



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE FILTRACIÓN
DEL AGUA EN EL RÍO WARINTZ, DESTINADO AL USO
RESIDENCIAL EN EL TRAMO DE YAWI Y WARINTZA,
MEDIANTE UN FILTRO CON NANOPARTÍCULAS DE COBRE.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES:

KEVIN PATRICIO LEMA LONDO

ALEX FABRICIO LIZALDEZ ALVARADO

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MECÁNICA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO DE FILTRACIÓN
DEL AGUA EN EL RÍO WARINTZ, DESTINADO AL USO
RESIDENCIAL EN EL TRAMO DE YAWI Y WARINTZA,
MEDIANTE UN FILTRO CON NANOPARTÍCULAS DE COBRE.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar por el grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: KEVIN PATRICIO LEMA LONDO

ALEX FABRICIO LIZALDEZ ALVARADO

DIRECTOR: ING. NELSON SANTIAGO CHUQUÍN VASCO MSC.

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Kevin Patricio Lema Londo, Alex Fabricio Lizalde Alvarado;

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, Kevin Patricio Lema Londo y Alex Fabricio Lizaldez Alvarado, 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, 01 de julio 2024




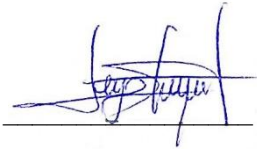

Kevin Patricio Lema Londo
0605709617



Alex Fabricio Lizaldez Alvarado
0705442416

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 EQUIPO DE FILTRACIÓN DEL AGUA EN EL RÍO WARINTZ, DESTINADO AL USO RESIDENCIAL EN EL TRAMO DE YAWI Y WARINTZA, MEDIANTE UN FILTRO CON NANOPARTÍCULAS DE COBRE**, realizado por los señores: **Kevin Patricio Lema Londo y Alex Fabricio Lizaldez Alvarado**, 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
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-07-01
Ing. Nelson Santiago Chuquín Vasco MSc. DIRECTOR(A) DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-01
Ing. María Verónica Albuja Landi MSc. ASESOR(A) DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-07-01

DEDICATORIA

Dedicado a las personas quienes me han apoyado incondicionalmente durante todo este camino académico. A mi padres y hermanos pues han sido una motivación y un soporte diario en cada momento de mi vida.

Kevin

Dedico este trabajo a mis padres y hermanos que con su apoyo incondicional alentaron mis esfuerzos de cada día seguir adelante cumpliendo mis metas y sueños sin perder el camino ante las adversidades.

Alex

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres y hermanos quienes han estado en cada paso de esta meta y han sido una luz en tiempos de oscuridad. Quiero agradecer a la carrera y sus autoridades por haberme aportado tanto académicamente como también de manera personal con valores y esfuerzo. Por último, quiero agradecer a mis amigos con quienes he caminado cada instante de esta carrera y nos hemos apoyado incondicionalmente en esta etapa.

Kevin

A mis padres, mis más grandes inspiradores en la vida, Hector Lizalde y Raquel Alvarado, por apoyarme siempre incondicionalmente en las decisiones que tomé, por formarme en los valores de la honestidad y el respeto. A mis hermanos, Pablo, Bryan y Jean, por siempre estar juntos en nuestros buenos y malos momentos, por enseñarme todos los días a ser un mejor hermano. A mis amigos, con quienes día a día aprendíamos a trabajar en equipo y luchar por nuestros sueños. A la carrera de mecánica, sus docentes y autoridades, en especial a nuestros tutores los cuales supieron brindarnos la guía y apoyo necesario para culminar este trabajo. Gracias infinitas a todos.

Alex

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	2
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación	3
1.3.1. <i>Justificación técnica</i>	3
1.3.2. <i>Justificación económica</i>	3
1.3.3. <i>Justificación social</i>	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	4
CAPÍTULO II	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. El acceso al agua apta para el consumo humano	6
2.1.1. <i>Acceso al agua apta para el consumo humano en el Ecuador</i>	7
2.1.2. <i>Acceso al agua apta para el consumo humano en la Amazonía ecuatoriana</i>	7
2.1.3. <i>Efectos causados por el consumo del agua contaminada</i>	8
2.2. Índice de calidad del agua (ICA)	9
2.2.1. <i>Índice de calidad del agua (ICA-NFS)</i>	10
2.3. Filtración de agua	11
2.3.1. Métodos de filtración	12
2.3.1.1. <i>Filtración convencional</i>	12
2.3.1.2. <i>Microfiltración</i>	12
2.3.1.3. <i>Ultrafiltración</i>	13

2.3.1.4.	<i>Nanofiltración</i>	13
2.3.1.5.	<i>Osmosis inversa</i>	14
2.3.2.	<i>Fuerza impulsora</i>	16
2.3.2.1.	<i>Filtración por gravedad</i>	16
2.3.2.2.	<i>Filtración por presión</i>	16
2.3.3.	<i>Mecanismo de retención</i>	17
2.3.3.1.	<i>Filtros en superficie</i>	17
2.3.3.2.	<i>Lecho profundo</i>	17
2.3.4.	<i>Velocidad de filtración</i>	18
2.3.4.1.	<i>Filtración lenta</i>	18
2.3.4.2.	<i>Filtración rápida</i>	19
2.4.	 Materiales para filtración	19
2.4.1.	<i>Carbón activado</i>	19
2.4.2.	<i>Nanopartículas de plata</i>	20
2.4.3.	<i>Nanopartículas de cobre</i>	20
2.4.4.	<i>Nanopartículas de óxido de zinc</i>	21
2.5.	 Estándares de calidad del agua destinada para el consumo humano	21
2.5.1.	<i>Acuerdo Ministerial 097-A</i>	21
2.5.2.	<i>NTE INEN 1108</i>	23
2.6.	 Hidráulica	24
2.6.1.	<i>Caudal</i>	24
2.6.2.	<i>Ecuación de Bernoulli</i>	24
2.6.3.	<i>Pérdidas por longitud de tubería</i>	24
2.6.4.	<i>Factor de fricción</i>	25
2.6.5.	<i>Número de Reynolds</i>	26
2.6.6.	<i>Pérdidas por accesorios</i>	26
2.6.7.	<i>Pérdidas totales</i>	27
2.6.8.	<i>Hidráulica de la filtración</i>	27
2.7.	 Energía solar	28
2.7.1.	<i>Tipos de radiación solar</i>	28
2.7.2.	<i>Energía solar fotovoltaica</i>	29
2.7.3.	<i>Panel solar</i>	29
2.7.4.	<i>Celdas fotovoltaicas</i>	30
2.7.5.	<i>Sistemas para la utilización de la energía solar fotovoltaica</i>	31
2.7.5.1.	<i>Sistemas autónomos</i>	31
2.7.5.2.	<i>Sistemas conectados a la red</i>	31

CAPÍTULO III	32
3. MARCO METODOLÓGICO	32
3.1. Metodología del diseño	32
3.2. Definición del sistema	32
3.2.1. Casa de la Calidad QFD	32
3.2.1.1. Voz del usuario	32
3.2.1.2. Voz del ingeniero	33
3.2.1.3. Casa de la calidad	34
3.2.1.4. Especificaciones técnicas	35
3.3. Diseño Conceptual	36
3.3.1. Estructura funcional	36
3.3.1.1. Análisis funcional nivel 0	36
3.3.1.2. Análisis funcional nivel 1	37
3.3.2. Matriz morfológica	38
3.3.2.1. Generación de alternativas	39
3.3.3. Evaluación de alternativas de solución por criterios ponderados	39
3.3.3.1. Matrices de evaluación	40
3.4. Recomendación de Consumo Diario de Agua por Persona	42
3.5. Análisis poblacional de las comunidades	43
3.5.1. Población de Yawi	43
3.5.2. Población de Warintza	44
3.6. Caudal requerido para uso unifamiliar	45
3.7. Análisis de resultados de la calidad del agua del río Warintz en el tramo Yawi-Warintza	45
3.8. Características del sistema de filtración	48
3.8.1. Velocidad de filtración	48
3.8.2. Características de los cartuchos filtrantes	48
3.8.2.1. Geometría de los cartuchos	48
3.8.2.2. Área de los cartuchos	49
3.8.2.3. Caudal mínimo de operación	49
3.8.2.4. Tiempo de contacto	50
3.8.2.5. Flujo laminar	51
3.8.2.6. Primer y tercer cartucho filtrante	51
3.8.2.7. Segundo cartucho filtrante	52
3.8.3. Diseño del sistema de filtración	53
3.8.3.1. Cálculo de pérdidas de presión en el filtro	53

3.8.3.2.	<i>Cálculo de pérdidas de presión totales en el sistema de filtración</i>	55
3.8.3.3.	<i>Selección de la bomba</i>	58
3.8.3.4.	<i>Simulación en ANSYS</i>	60
3.8.4.	<i>Alimentación eléctrica de la bomba</i>	60
3.8.4.1.	<i>Cálculo del consumo eléctrico de la bomba</i>	60
3.8.4.2.	<i>Cálculo de capacidad de la batería</i>	61
3.8.4.3.	<i>Cálculo de la cantidad de paneles</i>	62
3.8.4.4.	<i>Ángulo de inclinación</i>	66
3.8.5.	<i>Control eléctrico del sistema</i>	66
3.9.	Modelado 3D en SOLIDWORKS	67
3.9.1.	<i>Modelado estructural</i>	67
 CAPÍTULO IV		69
4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	69
4.1.	Proceso de las nanopartículas de cobre.	69
4.1.1.	<i>Preparación de la muestra</i>	69
4.1.2.	<i>Dilución en agua destilada</i>	70
4.1.3.	<i>Disolución madre</i>	70
4.2.	Construcción del prototipo	71
4.2.1.	<i>Cartuchos filtrantes</i>	71
4.2.2.	<i>Sistema de filtración</i>	75
4.2.3.	<i>Sistema de alimentación y control eléctrico</i>	76
4.2.4.	<i>Estructura</i>	77
4.2.5.	<i>Montaje del equipo de filtración</i>	78
4.2.5.1.	<i>Conexión y configuración del controlador de carga</i>	78
4.2.6.	<i>Pruebas de funcionamiento</i>	79
4.3.	Procesamiento del agua a tratar	80
4.3.1.	<i>Recolección de muestras sin tratar</i>	80
4.3.2.	<i>Recolección de muestras tratadas</i>	80
4.4.	Análisis de muestras	81
4.4.1.	<i>Resultados de las muestras filtradas con carbón activado</i>	82
4.4.2.	<i>Resultados con carbón activado y nanopartículas de cobre</i>	84
4.5.	Análisis de costos del sistema	87
4.5.1.	<i>Costos directos</i>	87
4.5.1.1.	<i>Costos de materiales</i>	88
4.5.1.2.	<i>Costo de equipos y materiales.</i>	88

4.5.1.3.	<i>Costo de mano obra</i>	89
4.5.1.4.	<i>Costos directos totales</i>	89
4.5.2.	<i>Costos indirectos</i>	89
4.5.2.1.	<i>Costos indirectos totales</i>	89
4.5.3.	<i>Costos totales</i>	90
4.6.	Manual de seguridad	90
4.6.1.	<i>Hoja técnica</i>	91
 CAPÍTULO V		92
5.1.	Conclusiones	92
5.2.	Recomendaciones	93
BIBLIOGRAFÍA		95
ANEXOS		103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Principales enfermedades transmitidas por el agua contaminada	8
Tabla 2-2: Evolución de los índices de calidad del agua.....	10
Tabla 2-3: Pesos relativos ICA NFS.....	11
Tabla 2-4: Clasificación de la calidad del agua.....	11
Tabla 2-5: Relación tamaño con método de filtración	14
Tabla 2-6: Rendimiento y propiedades de separación de las membranas	15
Tabla 2-7: Rangos típicos de tamaño de carbón activado granular para distintas aplicaciones. 19	
Tabla 2-8: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico	22
Tabla 2-9: Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano	23
Tabla 2-10: Requisitos microbiológicos del agua para consumo humano	23
Tabla 2-11: Rango de Reynolds	26
Tabla 3-1: Requerimientos del cliente.....	33
Tabla 3-2: Voz del ingeniero	33
Tabla 3-3: Especificaciones técnicas del prototipo	35
Tabla 3-4: Matriz morfológica para la selección de alternativas.....	38
Tabla 3-5: Evaluación de criterios	40
Tabla 3-6: Análisis de alternativas con respecto al menor precio	40
Tabla 3-7: Análisis de alternativas con respecto a la mantenibilidad.....	40
Tabla 3-8: Análisis de alternativas con respecto a la operabilidad.....	41
Tabla 3-9: Análisis de alternativas con respecto a la capacidad.....	41
Tabla 3-10: Alternativas ponderadas	41
Tabla 3-11: Ingesta adecuada de agua total diaria, incluyendo también el agua de otras bebidas y de los alimentos, según el Instituto de Medicina de Estados Unidos o IOM y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria o EFSA	42
Tabla 3-12: Distribución de la población de Yawi por grupos de edad y género	43
Tabla 3-13: Distribución de la población de Warintza por grupos de edad y género	44
Tabla 3-14: Resultados del ICA-NSF en las diferentes estaciones de monitoreo	46
Tabla 3-15: Comparación de parámetros.	47
Tabla 3-16: Dimensiones de los cartuchos.....	49
Tabla 3-17: Alturas de las capas de filtración y su cantidad del segundo cartucho.....	53
Tabla 3-18: Propiedades de capa tamaño de malla.....	54
Tabla 3-19: Valores para cálculo de pérdida de presión.....	54
Tabla 3-20: Accesorios y coeficiente K de la instalación.....	58
Tabla 3-21: Cálculo del HSP del mes de enero.	63

Tabla 3-22: HSP calculado.....	64
Tabla 3-23: Capacidad y cantidad de paneles a usar.....	65
Tabla 4-1: Características de la tela filtro de carbón activado.	72
Tabla 4-2: Características del carbón activado granular.....	74
Tabla 4-3: Características de la batería.	76
Tabla 4-4: Características del panel solar.....	76
Tabla 4-5: Características del controlador de carga	77
Tabla 4-6: Resultados del análisis de las muestras de agua filtrada después de cada filtro.	82
Tabla 4-7: Comparativa de la muestra obtenida del filtro 3.....	83
Tabla 4-8: Resultados del análisis de las muestras de agua filtrada aplicando el cartucho con nanopartículas de cobre.....	84
Tabla 4-9: Comparativa de la muestra obtenida del filtro 3 con nanopartículas de cobre.	85
Tabla 4-10: Comparación de resultados entre las muestras filtradas con carbón activado y nanopartículas de cobre.....	86
Tabla 4-11: Costos directos de los materiales	88
Tabla 4-12: Costo de equipos y materiales.....	89
Tabla 4-13: Costo de mano de obra.....	89
Tabla 4-14: Costos directos totales	89
Tabla 4-15: Costos indirectos totales	89
Tabla 4-16: Costos totales	90
Tabla 4-17: Consideraciones de funcionamiento	90
Tabla 4-18: Hoja técnica	91

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Distribución del agua en el planeta.....	6
Ilustración 2-2: Proceso de coagulación-floculación.....	12
Ilustración 2-3: Partículas retenidas en el proceso de microfiltración.....	12
Ilustración 2-4: Partículas retenidas en el proceso de ultrafiltración.....	13
Ilustración 2-5: Partículas retenidas en el proceso de ultrafiltración.....	13
Ilustración 2-6: Partículas retenidas en el proceso de ósmosis inversa.....	14
Ilustración 2-7: Filtración por gravedad.....	16
Ilustración 2-8: Filtro por presión manual.....	16
Ilustración 2-9: Filtración de lecho profundo.....	17
Ilustración 2-10: Filtración lenta.....	18
Ilustración 2-11: Tipos de radiación.....	29
Ilustración 2-12: Panel solar fotovoltaico.....	29
Ilustración 2-13: Funcionamiento de una celda fotovoltaica.....	30
Ilustración 3-1: Metodología de diseño.....	32
Ilustración 3-2: Casa de la calidad.....	35
Ilustración 3-3: Estructura funcional nivel 0.....	36
Ilustración 3-4: Estructura funcional nivel 1.....	37
Ilustración 3-5: Cantidad de personas por hogar en la comunidad de Warintza.....	44
Ilustración 3-6: Geometría de los cartuchos.....	49
Ilustración 3-7: Disposición del segundo cartucho filtrante.....	52
Ilustración 3-8: Bomba de achique SEAFLO 01 Series 750GPH.....	59
Ilustración 3-9: Curva de operación de la bomba Seaflo 01 series 750 GPH.....	59
Ilustración 3-10: Simulación del comportamiento del fluido dentro del filtro.....	60
Ilustración 3-11: Herramienta PVGIS.....	62
Ilustración 3-12: Selección y descarga de datos de irradiancia por cada mes.....	63
Ilustración 3-13: Diagrama de conexión del sistema eléctrico.....	67
Ilustración 3-14: Estructura del equipo realizada en SolidWorks.....	67
Ilustración 3-15: Equipo de filtración realizado en SolidWorks.....	68
Ilustración 3-16: Conexiones de tubería del equipo.....	68
Ilustración 4-1: Pesado de la concentración granular de nanopartículas.....	70
Ilustración 4-2: Agregado de agua destilada a la muestra de nanopartículas.....	70
Ilustración 4-3: Dilución de nanopartículas de cobre concentrado al 20%.....	71
Ilustración 4-4: Esponja contenedora de las nanopartículas.....	71
Ilustración 4-5: Cartuchos filtrantes impresos.....	72

Ilustración 4-6: Tela filtro de carbón activado.....	72
Ilustración 4-7: Colocación de la tela filtrante en la parte inferior de los cartuchos.	73
Ilustración 4-8: Recorte de las esponjas.	73
Ilustración 4-9: Llenado de cartuchos filtrantes con carbón activado.	74
Ilustración 4-10: Preparado de la esponja con nanopartículas.	74
Ilustración 4-11: Cartuchos filtrantes llenos.....	75
Ilustración 4-12: Colocación de cartuchos dentro de los filtros	75
Ilustración 4-13: Sistema de filtración.	76
Ilustración 4-14: Estructura del equipo filtrante.....	77
Ilustración 4-15: Equipo filtrante.	78
Ilustración 4-16: Modos y valores del controlador.....	79
Ilustración 4-17: Muestra de agua del río Warintz.	80
Ilustración 4-18: Recolección de muestras de agua filtrada.	81
Ilustración 4-19: Análisis de muestras.....	81
Ilustración 4-20: Muestra de agua después de la filtración con carbón activado.	82

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE FILTRADO DE AGUA.

ANEXO B: MANUAL DE MANTENIMIENTO

ANEXO C: FICHA TÉCNICA DEL PANEL SOLAR

ANEXO D: FICHA TÉCNICA DE LA BATERÍA

ANEXO E: FICHA TÉCNICA DE LA BOMBA DE ACHUIQUE

RESUMEN

Debido a la falta de redes de distribución de agua para comunidades del Oriente Ecuatoriano, estas aprovechan los ríos cercanos para abastecerse del líquido vital, el cual no es filtrado antes de ser usado en el hogar, provocando enfermedades en sus habitantes, por ello se diseñó y construyó un equipo capaz de extraer y filtrar el agua del río Warintz en el tramo Yawi – Warintza, basándose en los resultados de calidad del agua obtenidos por (Otavalo 2022), quien aplicó el ICA-NSF obteniendo una calidad del agua de nivel medio, existiendo 2 parámetros que no cumplían con el acuerdo ministerial 97A quien rige los criterios de calidad para aguas de consumo humano y doméstico en el Ecuador, estos eran el DBO y las coliformes fecales, los cuales se logró reducir hasta valores aceptados como seguros, se comprobó además que otros parámetros no evaluados en el ICA-NSF, no se encuentren fuera de los rangos establecidos. El equipo es capaz de suministrar un caudal de 5,5 l/min teniendo así un tiempo de espera de 3,24 minutos para suministrar 18 litros a una familia compuesta de 6 personas, además el equipo es fácil de transportar y está diseñado con una independencia energética de dos horas al día durante dos días, cuenta con un panel solar, una batería, un control de carga, una bomba de achique y 3 cartuchos filtrantes impresos en 3d conectados en serie, donde dos de ellos, el primer y tercer cartucho respectivamente, están llenos únicamente por carbón activado de tamaño de malla 8x30 mientras que el segundo además de estar compuesto de carbón activado, en el medio del cartucho se colocó una esponja con 3 ml de dilución de nanopartículas de cobre con una concentración al 20% en 100 ml, obteniendo así agua filtrada segura para el uso residencial.

Palabras clave: <EQUIPO DE FILTRACIÓN> <NANOPARTÍCULAS DE COBRE>
<CARBÓN ACTIVADO> <ENERGÍA SOLAR> <LIQUIDO VITAL> < CALIDAD DEL AGUA> < PANEL SOLAR>

1045-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

Due to the lack of water distribution networks for communities in Eastern Ecuador, they take advantage of the nearby rivers to supply themselves with vital liquid, which is not filtered before being used in the home, causing diseases in its inhabitants, which is why it was designed and built equipment capable of extracting and filtering water from the Warintz River in the Yawi – Warintza section, based on the water quality results obtained by (Otavalo 2022), who applied the ICA-NSF obtaining a medium level water quality. , there were 2 parameters that did not comply with ministerial agreement 97A, which governs the quality criteria of water for human and domestic consumption in Ecuador, these were BOD and fecal coliforms, which were reduced to values accepted as safe, It also verified that other parameters not evaluated in the ICA-NSF are not outside the established ranges. The equipment can supply a flow rate of 5.5 l/min, thus having a waiting time of 3.24 minutes to provide 18 liters to a family of 6 people. Furthermore, the equipment is easy to transport and is designed with energy independence of two hours a day for two days, it has a solar panel, a battery, a charge control, a bilge pump, and three 3D printed filter cartridges connected in series, where two of them, the first and third cartridges respectively, they are filled only with activated carbon of 8X30 mesh size while the second, in addition to being composed of activated carbon, in the middle of the cartridge a sponge was placed with 3 ml of dilution of copper nanoparticles with a concentration of 20% in 100 ml, thus obtaining safe, filtered water for residential use.

Keywords: <FILTRATION EQUIPMENT> <COPPER NANOPARTICLES> <ACTIVATED CARBON> <SOLAR ENERGY> <VITAL LIQUID> <WATER QUALITY> <SOLAR PANEL>



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

La Amazonía ecuatoriana es una región de riqueza natural y valiosos recursos hídricos; en contraste con esto, el acceso al agua potable para las comunidades amazónicas es un desafío crítico que requiere una solución. Las comunidades aprovechan los ríos y afluentes cercanos para obtener agua para uso doméstico, entre otras cosas, debido a ciertas actividades alrededor de los afluentes: extracción de petróleo, minería, deforestación, ganadería, etc. los cuales han provocado el deterioro de la calidad del agua, afectando directamente la salud de quienes consumen esta agua contaminada (Márquez 2023), por ende, es de vital importancia realizar un tratamiento al agua que permita reducir estos contaminantes presentes ayudando así a las comunidades a tener un mejor estilo de vida.

Existen diferentes modos para la filtración del agua que con ayuda de ciertos elementos como el carbón activado, filtros cerámicos, luz ultravioleta, nanopartículas de plata y recientemente las nanopartículas de cobre, las cuales se ha encontrado que pueden ser una herramienta altamente efectiva para el tratamiento del agua, brindando beneficios como desinfección, eliminación de impurezas y mejora de la calidad del agua tratada, en dosis bajas pueden ser altamente efectivas lo que puede reducir los costos de tratamiento y mejorar la eficiencia global del proceso. Además, las nanopartículas de cobre son estables y conservan su actividad antimicrobiana y su capacidad de retención/degradación durante mucho tiempo, lo que las hace adecuadas para aplicaciones de tratamiento a largo plazo (Ighalo et al. 2021).

Las comunidades Yawi y Warintza al no contar con suministro de agua potable, aprovechan el río Warintz para la obtención de este recurso, lo cual puede acarrear graves problemas de salud, por ello la finalidad de este proyecto es generar un equipo que permita a estas comunidades filtrar el agua obtenida de las afluentes cercanas, esto basándonos en el estudio generado sobre la calidad del agua en el río Warintz en el tramo Yawi – Warintza, la filtración se realizará a través cartuchos filtrantes compuestos de carbón activado granular y nanopartículas de cobre lo cual nos ayudará a obtener una calidad del agua óptima para el consumo humano.

Este equipo es capaz extraer agua del río Warintz y de eliminar los contaminantes presentes, el sistema será alimentado eléctricamente con ayuda de una batería y un panel solar aprovechando así la irradiación con la que cuenta esta región. El diseño del equipo se basa en tecnologías actuales y de fácil acceso, lo que lo hace adecuado para su uso en comunidades rurales como Yawi y Warintza.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En la revista Calidad del agua en las Américas, Riesgos y oportunidades; encontramos el artículo con el título “Calidad del agua del Ecuador”, en él podemos encontrar una extensa investigación sobre las fuentes principales de contaminación que afectan las regiones del Ecuador, en la zona Amazónica del Ecuador la contaminación de los ríos y lagunas se da por la actividad petrolera y, en los últimos años, la expansión de la actividad minera (Izurieta et al. 2019) además se añade que otro problema de la contaminación del agua superficial se relaciona con la deforestación y el uso del suelo el cual ha cambiado en todo el país. Se menciona también que la información disponible sobre la calidad del agua es limitada y dispersa ya que Ecuador no posee un sistema para monitorear este tema y que la información disponible es proveniente de estudios puntuales. De lo anterior mencionado sabemos que la información sobre la calidad del agua no es de fácil acceso por ende el análisis de los recursos hídricos de la Amazonía es importante ya que de estas fuentes (ríos, quebradas, etc.). Muchas comunidades se abastecen del agua para uso doméstico, agua la cual no es tratada apropiadamente.

Existen trabajos investigativos sobre el diseño de filtros o equipos potabilizadores del agua, el trabajo titulado “Diseño de un equipo compacto potabilizador del agua superficial con independencia energética” en el encontramos que el sistema diseñado cuenta con nueve filtros que eliminan patógenos que afectan a la calidad del agua, además cuenta con paneles solares para abastecer el consumo energético necesario del equipo (Benites 2019).

Se observa entonces que existen equipos que tratan el agua lo suficiente para ser óptima para el consumo humano, los cuales cumplen su función de manera correcta, ahora debemos enfocarnos en implementar estos estudios en zonas rurales para las comunidades que allí viven, en el trabajo titulado “Filtro del agua para mejorar la calidad de vida en la comunidad Wayuú”, este equipo cuenta con dos fases principales, la prefiltración para las partículas sólidas del agua y el filtro que purifica las partículas más pequeñas existentes (Parra Malagón 2023).

Es evidente que el desarrollo de sistemas para la mejora de la calidad del agua ha aumentado en años recientes esto debido a la concientización de las necesidades que afectan a las comunidades que viven en zonas rurales.

Otro trabajo con el fin de filtrar el agua en este caso añadiendo nanomateriales es el titulado “Optimización de un sistema de filtración con nanomateriales para la mejora de los índices de calidad del agua”, donde se mejoran los parámetros fisicoquímicos que determinan la calidad del agua a través de filtración con carbón activado y nanopartículas magnéticas obteniendo una reducción del 65% al 95% en parámetros como turbiedad, color y sólidos totales mejorando así el índice de calidad del agua a un 0,865 (Linarez García y González Escobar 2019).

Uno de los trabajos referentes es el titulado “Diseño de equipo para el tratamiento de agua de consumo humano en las comunidades Amazónicas de Yawi y Warintza” en el cual se ha investigado una alternativa para una máquina que podría tratar el agua contaminada, este trabajo plantea como idea central la utilización de tecnologías de filtración compuesta de biofiltros, los cuales generan una buena calidad del agua apta para el consumo (Salazar et al. 2022).

1.2. Planteamiento del problema

En Ecuador, el acceso al agua para consumo humano en zonas rurales es una problemática de difícil solución. Al centrarnos en la Amazonía ecuatoriana, observamos que las comunidades obtienen agua para consumo directamente de los ríos cercanos. Sin embargo, esta agua no es tratada adecuadamente para eliminar los posibles agentes contaminantes presentes, lo que podría causar graves problemas de salud. Por esta razón, tenemos la intención de desarrollar un equipo que permita a las comunidades amazónicas de Yawi y Warintza extraer y filtrar el agua del río Warintza la cual es destinada al consumo humano.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación técnica

Para generar este equipo para tratamiento del agua se emplearán diversos conocimientos teóricos y prácticos que se han adquirido a lo largo de la carrera de Mecánica, serán necesarios conocimientos teóricos sobre las materias de: Mecánica de fluidos, Turbo maquinaria, Química, Diseño de Equipos y Elementos Mecánico, Materiales, Electrónica entre otros.

1.3.2. Justificación económica

El equipo tiene como objetivo proporcionar agua óptima para el consumo humano, lo que puede tener un impacto económico significativo. En primer lugar, se reducirá el tiempo de obtención del agua ya que será extraída y procesada en pocos minutos. Además, a largo plazo, el equipo puede

ayudar a prevenir enfermedades relacionadas con el consumo del agua contaminada, lo que puede evitar gastos médicos y pérdida de productividad. En resumen, el equipo no solo tiene beneficios para la salud, sino que también puede tener un impacto positivo en la optimización del tiempo y la economía al reducir costos y prevenir gastos por enfermedades relacionadas con el consumo del agua contaminada.

1.3.3. *Justificación social*

El acceso al agua apta para consumo humano es un derecho humano fundamental, sin embargo, muchas comunidades, como Yawi y Warintza, no tienen acceso a agua limpia y segura. Por esta razón, se propone el diseño de un equipo que permita extraer y tratar el agua del río Warintz, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de estas comunidades. El equipo debe ser fácil de manejar, transportar y mantener, y debe ser capaz de abastecer a una familia de estas comunidades. Con este proyecto, se busca no solo mejorar la salud y el bienestar de las personas, sino también fomentar la sostenibilidad y la autonomía de estas comunidades en el manejo de sus recursos naturales.

1.4. *Objetivos*

1.4.1. *Objetivo general*

Diseñar y construir un equipo de extracción y filtración del agua del río Warintz, destinado al uso residencial en el tramo de Yawi y Warintza, mediante un filtro con nanopartículas de cobre.

1.4.2. *Objetivos específicos*

- Identificar los parámetros de la calidad del agua que se encuentran fuera de rango para el consumo humano presentes en el río Warintz en el tramo Yawi – Warintza.
- Calcular el caudal de operación del equipo que satisfaga la demanda, en base a un análisis poblacional enfocado al consumo familiar.
- Diseñar el equipo en un software CAD, teniendo en cuenta parámetros de practicidad y con enfoque en su transportabilidad.
- Construir la estructura que albergará el sistema de bombeo y los medios filtrantes.

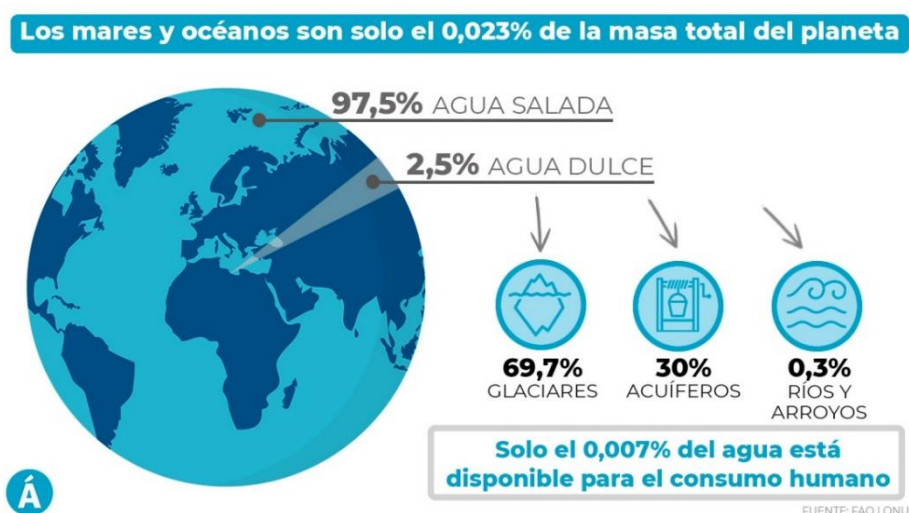
- Ensamblar el sistema y los elementos necesarios para el correcto funcionamiento del equipo.
- Evaluar el funcionamiento del equipo y analizar la calidad del agua obtenida una vez culminado el proceso de filtrado.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El acceso al agua apta para el consumo humano.

El agua es el fluido más importante para el desarrollo de la vida, a pesar de que la mayor parte del planeta está cubierta por un 75% de agua, del cual el 2% es agua dulce sólo el 1,5% es apta para beber (Senderos 2018). Existen estándares internacionales sobre los derechos humanos, que contienen obligaciones específicas en relación con el acceso al agua potable, que se considera esencial para la vida, esto también se aplica al derecho a la salud y a la alimentación además de contribuir a un acceso de vida digna (Cedeño y Esteves-Fajardo 2023).



Á

Ilustración 2-1: Distribución del agua en el planeta.

Fuente: (Carrión 2024)

Según la (ONU 2023), el consumo mundial de agua se duplicará cada 20 años. Hay que tener en cuenta que el 97% de los recursos hídricos del mundo son aguas subterráneas. En este contexto, urge promover la gestión adecuada de estas fuentes de agua y al mismo tiempo combatir la mala gestión del agua y el saneamiento. Garantizar el saneamiento y el acceso al agua potable es fundamental para la prevención de enfermedades, centrándose en las poblaciones más vulnerables y garantizando la igualdad y disponibilidad de estos servicios.

En base a datos de la (ONU 2021), alrededor de 2.200 millones de personas no tienen acceso a agua potable, lo que demuestra claramente que alrededor de 3 de cada 10 personas en el mundo no tienen acceso a agua potabilizada. Otro dato alarmante es que 6 de cada 10 personas no tienen acceso a instalaciones sanitarias seguras. Se prevé que la demanda mundial de agua aumentará en

más de un 50% para 2040, lo que ejercerá más presión sobre el recurso. La necesidad de agua afecta a más del 40% de la población mundial; Se estima que, en 2050, aproximadamente el 25% de la población vivirá en países afectados por sequías o escasez crítica de agua (Cedeño y Esteves-Fajardo 2023).

2.1.1. Acceso al agua apta para el consumo humano en el Ecuador.

Si bien el 70% de los ecuatorianos tiene acceso a agua apta para consumo humano, el 30% carece de este servicio y puede consumir agua en presencia de heces. En las zonas rurales, 6 de cada 10 niños no tienen acceso a instalaciones sanitarias y agua potable, y el 25% de los hogares rurales no tienen acceso a agua potable (ONU 2023).

Ecuador, muestra un importante consumo de agua per cápita de 249 litros diarios. Este nivel de consumo supera significativamente las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), que recomienda una media de 100 litros diarios para cubrir las necesidades básicas de la población (Cuenca, Gallardo y Domínguez-Gaibor 2021).

Gran parte de la población ecuatoriana tiene dificultades para acceder a agua potable. Se destaca que, en algunas zonas, especialmente en zonas agrícolas habitadas por familias de bajos recursos, el suministro de agua es insuficiente o incluso nulo, lo que afecta tanto el consumo como el riego de los cultivos (Camacho y Astudillo 2020).

2.1.2. Acceso al agua apta para el consumo humano en la Amazonía ecuatoriana.

En Ecuador existen diferencias significativas en el acceso al agua potable, especialmente entre zonas urbanas y rurales: el 79,1% de la población urbana tiene acceso a agua potable, mientras que en las zonas rurales esta cifra cae significativamente al 51,4%, entre diferentes zonas y regiones del País, la Sierra es la región con mayor cobertura de agua potable (75,7%), seguida de la Costa con (68,1%) y la Amazonía con menor cobertura (42,5%) (Camacho y Astudillo 2020). Aunque la región amazónica del Ecuador tiene los mayores recursos hídricos disponibles en el país, alrededor del 85% de los recursos hídricos, su participación en el consumo total de agua es relativamente pequeña en comparación con otras regiones. El 82% del consumo de agua del Ecuador se destina al riego agrícola, seguido del uso doméstico con un 12,5% y el sector industrial con un 5,5%. Aunque la demanda de agua en la región amazónica es menor en comparación con otras regiones, todavía contribuye significativamente, alrededor del 20%, al consumo total de agua del país, considerando que el consumo de agua en Ecuador supera los 9700 Hm³ por año (Camacho y Astudillo 2020).

2.1.3. Efectos causados por el consumo del agua contaminada.

Según (Fundación Futuro Latinoamericano 2021), a pesar de la cantidad suficiente de agua dulce per cápita en Ecuador, un porcentaje importante de la población, concretamente el 30%, no tiene acceso a agua potable (UNICEF 2017). Esta situación representa un riesgo para la salud pública, especialmente para los niños y adolescentes ecuatorianos, ya que la falta de acceso a agua potable puede derivar en el consumo de agua contaminada, lo que repercute negativamente en su salud (Cedeño y Esteves-Fajardo 2023).

La falta de acceso al agua potable y al saneamiento está relacionada con enfermedades que causan un gran número de muertes en comparación con las guerras. Señalando que más de tres millones y medio de personas mueren cada año a causa de enfermedades transmitidas a través del agua contaminada, y que la diarrea es una de las principales causas de muerte entre los niños menores de cinco años. Además, la falta de acceso al agua potable mata a más niños que el sida, la malaria y la viruela juntos. Por último, aproximadamente una de cada ocho personas en el mundo no tiene acceso a agua potable (Solón 2010).

Tabla 2-1: Principales enfermedades transmitidas por el agua contaminada

Enfermedades	Causa y vía de transmisión	Extensión Geográfica	Número de casos	Defunciones por año
Ascariasis	Los huevos fecundados se expulsan con las heces humanas. Las larvas se desarrollan en la tierra caliente. El hombre ingiere la tierra que está sobre los alimentos.	África, Asia y América Latina	250 millones anualmente	60.000
Hepatitis A	El virus pasa por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona a otra.	Todo el mundo	600.000 a 3 millones por año	2.400 a 12.000
Cólera	Las bacterias pasan por la vía fecal oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona a otra.	Sudamérica, África, Asia	384.000 por año	20.000

Enfermedades	Causa y vía de transmisión	Extensión Geográfica	Número de casos	Defunciones por año
Fiebre paratifoidea y tifoidea	Las bacterias pasan por la vía fecal oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona a otra.	80% en Asia y 20% en América Latina, África	16 millones anualmente	600.000

Fuente: (Peñañiel et al. 2018)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

La presencia de bacterias coliformes fecales como *Escherichia coli* (*E. coli*) en el agua indica contaminación por desechos animales o aguas residuales que pueden representar un riesgo para la salud humana. La presencia de *E. coli* puede indicar la presencia de otras bacterias, virus o protozoos dañinos en el agua. Además, la salmonella, otra bacteria común asociada con alimentos y agua contaminados, puede causar enfermedades graves como tifoidea y salmonelosis. Los síntomas de intoxicación incluyen náuseas, vómitos, calambres abdominales, diarrea y fiebre (Rock y Rivera 2014).

Las enfermedades diarreicas, relacionadas con la falta de acceso al agua potable, son una de las principales causas de muerte entre niños menores de cinco años en todo el mundo, con una estimación de 340.000 muertes por año provocadas por condiciones deficientes de saneamiento, lo que representa aproximadamente 1.000 niños fallecidos diariamente (Peñañiel et al. 2018).

2.2. Índice de calidad del agua (ICA)

La calidad del agua se evalúa en base a diversos parámetros que determinan el grado de cambio en sus propiedades naturales y se clasifica según el uso específico. El Índice de Calidad del Agua (ICA) es un indicador basado en varios parámetros relacionados con la calidad del agua. Este índice es una herramienta matemática que evalúa la calidad del agua mediante la conversión de datos extensos en una única escala de medición, aunque su enfoque puede variar según el autor (Castro et al. 2014). En la tabla 2-2 muestra la evolución de los indicadores de calidad del agua con mayor relevancia a nivel global.

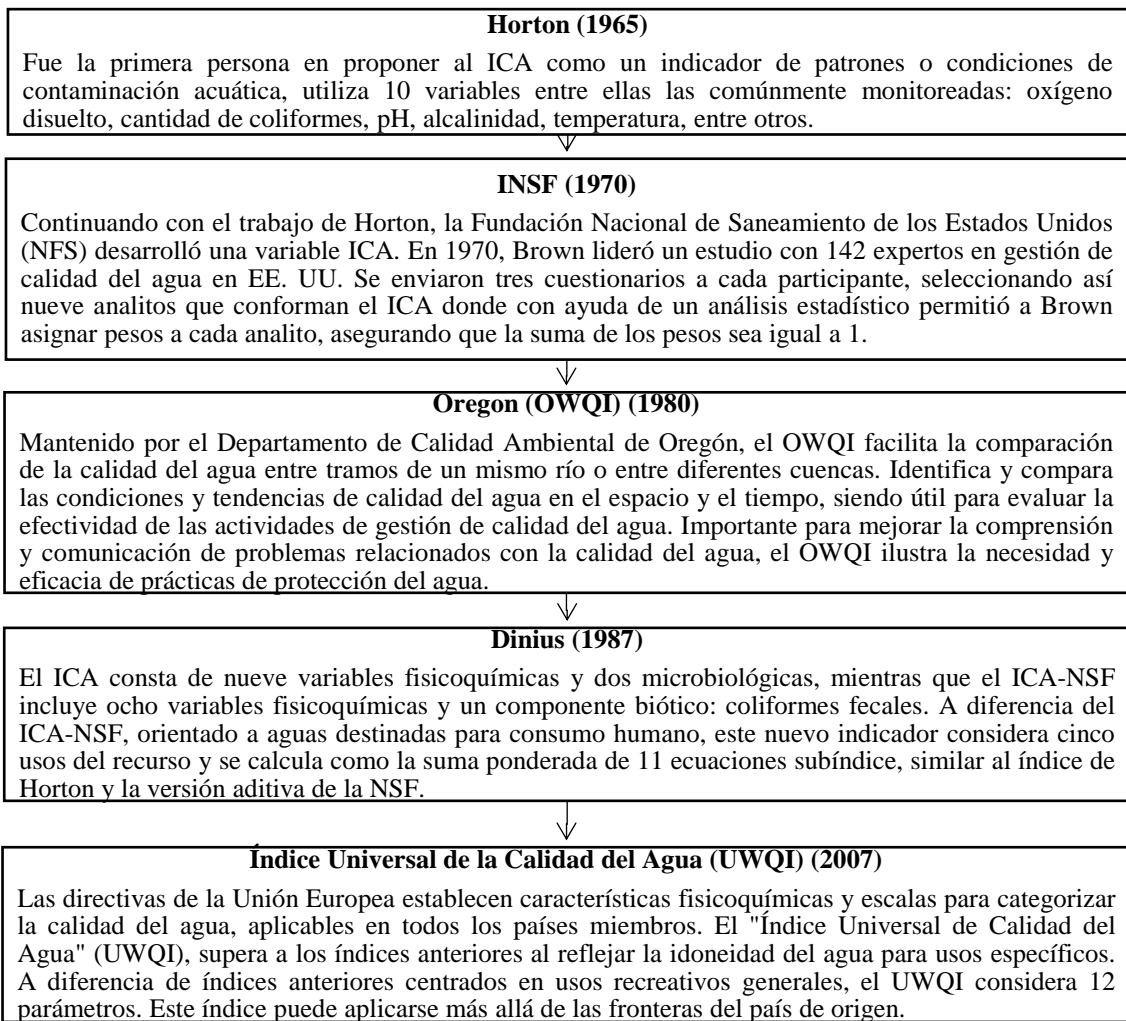


Tabla 2-2: Evolución de los índices de calidad del agua.

Fuente: (Castro et al. 2014)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

2.2.1. Índice de calidad del agua (ICA-NFS)

El índice de calidad del agua desarrollado por la Fundación Nacional de Saneamiento de los Estados Unidos (NFS) es muy útil y cubre una amplia gama de contaminantes, siendo las bacterias coliformes fecales un parámetro importante. Se consideran características generales como el pH, el oxígeno disuelto y la temperatura, relevantes para la toxicidad de los contaminantes y la dinámica de los ecosistemas acuáticos. La presencia de nutrientes como nitratos y fosfatos es valiosa, y la demanda bioquímica de oxígeno se considera un indicador de contaminación orgánica. La tabla muestra los pesos relativos de las distintas dimensiones del Índice de Calidad NSF (Borrero García y Husserl 2018).

Tabla 2-3: Pesos relativos ICA NFS

Parámetro de calidad	W_i
Saturación de oxígeno disuelto	0,17
Coliformes fecales	0,16
PH	0,11
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	0,11
Nitratos	0,1
Fosfatos	0,1
Cambio en la temperatura	0,1
Turbiedad	0,08
Sólidos disueltos totales	0,07

Fuente: (Abbasi y Abbasi 2012)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

Una vez determinado el índice de calidad para cada parámetro, se compara con los siguientes rangos de clasificación

Tabla 2-4: Clasificación de la calidad del agua

Rango	Clasificación
0 – 25	Muy mala
26 – 50	Mala
51 – 70	Media
71 – 90	Buena
91 – 100	Excelente

Fuente: (Wills y Irvine 1996)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

2.3. Filtración de agua

La filtración es un proceso físico que implica hacer pasar una mezcla de sólidos y líquidos a través de un medio diluido, reteniendo los sólidos mientras el líquido pasa a través del medio. Este método utiliza el medio poroso como una barrera selectiva para separar eficazmente los elementos sólidos de la mezcla. La eficiencia de la filtración se ve afectada por la porosidad del medio, así como por la porosidad de los sólidos y líquidos. La filtración se utiliza y desempeña un papel importante en muchas aplicaciones, desde la limpieza de líquidos hasta la captura de partículas en sistemas de ventilación, proporcionando un método excelente para separar y purificar materiales (Pérez y Urrea 2015).

El proceso de filtración se encuentra muy presente en diversos ámbitos de la actividad humana, ya sea este aplicado a actividades de carácter doméstico como también a aplicaciones de carácter industrial.

2.3.1. Métodos de filtración

Dependiendo de las condiciones de filtración se pueden emplear distintos métodos como:

2.3.1.1. Filtración convencional

La filtración convencional requiere coagulación, floculación, sedimentación, filtración de arena y desinfección. El tamaño de las partículas objetivo supera los 10 micrómetros (Mourato D. 1998).

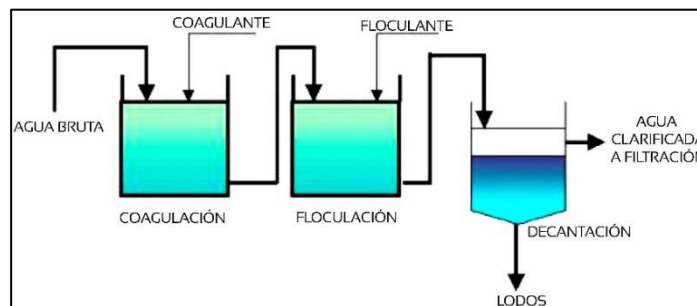


Ilustración 2-2: Proceso de coagulación-floculación.
Realizado por: (Sánchez Del Castillo 2016)

2.3.1.2. Microfiltración

Las membranas de microfiltración tienen poros de 0,075 a 3 micrones. Estas membranas son capaces de separar materias en suspensión de mayor diámetro, hasta 0,45 micrones y captura bacterias, quistes y otros parásitos más grandes que el poro promedio más grande que la membrana (Mourato D. 1998).

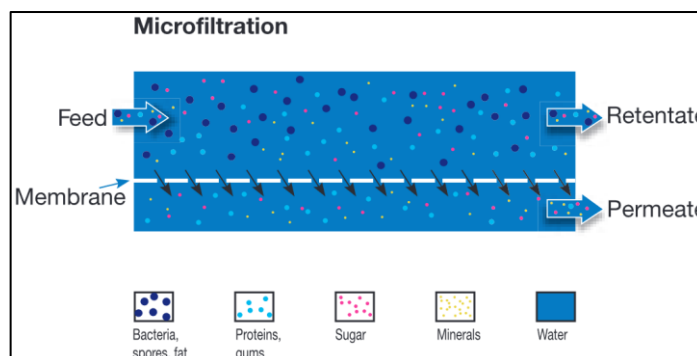


Ilustración 2-3: Partículas retenidas en el proceso de microfiltración.
Realizado por: (Alfa Laval 2010).

2.3.1.3. Ultrafiltración

Los procesos que utilizan membranas de poros finos y requieren alta presión se denominan ultrafiltración. Estos procesos requieren presiones superiores a 20 psi para separar macromoléculas y materiales coloidales con tamaños de partículas en el rango de 0,001 a 0,1 micrones. La presión hidrostática facilita esta separación y permite eliminar más del 90% de las impurezas contenidas en el líquido filtrado (Suarez Ramírez 2016).

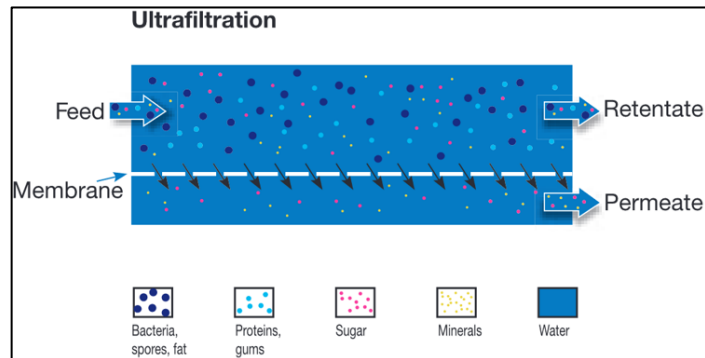


Ilustración 2-4: Partículas retenidas en el proceso de ultrafiltración.

Realizado por: (Alfa Laval 2010)

2.3.1.4. Nanofiltración

La nanofiltración utiliza membranas y poros a presiones operativas entre la ultrafiltración y la ósmosis inversa, con presiones de 70 a 200 psi. Estas membranas previenen parcialmente el paso de sólidos disueltos, especialmente los iones divalentes, pero al mismo tiempo eliminan la mayor parte de la materia orgánica que actualmente se descompone en el agua natural. Se utilizan principalmente para desalinizar aguas salobres y eliminar sustancias orgánicas de aguas superficiales. También retiene sustancias orgánicas y moléculas sin la aplicación de productos químicos, requieren más presión y energía para completar el proceso en comparación con otros métodos de filtración (Mourato D. 1998).

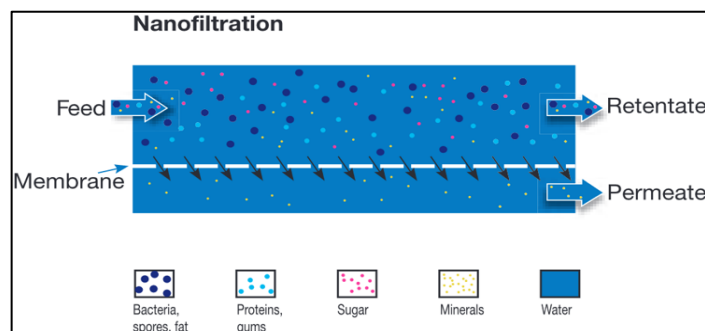


Ilustración 2-5: Partículas retenidas en el proceso de ultrafiltración.

Realizado por: (Alfa Laval 2010)

2.3.1.5. Osmosis inversa

La ósmosis directa y la ósmosis inversa son procesos en los que un disolvente pasa a través de una membrana semipermeable entre dos soluciones de diferentes concentraciones. En la ósmosis directa, el flujo pasa de una solución menos concentrada a una solución más concentrada para igualar la concentración, mientras que, en la ósmosis inversa, se aplica presión hacia afuera desde la presión osmótica para cambiar la dirección del flujo, desplazándose así la solución con menos concentración hacia el estado más concentrado (Colomina Montava 2016).

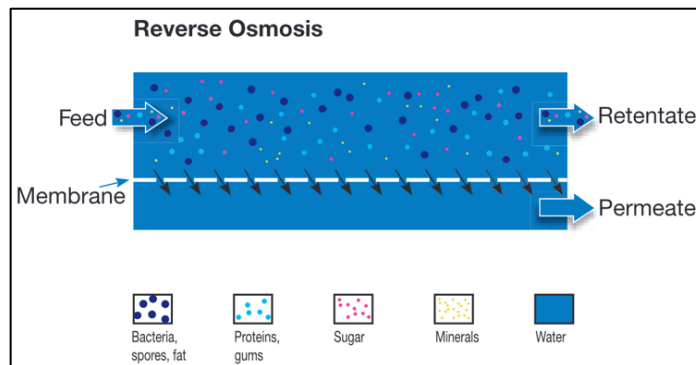


Ilustración 2-6: Partículas retenidas en el proceso de ósmosis inversa.

Realizado por: (Alfa Laval 2010)

Tabla 2-5: Relación tamaño con método de filtración

	Masa molecular	Angstroms	Micrómetros		
Filtración general			100	Cabello humano	
			80		
		La partícula más pequeña aún visible	40		
		Polen de ambrosía	20		
			100.000		10
					8
Microfiltración			4	Bacteria	
			2		
		10.000			0,8
					0,4
					0,2

	Masa molecular	Angstroms	Micrómetros	
Ultrafiltración	1.000.000	1.000	0,1	Sales solubles y iones
	500.000		0,08	
			0,04	
	100.000	100	0,02	
			0,01	
	50.000		0,008	
Osmosis inversa		40	0,004	
		20	0,002	
	10.000	10	0,001	
		8	0,008	
	4.000	4	0,004	
	2.000	2	0,002	
	1.000	1	0,001	
	800	0,8	0,0008	
	0,4	0,0004		
	0,4	0,0002		
	100	0,1	0,0001	
	80	0,06	0,00008	

Fuente: (Russell 2012)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

Para mejorar el filtro se suele utilizar tierra de diatomeas (un medio filtrante o material granular que se expande, tritura y expande como la lava). Las membranas no siempre son homogéneas o isentrópicas y normalmente requieren una limpieza cuidadosa o una filtración previa para evitar obstrucciones.

Tabla 2-6: Rendimiento y propiedades de separación de las membranas

Tipo de membrana	Mecanismo de separación	Tamaño de poro (micrones)	Peso molecular (UMA o Da)	Presiones de operación (psi)
Ósmosis inversa	Tamizado y difusión	<0,001	100-200	600-1.500
Nanofiltración	Tamizado y difusión	0,001-0,01	300-1.000	50-250
Ultrafiltración	Tamizado	0,01-0,1	1.000-1.000.000	3-80
Microfiltración	Tamizado	0,1-20	> 100.000	1-30

Fuente: (Russell 2012)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

2.3.2. *Fuerza impulsora*

2.3.2.1. *Filtración por gravedad*

Los filtros de membrana por gravedad están disponibles en una variedad de diseños y tamaños de poro y pueden incluir prefiltros y revestimientos de carbón activado. Estos filtros utilizan la gravedad para forzar el agua a través de una membrana semipermeable con poros tan pequeños como 0,02 micrones, eliminando eficazmente virus y otros patógenos del agua. En comparación con los filtros cerámicos, los filtros de membrana por gravedad funcionan mejor para eliminar contaminantes (UNICEF 2021).



Ilustración 2-7: Filtración por gravedad.

Fuente: (UNICEF 2021)

2.3.2.2. *Filtración por presión*

La filtración a presión se puede realizar de dos maneras: una es bombear agua de un recipiente a través de un filtro a otro usando una bomba o manguera, y la otra es bombear agua manualmente a través del filtro usando un grifo. Este método le permite filtrar eficazmente el agua de las impurezas y obtener agua potable limpia y segura (UNICEF 2021).



Ilustración 2-8: Filtro por presión manual

Fuente: (UNICEF 2021)

2.3.3. *Mecanismo de retención*

2.3.3.1. *Filtros en superficie*

La micro reticulación se utiliza principalmente para eliminar plancton y grandes materiales suspendidos de las aguas superficiales. Sin embargo, su eficacia está limitada por varios factores:

- La filtración está limitada por el tamaño de la propia malla.
- La extinción del plancton es siempre parcial, ya que debido al aumento de las temperaturas puede reproducirse.
- La posible corrosión de los tejidos o de sus soportes impide el trabajo continuo con agua altamente clorada.

Además, el micro recubrimiento no afecta el color ni la materia orgánica disuelta, sino que solo elimina la mayoría de las partículas más gruesas en suspensión (Orellana 2005).

2.3.3.2. *Lecho profundo*

La filtración profunda implica que el agua pasa a través de un medio filtrante, como arena y grava, que captura partículas a medida que el agua purificada pasa a través del lecho filtrante. Con el tiempo, las partículas sólidas se acumulan en el medio filtrante, lo que aumenta la resistencia al flujo y provoca pérdidas de presión. Para eliminar los depósitos, el lavado se realiza a la inversa, lo que reduce la pérdida de presión. La dinámica de los cambios de presión en la capa filtrante se puede representar mediante gráficos de resistencia del filtro (gráficos de Michaud) (Carbontecnia 2023).

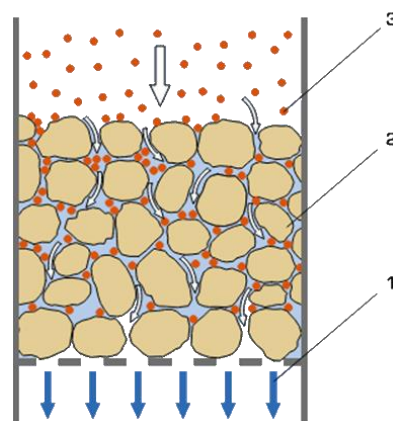


Ilustración 2-9: Filtración de lecho profundo.

Fuente: (ZhongTing 2023)

De la ilustración 2-9 se puede destacar:

- 1) Agua depurada (filtrada)
- 2) Medio filtrante
- 3) Sólidos

2.3.4. Velocidad de filtración

2.3.4.1. Filtración lenta

La filtración lenta es un método de depuración de aguas superficiales que no requiere previa coagulación ni decantación. Este proceso consta de tres etapas de filtración:

- Trabajar a un caudal de 20 a 30 m³/día por m² de filtro.
- Prefiltros a un caudal de 10 a 20 m³/día por m² de filtro.
- Filtros a un caudal de 3 a 7 m³/día por m² de filtro.

Hay una ligera pérdida de presión en cada etapa y los filtros se lavan aproximadamente una vez al mes. La filtración lenta puede ser eficaz para purificar el agua si contiene pocos sólidos en suspensión y la tasa de filtración se mantiene baja. Sin embargo, si el agua viene con una gran cantidad de sólidos en suspensión, los filtros pueden no ser lo suficientemente efectivos, lo que puede provocar un aumento de la turbiedad del agua tratada. Además, los filtros pueden obstruirse fácilmente debido al crecimiento del plancton. Aunque la filtración lenta se considera un proceso de refinación, no elimina todos los micro contaminantes como fenoles, detergentes y pesticidas, lo que limita su eficacia como proceso de refinación (Orellana 2005).

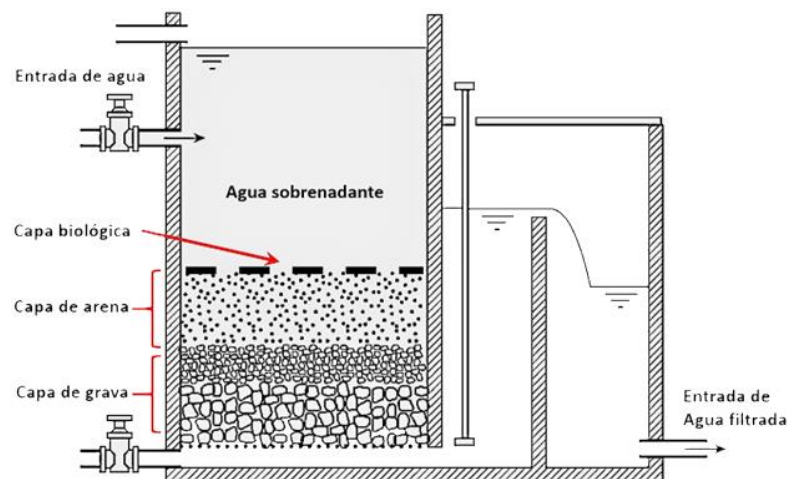


Ilustración 2-10: Filtración lenta
Fuente: (Logsdon et al. 2002)

2.3.4.2. Filtración rápida

En la filtración rápida, el agua pasa por la cama filtrante más rápidamente que en la filtración lenta, normalmente de 4 a 50 metros por hora. A diferencia de la filtración lenta, la filtración rápida no tiene efectos biológicos. Sin embargo, en algunos casos y en condiciones favorables, en este proceso se puede observar nitrificación por la velocidad limitada y la presencia de bacterias nitrificantes en el agua con un contenido suficiente de oxígeno (Orellana 2005).

Para el proceso de filtración que utiliza materiales granulares como arena, antracita, carbón activado, entre otros, la velocidad de filtración puede variar dependiendo de las propiedades fisicoquímicas de las aguas grises a tratar. Esta velocidad puede estar entre 4 metros por hora (m/h) y 20 metros por hora (m/h) (Chagcha et al. 2021).

2.4. Materiales para filtración

2.4.1. Carbón activado

El carbón activado es un recurso valioso en la purificación del agua debido a dos propiedades principales: primero, su capacidad para atrapar diversos contaminantes orgánicos y mantener el agua prácticamente libre de estos compuestos; en segundo lugar, su capacidad para neutralizar el cloro libre residual tras la desinfección. Se utiliza en el tratamiento de aguas residuales para eliminar compuestos orgánicos difíciles de tratar y trazas de compuestos inorgánicos como nitrógeno, sulfuros y metales pesados (Sevilla 2011).

En la siguiente tabla se observa los tamaños de malla más usados y su aplicación.

Tabla 2-7: Rangos típicos de tamaño de carbón activado granular para distintas aplicaciones.

APLICACIÓN	GRANULOMETRÍA
Tratamiento de agua y de líquidos en general a nivel industrial y mundial	8x30, 12x40, 14x30, 14x40
Purificadores de agua caseros	12x40, 14x40, 20x50
Acondicionamiento de aire, purificación de gases (como CO ₂ , He, acetileno), recuperación de vapores de solventes, campanas para cocina.	4x6, 4x8, 4x10
Mascarillas de gases	12x20
Recuperación de oro	6x12, 6x16, 8x16, 10x20

APLICACIÓN	GRANULOMETRÍA
Boquillas de cigarros	8x14, 12x20, 20x50

Fuente: (Sevilla y Torres 2013)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

2.4.2. *Nanopartículas de plata*

Las nanopartículas de plata tienen un buen efecto bactericida debido a su relación superficie-volumen y, por tanto, son muy reactivas. Estas partículas, con un tamaño promedio de 10 a 100 nm, pueden usarse como ingredientes activos en desinfectantes y medicamentos, proporcionando mejoras como el control de la toxicidad, la superación de la resistencia bacteriana y menores costos en comparación con los antibióticos tradicionales (Yanchapanta Tamaquiza 2022).

Las nanopartículas de plata son conocidas y apreciadas por sus propiedades únicas, como estabilidad química, buena conductividad y efectos antibacterianos. Estas nanopartículas tienen un amplio espectro biocida, lo que significa que pueden combatir una amplia gama de microorganismos dañando sus membranas celulares e interfiriendo con la actividad enzimática. Además, a diferencia de los pigmentos metálicos, las nanopartículas metálicas como la plata no suponen ningún riesgo para la salud (Mogollón Cortez y Veloz Chipre 2021).

2.4.3. *Nanopartículas de cobre*

Se han estudiado y utilizado nanopartículas de ciertos metales como el dióxido de titanio, la plata, el óxido de zinc y, más recientemente, el cobre por sus propiedades antibacterianas y antifúngicas. Señalando que las nanopartículas de cobre se han convertido en un área importante de interés en aplicaciones antimicrobianas y antifúngicas, ofreciendo así oportunidades prometedoras para diversas aplicaciones (Diaz Soria 2021).

Se ha demostrado que las nanopartículas de cobre son muy efectivas para controlar y eliminar contaminantes del agua. Según un estudio de 2019, estas nanopartículas tienen una eficiencia de eliminación de DQO y DBO del 89%, así como una capacidad de floculación excepcional a una baja concentración de 0,2 mg/ml. Estas nanopartículas son térmicamente estables, funcionan eficazmente en un amplio rango de pH y no requieren agitación para una floculación eficiente. Por lo tanto, se sugiere que estas propiedades hacen que las nanopartículas de cobre sean muy importantes para la eliminación y el control de algunos contaminantes presentes en aguas de minas de carbón, aguas residuales domésticas y aguas de ríos (Dlamini, Basson y Rajasekhar Pullabhotla 2019).

2.4.4. Nanopartículas de óxido de zinc

Se ha utilizado la nanotecnología para explotar las propiedades de eliminación de arsénico con ayuda de las nanopartículas de óxido de zinc del agua. Estas nanopartículas no solo exhiben propiedades antimicrobianas contra bacterias como *E. coli* en ausencia de luz y pH neutro, sino que también inhiben la formación de biopelículas causadas por microorganismos patógenos presentes en el agua. Esto sugiere que las nanopartículas de óxido de zinc pueden ser una herramienta eficaz para mejorar la calidad del agua al eliminar el arsénico y prevenir el crecimiento de microorganismos dañinos (Díaz Soria 2021).

Las nanopartículas de óxido de zinc son muy eficaces para controlar el crecimiento de diversas bacterias. Este efecto se debe principalmente a su capacidad para catalizar la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) a partir de agua y oxígeno, lo que compromete la integridad de la membrana bacteriana. Dado que el proceso de catálisis tiene lugar en la superficie de las partículas, se destacó que las partículas con una superficie mayor muestran una actividad antibacteriana más pronunciada. Esto sugiere que las nanopartículas de óxido de zinc pueden usarse como agentes eficaces para combatir el crecimiento bacteriano en diversos entornos (Díaz Soria 2021).

2.5. Estándares de calidad del agua destinada para el consumo humano

2.5.1. Acuerdo Ministerial 097-A

Este acuerdo ecuatoriano, presentado en el Anexo 1 del Texto Uniforme de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, fija el estándar de calidad ambiental y descarga de aguas residuales a cuerpos de agua. El principal objetivo de esta norma es prevenir y controlar la contaminación relacionada con el agua además de proteger y preservar los usos asignados a los recursos hídricos y proteger la integridad de las personas, los ecosistemas y el medio ambiente en general. Todas las medidas encaminadas a proteger, mantener o mejorar la calidad del agua deberán implementarse de acuerdo con lo establecido en este reglamento (Ministerio del Ambiente del Ecuador 2015).

Tabla 2-8. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico

PARÁMETRO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	mg/l	0,3
Arsénico	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1.000
Bario	mg/l	1
Cadmio	mg/l	0,02
Cianuro	mg/l	0,1
Cobre	mg/l	2
Color	Unidades de Planito Cobalto	75
Cromo hexavalente	mg/l	0,05
Fluoruro	mg/l	1,5
Demanda Química de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	< 4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/l	< 2
Hierro total	mg/l	1,0
Mercurio	mg/l	0,006
Nitratos	mg/l	50,0
Nitritos	mg/l	0,2
Potencial Hidrógeno	Unidades de pH	6 – 9
Plomo	mg/l	0,01
Selenio	mg/l	0,01
Sulfatos	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/l	0,2
Turbiedad	UNT	100,0

Fuente: (Ministerio del Ambiente del Ecuador 2015)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

2.5.2. NTE INEN 1108

La norma específica los requisitos para el agua destinada al consumo humano en relación con los sistemas de suministro y distribución de agua. No obstante, quedan excluidas de este ámbito las aguas minerales naturales, las aguas purificadas envasadas y las aguas purificadas farmacéuticas. En este contexto, el Ministerio de Salud ha sido identificado como el organismo responsable de monitorear y analizar el agua para garantizar el cumplimiento de estos estándares de calidad (Sánchez Aroca y Guangasig Toapanta 2023).

Tabla 2-9: Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano

Parámetro	Unidad	Límite permitido
Arsénico	mg/L	0,01
Cadmio	mg/L	0,003
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5
Cobre	mg/L	2,0
Color aparente	Pt-Co	15
Cromo (cromo total)	mg/L	0,05
Fluoruro	mg/L	1,5
Mercurio	mg/L	0,006
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/L	50
Nitritos (como NO ₂ ⁻)	mg/L	3
Plomo	mg/L	0,01
Turbiedad	NTU	5

Fuente: (INEN 1108 2020)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

Tabla 2-10: Requisitos microbiológicos del agua para consumo humano

Parámetro	Unidad	Límite permitido
Coliformes fecales	Número/100 mL	Ausencia
Cryptosporidium	Número de ooquistes/ L	Ausencia
Giardia	Número de quistes/ L	Ausencia

Fuente: (INEN 1108 2020)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

2.6. Hidráulica

2.6.1. Caudal

El flujo volumétrico de un fluido que atraviesa una sección transversal en una unidad de tiempo. Se define mediante la siguiente ecuación:

$$Q = V \cdot A \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Donde:

Q : Caudal del sistema [m^3/s]

A : Área de la sección transversal a través de la cual fluye el fluido [m^2]

V : Velocidad del fluido [m/s]

2.6.2. Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es una herramienta útil para analizar el comportamiento de un fluido en un sistema, tomando en cuenta factores como la presión, la velocidad y la altura, dado el caso de un flujo constante de un fluido real en un medio como lo es una tubería se plasma en la siguiente ecuación (Ing Chuquín Vasco et al. 2019).

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_B = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_{pérdidas} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Donde:

P : Presión manométrica o absoluta en el punto de análisis [m.c.f]

V : Velocidad en la tubería que depende del diámetro interior de la tubería en el punto de análisis [m/s]

Z : Cota, elevación, o topografía en el punto de análisis [m]

H_B : Energía al flujo a través de una bomba [m.c.f]

g : Valor de la gravedad [m/s^2]

γ : Peso específico del fluido [N/m^3]

2.6.3. Pérdidas por longitud de tubería

La pérdida por longitud de tubería, causada principalmente por la fricción del fluido, está influenciada por la viscosidad del fluido y el régimen de flujo. Para calcular estas pérdidas, se

emplea la ecuación de Darcy-Weisbach, que establece una relación entre la pérdida de carga y el coeficiente de fricción del fluido en movimiento dentro de la tubería (Ing Chuquín Vasco et al. 2019).

$$h_{long} = \frac{8 f L Q^2}{\pi^2 g D^5} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Donde:

h_{long} : Pérdida por longitud de tubería [m.c.a]

f : Factor de fricción [adimensional]

L : Longitud de la tubería [m]

Q : Caudal del tramo de estudio [m³/s]

g : Gravedad [9,81 m/s²]

D : Diámetro interior de la tubería [m]

2.6.4. Factor de fricción

Para determinar el factor de fricción hay que tener en cuenta que tipo de flujo posee como flujo laminar y flujo turbulento. Para flujo laminar ($Re < 2100$)

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Ecuación 2-4}$$

Para el flujo turbulento el factor de fricción se determina por la ecuación de Swamee.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación 2-5}$$

Donde:

f : Factor de fricción [adimensional]

ε : Rugosidad absoluta de la tubería [m]

D : Diámetro interior de la tubería [m]

Re : Número de Reynolds [adimensional]

2.6.5. Número de Reynolds

La ecuación que nos permite determinar el número de Reynolds para calcular las pérdidas de longitud de tubería es:

$$Re = \frac{V D}{\gamma} \quad \text{Ecuación 2-6}$$

Donde:

Re : Número de Reynolds [adimensional]

D : Diámetro de Reynolds [adimensional]

γ : Viscosidad Cinemática [m^2/s]

El número de Reynolds relaciona el efecto de inercia y el efecto viscoso lo que permite un análisis alternativo del inicio de la turbulencia. También permite verificar y diferenciar un fluido laminar de un turbulento (Ranald, Jack y Cheng 1994).

Tabla 2-11: Rango de Reynolds

Número de Reynolds	Flujo
$Re < 2.300$	Laminar
$2.300 < Re < 4.000$	Transición
$Re > 4.000$	Turbulento

Fuente: (Fox y McDonald 1990)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

2.6.6. Pérdidas por accesorios

Los productos como válvulas, codos y otros accesorios producen pérdidas las cuales son consideradas menores, estas pueden existir en la entrada o salida de las tuberías, en las curvas, codos, tees, etc., también se encuentra presente en válvulas, abiertas o parcialmente cerradas.

$$h_{acc} = \frac{8 k Q^2}{\pi^2 g D_{acc}^4} \quad \text{Ecuación 2-7}$$

Donde:

h_{acc} : Pérdida por accesorios [m.c.a]

k : Coeficiente de pérdida (local), que depende del tipo de accesorio [adimensional]

Q : Flujo volumétrico [m^3/s]

D_{acc} : Diámetro interior del accesorio [m]

g : Gravedad [$9,81 \text{ m/s}^2$]

2.6.7. Pérdidas totales

Las pérdidas totales es la sumatoria de las pérdidas por longitud de tubería y las pérdidas por accesorios o secundarias.

$$H_{totales} = h_{long} + h_{acc} \quad \text{Ecuación 2-8}$$

2.6.8. Hidráulica de la filtración

La pérdida hidráulica general a través de un filtro se describe en la siguiente ecuación (Russell 2012):

$$\frac{h}{L} = \frac{1,067(C_d v^2)}{g f^4 d} \quad \text{Ecuación 2-9}$$

Donde:

C_d : Coeficiente de fricción

g : Gravedad [$9,81 \text{ m/s}^2$]

v : Velocidad del frente del líquido

f : Porosidad del lecho filtrante (expresada con un decimal)

Para condiciones de un flujo laminar, la ecuación que describe la pérdida es:

$$\frac{h}{L} = 25,6 \frac{u v}{g f^4 d^2} \quad \text{Ecuación 2-10}$$

Donde:

v : Viscosidad cinemática del fluido

2.7. Energía solar

La captación y uso de la energía solar depende de la cantidad de radiación solar que llega a la Tierra, la cual está influenciada por varios factores como la estación, la hora del día, la ubicación geográfica y las condiciones climáticas. Aunque la cantidad total de radiación solar emitida a la Tierra permanece relativamente constante, la cantidad real que llega a la superficie de la Tierra puede variar significativamente debido a factores externos como la estación, la hora del día, la latitud, el clima, entre otros (Cata Sánchez y Rodríguez Sócola 2015).

Ecuador tiene un fuerte potencial en energía solar debido a su posicionamiento en la zona intertropical, con una capacidad fotovoltaica estimada en más de 15 GW. Los sistemas fotovoltaicos tienen un impacto positivo en la transición energética del país al producir energía limpia y renovable. También ayudan a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, crear empleos y reducir la brecha de acceso a la electricidad entre las zonas urbanas y rurales (Sebastián et al. 2023).

2.7.1. Tipos de radiación solar

La energía de la radiación solar se propaga en línea recta, pero la presencia de gases y partículas en la atmósfera puede cambiarla, fenómeno llamado difusión. Esta dispersión se produce cuando un fotón encuentra un obstáculo sin absorción y sólo cambia la dirección de su trayectoria (Padilla y Licona 2022).

- Radiación solar directa: se refiere a la radiación que llega a la superficie sin ser disipada por la atmósfera en su recorrido. Esto sucede cuando el sol es completamente visible en el cielo (Padilla y Licona 2022).
- Radiación solar difusa: radiación que llega a una superficie después de varias desviaciones de su trayectoria durante su paso por la atmósfera o después de que superficies previamente afectadas se reflejan en diferentes direcciones (Padilla y Licona 2022).
- Radiación global: suma de radiación directa y difusa (Padilla y Licona 2022).
- Albedo o radiación reflejada: se refiere a la fracción de radiación solar reflejada por una superficie. Las superficies horizontales no reciben radiación reflejada porque no ven la superficie de la Tierra, mientras que las superficies verticales reciben la mayor parte de la radiación reflejada (Padilla y Licona 2022).

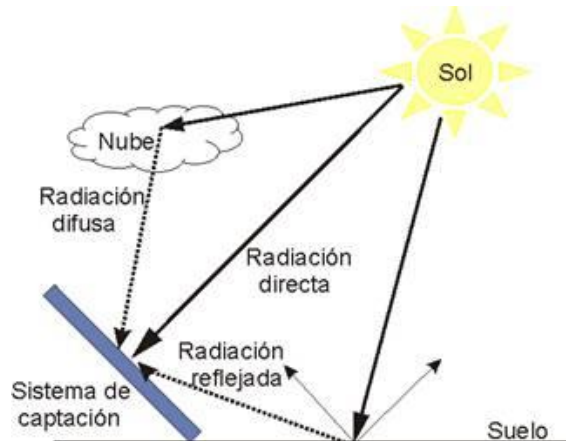


Ilustración 2-11: Tipos de radiación
Fuente: (Hernández 2014)

2.7.2. *Energía solar fotovoltaica*

En 1839, el descubrimiento del efecto fotovoltaico por parte del físico Antoine Becquerel y su importancia en la producción de energía solar permitió la conversión directa de la luz solar en electricidad mediante células fotovoltaicas. Este proceso es necesario para producir energía a partir de fuentes renovables, como la energía solar (Puig y Jofra 2007).

2.7.3. *Panel solar*

Un módulo o panel fotovoltaico consta de células fotovoltaicas que pueden convertir directamente la energía de los fotones de la luz solar en electricidad (Cata Sánchez y Rodríguez Sócola 2015).



Ilustración 2-12: Panel solar fotovoltaico
Fuente: (Arecibia 2016)

La materia prima básica para la producción de células solares es el silicio semiconductor. El efecto fotovoltaico se produce cuando la luz solar golpea al semiconductor de silicio y crea cargas eléctricas positivas y negativas en las zonas adyacentes del semiconductor. Esta separación de cargas crea un campo eléctrico, que a su vez genera corriente eléctrica y permite así la conversión

de la energía solar en electricidad utilizable. Hay una gran variedad de placas solares, las dos más utilizadas se enumeran a continuación:

- Silicio monocristalino puro: estas células solares están formadas por secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizada en una sola pieza. Su rendimiento es poco inferior a 16% (Cata Sánchez y Rodríguez Sócola 2015).
- Silicio policristalino puro: Estos paneles están hechos de secciones de barras de silicio moldeadas aleatoriamente en pequeños cristales. Se reconocen fácilmente por la superficie granulosa de su superficie. Su eficiencia es ligeramente inferior a la de los paneles monocristalinos, en torno al 14% (Cata Sánchez y Rodríguez Sócola 2015).

2.7.4. Celdas fotovoltaicas

Las células fotovoltaicas son dispositivos que convierten la energía solar en electricidad. Estas células se componen principalmente de silicio puro con impurezas de ciertos elementos químicos. Cuando la luz del sol incide sobre estas células, se liberan electrones y se crea una corriente eléctrica. Cada celda puede producir de 2 a 4 amperios de corriente eléctrica a un voltaje de 0,46 a 0,48 voltios (Arecibia 2016).

La célula fotovoltaica puede generar electricidad cuando cumple las siguientes condiciones (Puig y Jofra 2007):

- a) Se puede modificar el número de cargas positivas y negativas
- b) Se pueden crear cargas que permitan la aparición de una corriente
- c) Se pueda establecer una diferencia de potencial o campo eléctrico

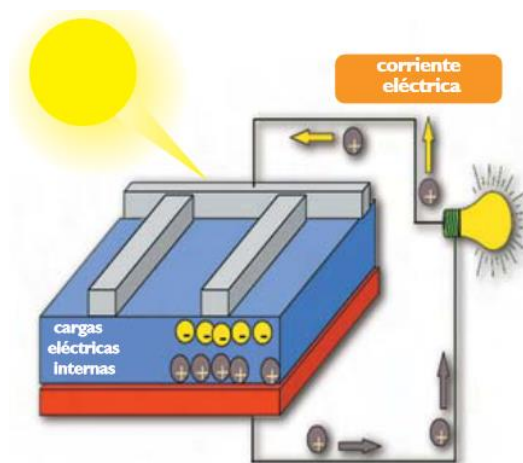


Ilustración 2-13: Funcionamiento de una celda fotovoltaica.

Fuente: (Puig y Jofra 2007)

2.7.5. *Sistemas para la utilización de la energía solar fotovoltaica*

Los sistemas que aprovechan la energía solar se dividen en dos grupos, los autónomos que son independientes a la red general de suministro eléctrico y los sistemas que están conectados a la red.

2.7.5.1. *Sistemas autónomos*

Los sistemas de energía solar autónomos incluyen paneles solares para recoger energía solar, baterías para almacenar la electricidad generada y un sistema de control para controlar la carga y descarga de las baterías. Estos sistemas se utilizan principalmente en zonas donde no existe acceso a la red eléctrica tradicional, como las zonas rurales y los países en desarrollo (Puig y Jofra 2007).

2.7.5.2. *Sistemas conectados a la red*

Estos sistemas, a diferencia de los sistemas solares aislados de la red, no cuentan con almacenamiento de energía. Se trata simplemente de sistemas para recolectar energía solar y convertir la electricidad generada para conectarla a la red. Están instalados principalmente en ciudades de países industrializados (Puig y Jofra 2007).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Metodología del diseño

Para el desarrollo de este trabajo se optó por aplicar un análisis QFD con el fin de encontrar la mejor alternativa de los elementos del sistema y satisfacer las necesidades de los usuarios, considerando de igual forma que cumpla con requisitos básicos de mantenimiento y funcionalidad.

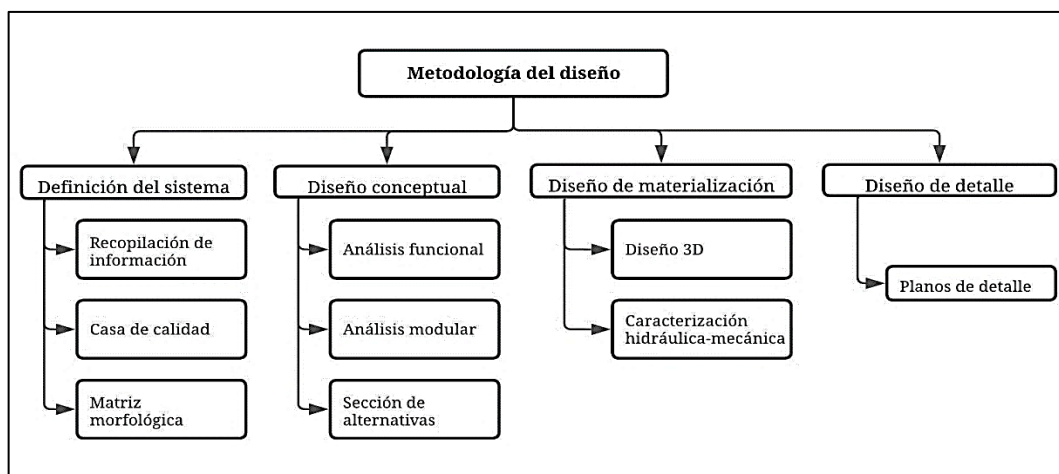


Ilustración 3-1: Metodología de diseño

Realizado por: Lema; Lizaldez, 2024

3.2. Definición del sistema

Se determinan factores técnicos en base a los parámetros establecidos en la bibliografía consultada, con el fin de relacionarlos y determinar la mejor opción en cuestión de las opciones que satisfagan las necesidades de la población a la cual va dirigida. Por lo tanto, hay que considerar tanto la voz del usuario y convertirlo a la voz del ingeniero para conocer técnicamente lo que necesitan los usuarios.

3.2.1. Casa de la Calidad QFD

3.2.1.1. Voz del usuario

Se toma en cuenta todos aquellos aspectos que requieren los usuarios del equipo y también se recolecta información de qué aspectos consideran importante en un equipo de filtración. Estos

datos pueden ser basados en encuestas o de estudios anteriores. Los requerimientos se catalogan en base a 3 tipos de demandas: Básico (B), Unidimensional (O), Estimulante (E).

Donde las demandas básicas corresponden a aquellas características que son esenciales para el equipo, sin necesidad de que el usuario las exija. Las demandas unidimensionales son aquellas que incrementan la satisfacción del usuario y las demandas estimulantes por otro lado son aquellas que destacan al equipo de otros, pero en su ausencia el usuario no se ve afectado.

Tabla 3-1: Requerimientos del cliente

Requerimientos del cliente	Tipo de Demanda
Fácil de instalar	E
Fácil de mantener	O
Fácil de usar	B
Bajo costo	O
No sea muy grande	E
Suministre suficiente agua	B
Agua bien filtrada	B
Duradero	E

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

3.2.1.2. *Voz del ingeniero*

Dado los requerimientos que el usuario requiere en el equipo, estos hay que convertirlos a requerimientos técnicos, es decir, que todas las necesidades deben corresponder a un tipo de característica técnica.

Tabla 3-2: Voz del ingeniero

Requerimientos del cliente	Voz del ingeniero
Fácil de instalar	Sistema mecánico
Fácil de reparar	Mantenimiento
Fácil de usar	Accesibilidad
Bajo costo	Costo máximo
No sea muy grande	Dimensión máxima del equipo
Suministre suficiente agua	Velocidad de flujo
Agua bien filtrada	Procesos de filtración
Duradero	Materiales

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Cada parámetro transformado a la voz del ingeniero debe ser analizado con el fin de que aporte al diseño de la máquina todo lo solicitado por el usuario.

El sistema mecánico abarca todo el sistema estructural y de ensamblaje, por lo que de este depende la facilidad de instalación y puesta en marcha. El mantenimiento es una parte fundamental en cualquier equipo, y por lo tanto este debe ser capaz de ofrecer un mantenimiento preventivo durante cierto tiempo. La accesibilidad es muy importante en la máquina, pues ofrece al sistema ser operado fácilmente por cualquier persona.

Al definir que un equipo no sea grande, su diseño debe tender a ocupar el espacio mínimo posible para ello la distribución de los elementos es esencial para cumplir este requerimiento. La velocidad de flujo del equipo permitirá abastecer de un caudal requerido para un número de personas determinado, mientras que el proceso de filtración es el conjunto de pasos o filtros en la que el agua debe circular para poder ser filtrada y retener sustancias no deseadas. Todas estas características deben ser ensambladas y construidas de tal forma que garantice una durabilidad alta.

3.2.1.3. *Casa de la calidad*

Mediante la casa de la calidad relacionamos tanto la voz del usuario como la del ingeniero, permitiendo así, generar una evaluación entre estos parámetros y correlacionándolos con otras alternativas usando factores de incidencia e importancias.

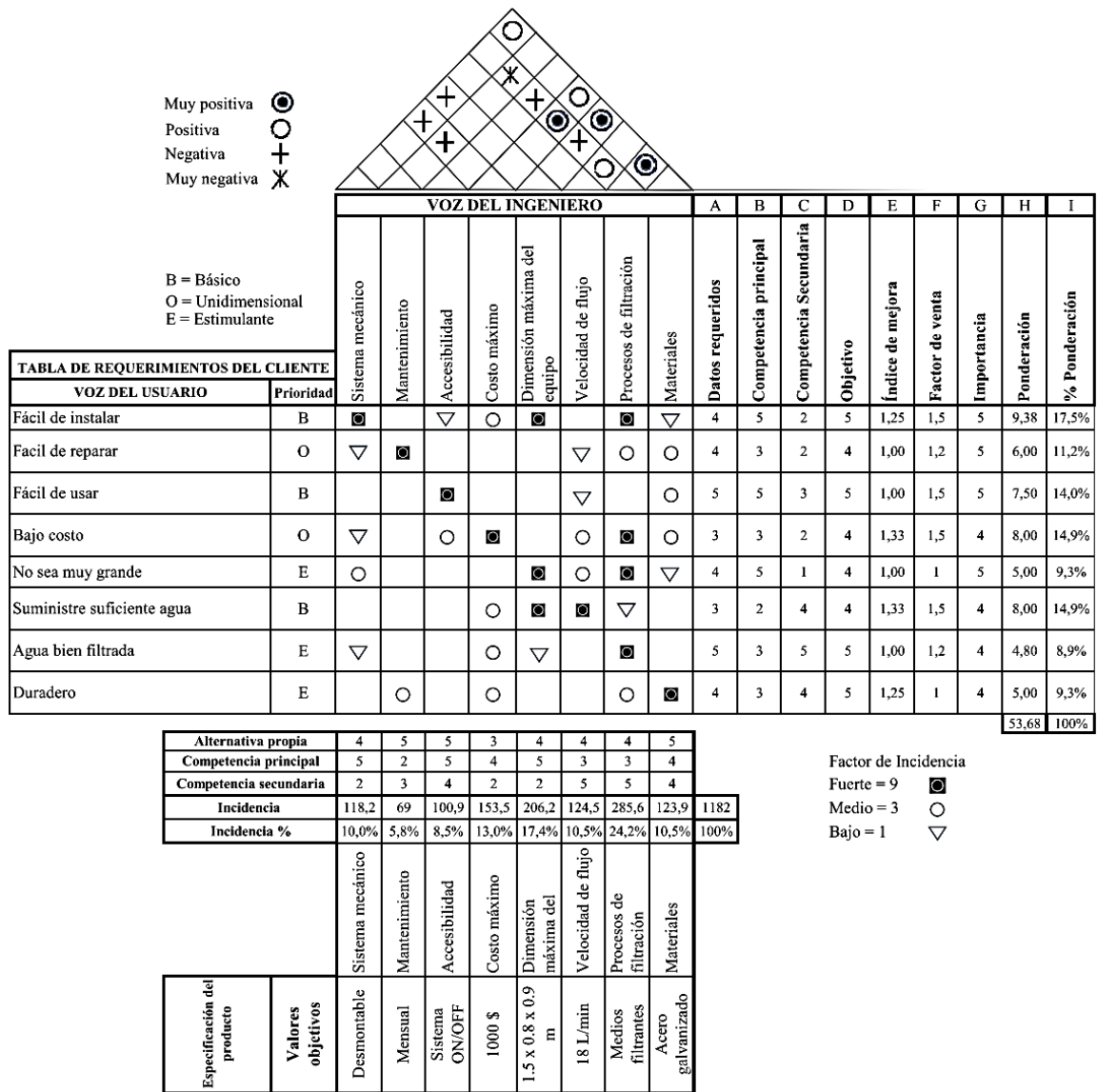


Ilustración 3-2: Casa de la calidad
Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

3.2.1.4. Especificaciones técnicas

Tabla 3-3: Especificaciones técnicas del prototipo

Empresa Cliente: Comunidad		Producto: Prototipo de equipo para filtración de agua		Fecha Inicial:
Diseñadores: Lema Kevin Lizalde Alex				Fecha de Culminación:
Especificaciones – Detalles Constructivos				
Detalles Constructivos				
Concepto	Fecha	Proposición	R/D	Descripción
Sistema mecánico	Sin especificar	C	R	Desmontable Uniones empernadas

Mantenimiento	Sin especificar	D	D	Revisión Mensual Cambios de medios filtrantes trimestral
Accesibilidad	Sin especificar	D	D	Sistema ON/OFF
Costo máximo	Sin especificar	C	R	Alrededor de 1000 \$
Dimensión máxima del equipo	Sin especificar	D	R	1.5 m de largo x 0.8 m de ancho x 0.9 m de alto
Velocidad de flujo	Sin especificar	D	R	Capacidad para abastecer con un caudal de 5 l/min
Procesos de filtración	Sin especificar	D	D	Medios filtrantes como: Carbón activado Nanopartículas de cobre
Materiales	Sin especificar	D	D	Estructura: acero galvanizado Carcasa de filtro: Polímero de alta densidad
Abreviaturas: Proposición. C: Cliente, P: Producción, F: Fabricación, M: Márquetin, D: Diseñadores R/D. R: Requerimiento, D: Diseño				

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

3.3. Diseño Conceptual

Ya definidas las características técnicas se analizan las posibles alternativas en base a la estructura funcional del equipo tomando en cuenta de igual forma las soluciones para cada módulo del prototipo.

3.3.1. Estructura funcional

Se toma en cuenta la transformación entre flujos de entrada y salida. Se representa en niveles de jerarquía, tomando en cuenta a partir del primer nivel que representa la función global de la tarea que va a resolver con el prototipo que se está diseñando. Por lo tanto, se definen los flujos de entrada y salida para luego generar unas subfunciones interrelacionadas.

3.3.1.1. Análisis funcional nivel 0



Ilustración 3-3: Estructura funcional nivel 0

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

El nivel 0 del análisis funcional indica la tarea en general que va a realizar el prototipo, con qué medios y que se va a obtener. En este caso para lograr la tarea de filtrar el agua se debe lograr a partir de la obtención por medio del agua del río, la energía para impulsar el fluido y la señal que activará la impulsión. Se obtendrá por lo tanto el agua filtrada y las impurezas localizadas en los filtros.

3.3.1.2. Análisis funcional nivel 1

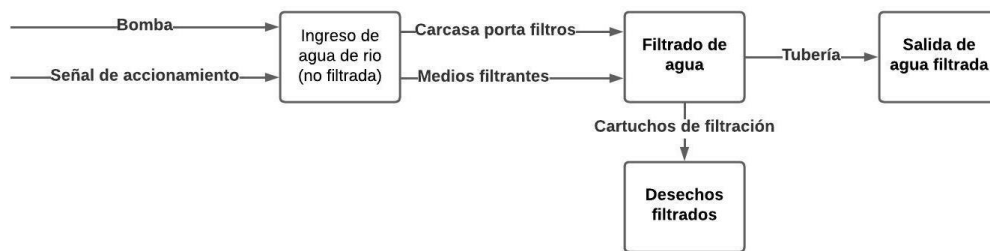














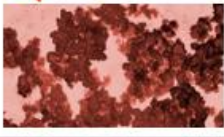

Ilustración 3-4: Estructura funcional nivel 1

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

En un análisis funcional de nivel 1 se especifica de una manera más detallada el proceso empezando por la alimentación que en este caso será por medio de una bomba que debe ser accionada por una señal de accionamiento y alimentar al sistema del agua del río. El fluido entra a la carcasa de los filtros y por ende por los medios filtrantes que permitirá retener los agentes contaminantes que presenta el agua. Cuando el fluido haya pasado por este proceso se obtendrá por lo tanto agua filtrada y de manera de residuos, todos aquellos contaminantes que se quedan en los filtros.

3.3.2. Matriz morfológica

Tabla 3-4: Matriz morfológica para la selección de alternativas

Función	Componentes		
Sistema de impulsión			
	Bomba de achique	Bomba periférica	Bomba de mano
Fuente energética			
	Energía solar	Generador a combustible	Energía mecánica
Diámetro de tubería			
	Tubería PVC 1/2"	Tubería PVC 3/4"	Tubería PVC 1"
Carcasa porta filtros			
	Filtro translucido	Filtro normal	
Medios filtrantes			
	Carbón activado	Nanopartículas de cobre	Arena sílica

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Las diferentes configuraciones que pueden existir son aquellas alternativas que se tienen para realizar el proceso de filtración, a estas alternativas se deben realizar una evaluación y comparación con el fin de optar por la mejor opción que satisfaga los requerimientos de los usuarios.

3.3.2.1. *Generación de alternativas*

Alternativa 1	Equipo filtrado alimentado por energía solar.
Alternativa 2	Equipo de filtrado alimentado por generador.
Alternativa 3	Equipo filtrado alimentado por bomba de mano.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Alternativa 1: Utiliza una bomba de achique como medio de impulsión y alimentada con energía solar por medio de paneles fotovoltaicos. Este sistema utilizaría tubería y accesorios de $\frac{3}{4}$ in para transportar el fluido entre filtros de carcasa translúcida donde se depositará medios filtrantes como carbón activado y nanopartículas de cobre.

Alternativa 2: Mediante una bomba periférica se impulsaría el fluido que pasará por los filtros. Esto será abastecido por medio de un generador a gasolina, debido a su alta demanda energética y gran capacidad de la bomba periférica. Se utilizaría tubería de 1 in en conjunto con filtros de carcasa translúcida en los cuales se encontrarán los medios filtrantes como carbón activado y las nanopartículas de cobre.

Alternativa 3: Utilizará una bomba de mano para abastecer la demanda de líquido que requiere la filtración. Por lo tanto, la energía que se requerirá en este caso es el hombre a través del mecanismo de la bomba. Se utilizará tubería de $\frac{1}{2}$ in y recipiente de filtros translúcidos con nanopartículas de cobre y carbón activado.

3.3.3. *Evaluación de alternativas de solución por criterios ponderados*

Una vez realizada las alternativas estas son evaluadas y analizadas que servirá de base para la toma de decisiones. Las evaluaciones no se centran en un solo elemento, sino se ponderan en base a distintos aspectos generales del sistema que impliquen juicios de valor.

El criterio ordinal corregido de criterios ponderados se basa en que cada criterio se compara con los demás criterios y se asigna valores como:

- 1- Si el criterio de las filas supera al de las columnas.
- 0.5- Si el criterio de las filas es equivalente al de las columnas.
- 0. Si el criterio de las filas es inferior al de las columnas.

3.3.3.1. Matrices de evaluación

Criterios de evaluación:

- Menor Precio
- Mantenibilidad
- Operabilidad
- Capacidad

Tabla 3-5. Evaluación de criterios

CRITERIO	Menor Precio	Mantenibilidad	Operabilidad	Capacidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Precio		0,5	1	0	2,5	0,25
Mantenibilidad	0,5		0,5	0	2	0,2
Operabilidad	0	0,5		0,5	2	0,2
Capacidad	1	1	0,5		3,5	0,35
Suma					10	1

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

El orden de prioridad para los criterios son los siguientes:

Capacidad > Precio > Mantenibilidad = Operabilidad

Tabla 3-6: Análisis de alternativas con respecto al menor precio

Menor precio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,417
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	0,5	1		2,5	0,417
Suma				6	1

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

El orden de prioridad para las alternativas con respecto al menor precio son los siguientes:

Alternativa 1 = Alternativa 3 > Alternativa 2

Tabla 3-7: Análisis de alternativas con respecto a la mantenibilidad

Mantenibilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	0,5	2,5	0,417
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	0,5	1		2,5	0,417
Suma				6	1

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

El orden de prioridad para las alternativas con respecto a la mantenibilidad son los siguientes:
 Alternativa 1 = Alternativa 3 > Alternativa 2

Tabla 3-8: Análisis de alternativas con respecto a la operabilidad

Operabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	1,5	0,25
Alternativa 2	0,5		0	1,5	0,25
Alternativa 3	1	1		3	0,5
Suma				6	1

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

El orden de prioridad para las alternativas con respecto a la operabilidad son los siguientes:
 Alternativa 3 > Alternativa 2 = Alternativa 1

Tabla 3-9: Análisis de alternativas con respecto a la capacidad

Capacidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	2,5	0,417
Alternativa 2	0,5		1	2,5	0,417
Alternativa 3	0	0		1	0,17
Suma				6	1

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

El orden de prioridad para las alternativas con respecto a la capacidad son los siguientes:
 Alternativa 1 = Alternativa 2 > Alternativa 3

Tabla 3-10: Alternativas ponderadas

Resultado	Precio	Mantenibilidad	Operabilidad	Capacidad	Total	Prioridad
Alternativa 1	0,104	0,083	0,05	0,15	0,38	1
Alternativa 2	0,042	0,033	0,05	0,15	0,27	3
Alternativa 3	0,104	0,083	0,1	0,06	0,35	2
Suma					1	

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

En base a la tabla anterior se determina cuál alternativa es la mejor elección que cumpla los requisitos que demandan la población dirigida.

Alternativa 1 > Alternativa 3 > Alternativa 2

Por lo tanto, la alternativa que se elige para realizar el modelo de prototipo es la alternativa 1.

3.4. Recomendación de Consumo Diario de Agua por Persona

La cantidad de agua en el organismo está influenciada por numerosos factores que son variables, no solo individualmente, sino también a lo largo del tiempo y en diferentes estados fisiopatológicos. La cantidad total de agua y su distribución en diversos compartimentos están condicionadas por aspectos como la edad, el género, la etnia, el volumen corporal, la temperatura, el metabolismo, la salud, la actividad física, la alimentación, la medicación, entre otros (Salas-Salvadó et al. 2020).

Las pautas de consumo de agua comúnmente utilizadas como referencia incluyen las del Instituto de Medicina de Estados Unidos (IOM) y las de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), estas se detallan en la tabla 3-11.

Tabla 3-11: Ingesta adecuada de agua total diaria, incluyendo también el agua de otras bebidas y de los alimentos, según el Instituto de Medicina de Estados Unidos o IOM y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria o EFSA

Edad y sexo		Ingesta adecuada de agua total (L/día)	
		IOM	EFSA
0 – 6 meses		0,7	0,10 – 0,19 L/kg
7 – 12 meses		0,8	0,8 – 1
1 – 3 años		1,3	-
1 – 2 años		-	1,1 – 1,2
2 – 3 años		-	1,3
4 – 8 años		1,7	1,6
9 – 13 años	Varones	2,4	2,1
	Mujeres	2,1	1,9
14 – 18 años	Varones	3,3	2,5
	Mujeres	2,3	2,0
19 > 70 años	Varones	3,7	2,5
	Mujeres	2,7	2,0
Embarazo	14 – 50 años	3,0	2,3
Lactancia	14 – 50 años	3,8	2,7

Fuente: (Salas-Salvadó et al. 2020)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

Una de las conclusiones a las que ha llegado la EFSA es que, la ingesta diaria de 2 litros de agua se considera suficiente en las mujeres, y 2,5 litros en el caso de los hombres (EFSA 2016).

Otras recomendaciones que podemos encontrar es la indicada por The Eatwell Guide del Servicio Nacional de Salud (NHS) del Reino Unido, donde se recomienda consumir 2 litros diarios, en ocasiones se aconseja una cantidad significativamente mayor (NHS 2016). Mientras que las Academias Nacionales de los Estados Unidos recomiendan hasta 2,7 litros de agua al día para las mujeres y 3,7 l para los hombres (National Academies 2005).

Con las referencias consultadas se establece un consumo de 3 litros de agua por persona.

3.5. Análisis poblacional de las comunidades.

3.5.1. Población de Yawi.

La comunidad de Yawi consta de 170 habitantes, 86 hombres y 84 mujeres, la distribución de edades se puede observar en la tabla 3-12.

Tabla 3-12: Distribución de la población de Yawi por grupos de edad y género

Edades	Población	%
0-14 años	89	52%
15-29 años	47	28%
30-44 años	21	12%
45-59 años	11	6%
60-74 años	1	1%
75-más años	1	1%
TOTAL	170	100%

Fuente: (INEC 2024)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

Donde encontramos 31 jefes de hogar (18%), determinando el parentesco con el resto de las habitantes del hogar tenemos: el 16% (28 personas) conyugue, 1% (1 persona) conviviente, 59% (101 personas) hijo (a), 2% (4 personas) padre/madre del jefe de hogar, 1% (1 persona) yerno/nuera, 1% (1 persona) nieto y 2% (3 personas) otros parientes. Por lo tanto, podemos establecer que existe un promedio de 5 personas por familia.

3.5.2. Población de Warintza.

En la comunidad de Warintza según los datos del censo poblacional del 2022 realizados por la compañía Lowell se determinaron 504 habitantes con un total de 105 familias, donde 256 son hombres y 230 mujeres, en la tabla 3-13 encontramos la distribución de la población por edades.

Tabla 3-13: Distribución de la población de Warintza por grupos de edad y género

Edades	Población	%
0-14 años	210	43%
15-29 años	151	31%
30-44 años	70	14%
45-59 años	37	8%
60-74 años	16	3%
75-más años	2	0%
Total	486	100%

Fuente: (INEC 2024)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

La cantidad de personas que conforman un hogar están constituidas de la siguiente manera.

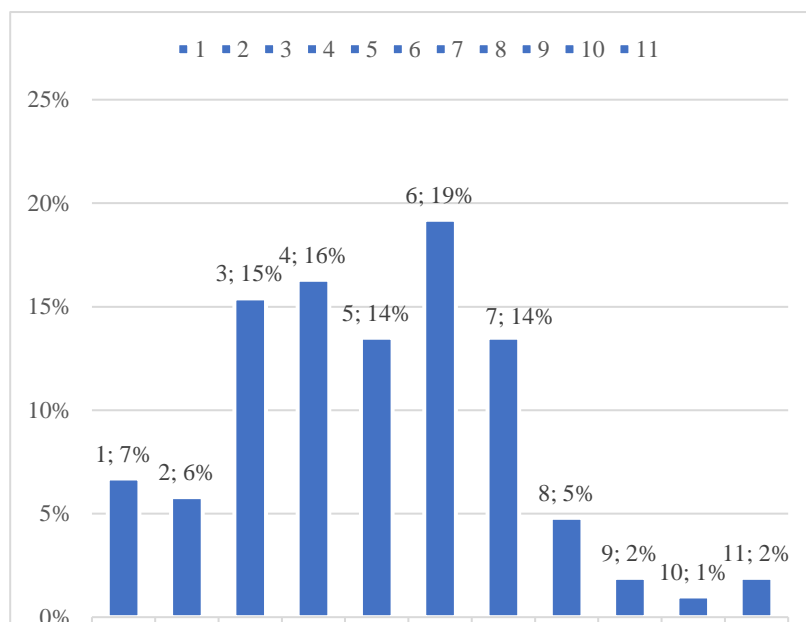


Ilustración 3-5: Cantidad de personas por hogar en la comunidad de Warintza.

Fuente: (INEC 2024)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

Se observa en mayor cantidad familias conformadas por 6 integrantes.

3.6. Caudal requerido para uso unifamiliar.

Teniendo en cuenta que las familias de las comunidades de Yawi y Warintza cuentan entre 5 y 6 integrantes respectivamente y que el consumo de agua recomendado establecido anteriormente es de 3 litros por persona, se establece un consumo total de 18 litros por día, esto tomando 6 integrantes por familia.

3.7. Análisis de resultados de la calidad del agua del río Warintz en el tramo Yawi-Warintza

En los estudios de la calidad del agua (ICA-NSF) realizados por (Otavalo 2022) se establecieron 4 estaciones de monitoreo donde se tomaron muestras en los meses de diciembre del 2021 hasta febrero del 2022, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3-14: Resultados del ICA-NSF en las diferentes estaciones de monitoreo

Parámetro	Unidad	Peso	Diciembre				Enero				Febrero			
			Estaciones				Estaciones				Estaciones			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Oxígeno Disuelto	%	0,17	120	119	120	123	122,9	123,2	122,9	122,1	124,5	125,1	124,1	123,5
Coliformes Fecales	UFC / 100ml	0,15	4	16	20	42	100	150	450	10	90	140	460	27
pH	-	0,12	7,1	7,05	7,07	7,06	7,36	7,42	7,2	7,26	7,44	7,4	7,52	7,15
DBO	mg/L	0,1	1,2	1,4	1,6	5,9	3,67	3,17	2,85	4,68	3,23	2,95	2,81	2,75
Nitratos	mg/L	0,1	0,8	0,9	0,8	0,8	2,1	2,3	1,2	1,1	0,4	0,6	1,9	0,55
Fosfatos	mg/L	0,1	1,21	0,69	0,95	0,72	0,68	1,64	0,8	0,99	2,75	1	1,31	1,05
Temperatura	°C	0,1	21,1	20,8	21	20,8	19,3	19,2	21,3	21,1	20,4	19,5	21,4	21,7
Turbiedad	NTU	0,08	1,33	1,51	1,43	1,72	1,71	1,14	0,73	0,71	0,82	1,1	2,43	0,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	0,08	79	84	76	152	35,3	32,7	32,2	31,8	41,9	32,8	34,8	35,4
Valor			73,72	73,02	71,48	66,8	65,71	60,36	65,12	71,66	60,58	66,5	61,04	71,04
Clasificación			Buena	Buena	Buena	Media	Media	Media	Media	Buena	Media	Media	Media	Buena

Fuente: (Otavalo 2022)

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

Mediante la tabla anterior se determina que la calidad del agua es MEDIA, debido a que existen parámetros como las coliformes fecales y el DBO que se encuentran en gran concentración, obteniendo un promedio de cada parámetro y compararlos con los del acuerdo ministerial 97A (quien rige y controla los niveles de los componentes del agua que se consideran aptos para el consumo en el Ecuador), obtenemos los siguientes criterios:

Tabla 3-15: Comparación de parámetros.

Criterios	Unidad	Promedio de las estaciones de monitoreo	Acuerdo Ministerial 97A	Observación
Oxígeno Disuelto	%	122,525	-----	-----
Coliformes Fecales	UFC / 100ml	125,75	Ausencia	Fuera del rango
pH	pH	7,253	6-9	Dentro del rango
DBO	mg/L	3,018	<2	Fuera del rango
Nitratos	mg/L	1,121	50	Dentro del rango
Fosfatos	mg/L	1,149	-----	-----
Temperatura	°C	20,633	-----	-----
Turbiedad	NTU	1,261	100	Dentro del rango
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	55,658	-----	-----

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

Existen parámetros que el acuerdo ministerial no contempla, estos parámetros no serán tomados en cuenta para los análisis de resultados tras la filtración del agua.

Dentro de los parámetros analizados, se han identificado dos que exceden los límites seguros para considerar el agua apta para el consumo humano. En primer lugar, se ha detectado la presencia de coliformes fecales los cuales indican que existe contaminación con excremento, esto evidencia la presencia de organismos que pueden llegar a causar enfermedades, además, el valor de DBO se encuentra por encima del límite establecido lo que indica que existe contaminación orgánica. Estos hallazgos indican un alto riesgo de enfermedades asociadas al consumo de esta agua. Por

consiguiente, es importante tomar medidas para reducir estos dos parámetros y garantizar la calidad del agua.

3.8. Características del sistema de filtración

3.8.1. *Velocidad de filtración*

La eficiencia de la filtración está influenciada por la consistencia de los gránulos y el tamaño promedio del grano en el lecho filtrante. Para filtración granular se utilizan velocidades de filtración entre 4 y 20 m/h (Mora y Cedeño 2006).

Según lo visto anteriormente, el valor crítico para la velocidad de filtración se establece en 4 m/h (0,00111 m/s) esto para asegurar una filtración eficiente del agua, asegurando que los cálculos siguientes sean los mínimos para cumplir para un funcionamiento correcto del equipo.

3.8.2. *Características de los cartuchos filtrantes*

El sistema cuenta con una bomba de achique la cual filtra en primera instancia la presencia de contaminantes de gran tamaño como ramas, hojas de árboles entre otros, para luego pasar por los 3 filtros, los cuales contendrán cartuchos filtrantes con diferentes componentes y funciones, el primero retiene el paso de sedimentos como lodo y arena, el segundo filtro tiene la función de eliminar los contaminantes principales del agua entre ellos coliformes fecales y nitratos, entre otros. Esto con la ayuda de las nanopartículas de cobre, el último filtro retiene el paso de nanopartículas de cobre que lleguen a escapar del filtro anterior, a diferencia de los cartuchos comerciales donde la filtración es tangencial para nuestro caso la filtración se dará de manera ascendente ya que estos cartuchos impresos tienen aberturas en la parte baja, donde una vez que el filtro empiece a llenarse el flujo de agua atravesará las capas filtrantes dentro de los cartuchos.

3.8.2.1. *Geometría de los cartuchos*

Las dimensiones del cartucho están basadas en las dimensiones de los cartuchos comerciales, para nuestro caso el cartucho es de la marca Culligan HF-360^a.

Tabla 3-16: Dimensiones de los cartuchos

Característica	Unidad (mm)
Largo	210
Diámetro de la salida y entrada	25
Diámetro externo	60
Diámetro interno	50

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.



Ilustración 3-6: Geometría de los cartuchos

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

3.8.2.2. Área de los cartuchos

Para calcular el área de filtración del agua ocuparemos el diámetro interno del cartucho, donde aplicaremos la siguiente ecuación

$$A = \pi * r_i^2 \quad (1)$$

$$A = \pi * (0,025m)^2$$

$$A = 1,963 * 10^{-3}m^2$$

A: Área superficial (m)

ri: radio interno del cartucho (m)

3.8.2.3. Caudal mínimo de operación

El caudal mínimo de funcionamiento de los cartuchos es el siguiente:

$$Q_{min} = A * v_f \quad (2)$$

$$Q_{min} = 1,963 * 10^{-3} m^2 * 0,00111 \frac{m}{s}$$

$$Q_{min} = 2,18166 * 10^{-6} \frac{m^3}{s} = 0,1309 \frac{l}{min}$$

Q_{min} : Caudal mínimo de operación (m^3/s)

A: Área superficial (m)

v_f : Velocidad de filtración (m/s)

Considerando el caudal mínimo de operación y el consumo diario de agua por familia de 18 litros, se puede establecer un caudal de diseño de 5 l/min ($8,33 * 10^{-5} m^3/s$). Con este valor, se garantiza un tiempo de 3,6 minutos para obtener los 18 litros.

3.8.2.4. *Tiempo de contacto*

El tiempo de contacto se define como el período en el cual el agua u otro fluido entra en contacto directo con el medio filtrante su importancia es crucial, ya que influye directamente en la eficacia para eliminar partículas y contaminantes del fluido, está condicionado por diversos elementos, tales como el tipo de filtro empleado, la velocidad de flujo del fluido a través de dicho filtro, la concentración de contaminantes en el fluido y las propiedades físicas y químicas de las partículas que se pretenden eliminar.

Un tiempo de contacto apropiado permite que las partículas presentes en el fluido tengan la oportunidad suficiente para unirse al medio filtrante o interactuar con los agentes de tratamiento presentes en el filtro. Esto asegura una eliminación efectiva de impurezas y contaminantes, lo que contribuye a mejorar la eficiencia del proceso de filtración.

En primera instancia necesitaremos calcular el volumen del medio filtrante para ello aplicaremos la siguiente ecuación:

$$V = A * h_f \quad (3)$$

V: volumen del medio filtrante [m^3]

h_f : Altura del medio filtrante [m]

Para la altura del lecho filtrante tomaremos la altura de los cartuchos, en este caso los cartuchos miden 0,21m cada uno, ya que son 3 cartuchos la altura del medio filtrante será de 0,63m.

$$V = 1,963 * 10^{-3} m^2 * 0,63m$$

$$V = 0,001237m^3$$

Una vez tenemos el volumen del medio filtrante y el caudal de diseño podemos calcular el tiempo de contacto.

$$T_c = \frac{V}{Q_{diseño}} \quad (4)$$

$$T_c = \frac{0,001237m^3}{8,33 * 10^{-5} \frac{m^3}{s}}$$

$$T_c = 14,85 s$$

T_c : Tiempo de contacto (s)

$Q_{diseño}$: Caudal de diseño (m^3/s)

3.8.2.5. Flujo laminar

Es necesario asegurar un flujo laminar en los cartuchos ya que al trabajar con nanopartículas estas podrían escapar al encontrarse en un flujo turbulento, para ello aplicaremos la ecuación de Reynolds donde el valor de viscosidad cinemática se toma a 20 °C.

$$R = \frac{D_i * v_f}{\nu} \quad (5)$$

$$R = \frac{0,5m * 0,00111 \frac{m}{s}}{1,02 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$R = 54,466$$

D_i : Diámetro interno del cartucho (m)

v_f : Velocidad de filtración (m/s)

ν : Viscosidad cinemática (m^2/s)

El número de Reynolds obtenido es de 54,466, sabemos que para considerar un flujo laminar el valor debe ser menor a 2100, aseguramos entonces que el flujo que pasa por los cartuchos filtrantes es laminar.

3.8.2.6. Primer y tercer cartucho filtrante

Estos cartuchos se encuentran conformados por carbón activado de tamaño de malla 8x30, en el interior del cartucho se añade en la parte superior e inferior una esponja que permite retener al

carbón activado, además para recubrir a estas esponjas se añade tela filtro compuesto de carbón activado añadiendo así una mayor eficiencia en la filtración del agua.

El primer cartucho cumple la función de retener partículas de lodo, arena, entre otros, esto para asegurar que en el segundo filtro no entren partículas de un tamaño considerable que interfiera en la acción antibacteriana de las nanopartículas de cobre.

El tercer cartucho filtrante permite retener las nanopartículas que logren escapar del segundo filtro, asegurando así que no exista una contaminación de cobre en el agua tratada.

3.8.2.7. Segundo cartucho filtrante

El cartucho está compuesto por dos capas de carbón activado de igual tamaño. En el centro del cartucho se encuentra una esponja que alberga nanopartículas de cobre en su interior. Las capas de carbón activado tienen un tamaño de malla de 8x30.

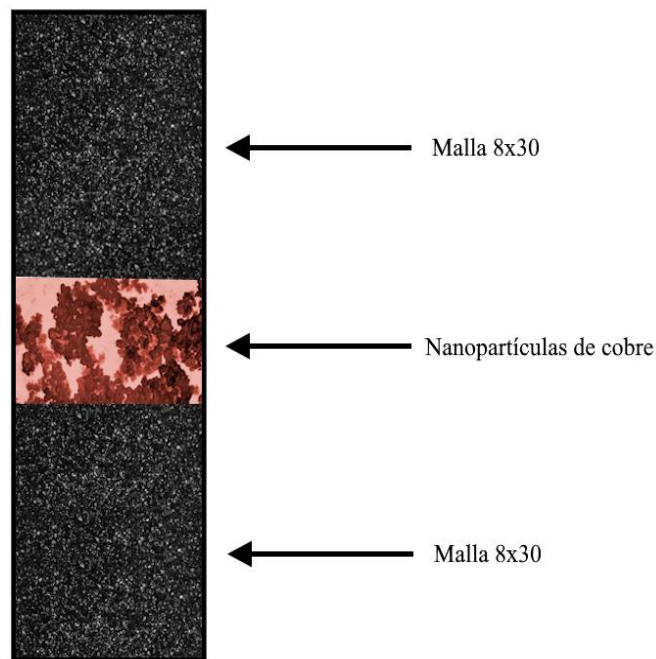


Ilustración 3-7: Disposición del segundo cartucho filtrante

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

La altura del cartucho es de 21 cm y las capas de carbón activado que contiene son de igual dimensión entre ellas además la esponja cuenta con una altura de 5 cm.

Tabla 3-17: Alturas de las capas de filtración y su cantidad del segundo cartucho

Capa	Altura (cm)	Cantidad de capas	Altura total (cm)
8x30	8	2	16
Nanopartículas de Cu	5	1	5
TOTAL			21

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

3.8.3. Diseño del sistema de filtración

3.8.3.1. Cálculo de pérdidas de presión en el filtro

En sistemas donde un líquido o gas fluye a velocidades bajas a través de un lecho poroso de partículas sólidas no se observa un desplazamiento de las partículas. El fluido se desplaza por canales pequeños y tortuosos, resultando en una pérdida de energía que se traduce en una disminución de la presión del fluido. La expresión de Ergun parte de la consideración de que el lecho relleno consiste en un conjunto de canales paralelos no conectados entre sí, con un radio hidráulico que representa la relación entre la porosidad del lecho y el área de sólido por unidad de volumen del lecho. En esta expresión, el diámetro equivalente de las partículas se define como el diámetro de una esfera con la misma relación área de superficie externa/volumen de partícula que el sólido que compone el relleno (Zambon et al. 2007).

$$\frac{\Delta p}{L} = 150 \frac{(1 - \varepsilon)^2 * \mu * v}{\varepsilon^3 * (\phi * D_p)^2} + 1,75 \frac{(1 - \varepsilon) * \rho * v^2}{\varepsilon^3 * \phi * D_p} \quad (6)$$

Δp : Pérdida de presión manométrica, debida al rozamiento [Pa/m]

L : Altura del cartucho [m]

ε : Porosidad media del lecho

μ : Viscosidad del fluido [kg/ms]

v : Velocidad promedio del líquido en el filtro [m/s]

ϕ : Factor de esfericidad

D_p : Tamaño de partícula [m]

ρ : Densidad del fluido [kg/m³]

Para este cálculo se tomarán en cuenta lo siguiente:

La porosidad de la malla 8x30 se tomó del estudio realizado por (Clements y Haarhoff 2004) con un valor de 0,66, el valor de la esfericidad se tomó del trabajo realizado por (Cabezas 2021) donde se indica que el valor de la esfericidad del carbón activado es de 0.75.

Tabla 3-18: Propiedades de capa tamaño de malla

Tamaño de malla	Tamaño específico de partícula [mm]	Porosidad	Esfericidad teórica
8x30	2,38 – 0,595	0,66	0,75

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

Con estos datos se toman los valores críticos además se toman las propiedades del agua a 20°C, estos datos se presentan a continuación, para los cálculos pertinentes se toma en cuenta únicamente la presencia del carbón activado dentro de los cartuchos filtrantes.

Tabla 3-19: Valores para cálculo de pérdida de presión

Variable	Valor
Porosidad del lecho	0,66
Viscosidad del agua	1,002*10 ⁻³ kg/m*s
Factor de esfericidad	0,75
Tamaño de partícula	2,38 mm
Densidad del agua	1000 kg/m ³

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024.

La velocidad superficial del líquido se calcula con la velocidad de filtración (m/s) y la porosidad del carbón activado

$$v = \frac{v_f}{\varepsilon} \quad (7)$$

$$v = \frac{0,00111 \frac{m}{s}}{0,66}$$

$$v = 0,001682 \frac{m}{s}$$

Con esto se procede a calcular la pérdida de presión

$$\frac{\Delta p}{L} = 150 \frac{(1 - 0,66)^2 * 1,002 * 10^{-3} \frac{kg}{m * s} * 0,001682 \frac{m}{s}}{0,66^3 * (0,75 * \frac{2,38}{1000} m)^2}$$

$$+ 1,75 \frac{(1 - 0,66) * 1000 \frac{kg}{m^3} * (0,001682 \frac{m}{s})^2}{0,66^3 * 0,75 * \frac{2,38}{1000} m}$$

$$\frac{\Delta p}{L} = 35,18 \frac{Pa}{m}$$

Para la pérdida de presión en el filtro

$$h_{filtro} = \frac{\frac{\Delta p}{L} * L}{\rho * g} \tag{8}$$

$$h_{filtro} = \frac{35,18 \frac{Pa}{m} * 0,21m}{1000 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{filtro} = 0,000753 mca$$

Se debe tener en cuenta que estas pérdidas de presión en el filtro no toman en cuenta la presencia de las esponjas y la tela filtrante presentes en el interior del cartucho, por ende, las pérdidas de presión del equipo serán mayores que los calculados, pero será útil para la selección referencial de la bomba alimentadora del equipo.

3.8.3.2. Cálculo de pérdidas de presión totales en el sistema de filtración

Para calcular la pérdida total de presión aplicaremos la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_B = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_{long} + h_{acc} \tag{9}$$

P_1, P_2 : Presión manométrica o absoluta en el punto de análisis [m.c.f]

V_1, V_2 : Velocidad en la tubería que depende del diámetro interior de la tubería en el punto de análisis [m/s]

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

H_B : Energía al flujo a través de una bomba [m.c.f]

g : Valor de la gravedad [m/s²]

γ : Peso específico del fluido [N/m³]

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

h_{acc} : Pérdida por accesorios [m]

Los puntos de análisis se toman en la entrada de la bomba y en la válvula de salida del sistema por ende las presiones P_1 y P_2 al ser presiones atmosféricas serán igual a 0, para las velocidades V_1 y V_2 al trabajar con velocidades bajas al reemplazar en $\frac{V^2}{2g}$ este valor es despreciable por ende se toma igual 0, por último, el sistema de referencia se toma en el punto 1 con esto el valor de Z_1 será 0.

$$H_B = Z_2 + h_{long} + h_{acc} \quad (10)$$

La altura Z_2 la cual es la válvula de salida del sistema se plantea en 1m

$$H_B = 1m + h_{long} + h_{acc}$$
$$H_B = 1m + \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^5} + \frac{8 * k * Q^2}{\pi^2 * g * D_{acc}^4}$$

Para la pérdida por longitud de tubería debemos tomar en cuenta que el sistema cuenta con 10m de tubería desde la salida de la bomba a la válvula de salida del sistema asegurando un caudal de 5 l/min ($8,33 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$), además el diámetro de tubería seleccionado es de $\frac{3}{4}\text{in}$, su diámetro equivalente en PVC es de 25mm.

$$h_{long} = \frac{8 * f * L * Q^2}{\pi^2 * g * D^5} \quad (11)$$
$$h_{long} = \frac{8 * f * 10m * (0,0000833 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})^2}{\pi^2 * (9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) * (0,025m)^5}$$
$$h_{long} = 0,587m * f$$

Para el cálculo del factor de fricción primero debemos calcular el número de Reynolds para determinar el tipo de flujo presente en la tubería

$$R = \frac{D * V}{\nu}$$

La velocidad del flujo se calcula

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2}$$

$$V = \frac{4 * 0,0000833 \frac{m^3}{s}}{\pi * (0,025m)^2}$$

$$V = 0,1697 \frac{m}{s}$$

Reemplazando en Reynolds

$$R = \frac{0,025m * 0,1697 \frac{m}{s}}{1,02 * 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$R = 4159,314$$

Con este dato sabemos que el flujo existente en las tuberías es turbulento por ello la ecuación para calcular el factor de fricción es el siguiente

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (12)$$

Al utilizar tubería PVC la rugosidad absoluta de la tubería es $1,5 \times 10^{-6}$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1,5 * 10^{-6}}{3,7 * 0,025} + \frac{5,74}{4159,314^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,0401$$

Reemplazando en la pérdida de longitud de tubería

$$h_{long} = 0,587m * 0,0401$$

$$h_{long} = 0,0235mca$$

Para el cálculo por pérdidas de accesorios

$$h_{acc} = \frac{8 * k * Q^2}{\pi^2 * g * D_{acc}^4} \quad (13)$$

Con ayuda de catálogos de Plastigama obtenemos los coeficientes K de los accesorios presentes en el sistema

Tabla 3-20: Accesorios y coeficiente K de la instalación

Accesorio	NPS (in)	PVC (mm)	K	Cantidad	K Total
Tee	3/4	25	0,8	2	1,6
Codo 90°	3/4	25	1,2	2	2,4
Unión universal	3/4	25	1	4	4
Llave de jardín	3/4	25	0,15	2	0,3
Neplo	3/4	25	0,25	10	2,5
Σ Total					10,8

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

$$h_{acc} = \frac{8 * 10,8m * (0,0000833 \frac{m^3}{s})^2}{\pi^2 * (9,81 \frac{m}{s^2}) * (0,025m)^4}$$

$$h_{acc} = 0,0158 mca$$

Reemplazando en la ecuación de pérdida general y sumándole las pérdidas en los 3 filtros

$$H_B = 1m + 0,0235mca + 0,0158 mca + 3 * (0,000753mca)$$

$$H_B = 1,0416 mca$$

Para obtener un caudal de 5 l/min, se ha calculado que la altura de bombeo de la bomba debe ser superior a 1,0416 mca. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las pérdidas de carga generadas por los filtros son estimadas y no toma en cuenta la presencia de la esponja contenedora de las nanopartículas ni la tela filtrante de carbón activado, por lo tanto, se recomienda seleccionar una altura de bombeo mayor para garantizar el caudal deseado. Para aumentar la seguridad en la selección de la bomba, se propone duplicar la altura de elevación, obteniendo así una altura de elevación de 2,0832 mca.

3.8.3.3. Selección de la bomba

Ya que el sistema es alimentado por energía solar se prioriza elementos alimentados con corriente continua (AC) esto para obtener un sistema de bajo consumo, existen varios tipos de bombas AC, para este caso se seleccionó la bomba de achique SEAFLO 01 Series 750GPH



Ilustración 3-8: Bomba de achique SEAFLO 01 Series 750GPH
Fuente:(Seaflo 2021)

En la siguiente gráfica se observa que cumple con el requisito de elevación calculado anteriormente.

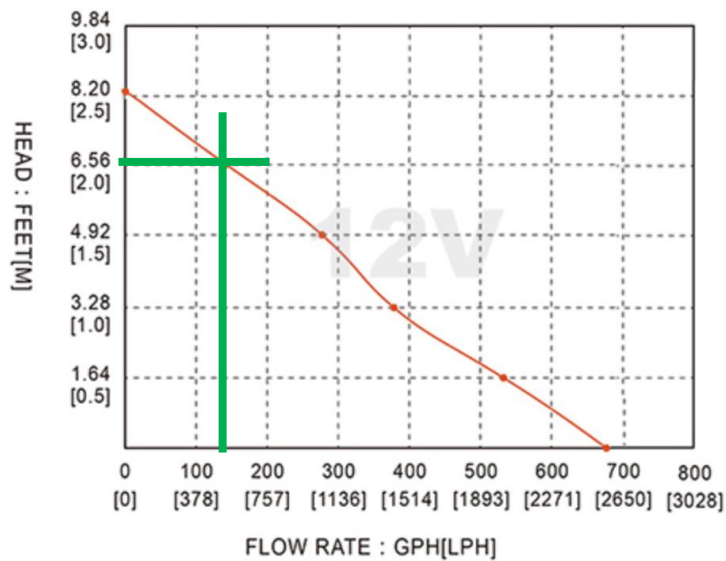


Ilustración 3-9: Curva de operación de la bomba Seaflo 01 series 750 GPH.
Fuente:(Seaflo 2021)

Realizando la intersección de la elevación con la gráfica de caudal de la bomba se observa un aproximado de 140 GPH (8,832 l/min) asegurando así los 5 l/min que el sistema debe suministrar.

3.8.3.4. Simulación en ANSYS

Basándonos en los parámetros de velocidad del fluido a la salida de la bomba se obtiene el siguiente resultado

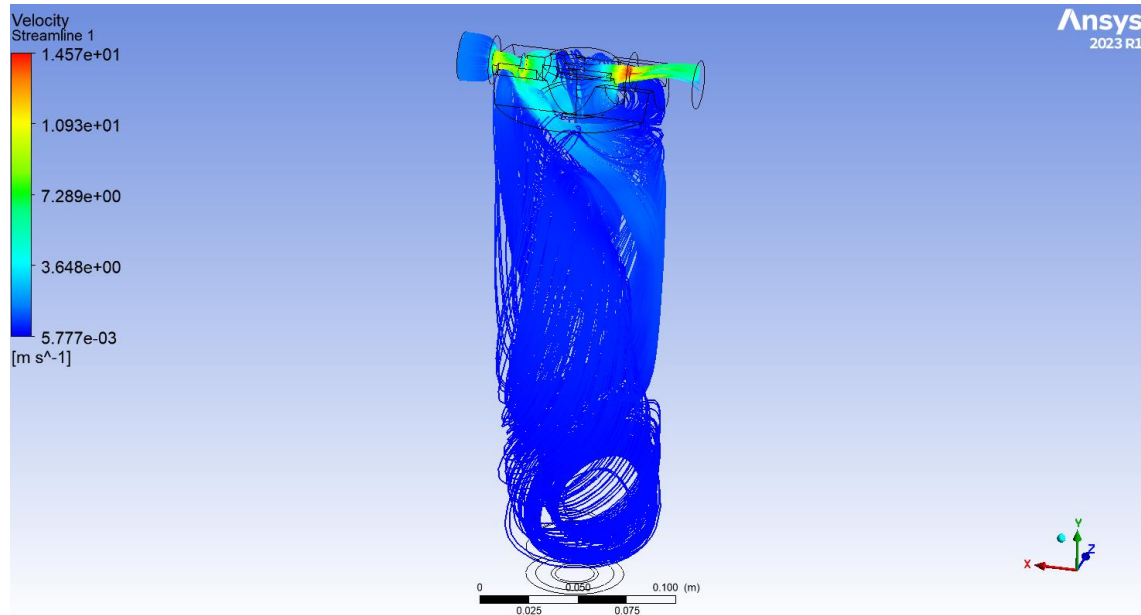


Ilustración 3-10: Simulación del comportamiento del fluido dentro del filtro

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Se observa que la velocidad del fluido al pasar por el cartucho es baja, confirmando así que existe un flujo laminar al momento del paso por las capas filtrantes, asegurando que las nanopartículas de cobre no logren escapar.

3.8.4. Alimentación eléctrica de la bomba

Para el diseño del sistema de alimentación de la bomba en primer lugar se debe establecer el consumo eléctrico que realiza por día, además establecemos los días de independencia eléctrica con cuales contará el equipo, con estos datos podemos seleccionar la batería y la cantidad de paneles que son necesarios.

3.8.4.1. Cálculo del consumo eléctrico de la bomba

Se toma en cuenta el consumo que realiza la bomba de achique durante el tiempo de funcionamiento, la bomba de 12V es alimentada con un amperaje de 2,5A a 5A, se plantea el tiempo de uso continuo en 2 horas (120 min) al día, con estos datos reemplazamos en la siguiente ecuación

$$C = Volt * A * h \quad (14)$$

C: Consumo eléctrico [W*h/día]

Volt: Voltaje de funcionamiento del equipo [V]

A: Amperaje de funcionamiento del equipo [A]

h: Tiempo de funcionamiento por día [h/día]

$$C = 12 * 5 * 2$$

$$C = 120 \frac{W * h}{día}$$

3.8.4.2. Cálculo de capacidad de la batería

El equipo se estima para dos días de independencia energética con esto se calcula la capacidad neta que se necesita suministrar.

$$C_n = 2día * 120 \frac{W * h}{día} \quad (15)$$

$$C_n = 240 W * h$$

Una vez obtenido este valor se debe tomar en cuenta que no toda la capacidad de la batería es aprovechable, por ello debemos obtener una capacidad bruta que asegure poder suministrar la capacidad neta, esta capacidad bruta está definida por el (DOD), este porcentaje de DOD se recomienda de un 80% (0.8) (Rojas Talavera 2023), para mantener una buena vida útil de la batería.

$$C_b = DOD / C_n \quad (16)$$

C_b: Capacidad bruta [W*h]

DOD: Grado de descarga de la batería

C_n: Capacidad [W*h]

$$C_b = \frac{240}{0,8}$$

$$Cb = 300 W * h$$

Una vez obtenida la capacidad bruta podemos determinar el amperaje hora que debe suministrar nuestra batería, ya que estamos trabajando con una bomba de 12V, la batería debe ser de igual voltaje.

$$Ah = \frac{300W * h}{12V}$$

$$Ah = 25 A * h$$

Este valor nos indica que la batería a seleccionar debe tener una capacidad de 25 A*h para poder alimentar a la bomba de achique utilizando solo la batería durante 2 días por 2 horas.

3.8.4.3. Cálculo de la cantidad de paneles

Para determinar la cantidad de paneles a utilizar primero debemos obtener la radiación solar existente del lugar donde se encontrará el equipo, podemos aproximar este valor utilizando las horas solares pico (HSP) para ello nos ayudaremos de la herramienta PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) de la página web de la Comisión Europea.

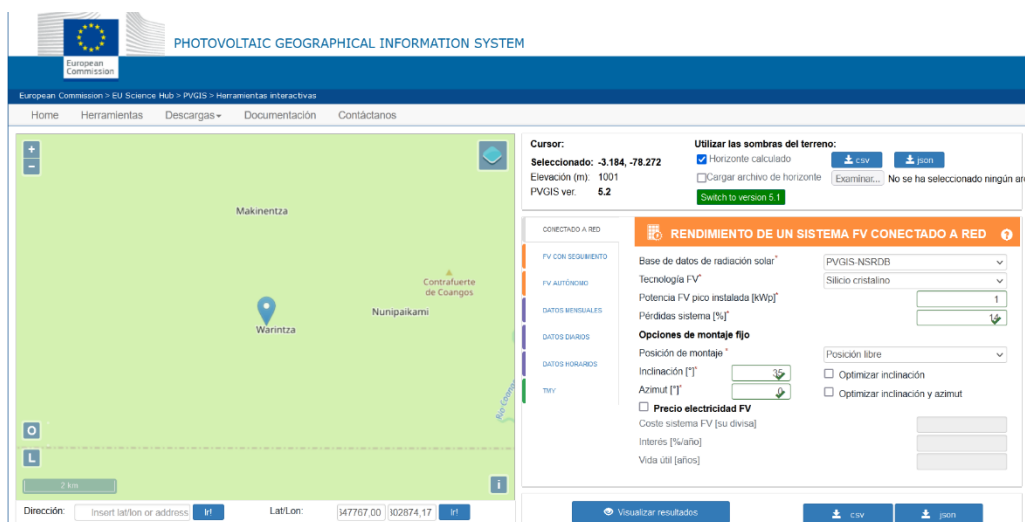


Ilustración 3-11: Herramienta PVGIS.
Fuente: (European Commission 2022)

Seleccionamos datos diarios y el mes, donde obtendremos el promedio diario de irradiancia, descargamos estos datos seleccionando csv e importamos a un archivo Excel.

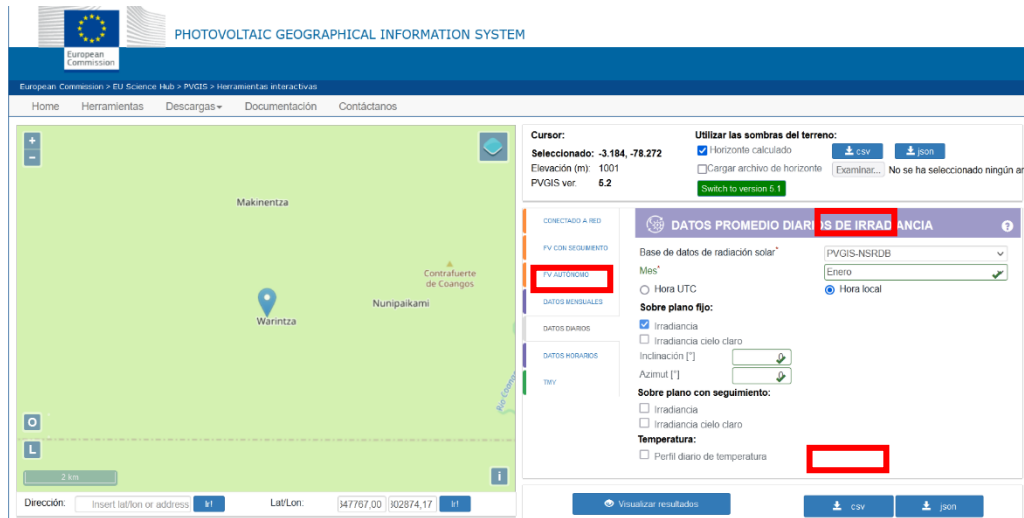


Ilustración 3-12: Selección y descarga de datos de irradiancia por cada mes.

Fuente: (European Commission 2022)

Sumamos todos los datos de irradiancia y dividimos para 1000, el valor obtenido es el HSP del mes seleccionado.

Tabla 3-21: Cálculo del HSP del mes de enero.

Tiempo (h)	Irradiancia W/m ²	
00:00	0	
01:00	0	
02:00	0	
03:00	0	
04:00	0	
05:00	0	
06:00	0	
07:00	30,45	
08:00	130,26	
09:00	247,73	HSP
10:00	343,49	3,5044
11:00	401,62	
12:00	430,92	
13:00	464,09	
14:00	466,22	
15:00	427,27	
16:00	326,78	
17:00	191,43	
18:00	44,14	

Tiempo (h)	Irradiancia W/m²
19:00	0
20:00	0
21:00	0
22:00	0
23:00	0

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Realizamos este proceso para cada mes y seleccionamos el HSP menor, con esto nos aseguramos de obtener un valor crítico asegurando que una cantidad de paneles efectiva para una baja irradiación.

Tabla 3-22: HSP calculado para cada mes

MES	HSP
ENERO	3,5044
FEBRERO	3,4883
MARZO	3,9052
ABRIL	3,9334
MAYO	3,7474
JUNIO	3,4956
JULIO	3,6583
AGOSTO	4,1238
SEPTIEMBRE	4,4357
OCTUBRE	4,6828
NOVIEMBRE	4,2885
DICIEMBRE	3,4823
PROMEDIO	3,8955

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

El promedio del HSP al año es de 3,89, según (Sánchez 2011) el CONELEC establece un promedio de 3,9 HSP para Macas-Morona Santiago, con lo cual podemos validar que los HSP calculados para cada mes son cercanos a los reales.

De la tabla anterior observamos que el mes con menos HSP es diciembre por ello se trabaja con un valor de 3,4823 kW*h/día.

La página de la Comisión Europea nos recomienda tomar un 86% de rendimiento del HSP.

Una vez obtenido este valor podemos calcular la potencia pico necesaria

$$Pp = \frac{Cn}{HSP * r} \quad (17)$$

Pp: Potencia pico necesaria [kWp]

Cn: Capacidad neta [kW]

r: Rendimiento

$$Pp = \frac{\left(\frac{240}{1000}\right) kWh}{3,4823 \frac{kWh}{día} * 0,86}$$

$$Pp = 0,0801 kWp$$

Por último, seleccionamos la capacidad del panel y la cantidad de paneles necesarios

$$Np = \frac{Pp}{Cp} \quad (18)$$

Np: Número de paneles

Pp: Potencia pico [Wp]

Cp: Capacidad del panel [W]

Tabla 3-23: Capacidad y cantidad de paneles a usar

Capacidad del panel (W)	Cantidad de paneles
120	0,7
125	0,64
160	0,5

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Se observa entonces que con un panel de 120W de 12V es suficiente para abastecer al sistema.

3.8.4.4. *Ángulo de inclinación*

La inclinación del panel es un factor importante para la eficiencia del sistema, ya que afecta de manera directa a la cantidad de radiación que puede llegar a capturar a lo largo del día lo que se traduce como la cantidad de energía eléctrica que puede llegar a generar, este ángulo de inclinación depende en gran parte de la latitud del país donde se vaya a instalar, ya que Ecuador se encuentra ubicado en la línea equinoccial su latitud es cero, por ello el panel debería estar totalmente horizontal, para facilitar el mantenimiento y evitar la acumulación de polvo u otros elementos se recomienda un ángulo de inclinación entre 5° a 10° grados (Izquierdo Torres y Pacheco Portilla 2017).

En nuestro caso basándonos en instalaciones de paneles solares realizadas por otros estudios (De Andrés y Silva 2016) utilizaremos una inclinación de 10° grados, el cual es un ángulo que permite una óptima captación de radiación a lo largo del año y además facilita el mantenimiento del panel solar.

3.8.5. *Control eléctrico del sistema*

Para la protección de la batería tanto a sobrecarga y descarga profunda es necesario implementar un controlador de carga solar, esto dependerá de la intensidad de corriente que circulará a la batería, para este cálculo necesitaremos el tanto la potencia del panel como el voltaje de la batería seleccionados, para nuestro caso el panel seleccionado es de 120W de 12V y la batería 25A*h de 12V, con ayuda de la ley de Watt tenemos:

$$I = \frac{P}{V} \quad (19)$$

I: Intensidad de corriente (Amperios)

P: Potencia (Vatios)

V: Voltaje (Voltios)

$$I = \frac{120W}{12V}$$

$$I = 10A$$

Es necesario entonces un regulador con una capacidad mínima de 10A. A continuación, se presenta el diagrama de conexión para el sistema

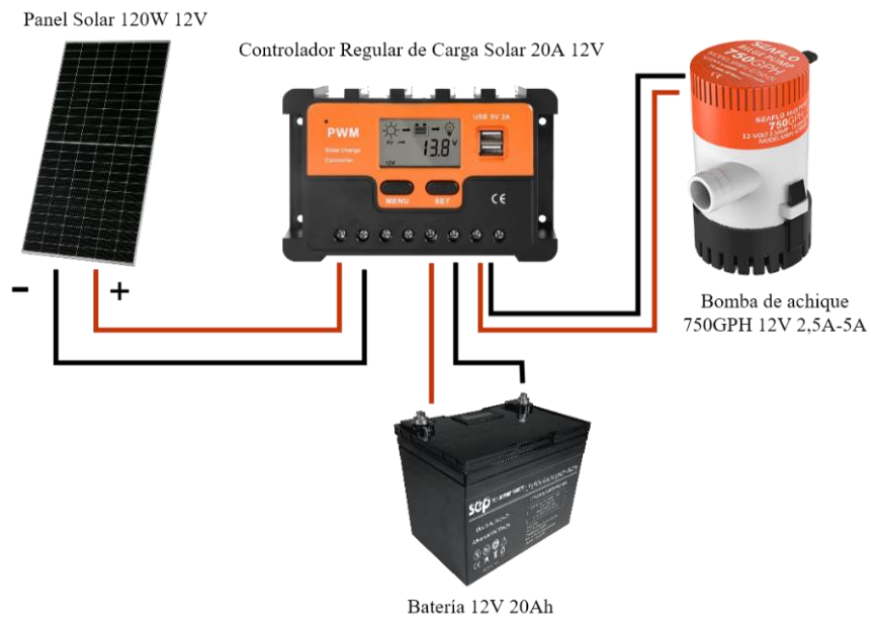


Ilustración 3-13: Diagrama de conexión del sistema eléctrico.
 Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

3.9. Modelado 3D en SOLIDWORKS

3.9.1. Modelado estructural

El sistema estructural que soportará y albergará todo el sistema de filtración se lo realiza de un material resistente a la oxidación, por lo tanto, se propone su modelamiento de la siguiente forma:

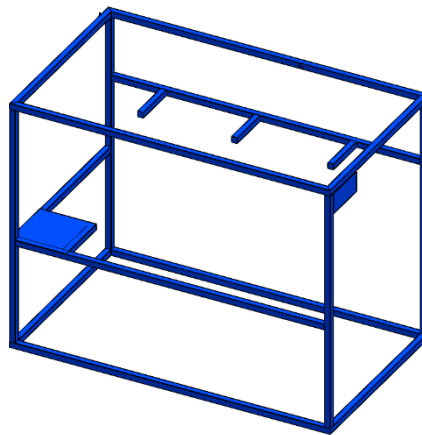


Ilustración 3-14: Estructura del equipo realizada en SolidWorks.
 Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Por lo que se propone un sistema estructural compuesto por tubos cuadrados de acero galvanizado para la configuración de soporte para el sistema de filtración propuesto.



Ilustración 3-15: Equipo de filtración realizado en SolidWorks.
Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Se propone una configuración en serie de los filtros esto con el fin de que no existan demasiadas pérdidas y exista un flujo constante de agua al paso por estos y para ello se ha hecho uso de tuberías y accesorios PVC y válvulas para la extracción de muestras. El sistema a más detalle se los puede encontrar en la sección de planos, sin embargo, para que se tenga una muestra más clara de cómo se encuentra distribuida la tubería se adjunta la siguiente ilustración:

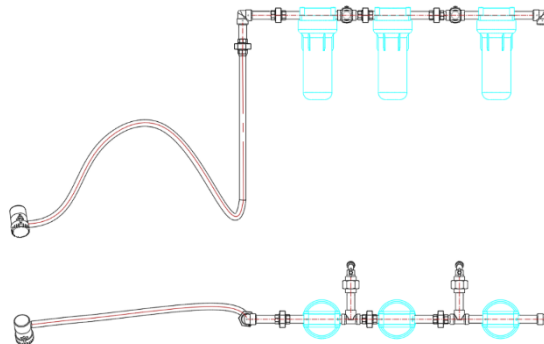


Ilustración 3-16: Conexiones de tubería del equipo.
Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Proceso de las nanopartículas de cobre.

Las nanopartículas de cobre fueron facilitadas por el Dr. Marco Guevara, las cuales fueron adquiridas en solución acuosa de la compañía Industrial Nano de Chile y posteriormente procesadas para obtener un concentrado seco los cuales hace más fácil la manipulación de la concentración a utilizar. Según las especificaciones del proveedor, las nanopartículas poseen un tamaño menor a 10 nanómetros.

Para ser añadidas al cartucho filtrante primero se determinará la concentración de nanopartículas a utilizar, en el estudio realizado por (Dlamini, Basson y Rajasekhar Pullabhotla 2019) se aplica nanopartículas de cobre para el tratamiento de agua residuales, con una concentración de 0,2 mg/ml, concluyendo que existe grandes propiedades para la eliminación de contaminantes en el agua de las minas de carbón, las aguas residuales domésticas y el agua de los ríos.

El artículo de (Mohammed, Mu'ath y Amjad 2015) se utiliza diferentes concentraciones de nanopartículas de cobre para el tratamiento de aguas residuales, las concentraciones van desde 0,1 mg/ml hasta 7 mg/ml, obteniendo una alta actividad antibacteriana entre el 70% y 90%.

Estos estudios se aplican a muestras en pequeñas cantidades de agua residual, para nuestro caso los cartuchos filtrantes estarán en contacto con grandes cantidades de agua a tratar por ello se establece usar una concentración del 20% de nanopartículas en 100ml de agua destilada.

4.1.1. *Preparación de la muestra*

Con ayuda de una balanza electrónica de laboratorio se separó 20 gramos del concentrado granular de nanopartículas, se debe tener en cuenta que grandes concentraciones de cobre pueden llegar a afectar a la salud de las personas y por lo contrario una baja concentración puede no ser suficiente para el control de contaminantes en el agua.



Ilustración 4-1: Pesado de la concentración granular de nanopartículas.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.1.2. *Dilución en agua destilada*

Se colocó la muestra antes separada en un matraz aforado donde se añadieron 100 ml de agua destilada y finalmente se pasó por un proceso de ultrasonido por 1 hora, esto para homogeneizar el concentrado.

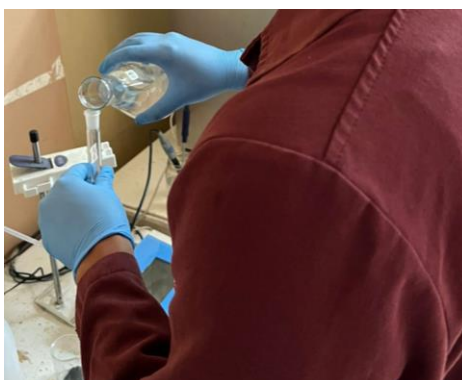


Ilustración 4-2: Agregado de agua destilada a la muestra de nanopartículas.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.1.3. *Disolución madre*

Una vez terminado este proceso la dilución obtenida contendrá un 20% de concentración de nanopartículas de cobre, las cuales se podrá utilizar para dentro de los cartuchos de cobre para el tratamiento del agua.

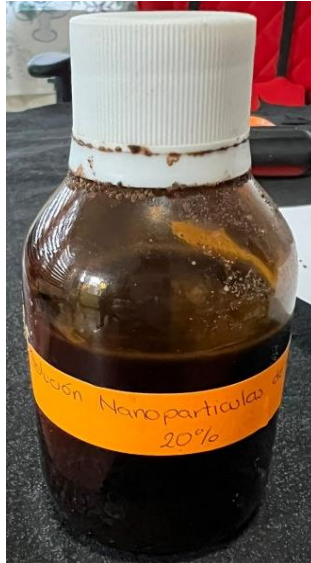


Ilustración 4-3: Dilución de nanopartículas de cobre concentrado al 20%.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Para albergar las nanopartículas de cobre se seleccionó las esponjas de la marca “Virutex” las cuales se encuentran impregnadas con nanopartículas de cobre con la finalidad de crear una barrera contra las bacterias que intentan alojarse dentro de la esponja, aprovechando esta función la retención del concentrado de nanopartículas será más eficiente.



Ilustración 4-4: Esponja contenedora de las nanopartículas.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.2. Construcción del prototipo

4.2.1. Cartuchos filtrantes

Ya que las nanopartículas de cobre presentan propiedades fotocatalíticas, es importante que el material del cartucho en las que se encuentran contenidas permita el paso de la luz solar.



Ilustración 4-5: Cartuchos filtrantes impresos.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Para la retención del carbón activado se decidió colocar en la parte superior e inferior del cartucho tela filtro de carbón de activado, esto ayudará a una mejor retención de partículas contaminantes ya que según sus especificaciones, la tasa de absorción es diez veces más rápida que el carbón activado granular y en polvo (Wild Coast Organics 2020).



Ilustración 4-6: Tela filtro de carbón activado.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Las características de esta tela se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4-1: Características de la tela filtro de carbón activado.

Parámetro	Valor
Espesor (mm)	1
Contenido Carbón Activado (% max)	90
Índice de yodo (mg I ₂ /g)	773,2

Parámetro	Valor
Modelo	WCF-1

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024



Ilustración 4-7: Colocación de la tela filtrante en la parte inferior de los cartuchos.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Además de la tela filtrante se colocó una esponja que permite una mayor absorción, esto ayudará a retener a las nanopartículas de cobre si existe alguna fuga.



Ilustración 4-8: Recorte de las esponjas.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Una vez colocada la esponja en cada cartucho se procede a llenarlos de carbón activado, los cartuchos no translúcidos se llenan completamente, mientras que los cartuchos translúcidos se llenan hasta la altura determinada (8 cm) para luego colocar la esponja con la dilución de nanopartículas y terminar el llenado con el carbón activado, tomando en cuenta que el llenado de los cartuchos no debe ser total esto para que no exista inconveniente al momento de colocar en los filtros y cerrar la tapa.



Ilustración 4-9: Llenado de cartuchos filtrantes con carbón activado.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

El carbón activado granular se adquirió del fabricante Filtraforte, el cual cuenta con las siguientes características

Tabla 4-2: Características del carbón activado granular.

Parámetro	Valor
Yodo	900
Humedad (% max)	2,5
Contenido de cenizas (% max)	2
pH	8,5 – 9,5
Soluble en agua (% max)	2
Densidad aparente (g/cm ³)	0,5 – 0,55
Dureza (mini.)	98
Tamaño de la partícula	8x30

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Utilizando una jeringa y un contenedor, se aplicaron 3 ml de la dilución de nanopartículas sobre la esponja. Esta cantidad se determinó tras realizar varias pruebas, en las cuales se observó que la esponja se saturaba y la dilución se filtraba cuando se utilizaban volúmenes mayores



Ilustración 4-10: Preparado de la esponja con nanopartículas.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Se procede a colocar la tela filtrante y la esponja, para garantizar un sellado óptimo de los cartuchos con el filtro contenedor, se coloca una junta de caucho en las tapas de los cartuchos. Inicialmente, las pruebas se llevarán a cabo sin la presencia de nanopartículas de cobre, es decir, ambos cartuchos contendrán exclusivamente carbón activado. Posteriormente, en las pruebas siguientes, se añadirán las nanopartículas para evaluar su efectividad.



Ilustración 4-11: Cartuchos filtrantes llenos.
Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.2.2. *Sistema de filtración*

Los cartuchos se colocan en los filtros contenedores asegurando que, al momento de colocar la tapa, estas entren de manera correcta sin obstrucción de los cartuchos, además la tapa del filtro se encargará de separar y que no se mezcle el agua una vez pasa por el interior de los cartuchos.



Ilustración 4-12: Colocación de cartuchos dentro de los filtros
Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Ya que la entrada al sistema es suministrada por una bomba de achique y esta al ser necesario sumergirla, cuenta con una extensión de 6m, permitiendo así alcanzar el lecho del río a una distancia segura del usuario.



Ilustración 4-13: Sistema de
Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.2.3. Sistema de alimentación y control eléctrico

Con los cálculos realizados en el capítulo anterior se seleccionó la batería, el panel solar de la marca POWEST y el controlador de carga de la batería, las siguientes tablas muestran las características de cada elemento.

Tabla 4-3: Características de la batería.

Parámetro	Valor
Tipo	VRLA
Voltaje nominal (V)	12
Capacidad nominal (Ah)	26
Resistencia interna (mΩ)	Aprox 9
Rango Nominal de Temp. de Operación (°C)	25
Peso (kg)	8,1

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Tabla 4-4: Características del panel solar.

Parámetro	Valor
Tipo de módulo	Monocristalino
Potencia máxima (W)	120
Eficiencia (%)	19,7
Voltaje en potencia máxima (VDC)	18,24
Corriente potencia máxima (A)	6,58
Voltaje de circuito abierto (VDC)	21,8

Parámetro	Valor
Corriente de cortocircuito (A)	6,97
Máxima tensión del sistema (VDC)	1000
Peso (kg)	6,1

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Tabla 4-5: Características del controlador de carga

Parámetro	Valor
Carga de corriente máxima (A)	20
Voltaje del sistema (V)	12
Entrada máxima de voltaje (V)	50
Voltaje de desconexión (V)	9-12
Voltaje de reconexión (V)	11 - 13,5
Voltaje de flotación (V)	13 - 15
Temperatura de trabajo (°C)	-20 - 55
Tipo de carga	PWM

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.2.4. Estructura

Tomando en cuenta los parámetros de portabilidad y durabilidad, se seleccionó para la construcción de la estructura tubo cuadrado de acero 1"x1.2mm, esto nos asegura una estructura ligera y duradera permitiendo así una fácil movilidad del equipo.



Ilustración 4-14: Estructura del equipo filtrante.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.2.5. *Montaje del equipo de filtración*

Una vez construida la estructura en base al modelo presentado en el capítulo anterior se procedió a instalar todos los componentes del equipo: bomba de achique, filtros, batería, panel solar y controlador de carga.



Ilustración 4-15: Equipo filtrante.
Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.2.5.1. *Conexión y configuración del controlador de carga*

Es importante tener en cuenta que se debe seguir el siguiente orden para la conexión al controlador de carga:

- 1) Conectar la batería al regulador de carga primero el polo positivo y luego el negativo.
- 2) Conectar el módulo fotovoltaico al regulador primero el polo positivo y luego el negativo.
- 3) Conectar la bomba al regulador de carga primero el polo positivo y luego el negativo.

Para desconectar el sistema se debe seguir el orden inverso conectar en un orden de secuencia incorrecto puede dañar el controlador.

El controlador de carga posee 6 modos al presionar el botón MENU.

- 1) Menú principal: Carga actual de la batería.
- 2) Voltaje de flotación: Voltaje máximo de carga permitido para la batería.
- 3) Voltaje de reconexión: Voltaje mínimo necesario en la batería para mantener la conexión.
- 4) Voltaje de desconexión: Voltaje mínimo de la batería antes de la desconexión.
- 5) Modo de trabajo: Tiempo de salida de 12V
- 6) Tipo de batería:

- a. b01: Sellada
- b. b02: Gel
- c. b03: Abierta

En la siguiente imagen se muestran los valores ingresados en el controlador, esto basándose en las características de la batería.

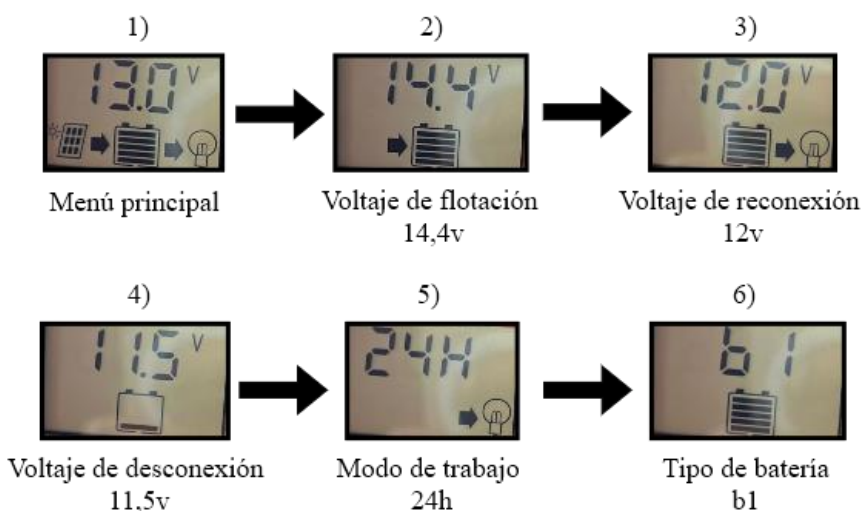


Ilustración 4-16: Modos y valores del controlador.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.2.6. Pruebas de funcionamiento

Una vez conectados todos los componentes y asegurando que los filtros se han ajustado correctamente y no sus válvulas no se encuentren cerradas se revisa en la pantalla del controlador de carga que la batería cuente con la energía suficiente para poner en marcha la bomba, se sumerge la bomba en el agua y se procede a accionarla desde el controlador de carga.

El agua procede a inundar el primer cartucho de manera rápida, lo contrario se observa en los otros dos cartuchos donde esta situación toma más tiempo, para determinar el caudal de salida se procedió a tomar el tiempo que se tarda en llenar un recipiente de 10 litros, alcanzando un promedio de 1,83 minutos en las 5 pruebas realizadas, realizando las operaciones respectivas se establece que el caudal suministrado por el equipo es alrededor de 5,55 l/min.

4.3. Procesamiento del agua a tratar

4.3.1. *Recolección de muestras sin tratar*

Tomando como referencia el estudio realizado por (Otavalo 2022), el lugar de recolección de las muestras se realizó en la provincia de Morona Santiago, cantón Limón Indanza, parroquia San Miguel de Conchay, en el río Warintz en el tramo entre las comunidades de Yawi y Warintza.



Ilustración 4-17: Muestra de agua del río Warintz.
Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.3.2. *Recolección de muestras tratadas*

Se utilizó el controlador de carga para activar la bomba de achique, y el agua sin tratar se hizo pasar a través de cada filtro. Posteriormente, se recolectaron muestras del agua filtrada desde cada llave de salida.

Cabe recalcar que al accionar por primera vez la bomba de achique con los cartuchos de carbón activado se observó una coloración oscura que se desprendían de todos los filtros, una vez el agua tomó un color transparente se tomaron las muestras.

Para la segunda prueba de funcionamiento una vez reemplazado el segundo cartucho filtrante con el cartucho contenedor de las nanopartículas de cobre se procedió a accionar la bomba de achique para la prueba de filtración, en primera instancia se observa una ligera coloración desprendida en el segundo filtro el cual contiene la esponja impregnada de nanopartículas de cobre la cual después de unos segundos el agua vuelve a tomar un color transparente, posteriormente se realizó la toma de muestras a analizar.



Ilustración 4-18: Recolección de muestras de agua filtrada.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.4. Análisis de muestras

Para analizar el agua filtrada se realizaron diferentes análisis de laboratorio destacando los análisis de presencia de coliformes fecales. Dichos análisis se realizaron en el laboratorio de microbiología. En el desarrollo del análisis de coliformes fecales se utilizó instrumentos de laboratorios como tubos de ensayo, recipiente de vidrio con rosca, probeta entre otros. De igual manera se hizo el uso de equipos como la autoclave; esencial para la desinfección de los instrumentos, la máquina de flujo laminar; que permite un entorno de trabajo con aire estéril, una incubadora y una máquina de baño maría los cuales permitirá desarrollar los coliformes fecales.



Ilustración 4-19: Análisis de muestras

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Para determinar la concentración de diferentes parámetros el pH, los nitratos, la turbiedad y demás, se utilizaron equipos especializados en conjunto con reactivos químicos.

4.4.1. Resultados de las muestras filtradas con carbón activado

Durante la primera prueba de filtración, y después de recolectar muestras de agua filtrada utilizando los cartuchos rellenos exclusivamente con carbón activado, se observó una notable mejora en el color y el olor del agua, además, no se detectó la presencia de sedimentos.



Ilustración 4-20: Muestra de agua después de la filtración con carbón activado.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Para determinar los cambios del agua sufridos por la acción del carbón activado se realizó un análisis de laboratorio a las muestras recolectadas después de cada filtro, en la tabla siguiente se detalla los resultados:

Tabla 4-6: Resultados del análisis de las muestras de agua filtrada después de cada filtro.

Parámetro	Unidad	Promedio de las estaciones de monitoreo	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Coliformes Fecales	UFC / 100ml	125,75	99,43	99,39	99,235
pH	pH	7,253	7,142	7,181	7,31
DBO	mg/L	3,018	2,21	1,973	1,323
Nitratos	mg/L	1,121	3,52	3,86	4,12
Turbiedad	NTU	1,261	1,43	1,324	1,134

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

La tabla muestra que, aunque existe una variación en el valor de coliformes fecales entre cada filtro este no ha experimentado una reducción significativa. El carbón activado no es una fuente eficaz para controlar la presencia de bacterias en el agua.

Se observa que los valores del pH se elevan después de cada filtro, este aumento no es significativo y puede deberse a la cantidad de carbón utilizado en cada filtro además de los componentes usados al momento de realizar la activación del carbón.

El valor del DBO se muestra en constante reducción esto debido a la acción absorbente que presenta el carbón activado ante compuestos orgánicos.

El valor más afectado son los nitratos los cuales se ven incrementados en una notable proporción, en general el carbón activado no es efectivo para la absorción de nitratos en grandes cantidades ya que estos pueden llegar a saturar esta capacidad de absorción y su incremento se debe nuevamente al proceso que es sometido el carbón para su activación.

La turbiedad se redujo en cantidades poco significativas, esto debido al limitado efecto que presenta el carbón activado a la presencia de sólidos en suspensión, en la muestra obtenida del río presentaba una mayor turbiedad que se logró reducir gracias a las esponjas y la tela filtrante presente en cada filtro, esto permitió obtener valores bajos en los análisis realizados.

A continuación, se presenta la comparativa entre los valores obtenidos para el último filtro y los rangos de aceptación previstos por el Acuerdo ministerial 97A donde se añadieron los resultados obtenidos para parámetros no contemplados en el método ICA-NSF que se encuentran en el Acuerdo ministerial 97A.

Tabla 4-7: Comparativa de la muestra obtenida del filtro 3.

Parámetro	Unidad	Acuerdo Ministerial 97A	Filtro 3	Observación
Coliformes Fecales	UFC / 100ml	Ausencia	99,235	Fuera del rango
pH	pH	6-9	7,31	Dentro del rango
DBO	mg/L	<2	1,323	Dentro del rango
Nitratos	mg/L	50	4,12	Dentro del rango
Turbiedad	NTU	100	1,134	Dentro del rango
Arsénico	mg/l	0,1	<0,04	Dentro del rango
Bario	mg/l	1	<0,7	Dentro del rango
Cadmio	mg/l	0,02	<0,002	Dentro del rango
Cianuro	mg/l	0,1	<0,01	Dentro del rango
Cobre	mg/l	2	<0,2	Dentro del rango

Parámetro	Unidad	Acuerdo Ministerial 97A	Filtro 3	Observación
Cromo hexavalente	mg/l	0,05	<0,05	Dentro del rango
Fluoruro	mg/l	1,5	<0,007	Dentro del rango
Mercurio	mg/l	0,006	<0,0004	Dentro del rango
Nitritos	mg/l	0,2	<0,011	Dentro del rango
Plomo	mg/l	0,01	<0,002	Dentro del rango

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

El criterio de coliformes fecales es el único que no se encuentra en el rango aceptado, el carbón activado no es suficiente para reducir la cantidad de estas bacterias, por el contrario el valor de DBO fue reducido notablemente hasta un rango aceptable, aunque los demás parámetros presentes en el agua se encuentran en un rango aceptable el consumo de esta agua presenta aún un alto riesgo de contraer alguna enfermedad debido a la contaminación que presenta las coliformes fecales por ende en la siguiente prueba de filtración añadiendo nanopartículas de cobre se espera eliminadas en su totalidad.

4.4.2. Resultados con carbón activado y nanopartículas de cobre

Una vez analizados los resultados obtenidos aplicando únicamente cartuchos con carbón activado los cuales presentaron una buena barrera para el control del DBO, se busca eliminar con ayuda de las nanopartículas de cobre, la presencia en su totalidad de coliformes fecales, los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4-8: Resultados del análisis de las muestras de agua filtrada aplicando el cartucho con nanopartículas de cobre.

Parámetro	Unidad	Promedio de las estaciones de monitoreo	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Coliformes Fecales	UFC / 100ml	125,75	101,4	Ausencia	Ausencia
pH	pH	7,253	6,93	7,313	7,363
DBO	mg/L	3,018	2,53	2,38	1,43
Nitratos	mg/L	1,121	3,62	3,95	4,42
Turbiedad	NTU	1,261	1,51	1,296	1,102

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

Los resultados muestran que a la salida del primer filtro no se reduce el valor de las coliformes fecales manteniendo una concentración igual a la esperada en la muestra sin filtrar, caso contrario a lo que se presenta en el segundo filtro donde se observa la reducción total de estas bacterias, ya que la acción de las nanopartículas de cobre es rápida y la presencia de coliformes en el agua sin tratar no presenta valores muy altos, el tiempo de contacto es suficiente para su erradicación.

En el apartado del pH se observa, igual que en la prueba anterior, un aumento después de cada filtro, el efecto de las nanopartículas de cobre no presenta una elevación considerable manteniendo un efecto similar al carbón activado.

Gracias a la barrera que presenta el carbón activado los valores del DBO se mantienen en constante reducción, pero es notable que al con el contacto del segundo filtro este valor no se vio afectado en gran medida, caso contrario a lo sucedido con los filtros 1 y 3.

Al igual que en la primera prueba los valores de los nitratos tienden a elevarse en gran cantidad al pasar por cada filtro, se observa que la acción del segundo filtro no presenta una acción contra restante.

Por último, el valor de la turbiedad se mantiene en reducción similar a lo observado con la prueba anterior, no presenta un efecto mayor al pasar por el segundo filtro lo cual establece que las nanopartículas de cobre no afectan a esta característica.

Una vez determinado los valores afectados en cada filtro se procede a comparar si estos datos están dentro del rango aceptado para ser considerados apto para consumo, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 4-9: Comparativa de la muestra obtenida del filtro 3 con nanopartículas de cobre.

Parámetro	Unidad	Acuerdo Ministerial 97A	Filtro 3	Observación
Coliformes Fecales	UFC / 100ml	Ausencia	Ausencia	Dentro del rango
pH	pH	6-9	7,363	Dentro del rango
DBO	mg/L	<2	1,43	Dentro del rango
Nitratos	mg/L	50	4,42	Dentro del rango
Turbiedad	NTU	100	1,102	Dentro del rango

Parámetro	Unidad	Acuerdo Ministerial 97A	Filtro 3	Observación
Arsénico	mg/l	0,1	<0,04	Dentro del rango
Bario	mg/l	1	<0,7	Dentro del rango
Cadmio	mg/l	0,02	<0,004	Dentro del rango
Cianuro	mg/l	0,1	<0,01	Dentro del rango
Cobre	mg/l	2	1,23	Dentro del rango
Cromo hexavalente	mg/l	0,05	<0,05	Dentro del rango
Fluoruro	mg/l	1,5	<0,007	Dentro del rango
Mercurio	mg/l	0,006	<0,0004	Dentro del rango
Nitritos	mg/l	0,2	<0,011	Dentro del rango
Plomo	mg/l	0,01	<0,002	Dentro del rango

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

En este caso se observa que existe la ausencia de coliformes fecales en la muestra, lo que establece que la acción de las nanopartículas de cobre en la concentración establecida fue efectiva para el control de este parámetro. La tabla anterior muestra que todos los parámetros están dentro del rango aceptado para considerar al agua segura para consumir.

El control de los parámetros se ha realizado satisfactoriamente, tanto el carbón activado como las nanopartículas de cobre han desempeñado un papel importante el cual remarca la utilidad que presentan estos componentes en los procesos destinados a la purificación del agua.

En la siguiente tabla se presenta una comparativa entre los resultados de las muestras tomadas al filtrar el agua carbón activado y los que se añadieron las nanopartículas de cobre.

Tabla 4-10: Comparación de resultados entre las muestras filtradas con carbón activado y nanopartículas de cobre.

Parámetro	Unidad	Filtro 3 Carbón Ac.	Filtro 3 Nanopartículas Cu
Coliformes Fecales	UFC / 100ml	99,235	Ausencia
pH	pH	7,31	7,363
DBO	mg/L	1,323	1,43
Nitratos	mg/L	4,12	4,42
Turbiedad	NTU	1,134	1,102
Arsénico	mg/l	<0,04	<0,04

Parámetro	Unidad	Filtro 3 Carbón Ac.	Filtro 3 Nanopartículas Cu
Bario	mg/l	<0,7	<0,7
Cadmio	mg/l	<0,002	<0,004
Cianuro	mg/l	<0,01	<0,01
Cobre	mg/l	<0,2	1,23
Cromo hexavalente	mg/l	<0,05	<0,05
Fluoruro	mg/l	<0,007	<0,007
Mercurio	mg/l	<0,0004	<0,0004
Nitritos	mg/l	<0,011	<0,011
Plomo	mg/l	<0,002	<0,002

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

La diferencia más notoria que se logra observar es la eliminación de las coliformes fecales, las cuales el carbón activado por sí mismo no tiene efecto alguno, otro aspecto a notar es el aumento de la presencia de cobre al momento de añadir las nanopartículas de cobre, lo cual indica que existe cierta fuga en los cartuchos, se observa que los valores de pH, DBO y turbiedad se mantienen similares entre las muestras se nota cierta disminución en el control de los nitratos al añadir las nanopartículas de cobre, aunque se ha demostrado que existe una efectividad de las nanopartículas de cobre para disminuir las concentraciones de nitratos en este caso no se ve reflejado debido al tiempo de contacto que existe con el agua, los demás parámetros expuestos presentan concentraciones muy bajas las cuales no se llega a identificar una diferencia significativa entre los resultados.

4.5. Análisis de costos del sistema

Se analiza los costos que se realizaron durante la construcción del proyecto. Para ello se relacionan los costos directos e indirectos para un mejor entendimiento de los tipos de gastos que se han realizado.

4.5.1. Costos directos

Se toman en cuenta todos aquellos costos que surgieron como producto de la manufactura del proyecto, tales como materia prima y mano de obra.

4.5.1.1. Costos de materiales

Se toma en cuenta todos aquellos elementos tanto estructurales como de tubería que se utilizaron en la construcción del proyecto.

Tabla 4-11: Costos directos de los materiales

Materiales	Unidades	Cantidad	Costo unitario	Sub. Total
Tubo cuadrado de acero 1"x1.2mm	6 m	3	7,32	21,96
Remaches 3/16"x 1"	U	20	0,03	0,6
Bisagra 3"	Par	1	2,5	2,5
Electrodo Indura 6011 3/32"	kg	1	5,1	5,1
Tee PP roscable 3/4"	U	2	0,65	1,3
Neplo PP roscable 3/4"x10cm	U	6	0,45	2,7
Unión Universal PP roscable 3/4"	U	3	2,05	6,15
Codo PP roscable 3/4" x 90°	U	2	0,8	1,6
Neplo flex Pvc 3/4"	U	4	0,53	2,12
Válvulas de grifo metálica 3/4"	U	2	6,69	13,38
Teflón politetrafluoroetileno 12mx12mm	U	2	0,49	0,98
Filtro translúcido Culligan H.24.6 cm x Diam. 5.9 cm	U	2	55	110
Filtro Culligan	U	1	55	55
Carbón Activado	kg	4	5,5	22
Ruedas macizas con placa giratoria	U	4	11	44
Bomba de achique 750 GPH 12V salida 3/4"	U	1	54,44	54,44
Manguera 3/4"	m	6	0,8	4,8
Pintura anticorrosiva azul	Lt	1	4,65	4,65
Tiñer	Lt	1	2	2
Cinta doble faz blanca 18mmx5m	U	1	6,35	6,35
Cable coaxial #12	m	7	1,48	10,36
batería	U	1	45	45
Controlador de carga 24W	U	1	25	25
Panel solar 120W	U	1	80	80
Cinta Aislante 10mx0.17mm Negra	U	1	0,9	0,9
Amarracable 30Cm 4.8Mm Negra Hd 100 Uni Dexson	U	1	9,19	9,19
			Total	532,08

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.5.1.2. Costo de equipos y materiales.

Se detallan todos aquellos equipos que fueron utilizados para hacer posible la realización de este proyecto.

Tabla 4-12: Costo de equipos y materiales

Máquina	Hora-Uso	Costo	Sub. Total
Impresora 3D	20	5	100
Total			100

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.5.1.3. *Costo de mano obra*

Se detalla el costo de mano de obra que fue necesaria contratar para elaborar el proyecto.

Tabla 4-13: Costo de mano de obra

Mano de Obra	Costo
Maestro Soldador	80
Ayudante	40
Total	120

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.5.1.4. *Costos directos totales*

Tabla 4-14: Costos directos totales

Descripción	Valor
Costo de materiales	532,08
Costo de mano de obra	120
Costo de equipos y herramientas	100
Total	752,08

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.5.2. *Costos indirectos*

Son todos aquellos costos que a pesar de no estar presente físicamente en el proyecto fueron necesarios para que el proyecto pueda desarrollarse correctamente.

4.5.2.1. *Costos indirectos totales*

Tabla 4-15: Costos indirectos totales

Descripción	Costo
Transporte	100
Imprevistos	50
Total	150

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.5.3. Costos totales

El costo total en la ejecución de este proyecto tomando en cuenta los costos directos e indirectos se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4-16: Costos totales

Tipo de Costo	Valor
Costos directos	752,08
Costos indirectos	150
Costo Total	902,08

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.6. Manual de seguridad

El prototipo a pesar de ser un elemento relativamente pequeño y de poca peligrosidad, se debe tener en cuenta algunos parámetros que se deben tener en cuenta para mantener al prototipo en operación y para evitar posibles riesgos para el usuario.

Tabla 4-17: Consideraciones de funcionamiento

Consideraciones de funcionamiento del Equipo de filtración	
Advertencias de funcionamiento	<p>El usuario del equipo debe ser debidamente capacitado antes de hacer uso de este con el fin de que el equipo funcione de una manera correcta y eficiente. Por lo tanto, el usuario debe estar capacitado en los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none">• Conocimiento del manual de seguridad, los mantenimientos respectivos y posibles fallas que puedan ocurrir.• Correcta manipulación de los filtros, así como de la bomba impulsora.• Antes de encender el sistema verificar que la carcasa porta filtro se encuentre sellada correctamente, utilizar obligatoriamente la llave de filtro para ello.• Fijarse que la bomba se encuentre plenamente sumergida en el agua a no más de la profundidad especificada en la hoja técnica del prototipo.
Precauciones de funcionamiento	<ul style="list-style-type: none">• Revisar que todas las conexiones se encuentren debidamente ajustadas y que no presenten fugas, pues disminuiría la eficiencia de filtración.• Verificar que las válvulas presentes en el porta filtro se encuentren en posición abierta.• Verificar que las conexiones del panel, controlador y batería se encuentren plenamente conectados.

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

4.6.1. Hoja técnica

Tabla 4-18: Hoja técnica

Especificaciones Técnicas			
Capacidad	Tipo de filtración	N° de etapas de filtración	Medios filtrantes
5 L/min	Por medios filtrantes	3	<ul style="list-style-type: none"> • carbón activado • nanopartículas de cobre
Bomba impulsora DC			
Tipo Achique	750 GPH	12V - 2.5AMP	Salida: 3/4"
Cuerpo porta filtro			
Culligan	Translúcido	13.25 x 5 x 5	
Cartucho portador de medios filtrantes			
Material: polipropileno	0.28L		
Panel solar fotovoltaico monocristalino			
POWEST	120W	Vmp:18.24VDC Imp: 6.58A	6.1 kg
Batería GS (servicios generales)			
POWEST	12V – 26 Ah	8.1 kg	Terminal: T12-M6
Controlador de Carga			
POWLSOJX	24V-60A	puerto USB 5V2A × 2.	
Mantenimiento			
Se debe cambiar los medios filtrantes tanto el carbón activado como las nanopartículas de cobre en un periodo de 6 meses o cuando el agua tenga una apariencia no adecuada para el consumo.			

Realizado por: Lema; Lizalde, 2024

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Basándose en los resultados sobre la calidad del agua del río Warintz entre el tramo Yawi - Warintza obtenidos por (Otavalo 2022) y al ser comparados con el acuerdo ministerial 97A, se estableció que existen dos parámetros que no se encuentran dentro de los límites aceptados, estos son las coliformes fecales y el DBO. Sin embargo, mediante el filtrado del agua con el equipo construido se obtuvo el cumplimiento de estos parámetros teniendo así la ausencia de coliformes fecales y una reducción del DBO al valor de 1.43.
- El caudal que suministra el equipo es alrededor de 5,5 l/min lo cual establece un tiempo de espera de 3,24 min para suministrar los 18 litros necesarios para abastecer a una familia de estas comunidades y 3,15 días para abastecer a las 105 familias de la comunidad de Warintza la cual posee la mayor cantidad de familias, esto usando el equipo con los datos de independencia energética establecidos con un uso continuo de dos horas al día.
- El software SolidWorks permitió modelar de una manera rápida el diseño del prototipo, realizando correcciones o mejoras mientras se evaluó la posición y distribución de cada uno de los componentes.
- La construcción se basó en el modelado 3D, obedeciendo longitudes y materiales establecidos y tomando en cuenta los requerimientos indicados en el análisis QFD, permitiendo así un sistema de fácil acceso y montaje de todos los componentes.
- La configuración del equipo facilita de manera sencilla y práctica el reemplazo de los cartuchos filtrantes una vez que hayan alcanzado el final de su vida útil.
- El manejo del equipo es muy sencillo, una vez colocada la bomba de achique en el río la activación y desactivación se realiza con un botón de accionamiento que se encuentra en el panel del control de carga, además las ruedas seleccionadas brindan un buen soporte

tanto para la estructura como para los componentes del sistema, permite también una alta maniobrabilidad, cumpliendo así los requisitos planteados para el diseño del equipo.

- La calidad del agua filtrada obtenida aumentó considerablemente, los cartuchos compuestos de carbón activado presentaron un alto control del DBO, al añadir las nanopartículas de cobre no se observó un aumento significativo sobre la reducción de este valor.
- Se establece que las nanopartículas de cobre poseen una rápida y eficaz acción bactericida, reduciendo totalmente las coliformes fecales en un corto tiempo de contacto con el agua, corroborando así que la concentración de nanopartículas utilizadas en el cartucho fue suficiente para contrarrestar la cantidad de coliformes fecales presentes en el río.
- Aunque el valor de los nitratos aumentó considerablemente no llegó a sobrepasar el rango de aceptación, este aumento es debido al proceso que se utiliza para obtener las propiedades que presenta el carbón activado y al añadir las nanopartículas no se observó disminución relevante.
- La concentración de cobre aumentó después de la filtración, lo que indica que las nanopartículas de cobre están escapando del filtro.

5.2. Recomendaciones

- El volumen de concentración añadido a la esponja no debe saturar su capacidad de absorción. Un exceso de concentración podría provocar una fuga masiva de las nanopartículas de cobre.
- Disminuir el caudal suministrado a los filtros reduce la probabilidad de fuga de nanopartículas de cobre y mejora su efectividad. Las propiedades del cobre, como su capacidad de adsorción y desinfección, se ven reforzadas con un mayor tiempo de exposición al agua.

- Cada vez que se realice el cambio del carbón activado o las nanopartículas de cobre, es necesario permitir la circulación del agua por unos minutos antes de tomar las muestras para realizar los respectivos análisis, esto permite a los cartuchos limpiar las impurezas presentes en el carbón y los excedentes del concentrado de nanopartículas presentes en la esponja.
- Se recomienda evaluar la efectividad del equipo al aumentar las concentraciones de nanopartículas de cobre para el uso con agua con mayores niveles de contaminación.
- Aunque el agua filtrada cumple con lo planteado en el Acuerdo ministerial 97A no se recomienda beber sin antes ser hervida.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ABBASI, T. & ABBASI, S. A.** “‘Conventional’ Indices for Determining Fitness of Waters for Different Uses”. *Water Quality Indices* [en línea], 2012, [consulta: 25 noviembre 2023]. DOI 10.1016/B978-0-444-54304-2.00003-8. Disponible en: https://books.google.com/books/about/Water_Quality_Indices.html?hl=es&id=JU6SEypUx9gC.
2. **ALFA LAVAL.** “Membrane filtration”. *Alfa Laval Corporate AB* [en línea], 2010, [consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: <moz-extension://4342e0eb-991e-44d5-87ce-8e1cdf77ba9a/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fwww.alfalaval.com%2Fglobalassets%2Fdocuments%2Findustries%2Fpulp-and-paper%2Fal-membranefiltration.pdf>.
3. **ARECIBIA, G.** “La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica”. *REDVET*, vol. 17, no. 6, 2016.
4. **BENITES, Y.** Diseño de un prototipo compacto potabilizador de agua superficial con independencia energética. Universidad de Piura [en línea], 2019, [consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4047>.
5. **BORRERO GARCÍA, C. & HUSSERL, J.** Metodología para determinación del índice de calidad del agua a partir de parámetros fáciles de medir en campo [en línea]. 2018. S.l.: Universidad de los Andes. [consulta: 21 noviembre 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/34065>.
6. **CABEZAS, D.** Determinación de las características físicas de sustancias reactivas: carbón activado, piedra caliza, turba, de origen ecuatoriano para el tratamiento de agua. Universidad técnica de Ambato, Ambato-Ecuador. 2021.
7. **CAMACHO, C. & ASTUDILLO, V.** “Evaluación del aprovechamiento empírico del agua subterránea somera del cantón Morona-Ecuador”. *Dominio de las Ciencias, ISSN-e 2477-8818, Vol. 6, N° 2, 2020 (Ejemplar dedicado a: Vol 6, No 2 (2020): Abril – Junio), págs. 460-473* [en línea], vol. 6, no. 2, [consulta: 18 diciembre 2023]. ISSN 2477-8818. DOI 10.23857/dc.v6i2.1179. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7398447&info=resumen&idioma=SPA>.
8. **CARBONTECNIA.** Diferencia entre filtros de superficie y de profundidad – Carbotecnia. [blog], 2023, [consulta: 29 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/diferencia-entre-filtros-de-superficie-y-de-profundidad/>.

9. **CARRIÓN, M.** ¿Cuánta agua hay en el mundo? *El ágora diario del agua* [blog], 2024, [consulta: 1 enero 2024]. Disponible en: <https://www.elagoradiario.com/open-data/infografias/agua-planeta/>.
10. **CASTRO, Mario; et al.** “Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global”. *Revista ingeniería solidaria* [en línea], 2014, vol. 10, no. 17, [consulta: 22 noviembre 2023]. ISSN 2357-6014. Disponible en: <http://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/811/770>.
11. **CATA SÁNCHEZ, J. E. & RODRÍGUEZ SÓCOLA, F. M.** Análisis matemático de un panel solar fotovoltaico de silicio. [en línea]. Universidad politécnica Salesiana. Guayaquil-Ecuador-2015: [consulta: 6 febrero 2024]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10250>.
12. **CEDEÑO, C. V. & ESTEVES-FAJARDO, Z. I.** “El acceso al agua en Ecuador: Impacto y posibles soluciones”. *CIENCIAMATRIA* [en línea], 2023, vol. 9, no. 1, [consulta: 16 diciembre 2023]. ISSN 2610-802X. DOI 10.35381/CM.V9I1.1077. Disponible en: <https://www.cienciamatriarevista.org/ve/index.php/cm/article/view/1077/1796>.
13. **CHAGCHA, Brito; et al.** Diseño de un sistema experimental de pruebas en columna para el análisis de sustancias reactivas en condiciones dinámicas para el tratamiento de aguas residuales. Universidad técnica de Ambato, Facultad de ingeniería civil y mecánica . Ambato-Ecuador. 2021.
14. **CLEMENTS, M. & HAARHOFF, J.** “Practical experiences with granular activated carbon (GAC) at the Rietvlei Water Treatment Plant. *Water SA*”, 2004, vol. 30, no. 1, ISSN 03784738. DOI 10.4314/WSA.V30I1.5031.
15. **COLOMINA MONTAVA, J.** “Diseño de una planta desalinizadora con sistema de osmosis inversa con producción de 20000 m³/día”. [en línea], 2016, [consulta: 29 noviembre 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/74584>.
16. **CUENCA, Jefferson; et al.** “Percepción social de la calidad y servicio de agua potable en la ciudad de El Coca, Orellana”. *Green World Journal* [en línea], 2021, [consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: www.greenworldjournal.com.
17. **DE ANDRÉS, J. & SILVA, W.** Estudio de viabilidad de un sistema fotovoltaico conectado a la red para el edificio 15A de la FIEC de la ESPOL. [en línea], Ecuador. 2016 [consulta: 1 marzo 2024]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/35893>.
18. **DIAZ SORIA, P. L.** Efecto bactericida de nanopartículas de hierro, cobre, zinc y plata en el tratamiento y desinfección de aguas residuales. [en línea]. Universidad Iberoamericana león.

- México. 2021 [consulta: 3 diciembre 2023]. Disponible en: <http://www.naturalezaytecnologia.com/index.php/nyt/article/view/384>.
19. **DLAMINI, Nkosinathi; et al.** “Optimization and Application of Bioflocculant Passivated Copper Nanoparticles in the Wastewater Treatment”. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2019, Vol. 16, Page 2185 [en línea], vol. 16, no. 12, [consulta: 3 enero 2024]. ISSN 1660-4601. DOI 10.3390/IJERPH16122185. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-4601/16/12/2185/htm>.
 20. **EFSA.** “Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water”. *EFSA Journal* [en línea], 2016, vol. 8, no. 3, [consulta: 12 diciembre 2023]. ISSN 18314732. DOI 10.2903/J.EFSA.2010.1459. Disponible en: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1459>.
 21. **EUROPEAN COMMISSION.** Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). [blog], 2022, [consulta: 4 febrero 2024]. Disponible en: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/.
 22. **FOX, R. & MCDONALD, A.** Introducción a la mecánica de fluidos. 1990.
 23. **FUNDACIÓN FUTURO LATINOAMERICANO.** “Futuro del Agua en el Ecuador Perspectivas presidenciales”. *Fundación Futuro Latinoamericano* [en línea], 2021, [consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.ffla.net/es/futuro-del-agua-en-el-ecuador-perspectivas-presidenciales/#:~:text=A%20pesar%20de%20ser%20uno,son%20tratadas%20en%20el%20pa%C3%ADs>.
 24. **HERNÁNDEZ, P.** “RADIACIÓN DIRECTA, DIFUSA Y REFLEJADA – ARQUITECTURA EFICIENTE”. *Arquitectura Eficiente* [en línea], 2014, [consulta: 6 febrero 2024]. Disponible en: <https://pedrojhernandez.com/2014/03/08/radiacion-directa-difusa-y-reflejada/>.
 25. **IGHALO, Joshua; et al.** “CuO nanoparticles (CuO NPs) for water treatment: A review of recent advances”. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 2021, vol. 15, ISSN 22151532. DOI 10.1016/J.ENMM.2021.100443.
 26. **INEC.** Instituto Nacional de Estadística y Censos. [blog], 2024, [consulta: 18 abril 2024]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>.
 27. **INEN 1108-6.** AGUA PARA CONSUMO HUMANO. REQUISITOS. NTE INEN [en línea]. Quito: [consulta: 1 enero 2024]. Disponible en: <https://studylib.net/doc/25540804/agua-potable-n-inen-1108-6-marzo-2020>.

28. **CHUQUÍN, Nelson; et al.** *Hidráulica en Tuberías y Accesorios (Válvulas Industriales): Pérdidas, Casos reales de Aplicación y Selección de Bombas Centrifugas* [en línea]. 2019, S.l.: s.n. ISBN 9789942802552. Disponible en: www.cidecuador.com.
29. **IZQUIERDO TORRES, I. F. & PACHECO PORTILLA, M. G.** Evaluación de la eficiencia de paneles solares como sistema de captación de energía para edificaciones del área urbana de Cuenca. [en línea], 2017, [consulta: 1 marzo 2024]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27386>.
30. **IZURIETA, Ricardo; et al.** “Calidad del agua en Ecuador”. *Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades* [en línea], 2019, [consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: https://anisanic.org/documentos/Calidad-del-agua-en-las-Américas_Riesgos-y-oportunidades.pdf.
31. **LINAREZ GARCÍA, C. & GONZÁLEZ ESCOBAR, A. C.** Optimización de un sistema de filtración con nanomateriales para la mejora de los índices de calidad del agua. [en línea]. Bogotá. 2019. [consulta: 21 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/6658cc7c-ec84-4503-9754-9f2b3ab38ad4>.
32. **LOGSDON, Gary; et al.** “Slow sand filtration for small water systems”. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2002, vol. 1, no. 5, ISSN 14962551. DOI 10.1139/S02-025.
33. **MÁRQUEZ, C.** “Desnutrición crónica y agua contaminada en la Amazonía”. *YOUTOPIA* [en línea], 2023, [consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: <https://youtopiaecuador.com/nutricion-infantil/desnutricion-cronica-agua-contaminada-amazonia-ecuador/>.
34. **MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR.** Acuerdo Ministerial 097-A. [en línea], 2015, [consulta: 21 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-097-anexos-normativa-reforma-libro-vi-texto-unificado-legislacion-secundaria-ministerio-ambiente>.
35. **MOGOLLÓN CORTEZ, G. F. & VELOZ CHIPRE, X.V.** Síntesis de nanopartículas de plata utilizando hojas de petiveria alliacea l. (anamú) y su aplicación en tratamiento de aguas. [en línea]. Universidad de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador. 2021. [consulta: 29 noviembre 2023]. Disponible en: <http://www.fiq.ug.edu.ec>.
36. **MOHAMMED, Suleiman; et al.** “Wastewater Disinfection by Synthesized Copper Oxide Nanoparticles Stabilized with Surfactant”. *Journal of Materials and Environmental Science* [en línea], 2015, [consulta: 24 febrero 2024]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/265267130_Wastewater_Disinfection_by_Synthesized_Copper_Oxide_Nanoparticles_Stabilized_with_Surfactant.

37. **MORA, V. & CEDEÑO, J.** Determinación fisicoquímica y bacteriológica del agua en las etapas de tratamiento en planta de potabilización. [en línea]. Universidad de Oriente. Bolívar-Venezuela. 2006. [consulta: 7 febrero 2024]. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212006000100007.
38. **MOURATO D.** “Microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable”. *ZENON Environmental Inc.* [en línea], 1998, [consulta: 29 noviembre 2023]. Disponible en: <moz-extension://4342e0eb-991e-44d5-87ce-8e1cdf77ba9a/enhanced-reader.html?openApp&pdf=http%3A%2F%2Fwww.elaguapotable.com%2FMICROFILTRACI%25D3N%2520Y%2520NANOFILTRACI%25D3N%2520EN%2520EL%2520%25C1REA%2520DE%2520AGUA%2520POTABLE.pdf>.
39. **NATIONAL ACADEMIES.** “Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate”. *Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate*, 2005. DOI 10.17226/10925.
40. **NHS.** “The Eatwell Guide”. *Public Health England*, 2016.
41. **ONU.** “El agua es la base de la vida, pero está fuera del alcance de 2000 millones de personas”. *Noticias ONU* [en línea], 2021, [consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2021/03/1489832>.
42. **ONU.** “Día del Agua: garantizar la disponibilidad de agua y el saneamiento en la región andina | Naciones Unidas en Ecuador”. *Naciones Unidas Ecuador*. [en línea], 2023, [consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <https://ecuador.un.org/es/224762-d%C3%ADa-del-agua-garantizar-la-disponibilidad-de-agua-y-el-saneamiento-en-la-regi%C3%B3n-andina>.
43. **ORELLANA, J.** *Ingeniería Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas*. 2005, vol. 6,
44. **OTAVALO, M.** Determinación de la calidad del agua del río Warintz en el tramo Yawi - Warintza mediante el uso de macroinvertebrados como bioindicadores. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Macas-Ecuador. 2022
45. **PADILLA, J. & LICONA, B.** Estudio del comportamiento de la eficiencia de absorción de la radiación solar en función de los ángulos de incidencia y de agentes dispersantes. [en línea]. Cuitláhuac: Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz. Veracruz-México. 2022, [consulta: 6 febrero 2024]. Disponible en: <http://reini.utcv.edu.mx:80/handle/123456789/1373>.

46. **PARRA MALAGÓN, N. L.** Filtro de agua para mejorar la calidad de vida en la comunidad Wayuú [en línea]. Universidad El Bosque. Bogotá-Colombia. 2023 [consulta: 12 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/10552>.
47. **PEÑAFIEL, Evelyn; et al.** “Enfermedades transmitidas por el consumo de agua contaminada”. *Revista Institucional de Investigación Metanoia: Ciencia, Tecnología, Innovación* [en línea], 2018, vol. 4, no. 6, [consulta: 1 enero 2024]. Disponible en: <https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/METANOIA/article/view/2391/1739>.
48. **PÉREZ, F. & URREA, M.** Abastecimiento de Aguas - Filtración. 2015. S.l.
49. **PUIG, P. & JOFRA, M.** Energía Solar Fotovoltaica. *Energías renovables*, 2007.
50. **RANALD, Giles; et al.** Mecánica de los Fluidos e Hidráulica. 1994.
51. **ROCK, C. & RIVERA, B.** “La Calidad del agua, E. coli y su salud”. *College of agriculture and life sciences* [en línea], 2014, [consulta: 1 enero 2024]. Disponible en: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1624s.pdf>.
52. **ROJAS TALAVERA, L. K.** Dimensionamiento de generación eléctrica fotovoltaica para abastecer al sistema de iluminación de la empresa Corporación Maderera JJ E.I.R.L. Repositorio Institucional - UCV [en línea], 2023, [consulta: 21 febrero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/114616>.
53. **RUSSELL, D.** *Tratamiento de aguas residuales - Un enfoque práctico*. 2012. S.l.: s.n.
54. **SALAS, Jordi; et al.** “Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad: situación actual”. *Nutrición Hospitalaria* [en línea], 2020, vol. 37, no. 5, [consulta: 12 diciembre 2023]. ISSN 0212-1611. DOI 10.20960/NH.03160. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112020000700026&lng=es&nrm=iso&tlng=pt.
55. **SÁNCHEZ, A.** “Generación Solar Fotovoltaica, en la Provincia de Morona Santiago, como un Mecanismo de Desarrollo Limpio”. *Revista Técnica «energía»* [en línea], 2011, vol. 7, no. 1, [consulta: 21 febrero 2024]. ISSN 2602-8492. DOI 10.37116/REVISTAENERGIA.V7.N1.2011.211. Disponible en: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/211>.
56. **SÁNCHEZ AROCA, S. A. & GUANGASIG TOAPANTA, V. H.** Calidad microbiológica del agua de consumo humano: la realidad en el Ecuador. [en línea]. S.l.: Universidad Técnica de Ambato/ Facultad de Ciencias de Salud /Carrera de Laboratorio Clínico. Ambato-Ecuador. 2023. [consulta: 1 enero 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/39942>.

57. **SÁNCHEZ CASTILLO DEL, M.** “Elimina la turbiedad del agua”. *Agua y ambiente Editorial*, 2016, vol. 12.
58. **SEAFLO.** SEAFLO 01 Series 750GPH Seaflo Bilge Pump 12v bilge pump. [blog]. 2021. [consulta: 4 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.seaflo.com/index.php?m=home&c=View&a=index&aid=507>.
59. **SEBASTIÁN, Gabriel; et al.** “Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas”. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [en línea], 2023, vol. 7, no. 3, [consulta: 6 febrero 2024]. ISSN 2707-2215. DOI 10.37811/CL_RCM.V7I3.6835. Disponible en: <https://www.ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/6835/10389>.
60. **SALAZAR, Mauro; et al.** “Diseño de dispositivo para el tratamiento de aguas de consumo humano en las comunidades amazónicas de Warints y Yawi”. *593 Digital Publisher CEIT* [en línea], 2022, vol. 7, no. 3-1, [consulta: 12 noviembre 2023]. ISSN 2588-0705. DOI 10.33386/593dp.2022.3-1.1103. Disponible en: https://www.593dp.com/index.php/593_Digital_Publisher/article/view/1103.
61. **SEVILLA, Á. & TORRES, P.** Obtención de carbón activado a partir de madera [en línea]. Universidad Nacional de Cuyo. San Rafael-Argentina. 2013. [consulta: 30 enero 2024]. Disponible en: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/7742/obtencion-de-carbon-activado-a-partir-de-madera.pdf.
62. **SEVILLA, U.** MANUAL DEL CARBÓN ACTIVO. [blog]. 2011. S.l.: [consulta: 29 noviembre 2023]. Disponible en: www.aguapedia.net.
63. **SOLÓN, P.** *Agua. Un derecho humano fundamental* [en línea]. 1. Quito: Abya-Yala, 2010. [consulta: 19 diciembre 2023]. vol. 1. Disponible en: <https://www.rosalux.org.ec/pdfs/agua-acosta.pdf>.
64. **SUAREZ RAMÍREZ, A. M.** Propuesta de dimensionamiento de un sistema de ultrafiltración, para tratar agua permeada almacenada. [en línea]. Bogotá-Colombia. 2016. [consulta: 29 noviembre 2023]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/481>.
65. **UNICEF.** “Acceso a Agua, Saneamiento e Higiene”. *UNICEF* [en línea], 2017, [consulta: 18 diciembre 2023]. Disponible en: <https://www.unicef.org/ecuador/acceso-agua-saneamiento-e-higiene#:~:text=En%20el%20Ecuador%2C%20si%20bien,consumir%20agua%20con%20contaminaci%C3%B3n%20fecal>.

66. **UNICEF**. Filtros para el tratamiento de agua en el hogar Guía de Productos. 2021. S.l.:
67. **WILD COAST ORGANICS**. Wild coast organics. [blog]. 2020 [consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: <http://www.wildcoastorganics.com/products.html>.
68. **WILLS, M. & IRVINE, K. N.** Application of the national sanitation foundation water quality index in the Cazenovia creek, NY, pilot watershed management project. 1996.
69. **YANCHAPANTA TAMAQUIZA, E. P.** Síntesis y caracterización de nanopartículas de plata como agente bactericida en aguas residuales. [en línea]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2022. [consulta: 29 noviembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17569>.
70. **ZAMBON, Mariana; et al.** “Estudio de la pérdida de carga en lechos de partículas mediante la utilización de CFD”. *Asociación Argentina de Mecánica computacional* [en línea], 2007, vol. XXVI, [consulta: 2 febrero 2024]. Disponible en: <http://www.uncoma.edu.ar><http://www.ing.unlp.edu.ar>.
71. **ZHONGTING**. Understanding Surface Filtration and Depth Filtration - ZhongTing. [en línea]. 2023. [consulta: 2 diciembre 2023]. Disponible en: <https://ztfilterbag.com/understanding-surface-filtration-and-depth-filtration/>.

ANEXOS

ANEXO A: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO DE FILTRADO DE AGUA.

OPERACIÓN

Para operar el prototipo el usuario deberá conocer cada uno de los equipos que lo conforman, así como también su funcionamiento y sus características técnicas las cuales se encuentran detalladas en la siguiente hoja de datos y así garantizar la integridad del prototipo y que sus funciones se realicen de una manera correcta.

EQUIPO DE FILTRACIÓN DE AGUA			
Características principales			
Función	El equipo de filtración de agua tiene por objetivo retener partículas presentes en el agua que causan que el agua tenga una apariencia verdosa. Disminuye la turbidez y mejora la calidad del agua. Para ello hace uso de una bomba de achique que impulsa el agua hacia cada uno de los filtros que se encuentran partículas de cobre y gránulos de carbón activado. Todo ello impulsado por energía fotovoltaica.		
Especificaciones Técnicas			
Capacidad	Tipo de filtración	Nº de etapas de filtración	Medios filtrantes
2 L/min	Por medios filtrantes	3	Carbón activado
			Nanopartículas de cobre
Bomba impulsora DC			
Tipo Achique	750 GPH	12V - 2.5AMP	Salida: 3/4"
Cuerpo porta filtro			
Culligan	Translucido / normal	13.25 x 5 x 5	
Cartucho portador de medios filtrantes			
Material: polipropileno	0.28L		
Panel solar fotovoltaico monocristalino			
POWEST	120W	Vmp: 18.24VDC	6.1 kg
		Imp: 6.58A	
Batería GS (servicios generales)			
POWEST	12V – 26 Ah	8.1 kg	Terminal: T12-M6
Controlador de Carga			
POWLSOJX	24V-60A	puerto USB 5V2A × 2.	
Observaciones			

Antes del encendido

Para iniciar el equipo es esencial seguir los siguientes pasos para tener una correcta filtración del agua:

- Antes de operar el equipo verificar que todo el conjunto se encuentre estable y no presente movimientos que puedan generar desconexión tanto de las tuberías como de las conexiones eléctricas.
- Colocar los cartuchos que alojan el material filtrante en los porta filtros. Para ello destapar la tapa roscada del cuerpo del cartucho, colocar una fina esponja en la base del filtro seguido del carbón activado hasta una altura de 18 cm aproximadamente realizando pequeños golpeteos con el fin de que se compacte el carbón, colocar una fina esponja al final de carbón activado y enroscar la tapa nuevamente.
- Para el caso del cartucho que aloja las nanopartículas de carbón activado llenar 1/3 de carbón activado y luego colocar el medio con las nanopartículas de cobre, volver a llenar con carbón activado hasta alcanzar una altura adecuada y enroscar la tapa del cartucho.
- Antes de colocar los cartuchos en el porta filtro, verificar que las tapas de los cartuchos posean los retenedores que evitan la mezcla del agua de salida con el agua de entrada. Ajustar el cuerpo del porta filtro mediante la llave de filtro asignada con un apriete suave.
- Verificar que las conexiones de tubería se encuentren en buen estado y conectadas de manera adecuada.
- Revisar en el controlador de carga si existe paso de energía por parte del panel hacia las baterías de carga.
- Colocar la bomba de achique en el lugar en el cual se quiera filtrar el agua. La bomba no debe encontrarse sumergida completamente para evitar la entrada de aire al sistema.
- Verificar que las llaves de muestra se encuentren totalmente cerradas.

Si dado el caso en que no se cumpla cualquiera de los pasos anteriores interrumpir las operaciones y hacer una evaluación de la afección y comunicar el incidente.

Operación del equipo

Este procedimiento se lo debe realizar obligatoriamente cuando se vaya a operar el equipo:

- Presionar el botón SET que se encuentra en el controlador de carga para encender la bomba y que el agua circule por todo el sistema.
- Colocar el depósito en la salida del agua del último filtro.
- Desechar las primeras muestras del agua si el carbón es colocado por primera vez o si presenta una coloración negra proveniente del carbón activado.
- Apagar el equipo presionando el botón SET una vez ya haya filtrado la cantidad de agua requerida.

ANEXO B: MANUAL DE MANTENIMIENTO

MANTENIMIENTO

Para lograr que el equipo ofrezca una filtración adecuada es necesario emplear labores de mantenimiento y con el fin de alargar la vida útil de los equipos. Por lo tanto, se debe considerar las siguientes operaciones de mantenimiento:

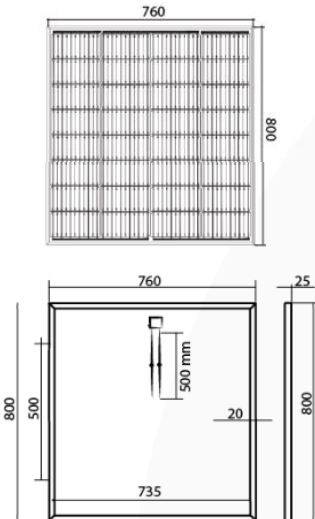
- Limpieza en seco del panel fotovoltaico, así como también en la zona de la batería y controlador semanalmente.
- Si existe desgaste en la pintura, volver a pintar con el objetivo de evitar presencia de partículas de óxido en los elementos del equipo.
- Reemplazar el carbón activado en un lapso de 3 meses o cuando la turbiedad del agua se vea presente en la salida de los filtros.

ANEXO C: FICHA TÉCNICA DEL PANEL SOLAR

POWEST®

Panel Solar Monocristalino 120W

- Máxima durabilidad Vs otros módulos fotovoltaicos del mercado.
- Especializados para trabajar en condiciones adversas.
- Mayor rendimiento energético gracias a su vidrio y cristal texturizado avanzado de alta transmisión, permite tener mayor eficiencia y transmisión de energía.
- Diseño innovador en sus celdas, permite reducir costos y tiempos de manejo en su instalación.



CERTIFICADO
RETIE

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PANELES SOLARES

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PANELES SOLARES	
Tipo de módulo	Monocristalino
Código	NERM120-8120
Potencia máxima (P _{max})	120W
Tolerancia salida de potencia	±3%
Eficiencia	19.70%
Voltaje en potencia máxima (V _{mp})	18.24VDC
Corriente potencia máxima (I _{mp})	6.58A
Voltaje de circuito abierto (V _{oc})	21.80VDC
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	6.97A
Máxima tensión del sistema	1000VDC
Max. serie de fusible	10A
Caja de conexiones (grado de protección)	IP67
Rango de temperatura de funcionamiento	-40°C to 85°C
NOCT (Temperatura nominal de funcionamiento de la célula)	45 +/- 2
Dimensiones (Alto*Ancho*Profundo)	800mm*760mm*25mm
Peso	6.1kg
Celda (cantidad / material)	32 / silicio monocristalino
Clase de aplicación	A
Cable (longitud / área transversal)	500mm / 2.5mm ²
Conector	MC4
Calificaciones y certificados	IEC 61215, IEC 61730, CE, CQC, ISO 9001:2015, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, RETIE

* Sujeto a modificaciones sin previo aviso, según requerimiento del cliente, según disponibilidad de inventario y/o bajo pedido del cliente. * Fotos de referencia, accesorios se venden por separado.

ANEXO D: FICHA TÉCNICA DE LA BATERÍA

BATERIA SELLADA 12V-26AH REF. FL12260GS



Especificaciones



Voltaje Nominal	12V
Capacidad Nominal (20 Hr)	26.0 Ah
Dimensiones	Longitud 166.0±2mm (7.12 ") Ancho 175±2mm (2.99 ") Altura 125.0±2mm (6.57 ") Altura Total 125.0±2mm (6.57 ")
Peso Aproximado	Aprox. 8.1 kg (17.9 lbs)
Terminal	T12- M6
Material del Envase	ABS UL 94-HB (retardante de llama UL94V-0)
Rango de Operación	26.0 AH/1.30A (20hr, 1.80V/Celda, 25° C/77°F) 24.7 AH/2.47A (10hr, 1.80V/Celda, 25° C/77°F) 22.1 AH/4.42A (5hr, 1.75V/Celda, 25° C/77°F) 13.8 AH/26.0A (1C, 1.60V/Celda, 25° C/77°F) 9.1 AH/78.0A (3C, 1.60V/Celda, 25° C/77°F)
Máxima Corriente de Descarga	851A(5s)
Resistencia Interna	Aprox. 9mΩ
Rango de Temperatura de Operación	Descarga -15~50°C (5~122°F) Carga -15~40°C (5~104°F) Almacenamiento -15~40°C (5~104°F)
Rango Nominal de Temp. de Operación	25±3°C (77±5°F)
Ciclo de Uso	Corriente de carga inicial de menos de 7.8A. Voltage. 14.4V ~ 15.0V a 25° C (77° F) de temperatura. Coeficiente -30mV/°C
Modo Espera	No hay límite en la carga inicial de tensión actual. 13.5V ~ 13.8V a 25°C (77° F) Temp. Coeficiente -20mV/°C
Capacidad Afectada por la temperatura	40°C (104°F) 103% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) 86%
Auto- descarga	Las Baterías de la serie POWEST GS se pueden almacenar durante un máximo de 6 meses a 25°C (77°F) y luego se requiere una carga de reposición. Para temperaturas más altas del intervalo de tiempo será más corto.

Aplicaciones

- De uso múltiple.
- Fuente de alimentación. Ininterrumpida (UPS).
- Sistema de potencia Eléctrica (EPS).
- Alimentación de reserva de emergencia.
- Luz de emergencia.
- Señal ferroviaria.
- Señal de aeronaves.
- Alarma y sistema de seguridad.
- Aparatos y equipos electrónicos.
- Fuente de alimentación comunicación.
- Fuente de alimentación DC.
- Sistema de control automático.

Corriente Constante de Descarga (Amperios) a 25 °C (77 °F)

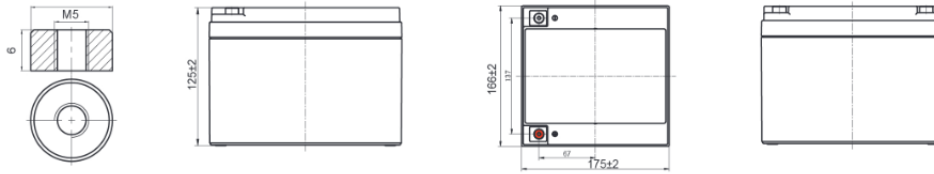
V/Tiempo	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/Celda	49.5	38.0	31.5	27.2	21.1	15.5	13.1	7.73	6.05	4.92	4.01	3.48	2.81	2.35	1.29
1.80V/Celda	66.5	48.6	38.1	32.2	24.8	18.0	14.6	8.44	6.51	5.25	4.31	3.73	2.98	2.47	1.30
1.75V/Celda	74.9	53.4	41.6	34.6	25.8	18.7	15.3	8.75	6.63	5.37	4.42	3.84	3.03	2.51	1.31
1.70V/Celda	82.5	58.2	44.4	36.4	26.8	19.5	15.8	8.97	6.81	5.51	4.53	3.92	3.07	2.55	1.34
1.65V/Celda	91.0	62.8	47.2	38.7	28.3	20.0	16.2	9.10	7.11	5.70	4.66	4.00	3.12	2.58	1.35
1.60V/Celda	100.4	68.2	50.5	41.2	29.9	20.8	16.3	9.49	7.32	5.88	4.81	4.09	3.15	2.61	1.36

Potencia Constante de Descarga (Wattios/celda) a 25 °C (77°F)

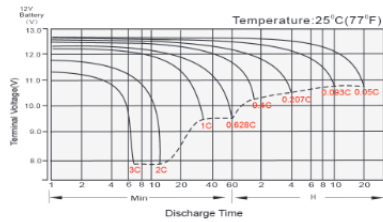
V/Tiempo	5min	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/Celda	90.5	70.2	58.8	51.3	40.1	29.8	25.2	15.0	11.8	9.62	7.87	6.84	5.54	4.64	2.55
1.80V/Celda	120.2	88.7	70.1	59.8	46.6	34.4	28.1	16.3	12.6	10.2	8.40	7.31	5.86	4.78	2.57
1.75V/Celda	132.7	95.9	75.6	63.7	48.0	35.4	29.3	16.8	12.8	10.4	8.60	7.49	5.95	4.90	2.59
1.70V/Celda	142.0	102.1	79.6	66.4	49.7	36.6	30.1	17.2	13.1	10.7	8.80	7.63	6.03	4.99	2.64
1.65V/Celda	154.4	109.2	84.0	70.1	52.0	37.2	30.6	17.4	13.6	11.0	9.01	7.77	6.11	5.09	2.67
1.60V/Celda	166.4	115.9	88.3	73.8	54.5	38.6	30.7	18.0	14.0	11.3	9.27	7.92	6.15	5.14	2.68

Dimensiones (mm)

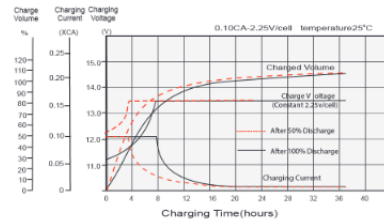
- Terminal



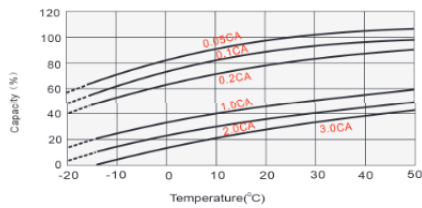
Características de Descarga



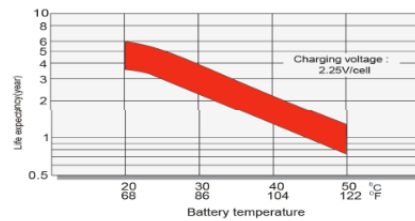
Características de Carga en flotación



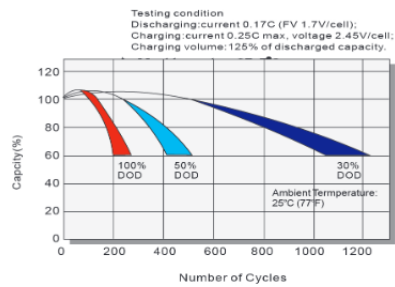
Efectos de la temperatura en relación con la capacidad de la batería



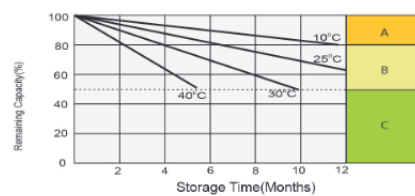
Efecto de la temperatura sobre la vida útil de la batería en flotación



Ciclo de vida en relación a la profundidad de descarga



Características de Auto-descarga



- A** No requiere carga suplementaria (Realizar la carga suplementaria antes de usar si se requiere el 100% capacitad).
- B** Se requiere carga suplementaria antes usar. Opciones de Carga:
 - Cargue durante 3 días con una corriente constante 0.25CA y un voltaje constante 2.25V / celda.
 - Cargue durante 20 horas con una corriente constante 0.25CA y un voltaje constante 2.25V / celda.
 - Cargue durante 8-20 horas con una corriente limitada 0.05CA.
- C** Después de realizar cargas suplementarias es difícil recuperar la capacidad de la batería. La batería no debe almacenarse por periodos prolongados de tiempo.

SEAFLO®

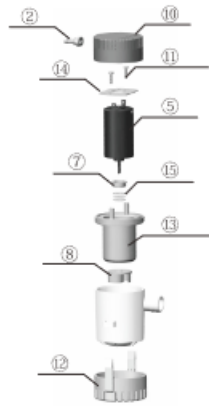
Bilge Pump Manual-01 Series

TROUBLE SHOOTING SECTION

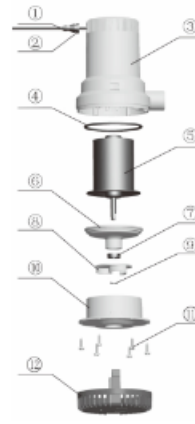
Symptom	Possible Cause	Cure
Reduced flow	Plugged strainer	Clean outside of strainer and clean debris from around impeller.
	Discharge line plugged	Clean out hose by backflushing.
	Low battery voltage	Check battery condition and charge if necessary.
	Kinked discharge hose	If hose is kinked because of sharp bend, convert to hose which will not kink at bends.
No water pumped	Wire connections	Make sure wire connections are not corroded. Visual check is not enough a slight pull on each wire will tell if the wires are still joined. Check to be sure no wire joins are hanging down into the water.
	Fuse melted	Check fuse to see that it is the correct size if fuse still blows, check impeller through inlet opening to be sure it is not jammed or stuck with debris.
	Float switch failure	Lift end of float switch up -if pump runs, switch is OK. If pump does not run, turn Manual SWITCH TO on position-if pump runs, automatic switch has failed.
Pump won't shut off	Something under float	Clean under the float to make sure debris is not holding the float up.
	Stuck float	Check to see that the float is loose and free of gummy bilge oil. If float action appears sluggish and/or the float does not move freely, intermittent or sporadic operation of the pump may occur. This condition is usually the result of oil and/or Dirt accumulating in and around the movable parts of the switch. To correct, try soaking the entire switch in Marine cleaner for ten minutes, agitating several times and checking for smooth and free operation of the float. Repeat if necessary.
	Switch mounted too low	If the pump is sucking air and the automatic switch has not reached the OFF position, then the switch may be mounted too low for the pump and should be reinstalled at least 1/4 higher than the pump base.
Wires over heated. Melted insulation	Combination of jammed impeller and wrong size fuse.	Be sure impeller is clean of debris and is free to rotate. Reduce fuse to proper size. Replace damaged wiring and/or switch.
Repeated melted fuse	Fuse size or jammed impeller	Be sure fuse has amp rating. Check impeller to see that it is not bound up by fish line, etc.

CONFIGURATIONS

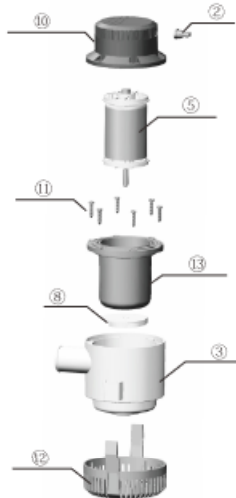
You have just purchased one of the best quality bilge pumps available in the industry. It was developed after years of experience, research and testing by our research staff and thousands of users. It is built to give years reliable trouble free performance. Improper installation and wiring are the number one reason for premature pump failure and poor performance. These pumps are rated. (Ignition protected)



350GPH-1100GPH



1500GPH-2000GPH



3000GPH-4700GPH

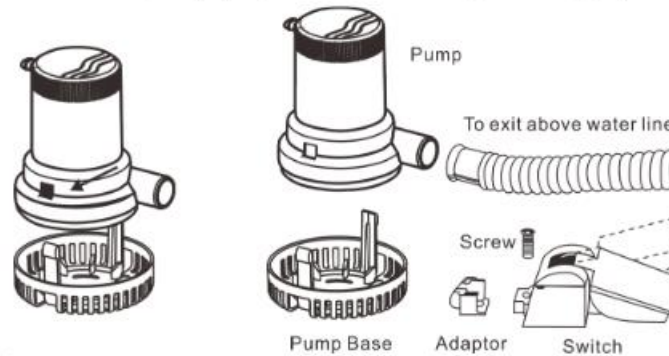
NO.	NAME
1	Wire
2	Wire Buckle
3	Pump Housing
4	Seal
5	Motor
6	Seal Cover
7	Oil Seal
8	Impeller
9	Snap Spring
10	Pump Cover
11	Tapping Screw
12	Strainer
13	Motor Cover
14	Motor Bracket
15	Gasket

INSTRUCTIONS

STEP 1

Remove the strainer from the bottom of the pump by depressing the lock tabs on both sides of the pump.

CAUTION: Strainer must always be properly installed before attaching and running pump.



STEP 2

Determine the desired location for the pump. If only one pump is used it is usually located where the water is deepest in the bilge while the boat is at rest. The installation must allow for complete drainage of the hose. All water pockets must be eliminated by having the hose running level or continuously upward.

STEP 3

Position the strainer so that pump nozzle is in the proper position to connect to the discharge hose.

STEP 4

A. If attaching the strainer to wood, fasten with stainless steel screws.

B. If attaching the strainer to metal or fiberglass, first mount a wooden block and then fasten the strainer to the wooden block.

STEP 5

Mount the pump on the strainer so that both 1 1/2" lock- tabs snap into place. (The pump may be reversed on these tabs if so desired.)

STEP 6

Attach 1 1/8" I. D. Hose to the discharge nozzle and fasten with a stainless steel clamp. The hose (Model #80) is recommended because it will not kink when making sharp bends.

If your pump is replacing a competitive model with small diameter hose which is hard to replace, you may use the Adaptor Model #69 to adapt to the smaller hose.

Note:

Restricting the flow from the pump by using a smaller hose does not damage the pump. However, it will reduce the flow.

STEP 7



A. For most installations, install a full size 1 1/8" I. D. Thru-hull fitting to achieve the rated flow of the pump. Located the thru-hull fitting at least 12" above the water line to prevent water from flowing back into the hull when the pump is off.

B. For stern installations, place the 1 1/8" thru-hull fitting high enough in the stern so that submergence of the fitting will not occur under any conditions.

STEP 8

In order to prevent electrolysis and corroded wire connections, its essential that all wire ends and terminals be sealed with heavy duty marine sealant and located above the highest possible water level by fastening with insulated staples or plastic straps.

When installing your pump, 16 gauge wire should be used. However, if your installation is over 20" from the battery source, the wire size should be increased to 14 gauge. Using a wire which is too small causes undesirable heat in the wires and results in a voltage drop and lower performance of the pump.

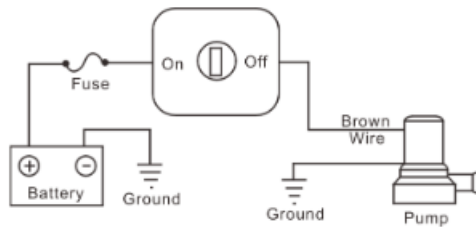
STEP 9

To protect your electrical wiring and automatic switch from possible overload install a fuse in the positive(+) lead from the battery.

If using a panel switch with a fuse holder, check to see that the proper fuse is being used. You may wish to install a panel Switch with a built-in fuse holder.

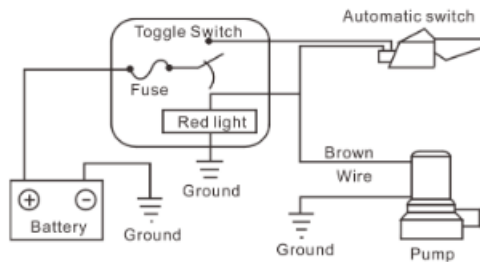
STEP 10

Follow one of the two wiring diagrams:



Wiring for manual Operation

The manual system is the simplest system but it only provides ON-OFF control of the pump. Consequently, pump are often left ON longer than necessary.



Wiring for Automatic Operation

The automatic system assures that the vessel is always pumped out, even when unattended. In extends the life of the pump and your battery by automatically shutting the pump off when the water has been pumped out.

The automatic system can also provide for manual control of the pump by installing a panel switch. These switches have a "fail-safe" feature which automatically returns the switch to the "off" position , preventing the pump from being inadvertently left on.

STEP 11

Polarity is important. If it is not correct, the pump rotate backwards. Water will still come out of the discharge nozzle but the flow will be very much reduced. On the 1500/2000 pump the correct polarity will be obtained when the brown wire of the pump is connected to the POS or + side of the battery. The way to verify that the direction of rotation (and thus the polarity) is correct is to look into the running and see if the impeller rotates in the direction of the arrow molded into the bottom. Never insert fingers or other objects into the inlet hole.



STORAGE

The pump itself is not affected by freezing temperatures. However, if the pump is embedded in ice or surrounded by ice, it cannot be used. Never turn the pump on if it is embedded in or surrounded by ice.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 26/ 07 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Kevin Patricio Lema Londo Alex Fabricio Lizalde Alvarado
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Mecánica
Título a optar: Ingeniero Mecánico
 Ing. Nelson Santiago Chuquín Vasco MSc Director del Trabajo de Titulación
 Ing. María Verónica Albuja Landi MSc. Asesor del Trabajo de Titulación