lugar de considerar el concepto de tiempo en términos de minutos, horas, meses, etc., lo que no tendría sentido si el filtro no estuviera en funcionamiento durante ese período (Ramos, 2015, p. 13).

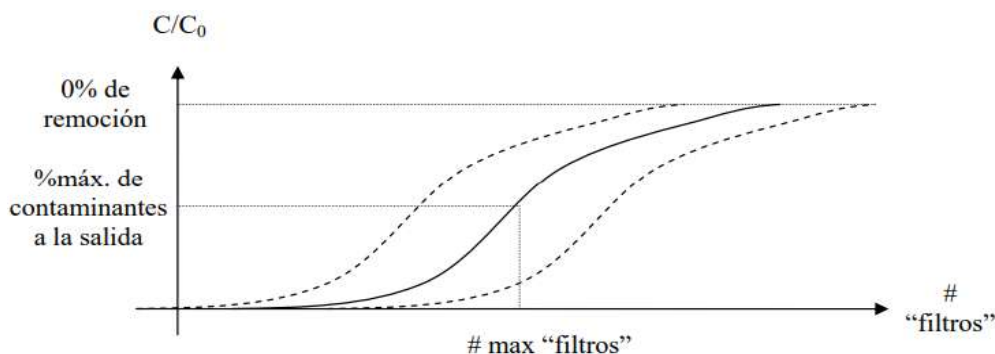


Ilustración 3-8: Relación entre el número de filtros y el % de remoción a la salida

Fuente: Ramos, 2015

Es decir, a partir del porcentaje de remoción deseado es posible encontrar el número de filtros correspondientes que son necesarios, debido a que se conoce el volumen de filtro y el flujo que pasa a través de él, se puede calcular el tiempo que tarda el agua en pasar a lo largo del mismo, el tiempo de retención es el mismo valor que para el tiempo de contacto.

$$t_{retención} = \frac{VOL_{filtro}}{Q} \quad (8)$$

El volumen de diseño representa el número máximo permitido de "filtros" necesarios para alcanzar el porcentaje de remoción deseado. Dado que el flujo que atraviesa el filtro es constante, es posible obtener el tiempo máximo de operación de un filtro de manera análoga.

$$t_{retención} = \frac{\#filtros_{máx}}{Q} \quad (9)$$

$$t_{retención} \cdot Q = \#filtros_{máx}$$

$$\#filtros_{máx} = 0.060 \cdot 40 \frac{l}{min} = 2.4$$

$$\#filtros_{máx} = 3$$

3.4.12. Diseño del sistema de filtración

El diseño del sistema tiene como aspecto principal las unidades filtrantes, las cuales son cuerpos cilíndricos dispuestos de manera vertical, de tal forma que el agua a ser tratada entra por la parte superior del mismo, atravesando el lecho filtrante.

La unidad filtrante tiene una longitud preestablecida de 25.4 centímetros y para determinar el diámetro de tubería apropiado para la construcción del prototipo se estima las pérdidas de presión a través del lecho granular para tres diámetros comerciales distintos: 1/2, 3/4 y 1 pulgada. Este cálculo se realiza mediante la ecuación de Ergun, dicha ecuación se desprende al considerar que la corriente líquida va a travesar el lecho de partículas granulares equivalente a un régimen turbulento. Al tratarse de poros más grandes, en estas condiciones, la expresión para la pérdida de presión del fluido toma en cuenta los valores de $Re_p < 10$ en régimen laminar y $Re_p > 1000$ para turbulento, es decir, se obtiene una expresión que es válida para transición entre ambos comportamientos $10 < Re_p < 10000$, por lo que la ecuación de Ergun es válida para cualquier valor de Re_p . A caudales de circulación bajos, el segundo término de la ecuación de Ergun es despreciable y la pérdida de presión es directamente proporcional a la velocidad superficial, indicando que el régimen de circulación es laminar (Salcedo, 2011, p. 16).

$$\frac{-\Delta p^+}{L} = 150 \frac{(1 - \varepsilon_m)^2}{(\Phi_s d_p)^2} + 1.75 \frac{1 - \varepsilon_m \rho (u^+)^2}{\varepsilon_m^3 \Phi_s d_p} \quad (10)$$

Δp^+ : Pérdida de presión manométrica, debida al rozamiento [N^2/m]

L : Altura del lecho [m]

ε_m : Porosidad media del lecho [$(kg/m^3)/(kg/m^3)$]

μ : Viscosidad del fluido [kg/ms]

u^+ : Velocidad superficial del líquido, calculada a sección total libre [m/s]

Φ_s : Factor de esfericidad [m^2/m^2]

d_p : Tamaño de partícula [m]

ρ : Densidad del fluido [kg/m^3]

La ecuación anterior para camas empacadas puede ser reducida a la siguiente expresión:

$$\frac{\Delta p}{L} = 150 \frac{v_o \mu (1 - \varepsilon)^2}{\Phi^2 d_p^2 \varepsilon^2} + 1.75 \frac{\rho v_o^2 (1 - \varepsilon)}{\Phi d_p \varepsilon^3}$$

Para el cálculo de pérdidas de presión, se asumen los valores típicos para:

Tabla 3-15: Datos de trabajo conocidos

Descripción	Valor
Densidad del agua	1000 kg/m ³ ,
Viscosidad del agua	1.002 · 10 ⁻³ kg/(ms)
Tamaño específico de partícula	1.73-0.420 mm
Porosidad	0.69
Esfericidad	0.74

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Los cálculos se harán dentro de un rango máximo de 60 l/min por lo que tendremos los siguientes valores. Cabe destacar que a medida que el tamaño de las partículas de carbón granular disminuye, se produce un aumento en la caída de presión, lo que a su vez incrementa el costo necesario para lograr un flujo adecuado a través del lecho de carbón. En base a esta premisa, se puede concluir que, en todos los casos, se debe utilizar el tamaño más pequeño de carbón siempre y cuando los beneficios de tener un lecho compacto superen el costo de hacer circular el fluido a través de él. El cálculo se realiza para una tubería de 0.75 in, equivalente a 19.05 mm, la velocidad superficial se calcula a partir del área libre del lecho, los 15 mm de la tubería y por medio de la ecuación (3) y la ecuación (10), se obtiene lo siguiente:

$$V_o = \frac{Q_1}{A} = \frac{0.000067}{\pi \cdot (0.0075)^2} = 0.377 \frac{m}{s}$$

$$\frac{\Delta p}{0.08} = 150 \frac{(0.377)(0.001)(0.31)^2}{(0.74)^2(0.00173)^2(0.69)^2} + 1.75 \frac{(1000)(0.377)^2(0.31)}{(0.74)(0.00173)(0.69)^3}$$

$$\frac{\Delta p}{0.08} = 6.97 \times 10^3 + 1.84 \times 10^5$$

$$\Delta p = 1.53 \times 10^4 Pa$$

Tabla 3-16: Cálculo de pérdidas de presión para distintos diámetros de tubería

Caudal (l/min)	Diámetros de tubería (in)		
	½	¾	1
4	1.53e4	4.97e3	2.11e3
10	9.36e4	2.99e4	1.24e4
20	3.63e5	1.15e5	4.76e4
25	5.64e5	1.79e5	7.39e4

Nota: Los valores mostrados para diferentes caudales y diferentes diámetros corresponden a las pérdidas de presión del sistema, las unidades concernientes a las pérdidas de presión están dadas en Pa.

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Como se puede apreciar en la tabla anterior, las pérdidas aumentan a medida que el caudal de entrada se incrementa, al mismo tiempo que las pérdidas de presión son mayores para secciones transversales pequeñas, por lo que el prototipo se construirá en tubería PVC de 3/4 de pulgada para agua potable con la finalidad de obtener un diseño estándar para todas las posibilidades de caudal y reducir las pérdidas.

3.4.13. Ecuación de Bernoulli

La importancia del efecto Bernoulli en la dinámica de los fluidos es considerable. Básicamente, implica que cuando un fluido se desplaza a lo largo de una trayectoria específica, cualquier aumento en su velocidad se acompaña de una disminución proporcional en la presión. Cuando un fluido real se mueve dentro de un conducto o entre dos superficies, se producen dos efectos debido a la viscosidad no nula: el perfil de velocidad presenta un pico en el centro del conducto y la energía mecánica del sistema no se conserva.

El análisis de la ecuación de Bernoulli se puede realizar mediante el estudio de un flujo estacionario a lo largo de una línea de corriente. La ecuación de Bernoulli para un flujo constante de un fluido real en una tubería se puede verificar con la siguiente ecuación (Chuquín, 2020, p. 25).

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 + H_T + h_{long} + h_{acc} \quad (11)$$

Donde:

P_1, P_2 : Presión manométrica o absoluta en el punto de análisis [mcf]

v_1, v_2 : Velocidad en la tubería que depende del diámetro interior de la tubería [m/s]

Z_1, Z_2 : Cota de elevación en el punto de análisis [m]

H_T : Energía que se extrae del fluido a través de una turbina [mcf]

h_{long} : Pérdidas que existen en la tubería [m]

h_{acc} : Pérdidas por accesorios [m]

En base al sistema teórico presentado se consideró trabajar con presiones manométricas por lo que las presiones en los puntos de entrada (punto 1) y salida (punto 2) del sistema serán iguales a cero, las pérdidas por velocidad en 1 y 2, al tratarse de láminas de agua se consideran igual a cero y al considerar el punto 2 como el nivel de referencia, la cota de altura Z será igual a cero.

$$Z_1 = H_T + h_{long} + h_{acc} \quad (12)$$

Para determinar las pérdidas por longitud de tubería se emplea la siguiente ecuación:

$$h_{long} = \frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \quad (13)$$

$$h_{long} = \frac{8f_{AB}L_{AB}Q^2}{\pi^2 g D_{AB}^5} + \frac{8f_{BC}L_{BC}Q^2}{\pi^2 g D_{BC}^5}$$

$$2 = \frac{8(f)(L_1)(Q)^2}{\pi^2 9.81(0.025)^5} + \frac{8(f)(L_2)(Q)^2}{\pi^2 9.81(0.025)^5} + h_{acc}$$

Cuando se habla de pérdidas por accesorios se hace referencia al flujo que recorre una válvula o accesorio y a la caída de presión presente en las mismas, por lo que se debe determinar un coeficiente de resistencia deducido (K), dichas pérdidas se encuentran en entradas y salidas de tuberías, codos, tees, expansiones, válvulas abiertas, o parcialmente cerradas, la fórmula usada para determinar estas pérdidas es la siguiente:

$$h_{acc} = \frac{8 \cdot k \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D_{acc}^4} \quad (14)$$

K es el coeficiente de pérdida local, dicho coeficiente depende del tipo de accesorio y diámetro nominal, para encontrar las pérdidas por accesorios se recurre al método de coeficiente de pérdidas, para este método se verifican los accesorios presentes en la instalación y mediante valores tabulados por medio de catálogos de la empresa Plastigama.

Tabla 3-17: Accesorios de la instalación

Nombre	Figura	in	mm	Coefficiente K
Adaptador para tanque c/junta		3/4	25	0.78
Válvula de bola		3/4	25	0.05
Codo HH 90grados		3/4	25	0.73
Unión universal		3/4	25	0.78
Unión Tee		3/4	25	0.54
Bushing		3/4 - 1/2	25 - 20	0.35
Llave de jardín		1/2	20	0.15

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Tabla 3-18: Valores de K para diferentes accesorios

Accesorio	K	Cantidad	K total
Válvula de bola totalmente abierta	0.05	1	0.05
Adaptador de tanque	0.78	1	0.78
Codo a 90	0.73	1	0.73
Unión universal	0.78	1	0.78
Tee con flujo en línea recta	0.54	2	1.08
Bushing ¾ a ½	0.35	3	1.03
Llave de jardín	0.15	3	0.45

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Se suman los K parciales totales de tal forma que las pérdidas por accesorios es la siguiente:

$$h_{acc(\frac{3}{4})} = \frac{8(0.05 + 0.78 + 0.73 + 0.78 + 1.08 + 1.03 + 0.45)(Q)^2}{\pi^2(9.81)(0.025)^4}$$

$$h_{acc(\frac{3}{4})} = 941.285 \cdot 10^3 Q^2$$

$$h_{acc(\frac{1}{2})} = \frac{8(0.45)(Q)^2}{\pi^2(9.81)(0.025)^4}$$

$$h_{acc(\frac{1}{2})} = 95.186 \cdot 10^3 Q^2$$

$$h_{Tacc} = 1036.47 \cdot 10^3 Q^2$$

Regresando a la ecuación inicial:

$$2 = \frac{8(f)(1.5)(Q)^2}{\pi^2 9.81(0.025)^5} + \frac{8(f)(4.5)(Q)^2}{\pi^2 9.81(0.025)^5} + 1036.47 \cdot 10^3 Q^2$$

$$2 = 12691485.27fQ^2 + 38074455.8fQ^2 + 1036.47 \cdot 10^3 Q^2$$

$$2 = 50765941.07fQ^2 + 1036.47 \cdot 10^3 Q^2$$

$$2 = Q^2(50765941.07f + 1036.47 \cdot 10^3)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2}{50765941.07f + 1036.47 \cdot 10^3}}$$

Al tratarse de una ecuación con dos incógnitas, se deben realizar iteraciones, es decir, es necesario asumir un factor de fricción, dicho factor se recomienda en 0.02. Para el factor de fricción se utiliza la fórmula de Swamme.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (15)$$

Tabla 3-19: Valores referenciales según Swamme

Diámetro [m]	Viscosidad cinemática [m²/s]	Rugosidad absoluta [m]
0.025	$1.02 \cdot 10^{-6}$	$1.5 \cdot 10^{-6}$

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

La velocidad se obtiene al considerar que los tramos de tubería tienen un caudal de entrada Q y con un diámetro de 0.025 m.

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_{AB}^2} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot (0.025)^2} = 2037.18 \cdot Q \quad (16)$$

El número de Reynolds se calcula mediante la ecuación presentada a continuación, se considera la viscosidad cinemática de la tabla anterior:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{2037.18 \cdot Q \cdot (0.025)}{(1.02 \cdot 10^{-6})} = 49930.88 \cdot 10^3 \cdot Q \quad (17)$$

Tabla 3-20: Iteraciones de factor de fricción para diámetro de tubería de 25 mm (3/4 ")

f asumido	Caudal	Velocidad	Reynolds	Factor de fricción (Swamme)
0.02	0.0009873	2.011309	4.93E+04	0.02107
0.02107	0.0009745	1.985195	48656.73737	0.02113
0.02113	0.0009738	1.983765	48621.69975	0.02113
0.02113	0.0009737	1.983686	48619.76576	0.02113
0.02113	0.0009737	1.983682	48619.65896	0.02113
0.02113	0.0009737	1.983682	48619.65307	0.02113

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Por lo tanto, el caudal para el sistema debe ser de 0.0009737 m³/s o 58.422 l/min para diámetro de PVC 3/4 in, sin embargo, este caudal será el máximo usado, el caudal ideal de trabajo dependerá de la eficiencia del sistema, asumiendo una eficiencia del 70% tendremos un caudal de trabajo de 40 l/min.

3.4.14. Selección de la bomba

La bomba que debemos seleccionar será del tipo hidráulica periférica, debido a que el caudal es relativamente pequeño, al tratarse de un sistema prototipado y controlado.

La configuración del sistema de bombeo toma como punto de referencia una instalación en carga, es decir, la bomba se encuentra por debajo del nivel del líquido del depósito de aspiración (cisterna) tal como se muestra en la siguiente ilustración.

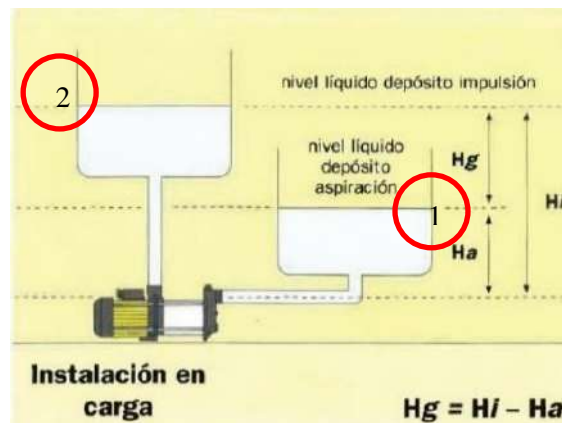







Ilustración 3-9: Instalación en carga

Fuente: ESPA, 2020

El primer tramo para la selección de una bomba comercial que permita trasegar un caudal de 58 l/min, es delimitar el sistema de bombeo, entre los puntos de análisis 1 y 2 (mostrados en la ilustración 3-9), estableciendo como nivel de referencia la horizontal que pasa por el eje de la bomba. Utilizando las ecuaciones (11), (13) y (14), se encuentra el valor correspondiente a Hb.

Tabla 3-21: Accesorios de la instalación de bombeo

Nombre	Figura	in	mm	Coefficiente K
Adaptador para tanque c/junta		3/4	25	0.78
Neplo corrido		3/4	25	0.1
Codo HH 90grados		3/4	25	0.73
Unión universal		3/4	25	0.78
Válvula Check		3/4	25	2.5

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Tabla 3-22: Valores de K para la sección de bombeo

Accesorio	K	Número	K total
Adaptador de tanque	0.78	1	0.78
Codo a 90	0.73	3	2.19
Unión universal	0.78	1	0.78
Neplo corrido	0.1	3	0.3
Válvula Check	2.5	1	2.5

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Para el cálculo de las pérdidas por longitud de tubería es necesario calcular el factor f, por lo tanto reemplazando los valores:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

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

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_{AB}^2} = \frac{4 \cdot (0.000666667)}{\pi \cdot (0.025)^2} = 1.365 \frac{m}{s}$$

$$Re = \frac{(1.365) \cdot (0.025)}{1.02 \cdot 10^{-6}} = 33455.88$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1.5 \cdot 10^{-6}}{3.7(0.025)} + \frac{5.74}{(33455.88)^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.023$$

$$Z_1 + H_B = Z_2 + h_{long1-2} + h_{acc}$$

La cota Z_1 , corresponde al nivel de agua de la cisterna por lo que es de 90 cm mientras que la cota Z_2 , corresponde a la altura del nivel de agua del tanque superior la cual es de 2 metros con 5 centímetros, ambas cotas pueden ser entendidas como la altura de aspiración y la altura de impulsión respectivamente, es decir:

$$H_B = (H_i - H_a) + h_{long1-2} + h_{acc}$$

Conociendo que:

$$H_g = (Z_2 - Z_1)$$

Y que H_g se entiende como el desnivel geométrico de bombeo tendremos la siguiente expresión:

$$H_B = H_g + h_{long1-2} + h_{acc}$$

$$H_B = (2.05 - 0.9) + \frac{8 \cdot (0.023)(2.08) \cdot (0.000666667)^2}{\pi^2 \cdot (9.8) \cdot (0.025)^5} + \frac{8 \cdot (6.55) \cdot (0.000666667)^2}{\pi^2 \cdot (9.8) \cdot (0.025)^4}$$

$$H_B = 1.15 + 0.181 + 0.6164$$

$$H_B = 1.947 \text{ mca}$$

H_B , puede ser entendida como la altura de bombeo o como la altura manométrica.

También debemos tomar en cuenta ciertos requisitos de selección, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3-23: Parámetros de selección

Nombre	Característica
Hs	Cabeza estática de succión en metros
Frecuencia de red	60 hz
n	Revoluciones por minuto
H	Altura manométrica en metros
Q	Caudal (litros por minuto)

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Con los parámetros anteriores de Q y H_B se verifica en el diagrama de “curvas y datos de prestaciones” el punto de intersección para la preselección de la bomba, como se puede observar en el diagrama.

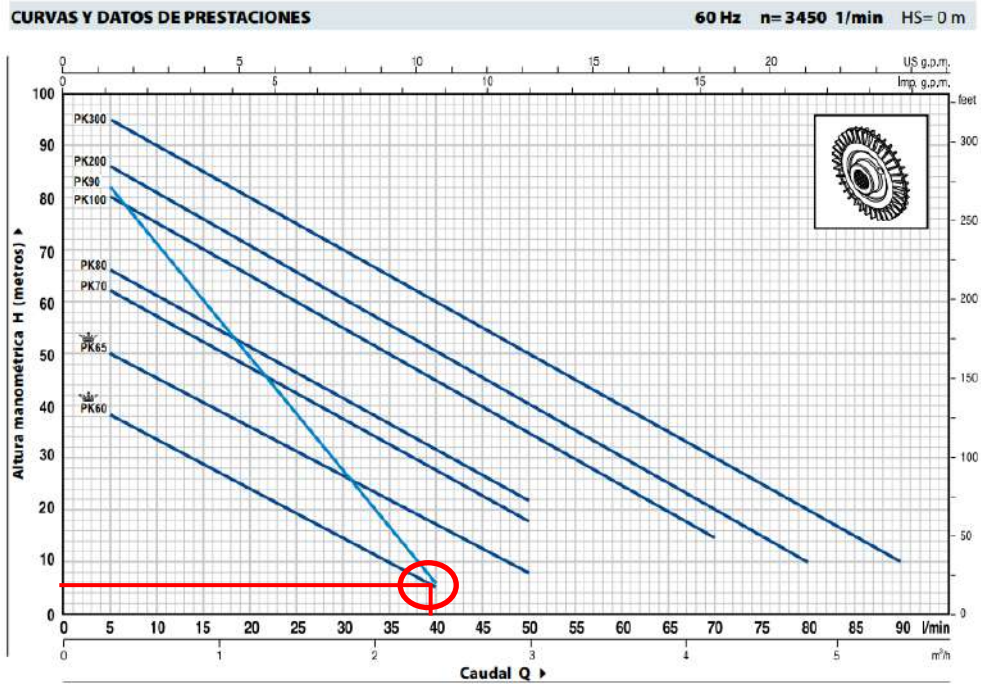


Ilustración 3-10: Curva de prestaciones de la marca Pedrollo

Fuente: Pedrollo, p. 21

Los valores preliminares de selección coinciden con dos posibles opciones de bombas.

MODELO		POTENCIA		Q	m³/h																
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4			
				l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90			
PKm 60*	PK 60*	0.37	0.50	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5									
PKm 65	PK 65	0.50	0.70	55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8								
PKm 70	PK 70	0.60	0.85	65	62	57	52	47	42	37	32	27	18								
PKm 80	PK 80	0.75	1	70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22								
PKm 90	PK 90	0.75	1	90	82	71	60	49	38	27	17	5									
PKm 100	PK 100	1.1	1.5	85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15						
PKm 200	PK 200	1.5	2	90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10					
-	PK 300	2.2	3	100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10				

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grade 3.

Ilustración 3-11: Valores de potencia y altura para diferentes bombas marca Pedrollo

Fuente: Pedrollo, p. 21

Uno de los factores determinantes para la selección de bomba, va a estar en función de la eficiencia de las bombas preseleccionadas para la altura H_b calculada.

$$P_F(KW) = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_B}{\eta_B}$$

$$\eta_B = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_B}{P_F}$$

Para la bomba de 0.37 Kw

$$\eta_B = \frac{9.8 \cdot 0.000666667 \cdot 5}{0.37} = 8.88\%$$

Para la bomba de 0.75 Kw

$$\eta_B = \frac{9.8 \cdot 0.000666667 \cdot 5}{0.75} = 4.38\%$$

Aunque ambas eficiencias son bajas en comparación a las eficiencias para alturas mayores, debido a que son rectas con pendientes pronunciadamente negativas que tenderán a ser menores mientras menor sea la altura de bombeo, la bomba seleccionada será la de 0.37 Kw.

3.4.15. Sistema eléctrico para sensores de nivel tipo boya

Al tratarse de un método de bombeo compuesto de cisterna y tanque reservorio, es necesario conectar ambos sistemas de tal forma que el agua trasegada no rebase los límites de llenado y vaciado para el tanque elevado.

Para esta función se utiliza un flotador eléctrico, dispositivo que permite un control automático de llenado de tanque, dicho sensor cuenta con tres elementos simples, un interruptor conmutador representado en la imagen inferior con (1), esfera metálica (2), palanca pulsadora (3) y el contrapeso.

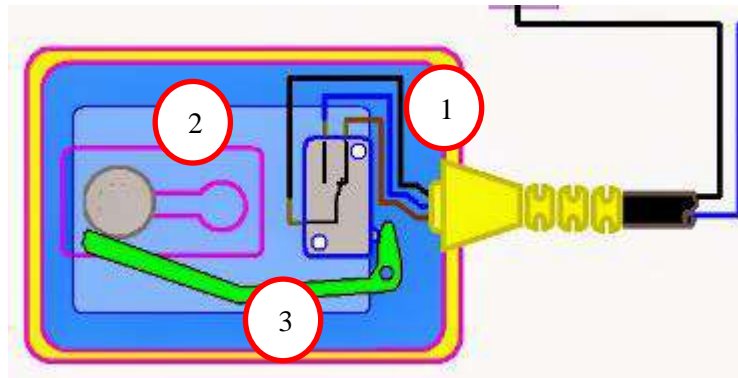


Ilustración 3-12: Elementos del sensor tipo boya

Fuente: García

El interruptor conmutador, está compuesto de tres terminales:

1. Cable común (COM) - color negro
2. Cable normalmente cerrado (NC) - café
3. Cable normalmente abierto (NO) - azul

La configuración mecánica del interruptor permite que, en la posición de la esfera mostrada en la ilustración anterior, el cable común haga continuidad con el cable normalmente abierto (NO), pues la palanca pulsadora se encuentra desplazada de tal forma que mantiene presionado al pulsador del conmutador. Por otro lado, si la bola regresa a una posición donde no exista contacto con la palanca pulsadora, el cable común tendrá continuidad con el normalmente cerrado (NC).

La ilustración siguiente muestra dichas posibilidades de conexión, dependiendo de la ubicación de la esfera metálica, en este caso el cable común está conectado al NC, dejando libre el borne de NO, existiendo así continuidad entre C y NC.

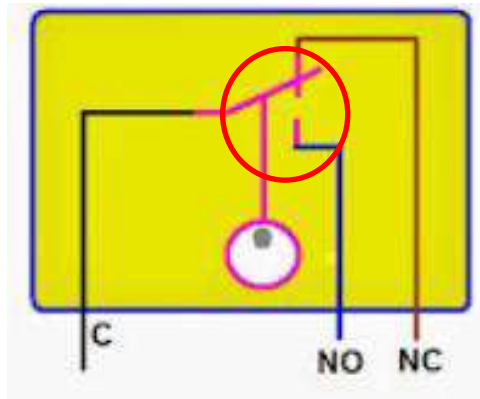


Ilustración 3-13: Interruptor conmutador

Fuente: García

Esta doble posibilidad de conexión se deriva de la función para la cual es diseñada, pues al medir nivel de agua, permite identificar un nivel máximo de llenado y un nivel mínimo tanto para tanque como para cisterna, la distancia entre estos dos niveles se ajusta dependiendo la posición del contrapeso, las dos posibilidades de conexión que se exponen a continuación son representativas para la instalación en tanques elevados.

Para un nivel máximo, tal como se muestra en la ilustración siguiente, el flotador se encuentra en una posición vertical hacia arriba por encima del agua, lo que hará que la esfera metálica no haga contacto con la palanca accionadora, de tal forma que la corriente circulará por el cable común y normalmente cerrado (NC), es decir la bomba permanecerá apagada.

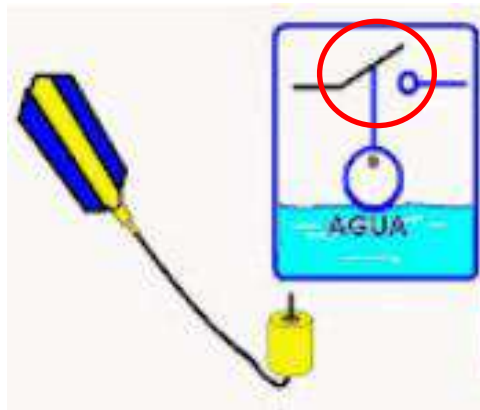


Ilustración 3-14: Conexión C-NC

Fuente: García

Mientras que, para un nivel mínimo, la columna de agua del tanque se verá reducida de tal forma que el flotador alcanzará una posición vertical hacia abajo, esta misma acción provocará que la esfera metálica se desplace accionando la palanca pulsadora, permitiendo así que la corriente circule por el cable común hacia el cable normalmente abierto (NO), encendiendo la bomba.

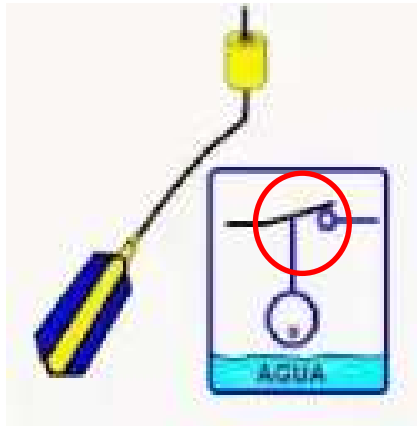


Ilustración 3-15: Conexión C-NO

Fuente: García

Ahora bien, para poder realizar la conexión prevista, se requieren dos flotadores de nivel tipo boya, uno irá colocado dentro de la cisterna mientras que el segundo se colocará dentro del tanque elevado, ambos sensores se encontraran conectados en serie con la bomba, tal como se muestra en la siguiente ilustración. Con la finalidad de cumplir con la condición de que la bomba periférica entre en funcionamiento y bombee agua al tanque si se encuentra vacío siempre y cuando la cisterna tenga agua, evitando así la aspiración de aire.

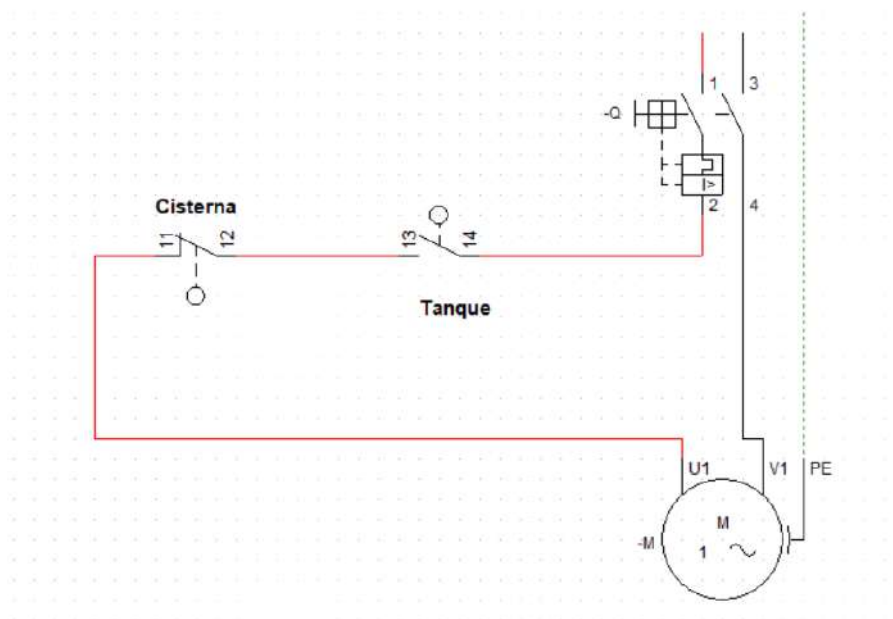


Ilustración 3-16: Conexión en serie de los sensores con la bomba

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Al tratarse de una configuración en serie es necesario que la conexión de los cables, se encuentre en función del código de colores anteriormente expuesto, pues el tanque elevado deberá estar conectado al cable azul (NO) y al cable negro (C), de tal manera que cuando este se encuentre en una posición vertical hacia abajo, la esfera metálica empuje la palanca de accionamiento, permitiendo que la bomba se encienda, por el contrario si el sensor se encuentra verticalmente

hacia arriba, la continuidad se dará entre el cable negro (C) y el cable café, este último se encuentra aislado impidiendo el paso de corriente como se muestra en la ilustración siguiente.

En 1 se observa el paso de corriente hacia NA, mientras que, en 2 se observa que se ha retirado el cable NC impidiendo el paso de corriente.

La ilustración anterior muestra que la cisterna posee una conexión normalmente cerrada, es decir, la bomba será accionada cuando el sensor ubicado dentro de la cisterna se encuentre verticalmente hacia arriba, puesto que existirá continuidad entre el cable negro (C) y el cable café (NC), mientras que, si el sensor se encuentra verticalmente hacia abajo, la esfera metálica presionará la palanca de accionamiento de tal forma que la conexión se produzca entre el cable negro (C) y el azul (NA). Sin embargo, este último se encuentra aislado impidiendo el paso de corriente y por ende desactivando la bomba tal como se observa en la Ilustración 3.18; En 3, se observa el paso de corriente hacia NC, mientras que, en 4 se observa que se ha retirado el cable NA impidiendo el paso de corriente.

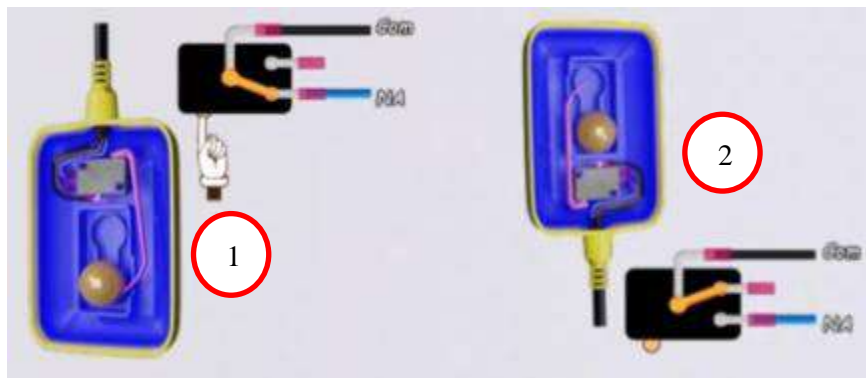


Ilustración 3-17: Configuración para tanque

Fuente: TecNey, 2022



Ilustración 3-18: Configuración para cisterna

Fuente: TecNey, 2022

Por otro lado, la corriente que circula por los flotadores es la misma que es necesaria para encender la bomba, por lo que va a resultar muy elevada, debido a esto se encontrará propenso a sufrir fallas, es por esta razón que es necesario utilizar contactores, estos dispositivos permiten separar el circuito de mando del de potencia. A continuación, se muestra el esquema de funcionamiento

eléctrico del sistema detallando los elementos que lo conforman, los cuales son un disyuntor termomagnético, contactor, sensores tipo boya y bomba periférica.

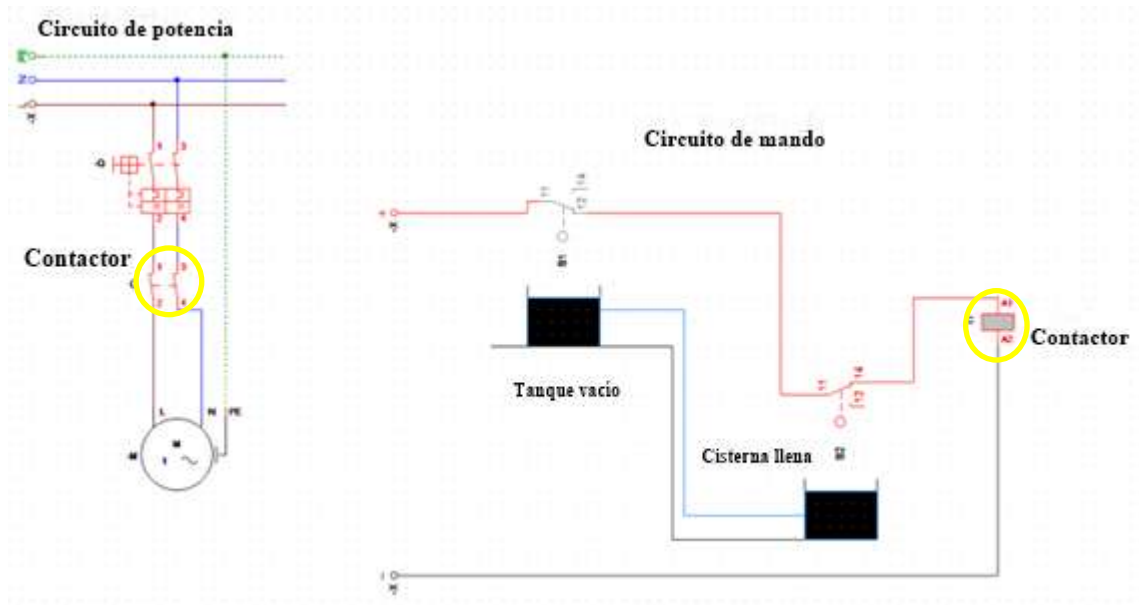


Ilustración 3-19: Circuito de potencia y circuito de mando para encendido de bomba

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

En el circuito de mando S1 y S2 representan los sensores, vemos como se encuentra normalmente abierto y normalmente cerrado respectivamente, esta conexión permite el accionamiento de la bomba por medio del contactor C, dicho contactor se encuentra presente en el circuito de potencia directamente conectado hacia la bomba, si el sensor S2 se encontrará normalmente abierto tal como se muestra en la Ilustración 3-20, implicaría que la cisterna se encuentra vacía y por lo tanto la bomba se apagaría, al no recibir señal del contactor.

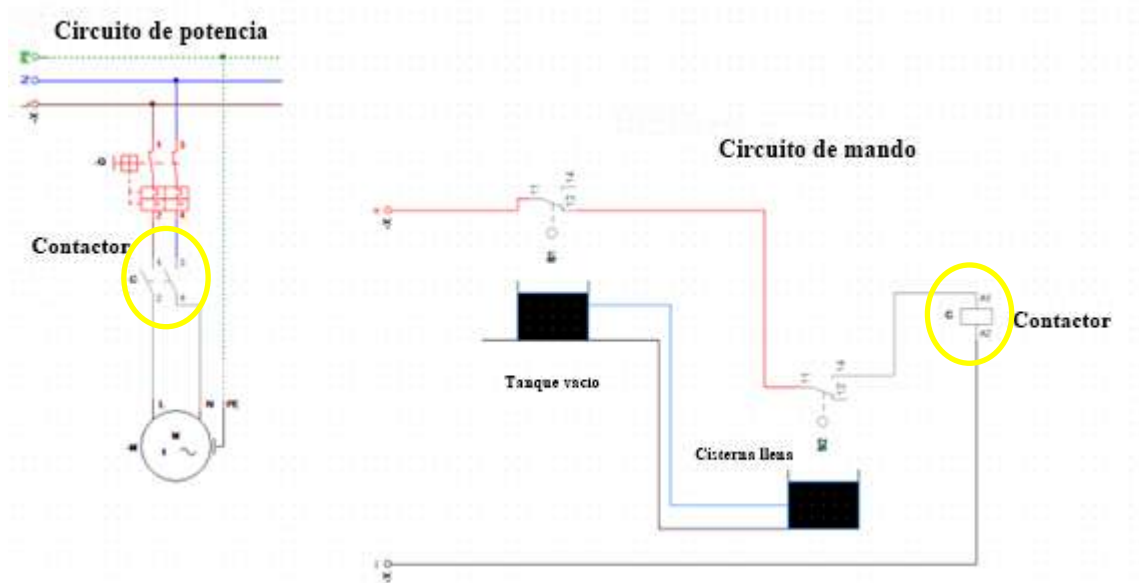


Ilustración 3-20: Circuito de potencia y circuito de mando cuando la bomba esta apagada

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

El esquema 3D de conexión recoge el mismo principio y se encuentra presente en la Ilustración 3-21 y 3-22, mostrando el esquema de potencia con la conexión de fase y neutro a los terminales L1, L2; T1, T2 a la bomba, y el esquema de mando respectivamente.

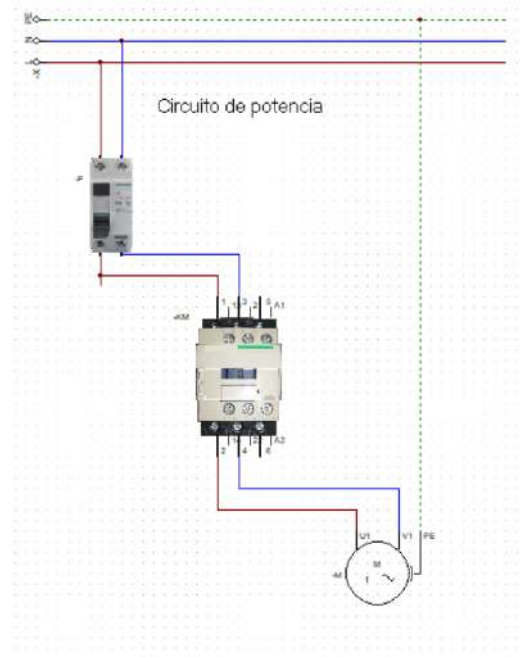


Ilustración 3-21: Circuito de potencia

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

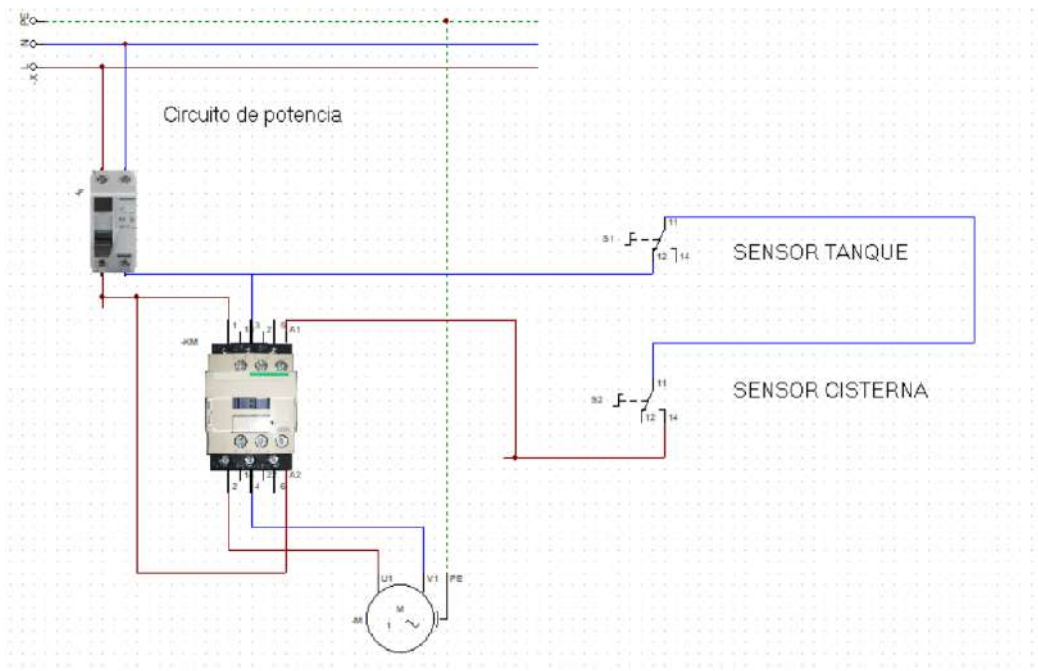


Ilustración 3-22: Circuito de mando

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

3.4.16. Diseño 3D en Solidworks

Tomando cada una de las selecciones de alternativas se propuso un pequeño sistema que consta de un tanque de almacenamiento en donde se mantiene el agua sin tratar, posteriormente es

succionada por una bomba para dirigirla hacia el recipiente transparente con una altura determinada y que cuenta con un sistema de tubería mediante caída por presión. Esta pasa a través de una serie de válvulas y filtros que retienen los microorganismos presentes en el agua y las nanopartículas de cobre que están realizando la actividad de purificar el agua. Las válvulas que se presentan después de cada filtro están instaladas con la finalidad de obtener muestras de agua para verificar el comportamiento del sistema de filtración y asegurar que las nanopartículas no crucen hasta la salida final.

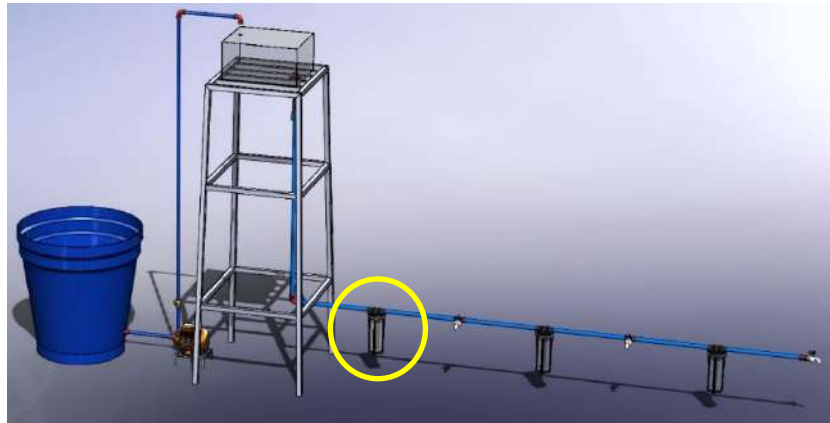


Ilustración 3-23: Simulación del sistema de tratamiento

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

3.4.17. Simulación en ANSYS

3.4.17.1. Simulación del fluido a través del filtro

Según lo indicado en las especificaciones, se propuso un flujo laminar para el paso del fluido por los filtros que conforman el sistema. En este sentido, se realizó el análisis de la velocidad del flujo en la parte encerrada en círculo amarillo que se muestra en la ilustración anterior y se obtuvo como resultado un flujo con una velocidad mínima en el interior del filtro que permite una adecuada desinfección y evita que las nanopartículas de cobre entren en turbulencia, pudiendo pasar cada uno de los filtros y provocando que falle la retención de nanopartículas.



Ilustración 3-24: Elemento para simulación modelado en Solidworks

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

La siguiente ilustración muestra el comportamiento de la velocidad en el ingreso y salida del filtro, asegurando un flujo laminar en su paso por las nanopartículas de cobre y el carbón activado. Por lo tanto, la simulación realizada en ANSYS nos indica que la velocidad, la altura y el caudal propuesto es el adecuado.

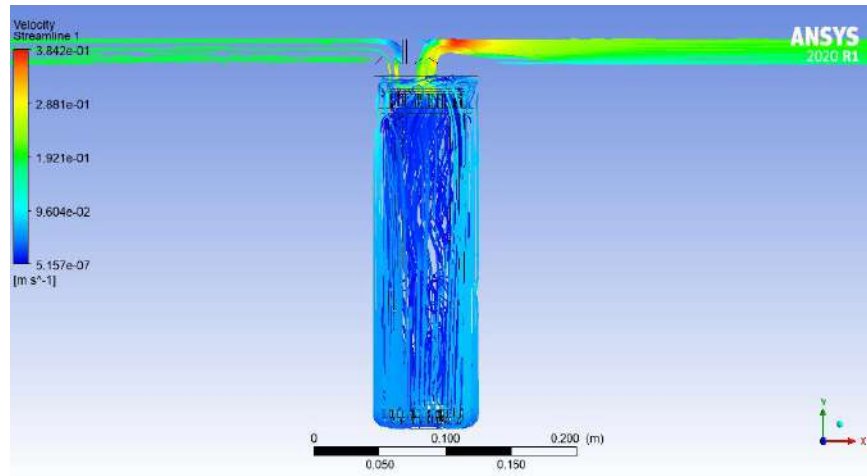


Ilustración 3-25: Velocidad en el interior del porta filtro

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

También hay que realizar un análisis en el interior del cartucho, el cual contiene las diferentes capas de carbón activado. Cuando el agua pasa por cada una de las mallas de carbón activado su velocidad deberá reducirse, para mostrar la actividad de desinfección que se ejecuta.



Ilustración 3-26: Cartucho de carbón activado

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Los resultados que arroja la simulación muestran una velocidad baja y aceptable para realizar el proceso de desinfección en cada una de las capas de carbón activado.

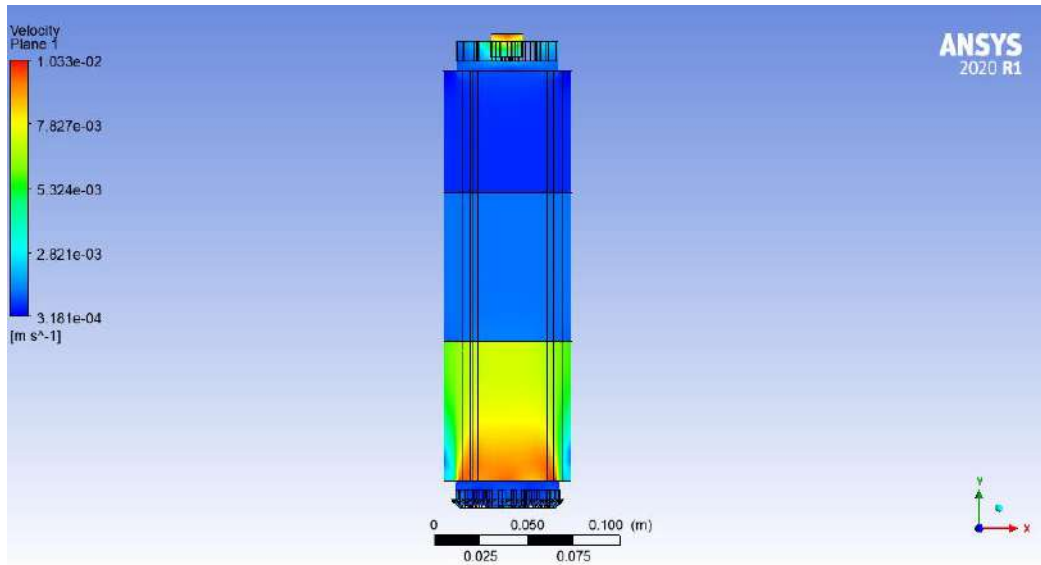


Ilustración 3-27: Análisis de flujo laminar en ANSYS

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

De igual manera se realizó una simulación del movimiento de las partículas en el interior del cartucho. Al ingresar se muestra que lleva una velocidad relativamente alta y las partículas tienen una mayor fluidez ya que están pasando por el carbón activado de mayor tamaño, lo cual hace que tenga un elevado volumen de paso del fluido. Tal como se muestra en la siguiente ilustración.

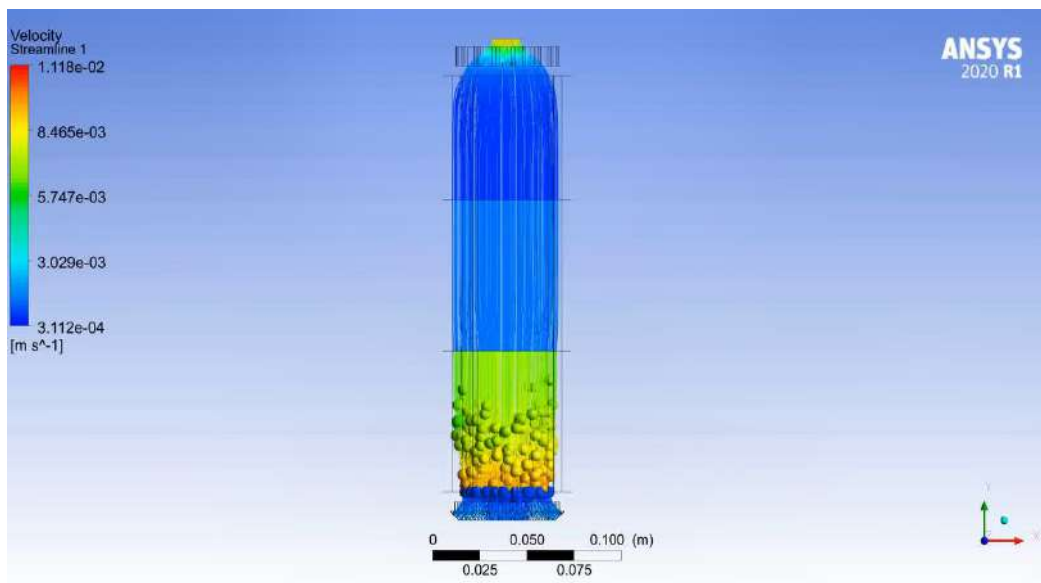


Ilustración 3-28: Fluido atravesando la primera malla

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Posteriormente, se encuentra atravesando la segunda capa de carbón activado y se produce la retención de partículas medianamente finas al pasar por esta malla. A su vez se realiza la interacción con las nanopartículas de cobre, permitiendo la desinfección del agua.

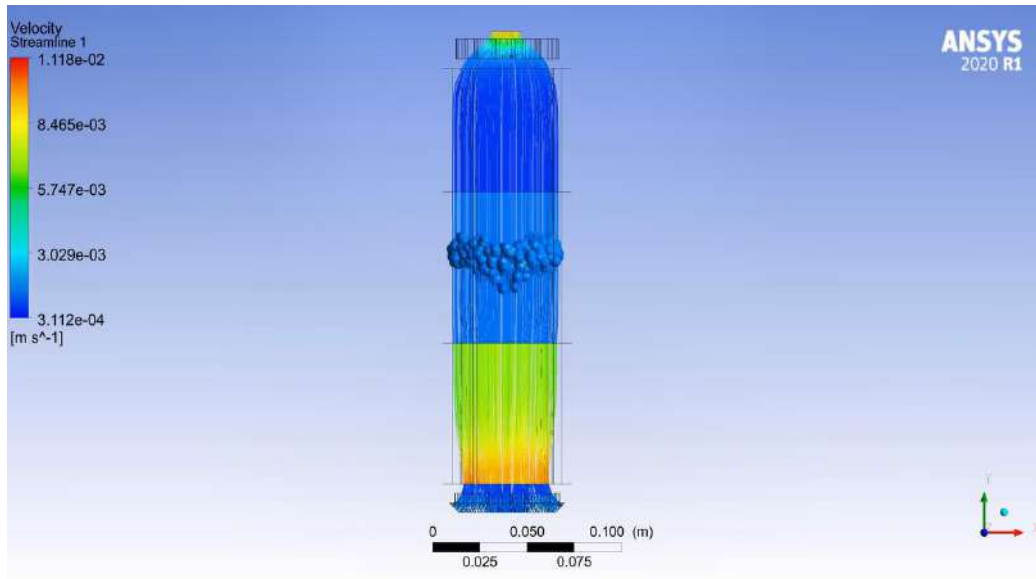


Ilustración 3-29: Fluido atravesando la segunda malla

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Seguidamente, el flujo atraviesa la tercera capa de carbón activado. En este punto la malla se ha reducido y por ende se logra una mayor captación de microorganismos presentes en el agua debido a la elevada adsorción del carbón activado. Las partículas de agua demoran más en pasar por esta malla debido al estrecho espacio intergranular que se encuentra en el lecho del filtro, reteniendo de manera eficaz las nanopartículas de cobre.

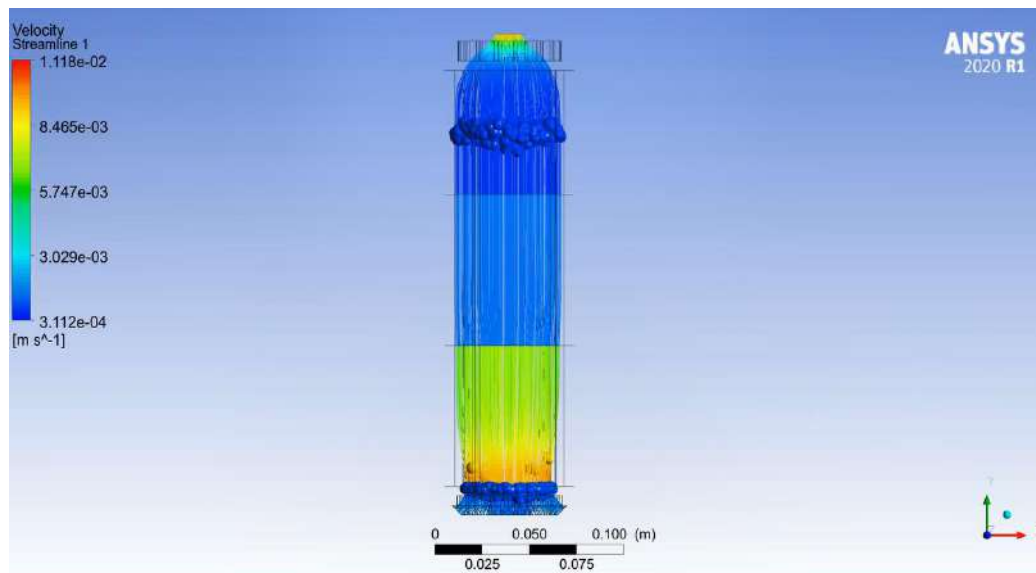


Ilustración 3-30: Fluido atravesando la tercera malla

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Finalmente, el fluido sale del filtro y aumenta proporcionalmente su velocidad hasta pasar por cada uno de los filtros y llegar a su destino final en donde se deberá comprobar los resultados de desinfección del agua.

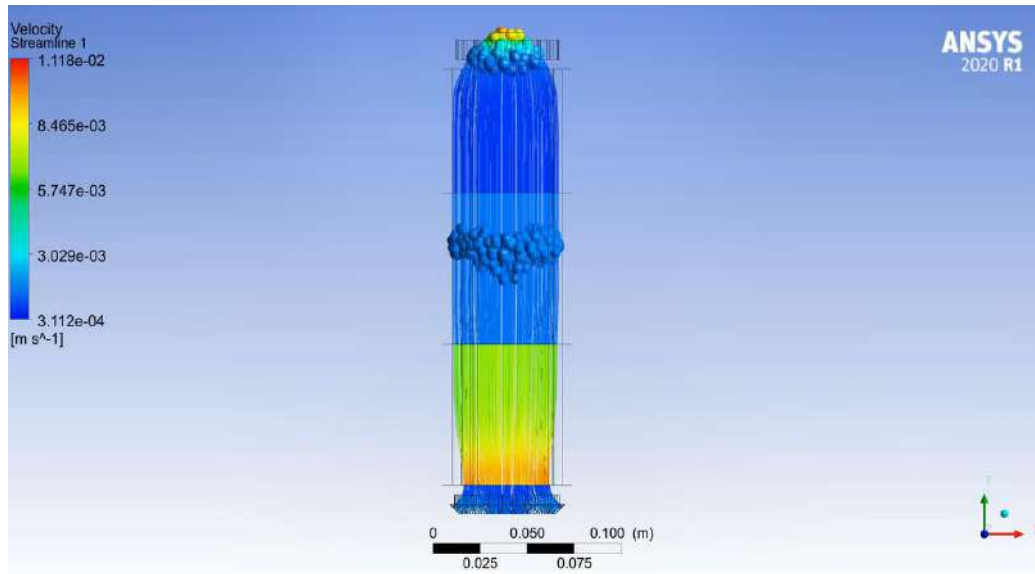


Ilustración 3-31: Fluido saliendo del filtro

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

3.4.17.2. Simulación de la estructura

Así mismo, se realizó un análisis estructural del soporte para el depósito principal de agua, evidenciando una mínima deformación de la estructura y un factor de seguridad bastante confiable. Por lo tanto, nos aseguramos de que el diseño es lo suficientemente resistente para el sistema de tratamiento.

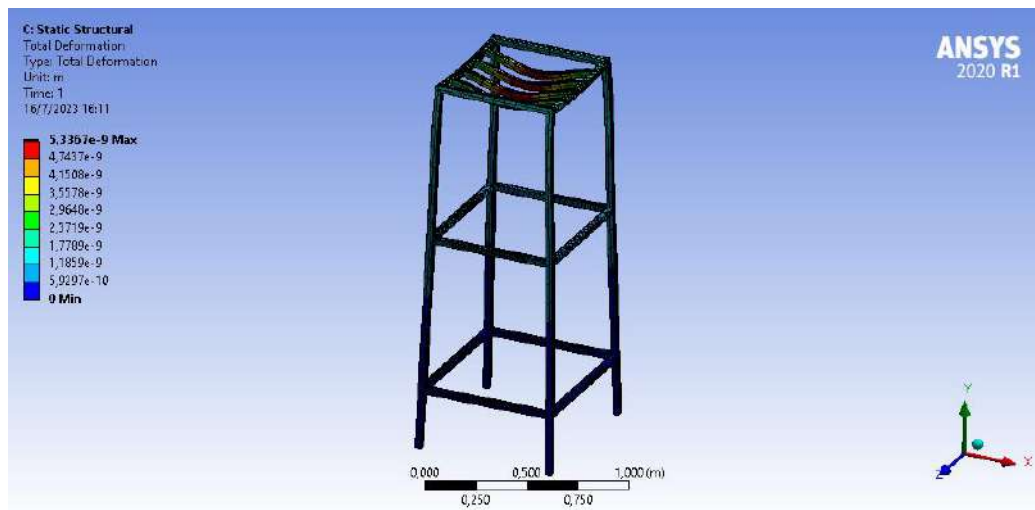


Ilustración 3-32: Análisis estructural

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

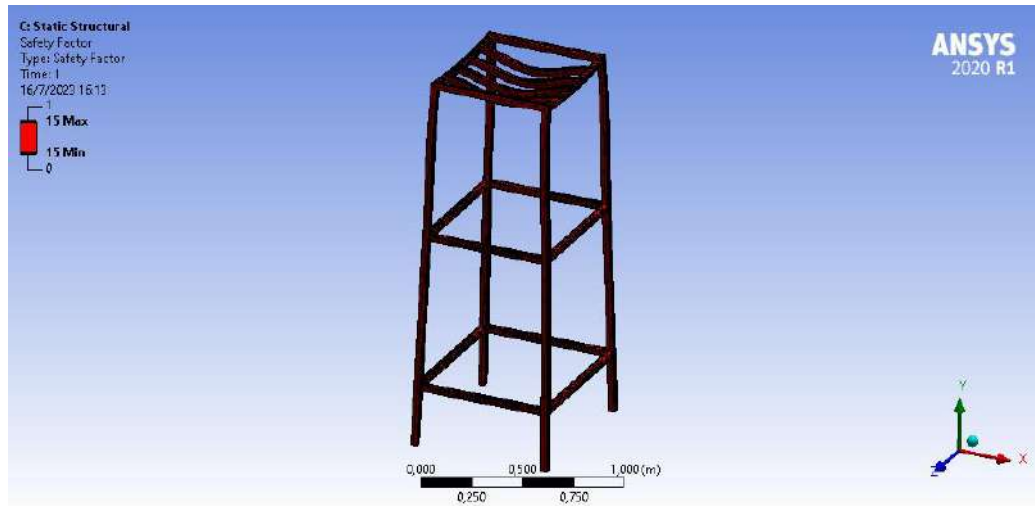


Ilustración 3-33: Factor de seguridad de la estructura

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

El criterio de Von Mises indica que la estructura tiene la capacidad suficiente para soportar la carga del agua que se presenta en la parte superior, siendo la parte crítica en las uniones soldada en la parte inferior de la estructura que soporta la mayor carga del propio peso del material pero que no representa un riesgo para el usuario.

Una vez analizada cada una de las partes y con los cálculos realizados, se procedió a realizar la construcción del sistema de tratamiento de agua. Determinado procedimiento se muestra y analiza en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se indica cada uno de los resultados obtenidos a través de las pruebas realizadas antes y después del proceso de filtración y tratamiento del agua. Así mismo, se indica la comparativa de los resultados en base a lo que indica la normativa del agua para uso agrícola y verificar que cumpla con los parámetros que se establecen en dicho reglamento, pudiendo dar un veredicto acerca del comportamiento de las nanopartículas de cobre y carbón activado.

4.1. Construcción del prototipo

4.1.1. Estructura

Para la realización del prototipo de pruebas se procedió a la construcción de la estructura que va a soportar el tanque elevado, con una altura de 2 metros.



Ilustración 4-1: Estructura

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.1.2. Tanque de almacenamiento

Con la finalidad de almacenar 40 litros de agua a la altura considerada en los cálculos, se realizó un tanque con material acrílico transparente que fue apoyado sobre la estructura de soporte, sus medidas son de 50 cm x 40 cm x 25 cm.



Ilustración 4-2: Tanque de almacenamiento

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.1.3. Tanque de reserva

Con la intención de tener reserva de agua para poder realizar una mayor cantidad de tratamiento, se incrementó un tanque el cual está conectado a una bomba de ½ hp y por medio de sensores de nivel de agua se mantiene el tanque elevado de almacenamiento con un abastecimiento adecuado ya que cuenta con una capacidad de 55 galones.



Ilustración 4-3: Tanque de reserva de agua

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.1.4. Bomba hidráulica

Se instaló una bomba de agua de ½ hp la cual se encarga de elevar el agua desde el tanque de reserva hasta el tanque de almacenamiento el cual se encuentra sobre la estructura. En base a los cálculos realizado se determinó que la potencia es la suficiente para abastecer al sistema y se encuentra conectada a los sensores para un encendido y apagado automático.



Ilustración 4-4: Bomba de agua de 1/2 hp

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.1.5. Elementos eléctricos

Con la finalidad de mantener un caudal adecuado en lo que se realiza el tratamiento de agua se conectó un sistema eléctrico el cual se detalla en el siguiente apartado.

4.1.5.1. Sensor de nivel de agua

El sensor de nivel de agua se encarga de enviar señales eléctricas con la intención de encender y apagar la bomba y mantener una altura adecuada de agua en el tanque elevado para favorecer al sistema con una caudal de agua lo más constante posible. La bomba se enciende automáticamente cuando el sensor detecta que el nivel de agua está bajando y se apaga cuando envía la señal de que tiene una altura idónea de agua.



Ilustración 4-5: Sensor de nivel de agua

Fuente: Baomain

4.1.5.2. Contactor

El contactor es un elemento que permite acceder o no a la energía que es necesaria para encender la bomba de agua. Este elemento es el que se encarga de conectar diferentes mecanismos, como los sensores de nivel de agua a la bomba hidráulica.



Ilustración 4-6: Contactor

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.1.5.3. Breaker

Se encarga de permitir el paso de la energía a todo el sistema, además protege a los componentes eléctricos cuando detecta una sobrecarga que podría afectar la integridad de los elementos.



Ilustración 4-7: Breaker

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.1.6. Sistema de tuberías

El sistema de tuberías es la encargada de llevar el agua desde el tanque de almacenamiento hasta cada uno de los filtros, se realizó con un diámetro comercial de 3/4 de pulgada y con la longitud y altura calculada para que la velocidad y presión sean adecuadas para el proceso de desinfección.



Ilustración 4-8: Construcción del sistema de tuberías y filtros

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.2. Proceso de las nanopartículas de cobre

Para el efecto bactericida y desinfectante que se va a producir en el filtro central del sistema, junto con el trabajo de retención del carbón activado, se realizó la adquisición de nanopartículas de cobre de la compañía Industrial Nano de Chile, las cuales tienen un tamaño menor a 10 nanómetros y se encuentra en solución acuosa. Sin embargo, no se logró conseguir las especificaciones técnicas del producto por lo que se tomó la decisión de realizar algunos procedimientos de laboratorio para poder saber cuál era la concentración de nanopartículas que se iba a ubicar en el prototipo. Las nanopartículas adquiridas se encuentran en una funda sellada al vacío para evitar la oxidación del contenido, como lo muestra la siguiente ilustración. Para

procesar esta solución acuosa se utilizó el laboratorio de Investigación a cargo de la ingeniera Geovana Lobato y se efectuaron algunos procedimientos.



Ilustración 4-9: Nanopartículas de cobre en solución acuosa

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.2.1. *Ultrasonido de nanopartículas*

Se colocó las nanopartículas en solución acuosa en un vaso de precipitado y se realizó el procedimiento de ultrasonido por 1 hora para que todo el contenido se homogenice de manera adecuada. El ultrasonido se encarga de producir vibraciones de alta intensidad en el material objetivo que a su vez genera burbujas microscópicas la cuales sufren rápidos cambios de expansión y colapso, causando el fenómeno denominado cavitación.



Ilustración 4-10: Nanopartículas en máquina de ultrasonido

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.2.2. *Procedimiento de centrifugado*

Posteriormente se ubicó las nanopartículas en tubos de ensayo en volúmenes iguales para no desequilibrar la máquina al momento que empieza la rotación. Este procedimiento se realizó a la máxima capacidad de la centrifugadora, es decir 3600 revoluciones por minuto, durante 10 minutos. Al finalizar el procedimiento, se pudo evidenciar que las partículas más pesadas se asentaron al fondo del tubo de ensayo mientras que, la solución acuosa con las nanopartículas más pequeñas se mantenía en la parte superior.



Ilustración 4-11: Centrifugado de nanopartículas

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.2.3. *Proceso de secado de nanopartículas*

Seguidamente se colocó las nanopartículas en vasos de precipitado, en proporciones iguales y se puso en la máquina secadora, este procedimiento duró aproximadamente 4 días hasta conseguir el resultado que se muestra en la siguiente ilustración.



Ilustración 4-12: Secado de nanopartículas

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.2.4. *Proceso de triturado*

Con la ayuda de una espátula se pasó el contenido a un mortero y se procedió a aplastar las nanopartículas secas hasta conseguir granos más finos que posteriormente puedan ser disueltas en agua destilada y crear la disolución a utilizar.



Ilustración 4-13: Triturado de nanopartículas

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.2.5. *Disolución madre o disolución stock*

Finalmente, se utilizó la balanza para tomar parte de las nanopartículas y disolverlas en 100 ml de agua destilada, por lo que la disolución final tiene 0.224 g/ml de nanopartículas de cobre. Luego la disolución pasó por un nuevo proceso de ultrasonido para homogenizar todo el contenido.



Ilustración 4-14: Pesaje y disolución madre

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.3. Procesado de muestras de agua

4.3.1. *Recolección de muestras de agua sin tratamiento de nanopartículas*

Para poner a prueba el prototipo con nanopartículas de cobre y carbón activado es necesario tener muestras de agua. Para ello acudimos al sector San Vicente de Lacas en donde se encuentra una pequeña planta de tratamiento por medio de humedales artificiales, que posteriormente utiliza esta agua para riego agrícola del sector.



Ilustración 4-15: Planta de tratamiento de San Vicente de Lacas

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Sin embargo, la coloración y calidad del agua no parece ser la indicada para mencionados fines. Es así que, con la colaboración del personal encargado de la planta y el permiso de los directivos de la comunidad se procedió a realizar la recolección de muestras, con la finalidad de verificar los indicadores de calidad del agua luego del tratamiento mediante humedales artificiales.



Ilustración 4-16: Recolección de muestras en la salida de la planta de tratamiento

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.3.2. *Recolección de muestras de agua con tratamiento de nanopartículas*

También se hizo la recolección de muestras de agua con el tratamiento de nanopartículas de cobre y carbón activado. Se preparó todo el sistema como se detalla a continuación.

4.3.2.1. *Preparación de los cartuchos*

El sistema tiene tres cartuchos en donde el primero y último solo tienen carbón activado en diferentes capas y el filtro central contiene la concentración de nanopartículas. Es así como, se utilizó 3 concentraciones diferentes (5 cartuchos), como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4-1: Concentraciones de nanopartículas de cobre

Parámetros	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Volumen de disolución [ml]	10	30	60
Concentración de nanopartículas [g]	2.24	6.72	13.44

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Primero se agregó una capa de carbón activado de la malla más gruesa, luego una segunda capa con la malla intermedia hasta la mitad de lo establecido y luego se insertó una esponja en donde se vertió la concentración de nanopartículas de cobre, posteriormente se puso la otra mitad de la capa central de carbón activado y seguidamente la última capa con la malla más fina.



Ilustración 4-17: Colocación de carbón activado y nanopartículas

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Luego de la última capa de carbón activado se agrega una nueva esponja que no permite que el contenido se salga del cartucho y pueda llegar a obstruir la tubería. Finalmente, se pone la tapa y se ajusta los tornillos de fijación.



Ilustración 4-18: Sellado del cartucho

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.3.2.2. *Recolección de muestras después del tratamiento*

Se puso en funcionamiento la bomba hidráulica la cual elevó el agua hasta el tanque superior, seguidamente se verificó que todas las llaves de jardín estén cerradas y se abrió la llave de paso. Luego se procedió a tomar las muestras de agua después de cada uno de los filtros. El efecto de las nanopartículas es inmediato por lo que no es necesario dejar pasar gran cantidad de tiempo.



Ilustración 4-19: Muestra de agua tratada

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.3.3. *Análisis de muestras de agua antes y después del tratamiento*

Para realizar el análisis de muestras se utilizaron los laboratorios de Calidad del Agua a cargo de la Doctora Gina Álvarez. Se utilizó equipos de laboratorios en los que se puso la muestra de agua

y este a su vez mostraba en la pantalla digital los resultados de pH, conductividad y sólidos disueltos. Así mismo a través de algunos reactivos químicos se logró encontrar los niveles de calcio, magnesio, nitratos, fosfatos, entre otros. La siguiente imagen expone cada una de las muestras que fueron analizadas bajo el procedimiento descrito anteriormente.



Ilustración 4-20: Análisis de la calidad del agua

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Así mismo, se utilizó el laboratorio de Biotecnología a cargo del ingeniero Andrés Mena, en donde se hizo el cultivo de microorganismos para detectar la presencia de coliformes fecales. Para este proceso fue necesario algunos materiales como matraces, tubos de ensayo, cajas Petri, pipeta electrónica, mechero de alcohol, tapas de cartón, cinta masking, agua destilada y alcohol industrial al 96%. Uno de los matraces contenía agua destilada mezclada con base de agar el cual presenta un color rojo oscuro y que servía para esparcir en las cajas Petri. Se empleó un peso de 8.1066 gramos de base de agar, lo suficiente para realizar todos los cultivos de las muestras recolectadas.



Ilustración 4-21: Preparación de los equipos

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Luego de tener preparados todos los materiales, se procede a esterilizar todo en una máquina que realiza este procedimiento y que se toma un tiempo aproximado de dos horas. Se utiliza agua destilada y una canasta de acero inoxidable para poner todos los materiales e introducirlos en la esterilizadora.



Ilustración 4-22: Esterilización de los materiales

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Después de finalizar el proceso de esterilización se puso todos los materiales en la cabina de flujo laminar, la cual esparce aire hacia arriba para evitar que haya contaminación cruzada en el proceso de cultivo de coliformes. También se encendió el mechero de alcohol en donde se acercaban los matraces y los tubos de ensayo cada vez que se abría y cerraba alguno de ellos. A través de una pipeta electrónica se puso la muestra de agua en cada una de las cajas Petri, se selló con cinta y se marcó con una numeración para evitar confusiones al obtener los resultados.



Ilustración 4-23: Cultivo de coliformes

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Finalmente, se insertó las cajas Petri en una incubadora y se esperó 48 horas para obtener los resultados de coliformes fecales presentes en el agua y se hizo un análisis de los cambios que se generaron luego de interactuar con nanopartículas de cobre.

4.4. Resultados del análisis de las muestras de agua antes y después del tratamiento

Antes de ingresar el agua en el sistema de tratamiento se realizó un análisis de laboratorio y posterior al tratamiento se hizo un nuevo análisis al agua recolectada para verificar los cambios sufridos en el agua. La siguiente tabla muestra cada uno de los resultados obtenidos después de cada filtro y su respectiva concentración utilizada.

Tabla 4-2: Resultados del análisis de las muestras de agua

PARÁMETRO	UNIDAD	SIN TRATAR	F1-C1	F2-C1	F3-C1	F2-C2	F3-C2	F2-C3	F3-C3
pH	-	6,8	6,87	7,87	8,1	8,25	8,33	8,03	8,25
Conductividad	mS	1,117	1,096	1,787	1,723	2,058	2,294	3,416	2,168
Sólidos disueltos	mg/l	659,3	613,5	99,98	96,48	1,152E-6	1,284E-6	1,911E-6	1,216E-6
Color	PtCo	346	163	265	249	304	278	316	278
Turbidez	NTU	28,7	8,9	16,1	13,01	12,55	13,3	3	3,5
Dureza	mg/l	256	264	272	296	216	184	264	264
Calcio	mg/l	51,2	48	48	57,6	51,2	54,4	60,8	60,8
Magnesio	mg/l	31,104	34,992	36,936	36,936	21,384	11,664	21,384	31,104
Alcalinidad	mg/l	319,6	385,4	441,8	432,4	432,4	470	479,4	432,4
Oxígeno disuelto	mg/l	0,47	0	0	0	0	0	0	0
Cloruros	meq/l	3,6	3,4	7,2	6,6	7,2	7,8	7,4	7,8
Nitratos	mg/l	26	4,3	6,9	6,5	5,1	6	6,6	5,8
Fosfatos	mg/l	18	13,55	14,15	13,6	12,7	12,7	14,5	10,5
Coliformes fecales	UFC	800000	100000	0	0	3500	0	5000	0

Designación:
F: Filtro
C: Concentración
Ejemplo: F1-C1 significa filtro 1 con concentración 1.
Nota:El primer filtro siempre tiene los mismos resultados ya que solo actúa el carbón activado en diferentes capas.

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Para entender de mejor manera se desglosó cada uno de los valores analizados, junto con lo que indica la normativa TULA y se emitió una observación de cumplimiento o incumplimiento del criterio de calidad. En este sentido el agua antes del tratamiento muestra los siguientes resultados.

Tabla 4-3: Calidad de agua para muestra de agua sin tratar

Parámetro	Unidades	Normativa	Valor de la muestra	Observación
pH	-	6 - 9	6,8	Cumple
Conductividad	mS	< 3	1,117	Cumple
Sólidos disueltos	mg/l	< 2 000	659,3	Cumple
Color	PtCo	< 250	346	No cumple
Turbidez	NTU	< 300	28,7	Cumple
Dureza	mg/l	< 307	256	Cumple
Calcio	mg/l	< 20	51,2	No cumple
Magnesio	mg/l	< 60	31,104	Cumple
Alcalinidad	mg/l	< 90	319,6	No cumple
Oxígeno disuelto	mg/l	2.5 - 3	0,47	No cumple
Cloruros	meq/l	< 10	3,6	Cumple
Nitratos	mg/l	< 30	26	Cumple
Fosfatos	mg/l	< 2	18	No cumple
Coliformes fecales	UFC	< 1 000	800000	No cumple

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

La caracterización del agua que no ha sido tratada dentro del prototipo muestra que ciertos valores se encuentran dentro del rango de cumplimiento de los requerimientos, no obstante, se pueden mejorar sus aspectos para llegar a lo establecido en la normativa. La presencia de coliformes

fecales es bastante elevada y por ende se hace prioritario el tratamiento del agua. A continuación, se muestran los resultados al pasar el primer filtro, valores que se mantendrán constantes, pues dicho filtro solo consta de carbón activado. Luego de analizar la muestra que pasa a través de este, se observan una disminución en la presencia de coliformes fecales, sin embargo, aún no es suficiente para cumplir con la normativa.

Tabla 4-4: Calidad de agua para F1-C1

Parámetro	Unidades	Normativa	Valor de la muestra	Observación
pH	-	6 – 9	6,87	Cumple
Conductividad	mS	< 3	1,096	Cumple
Sólidos disueltos	mg/l	< 2 000	613,5	Cumple
Color	PtCo	< 250	163	Cumple
Turbidez	NTU	< 300	8,9	Cumple
Dureza	mg/l	< 307	264	Cumple
Calcio	mg/l	< 20	48	No cumple
Magnesio	mg/l	< 60	34,992	Cumple
Alcalinidad	mg/l	< 90	385,4	No cumple
Oxígeno disuelto	mg/l	2,5 – 3	0	No cumple
Cloruros	meq/l	< 10	3,4	Cumple
Nitratos	mg/l	< 30	4,3	Cumple
Fosfatos	mg/l	< 2	13,55	No cumple
Coliformes fecales	UFC	< 1 000	100000	No cumple

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

La tabla 4-5 por su parte, presenta los resultados luego del segundo filtro que contiene la primera concentración de nanopartículas, muestra una estimación de presencia de coliformes fecales en el agua de 0 unidades, lo que ratifica la eficiencia antibacteriana de las nanopartículas de cobre.

Tabla 4-5: Calidad de agua para F2-C1

Parámetro	Unidades	Normativa	Valor de la muestra	Observación
pH	-	6 – 9	7,87	Cumple
Conductividad	mS	< 3	1,787	Cumple
Sólidos disueltos	mg/l	< 2 000	99,98	Cumple
Color	PtCo	< 250	265	Cumple
Turbidez	NTU	< 300	16,1	Cumple
Dureza	mg/l	< 307	272	Cumple
Calcio	mg/l	< 20	48	No cumple
Magnesio	mg/l	< 60	36,936	Cumple
Alcalinidad	mg/l	< 90	441,8	No cumple
Oxígeno disuelto	mg/l	2,5 - 3	0	No cumple
Cloruros	meq/l	< 10	7,2	Cumple
Nitratos	mg/l	< 30	6,9	Cumple
Fosfatos	mg/l	< 2	14,15	No cumple
Coliformes fecales	UFC	< 1 000	0	Cumple

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Finalmente, para esta primera prueba se obtienen datos del tercer filtro, el cual contiene únicamente carbón activado, obteniendo así los valores reflejados en la tabla 4-6. Evidentemente la presencia de coliformes debe mantenerse en cero y los valores adyacentes tales como presencia de minerales o sólidos disueltos, deben mantener una clara tendencia a reducirse con respecto a su valor en muestras sin tratar.

Tabla 4-6: Calidad de agua para F3-C1

Parámetro	Unidades	Normativa	Valor de la muestra	Observación
pH	-	6 - 9	8,1	Cumple
Conductividad	mS	< 3	1,723	Cumple
Sólidos disueltos	mg/l	< 2 000	96,48	Cumple
Color	PtCo	< 250	249	Cumple
Turbidez	NTU	< 300	13,01	Cumple
Dureza	mg/l	< 307	296	Cumple
Calcio	mg/l	< 20	57,6	No cumple
Magnesio	mg/l	< 60	36,936	Cumple
Alcalinidad	mg/l	< 90	432,4	No cumple
Oxígeno disuelto	mg/l	2,5 - 3	0	No cumple
Cloruros	meq/l	< 10	6,6	Cumple
Nitratos	mg/l	< 30	6,5	Cumple
Fosfatos	mg/l	< 2	13,6	No cumple
Coliformes fecales	UFC	< 1 000	0	Cumple

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos para el segundo filtro con la segunda concentración de nanopartículas de cobre para analizar su comportamiento y se obtuvo lo siguiente.

Tabla 4-7: Calidad de agua para F2-C2

Parámetro	Unidades	Normativa	Valor de la muestra	Observación
pH	-	6 - 9	8,25	Cumple
Conductividad	mS	< 3	2,058	Cumple
Sólidos disueltos	mg/l	< 2 000	1,152E-6	Cumple
Color	PtCo	< 250	304	No cumple
Turbidez	NTU	< 300	12,55	Cumple
Dureza	mg/l	< 307	216	Cumple
Calcio	mg/l	< 20	51,2	No cumple
Magnesio	mg/l	< 60	21,384	Cumple
Alcalinidad	mg/l	< 90	432,4	No cumple
Oxígeno disuelto	mg/l	2,5 - 3	0	No cumple
Cloruros	meq/l	< 10	7,2	Cumple
Nitratos	mg/l	< 30	5,1	Cumple
Fosfatos	mg/l	< 2	12,7	No cumple
Coliformes fecales	UFC	< 1 000	3500	No Cumple

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Como se puede corroborar en la tabla anterior el hecho de agregar una mayor concentración de nanopartículas de cobre fue contraproducente, debido a que hasta este punto los parámetros de color y las coliformes fecales no cumplen con los criterios de calidad para agua de riego. Sin embargo, tal como lo indica la tabla 4-8, luego de pasar por el último filtro el valor de coliformes fecales nuevamente se estableció en 0 unidades, pero el parámetro de color no se redujo. Esto se puede deber al contacto directo con carbón activado.

Tabla 4-8: Calidad de agua para F3-C2

Parámetro	Unidades	Normativa	Valor de la muestra	Observación
pH	-	6 - 9	8,33	Cumple
Conductividad	mS	< 3	2,294	Cumple
Sólidos disueltos	mg/l	< 2 000	1,284E-6	Cumple
Color	PtCo	< 250	278	No cumple
Turbidez	NTU	< 300	13,3	Cumple
Dureza	mg/l	< 307	184	Cumple
Calcio	mg/l	< 20	54,4	No cumple
Magnesio	mg/l	< 60	11,664	Cumple
Alcalinidad	mg/l	< 90	470	No cumple
Oxígeno disuelto	mg/l	2.5 - 3	0	No cumple
Cloruros	meq/l	< 10	7.8	Cumple
Nitratos	mg/l	< 30	6	Cumple
Fosfatos	mg/l	< 2	12,7	No cumple
Coliformes fecales	UFC	< 1 000	0	Cumple

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

A continuación, se muestra el comportamiento del sistema con la tercera concentración de nanopartículas, siendo esta la más elevada.

Tabla 4-9: Calidad de agua para F2-C3

Parámetro	Unidades	Normativa	Valor de la muestra	Observación
pH	-	6 - 9	8,03	Cumple
Conductividad	mS	< 3	3,416	No cumple
Sólidos disueltos	mg/l	< 2 000	1,911E-6	Cumple
Color	PtCo	< 250	316	No cumple
Turbidez	NTU	< 300	3	Cumple
Dureza	mg/l	< 307	264	Cumple
Calcio	mg/l	< 20	60,8	No cumple
Magnesio	mg/l	< 60	21,384	Cumple
Alcalinidad	mg/l	< 90	479,4	No cumple
Oxígeno disuelto	mg/l	2.5 - 3	0	No cumple
Cloruros	meq/l	< 10	7.4	Cumple
Nitratos	mg/l	< 30	6,6	Cumple
Fosfatos	mg/l	< 2	14,5	No cumple
Coliformes fecales	UFC	< 1 000	5000	No cumple

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

La tabla anterior reitera que utilizar una mayor concentración de nanopartículas de cobre no necesariamente es bueno para el sistema, porque elevó los valores de color, conductividad y hasta este punto el valor de coliformes fecales ha aumentado con respecto a la segunda concentración de nanopartículas. La siguiente tabla muestra como sale el agua al final del tercer filtro.

Tabla 4-10: Calidad de agua para F3-C3

Parámetro	Unidades	Normativa	Valor de la muestra	Observación
pH	-	6 - 9	8,25	Cumple
Conductividad	mS	< 3	2,168	Cumple
Sólidos disueltos	mg/l	< 2 000	1,216E-6	Cumple
Color	PtCo	< 250	278	No cumple
Turbidez	NTU	< 300	3,5	Cumple
Dureza	mg/l	< 307	264	Cumple
Calcio	mg/l	< 20	60,8	No cumple
Magnesio	mg/l	< 60	31,104	Cumple
Alcalinidad	mg/l	< 90	432,4	No cumple
Oxígeno disuelto	mg/l	2.5 - 3	0	No cumple
Cloruros	meq/l	< 10	7.8	Cumple
Nitratos	mg/l	< 30	5,8	Cumple
Fosfatos	mg/l	< 2	10,5	No cumple
Coliformes fecales	UFC	< 1 000	0	Cumple

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Al igual que con la segunda concentración de nanopartículas, el sistema se vuelve a estabilizar luego de pasar por el último filtro con la ausencia de coliformes fecales, pero el parámetro de color no cumple el criterio de calidad, mostrando una vez más que no necesariamente hace falta de una mayor concentración para volver más eficaz el sistema de tratamiento.

Luego de haber establecido el cumplimiento o incumplimiento de cada uno de los filtros con diferentes concentraciones, se realizaron gráficos de barra para indicar de manera visual el cumplimiento de los parámetros establecidos en la norma.

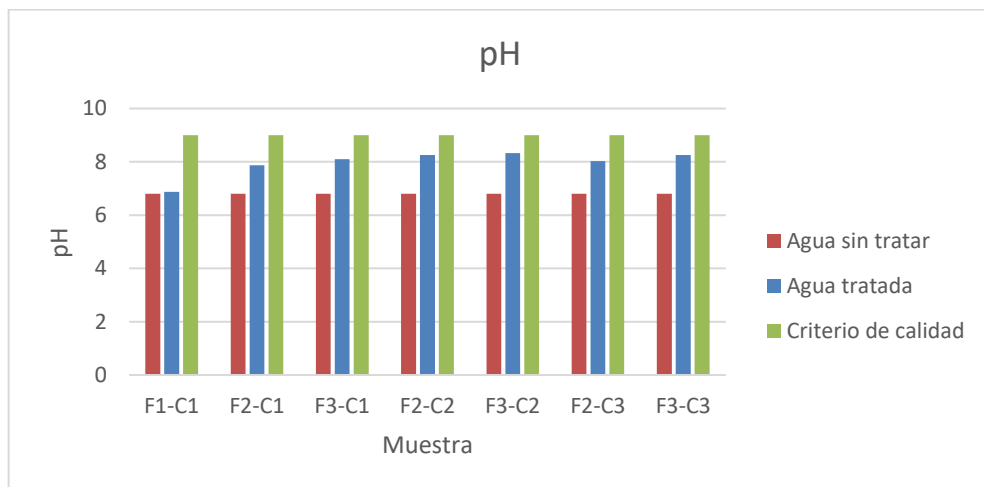


Ilustración 4-24: Comparación de pH

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

La ilustración anterior muestra que para el valor de pH se cumple con el criterio de calidad en todos los casos, incluso en el agua sin tratar. En cambio, la conductividad mostró un ligero incremento cuando se utilizaba una concentración elevada de nanopartículas de cobre, en donde se puede asumir que algunas nanopartículas podrían haber atravesado el filtro de carbón activado provocando que se salga de los rangos permitidos en la norma. Como se muestra en el filtro 2 con la concentración 2 (F2-C2) se elevó el parámetro de la conductividad por lo que incumpliría este criterio para agua de riego agrícola, pero con la primera y segunda concentración si se cumple con el criterio de calidad.

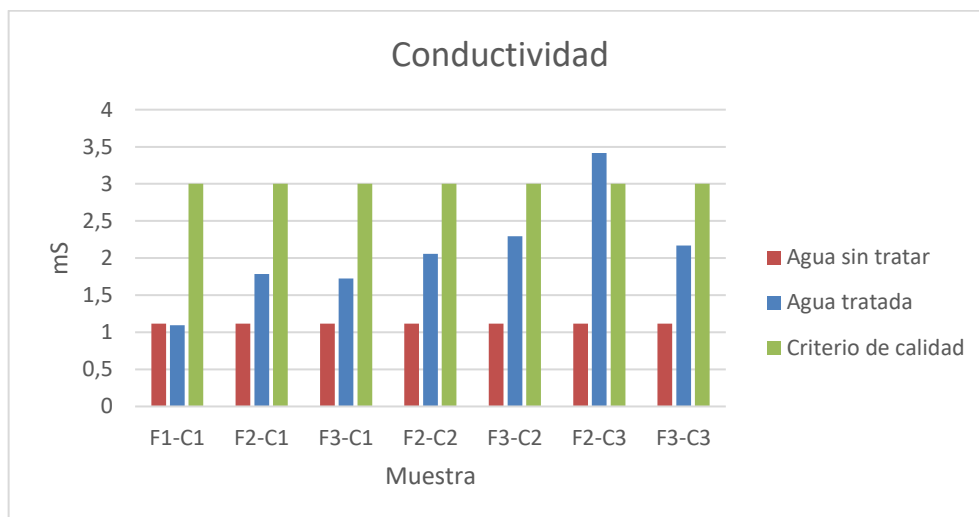


Ilustración 4-25: Comparación de conductividad

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Las nanopartículas de cobre y el carbón activado mostraron una gran eficiencia en cuanto al parámetro de sólidos disueltos, ya que luego de pasar el primer filtro y entrar en contacto con las nanopartículas este valor se reduce prácticamente a cero.

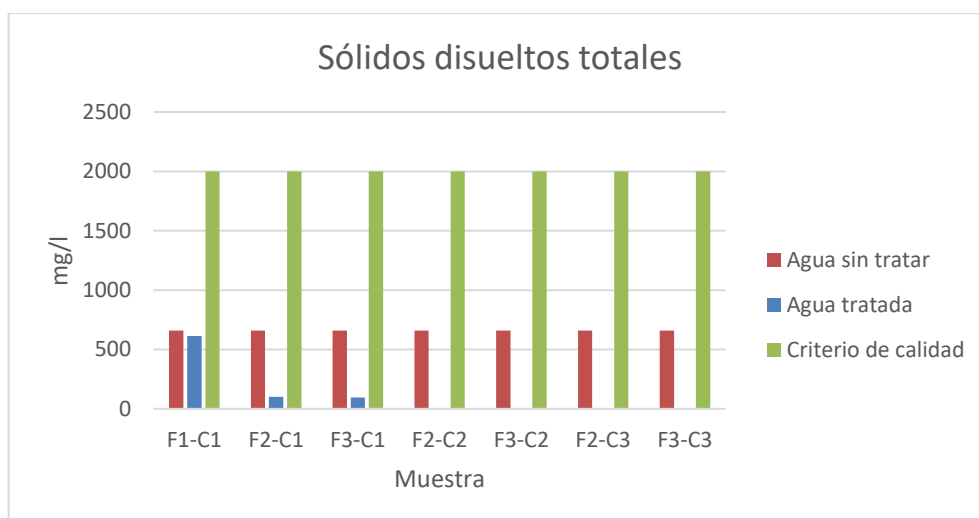


Ilustración 4-26: Comparación de contenido de sólidos disueltos

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

El parámetro de color muestra un incremento directamente proporcional a la concentración de nanopartículas de cobre, es decir, a mayor concentración, mayor nivel de color en el agua, reduciendo su valor ligeramente luego de pasar por el tercer filtro, por lo tanto, es aconsejable manejar concentraciones bajas de nanopartículas para este parámetro.

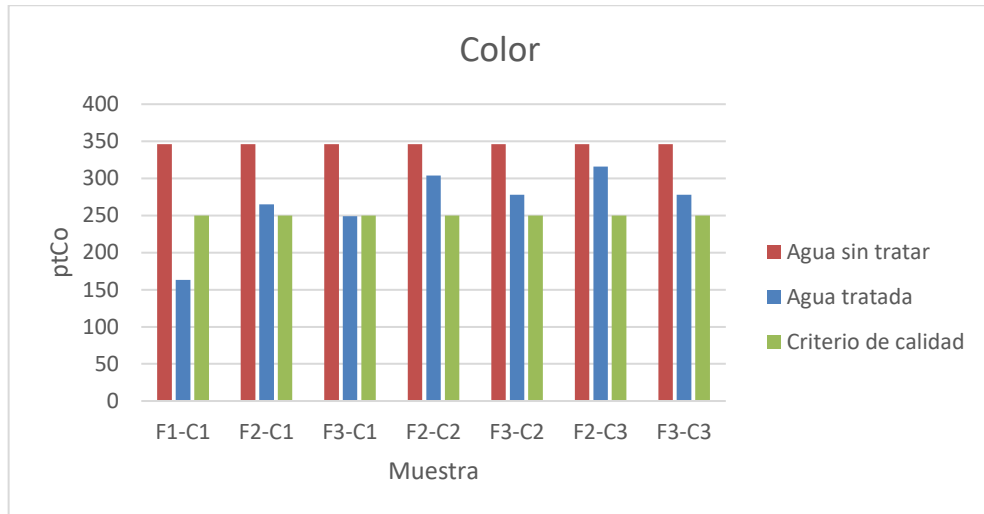


Ilustración 4-27: Comparación de color

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

El sistema de tratamiento también mostró un nivel adecuado de turbidez, aunque es necesario precisar que el agua antes de ser expuestas al carbón activado y las nanopartículas de cobre si cumplía con este parámetro, pero aun así se redujo su valor en todos los casos.

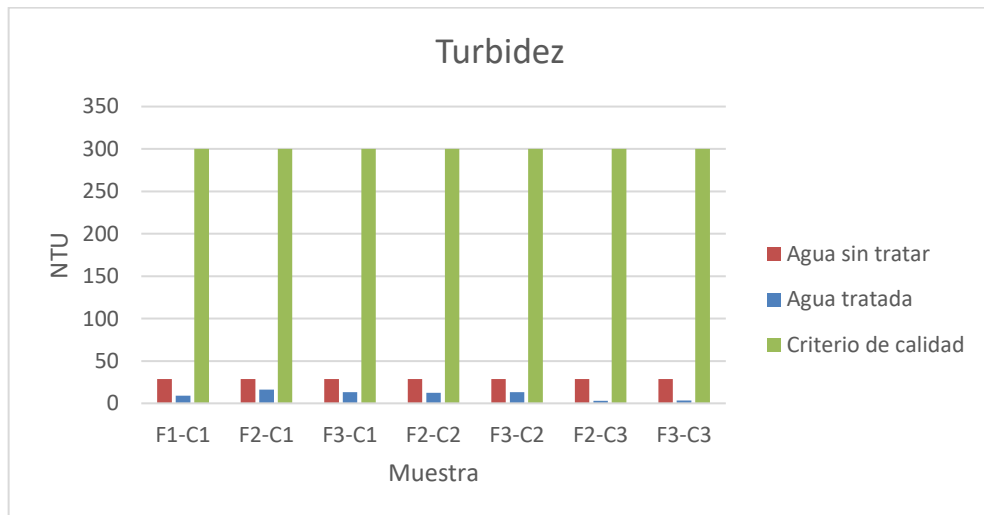


Ilustración 4-28: Comparación de turbidez

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

La dureza del agua mostró una elevación en cuanto a la primera concentración, pero manteniéndose dentro del criterio de calidad, sin embargo, en la segunda concentración bajó su contenido, mientras que en la tercera concentración se volvió a elevar. Aunque su comportamiento tiene ascensos y descensos, en todos los casos se cumple con el criterio de calidad establecido en la norma TULA.

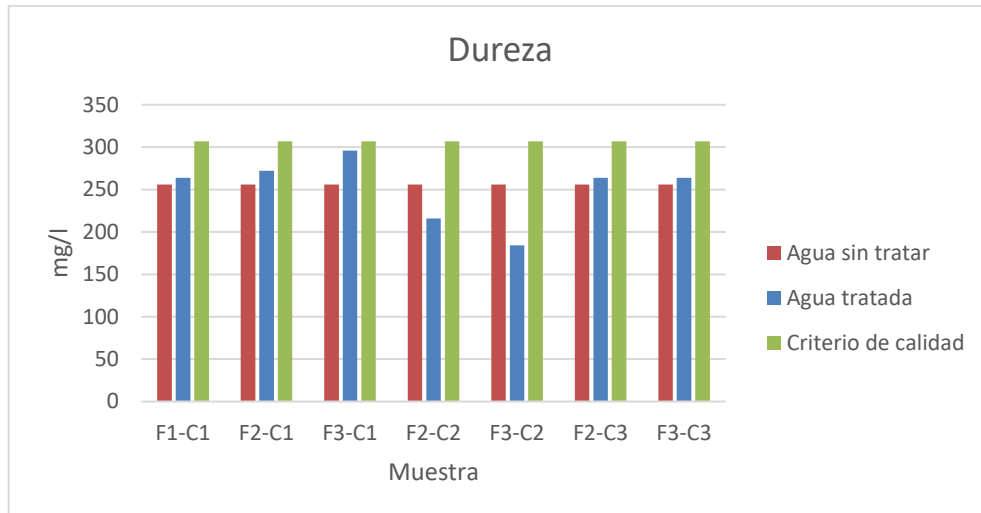


Ilustración 4-29: Comparación de dureza

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

El calcio presente en el agua está por encima del criterio de calidad, por lo tanto, es necesario un tratamiento químico para regular este parámetro tomando en cuenta el tipo de plantaciones a las que va a estar dirigida el agua de riego. Las nanopartículas de cobre y el carbón activado demostraron que, aunque varían los valores de calcio, no los regula hasta cumplir con lo indicado en la norma.

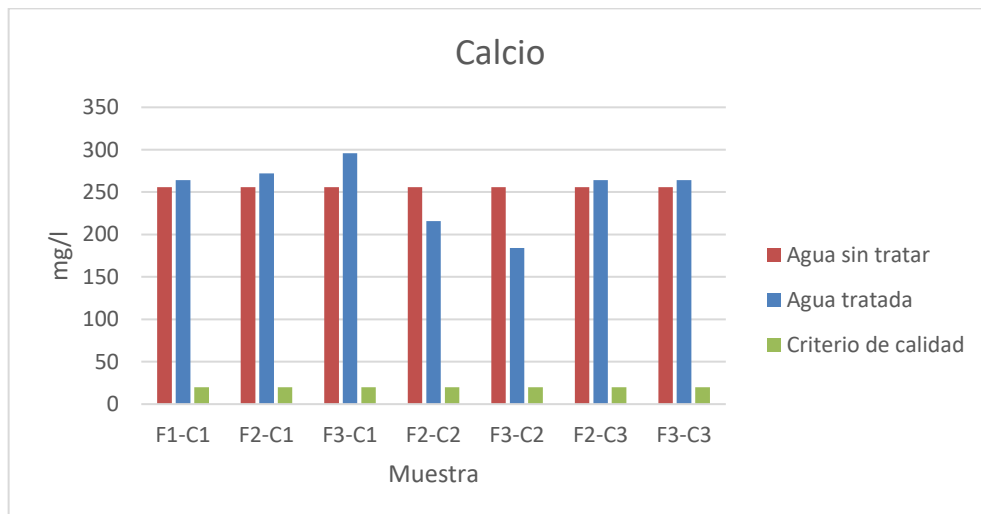


Ilustración 4-30: Comparación de contenido de calcio

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Los niveles de magnesio se muestran dentro del rango permitido por los criterios de calidad, por lo que no es necesario realizar ningún tipo de tratamiento químico, incluso el agua sin tratamiento ya cumplía con este parámetro. Sin embargo, es visible que con la primera concentración los valores de magnesio aumentaron ligeramente, pero se mantuvieron casi al mismo nivel hasta pasar por todos los filtros, en cambio, en la segunda y tercera concentración sus valores tuvieron un desbalance con respecto al agua sin tratar.

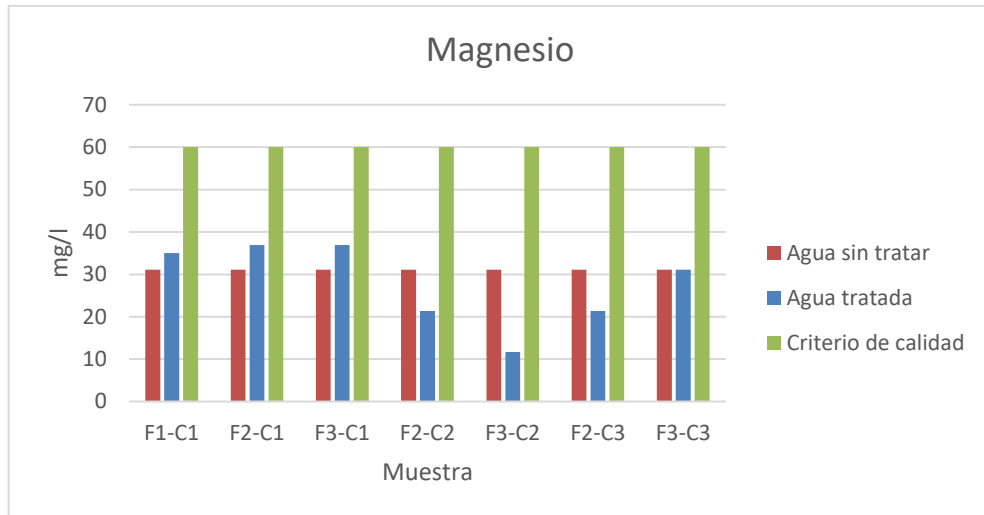


Ilustración 4-31: Comparación de contenido de magnesio

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

La alcalinidad es un parámetro que se debe ajustar realizando un tratamiento químico adicional, puesto que las nanopartículas de cobre elevan este valor, como lo indica la siguiente ilustración. El agua sin tratar ya mostraba que estaba fuera del rango de calidad y con el tratamiento del sistema aumentó aún más, es decir que, en ningún caso se cumple con el criterio de alcalinidad descrito en la normativa.

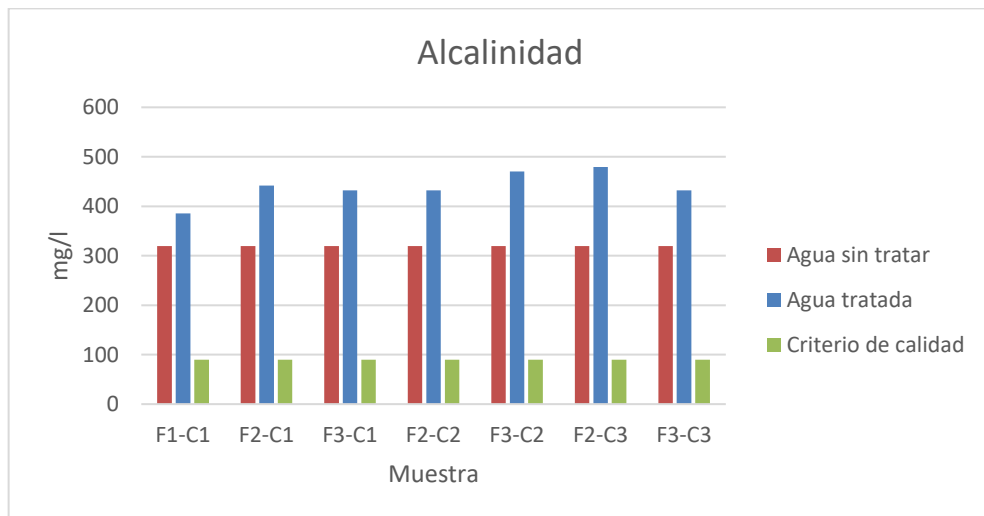


Ilustración 4-32: Comparación de alcalinidad

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

La presencia de cloruros aumentó en comparación con las primeras dos muestras cuando se expusieron a nanopartículas de cobre. Esto sugiere que las nanopartículas pueden reducir las propiedades del carbón activado para eliminar compuestos clorados del agua. Aunque los valores están dentro del margen aceptable, se destaca su posible efecto en las propiedades de remoción.

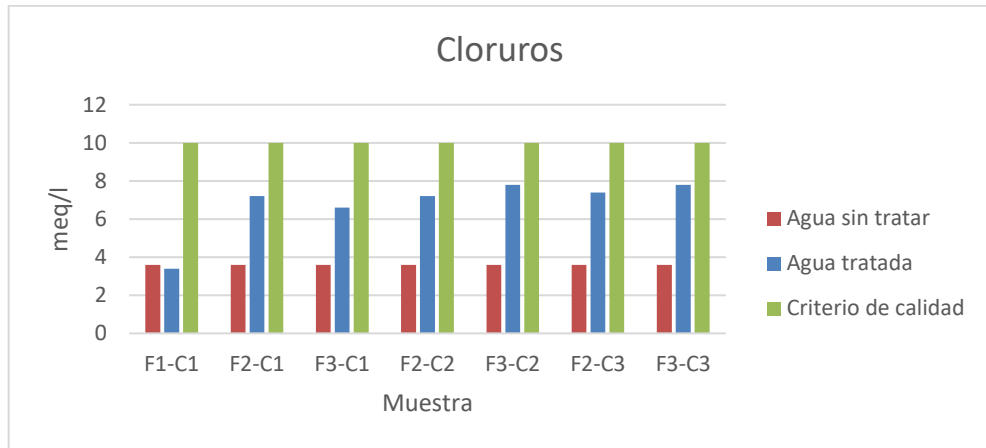


Ilustración 4-33: Comparación de contenido de cloruros

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Como indica la siguiente ilustración, los nitratos mostraron una reducción notable luego de pasar por los filtros de carbón activado y nanopartículas de cobre, por lo que cumple con la normativa.

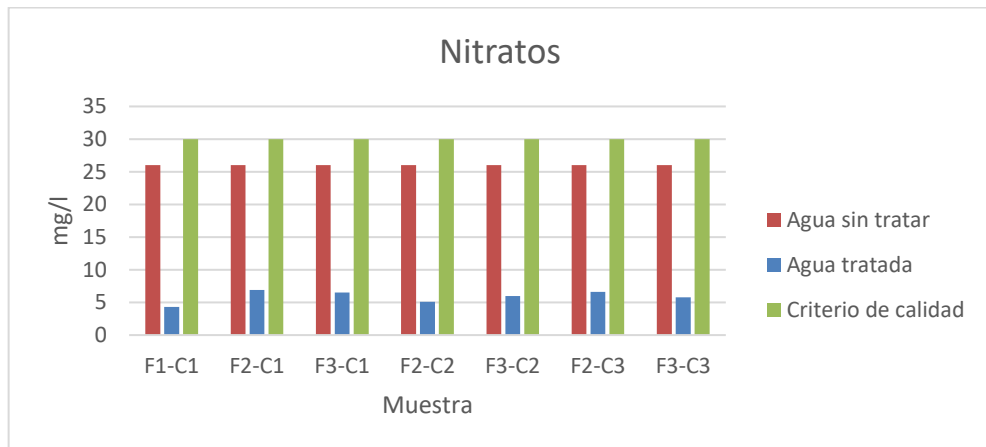


Ilustración 4-34: Comparación de contenido de nitratos

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Mientras que los fosfatos mostraron una leve reducción, tal como se muestra en la gráfica, sin embargo, no es lo suficientemente efectivo para cumplir con el criterio de calidad.

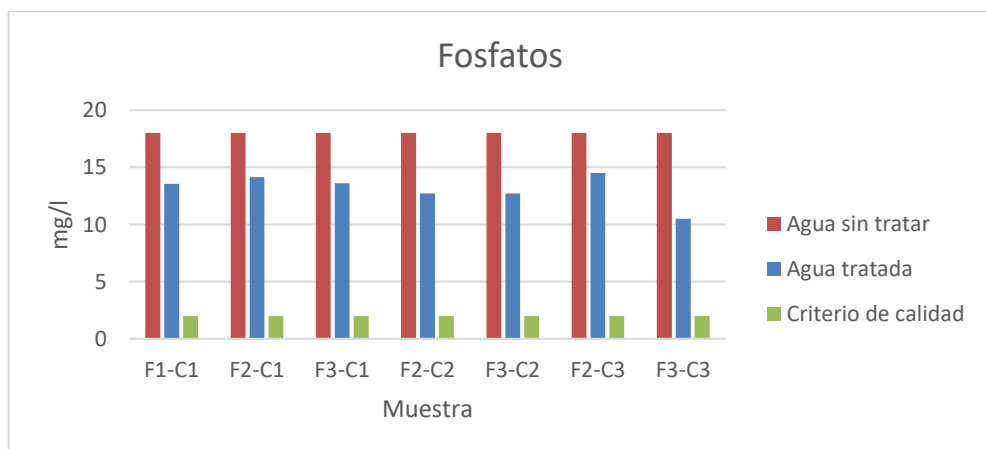


Ilustración 4-35: Comparación de contenido de fosfatos

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

El agua sin tratamiento de nanopartículas de cobre y carbón activado contenía una elevada cantidad de coliformes fecales, muy por encima del criterio de calidad expresado en la normativa TULA, sin embargo, el efecto antibacteriano de las nanopartículas de cobre hizo posible que luego del tratamiento estas se redujeran enormemente para cumplir con el criterio de calidad. Recordando que no es necesario de una elevada concentración de nanopartículas para que se genere la desinfección del agua.

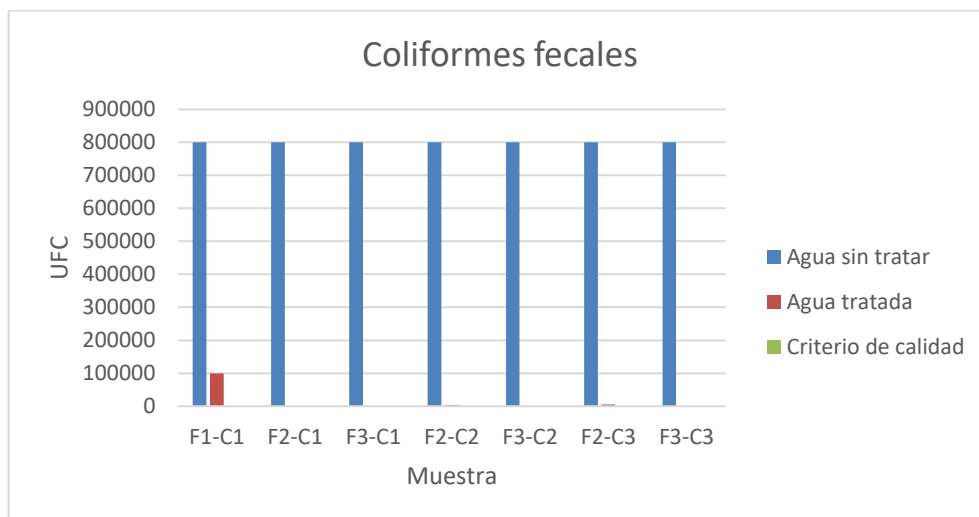


Ilustración 4-36: Comparación de contenido de coliformes fecales

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

Finalmente, se evidenció la ausencia de oxígeno disuelto en prácticamente todas las muestras, incluida el agua sin tratamiento, debido a la elevada presencia de fosfatos, por lo que se recomienda un proceso de oxigenación del agua antes de ser utilizada en riego agrícola ya que esto es importante para que las plantas puedan aprovechar de mejor manera los nutrientes presentes en la tierra, fortaleciendo la vegetación y mejorando la producción agrícola.

4.5. Análisis de costos del sistema

El análisis de costos de la elaboración del sistema de tratamiento de aguas con nanopartículas de cobre y carbón activado puede variar según la capacidad de filtración que se requiera. Además, se puede adaptar otras ramificaciones de filtros para analizar diferentes tipos de nanopartículas y su influencia en la desinfección del agua. A continuación, se detalla cada uno de los costos generados en la elaboración del prototipo.

4.5.1. Costos directos

Hace referencia a cada uno de los materiales y elementos que se utilizaron en la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales con nanopartículas de cobre y carbón activado, así como los equipos, herramientas y mano de obra que fueron necesarios para lograr el objetivo, además de considerar el costo ingenieril de la elaboración del prototipo. Los costos se detallan en los subapartados que se presentan a continuación.

4.5.1.1. Costo de materiales y elementos

Tabla 4-11: Costo de materiales y elementos

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Sub Total
1	Nanopartículas de cobre	U	1	90,00	90,00
2	Carbón activado malla 8 x 30	Kg	5	7,00	35,00
3	Carbón activado malla 10 x18	Kg	5	8,00	40,00
4	Carbón activado malla 12 x 40	Kg	5	9,00	45,00
5	Porta filtro transparente de 10"-polipropileno.	U	3	25,00	75,00
6	Tubo cuadrado 1¼" x 2 mm	m	4	13,65	54,60
7	Bomba de agua de ½ hp	U	1	60,00	60,00
8	Tanque de acrílico transparente 50x25x40 cm	U	1	45,00	45,00
9	Tubería de pvc de ¾"	m	6	1,33	8,00
10	Tubería de pvc de ½"	m	6	1,08	6,50
11	Pintura anticorrosiva color gris	L	1	4,65	4,65
12	Adaptador de tanque de ¾"- Polipropileno	U	2	6,00	12,00
13	Bushing de ¾" a ½"- Polipropileno	U	3	0,80	2,40
14	Codo a 90° de ¾"- Polipropileno	U	1	1,05	1,05
15	Tee de ¾"- Polipropileno	U	2	1,25	2,50
16	Unión universal de ¾"- Polipropileno	U	1	2,25	2,25
17	Llave de paso de ¾"- acero inoxidable y cuerpo de bronce	U	1	6,80	6,80
18	Llave de jardín de ½"- Pvc	U	3	3,50	10,50
19	Disco de corte de diámetro 7"	U	3	4,70	14,10
20	Mini rodillo	U	1	3,50	3,50
21	Silicon transparente	U	1	5,80	5,80
22	Electrodos 6013 x 1/8"	Kg	3	4,66	13,98
23	Adaptador hembra macho de ¾"- Polipropileno	U	1	1,20	1,20
24	Tiñer	L	1	2,00	2,00
25	Teflón- politetrafluoroetileno	U	2	1,00	2,00
26	Tanque de Polietileno de 250 L 83.5x59x86 cm	U	1	60,00	60,00
27	Flotador pirramidal 2 MTS T/C	U	2	6,72	13,44
28	Cable Concéntrico 2*14 THHN	m	3	1,0976	3,29
29	Cable Gemelo 14 AWG R100M	m	8	1,036	8,29
30	Cinta adhesiva doble faz 18mmx2M	U	1	2.2736	2,27
31	Cinta aislante ¾ 10 YDS TEMFLEX 3M	U	1	0,7168	0,72
32	Contactador fuerza 9A 2Hp 110V GMC 9 LG (B-19981)	U	1	13,0592	13,06
33	Switch 32AMP WEGGO 110V	U	1	12	12,00
34	Caja eléctrica 22x27x7.5 cm	U	1	4,00	4,00
35	Válvula check o antirretorno ¾"- bronce	U	1	20	20,00
36	Base para bomba pequeña	U	1	23	23,00

37	vaso de precipitado graduado de 250 ml.	U	1	4	4,00
38	Pipeta graduada de 1ml	U	1	3	3,00
39	Pera de succión ML62	U	1	6,496	6,50
40	Destornillador Tester Probador de Fase- 90 VAC a 250 VAC.	U	1	2	2,00
Sub Total 1					719,40

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.5.1.2. Costo de mano de obra

Se indica las horas-hombre que fueron necesarias para la elaboración del prototipo y su costo por hora.

Tabla 4-12: Costo de mano de obra

Ítem	Descripción	Horas - hombre	Costo x hora	Sub Total
1	Soldador	4	12,00	48,00
2	Ayudante	3	10,00	30,00
Sub Total 2				78,00

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.5.1.3. Costo de herramientas y equipos

Se muestra las máquinas que se utilizaron para la impresión y curado de los cartuchos y su costo por hora.

Tabla 4-13: Costo de herramientas y equipos

Ítem	Descripción	Horas - equipo	Costo x hora	Sub Total
1	Impresora Phrozen Sonic Mega 8K	24	5,00	120,00
2	Máquina de curado de resina UW-01	2	10,00	20,00
Sub Total 3				140,00

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.5.1.4. Costos directos totales

Tabla 4-14: Costo directos totales

Descripción	Costo total
Sub Total de materiales	719,40
Sub Total de mano de obra	78,00
Sub Total de equipos y herramientas	140,00
Total	937,40

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.5.2. Costos indirectos

Influyen indirectamente sobre el costo total para la realización del prototipo, además se debe tomar en cuenta cualquier imprevisto.

Tabla 4-15: Costos indirectos

Descripción	Costo total
Ingenieril (10%)	71,94
Transporte	0,00
Imprevistos	30,00
Utilidad	0
Total	101,94

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

4.6. Costos totales

Representa la suma de los costos directos e indirectos que se utilizaron para la elaboración del prototipo.

Tabla 4-16: Costos totales

Descripción	Costo total
Total, costos directos	937,40
Total, costos indirectos	101,94
Total	1039,34

Realizado por: Granda B., Chica H., 2023

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Los criterios empleados para validar la eficacia del sistema de tratamiento de agua se basan en el anexo 1 del “Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua”. Se verificaron los parámetros detallados en las tablas 4 y 5, referentes a la calidad de agua para uso agrícola y sus niveles. Si bien las muestras, tanto tratadas como no tratadas, cumplen con los rangos estimados, esto no garantiza que el agua sea apta para consumo humano. Los valores aceptables para riego son altos debido a las capacidades naturales de las plantas de mitigar impactos de calidad de agua. Sin embargo, ciertos indicadores, que varían drásticamente tras el tratamiento con filtros de carbón activado y nanopartículas, respaldan la eficacia de este método.
- La presencia de sólidos disueltos en las muestras finales es mínima, evidenciando la eficiencia de los filtros. Las concentraciones de nitrato se reducen notablemente en comparación con las muestras no tratadas. A pesar de las pequeñas diferencias entre las muestras tratadas, las derivadas de una concentración de 10 ml son viables, ya que muestran resultados comparables a concentraciones mayores.
- Los datos indican que incrementar la concentración de nanopartículas no mejora significativamente el rendimiento en parámetros asociados a cualidades físicas y químicas puesto que la concentración menor utilizada elimina el 100% la presencia de unidades formadoras de colonia. Por lo tanto, sistemas basados en principios similares podrían operar con concentraciones bajas, compensando con un mayor número de filtros. Esto podría ofrecer soluciones complementarias, económicas y eficientes a los sistemas de tratamiento actuales.
- Los cálculos relacionados con dimensiones de tuberías, accesorios, altura de bombeo y número de filtros son extrapolables para instalaciones de mayor escala. Esto valida el prototipo y muestra su aplicabilidad y viabilidad en contextos más amplios.
- La implementación de sensores permite una regulación automática del sistema, optimizando el flujo de agua desde la cisterna al tanque elevado. Este control automático, tanto sencillo como económico, hace viable su incorporación en sistemas domésticos-agrícolas.
- La combinación de carbón activado con nanopartículas mejora significativamente la capacidad de adsorción. La variabilidad en tamaños de malla del carbón activado, junto con la adsorción selectiva de las nanopartículas, optimiza la eficiencia de retención y purificación.

- Para controlar el sistema de manera efectiva, es beneficioso utilizar concentraciones conocidas a través de diluciones de una solución stock. Esto proporciona información precisa sobre la cantidad de nanopartículas por miligramo, facilitando la identificación de la concentración más eficiente.
- Las nanopartículas tienen un comprobado efecto bactericida, evidenciado por la reducción de unidades formadoras de colonia en las muestras, llegando a valores seguros de 0 UFC. Aunque los análisis se centraron en la detección de coliformes fecales, las nanopartículas de cobre tienen amplias propiedades antimicrobianas, validando su uso en el tratamiento de aguas residuales.
- Los resultados del análisis de muestras de agua posterior al tratamiento realizado demostraron un aumento en la conductividad eléctrica, lo que sugiere que podrían estar escapando nanopartículas de cobre de los filtros. Sin embargo, este parámetro se encuentra por debajo de los criterios de calidad.

5.2. Recomendaciones

- Se sugiere explorar métodos industriales de remoción y reactivación del carbón activado para prolongar la vida útil del sistema de tratamiento y minimizar costos de reposición.
- Es esencial identificar alternativas costo-eficientes para los cartuchos. Dada su exposición continua al agua en ambientes confinados, estos cartuchos deben ser duraderos y fácilmente reemplazables.
- Se aconseja ampliar el número de pruebas, ajustando los tiempos de contacto entre el agua y el carbón activado impregnado de nanopartículas. Esto permitirá determinar curvas de rendimiento en función del origen del agua y su grado de contaminación.
- Para garantizar la precisión de los resultados, se debe analizar las muestras de agua, tanto tratadas como no tratadas, en un laboratorio dentro de las 48 horas posteriores a su obtención. Esto asegura la conservación de los microorganismos en el agua y una evaluación fiable del impacto de las nanopartículas en la desinfección.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ALMAYA, M., ELIZABETH, M., CUENCA, D., RAFAEL, A., GRANADOS, A., ELIZABETH, K. y CALZADA, C.** El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. 2012. Toluca de Lerdo, México.
2. **AMERICAN WATER CHEMICAL.** Filtros de carbón activado. [en línea]. [consulta: 21 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.membranechemicals.com/es/water-treatment/filtros-de-carbon-activado/>.
3. **AMERICAN WATER CHEMICAL, Inc (AWC).** Filtros de Carbón Activado. [en línea]. [consulta: 21 mayo 2023]. Disponible en: <https://www.membranechemicals.com/es/water-treatment/filtros-de-carbon-activado/>.
4. **AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.** Powdered activated carbon. 2010. [en línea]. Disponible en: www.awwa.org.
5. **AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.** Granular activated carbon. 2017.
6. **AMÉZQUITA, H.J.** Modificación de la capacidad adsorbente de fibras de carbón activado para la eliminación de metales pesados (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Químicas, Magister en Orientación en procesos sustentables. Nuevo León-México. 2010. pp. 13.
7. **AMY, G., BRDJANOVIC, D., COMEAU, Y., EKAMA, G.A., OROZCO, J.H., GERBA, C.P., HENZE, M., HOOIJMANS, C.M., JUDD, S., KIM, B., VAN LIER, J.B., MAHMOUD, N., MARTINS, A.M., MORGENROTH, E.F., OLSSON, G., ROSSO, D., STENSTROM, M.K., TAKACS, I., VAN LOOSDRECHT, M.C.M., WENTZEL, M.C. y ZEEMAN, G.** *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño.* 2017. IWA Publishing.
8. **BAOMAIN.** Water Level Controller Float Switch for Sump Pump, Water Tank – BAOMAIN. [en línea]. [consulta: 14 agosto 2023]. Disponible en: https://baomain.com/products/uk221?_pos=1&_sid=752a1392d&_ss=r.
9. **BERNER, S., ARAYA, P., GOVAN, J. y PALZA, H.** Cu/Al and Cu/Cr based layered double hydroxide nanoparticles as adsorption materials for water treatment. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 59, 2018. ISSN 1226-086X. DOI 10.1016/J.JIEC.2017.10.016.
10. **CABEZAS, D.E.** Determinación de las características físicas de sustancias reactivas: carbón activado, piedra caliza, turba, de origen ecuatoriano para el tratamiento de agua (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil. Ambato-Ecuador. 2021. pp. 97.

11. **CALLE, G.N.** Nanotecnología conceptos generales. *Revista de información tecnología y sociedad* [en línea], vol. 5, 2010. [consulta: 15 abril 2023]. ISSN 1997-4044. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1997-40442010000200002&lng=es&nrm=iso.
12. **CALLISAYA, F.M.** Riesgos de la nanotecnología. *Revista de información, tecnología y sociedad*. 2010.
13. **CARBOTÉCNIA.** Granulometría. *Centro de aprendizaje* [en línea], 2022. [consulta: 7 julio 2023]. Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/granulometria-o-numero-de-malla/>.
14. **CARTUCHE, K.M.** Diseño y construcción de un filtro de carbón activado para la desodorización del etanol de caña de azúcar (Trabajo de titulación). Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ingeniería Química, Carrera de Ingeniería Química. Quito-Ecuador. 2022. pp. 11.
15. **CHUQUÍN, N.S., CHUQUÍN, J.P. y CHUQUÍN, D.A.** *Hidráulica en tuberías y accesorios (válvulas industriales): pérdidas, casos reales de aplicación y selección de bombas centrífugas* [en línea], 2020. ISBN 9789942802552. Disponible en: www.cidecuador.com.
16. **CLEMENTS, M. y HAARHOFF, J.** Practical experiences with granular activated carbon (GAC) at the Rietvlei Water Treatment Plant. *Water Research Group, Rand Afrikaans University, PO Box 524*. [en línea], vol. 30, 2006. ISSN 0378-4738. Disponible en: <http://www.wrc.org.za>.
17. **DE LA HOZ, M., LUGO, A. y SARMIENTO, J.** Carbón activado para la purificación de gases: Alternativa para mejorar la calidad del aire en las ciudades. *Rev. Tekhné* [en línea]. Caracas-Venezuela, 2019. Disponible en: <http://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/temas/index.php/tekhne/indexISSN:1316-3930.PublicaciónUCABDepósitoLegalPp97-000748>.
18. **DIAZ, P.L.** Efecto bactericida de nanopartículas de hierro, cobre, zinc y plata en el tratamiento y desinfección de aguas residuales. *Naturaleza y tecnología*, 2021. ISSN 2007-672X.
19. **ESPA.** ¿Qué rendimiento debe tener la bomba? [en línea], 2020. [consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.espa.com/corp-es/articulos-que-rendimiento-debe-tener-la-bomba-/>.
20. **FUENTES, M.** Diferencia entre el carbón activado malla 12X40 y 8X30. *aquasistemas* [en línea], 2021. [consulta: 7 julio 2023]. Disponible en: <https://aquasistemas.com.gt/diferencia-entre-el-carbon-activado-malla-12x40-y-8x30/>.

21. **GÁFARO, J.D. y NIGRIMIS, G.** Demostrar la influencia de la aplicación de carbón activado en polvo (CAP) sobre la calidad del agua potable para la remoción de GSM Y MIB en dos condiciones de operación (con y sin ayudante de floculación) de la planta de tratamiento de agua potable de Bosconia, Santander (Trabajo de titulación). Universidad Pontificia Bolivariana, Escuela de Ingeniería. Bucaramanga-Colombia. 2019.
22. **GARCÍA, A.** *Influencia del tamaño de partícula de carbón mineral activado sobre la adsorción de fenol y clorofenol*. Instituto Tecnológico de Toluca, México. 2001.
23. **GARCÍA, F.** Curso instalaciones eléctricas domiciliarias e industriales. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/426349744/Conexion-de-Flotador-Elctrico>
24. **GIRALDO, L., GARCÍA, V. y MORENO, J.C.** Caracterización superficial en fase gas y líquida de carbones activados. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. 2007.
25. **GRANJA, M.B. y TAPIA, S.A.** Evaluación, caracterización y propuesta de tratamiento del agua residual proveniente de la cafetería del campus El Girón de la Universidad Politécnica Salesiana (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales. Quito-Ecuador. 2013. pp. 17-19.
26. **INEC.** Estadística de información ambiental económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2015 (Agua y Alcantarillado). Quito-Ecuador. 2016.
27. **LARA, Á.** Planificación y gestión autónoma de los servicios básicos en la zona sur de Cochabamba (Bolivia) (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Internacional de Andalucía, Sede Iberoamericana de la Rábida (Huelva). Andalucía-España. 2011.
28. **LUAN, H., TEYCHENE, B. y HUANG, H.** Efficient removal of As(III) by Cu nanoparticles intercalated in carbon nanotube membranes for drinking water treatment. *Chemical Engineering Journal*, vol. 355, 2019. ISSN 1385-8947. DOI 10.1016/J.CEJ.2018.08.104.
29. **MARTÍN, J.M.** *Adsorción física de gases y vapores por carbones* [en línea]. Universidad de Alicante, 1990. [consulta: 26 abril 2023]. ISBN 8486809339. Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/4291/4/adsorcion_fisica_2.pdf.
30. **MARTÍNEZ, A.** *Fisicoquímica de superficies e interfases* [en línea]. México: Universidad Autónoma de Coahuila, 2012. [consulta: 26 abril 2023]. ISBN 978-607-506-098-9. Disponible en: <http://www.investigacionyposgrado.uadec.mx/libros/2012/9.-%202012FisicoquimicadeSuperficiesInterfases.pdf>.
31. **MENDOZA, G. y RODRÍGUEZ, J.L.** La nanociencia y la nanotecnología: una revolución en curso. *Perfiles Latinoamericanos* [en línea], 2007. vol. 29, ISSN 0188-7653. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11502906>.

32. **NÚÑEZ, W.J.** El derecho fundamental al agua dentro del marco del servicio público de agua potable en el Ecuador (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Andina Simón Bolívar, Carrera de Derecho. Quito-Ecuador. 2018. pp. 3.
33. **OLARTE, A.** Diseño de filtros de carbón activado. Coahuila: Universidad autónoma agraria “Antonio Narro”, Unidad Laguna, División de Carreras Agronómicas. Torreón-México. 2007. pp.18.
34. **OMS.** Agua para consumo humano. [en línea], 2022. [consulta: 11 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>.
35. **PARIONA, N., HERMIDA-MONTERO, L., MTZ-ENRIQUEZ, A.I., SÁNCHEZ-RANGEL, D., CARRIÓN, G., LOPEZ-LIMA, D., ROSAS-SAITO, G., RODRIGUEZ-HASS, B. y DURAN-BARRADAS, Z.** Síntesis de nanopartículas de cobre para el control de hongos fitopatógenos. *Revista ECIPerú*, vol. 15, no. 2, 2018. DOI <https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2018.0017/>.
36. **PEDROLLO.** Catálogo general Pedrollo. [en línea]. Disponible en: www.casadelriegoecuador.com.
37. **PUNIA, P., BHARTI, M.K., CHALIA, S., DHAR, R., RAVELO, B., THAKUR, P. y THAKUR, A.** Recent advances in synthesis, characterization, and applications of nanoparticles for contaminated water treatment- A review. *Ceramics International* [en línea], vol. 47, no. 2, 2021.[consulta: 14 agosto 2023]. ISSN 0272-8842. DOI 10.1016/J.CERAMINT.2020.09.050. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272884220327474>.
38. **RAFFO, E. y RUIZ, E.** Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial* [en línea], 2014. Disponible en: <http://www.ramsar.org>.
39. **RAMOS, J.M.** Manual de operaciones unitarias. 2015.
40. **REGISTRO OFICIAL SUPLEMENTO 387.** Registro oficial suplemento 387. 2015.
41. **REYNOLDS, K.A.** Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. Identificación del problema. *Agua Latinoamérica*. 2022.
42. **ROBERTI, L.** Conducción por gravedad | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management! [en línea], 2018. [consulta: 10 julio 2023]. Disponible en: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/conducci%C3%B3n-por-gravedad>.
43. **RODRÍGUEZ, A., LETÓN, P., GARCÍA, R., DORADO, M., VILLAR, S. y SANZ, J.** Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. [en línea], 2006. Madrid: Disponible en: www.madrimasd.org.

44. **RODRÍGUEZ, F.** Nuevos retos en la síntesis y aplicación de carbón activado. *Simposio sobre adsorción, adsorbentes y sus aplicaciones* [en línea], 2006. [consulta: 13 abril 2023]. Disponible en: <http://infap.unsl.edu.ar/SAASA2009/plenaria3.html>.
45. **RODRÍGUEZ, F.** Materiales en adsorción y catálisis. *Revista del grupo especializado de adsorción de la RSEQ* [en línea], 2010. ISSN 2173-0253. Disponible en: <http://www.ua.es/grupo/lma>.
46. **RODRÍGUEZ, F. y MOLINA, M.** El carbón activado en procesos de descontaminación. Alicante. 2002.
47. **RODRÍGUEZ, P., GIRALDO, L. y MORENO, J.C.** Influencia del pH sobre la adsorción en carbón activado de Cd(II) Y Ni(II) desde soluciones acuosas. *Revista Colombiana de Química* [en línea], vol. 39, no. 3, 2010. [consulta: 11 mayo 2023]. ISSN 0120-2804. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/20362>.
48. **ROJAS, R.** Sistemas de tratamiento de aguas residuales. *Curso Internacional «Gestión integral de tratamiento de aguas residuales»*. 2002.
49. **SALCEDO, R.** Operaciones de flujo de fluidos. Tema 6: Flujo externo. Alicante. 2011.
50. **SEVILLA, U.** Manual del carbón activo. [en línea], 2011. Disponible en: www.aguapedia.net.
51. **SMITH, J., VAN NESS, H. y ABBOTT, M.** *Introducción a la termodinámica en ingeniería química*. 1997. McGraw-Hill. ISBN 9701013336.
52. **TECNEY, P.** Como conectar un flotador eléctrico correctamente - conexión de tanques de agua. [en línea], 2022. [consulta: 13 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=F1YsZLnsTqA>.
53. **TERÁN, C., ARGÜELLO, J., CANDO, C., SALAZAR, D. y MUÑOZ, J.** Estadística de información ambiental económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. Gestión de agua potable y saneamiento. [en línea], 2021. [consulta: 7 abril 2023]. Disponible en: www.ecuadorencifras.gob.ec.
54. **TORSKE, M.** La realidad de las aguas servidas en Ecuador. *YAKUNINA* [en línea], 2019. [consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://www.yakunina.com/la-realidad-de-las-aguas-servidas-en-ecuador/>.
55. **TREPIANA, D.A.** Síntesis de suspensiones de nanopartículas de cobre y quitosano, y evaluación de sus propiedades antimicrobianas frente a streptococcus mutans (Trabajo de titulación). Universidad de Chile, Facultad de Odontología, Instituto de Investigación en Ciencias Odontológicas. Santiago-Chile. 2015. pp. 20.

- 56. TUNÓN, I., ORTÍ, E., GÓMEZ, C., PASCUAL-AHUIR, J. y MONZÓ, I.** Superficies sólidas: adsorción y catálisis heterogénea. [en línea], 2009. [consulta: 25 abril 2023]. Disponible en: https://www.uv.es/tunon/pdf_doc/Superficies_Solidas_A.pdf.
- 57. ZAREMBA, E. y KOHN, W.** Theory of helium adsorption on simple and noble-metal surfaces. *Physical Review B* [en línea], vol. 15, no. 4, 1977. [consulta: 3 mayo 2023]. ISSN 01631829. DOI 10.1103/PhysRevB.15.1769. Disponible en: <https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.15.1769>.

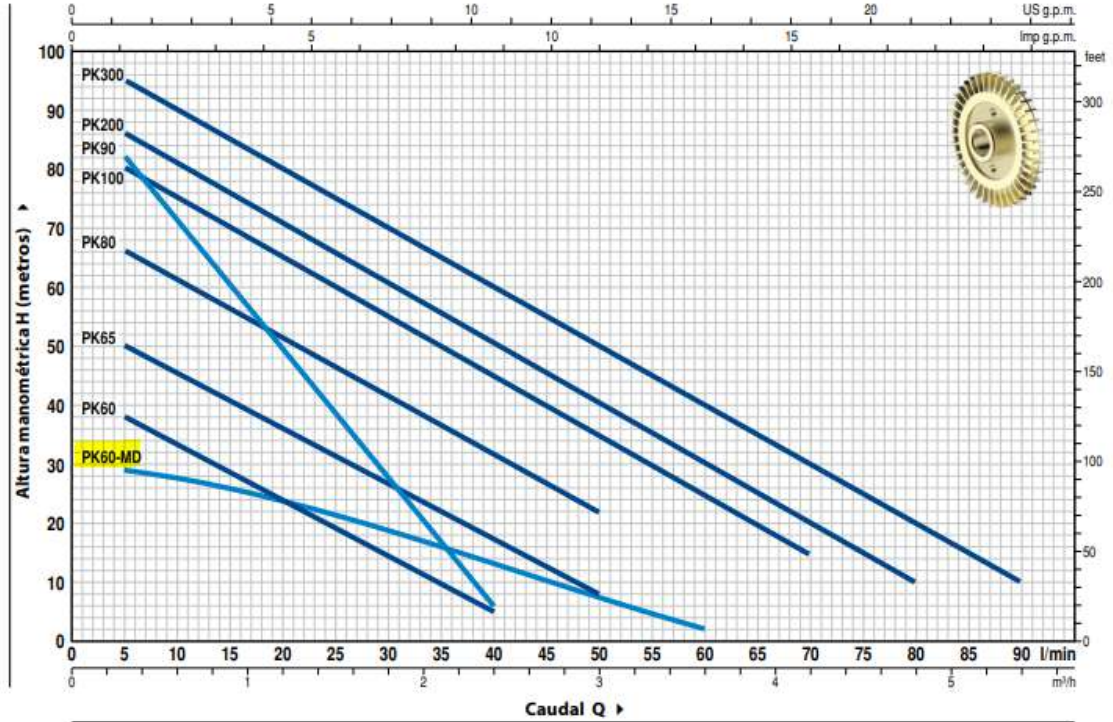
ANEXOS

ANEXO A: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA BOMBA HIDRÁULICA

Especificaciones técnicas obtenidas del fabricante Pedrollo

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 min⁻¹ HS= 0 m



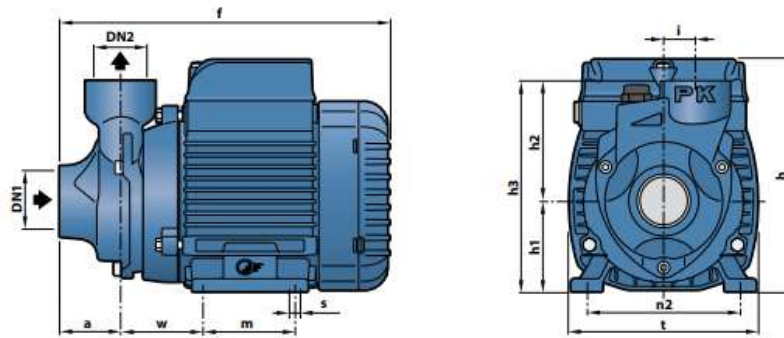
MODELO		POTENCIA (P ₂)		▲	Q	H metros																
Monofásica	Trifásica	kW	HP			m ³ /h	0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	2.7	3.6	4.2	4.8	5.4	
					l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	55	60	70	80	90		
PKm 60	PK 60	0.37	0.50	IE2	H metros	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5								
PKm 60-MD	PK 60-MD	0.37	0.50			30	29	27.5	26	23.8	21.5	18.5	16	13.2	7.5	5	2					
PKm 65	PK 65	0.55	0.75			55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8							
PKm 80	PK 80	0.75	1	IE3		70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22							
PKm 90	PK 90	0.75	1			90	82	71	60	49	38	27	17	5								
PKm 100	PK 100	1.1	1.5			85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	30	25	15				
PKm 200	PK 200	1.5	2			90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	35	30	20	10			
PKm 300	PK 300	2.2	3			100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	45	40	30	20	10		

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

DIMENSIONES Y PESOS



MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm												kg		
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	i	m	t	n2	w	s	1~	3~	
PKm 60*	PK 60*	1"	1"	38	208	145	56	75	131	20	55	118	94-100	53	7	5.2	5.2	
PKm 60*-MD	PK 60*-MD				237	153	63		138			100	7.0			6.3		
PKm 65	PK 65			55	285	179*	71	85	156	90	140	112	62	9.9	10.0			
PKm 80	PK 80			46	278	84	155	19	10.2							10.1		
PKm 90	PK 90	¾"	¾"	62	356	212	80	88	168	19	100	152	125	95	9	15.0	14.9	
PKm 100	PK 100	1"	1"													376	15.9	15.9
PKm 200	PK 200															376	—	18.6
PKm 300	PK 300																	

(*) h=199 mm para versión monofásica en 110 V

CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSIÓN		
	220 V	110 V	127 V
Monofásica			
PKm 60*	2.6 A	5.5 A	5.3 A
PKm 60*-MD	3.3 A	6.5 A	6.0 A
PKm 65	5.8 A	11.5 A	10.0 A
PKm 80	6.5 A	13.0 A	12.0 A
PKm 90	6.0 A	12.0 A	10.4 A
PKm 100	9.0 A	18.0 A	15.6 A
PKm 200	12.0 A	24.0 A	20.8 A
PKm 300	12.5 A	-	-

MODELO	TENSIÓN			
	220 V	380 V	220 V	440 V
Trifásica				
PK 60*	2.0 A	1.15 A	2.1 A	1.2 A
PK 60*-MD	2.4 A	1.4 A	2.5 A	1.4 A
PK 65	3.2 A	1.85 A	3.5 A	2.0 A
PK 80	3.8 A	2.2 A	4.3 A	2.4 A
PK 90	4.2 A	2.4 A	4.2 A	2.4 A
PK 100	6.2 A	3.6 A	6.2 A	3.15 A
PK 200	9.2 A	5.3 A	7.0 A	4.2 A
PK 300	10.0 A	5.8 A	8.2 A	4.8 A

CONDENSADOR

MODELO	CAPACIDAD	
	220 V	110 V & 127 V
Monofásica		
PKm 60*	10 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL
PKm 60*-MD	10 µF - 450 VL	25 µF - 250 VL
PKm 65	14 µF - 450 VL	60 µF - 300 VL
PKm 80	20 µF - 450 VL	60 µF - 300 VL
PKm 90	20 µF - 450 VL	60 µF - 250 VL
PKm 100	31.5 µF - 450 VL	80 µF - 250 VL
PKm 200	45 µF - 450 VL	-
PKm 300	50 µF - 450 VL	-

PALETIZADO

MODELO		PARA GRUPAJE	PARA CONTAINER
Monofásica	Trifásica	n° bombas	n° bombas
PKm 60*	PK 60*	240	330
PKm 60*-MD	PK 60*-MD	240	330
PKm 65	PK 65	189	243
PKm 80	PK 80	102	170
PKm 90	PK 90	102	170
PKm 100	PK 100	72	96
PKm 200	PK 200	72	96
PKm 300	PK 300	72	96

ANEXO B: MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA

Manual de operación del sistema de tratamiento de agua con nanopartículas de cobre y carbón activado.

En el siguiente apartado se brinda información detallada acerca de la operación del sistema de tratamiento de agua con carbón activado y nanopartículas de cobre, en donde se debe seguir los siguientes pasos:

Introducción

El sistema de tratamiento con carbón activado y nanopartículas de cobre es un prototipo que se encarga de la desinfección del agua a través de nanotecnología únicamente como banco de pruebas para controlar y verificar el comportamiento del sistema con diferentes tipos de concentraciones de nanopartículas.

Componentes del sistema

El sistema de tratamiento de agua consta de los componentes que se mencionan a continuación:

- **Tanque de reserva:** Se ubica en la parte baja del sistema, su función principal es almacenar una mayor cantidad de agua en comparación con el tanque elevado de almacenamiento.
- **Bomba hidráulica:** Su principal función es transportar el agua desde el tanque de reserva hasta el tanque elevado.
- **Tanque elevado:** Se encuentra sostenido por la estructura metálica a 2 metros de altura, es transparente y su función
- **Sistema de tuberías:** Son los elementos encargados de transportar el fluido que va a ser tratado, desde el tanque de reserva hasta el final de su recorrido.
- **Porta cartuchos:** Son transparentes y permiten contener en su interior los cartuchos con la finalidad de que se realice la desinfección en su interior.
- **Cartuchos:** El sistema cuenta con 3 cartuchos, de los cuales el primero y el último contiene únicamente carbón activado en diferentes tamaños de mallas, mientras que el cartucho central es aquel que va a contener en su interior el carbón activado en diferentes tamaños de mallas y las nanopartículas de cobre.
- **Llave de paso:** Restringe la salida de fluido desde el tanque principal para permitir o no el funcionamiento del prototipo.
- **Llave de jardín:** Permite tomar muestras de agua luego de cada uno de los filtros colocados a lo largo del sistema de tuberías.

Procedimiento de operación

Para operar el sistema de tratamiento de agua mediante carbón activado y nanopartículas de cobre, siga los siguientes pasos:

1. Realizar la concentración de nanopartículas de cobre que desea probar en el prototipo adjuntándolo en 100 ml de agua y adjuntar en una esponja, tratando de utilizar toda la concentración madre.
2. En los cartuchos de inicio y final, insertar el carbón activado en diferentes capas con tamaños diferentes, atornillar y ubicar en el interior del primer y último porta cartucho.
3. En el cartucho central, insertar la primera capa de carbón activado y la segunda capa hasta la mitad, luego adjuntar la esponja que contiene la concentración de nanopartículas.
4. Cubra la otra mitad de carbón activado e inserte la última capa de este, atornille la tapa del cartucho e ingrese en el porta cartucho central del sistema.
5. Asegúrese de que la llave de paso y las llaves de jardín estén completamente cerradas.
6. Bombee el agua desde el tanque de reserva hasta el tanque elevado hasta que el sensor apague la bomba.
7. Abra la llave de paso y espere a que el fluido pase por cada uno de los filtros.
8. Tome muestras de cada una de las llaves de jardín y analice en laboratorio el efecto que se produjo tomando en cuenta la concentración utilizada.

Precauciones de seguridad

El prototipo es un sistema seguro si se considera los siguientes aspectos:

- Evite que los sistemas electrónicos entren en contacto con agua, lo que podría provocar un cortocircuito.
- Utilice equipos de protección personal en todo momento (mandil, guantes, gafas de seguridad, mascarilla, zapatos adecuados, etc.).
- Asegúrese de que el sistema esté limpio antes de utilizar para evitar contaminación cruzada en el análisis de las muestras.
- Apague todo el sistema luego de utilizarlo.

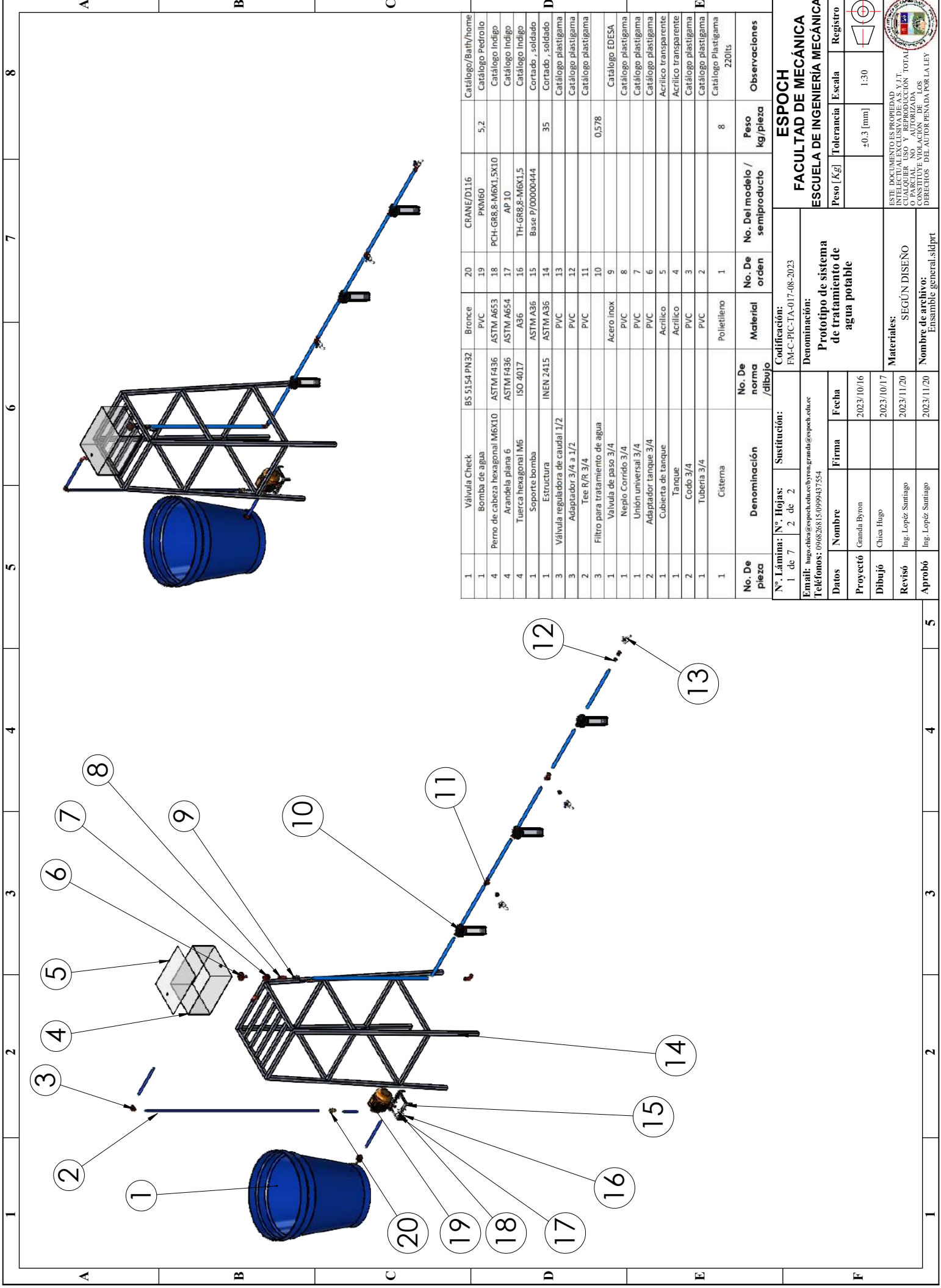
ANEXO C: MANUAL DE MANTENIMIENTO

Mantenimiento del sistema

El mantenimiento que requiere el sistema de tratamiento de agua es mínimo, sin embargo, se recomienda lo siguiente:

- Utilizar pintura anticorrosiva para evitar que la estructura se deteriore. Realizar al menos una vez al año o si se detecta desgaste en la estructura.
- Reemplazar el carbón activado cada 6 meses para mantener las propiedades de absorción idóneas para el tratamiento.
- Realizar el respectivo mantenimiento de la bomba hidráulica según lo que indica el fabricante.

ANEXO D: PLANOS DE DETALLE DEL PROTOTIPO



No. De pieza	Denominación	No. De norma /dibujo	Material	No. De orden	No. Del modelo / semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
1	Válvula Check	BS 5154 PN32	Bronce	20	CRANE/D116		Catálogo/Bath/home
1	Bomba de agua	ASTM F436	PVC	19	PKM60	5,2	Catálogo Pedrollo
4	Perno de cabeza hexagonal M6X10	ASTM A653	ASTM A653	18	PCH-GR8,8-M6X1,5X10		Catálogo Indigo
4	Arandela plana 6	ASTM A654	ASTM A654	17	AP 10		Catálogo Indigo
4	Tuerca hexagonal M6	ISO 4017	A36	16	TH-GR8,8-M6X1,5		Catálogo Indigo
1	Soporte bomba	INEN 2415	ASTM A36	15	Base P/000000444		Cortado , soldado
1	Estructura	INEN 2415	ASTM A36	14		35	Cortado , soldado
3	Válvula reguladora de caudal 1/2		PVC	13			Catálogo plastigama
2	Adaptador 3/4 a 1/2		PVC	12			Catálogo plastigama
3	Tee R/R 3/4		PVC	11		0,578	Catálogo plastigama
3	Filtro para tratamiento de agua		Acero inox	10			Catálogo EDESA
1	Válvula de paso 3/4		PVC	9			Catálogo plastigama
1	Neplo Corrido 3/4		PVC	8			Catálogo plastigama
1	Unión universal 3/4		PVC	7			Catálogo plastigama
2	Adaptador tanque 3/4		PVC	6			Catálogo plastigama
1	Cubierta de tanque		Acrílico	5			Acrílico transparente
1	Tanque		Acrílico	4			Acrílico transparente
2	Codo 3/4		PVC	3			Catálogo plastigama
1	Tubería 3/4		PVC	2			Catálogo plastigama
1	Cisterna		Poliétileno	1		8	Catálogo Plastigama 220lit

ESPOCH
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESPOCH
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Prototipo de sistema de tratamiento de agua potable

Denominación: PMC-PIG-TA-017-08-2023

Codificación: PMC-PIG-TA-017-08-2023

Nº Lámina: 2 de 2

Sustitución:

Email: hugo.chica@esPOCH.edu.uy / gramanilo@esPOCH.edu.uy

Teléfonos: 096826815, 0999437554

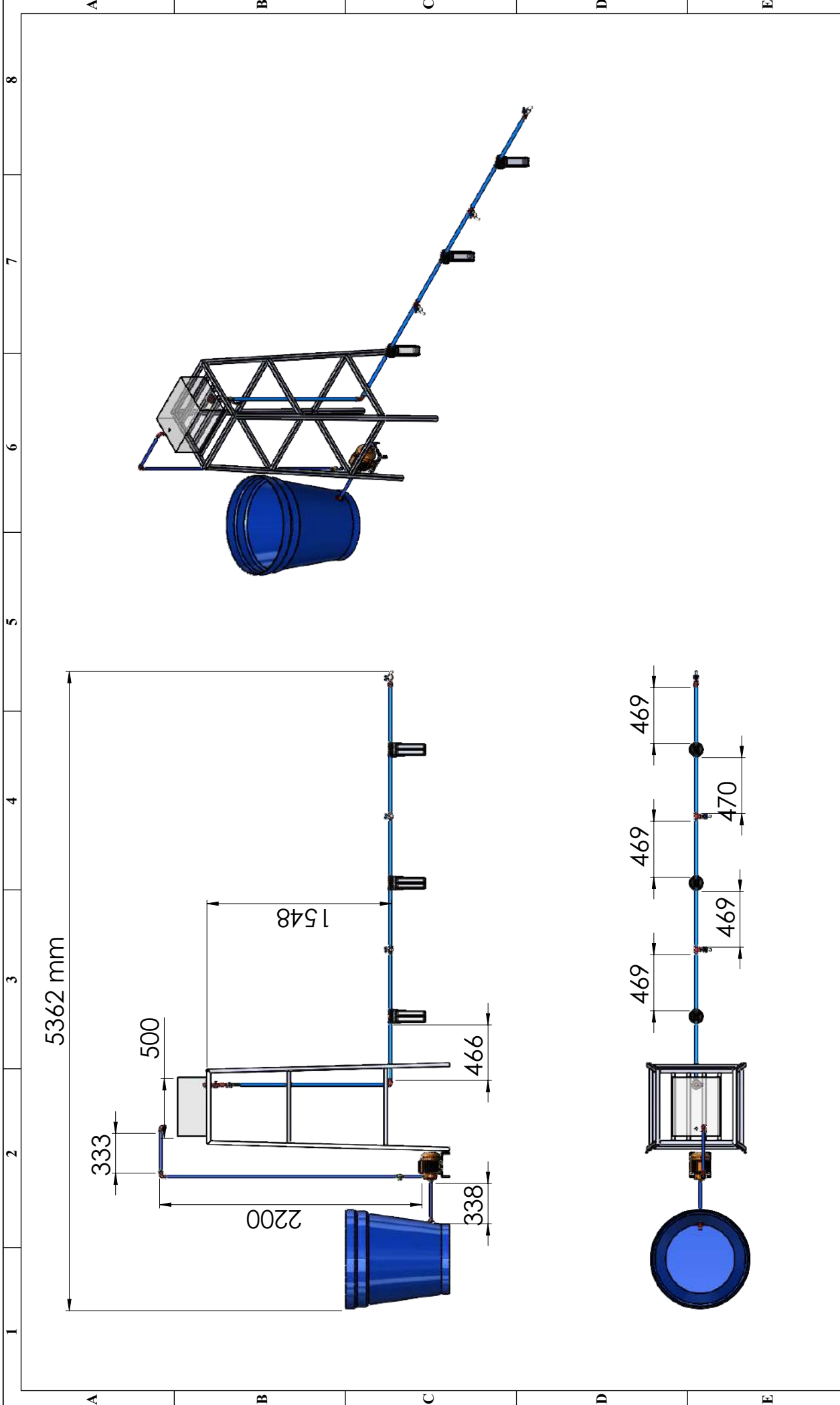
Datos	Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Gmnda Byron		2023/10/16
Dibujó	Chica Hugo		2023/10/17
Revisó	Ing. Lopez Santiago		2023/11/20
Aprobó	Ing. Lopez Santiago		2023/11/20

Materiales: SEGÚN DISEÑO

Nombre de archivo: Ensamble general.sldprt

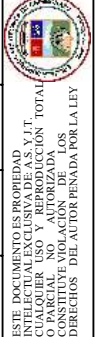
Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
	±0.3 [mm]	1:30	

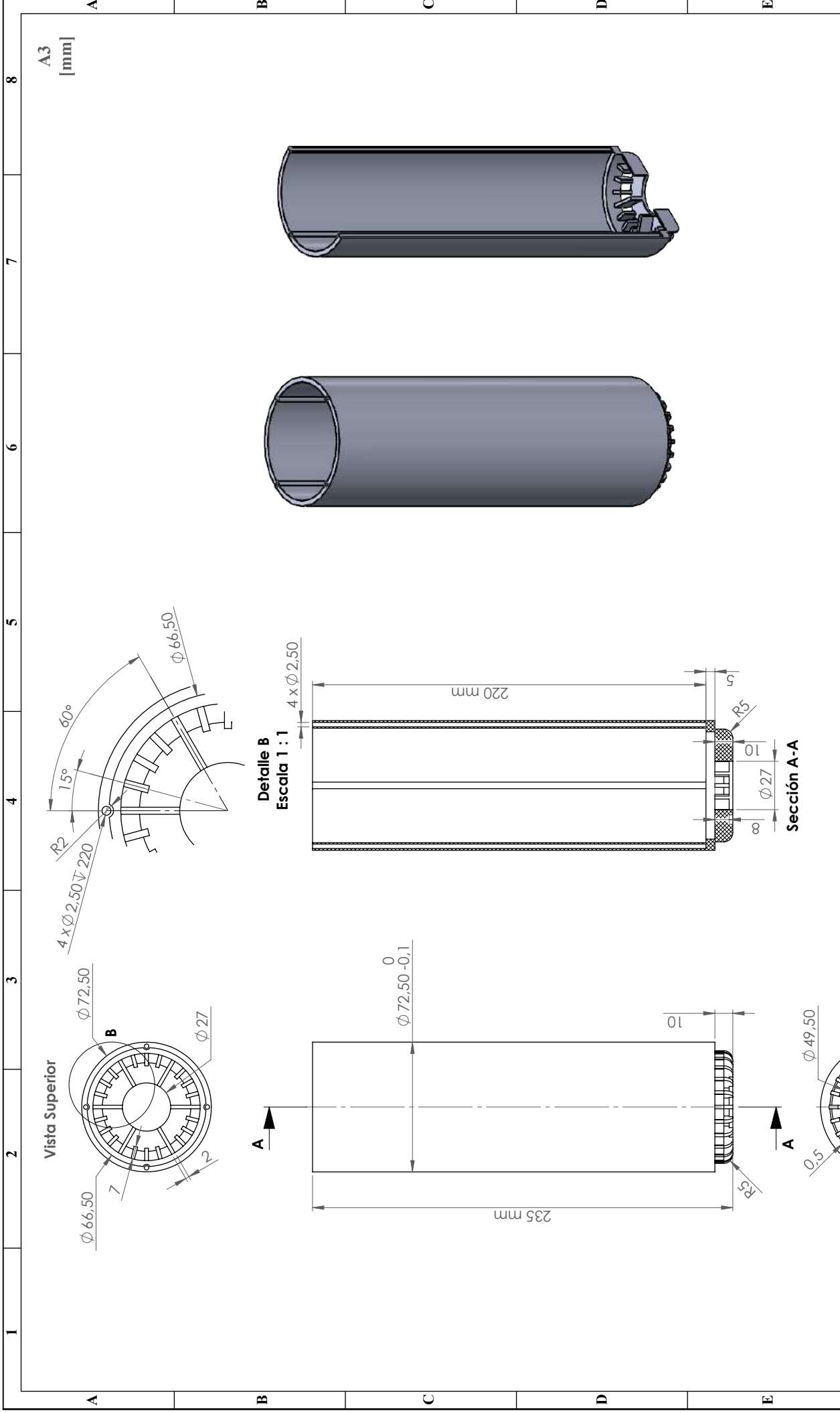
ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE ESPOCH. QUILMES, 11 DE OCTUBRE DE 2023. ESTE DOCUMENTO NO PUEDE SER REPRODUCIDO, TOTAL O PARCIAL, NI AUTORIZADA SU DISTRIBUCIÓN. CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.



N° Lámina: 1 de 7	N° Hojas: 1 de 2	Sustitución:		Codificación: FM-C-PIC-TA-017-08-2023
		Email: hugo.chica@espoeh.edu.ec / byron.granda@espoeh.edu.ec		
Teléfonos: 0999437554/0963826815		Denominación: Prototipo de sistema de tratamiento de agua potable		
Datos		Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Granda Byron			2023/10/16
Dibujó	Chica Hugo			2023/10/17
Revisó	Ing. López Santiago			2023/10/20
Aprobó	Ing. López Santiago			2023/10/20
Materiales:		SEGUN DISEÑO		
Nombre de archivo:		Ensamble general.sldprt		

ESPOCH FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
			±0.3 [mm]	1:30	
<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE ESPOCH. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA, CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.</small>					

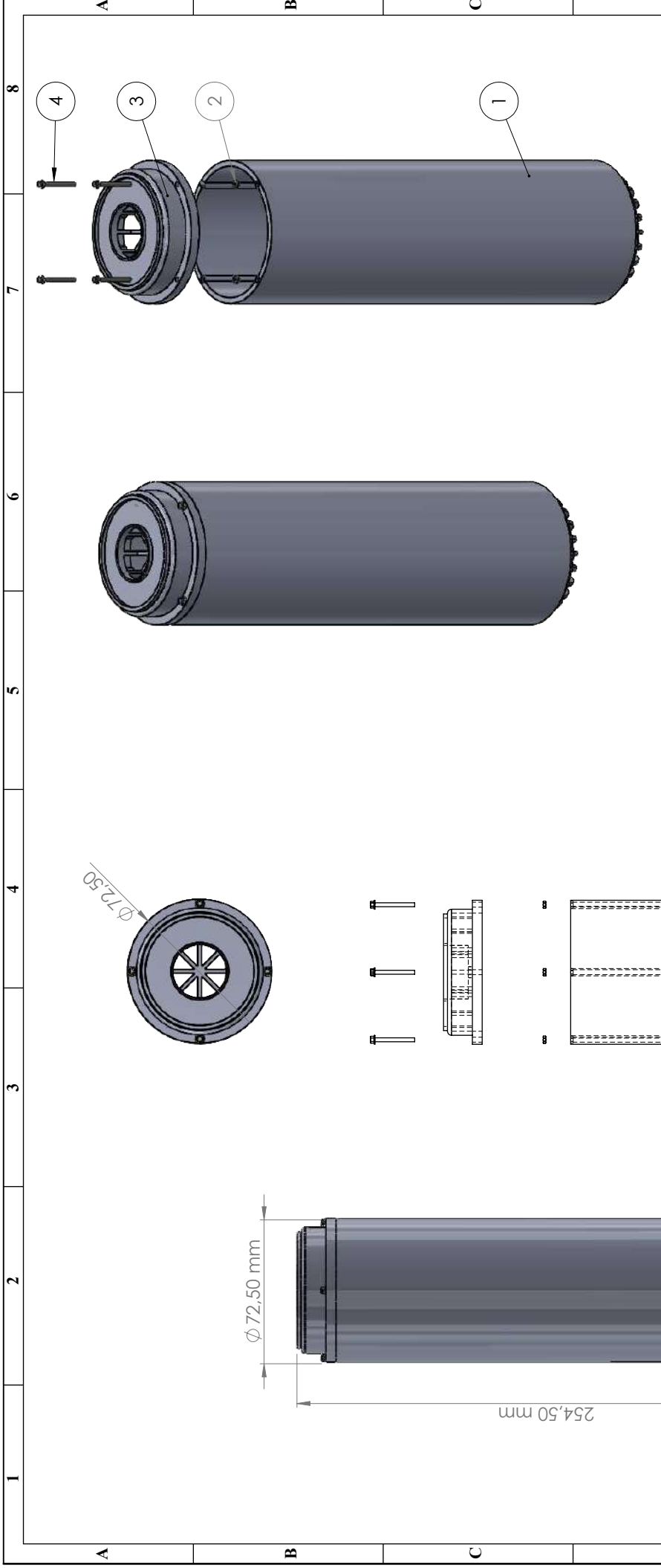




N° Lámina: 3 de 7	N° Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FMC-M-PIC-TA-017-08-2023	
			Denominación: Cuerpo del cartucho para purificación de agua	
Email: hugo.chica@espoeh.edu.ec / byron.granda@espoeh.edu.ec		Tolerancia		Registro
Teléfonos: 0999437554 / 0963826815		Escala		1:2
Proyectó		Fecha		±0.3 [mm]
Granda Byron		2023/10/16		0.16
Dibujó		2023/10/17		
Chica Hugo		2023/11/20		
Revisó		2023/11/20		
Ing. López Santiago		2023/11/20		
Aprobó		2023/11/20		
Ing. López Santiago		2023/11/20		

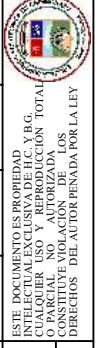
Este documento es propiedad intelectual de la Universidad ESPOCH y no puede ser reproducido o parcial, no autorizada. Constituye violación de los derechos del autor penada por la ley.	
ESPOCH FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Materiales: Resina fotopolimérica Nombre de archivo: Cartucho	

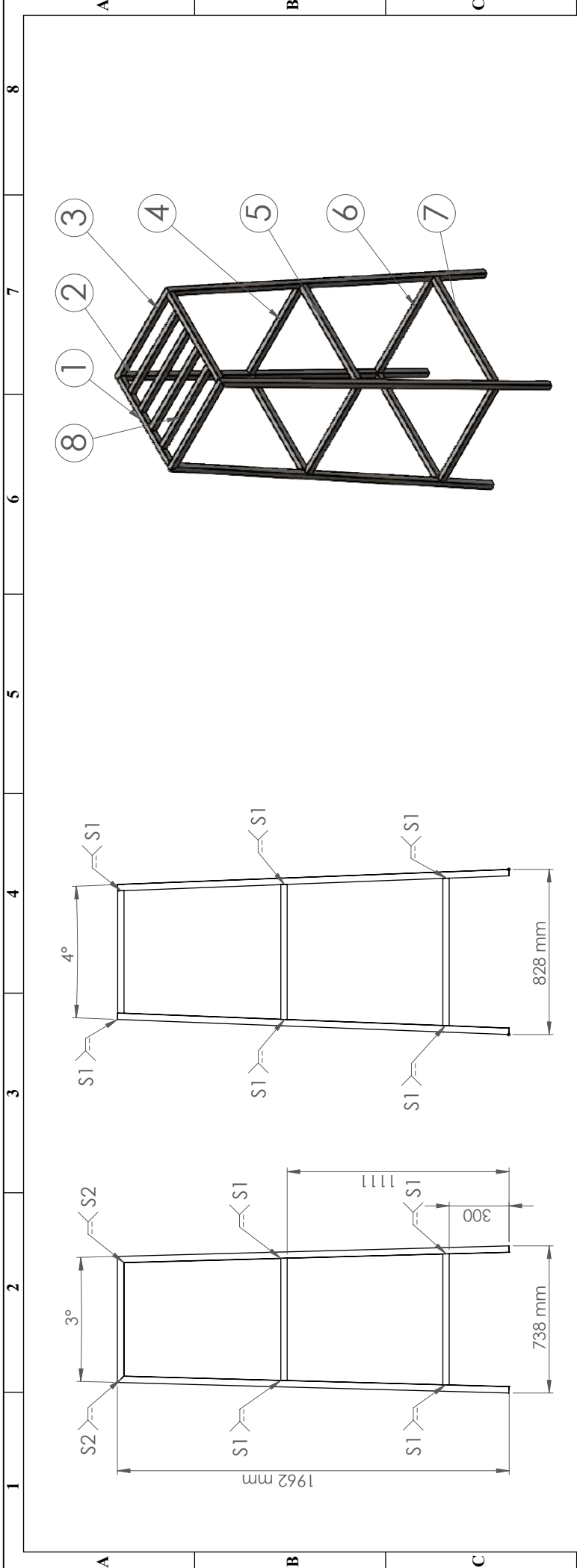




D		E					
No. de pieza	Denominación	No. de norma / dibujo	Material				
4	Perno M3 x 20	ISO 4017	ASTM A354				
1	Tapa del cartucho para purificación de agua						
4	tuerca hexagonal M3	ISO 4017	A36				
1	Cuerpo del cartucho para purificación de agua						
			Catálogo Topesa				
			0.042				
			0.25				
			0.009				
			Catálogo Farnet				
			0.16				
No. de pieza	Denominación	No. de norma / dibujo	Material	No. de orden	No. del modelo / semiproducto	Peso Kg / pieza	Observaciones
4	Perno M3 x 20	ISO 4017	ASTM A354	4	PCH-GR8,8-M3X1,5X20	0.042	Catálogo Topesa
1	Tapa del cartucho para purificación de agua			3		0.25	
4	tuerca hexagonal M3	ISO 4017	A36	2	TH-GR8,8-M3X1,5	0.009	Catálogo Farnet
1	Cuerpo del cartucho para purificación de agua			1		0.16	

F	
ESPOCH	
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Peso [Kg]	Tolerancia
0.578	±0.3 [mm]
Registro	Escala
	1:2
Codificación: FMC-PIC-TA-017-08-2023 Denominación: Cartucho para purificación de agua	
N° Lámina: 2 de 7 N° Hojas: 1 Email: hugo.chica@esPOCH.edu.ec/byron.granda@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0999437554 / 0963826815	
Sustitución: Denominación: Cartucho para purificación de agua	
Materiales: Nombre de archivo: Ensamble cartucho	
Datos Nombre: Granda Byron Proyecto: Chica Hugo Dibujo: Ing. López Santiago Revisó: Ing. López Santiago Aprobó: Ing. López Santiago	Fecha 2023/10/16 2023/10/17 2023/11/20 2023/11/20





No. de pieza	Denominación	Material	Longitud	Cantidad	Observaciones
8	Perfil cuadrado 1 1/4 in x 2mm	ASTM A36	568	4	Corte
7	Perfil cuadrado 1 1/4 in x 2mm	ASTM A36	740	2	Corte
6	Perfil cuadrado 1 1/4 in x 2mm	ASTM A36	656	2	Corte
5	Perfil cuadrado 1 1/4 in x 2mm	ASTM A36	679	2	Corte
4	Perfil cuadrado 1 1/4 in x 2mm	ASTM A36	614	2	Corte
3	Perfil cuadrado 1 1/4 in x 2mm	ASTM A36	632	2	Corte
2	Perfil cuadrado 1 1/4 in x 2mm	ASTM A36	1962	4	Corte
1	Perfil cuadrado 1 1/4 in x 2mm	ASTM A36	615	2	Corte

N° Lámina:		N° Hojas:	Sustitución:	Codificación:
5 de 7		1		FMCM-PIC-TA-017-08-2023
Email:		lugo.ehica@espoeh.edu.ec / byron.granda@espoeh.edu.ec		
Teléfonos:		0999437554 / 0963826815		
Datos		Nombre	Firma	Fecha
Proyectó	Granda Byron			2023/10/16
Dibujó	Chica Hugo			2023/10/17
Revisó	Ing. López Santiago			2023/11/20
Aprobó	Ing. López Santiago			2023/11/20

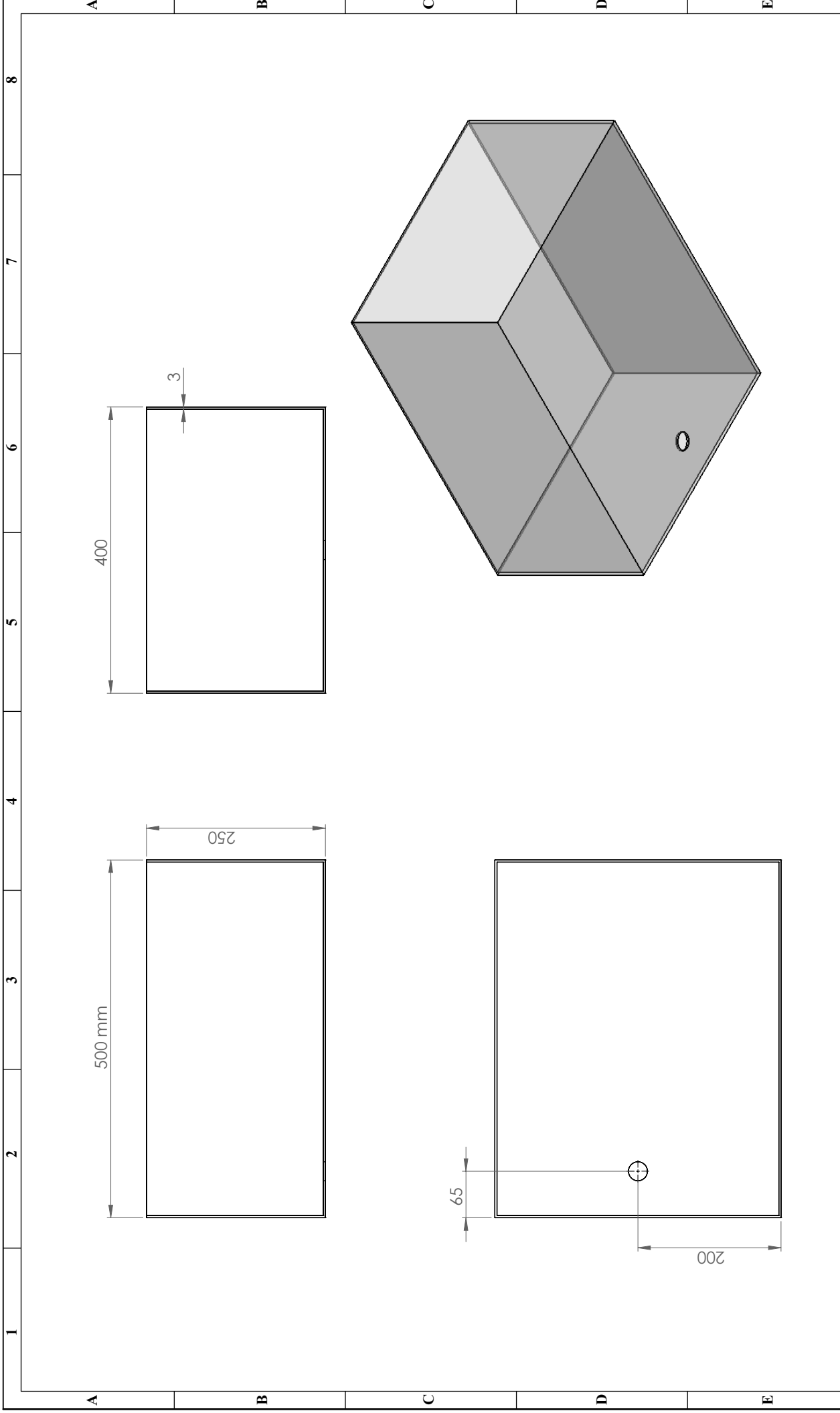
ESPOCH
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
35	±0.3 [mm]	1:20	

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE ESPOCH. QUITARLO DE SU LUGAR O REPRODUCIRLO SIN EL CONSENTIMIENTO DE ESPOCH CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.

Materiales: ASTM A36
Nombre de archivo: Estructura

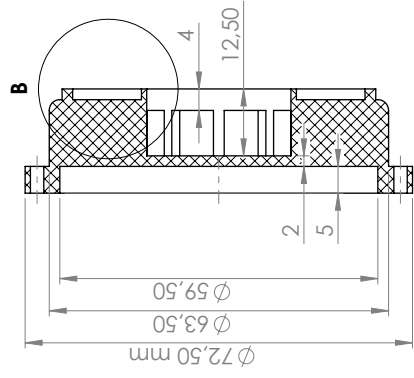
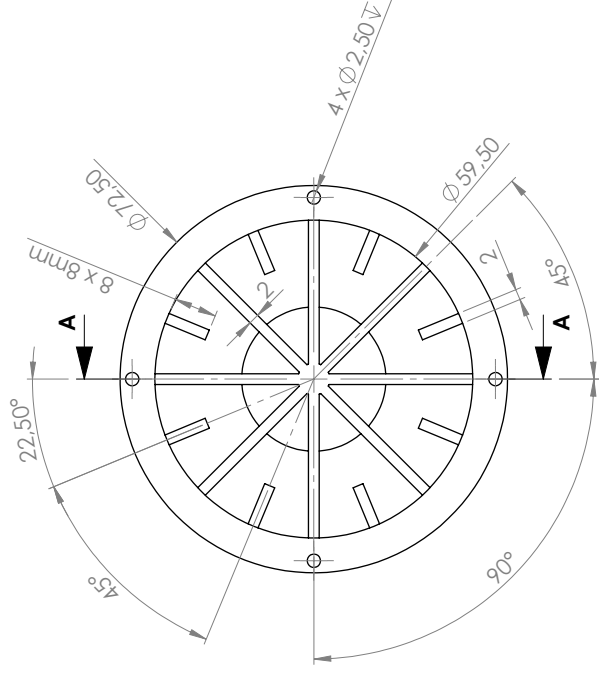




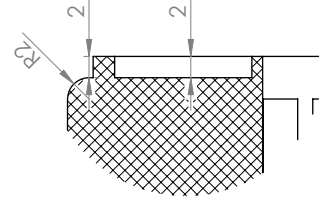
N° Lámina: 6 de 7		N° Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FMC-PIC-TA-017-08-2023		
Email: hugo.chica@espoeh.edu.ec/byron.granda@espoeh.ec		Teléfonos: 0999437554 / 0963826815				Denominación:		
						Tanque		
Datos	Nombre	Firma	Fecha					
Proyectó	Granda Byron		2023/10/16					
Dibujó	Chica Hugo		2023/10/17					
Revisó	Ing. López Santiago		2023/11/20					
Aprobó	Ing. López Santiago		2023/11/20					
				Materiales:	Acrílico			
				Peso [Kg]	2.3	Tolerancia	±0.3 [mm]	
				Escala	1:5		Registro	

ESPOCH
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

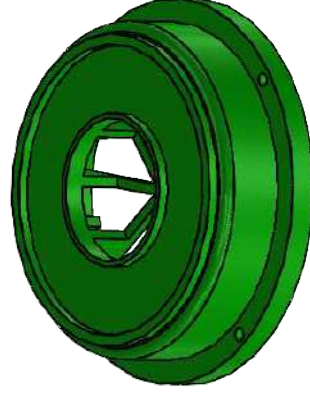
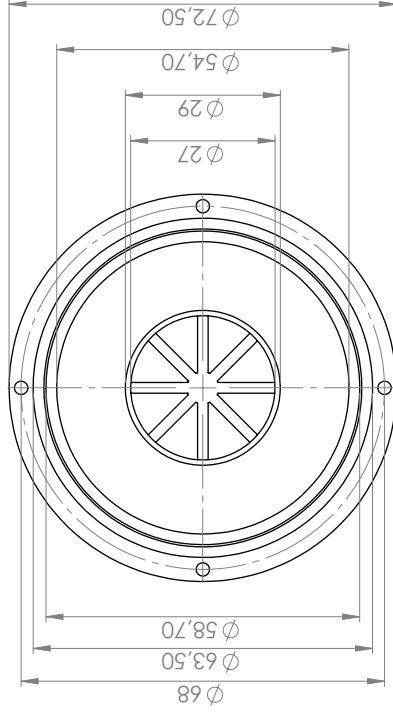
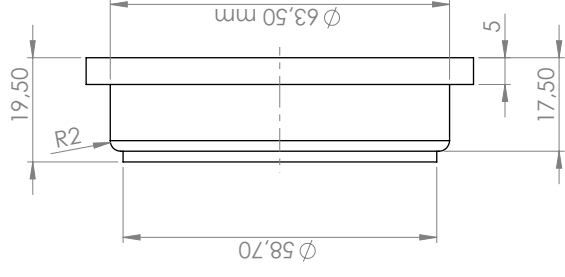
ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE ESPOCH. SU USO PARCIAL O TOTAL SIN LA AUTORIZACIÓN DE LA ESCUELA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY.



Sección A-A



Detalle B
Escala 2 : 1

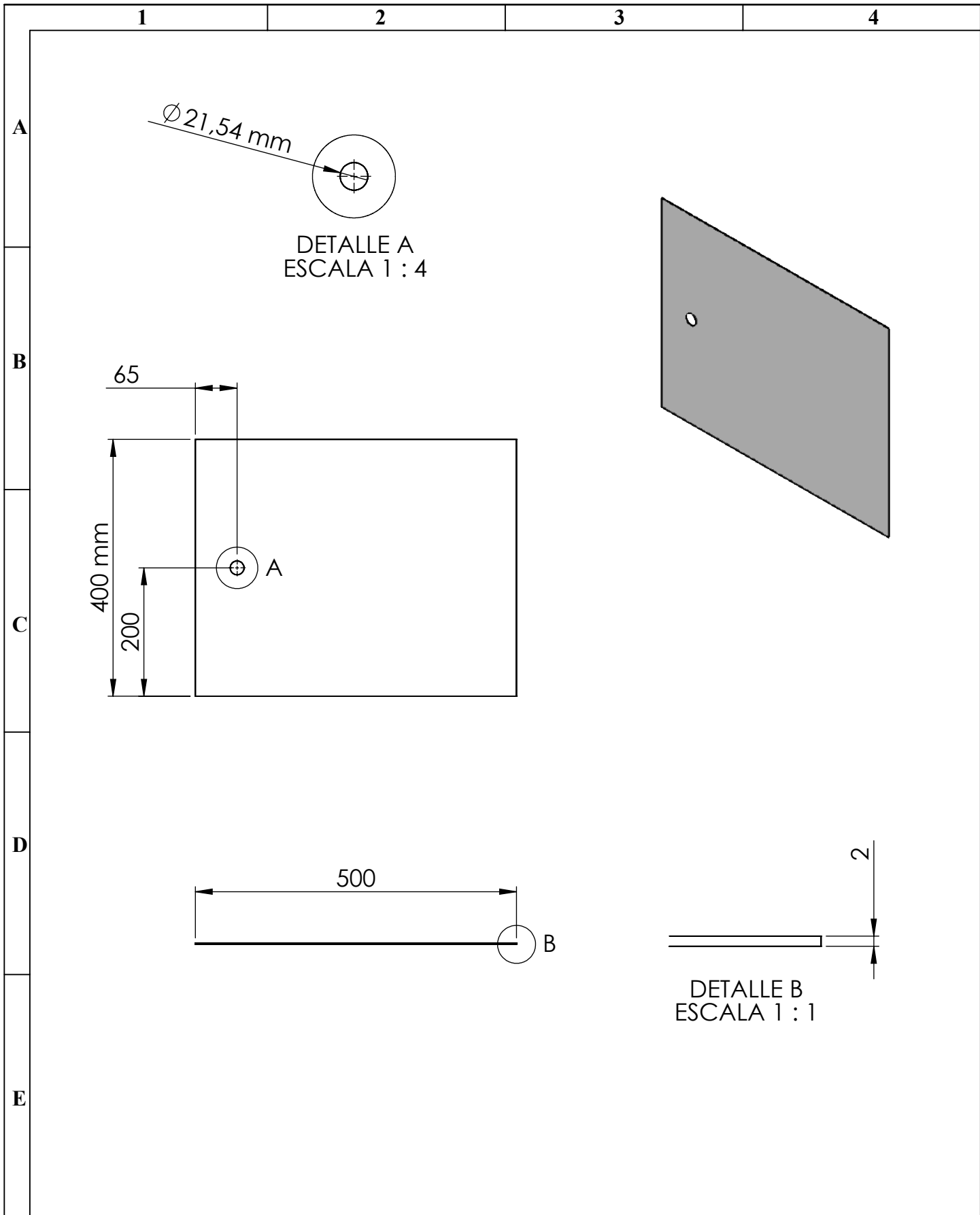


N° Lámina: 4 de 7	N° Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FMC-M-PIC-TA-017-08-2023	
			Denominación: Tapa del cartucho para purificación de agua	
Email: hugo.ehica@espoeh.edu.ec / byron.granda@espoeh.edu.ec		Tolerancia		Registro
Teléfonos: 0999437554 / 0963826815		Escala		1:1
Firma		Escala		±0.3 [mm]
Nombre		Escala		0.25
Proyectó	Granda Byron	Escala		
Dibujó	Chica Hugo	Escala		
Revisó	Ing. López Santiago	Escala		
Aprobó	Ing. López Santiago	Escala		
Materiales:		Escala		
Resina fotopolimérica		Escala		
Nombre de archivo:		Escala		
Tapa_cartucho_2		Escala		

ESPOCH
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD
 INTELECTUAL DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
 O PARCIAL. NO AUTORIZADA
 CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS
 DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY





Nº. Lámina: 7 de 7		Nº. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-C-PIC-TA-017-08-2023		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA									
Email: hugo.chica@esPOCH.edu.ec/ byron.granda@esPOCH.edu.ec Teléfonos: 0999437554/0963826815						TAPA TANQUE		Denominación:		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma				Fecha		±0.3 [mm]		1:8					
Proyectó		Granda Byron						2023/10/16									
Dibujó		Chica Hugo						2023/10/17									
Revisó		Ing. López Santiago						2023/11/20									
Aprobó		Ing. López Santiago				2023/11/20		Materiales: Acrílico		Nombre de archivo: Tapa tanque		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: A.S. Y J.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					

