



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE
GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**PROPUESTA DE DISEÑO Y ESTUDIO DE UN FILTRO
DE GRAVA PARA POTABILIZAR EL AGUA
SUBTERRANEA PARA EL CONSUMO EN UNA FINCA
UBICADA EN LA VIA PROGRESO-PLAYAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Industrial

AUTORES: Bryan Fernando Arias Oñate
Johnny Marcos Gonzabay Santana
TUTOR: Ing. Marcelo Berrones Rivera, M.I.A.

Guayaquil-Ecuador
2022


CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Bryan Fernando Arias Oñate con documento de identificación N° 0927202838 y Johnny Marcos Gonzabay Santana con documento de identificación N°0920400686; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 16 de marzo del año 2022

Atentamente,



Johnny Marcos Gonzabay Santana
C. C. No.: 0920400686



Bryan Fernando Arias Oñate
C.C. No.: 0927202838


CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Bryan Fernando Arias Oñate con documento de identificación No.0927202838 y Johnny Marcos Gonzabay Santana con documento de identificación No.0920400686, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Propuesta de diseño y estudio de un filtro de grava para potabilizar el agua subterránea para el consumo en una finca ubicada en la vía Progreso-Playas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 16 de marzo del año 2022

Atentamente,



Johnny Marcos Gonzabay Santana
C.C.No.:0920400686



Bryan Fernando Arias Oñate
C.C.No.:0927202838

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marcelo Berrones Rivera, con documento de identificación N°0914078290, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROPUESTA DE DISEÑO Y ESTUDIO DE UN FILTRO DE GRAVA PARA POTABILIZAR EL AGUA SUBTERRANEA PARA EL COMSUMO EN UNA FINCA UBICADA EN LA VIA PROGRESO-PLAYAS, realizado por Bryan Fernando Arias Oñate con documento de identificación N° 0927202838, y Johnny Marcos Gonzabay Santana con documento de identificación N° 0920400686, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 16 de marzo del año 2022

Atentamente,



Ing. Marcelo Berrones Rivera, M. I. A.

C.C.No.:0914078290

iv

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de titulación a Dios y a toda mi familia, ya que de una u otra forma ayudaron y aconsejaron para finalizar con los estudios en la Universidad. A mi padre Joffre arias y madre Mónica Oñate por su comprensión, consejos y ayuda en los momentos difíciles que hemos pasado durante estos 5 años de la carrera universitaria.

También dedico a mi tío Joselo Pérez y tía Carmen Arias por su colaboración, paciencia y ayuda con los recursos necesarios para poder estudiar y culminar la carrera universitaria.

Bryan Arias Oñate

Dedico este proyecto de tesis con todo mi corazón a mis padres, Letty Santana y Marcos Gonzabay por mostrarme el camino de la superación ya que sin ustedes no lo hubiera conseguido. Muchos de mis logros se los debo a ustedes, sus bendiciones que a diario y a lo largo de mi vida me protegen y alumbrar mi camino para el bien, ahora madre me vez desde el cielo y sé que estarías orgullosa que esté cumpliendo mi meta.

A ustedes mis amados hijos, Amy y Evans Gonzabay quienes supieron esperar pacientemente y comprender lo que estaba realizando era un proyecto donde tarde o temprano obtendría la recompensa de este logro, ustedes son la razón por la que cada día me esfuerzo por el presente y el futuro, ustedes son mi motivación.

Johnny Marcos Gonzabay Santana

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres por apoyarme siempre y estar a mi lado en los buenos y malos momentos, por ser las bases importantes en mi formación en carácter y educación como persona y como profesional. Al Ingeniero Marcelo Berrones por el tiempo y ser guía para ayudarnos a culminar la tesis. A mi compañero de tesis Johnny Gonzabay por su colaboración, esfuerzo y tiempo para finalizar el proyecto.

Bryan Arias Oñate

Agradezco a Dios por guiar mi camino y hacer que las puertas se abrieran para mí, ahora más que nunca tengo claro el significado de la palabra FÉ pues de ella me aferre para entender que no estaba solo en el duro camino que elegí seguir en la universidad. Agradezco a mis padres y familia por confiar siempre en mí, aún cuando he tropezado, ustedes con amor me enseñaron a levantarme y continuar sin rendirme, las bases que cementaron mí, como el carácter y la disciplina para alcanzar mis metas son parte fundamental en mi éxito profesional.

A la universidad y al Ing. Marcelo Berrones y así como todos los educadores los cuales con dedicación y todo su esfuerzo nos llevan a ser mejores profesionales cada día, puedo ver en ellos amigos donde puedo confiar mis dudas y me sabrán guiar para superar cualquier obstáculo futuro. También a mi compañero y amigo Bryan Arias por el esfuerzo y perseverancia para culminar el proyecto de tesis.

Johnny Marcos Gonzabay Santana

RESUMEN

El agua potable constituye un líquido vital por naturaleza, de ahí su disponibilidad es importante para poder desarrollar casi cualquier tipo de actividad en la sociedad. Debido a esto es que resulta muy necesario contar con su normal suministro, pero cuando se carece de este servicio vital, se presenta una problemática de proporciones considerables. Esta deficiencia en el suministro se presenta en muchas localidades del Ecuador, de manera especial en la localidad del Barrio San José, ubicada en la Vía Progreso-Playas. El presente estudio propone como objetivo diseñar un sistema de potabilización de agua subterránea para el consumo de los habitantes del Barrio San José, para lo cual se ha establecido un marco metodológico basado en la aplicación de las normativas vigentes que rigen tanto la construcción de redes de distribución, así como para el cálculo de los parámetros necesarios para poder diseñar un filtro para poder purificar e agua mediante el cumplimiento de los parámetros, ya sean estos físico-químicos y biológicos, los cuales están establecidos por las diferentes normas regidas en el territorio ecuatoriano que regulan la calidad del agua potable para el consumo humano. Como resultados se tiene el cumplimiento de parámetros físico químicos aunque en los parámetros tales como la demanda química del oxígeno, debido a la naturaleza del diseño netamente experimental, no se llegó a cumplir.

Palabras clave: Filtro, Barrio San José, red hidráulica, aguas subterráneas

GLOSARIO DE TERMINOS

Adsorción: La adsorción es un fenómeno físico, en donde un compuesto en fase líquida o gaseosa entra en contacto con un sólido adsorbente y se adhiere a la superficie de este, mediante una fuerza física este proceso no implica intercambio de electrones, lo que lo hace reversible (Farias, 2009).

Agua para consumo humano: Agua utilizada para beber, preparar y cocinar alimentos u otros usos domésticos, independiente del origen y suministro, con características físicas, químicas y microbiológicas que garanticen su inocuidad y aceptabilidad para el consumo humano (Ruiz, 2017).

Agua Cruda: Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

Arena de sílice: La Arena de Sílice está compuesta por cristal de cuarzo, el cual se encuentra en abundancia en la corteza terrestre, Es un mineral refractario cuya fórmula química SiO_2 (dióxido de silicio) (Quintana, 2017).

Basalto: El Basalto es un material compacto, duro, aunque frágil y poco resistente al fuego. Generalmente de color oscuro o negro denso, es la roca que da las mayores resistencias (roma, 2018).

Carbón activado: El carbón activado hace referencia a un conjunto de carbones que se caracterizan por su capacidad de adsorción gracias a sus pequeños poros, en estos poros, el carbón activado atrapa distintas clases de compuestos, muchas veces orgánicos (Farias, 2009).

Dolomita: La Dolomita es un mineral compuesto de carbonato de calcio y magnesio, su tenacidad es frágil, Abunda en la naturaleza en forma de rocas dolomíticas y se utiliza como fuente de magnesio y para la fabricación de materiales refractarios (Parraga, 2018).

Dureza total: “Se entiende por dureza total la suma de las durezas individuales debidas a los iones de calcio, magnesio, estroncio y bario en forma de carbonato o bicarbonato. La composición química del agua y su contenido en las sales de los iones antes mencionados depende del suelo del que provienen” (Ruiz, 2017).

Grava: Se denomina grava a las rocas sedimentarias detríticas producto de la división natural o artificial de otras rocas y minerales, está constituida principalmente por rocas ricas en cuarzo y cuarcita, También por clastos de caliza, basalto, granito y dolomita (Parraga, 2018).

Límite permitido: Valor de un requisito fijado dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento, que no ocasiona ningún riesgo significativo para la salud humana (Quintana, 2017).

Mg/l: (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

Microorganismo patógeno: Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.

Per cápita: Generalmente se utiliza para indicar la media por persona en una estadística social determinada.

El uso más común es en el área de los ingresos. Así, existen índices de renta per cápita,

Retro lavado: El retro lavado es la operación de mantenimiento más importante para el correcto desempeño una cama con un medio granular, que puede ser de carbón activado, arena, zeolita, o lechos multimedia (chica, 2015).

Sólidos totales disueltos: Fracción filtrable de los sólidos que corresponde a los sólidos coloidales y disueltos (Trujillo, 2019).

UFC/ml: Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias

µg/l: (microgramos por litro), unidades de concentración de parámetros fisicoquímicos.

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

Potabilización: “es el proceso por el cual se trata el agua para que pueda ser consumida por el ser humano sin que presente un riesgo para su salud. Se refiere tanto para beber como para preparar alimentos” (pluas, 2019).

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA	ii
DECLARACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR	iii
DECLARACION DE DIRECCION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	vii
GLOSARIO	viii
INDICE	xi
Introducción	1
Capítulo 1	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Delimitación	3
1.3 Plazo de construcción del proyecto	3
1.4 Importancia y alcance	3
1.5 Grupo objetivo (beneficiarios)	4
1.6 Objetivos	4
1.6.1 Objetivo general	4
1.6.2 Objetivos específicos	4
Capítulo 2	6
Marco teórico	6
2.1 Bases teóricas	6
2.1.1 Carbón activado	6
2.1.2 Grava	7
2.1.3 Estructura de la torre	8
2.1.4 Tanques de polietileno	8
2.1.5 Bomba sumergible ST3514	9
2.2 Marco legal	10
2.2.1 NTE INEN 2956	10
2.2.2 NTE INEN 2497	13
2.2.3 NTE INEN 1108	15
Capítulo 3	18
Marco metodológico	18
3.1 Levantamiento de la información	18
3.2 Estudio y diseño de red de tubería	18
3.2.1 Caudal y presión	18
3.2.2 Presión de la bomba	20

3.2.3	Número de Reynolds	22
3.2.4	Ecuación de Darcy Weisbach	23
3.2.5	Pérdida de cargas por accesorios	24
3.2.6	Presión en el punto 2	25
3.2.7	Presión en el punto 3	28
3.3	Tiempo de retención hidráulica (TRH)	29
3.3.1	TRH tanque 1	29
3.4	Análisis del agua	30
3.4.1	Análisis Microbiológico del agua	30
3.4.2	Prueba piloto	31
3.5	Diseño del filtro de grava	31
3.5.1	Ficha técnica del filtro de grava	32
3.5.2	Ventajas	32
3.5.3	Función	33
3.5.4	Especificaciones caseras	33
3.5.5	Características del afluente a tratar por el filtro	35
3.6	Factor de seguridad de la estructura metálica	37
3.6.1	Análisis y diseño de la torre de soporte para tanque elevado	37
3.7	Red del filtro de agua	
Capítulo 4		53
Análisis de resultados		53
4.1	Resultados obtenidos	53
4.2	Discusión de resultados	54
4.3	Trabajos futuros	55
Conclusiones		55
Recomendaciones		58
Bibliografía		59
Anexos		61
Anexo 1: Reportes de laboratorio		
Anexo 2: Elementos de la planta piloto		
Anexo 3: Red de tuberías del sistema hidráulico		
Anexo 4: Medidas para plintos		
Anexo 5: Diseño de la torre para potabilización		

Introducción

El agua constituye una fuente de vida para todas las personas, por lo que estas deben tener un suministro satisfactorio, es decir que el agua sea suficiente, accesible y sobre todo segura. La mejora del acceso y calidad del agua de consumo humano puede proporcionar beneficios tangibles para la salud, por esta razón se ve la necesidad de lograr que el agua de consumo humano sea tan segura como sea posible.

En la actualidad existe mucha escasez de agua en nuestro país, especialmente en las zonas rurales, de manera específica en el Barrio San José, ubicada en la Vía Progreso-Playas, por este motivo las personas del sector realizan métodos tradicionales de tratamiento de agua, que consiste en la ebullición de este, es decir hervir el agua, para eliminar los microorganismos presentes. Debido a que este método no es muy eficiente, ya que al hervir el agua y posteriormente enfriarse, corre el riesgo de re-contaminarse durante este proceso de enfriamiento si no se la protege y almacena de manera adecuada, además, para hervir el agua se requiere una cantidad significativa de combustible, lo cual representa un costo monetario e impacto ambiental relacionado.

Capítulo 1.

1.1 Antecedentes

Los habitantes del Barrio San José, ubicado en la parroquia Gómez Rendón (Progreso), en la Vía a la Costa; utilizan un suministro de agua subterránea (pozo) para el consumo de la localidad y para la agricultura, el cual acarrea sedimentaciones, tales como hierro y magnesio; por ende, es perjudicial para la salud humana, debido a que el consumo de agua con exceso de hierro provoca enfermedades graves tales la diabetes e insuficiencias cardíaca y hepática. El citado pozo posee 55m de profundidad y la extracción del líquido vital se la realiza por medio de una bomba sumergible, la cual ayuda a transportar el agua hacia la piscina de almacenamiento y por medio de mangueras se realiza la distribución del agua para consumo de los habitantes y del sembrío.

Mediante una visita al Barrio San José, se pudo evidenciar la inexistencia de servicio de agua potable, lo cual es una gran dificultad para los habitantes de la finca ya que se les complica para preparar su alimentación y al no poseer agua potable tienen que movilizarse al punto de abastecimiento más cercano para comprar agua embotellada y esto genera un gasto, debido a que el punto para poder adquirirla se ubica a una distancia considerable para su adquisición. Se pudo evidenciar además deficiencia de servicio eléctrico, por lo que utilizan un generador a base de combustible (gasolina) para el funcionamiento de dicha bomba y poder extraer el agua del pozo.

Sobre la calidad del agua, se puede detallar un cuadro con a las características que normalmente se determinan mediante la evaluación de aguas subterráneas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en donde se puede observar las condiciones en las que se encuentra el líquido vital en el Barrio San José (ver Tabla 1).

Tabla 1

Agentes patógenos del agua subterránea

Grupo de agente patógeno o indicador	Lagos y embalses	Ríos y arroyos afectados	Ríos y arroyos silvestres	Aguas subterráneas
<i>Campylobacter</i>	20–500	90–2500	0–1100	0–10
<i>Salmonella</i>	—	3–58000 (3–1000) ^a	1–4	—
<i>E. coli</i> (genérica)	10000–1000000	30000–1000000	6000–30000	0–1000
Virus	1–10	30–60	0–3	0–2
<i>Cryptosporidium</i>	4–290	2–480	2–240	0–1
<i>Giardia</i>	2–30	1–470	1–2	0–1

Fuente: (OMS, 2006)

1.2 Delimitación del problema

Campo: Educación superior (tercer nivel)

Área: Ingeniería Industrial

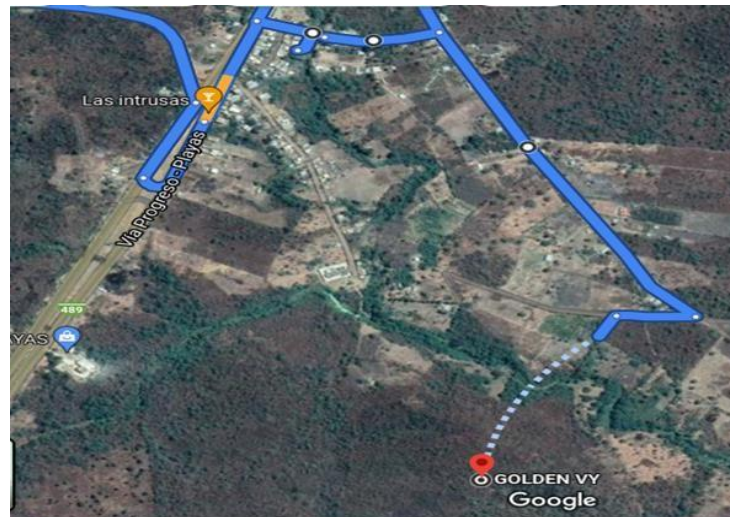
Delimitación espacial: Ecuador, Provincia del Guayas, cantón Playas, Barrio San José

Delimitación temporal: 5 meses

La ubicación del Barrio San José (parroquia Progreso), el cual será objeto de estudio en el presente trabajo de titulación, se representa mediante la Figura 1 a continuación:

Figura 1

Ubicación geográfica de La Finca



Fuente: (Google, 2021)

Y cuyas coordenadas geográficas corresponden a:

Latitud: 2°24'53.7"S

Longitud: 80°21'58.1"W

1.3 Plazo de construcción del proyecto

El tiempo de ejecución del diseño del filtro de grava propuesto para el Barrio San José es de 5 meses (20 semanas) aproximadamente.

1.4 Importancia y alcance

Se puede destacar la importancia de este proyecto, debido al diseño de un sistema de potabilización de agua con filtros construidos mediante la utilización de recursos fácilmente accesibles, minimizando los costos de la inversión, además de ser amigable con el ecosistema y a

su vez que cumplan con todas las normas de calidad vigentes; para garantizar la propuesta mediante el estudio técnico aplicado para el diseño de una planta industrial de agua potable apta para el consumo humano.

La Finca está ubicada a pocos kilómetros del carretero principal de Progreso Vía a Villamil-Playas, dicha localidad presenta un alto índice de escasez de agua, el mismo que se compensa por medio de recursos externos, tales como ríos o agua de lluvia. Lo cual obliga a buscar otros métodos tales como la perforación del suelo, creando fuentes de agua, tales como pozos con afluencia subterráneas.

Las condiciones de almacenado de agua no permiten mantener una calidad de agua confiable para el consumo, debido a que la se la considera como **agua cruda**, por las condiciones de extracción del pozo con perforación hídrica como fuente principal, de esta manera no se puede establecer si el agua está libre de metales pesados, así como de microorganismos patógenos.

1.5 Grupo objetivo (beneficiarios)

La implementación y puesta en marcha del diseño formulado en la propuesta, beneficiaría a los habitantes de la localidad, así como a los habitantes que se dedican a actividades de agricultura. Los principales beneficiarios en la implementación de este proyecto técnico son los habitantes del Barrio San José, los trabajadores y dueños de las tierras para cultivo, ya que el mismo será desarrollado con la finalidad de optimizar los tiempos de riego en los sembríos y a su vez potabilizar el agua para mejorar el bienestar y salud de los habitantes en general.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de potabilización de agua subterránea para el consumo de los habitantes del Barrio San José, ubicado en la vía Progreso- Playas.

1.6.2 Objetivos específicos

- Realizar los estudios para el diseño de un filtro de grava para potabilizar el agua del barrio San José.
- Separar sedimentaciones a través de procesos de filtración.
- Elaboración del estudio técnico de la torre base para sistema de potabilización del agua de pozo utilizado en el barrio San José.

- Esquematizar una red de tuberías hídricas para el reabastecimiento del sistema para agua potable.
- Proponer el proyecto en base a las normas de calidad estipuladas bajo la Ley del Ministerio de Salud.

Capítulo 2 Marco teórico

2.1 Bases teóricas

2.1.1 Carbón Activado

El carbón activado se obtiene por descomposición térmica de materiales con alto contenido en carbono, su origen se obtiene de muchas maneras, habiéndose utilizado diversos tipos de materias vegetales (semillas, maderas, almendras, nueces, cocos, entre otros), así como desechos de industrias papeleras y de procedencia animal. Sobre el carbón activado, el autor Campello (2019) comenta:

El carbón activado es un material cuyos usos se remontan a épocas relativamente lejanas, comenzando probablemente a ser usado como adsorbente de venenos e intoxicaciones estomacales hace cientos de años. El amplio uso del carbón activado se ha debido a su facilidad para adsorber, en gran cantidad, casi cualquier molécula, siempre y cuando esta tenga las dimensiones adecuadas para penetrar en la porosidad y/o cavidades del material. Su uso se ha ido incrementando a lo largo de la historia en cuanto se han ido vislumbrando nuevos procesos de síntesis y nuevas fuentes precursoras, con las cuales obtener carbones con mayor grado de porosidad y mejor comportamiento. (p. 3)

Estructura del carbón activado

La estructura se clasifica según el tamaño de poros, de acuerdo con el siguiente criterio:

- Microporos, tiene un diámetro menor a 20Å que confiere al 95% del área.
- Mesoporos, diámetros comprendidos entre 20 y 1000 Å , que contribuyen a hasta el 5% del área.
- Macroporos, con diámetros superiores a 1000 Å .

Sobre los tipos de carbón activado el autor Campello (2019), agrega:

Existen, por lo tanto, carbones activos con diferente rango de porosidad, comprendida entre los microporos, que son considerados aquellos inferiores a 2 nm, hasta los mesoporos, entre 2 y 50 nm, con una mayor proporción de un tamaño de poros u otros según las condiciones de activación. En cuanto a la forma de los poros, también se suelen diferenciar 2 grandes tipos, poros laminares o de rendija, más propios de carbones grafitizables, donde se forman poros entre las láminas de carbonos y poros cilíndricos, más propios de otros materiales porosos como zeolitas. (p. 10)

2.1.2 Grava

En geología y construcción, las partículas de roca entre 2 y 64 mm de tamaño se denominan grava, aunque no existe un criterio único para un límite superior. Pueden ser artificiales, en cuyo caso a menudo se denominan "roca partida" o "roca triturada", y son naturales. También hay casos en los que la grava natural no es adoquín. Estos agregados son partículas de roca granular de varios tamaños. Este material surge de la fragmentación de diferentes rocas en la corteza terrestre, que pueden ser naturales o artificiales.

La grava de sílice se produce triturando la roca de sílice de textura abierta, tamizándola de acuerdo con la distribución de grano requerida, en el presente proyecto se utilizará este tipo de grava ya que es un material económico, es un material de granulo duro y es muy eficiente en la filtración del agua sin importar de donde sea su origen.

En el mercado se las encuentra con las siguientes medidas:

- 1/8 x 1/16" — 3.175 x 1.58 mm (Cuarzo).
- 1/4 x 1/8" — 6.35 x 3.175 mm (Cuarzo).

Filtro de grava lento

Los filtros lentos son aquellos que tienen una capa de grava y arena, el agua fluye a través de esta capa por la sola acción de la gravedad y por esta razón también se conocen como filtros de tamiz por gravedad. La tasa de filtración en este tipo de filtro es muy lenta y el área de superficie o área de filtración es grande, por lo que es necesario para una cierta tasa de flujo. Para caracterizar un filtro y conocer sus dimensiones para un flujo o gasto de agua determinado se emplea la relación Gasto/A o Q/A. Para un filtro lento se emplea una relación Q/A de 0.6 a 6 LPM/m². Sobre la operación de un filtro lento, los autores Calle y Romero (2019) enfatizan:

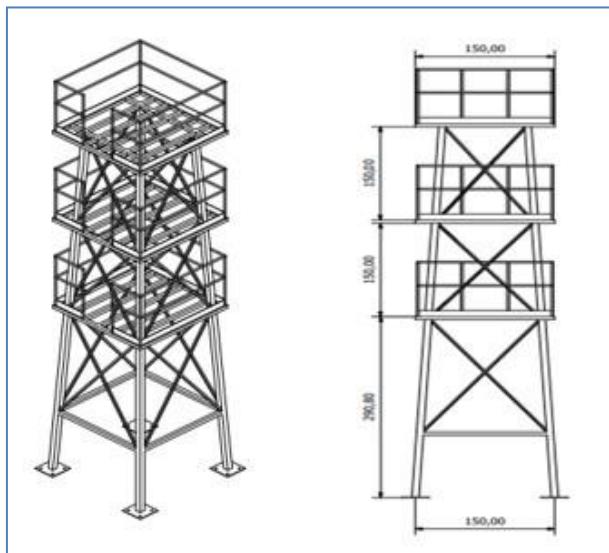
Uno de los puntos para que funcione como filtro lento es que su tasa de filtración debe estar entre 0.1 – 0.3 m/h, esta velocidad se controla de acuerdo con la capa sobrenadante que se forma cuando ingresa el agua al filtro. (p. 59)

2.1.3 Estructura de la torre

La estructura metálica de la torre es la base que soportara los contenedores para almacenamiento del agua y sus filtros también; aprovechando al máximo la ventaja que proporciona la bomba sumergida para suministrar el fluido hasta la parte más alta, aprovechando la caída del agua por gravedad y de esta manera poder descartar el uso de un generador a combustible con una bomba para la circulación del agua teniendo en cuenta que no se cuenta con electricidad en la localidad. Dicha estructura se grafica en la Figura 2.

Figura 2

Vista de la torre metálica



Fuente: (Gonzabay, 2022).

2.1.4 Tanques de polietileno

Estos contenedores son tanques fabricados en polietileno de media densidad, de forma cilíndrica vertical, en el presente trabajo de utilizarán 3 tanques, 2 con capacidades de 250 litros, cuya altura es de 860 mm y su diámetro es de 590 mm y un tanque de 208 litros, cuya altura es de 940 mm y un diámetro de 560 mm. Normalmente sirven para el almacenamiento de productos para el consumo humano, estos materiales cuentan con la aprobación de las Naciones Unidas (ONU), para usos preventivos del dengue, ya que son herméticos, cuentan con una tapa a presión garantizando la conservación del agua. Bajo estas condiciones se puede establecer la idoneidad de este modelo de tanque, considerado el más apropiado para el desarrollo de este proyecto, donde se usarán tres tanques, el primero está destinado para el almacenamiento del agua cruda con una altura aproximada de 6 metros, el segundo tanque y más importante ya que en este

se encuentran los diferentes materiales que cumplen las funciones del filtrado como el carbón activado, la grava, la arena, el basalto, la dolomita; el tercer tanque es donde se almacena el agua filtrada es decir ya potabilizada.

2.1.5 Bomba sumergible ST3514

Este tipo de bomba sumergible reúne las características necesarias para cumplir con las condiciones de la perforación efectuada, esta provista de una conexión con un diámetro de 4 pulgadas y proporciona un rendimiento de potencia de 3 hp, con un caudal de salida aproximado de 160 l/m.

Se propone para bombear agua limpia, con un contenido de arena no superior a 150 g/m³. Debido al alto rendimiento y fiabilidad, son aptas para usos en aplicaciones domésticas, civiles e industriales, para la distribución del agua en acoplamiento con autoclaves, riegos e instalaciones de lavado. Las características (Figura 3), así como las curvas de rendimiento de la bomba (Figura 4), se muestran a continuación:

Figura 3

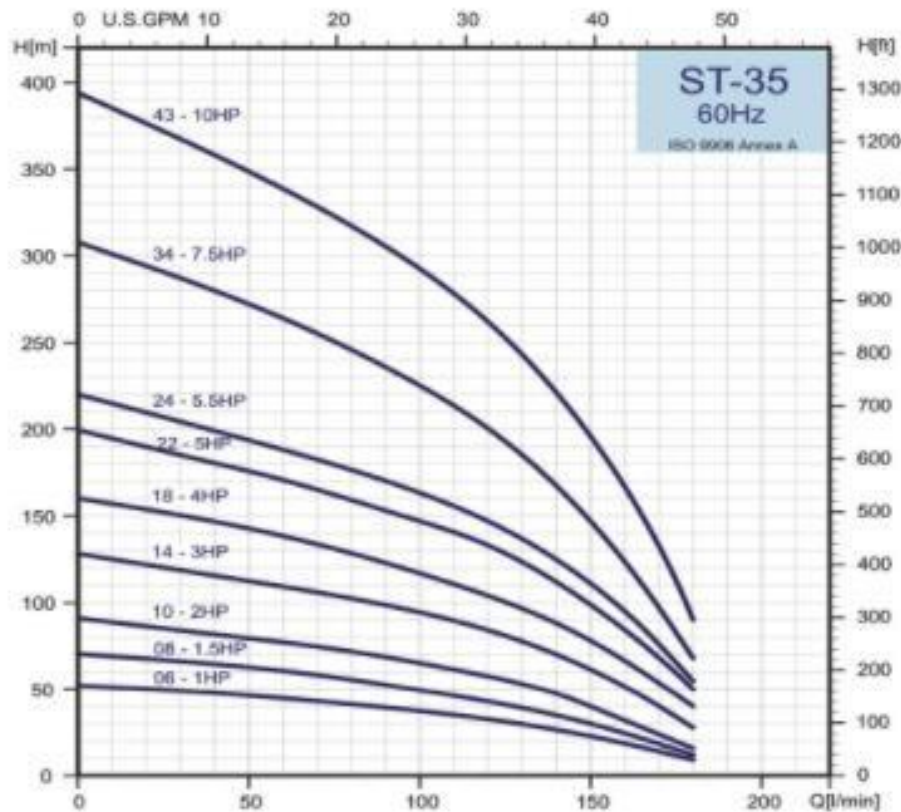
Características de la bomba ST-3514

Selection Chart															
PUMP TYPE	STAGES	MOTOR		Q=DELIVERY											
		KW	HP	l/min	50	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200
				m ³ /h	0	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	7.2	8.4	9.6	10.8
H=TOTAL HEAD IN METERS															
ST-3506	6	0.75	1.0	52		44	43	42	40	38	33	27	18	9	
ST-3508	8	1.1	1.5	70		60	58	55	52	50	43	35	24	12	
ST-3510	10	1.5	2.0	91		77	75	72	69	65	58	48	32	17	
ST-3514	14	2.2	3.0	128		109	106	102	99	94	83	70	51	29	
ST-3518	18	3.0	4.0	160		139	133	129	123	117	104	89	67	40	
ST-3522	22	3.7	5	200		170	165	159	152	147	132	111	84	50	
ST-3524	24	4.0	5.5	220		189	182	177	170	162	148	125	95	55	
ST-3534	34	5.5	7.5	308		263	255	246	236	225	200	167	122	69	
ST-3543	43	7.5	10	394		339	328	317	305	292	261	220	167	90	

Fuente: (PumpSupermarket, 2021)

Figura 4

Curvas de rendimiento de la bomba ST-3514



Fuente: (PumpSupermarket, 2021)

En base a las Norma técnica ecuatoriana podemos recopilar información relevante para el desarrollo del presente trabajo, así manteniendo en curso bajo una asistencia técnica confiable se tiene una guía con soporte legal, dentro del contexto de las reglamentaciones y normas ecuatorianas, tal es el caso de la norma NTE INEN 2995, norma NTE INEN 2497, NTE INEN 1108, también como soporte técnico la norma colombiana NTC 4384, la cual se considera importante en el análisis para el desarrollo de la propuesta.

2.2 Marco legal

2.2.1 NTE INEN 2956

Esta norma se aplica a los accesorios de polipropileno fabricados mediante el proceso de aspersión para ser utilizados en conductos de agua superficial y subterránea o en sistemas de transmisión, en instalaciones de agua fría y caliente; pueden o no estar destinados a uso humano (sistema doméstico) bajo diseño presión y temperatura en función de las condiciones de funcionamiento. Cada grado se asociará con una presión de diseño, pD, de al menos 1 MPa. Las

presiones de diseño recomendadas para el son 1 MPa y 1,6 MPa.

Los requisitos de desempeño para sistemas de tuberías de agua fría y caliente para conexiones roscadas, según lo dispuesto por esta norma, se especifican para dos clases diferentes de aplicaciones (Norma Técnica Ecuatoriana 2956, 2017).

Tabla 2

Temperatura adecuada para el campo de aplicación de los accesorios de polipropileno.

Campo típico de aplicación	Clase de aplicación	
	1 Suministro de agua caliente (60 °C)	2 Suministro de agua caliente (70 °C)
Temperatura de diseño, T_D (°C)	60	70
Tiempo a T_D (años)		49
Temperatura máxima de diseño, $T_{m\acute{a}x}$ (°C)		80
Tiempo a $T_{m\acute{a}x}$ años		1
Temperatura en mal funcionamiento, T_{mal} (°C)		95
Tiempo a T_{mal} (h)		100

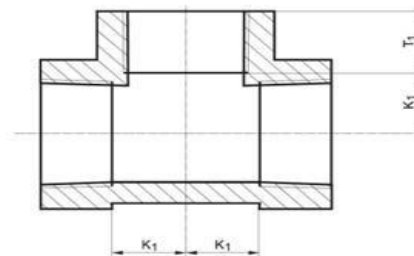
Nota. Cada clase se relaciona con un campo típico de aplicación y para una vida útil de diseño de 50 años. Los campos de aplicación se dan como orientativos, pero no son obligatorios.

Fuente: (Norma Técnica Ecuatoriana 2956, 2017)

Los accesorios que se va a utilizar para la instalación del sistema de potabilización del agua son accesorios tales como: Tees (T), acoples, reductores y tapa rosca con tuerca. Estos accesorios varían entre 2, 1 y ½ pulgada. Dichos elementos se muestran en las Figuras 5, 6, 7 y 8.

Figura 5

Diagrama de Tee



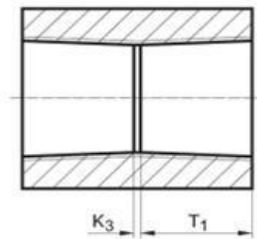
Leyenda

K_1 es la longitud recta entre la intersección de los ejes del accesorio y el inicio de cada sección roscada, en accesorios de 90°.
 T_1 es la longitud roscada (rosca interna) del accesorio.

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2017)

Figura 6

Diagrama del acople



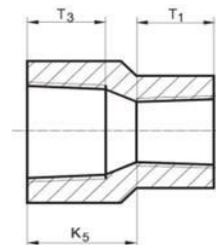
Leyenda

T_1 es la longitud roscada (rosca interna) del accesorio.
 K_3 es la longitud de separación en la rosca interna, entre dos tramos conectados mediante una cupla.

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2017)

Figura 7

Reductor



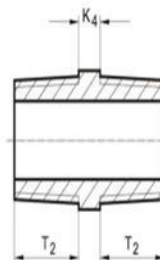
Leyenda

T_1 es la longitud roscada (rosca interna) a la salida de la reducción.
 T_3 es la longitud roscada (rosca interna) a la entrada de la reducción.
 K_5 es la longitud de la entrada de la reducción.

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2017)

Figura 8

Tapa rosca



Leyenda

T_2 es la longitud roscada (rosca externa) del accesorio.
 K_4 es la longitud de separación en la sección no roscada, entre dos tramos conectados mediante una entrerroscas.

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2017)

2.2.2 NTE INEN 2497

Según la Norma Técnica Ecuatoriana de tubería plástica, se establecen los requisitos para los tubos de PVC rígido, en cédula 80, producidos por extrusión para ser utilizados con unión de rosca a una temperatura de 45°C ya sea empotradas y aislada de la luz solar en el transporte de agua potable a presión.

Esta norma debe componerse substancialmente de cloruro de polivinilo al cual se pueden añadir aquellos aditivos necesarios para facilitar el procesamiento de este polímero, y la producción de tubos inocuos, durables, con buen terminado, en su superficie, con buena resistencia mecánica y opacidad, s podrá usar su propio material recuperado limpio, siempre y cuando este provenga de su proceso de extrusión de tubos de PVC y que el producto final cumpla con todos los requerimientos de esta norma. *Nota:* Para la selección del tipo de rosca podrá considerarse lo establecido en la NTE INEN 117.

Los tubos deben ser homogéneos a través de su pared y uniformes en color, opacidad y densidad también la superficie interna y externa del tubo, a simple vista, debe ser uniforme y estar exenta de grietas, fisuras, perforaciones, rugosidades, protuberancias o incrustaciones de material extraños. Deben ser de color gris. El tono será a elección del fabricante. Las dimensiones del diámetro externo promedio, las tolerancias y el máximo ovalamiento, medidas de acuerdo con la NTE INEN 499, deben ser los establecidos en la tabla de ovalamiento máximo aplicará a los tubos, previo al roscado y al transporte. Dichas especificaciones se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3

Tabla de diámetro nominal externo, tolerancias y ovalamiento para tubos de PVC cédula 80.

Diámetro nominal externo del tubo DNE (mm)	Tolerancia de diámetro externo (mm)	Ovalamiento máximo (mm)	Denominación de la rosca
21.34	±0.1	0.41	½
26.67	±0.1	0.51	¾
33.4	±0.13	0.51	1
42.16	±0.13	0.61	1 ¼
48.26	±0.15	0.61	1 ½
60.32	±0.15	0.61	2

Fuente: (NTE INEN 2497)

Los espesores mínimos de pared, medidos de acuerdo con la NTE INEN 499, deben ser los establecidos en la Tabla 4, donde los valores se obtienen aplicando la ecuación de esfuerzo dada en 4.2 con un esfuerzo hidrostático de diseño de 13,834 MPa. La longitud estándar de los tubos de PVC será de 6 m y sus extremos podrán ser lisos o roscados. La longitud de los tubos también podrá establecerse por acuerdo entre fabricante y comprador. El ensayo de impacto debe realizarse como lo establece la NTE INEN 504, bajo las condiciones de la Tabla 4 y 5; con un percutor tipo A.

Tabla 4

Tabla de ensayos de presión hidrostática interior sostenido. Requisitos

Tiempo de ensayo														1 h
Temperatura de ensayo														20 °C ± 2 °C
Esfuerzo hidrostático de diseño recomendado por el PPI ^a σ_s														14 MPa
Esfuerzo inducido en la pared por presión hidrostática interior sostenido, σ														42 MPa
Díámetro nominal externo del tubo DNE (mm)	21,34	26,67	33,4	42,16	48,26	60,32	73,02	88,9	114,30	141,3	168,28	219,08		
Presión nominal del tubo, MPa	2,9	2,34	2,21	1,79	1,65	1,38	1,45	1,31	1,10	0,97	0,97	0,83		
Probeta roscada														
Coefficiente de ensayo $f = \sigma/\sigma_s$														3,0
Presión mínima de ensayo, MPa	8,7	7,02	6,63	5,37	4,95	4,14	4,35	3,93	3,3	2,91	2,91	2,49		
Probeta sin roscar														
Coefficiente de ensayo $f = 2 \sigma/\sigma_s$														6,0
Presión mínima de ensayo, MPa	17,4	14,04	13,26	10,74	9,9	8,28	8,7	7,86	6,6	5,82	5,82	4,98		

^a PPI Plásticas Pipe Institute, ASTM D 1785

Fuente: (NTE INEN 2497, 2019).

Tabla 5

Tabla de condiciones para el ensayo de impacto.

Diámetro nominal externo del tubo DNE (mm)	Masa del percutor (kg)	Altura de caída (mm)
21,34	1,00	
26,67	1,10	
33,40	1,25	
42,16	1,38	
48,26	1,50	
60,32	1,75	
73,02	2,00	2 000 ± 0,1
88,90	2,25	
114,30	2,75	
141,30	3,25	
168,28	3,75	
219,0	4,00	

NOTA Se puede utilizar diferentes masas de percutor y alturas de caída siempre y cuando la energía de impacto sea equivalente

Fuente: (NTE INEN 2497, 2019)

2.2.3 NTE INEN 1108

Según la Norma Técnica Ecuatoriana entre los requisitos que debe cumplir el agua para ser considerada como apta para el consumo humano en el ítem 4:

- El agua para consumo humano debe presentar un sabor y olor aceptables.
- El agua para consumo humano debe cumplir los requisitos físicos y químicos indicados en la Tabla 6, 7, 8, 9 y 10.

Tabla 6

Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano.

Parámetro	Unidad	Límite permitido ^{1>}	Método de ensayo ^e
Arsénico	mg/L	0,01	Standard Methods 3114
Cadmio	mg/L	0,003	Standard Methods 3113
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5	Standard Methods 4500 CI-
Cobre	mg/L	2,0	Standard Methods 3111
Color aparente	Pt-Co	15	Standard Methods 2120
Cromo (cromo total)	mg/L	0,05	Standard Methods 3113
Fluoruro	mg/L	1,5	Standard Methods 4500-F-
Mercurio	mg/L	0,006	Standard Methods 3112
Nitratos (como NO ₃ -)	mg/L	50,0	Standard Methods 4500-
Nitritos (como NO ₂ -)	mg/L	3,0	Standard Methods 4500-
Plomo	mg/L	0,01	Standard Methods 3113
Turbiedad ^a	NTU	5	Standard Methods 2130

^a Se conoce también como *Turbidez*. ^b Los resultados obtenidos deben expresarse con el mismo número de cifras significativas de los límites permitidos, aplicando las reglas para redondear números indicadas en NTE INEN 52.

^c En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben ser normalizados. En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado.

Fuente: (NTE INEN 1108, 2020)

Tabla 7

Parámetro	Unidad	Límite permitido	Método de ensayo"
Coliformes fecales	Número/100ml	Ausencia	Standard Methods 9221b Standard Methods 9222 e
<i>Cryptosporidium</i>	Número de ooquistes/ L	Ausencia	EPA 1623
<i>Giardia</i>	Número de quistes/ L	Ausencia	EPA 1623

a En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben ser normalizados. En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado.

b La ausencia corresponde a " $< 1,1$ NMP/100 mL".

c La ausencia corresponde a " < 1 UFC/ 100 mL".

Fuente: (NTE INEN 1108, 2020)

Tabla 8

Rango de pH del agua para consumo humano.

Parámetro	Unidad	Rango
pH ^a	Unidades de pH	6,5-8,0

a Parámetro de control operativo

Fuente: (NTE INEN 1108, 2020)

Tabla 9

Límites permitidos de parámetros químicos orgánicos del agua para consumo humano.

Parámetro	Límite permitido (mq/L)
1,2-dibromoetano	0,000 4
1,2-dicloroetano	0,03
2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético)	0,03
Acilamida	0,000 5
Aldicarb	0,01
Aldrín v Dieldrín (combinados)	0,000 03
Atrazina y metabolitos de cloro-s-triazina	0,1
Benceno	0,01
Benzalpireno	0,000 7
Carbofurano	0,007
Clordano	0,000 2
Cloruro de vinilo	0,000 3
Diclorodifeniltricloroetano (DDT)	0,001
Endrin	0,000 6
Epiclorhidrina	0,000 4
Estireno	0,3
Tetracloroetano	0,04
Tolueno	0,7
Tricloroetano	0,02
Xileno	0,5

Fuente: (NTE INEN 1108, 2020).

Límites permitidos de parámetros de químicos inorgánicos.

Parámetro	Límite permitido (mg/L)
Antimonio	0,02
Bario	1,3
Boro	2,4
Níquel	0,07
Selenio	0,04

Fuente: (NTE INEN 1108, 2020)

Capítulo 3

Marco metodológico

El presente trabajo de grado se basa en el estudio del agua obtenida del pozo y de la red de tuberías para poder proponer el diseño de un filtro de grava y de esta manera obtener agua potable, lista para el uso de los habitantes del barrio san José. Para llevar a cabo el presente proyecto previamente se realizó una serie de procesos como:

- Levantamiento de información
- Estudio y diseño de red de tubería
- Análisis del agua del pozo
- Propuesta de filtro de grava.

3.1 Levantamiento de información

Al visitar la finca ubicada en la vía Progreso-Playas, específicamente en el barrio san José, se pudo observar que es una finca con terreno irregular y que no cuenta con servicios básicos como energía eléctrica o agua potable; por esta razón los habitantes de la finca construyeron un pozo en donde obtienen agua para uso en irrigación de las plantaciones, pero no tienen agua para poder realizar distintas actividades elementales tales como aseo personal o cocinar.

El pozo construido por los habitantes tiene una profundidad de 30 m y un diámetro de 2 pulgadas, para poder recoger agua para las plantaciones han instalado una bomba sumergible cuyo modelo es ST3514, la bomba tiene las siguientes características:

- Cabeza máxima (pies): 420
- Flujo máximo (Gpm): 47
- Descarga: 2 "
- HP: 3
- Material de la bomba: acero inoxidable 304

3.2 Estudio y diseño de red de tubería

3.2.1 Caudal y presión

Para realizar la instalación del filtro de grava previamente se necesita el estudio del caudal y presión del agua para obtener un óptimo rendimiento del filtro de agua y de esta manera no tener problemas de insuficiencia de agua potable en la finca.

Caudal de la bomba

De acuerdo con la hoja técnica de la bomba ST3514, se determina el caudal (Q) para la altura de 29 m y 51m, pero no se tiene el valor del caudal para la altura del presente caso de 35m, por lo tanto, hay que realizar una interpolación (ver Tabla 11).

Tabla 11

Datos de la altura y caudal de la bomba ST3514

H (m)	Q (l/min)
29	180
35	x
51	160

Fuente: (PumpSupermarket, 2021)

$$\frac{Q - 180}{35 - 29} = \frac{180 - 160}{29 - 51}$$

$$Q = \frac{(35 - 29) * (180 - 160)}{(29 - 51)} + 180$$

$$Q = \frac{6 * 20}{-22} + 180$$

$$Q = -5.45 + 180$$

$$Q1 = 174.55 \text{ l/min} = 0.0029 \text{ m}^3/\text{s}$$

Velocidad inicial

Una vez obtenido el caudal de la bomba y conociendo el área de la tubería que tiene un diámetro de 2pulgadas podemos encontrar la velocidad en el punto 1.

$$\phi = 2 \text{ pulgadas} = 0.04924 \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * 0.04924^2 \text{ m}}{4}$$

$$A1 = 0.001904 \text{ m}^2$$

$$Q = \bar{A} * V$$

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.0029 \text{ m}^3/\text{s}}{0.001904 \text{ m}^2}$$

$$V1 = 1.52 \text{ m/s}$$

3.2.2 Presión de la bomba

Mediante la fórmula de la potencia hidráulica podemos obtener la presión de la bomba es decir la presión inicial. Para realizar este cálculo se procede a obtener los datos referenciales de las Tablas 11, 12, 13 y 14; así como de la Figura 9.

Potencia = 3hp = 2200watts

$$Pt = P * Q$$

$$P = \frac{Pt}{Q}$$

$$2200 \frac{N * m}{s}$$

$$P = \frac{2200}{0.0029 m^3/s}$$

$$P1 = \frac{758620 N}{m^2} = 758620.69 Pascal$$

P1=110PSI

Tabla 11

Viscosidad dinámica y cinemática del agua

T (C)	Viscosidad dinámica	Densidad	Viscosidad cinemática	T (C)	Viscosidad dinámica	Densidad	Viscosidad cinemática
0	1793	999,841	1,793	60	469	983,21	4,770
10	1309	999,7	1,309	70	406	977,79	4,152
20	1006	998,2	1,008	80	357	971,8	3,673
30	800	995,65	0,803	90	315	965,31	3,263
40	657	992,21	0,662	100	284	958,35	2,963
50	550						

Fuente: (Martín, 2013)

Figura 9

Especificaciones para tuberías PVC roscables

Diámetro	CÓD.	Diám. exterior	Espesor	Diám. interior	Presión de trabajo		
		mm	mm	mm	psi	MPa	kg/cm ²
½	926092	21.34	3.73	13.88	420	2.90	29.5
¾	926094	26.67	3.91	18.85	340	2.34	23.9
1	926091	33.40	4.55	24.30	320	2.21	22.5
1 ¼	926090	42.16	4.85	32.46	260	1.79	18.3
1 ½	926089	48.26	5.08	38.10	240	1.65	16.9
2	926093	60.32	5.54	49.24	200	1.38	14.1

Fuente: (PLASTIGAMA-WAVIN, 2018)

Tabla 12

Valores de rugosidad para conductos comerciales

Material	Condición	Ft	nm	Incidumbre
Acero	Lámina metálica,	0,00016	0,05	±60
	Inoxidable	0,000007	0,02	±50
	Comercial, nuevo	0,00015	0,046	±30
	Estriado	0,01	3,0	±70
	Oxidado	0,007	2,0	±50
Hierro	Fundido, nuevo	0,00085	0,26	±50
	Forjado, nuevo	0,00015	0,046	±20
	Galvanizado, nuevo	0,0005	0,15	±40
	Fundidoasfáltico	0,0004	0,12	±50
Latón	Laminado	0,000007	0,002	±50
Plástico	Tubolaminado	0,000005	0,0015	±60
Vidrio	-----	Liso	Liso	
Hormigón	Liso	0,00013	0,04	±60
	Rugoso	0,007	2,0	±50
Caucho	Liso	0,000033	0,01	±60
Madera	En duelas	0,0016	0,5	±40

Fuente: (White, 2004)

Tabla 13

Coefficiente de pérdida k

	Diámetro nominal, in									
	Roscado					Acoplado				
	½	1	2	4	1	2	4	8	20	
Válvulas (abiertas):										
Globo	14	8,2	6,9	5,7	13	8,5	6,0	5,8	5,5	
Compuerta	0,30	0,24	0,16	0,11	0,50	0,35	0,16	0,07	0,03	
De retención	5,1	2,9	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
De ángulo	9,0	4,7	2,0	1,0	4,5	2,4	2,0	2,0	2,0	
Codos:										
45° normal	0,39	0,32	0,30	0,29						
45° suave					0,21	0,20	0,19	0,16	0,14	
90° normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,50	0,39	0,30	0,26	0,21	
90° suave	1,0	0,72	0,41	0,23	0,40	0,30	0,19	0,15	0,10	
180° normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,41	0,35	0,30	0,25	0,20	
180° suave					0,40	0,30	0,21	0,15	0,10	
«Tes»:										
Flujo directo	0,90	0,90	0,90	0,90	0,24	0,19	0,14	0,10	0,07	
Flujo lateral	2,4	1,8	1,4	1,1	1,0	0,80	0,64	0,58	0,41	

Fuente: (White, 2004)

Tabla 14

Coeficiente de perdida K

Pieza, conexión o dispositivo	K
Rejilla de entrada	0.80
Válvula de pie	3.00
Entrada cuadrada	0.50
Entrada abocinada	0.10
Entrada de borda o reentrada	1.00
Ampliación gradual	0.30
Ampliación brusca	0.20
Reducción gradual	0.25
Reducción brusca	0.35
Codo corto de 90°	0.90
Codo corto de 45°	0.40
Codo largo de 90°	0.40
Codo largo de 45°	0.20
Codo largo de 22° 30'	0.10
Tee con flujo en línea recta	0.10
Tee con flujo en ángulo	1.50
Tee con salida bilateral	1.80
Válvula de compuerta abierta	5.00
Válvula de ángulo abierta	5.00
Válvula de globo abierta	10.0
Válvula alfallera	2.00
Válvula de retención	2.50
Boquillas	2.75
Controlador de gasto	2.50
Medidor Venturi	2.50
Confluencia	0.40
Bifurcación	0.10
Pequeña derivación	0.03
Válvula de mariposa abierta	0.24

Fuente: (Hidraulicafacil, 2017)

3.2.3 Numero de Reynolds

Para realizar el cálculo de la presión 2 primero se debe obtener las perdidas por fricción del agua y perdidas de carga por accesorios que se encuentren en el sistema de tuberías, los datos se obtuvieron de acuerdo con los cálculos y cuadros antes mencionados (ver tabla 15).

$$\phi = 46.8mm = 0.0468m$$

NR: número de Reynolds

V: velocidad (m/s)

D: diámetro interior en m

Vi: Viscosidad cinemática

$$NR = \frac{V \cdot D}{Vi}$$

$$NR = \frac{1.52 \cdot 0.04924}{0.950 \times 10^{-6}}$$

$$NR = 78784 (\text{Flujo turbulento})$$

$$T: 23^{\circ}C$$

Tabla 15

Numero de Reynolds

$0 < Re < 1$:	Movimiento laminar <<lento "altamente viscoso"
$1 < Re < 100$:	Laminar, fuerte dependencia del número de Reynolds
$100 < Re < 10^3$:	Laminar, es útil la teoría de capa límite
$10^3 < Re < 10^4$:	Transición a la turbulencia
$10^4 < Re < 10^6$:	Turbulento, moderada dependencia del número de Reynolds
$10^6 < Re < D$:	Turbulento, débil dependencia del número de Reynolds

Fuente: (White, 2004)

Factor de Fricción(f)

D: 0.0468 m

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 \frac{D}{s}} + \frac{5.74}{NR^{0.9}}\right) \right]^2}$$

ε : rugosidad

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 \frac{0.04924}{1.5 \times 10^{-6}}} + \frac{5.74}{78784^{0.9}}\right) \right]^2}$$

ε : 0.0015 mm = 1.5×10^{-6}

$$f = 0.01893$$

3.2.4 Ecuación de Darcy Weisbach

En la dinámica de fluidos, la ecuación de Darcy-Weisbach es una ecuación fenomenológica, que relaciona la pérdida de carga principal o pérdida de presión, debido a la fricción del fluido a lo largo de una longitud determinada de tubería con la velocidad promedio. Esta ecuación es válida para un flujo monofásico totalmente desarrollado, constante e incompresible (White, 2004).

hl: pérdida de presión por fricción

f: factor de fricción

$$hl = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

L: longitud de la tubería (m)

$$hl = 0.01893 * \frac{500}{0.04924} * \frac{1.52^2}{2 * 9.8 \text{ m/s}^2}$$

D: diámetro (m)

$$hl = 22.65 \text{ m}$$

V: velocidad (m/s)

g : 9.8 m/s^2

3.2.5 Pérdida de cargas por accesorios

Las pérdidas de carga por fricción en accesorio ocurren en tramos cortos, e hidráulicamente se consideran que ocurren en un punto y usualmente son conocidas como pérdidas de carga localizadas, locales o pérdidas menores. (White, 2004)

K: coeficiente de pérdida

$$V1: \text{velocidad (m/s)} \quad h_s = k * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2 \quad h_s = 0.90 * \frac{1.52^2}{2 * 9.8 \text{ m/s}^2}$$

$$K \text{ de Tes roscada} = 0.90 \quad h_s = 0.1060 \text{ m}$$

Tabla 16

Tabla de densidad y peso específico de líquidos

Sustancia	Densidad		Peso específico	
	ke/m ³	g/cm ³	N/m ³	gf/cm ³
Aceite mineral	910	0,910	8.924	0,910
Acetona	790	0,790	7.747	0,790
Ácido acético	1.080	1,080	10.591	1,080
Ácido clorhídrico	700	0,700	6.865	0,700
Ácido nítrico	1.560	1,560	15.298	1,560
Ácido sulfúrico	1.840	1,840	18.044	1,840
Aguademar	1.025	1,025	10.052	1,025
Agua destilada	1.000	1,000	9.807	1,000
Agua saturada en sal	1.047	1,047	10.268	1,047
Alcohol etílico (100%)	790	0,790	7.747	0,790
Alcohol etílico (95%)	820	0,820	8.041	0,820
Alcohol metílico	820	0,820	8.041	0,820
Benceno	890	0,890	8.728	0,890
Cera	960	0,960	9.414	0,960
Cloroformo	1.530	1,530	15.004	1,530
Diesel (combustible)	880	0,880	8.630	0,880
Éter etílico	730	0,730	7.159	0,730
Gasoil	860	0,860	8.434	0,860

Fuente: (Netto, 2000)

3.2.6 Presión en el punto 2

Mediante la ecuación de Bernoulli podemos obtener la presión² es decir la presión que produce la bomba desde el pozo hasta los 35 m de altura. De acuerdo con la ecuación de la continuidad es un producto de la ley de conservación de la masa, que manifiesta que, en un conducto o tubería, sin importar su sección; mientras no existan derivaciones, la cantidad de fluido que entra por uno de sus extremos debe salir por el otro. O sea que se conserva el fluido a través de una cañería. El punto 1 y 2 se encuentran en el mismo tubo, es decir, los dos puntos tienen igual área de tubería y por ende las mismas velocidades y caudal.

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - hl - hs = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

Datos:

$$A_1 = 0.001904m^2 = A_2$$

$$hs=0.1060m$$

$$V_1 = 1.52m/s = V_2$$

$$Z_2=35m$$

$$P_1 = 758620N/m^2$$

$$\gamma = 9807N/m^3$$

$$Z_2=35m \quad hl=22.65 \text{ m}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 - hl - hs = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2$$

$$758620.69N/m^2$$

$$\frac{P_2}{\gamma}$$

$$9807N/m^3 + \frac{30m - 22.65m - 0.1060m}{P_2} = 9807N/m^3 + 35m$$

$$84.60m - \frac{35m}{9807N/m^3}$$

$$49.60m * \frac{9807N}{m^3} = P_2$$

$$P_2 = 486427.2N/m^2$$

$$P_2=70.55 \text{ PSI}$$

Velocidad 3:

El principio de Torricelli es una aplicación del principio de Bernoulli y estudia el flujo de un líquido contenido en un recipiente, a través de un pequeño orificio, bajo la acción de la gravedad, es decir mediante la fórmula de Torricelli podemos encontrar la velocidad en el punto 3.

$$V = \sqrt{2 * g * z}$$

$$V3 = \sqrt{2 * 9.8m/s^2 * 6m}$$

$$V3 = 10.84 \frac{m}{s}$$

Caudal en el punto 3:

$$\phi = \frac{1}{2} \text{pulgada} = 0.01388m$$

$$\phi = \frac{1}{2} \text{pulgada} = 0.01388m$$

$$A2 = \frac{\pi * \phi^2}{4}$$

$$Q = A * V$$

$$A2 = \frac{\pi * 0.01388^2 m^2}{4}$$

$$Q3 = 0.000151m^2 * 10.84m/s$$

$$A2 = 0.000151m^2$$

$$Q3 = \frac{0.00163m^3}{s} = 96 \text{ l/min}$$

Numero de Reynolds para el punto 2 y 3

Se procede a realizar otra vez el cálculo del número de Reynolds para el punto 2 y 3 ya que el diámetro de la tubería no es el mismo es decir ahora es de ½ pulgada, el valor del diámetro interior se obtuvo de la Figura 9.

$$D = 0.01388m$$

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

$$NR = \frac{1.52m/s * 0.01388m}{0.950 * 10^{-6}}$$

$$NR = 22208$$

$$D=0.01388\text{m}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 \cdot \frac{D}{s}} + \frac{5.74}{NR^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$\varepsilon: 0.0015\text{mm} = 1.5 \times 10^{-6}$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log\left(\frac{1}{3.7 \cdot \frac{0.01388}{1.5 \times 10^{-6}}} + \frac{5.74}{22208^{0.9}}\right)\right]^2}$$

$$NR = 22208$$

$$f = 0.0254$$

hl: pérdida de presión por fricción

$$f=0.0254$$

$$hl_2 = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g}$$

$$L=7 \text{ m}$$

$$hl_2 = 0.0254 * \frac{7 \text{ m}}{0.01388} * \frac{1.52^2 \text{ m/s}}{2 * 9.8 \text{ m/s}^2}$$

$$D=0.01388\text{m}$$

$$hl_2=1.5088 \text{ m}$$

$$V_2=1.52 \text{ m/s}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

Perdida de carga por accesorios en el punto 2 y 3

2 codos de 90°

$$hs = k * \frac{V^2}{2 * g}$$

$$V_2 = 1.52 \text{ m/s}$$

$$hs = 0.1178 \text{ m}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$hs = 2 * 0.1178 = 0.2356 \text{ m}$$

Válvula de globo

$$K=14$$

$$hs = k * \frac{V^2}{2 * g}$$

$$V_2=1.52 \text{ m/s}$$

$$hs = 14 * \frac{1.52^2}{2 * 9.8}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$hs=1.6502 \text{ m}$$

$$K=0.25 \quad h_s = k * \frac{v^2}{2 * g}$$

$$V_2=1.52 \text{ m/s} \quad h_s = 0.25 * \frac{1.52^2}{2 * 9.8}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2 \quad h_s = 0.0294 \text{ m}$$

$$\sum h_s = 0.2356 + 1.6502 + 0.0294$$

$$\sum h_{s2} = 1.9152 \text{ m}$$

3.2.7 Presión en el punto 3

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - h_{l2} - h_{s2} = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_3$$

Datos

$$P_2 = 486427 \text{ N/m}^2 \quad h_{s2} = 1.9152 \text{ m}$$

$$V_2 = 1.52 \text{ m/s} \quad V_3 = 10.84 \text{ m/s}$$

$$Z_2 = 35 \text{ m} \quad Z_3 = 41 \text{ m}$$

$$h_{l2} = 1.5088 \text{ m} \quad \gamma = 9807 \text{ N/m}^3$$

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 - h_{l2} - h_{s2} = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} + Z_3$$

$$\frac{486427 \text{ N}}{9807 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} + \frac{1.52^2 \text{ m}^2}{2 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 35 \text{ m} - 1.5088 \text{ m} - 1.9152 \text{ m} =$$

$$= \frac{P_3}{\gamma} + \frac{10.84^2 \text{ m}^2}{2 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + 41 \text{ m}$$

$$81.2838 \text{ m} = \frac{P_3}{\gamma} + 5.99 \text{ m} + 41 \text{ m}$$

$$81.2838 \text{ m} - 5.99 \text{ m} - 41 \text{ m} = \frac{P_3}{\gamma}$$

$$34.2938 \text{ m} * 9807 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} = P_3$$

$$P3 = 336319.29 \frac{N}{m^2}$$

$$P3 = 48.77 \text{ PSI}$$

3.3 Tiempo de retención hidráulica (TRH)

El tiempo de retención hidráulica es el tiempo que una unidad de fluido permanece en un recipiente, es decir, el tiempo que el líquido que entra en tu recipiente tarda en salir del mismo. (Jaramillo, 2005)

El TRH se calcula con la siguiente formula:

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

En donde:

V: volumen útil del tanque en L o m^3

Q: caudal en $\frac{l}{min}$ o $\frac{m^3}{s}$

3.3.1 TRH tanque 1

El tanque 2 tiene un volumen de 208 L.

$$A = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4}$$

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$$

$$Q = A \cdot V$$

$$A2 = \frac{\pi \cdot 0.01389^2 \cdot m^2}{4}$$

$$V = \sqrt{2 \cdot \frac{9.8m}{s^2} \cdot 0.8m}$$

$$Q = 0.000151m^2 \cdot 4 \text{ m/s}$$

$$A = 0.000151m^2$$

$$V = 4m/s$$

$$Q = \frac{0.000604m^3}{s} = 36 \frac{L}{min}$$

$$Tr = \frac{\bar{V}}{Q}$$

$$Tr = \frac{208L}{36L/min}$$

$$Tr1 = 6 \text{ minutos}$$

El análisis del agua se realiza contemplando los parámetros establecidos por medio de la Tabla 17:

Tabla 17

Análisis físico-químico del agua cruda

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	incert. U (k=2)	Límites Máximos Permisibles ⁽²⁾	Método
			A			
Potencial de Hidrogeno.	pH		7.04	± 0.13	6 -9	4500-H'B PEE/UCC/LA/02
*Color	Color real	Pt/Co	25	-	75	8025 HACH
*Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad	NTU	2.35	-	100	2130 B
*Sólidos disueltos	-	mg/l	763	-	-	2510 B
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O. ₅	mg/l	0.26	-	< 2	5210B PEE/UCC/LA/10
**Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	11	-	< 4	5220D PEE/UCC/LA/03
*Dureza	CaCO ₃	mg/l	363	-	-	2340 B
*Hierro	Fe	mg/l	0.02	-	1.0	8008 HACH
*Nítritos	N-NO ₂ ⁻	mg/l	0.009	-	0.2	8507 HACH
*Nitratos	N-NO ₃ ⁻	mg/l	1.03	-	50	8171 HACH

Fuente: (Laboratorio aguas,petroleo y medio ambiente, 2021)

Al realizar el análisis fisicoquímico al agua obtenida del pozo se pudo observar que los resultados de los parámetros se encuentran dentro de los límites para el consumo humano que establece NTE INEN 1108:2020, es decir el agua cruda después de pasar por el filtro de grava se encontraría en una mejor calidad y apta para consumirla.

3.4.1 Análisis Microbiológico del agua

Los resultados del análisis microbiológico del agua se resumen en la Tabla 18, a continuación:

Tabla 18

Resultado microbiológico del agua

Identificación de la muestra	Investigación Microbiológica	Método	Lectura	Unidad	Límite de Cuantificación
Agua de pozo	Coliformes Fecales	INEN 1 529-8NMP	< 1,1 NMP/100 ML	NMP	Índice del NMP con 95% de límite de confianza

Fuente: (Laboratorio LA-IIT-UG, 2021)

F

El análisis microbiológico del agua cruda nos indica que el resultado es menor a 1.1en unidades de número más probable, es decir que no hay presencia de coliformes fecales.

3.4.2 Prueba piloto

Los resultados obtenidos a partir del análisis físico químico, así como del microbiológico, al cual fue sometida la muestra proveniente del pozo, es decir el análisis de agua de pozo. Los respectivos informes de laboratorio se detallan en el Anexo 1, los cuales se resumen a continuación en la Tabla 19.

Tabla 19

Resultado del análisis físico químico y microbiológico de la planta piloto

Parámetro	Unidad	Resultado	U (k=2) LMP	Método de ensayo
Fisicoquímicos				
Nitratos	mg/L	11,65	50	T-LB-030, Hach 10206, 8171
Nitritos ⁽⁰⁾	mg/L	0,059	0,2	T-LB-050, Hach 8507
Turbidez	NTU	<2,5	100	T-LB-042, SM 2130-B Nefelométrico.
Sólidos Totales Disueltos *	mg/L	596	---	T-LB-015 SM 2540 C Gravimetría
Potencial de Hidrógeno	---	7,65	6-9	T-LB-004, SM 4500 H+ B
Dureza *	mg/L CaCO ₃	316	---	T-LB-027, Método 8226 HACH
Color	UPtCo	32	75	T-LB-040, Hach 8025
Hierro Total *	mg/L	<0,500	1	T-LB-092, EAA - Llama
Demanda Química de Oxígeno ⁽⁰⁾	mg/L	10,5	<4	T-LB-001, HACH 8000, Ed 10, 2014 SM 5220 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno ⁽⁰⁾	mg/L	8,18	<2	T-LB-002, SM 5210 B
Microbiológicos				
Coliformes Fecales	UFC/100ml	200	1 000	T-LB-049, SM 9222 D

Fuente: Investigación, 2022

3.5 Diseño del filtro de grava

El filtro de grava purificador permitirá, como su nombre lo indica, purificar aguas subterráneas extraídas directamente de pozos y, por ende, cualquier tipo de agua cruda que posea características semejantes a esta.

- Provee agua pura y cristalina de forma instantánea.
- Provee 208 litros de agua purificada al día.

- Posee el Kit de instalación (Adaptador, codo 90°, codo cachimba, unión universal, tee y niple de $1\frac{1}{2}$ " o $3\frac{3}{4}$ "
- Reemplaza tanques de acero.
- Hermético, tapa a presión.

3.5.1 Ficha técnica del filtro de grava

La Ficha técnica del filtro de grava se ilustra a continuación en la Figura 10.

Figura 10

Dimensiones del filtro de grava

Tanque Cilíndrico Vertical de uso superficial		
Capacidad galones	H	De Diámetro exterior
55	mm	mm
	940	560



Fuente: (PLASTIGAMA-WAVIN, 2018)

3.5.2 Ventajas

- Elaborado con Polietileno 100% virgen
- Almacena y filtra todo tipo de líquidos no agresivos, productos alimenticios y sólidos.
- El color azul, no permite el paso de los rayos UV hacia el interior impidiendo la proliferación de hongos y algas que puedan afectar la calidad del líquido que se está almacenando.
- Posee tapa que garantiza hermeticidad higiénica, sus paredes lisas evitan el crecimiento de bacterias.
- Tiene la resistencia requerida para soportar la acción del agua almacenada y los agentes de intemperie.

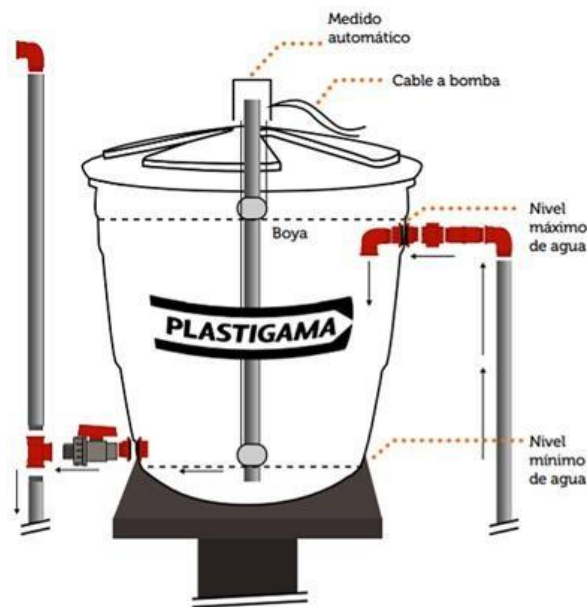
3.5.3 Función

Filtro de agua cruda natural

Nota: Fabricado con resina virgen de primera calidad, con una vida útil de 50 años. Su instalación se deberá realizar sobre una superficie uniforme, continua, dura, plana, libre de piedras y que soporte el peso del tanque lleno. Tal como se indica en la Figura 11.

Figura 11

Colocación de accesorios para entrada y salida de liquido



Fuente: (PLASTIGAMA-WAVIN, 2018)

3.5.4 Especificaciones caseras

Sistema de purificación casero

Minimiza los niveles de la Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días). Ideal para la purificación de aguas subterráneas con presencia de metales pesados en bajas cantidades. Dichos valores están referenciados en la Tabla 20.

Tabla 20

Especificaciones caseras para el agua

Pozo de agua cruda	Profundidad	30 m	
	Diámetro	2"	
Sistema de Bombeo	Tipo	Bomba sumergible ST-3514	
	Potencia	3hp/2200 watts*	
	Cabeza máxima	420 pies	
	Flujo máximo	47 Gpm	
	Descarga	2"	
	Material de la bomba	Acero inoxidable 304	
	H. máx.	29-51 m	
Tuberías de entrada y salida	Área	0.001904 m ²	
	Material	Plástico PVC	
	Caudal inicial de diseño	174L/m=10.473 L/h	
	Área	0.000151m ²	
	Diámetro	½ "	
	Diámetro exterior	0.02134m	
	Espesor	3.73mm	
	Diámetro interior	0.01388 m	
	Presión de trabajo	420PSI	
	Velocidad	1.52 m/s	
	Caudal final	96L/m=5760L/h	
	Rugosidad	0.0015 mm	
Reservorio de Agua cruda	Fuente de agua de alimentación	Pozo	
	Presión de entrada	48.77 PSI	
	Capacidad	250 L	
	Temperatura de uso	20°C	
	Diámetro	590 mm	
	Altura	860 mm	
Filtro	Caudal de diseño	36 L/m=2160L/h	
	Presión de entrada	48.77PSI	
	Tiempo de Retención Hidráulica	6 minutos	
	Capacidad	208L	
	Cantidad máxima diaria de agua purificada	51840L/día*	
	Temperatura de uso	20°C	
	Diámetro	560 mm	
	Altura	940 mm	
	Lecho de grava		
	Diámetro de grava	0.8-1.2 cm	

	Espesor capa de grava	12 cm
	Coefficiente de permeabilidad	0.1 cm/s
	Lecho de arena	
	Diámetro de arena	0.063 – 2mm
	Espesor de capa	12 cm
	Coefficiente de permeabilidad	0.01-0.005 k(cm/s)
	Lecho de carbón activado	
	Espesor de capa	8 cm
	Tipo	Pellet (peletizado)
	Diámetro	2-5 mm
	Diámetro de poros (Absorber compuestos de distintos pesos en fase líquida)	2 y 20 nanómetros
	pH	9-11
	Contenido de cenizas (% , máx.)	15
	Lecho de zeolita	
	Espesor de capa	3 cm
	Tamaños de partícula	2-6 mm
	Flujo de servicio	10 a 20 Gpm/ft ²
	Flujo de retro lavado	12 a 22 Gpm/ft ²
	Algodón	
	Espesor de capa	2 cm
	Capacidad del tanque receptor	250 L
	Presión de entrada	48.77 PSI
Tanque receptor Agua Tratada	Temperatura de uso	20°C
	Diámetro	590 mm
	Altura	960 mm

Fuente: (Arias, 2022)

3.5.5 Características del afluente a tratar por el filtro

Las características del afluente a tratar por medio del filtro se la referencia según la tabla 21 a continuación. Mientras que las características del hierro utilizado para el diseño (Tubo estructural cuadrado), consta en la Figura 12.

Tabla 21

Características del afluente a tratar por el filtro

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados A
Potencial de Hidrogeno.	pH		7.04
*Color	Color real	Pt/Co	25
*Turbiedad	Unidades nefelométricas de turbiedad	NTU	2.35
*Sólidos disueltos	-	mg/l	763
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O. ₅	mg/l	0.26
**Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	11

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados A
*Dureza	CaCO ₃	mg/l	363
*Hierro	Fe	mg/l	0.02
*Nitritos	N-NO ₂ ⁻	mg/l	0.009
*Nitratos	N-NO ₃ ⁻	mg/l	1.03


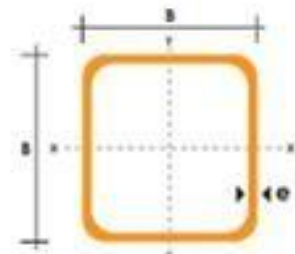
Fuente: (Arias, 2022)

Figura 12

Tubo estructural cuadrado

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.64	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	8.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.00	2.39
60	3.0	5.42	6.61	36.06	11.69	2.34
75	2.0	4.62	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.89	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.80	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

Norma: ASTM A-500
 Recubrimiento: Negro o galvanizado
 Largo normal: 6 mts.
 Otras longos: Previa Consulta
 Dimensiones: Desde 20mm a 100mm
 Espesor: Desde 2.0mm a 3.0mm

Fuente: DIPAC 2022

3.6 Factor de seguridad de la estructura metálica

3.6.1 Análisis y diseño de la torre de soporte para tanque elevado

1. Dimensiones de la torre

Cota del Primer Nivel

$$N_1 := 290.80 \text{ cm}$$

Cota del Segundo Nivel

$$N_2 := 440.80 \text{ cm}$$

Cota del Tercer Nivel

$$N_3 := 590.80 \text{ cm}$$

Dimensiones del piso B_{piso}

$$:= 150.00 \text{ cm } L_{\text{piso}} := 150 \text{ cm}$$

Área de piso de Cada Nivel

$$A_{\text{piso}} = B_{\text{piso}} \cdot L_{\text{piso}} = 22500 \text{ cm}^2$$

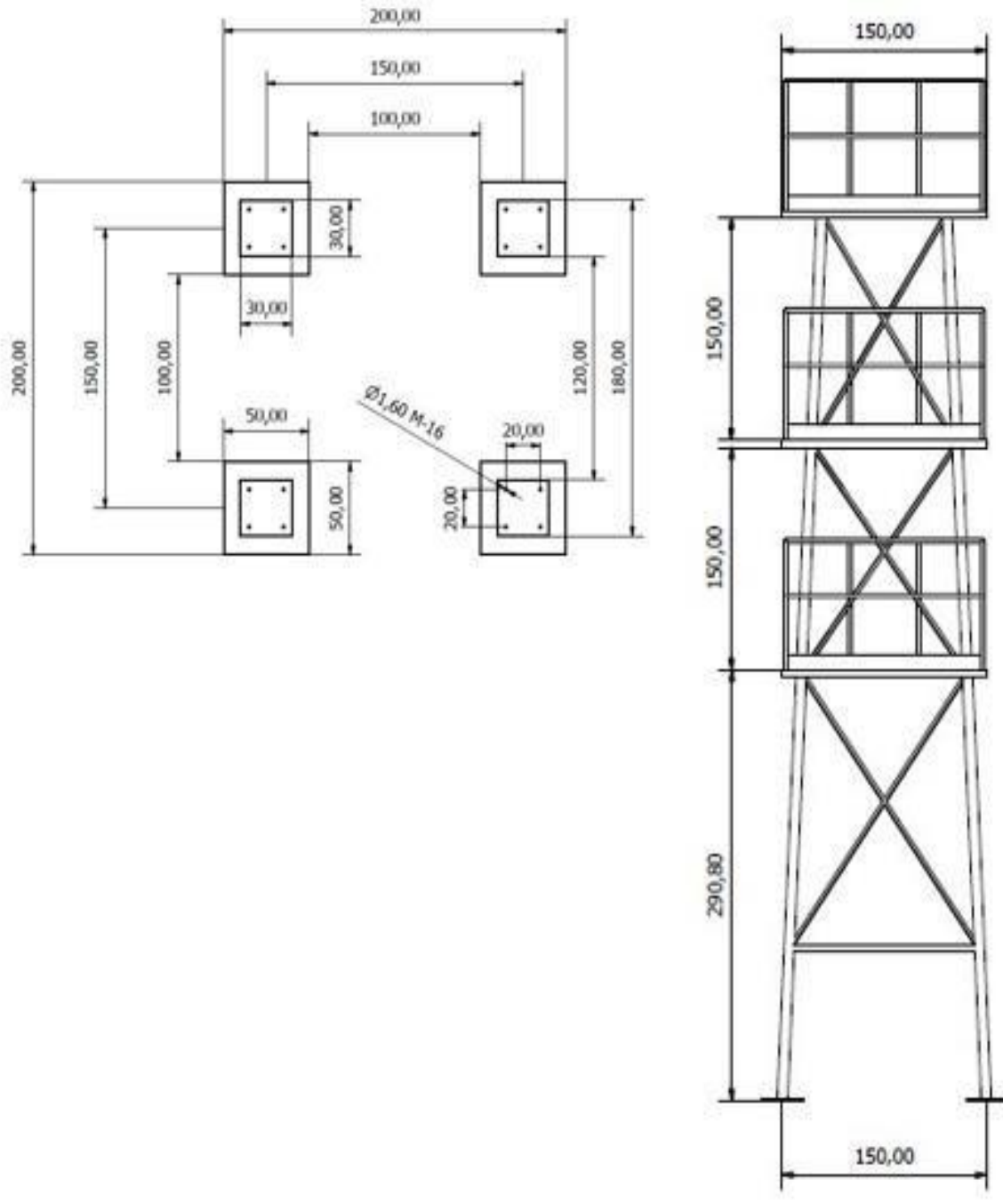
Dimensiones del Plinto B_{plinto}

Área del Plinto

$$A_{\text{plinto}} := 50.00 \text{ cm } L_{\text{plinto}} := 2500.00 \text{ cm}^3$$

Figura 13

Diseño de la torre



Fuente: Autoría propia (2022)

2. Dimensiones de los tanques de almacenamiento

Dimensiones del Tanque de Almacenamiento Nivel 1 y 3

$$A1_{\text{tank1}} := 835 \text{ mm}$$

$$A2_{\text{tank1}} := 590 \text{ mm}$$

$$H_{\text{tank1}} := 860 \text{ mm}$$

Dimensiones del Tanque para filtro Nivel 2

$$De_{\text{tank2}} := 560 \text{ mm}$$

$$H_{\text{tank2}} := 940 \text{ mm}$$

Figura 14

Dimensiones del Tanque de Almacenamiento Nivel 1 y 3



Fuente: (PLASTIGAMA-WAVIN, 2018)

3. Especificaciones del filtro

1era Capa Arena

$$\gamma_{s1} := 1500 \text{ kgf/m}^3$$

$$e1 := 12 \text{ cm}$$

2da Capa Grava

$$\gamma_{s2} := 1700 \text{ kgf/m}^3$$

$$e2 := 12 \text{ cm}$$

3era Capa Carbón Activado

$$\gamma_{s3} := 400 \text{ kgf/m}^3$$

$$e3 := 8 \text{ cm}$$

4ta Capa Zeolita

$$\gamma_{s4} := 1000 \text{ kgf/m}^3$$

$$e4 := 3 \text{ cm}$$

5ta Capa Algodón

$$\gamma_{s5} := 50 \text{ kgf/m}^3$$

$$e5 := 2 \text{ cm}$$

4. Determinación de Cargas Muerta Superpuesta por piso

1er Nivel N 2.908 m

Capacidad el Tanque

$$C1 := 250 \text{ L}$$

Peso Unitario del agua tratada

$$\gamma_{w_1} := 1.00 \text{ tonnef/m}^3$$

Carga Producida por el Tanque

$$P_{utank1} := C1 \cdot \gamma_{w_1} = 0.25 \text{ tonnef}$$

Diámetro inferior del Tanque

$$D_{inf_1} := A_{2tank1} = 0.59 \text{ m}$$

**Área de Contacto del tanque
con el piso**

$$A_{tank1} := \pi \cdot (D_{inf_1})^2/4 = 0.27 \text{ m}^2$$

Carga aplicada al Primer Nivel

$$Q_{tank1} = P_{utank1}/A_{tank1} \\ = 0.91 \text{ tonnef/m}^2$$

2do Nivel N 4.408 m

$$Q_{filtro} := (\gamma_{s1} \cdot e1 + \gamma_{s2} \cdot e2 + \gamma_{s3} \cdot e3 + \gamma_{s4} \cdot e4 + \gamma \cdot s5 \cdot e5)$$

$$Q_{filtro} = 0.45 \text{ tonnef / m}^2$$

$$A_{tank2} := \pi (D_{etank})^2/4 = 0.25 \text{ m}^2$$

$$C3 := H_{tank2} \cdot A_{tank2} = 0.23 \text{ m}^3$$

$$V_{filtro} := A_{tank2} (e1 + e2 + e3 + e4 + e5)$$

$$V_{filtro} = 0.09 \text{ m}^3$$

$$V_{agua} := C3 - V_{filtro} = 0.14 \text{ m}^3$$

$$P_{agua} := \gamma_{w_2} \cdot V_{agua} = 0.147 \text{ tonnef}$$

$$Q_{agua} := P_{agua} / A_{tank2} = 0.60 \text{ tonnef/m}^2$$

3er Nivel N 5.908 m

Capacidad el Tanque

$$C2 := 250 \text{ L}$$

Peso Unitario del agua sin ser tratada

$$\gamma_{w_2} := 1.05 \text{ tonnef/m}^3$$

Carga Producida por el Tanque

$$P_{utank2} := C2 \cdot \gamma_{w_2} = 0.26 \text{ tonnef}$$

Diámetro inferior del Tanque

$$D_{inf_2} := A_{2tank1} = 0.59 \text{ m}$$

**Área de Contacto del tanque
con el piso**

$$A_{tank2} := \pi \cdot (D_{inf_2})^2/4 = 0.27 \text{ m}^2$$

Carga aplicada al Tercer Nivel

$$Q_{tank1} := P_{utank2} / A_{tank2} \\ = 0.96 \text{ tonnef/m}^2$$

$$Q_{\text{tank2}} := Q_{\text{filtro}} + Q_{\text{agua}} = 1.05 \text{ tonnef/m}^2$$

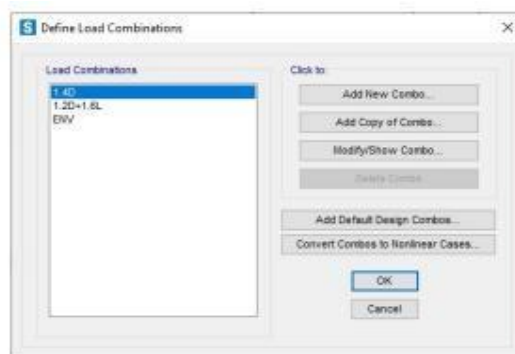
5. Carga Viva

$$Q_{\text{viva}} := 70 \text{ kgf / m}^2 = 0.07 \text{ tonnef/m}^2$$

6. Modelamiento de la Torre en SAP2000 V23.3

Figura 15

Modelamiento de la Torre



Modelado Estructural 3-D

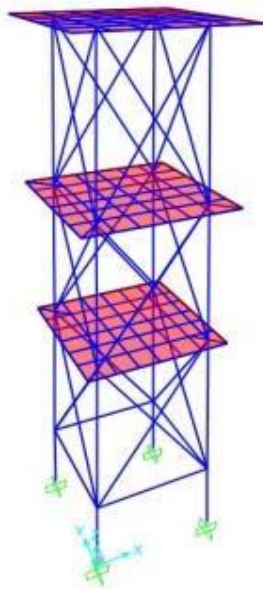


Diagrama de Fuerza Axial

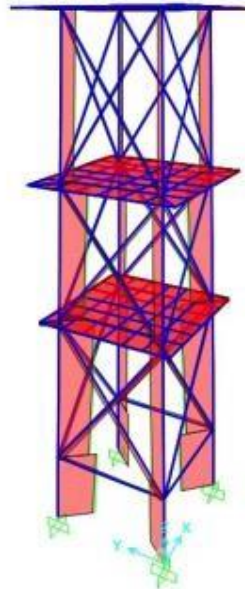
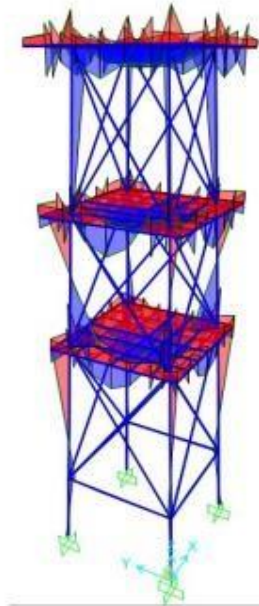


Diagrama de Momento Flector



Fuente: Investigación, 2022

7. Propiedades del acero

Tipo de Acero A500

Módulo de Elasticidad

$E_s := 29000 \text{ ksi}$

Esfuerzo de Fluencia

$f_y := 46 \text{ ksi}$

Figura 16

Propiedades del acero

TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 2415
Calidad:	SAE J 403 1008
Acabado:	Acero negro o Galvanizado
Largo Normal:	6.00m y medidas especiales
Dimensiones:	Desde 20mm a 100mm
Espesores:	Desde 1.20mm a 5.00mm



Fuente: Investigación, 2022

8. Resumen de Fuerzas Internas por Elementos

Elemento N°1

Parantes

Dimensiones del Perfil

$A := 75 \text{ mm}$

$e := 3 \text{ mm}$

$A_g := 8.41 \text{ cm}^2$

$I := 71.54 \text{ cm}^4$

$Z := 19.08 \text{ cm}^3$

$S := 2.92 \text{ cm}^3$

$$r_1 := \sqrt{\frac{I}{A_g}} = 29.17 \text{ mm}$$

Inercia

Módulo de Sección Plástica

Módulo de Sección Elástica

Radio de giro

$L_{max} := 1.908 \text{ m}$

Longitud máxima del elemento

$A_v := 2 \cdot A \cdot e = 450 \text{ mm}^2$

Área de cortante

Demandas máximas

$P_{u_{tensión}} := 0.01 \text{ tonnef}$

$P_{u_{compresión}} := 2.50 \text{ tonnef}$

$M_u := 0.05605 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$

$V_u := 0.0658 \text{ tonnef}$

Figura 17

Dimensiones del perfil

Dimensiones		Área		Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Esesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.96	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84

Fuente: Investigación, 2022

Tabla 22

Elementos de fuerzas

TABLE: Element Forces - Frames														
Estado	Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation	
	Text	m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Text	m	
Pu_max_pos	166	1.50355	1.2D+1.6L	Combination	0	-0.60	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	166-1	1.50355	
Pu_max_neg	264	0	1.4D	Combination	0	-2.50	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	264-1	0	
M2_max_pos	170	1.50355	1.4D	Combination	0	-0.64	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	170-1	1.50355	
M2_max_neg	168	1.50355	1.4D	Combination	0	-0.64	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	168-1	1.50355	
M3_max_pos	165	0	1.4D	Combination	0	-1.4203	0.0648	-1.175E-16	4.953E-18	-2.512E-17	0.05605	165-1	0	
M3_max_neg	165	1.50355	1.4D	Combination	0	-1.406	0.0658	-1.175E-16	4.953E-18	1.515E-16	-0.04212	165-1	1.50355	
V2_max_pos	165	1.50355	1.4D	Combination	0	-1.406	0.0658	-1.175E-16	4.953E-18	1.515E-16	-0.04212	165-1	1.50355	
V2_max_neg	264	0	1.4D	Combination	0	-2.4951	-0.0135	-0.000007937	-3.563E-08	-0.00000261	-0.004	264-1	0	
V3_max_pos	168	0	1.4D	Combination	0	-0.6512	-0.0117	0.00006944	-4.023E-07	0.00003955	0.00414	168-1	0	
V3_max_neg	170	0	1.4D	Combination	0	-0.6512	-0.0117	-0.00006944	4.023E-07	-0.00003955	0.00414	170-1	0	

Fuente: Investigación, 2022

Capacidad Estructural del elemento

Capacidad a Tensión

$$P_{\text{tensión}} := A_g \cdot f_y = 27.2 \text{ tonnef}$$

Capacidad a Flexión

$$M_n := f_y \cdot Z = 0.62 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Capacidad a Cortantes

$$V_n := 0.6 \cdot f_y \cdot A_v = 8.73 \text{ tonnef}$$

Capacidad a Compresión

$$\frac{L_{\text{max}}}{r_1} = 65.42 \quad 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} = 118.26$$

$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E_s}{\left(\frac{L_{\text{max}}}{r_1}\right)^2} = 66.88 \text{ ksi}$$

$$F_{CR} := \begin{cases} \text{if } \frac{L_{\text{max}}}{r_1} \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} \\ \left(0.658 \frac{f_y}{F_e}\right) \cdot f_y \\ \text{else} \\ 0.877 F_e \end{cases} = 34.49 \text{ ksi}$$

$$P_{n\text{compresión}} := A_g \cdot F_{cr} = 20.4 \text{ tonnef}$$

Factores de Seguridad

$$F_{S\text{tensión}} := P_{n\text{tensión}} / P_{u\text{tensión}} = 2719.89$$

$$F_{S\text{compresión}} := P_{n\text{compresión}} / P_{u\text{compresión}} = 11.01$$

$$F_{S\text{compresión}} := P_{n\text{compresión}} / P_{u\text{compresión}} = 8.16$$

$$F_{S\text{cortante}} := V_n / V_u = 132.71$$

Elemento N°2

Piso

Dimensiones del Perfil

$$A := 50 \text{ mm}$$

$$e := 2 \text{ mm}$$

$$A_g := 3.74 \text{ cm}^2$$

$$I := 14.13 \text{ cm}^4$$

Inercia

$$Z := 5.65 \text{ cm}^3$$

Módulo de Sección Plástica

$$S := 1.94 \text{ cm}^3$$

Módulo de Sección Elástica

$$r_1 := \sqrt{\frac{I}{A_g}} = 19.44 \text{ mm}$$

Radio de Giro

$$L_{\text{max}} := 1.50 \text{ m}$$

Longitud máxima del elemento

$$A_v := 2 \cdot A \cdot e = 200 \text{ mm}^2$$

Área de cortante

Demandas máximas

$$P_{u\text{tensión}} := 0.17 \text{ tonnef}$$

$$P_{u\text{compresión}} := 0.22 \text{ tonnef}$$

$$M_u := 0.08459 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$V_u := 0.7902 \text{ tonnef}$$

Tabla 23

Elementos de fuerza

TABLE: Element Forces - Frames													
Estado	Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
	Text	m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Text	m
Pu_max_pos	280	0	1.4D	Combination	0	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	280-1	0
Pu_max_pos	250	0.20646	1.4D	Combination	0	-0.22	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.01	250-2	0
M2_max_pos	240	0.2875	1.4D	Combination	0	0.04	-0.02	0.00	0.00	0.00	-0.01	240-1	0.2875
M2_max_neg	241	0.2875	1.4D	Combination	0	0.04	-0.02	0.00	0.00	0.00	-0.01	241-1	0.2875
M3_max_pos	252	0.40659	1.4D	Combination	0	0.1425	-0.625	1.023E-17	1.173E-16	9.158E-19	0.04583	252-2	0.20646
M3_max_neg	251	0.20646	1.4D	Combination	0	0.1426	0.6441	6.157E-17	-3.188E-18	-6.235E-18	-0.08459	251-1	0.20646
V2_max_pos	230	0.10323	1.4D	Combination	0	0.0456	0.7902	-4.986E-17	1.16E-16	2.314E-18	-0.04651	230-1	0.10323
V2_max_neg	235	0	1.4D	Combination	0	0.0456	-0.7901	0.00003086	0.00004007	0.000003056	-0.04648	235-1	0
V3_max_pos	240	0.2875	1.4D	Combination	0	0.0432	-0.2191	0.0038	0.02028	0.00047	-0.0204	240-2	0
V3_max_neg	240	0.9825	1.4D	Combination	0	0.0432	0.2008	-0.0038	-0.02023	-0.00041	0.02784	240-5	0

Fuente: Investigación, 2022

Capacidad Estructural del elemento

Capacidad a Tensión

$$P_{ntensión} := A_g \cdot f_y = 12.1 \text{ tonnef}$$

Capacidad a Flexión

$$M_n := f_y \cdot Z = 0.18 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Capacidad a Cortantes

$$V_n := 0.6 \cdot f_y \cdot A_v = 3.88 \text{ tonnef}$$

Capacidad a Compresión

$$\frac{L_{max}}{r_1} = 77.17$$

$$4.71 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} = 118.26$$

$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E_s}{\left(\frac{L_{max}}{r_1}\right)^2} = 48.06 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} := \begin{cases} \text{if } \frac{L_{max}}{r_1} \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} \\ \left(0.658 \frac{f_y}{r_1}\right) \cdot f_y \\ \text{else} \\ 0.877 F_e \end{cases} = 30.82 \text{ ksi}$$

Factores de Seguridad

$$F_{\text{Stensión}} := P_{n\text{tensión}} / P_{u\text{tensión}} = 71.15$$

$$F_{\text{Scompresión}} := P_{n\text{compresión}} / P_{u\text{compresión}} = 36.83$$

$$F_{\text{Sflexión}} := M_n / M_u = 2.16$$

$$F_{\text{Scortante}} := V_n / V_u = 4.91$$

Elemento N°3 Rigidizadores

Dimensiones del Perfil

$$A := 25 \text{ mm}$$

$$e := 2 \text{ mm}$$

$$A_g := 1.74 \text{ cm}^2$$

$$I := 1.48 \text{ cm}^4$$

Inercia

$$Z := 1.18 \text{ cm}^3$$

Módulo de Sección Plástica

$$S := 0.92 \text{ cm}^3$$

Módulo de Sección Elástica

$$r_1 := \sqrt{\frac{I}{A_g}} = 9.22 \text{ mm} \quad \text{Radio de Giro}$$

$$L_{\text{max}} := 2.00 \text{ m}$$

Longitud máxima del elemento

$$A := 2 \cdot A \cdot e = 100 \text{ mm}^2 \quad \text{Área de cortante}$$

Demandas máximas

$$P_{u\text{tensión}} := 0.01 \text{ tonnef}$$

$$P_{u\text{compresión}} := 0.27 \text{ tonnef}$$

$$M_u := 0.00016 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$V_u := 0.0017 \text{ tonnef}$$

Tabla 24

Elementos de fuerza

TABLE: Element Forces - Frames													
Estado	Frame	Station	OutputCase	CaseType	StepType	P	V2	V3	T	M2	M3	FrameElem	ElemStation
	Text	m	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	Text	m
Pu_max_pos	254	1.80314	1.2D+1.6L	Combination	0	-0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	254-1	1.80314
Pu_max_pos	293	2.31619	1.4D	Combination	0	-0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	293-1	2.31619
M2_max_pos	284	0	1.4D	Combination	0	-0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	284-1	0
M2_max_neg	285	0	1.4D	Combination	0	-0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	285-1	0
M3_max_pos	284	0.94393	1.4D	Combination	0	-0.179	0.0002696	0.000508	0.00002562	0.00005854	0.0004	284-1	0.94393
M3_max_neg	293	2.31619	1.4D	Combination	0	-0.2742	0.0017	-0.0002377	0.00004721	0.00016	-0.00087	293-1	2.31619
V2_max_pos	293	2.31619	1.4D	Combination	0	-0.2742	0.0017	-0.0002377	0.00004721	0.00016	-0.00087	293-1	2.31619
V2_max_neg	294	0	1.4D	Combination	0	-0.2742	-0.0017	0.0002375	-0.00004718	0.00016	-0.00087	294-1	0
V3_max_pos	287	0	1.4D	Combination	0	-0.1806	-0.0008894	0.0005081	0.00002569	0.00054	0.0001	287-1	0
V3_max_neg	285	0	1.4D	Combination	0	-0.1806	-0.0008894	-0.0005081	-0.00002569	-0.00054	0.0001	285-1	0

Fuente: Investigación, 2022

Capacidad Estructural del elemento

Capacidad a Tensión

$P_{ntensión} := A_g \cdot f_y = 5.63 \text{ tonnef}$

Capacidad a Compresión

$$\frac{L_{max}}{r_1} = 216.86$$

$$4.71 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} = 118.26$$

$$F_e := \frac{\pi^2 \cdot E_s}{\left(\frac{L_{max}}{r_1}\right)^2} = 6.09 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} := \begin{cases} \text{if } \frac{L_{max}}{r_1} \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E_s}{f_y}} \\ \left(0.658 \frac{f_y}{F_e}\right) \cdot f_y \\ \text{else} \\ 0.877 F_e \end{cases} = 5.34 \text{ ksi}$$

$P_{ncompresión} := A_g \cdot F_{cr} = 0.65 \text{ tonnef}$

Capacidad a Flexión

$M_n := f_y \cdot Z = 0.04 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$

Capacidad a Cortantes

$$V_n := 0.6 \cdot f_y \cdot A_v = 1.94 \text{ tonnef}$$

Factores de Seguridad

$$F_{S_{\text{tensión}}} := P_{n_{\text{tensión}}} / P_{u_{\text{tensión}}} = 562.74$$

$$F_{S_{\text{compresión}}} := P_{n_{\text{compresión}}} / P_{u_{\text{compresión}}} = 2.42$$

$$F_{S_{\text{flexión}}} := M_n / M_u = 238.52$$

$$F_{S_{\text{cortante}}} := V_n / V_u = 1141.45$$

9. Resumen de Fuerzas Internas por Elementos

Elemento N°1 Parantes

Modelo de Falla que Governa Flexo-Compresión

$$P_{u1} := 2.495 \text{ tonnef}$$

$$M_{u1} := 0.056 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$V_{u1} := 0.066 \text{ tonnef}$$

$$P_{n1} := 8.247 \text{ tonnef}$$

$$M_{n1} := 0.755 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$V_{n1} := 14.551 \text{ tonnef}$$

$$F_S := P_{n1} / P_{u1} = 3.31$$

$$F_S := M_{n1} / M_{u1} = 13.48$$

$$F_S := V_{n1} / V_{u1} = 220.47$$

Elemento N°2 Piso

Modelo de Falla que Governa "Flexión"

$$P_{u2} := 0.223 \text{ tonnef}$$

$$M_{u2} := 0.085 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$V_{u2} := 0.790 \text{ tonnef}$$

$$P_{n2} := 8.378 \text{ tonnef}$$

$$M_{n2} := 0.224 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$V_{n2} := 6.467 \text{ tonnef}$$

$$F_S := P_{n2} / P_{u2} = 37.57$$

$$F_S := M_{n2} / M_{u2} = 2.64$$

$$F_S := V_{n2} / V_{u2} = 8.19$$

Elemento N°2 Rigidizadores

Modelo de Falla que Governa "Compresión - Tracción"

$$P_{u3} := 0.274 \text{ tonnef}$$

$$M_{u3} := 0.001 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$V_{u3} := 0.002 \text{ tonnef}$$

$$P_{n3} := 0.545 \text{ tonnef}$$

$$M_{n3} := 0.051 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$V_{n3} := 3.234 \text{ tonnef}$$

$$F_S := P_{n3} / P_{u3} = 1.99$$

$$F_S := M_{n3} / M_{u3} = 51$$

$$F_S := V_{n3} / V_{u3} = 1617$$

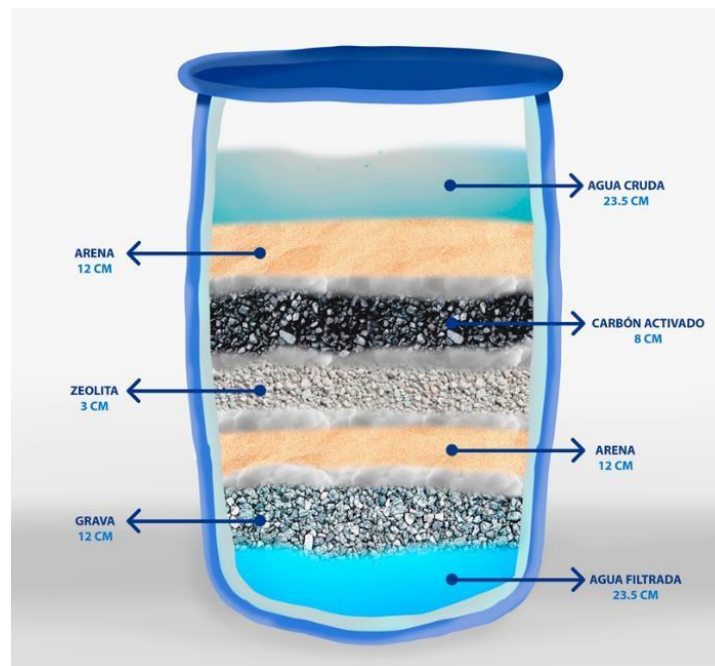
3.7 Red del filtro de agua

La red del filtro de agua diseñada para poder llevar a cabo la investigación consta de un

filtro de arena, zeolita, carbón activado y grava; cuyas dimensiones contempladas para sus capas, así como su disposición se detallan en la Figura 16, así como la lista de los materiales necesarios para su implementación, se resumen en la Tabla 22.

Figura 18

Diseño del filtro de agua



Fuente: Investigación, 2022

Tabla 25

Lista de materiales para la red del filtro de agua

ITEM	DESCRIPCION	CANTIDAD
1.	Entrada de tubería de 2 Pulgada.	1
2.	Válvula de paso rápido para 2 pulgada.	1
3.	Te de 2 pulgada con reductor a ½ pulgada ("T" 2 X 2 X ½ pulgada).	1
4.	Salida de tubería de 2 pulgada para riego.	1
5.	Tubería de ½ pulgada de PVC.	2 tubos (6 metros c/u)
6.	Unión roscada de ½ pulgada.	1
7.	Válvula de paso rápido para ½ pulgada.	6
8.	Unión universal (nudo) de ½ pulgada.	6
9.	Adaptador para tanque ½ pulgada.	6
10.	Válvula flotadora (boya) de ½ pulgada.	3
11.	Codo 90° de ½ pulgada.	5
12.	Codo cachimba.	1
13.	Te de ½ pulgada.	1
14.	Punto de salida para agua filtrada.	1

Fuente: Investigación, 2022

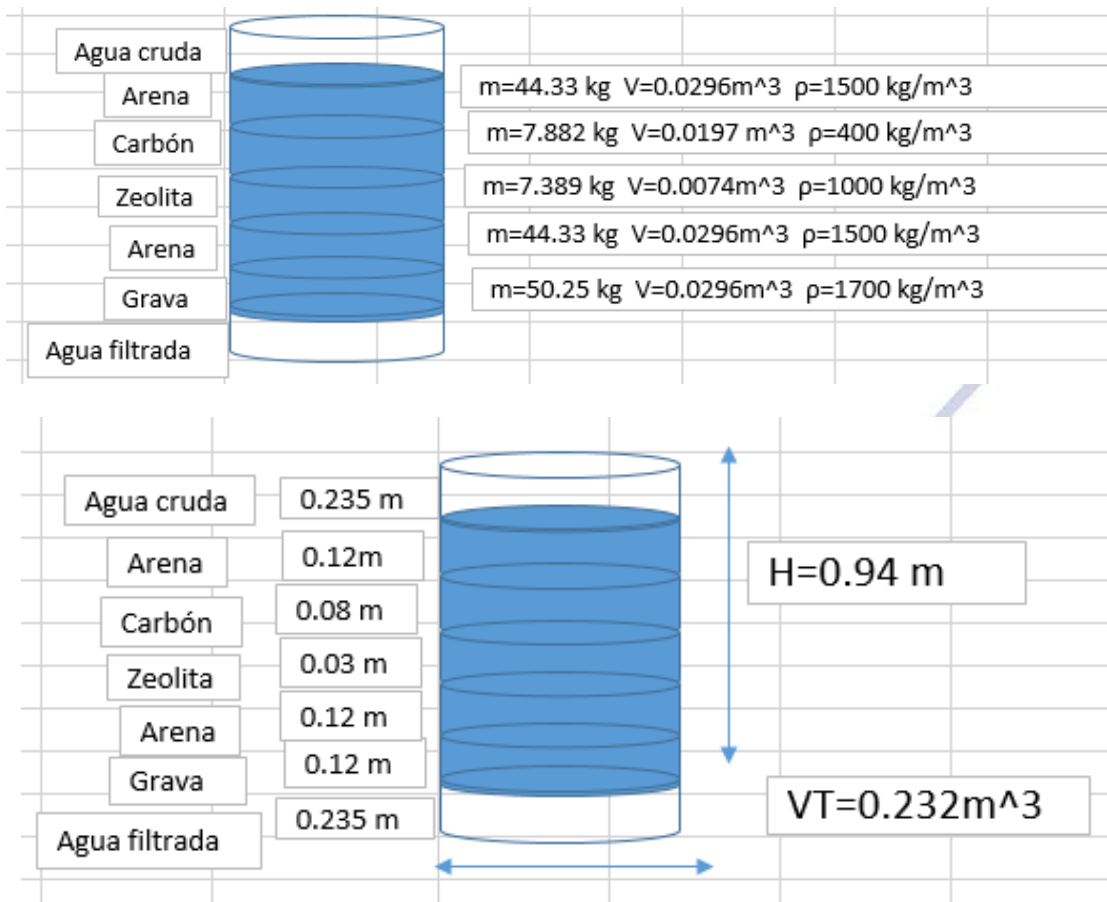
Resultados del diseño

Elementos	Masa	Cantidad	Altura	Diámetro	volumen	Densidad
unidad	kg	%	m	m	m ³	kg/m ³
Carbón activado	7.882	0.05	0.080	0.560	0.01970	400.00
Grava	50.245	0.33	0.120	0.560	0.02956	1700.00
Zeolita	7.389	0.05	0.030	0.560	0.00739	1000.00
Arena	44.334	0.29	0.120	0.560	0.02956	1500.00
Arena	44.334	0.29	0.120	0.560	0.02956	1500.00
Total	154.184	100.0%	0.940	2.800	0.12	

Fuente: Investigación, 2022.

Figura 19

Resultados del diseño



Fuente: Investigación, 2022

Donde:

Ecuación de volumen de cilindro

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

Ecuación de relación de densidad

$$m = \rho * V$$

Capítulo 4

Análisis de resultados

4.1 Resultados obtenidos

Luego de haber realizado el diseño de la planta y posteriormente realizar los análisis respectivos, se tienen los ensayos de agua tratada, la cual se tomó de la finca ubicada en el barrio San José, ubicado en la Vía a Posorja, lo cual arrojó los siguientes resultados del análisis del agua antes de ser tratada (ver Tabla 22) y después de ser tratada (ver Tabla 23), en donde se indica además el cumplimiento o no de la norma establecida

Tabla 22

Análisis físico-químico y microbiológico preliminar del agua.

No.	Parámetros	Concentración	Normativa	Cumplimiento
1	pH	7.04	6-9	cumple
2	color	25	75	Cumple
3	Turbiedad	2.35	100	cumple
4	Sólidos disueltos	763	-	
5	Demanda bioquímica del oxígeno	0.26	<2	cumple
6	Demanda química de oxígeno	11	<4	No cumple
7	dureza	363	-	
8	hierro	0.02	1.0	cumple
9	Nitritos	0.009	0.2	cumple
10	nitratos	1.03	50	cumple
11	Coliformes fecales	<1.1NMP/100ML		Índice del NMP con 95% de límite de confianza

Fuente: Investigación, 2022

A partir de los datos recopilados los cuales corresponden al agua encontrada en el barrio San José, que debido a la falta de planta potabilizadora, se puede observar que en el caso de la demanda química del oxígeno (DQO). Se puede evidenciar que existe un incumplimiento de la norma en ese parámetro, según los ensayos realizados.

Posteriormente para los resultados obtenidos a partir de los ensayos del agua de la localidad de San José, una vez tratada las muestras de agua, estas se sometieron a dichos ensayos, cuyos resultados se resumen en la Tabla 23.

Tabla 23

Análisis físico-químico y microbiológico posterior del agua

No.	Parámetros	Concentración	Normativa	Cumplimiento
1	pH	7.04	6-9	cumple
2	color	32	75	cumple
3	Turbiedad	<2.5	100	cumple
4	Sólidos disueltos	596	-	
5	Demanda bioquímica del oxígeno	8.18	<2	cumple
6	Demanda química de oxígeno	10.5	<4	No cumple
7	dureza	316	-	
8	hierro	<0.500	1.0	cumple
9	Nitritos	0.059	0.2	cumple
10	nitratos	11.65	50	cumple
11	Coliformes fecales	200	1000	cumple

Los resultados son comparados con la Legislación Ambiental Tabla 1, Criterios de calidad de agua para consumo humano y doméstico. Acuerdo Ministerial 2015, N°083B; 097-A; 140 Nov.

4.2 Discusión de resultados

En el trabajo de titulación de los autores (Chele & Palma, 2021), realizaron la remoción de parámetros químicos y biológicos, de lo cual ellos concluyeron:

Luego de haber realizados los ensayos correspondientes para la obtención de agregados orgánicos tales como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO). Así como de la presencia de metales tales como plomo (Pb), hierro (Fe) y manganeso (Mn), presentes en las muestras obtenidas, se procede a resumir los resultados. Para el análisis de los agregados orgánico y de los metales, se resolvió realizar los siete ensayos correspondientes que comprenden los realizados de la fuente de entrada a la planta potabilizadora (agua de pozo), los tres ensayos del prototipo 1(P1) correspondiente a: carbón activado (CA), caliza (CaCO₃) y carbón activado + caliza (CA + CaCO₃), así como los tres ensayos respectivos para el prototipo 2 (P2). (p. 85)

Donde, debido a la naturaleza de la implementación, que consta de un manto filtrante diseñado de manera experimental se llegó a conclusiones respecto a la remoción de DQO, de lo cual los autores afirman:

En la remoción del DQO, uno de los parámetros de interés propuesto en la tesis, se obtiene que comparando el agua presente en la planta de tratamiento de Jujan, corresponde a un valor de 20,44 mg O₂/L, mientras que el ensayo realizado en la planta compuesta por el prototipo 1 y manto filtrante de carbón activado, se tiene el valor de 5,11 mg O₂/L, lo que resulta una disminución al 25%, que constituye un valor aceptable considerando la practicidad del diseño del prototipo. Es necesario acotar que el prototipo 1 tiene una tasa superficial de filtrado de 6 m/h y un área transversal de 0,32 m². Es importante recalcar que los resultados obtenidos de la remoción del DBO y DQO guardan relación por cuanto gráficamente a partir de las figuras 42 y 43 se puede observar que tiene una relación de 1:1.9 en las muestras de agua de pozo y del prototipo 1 de carbón activado de ambos ensayos. (p. 96)

Sobre lo cual podemos concluir que los resultados muchas veces no alcanzaron los niveles óptimos o recomendados, ya sea por la NTE INEN 1108 2020, debido a que la construcción de tipo artesanal no contempla estándares de calidad en su fabricación, lo que incide de forma directa en los resultados obtenidos o muchas veces se debe a adecuaciones en el rediseño del prototipo para futuras experimentaciones.

4.3 Trabajos futuros

Como trabajo futuro se propone la implementación de capas de materiales que sean capaces de eliminar o minimizar parámetros ya sean estos fisicoquímicos o biológicos, los cuales no fueron mayormente minimizados por medio del presente diseño; debido a que por tratarse el presente estudio de un diseño netamente experimental, posee ciertas limitantes, sean estas de tiempo, de recursos, entre otros; los cuales limita de cierta manera la funcionabilidad de la futura implementación, lo que afecta la operatividad óptima de este tipo de filtros.

Se plantea como trabajo futuro además la inclusión de biofiltros, o filtros a partir de microorganismos, los cuales son capaces de reaccionar con partículas orgánicas en descomposición, metales pesados, entre otros. Produciendo su inocuidad, lo que repercute significativamente en la remoción de parámetros ya sean fisicoquímicos además como los biológicos.

Conclusiones

Al término del trabajo de graduación, se concluye lo siguiente:

Los estudios para el diseño de un filtro de grava para potabilizar el agua del barrio San José, se realizaron, inicialmente se realizó un primer estudio del agua cruda para identificar las condiciones y así crear un plan de trabajo y poder reconocer el estado del agua subterránea desde su origen, con los resultados tomados de los análisis del laboratorio permitirán identificar cuáles son las condiciones reales y así ejecutar un plan de acción para mejorar las condiciones de la calidad del agua teniendo en cuenta la clasificación de los materiales a ser usados en el filtro.

Se diseñó un filtro con el objetivo de mantener un estándar aplicado para conseguir los materiales de rápido acceso y con un valor económico accesible en el mercado y se seleccionó un contenedor que cuenta con todas las normas aplicadas en medio, para que cumpla con las necesidades que se requieren para garantizar su desempeño. Las normas aplicadas en el tanque son: ISO 9001 calidad, ISO 14001 medio ambiente, OHSAS 18001 seguridad y salud, ISO/IEC 17025 laboratorio y ISRS Clasificación de seguridad.

La separación de sedimentaciones a través de procesos de filtración se realizó a través de varias pruebas de retención para los sedimentos, encontrándose que la arena de granulometría fina cumple favorablemente con el objetivo de retener sedimentos y mejorar considerablemente la coloración transparente que debe cumplir el agua. Este tipo de filtrado lento por gravedad tiene una acción mecánica que pasa por arena y grava para retener la turbiedad del paso del agua atravesando sus capas y combinadas con el carbón activado que cumple con la acción química reduciendo las cargas bacteriológicas de patógenos que causan daño a la salud. Los materiales que conforman el filtro son muy fáciles de conseguir, ya sea de implementarlo en zonas rurales o urbanas, siendo de fácil acceso, con un mantenimiento constante para este tipo de filtro.

Para la elaboración del estudio técnico de la torre base para sistema de potabilización del agua de pozo utilizado en el barrio San José, se seleccionó la torre con los requerimientos de diseño necesario, que cumpla con la seguridad de estructuración en cargas, también en la seguridad industrial, debido a que se considerada como un riesgo de altura al tener una longitud vertical de 6 metros. El diseño cumple con un ahorro económico considerable y de espacio en el

área del suelo, ya que apenas ocupa 1.5 metros cuadrados, este diseño es bastante confiable según los resultados obtenidos con los cálculos.

El esquema correspondiente a la red de tuberías hídricas para el reabastecimiento del sistema para agua potable, propuesto para el presente estudio, se diseña de forma explícita en el Capítulo 3, inciso 3.2, en el cual se detalla así mismo los diseños y cálculos para el caudal y la presión, caudal de la bomba, la presión de la bomba, se calcula el número de Reynolds, la ecuación de Darcy Weisbach, las pérdidas de cargas por accesorios y las presiones en los diferentes puntos.

Para proponer el proyecto en base a las normas de calidad estipuladas bajo la Ley del Ministerio de Salud, se tomó como base las normas de calidad que exige la Ley del Ministerio de Salud del Ecuador. Los resultados de los análisis mencionados están comparados con el Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluente al Recurso Agua (Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico), en su versión actualmente vigente.

Se recomienda antes de construir el filtro, así como montar el tanque y utilizar los materiales, se deben preparar, esto consiste en una limpieza con agua limpia y eliminar las impurezas, en caso de utilizar arena fina de mar, se recomienda lavar muy bien hasta quitar la sal de esta.

Se recomienda para el mantenimiento de este tipo de filtro, hacerlo por lo menos en periodos de aproximadamente seis meses, y debe constar en su desarme para poder reutilizar la grava y la zeolita, para lo cual es necesario lavarlas con abundante agua y en el caso del carbón activado, algodón y arena si es recomendable cambiarlo ya que este con el uso va perdiendo sus propiedades útiles en la calidad del agua.

Se recomienda a los pobladores de la localidad aunar esfuerzos, con la finalidad de elaborar propuestas que tengan que ver con la implementación de este tipo de diseño, los cuales beneficia a la academia, por medio de la vinculación directa de los pregradistas con una problemática a solucionar; a sociedad en general, por los beneficios obtenidos como resultados de este tipo de proyectos, por la mejora de las condiciones de vida de las localidades y de manera específica a los pobladores de la localidad de San José, que serán los beneficiarios directos de este tipo de implementaciones.

Bibliografía

Laboratorio aguas,petroleo y medio ambiente. (2021). *Analisis fisico-quimico del agua* .
Guayaquil.

PumpSupermarket. (2021, Noviembre 15). *PumpSupermarket*. Retrieved from
<https://pumpsupermarket.com/product/3hp-submersible-230v-3ph-motor-47gpm-deep-well-potable-water-pump/>

Arias, B. (2022). *Especificaciones Tecnicas del filtro*. Guayaquil.

Chele, A., & Palma, K. (2021). *REMOCIÓN DE LA DBO, DQO, PLOMO, HIERRO Y MANGANESO MEDIANTE MANTOS FILTRANTES ELABORADOS CON CARBÓN ACTIVADO DE CÁSCARA DE COCO Y CALIZA EN LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN DEL CANTÓN ALFREDO BAQUERIZO MORENO (JUAN)*.
Guayaquil: Repsitorio Universidad Laica Vicente Rocafuerte.

Gonzabay, J. (2022, Febrero). Torre metalica. Guayaquil.

Hidraulicafacil. (2017, Julio 7). *Hidraulicafacil*. Retrieved from
<https://www.hidraulicafacil.com/2017/07/perdida-de-carga-localizada-o-en.html>

Instituto Ecuatoriano de Normalizacion. (2017). *Norma Tecnica Ecuatoriana 2956*. Ecuador:
INEN.

Instituto Ecuatoriano de Normalizacion. (2019). *NTE INEN 2497*. Guayaquil.

Instituto Ecuatoriano de Normalizacion. (2020). *NTE INEN 1108*. Guayaquil.

Jaramillo, A. O. (2005). *Bioingenieria de Aguas Residuales*. acodal.

Laboratorio LA-IIT-UG. (2021). *Analisis microbiologico*. Guayaquil.

Martín, A. (2013). *Apuntes de mecánica de fluidos*. Madrid.

Netto, R. S. (2000, Mayo 1). *Fisicanet*. Retrieved from

<https://www.fisicanet.com.ar/fisica/estatica-de-fluidos/tb01-densidades-liquidos.php>

PLASTIGAMA-WAVIN. (2018). *Presion pvc roscables*. Retrieved from

<https://plastigama.com/wp-content/uploads/2018/09/HT-PVC-Roscable-2018.pdf>

White, F. (2004). *Mecanica de fluidos*. Madrid-España: Mc Graw Hill.

ANEXOS

Anexo 1: Reportes de laboratorio

61

Guayaquil, 12 de enero del 2022

INFORME DE ENSAYOS REALIZADOS

N°EPIQ-001-2022

Fecha de Recepción: 18 de diciembre del 2021

Solicitante: Bryan Arias Oñate

Dirección del Solicitante:

Datos Generales de la Muestra

Tipo de Muestra: Agua
Identificación: Frasco de Vidrio
Temperatura: 20°C
Condición: Óptima
Fecha de Recepción: 20 de diciembre del 2021
Fecha de Análisis: 30 de diciembre del 2021

Identificación de la muestra	Investigación Microbiológica	Método	Lectura	Unidad	Límite de Cuantificación
Agua de pozo	Coliformes Fecales	INEN 1 529-RNMP	< L1 NMP/100 ML	NMP	Índice del NMP con 95% de límite de confianza

Realizado por:



CARMEN ESPERANZA
LLERENA RAMÍREZ

Ing. Carmen Llerena Ramírez, MSc.
Laboratorio LA-IIT-UG



El contenido de este informe solo afecta al objeto presentado a ensayo.
Este informe solo puede ser reproducido en su totalidad y con autorización del

LA-IIT-UG

BRYAN ARIAS OÑATE
atn. Bryan Arias Oñate
johny_gonza@hotmail.com

Lugar de ejecución del ensayo:
AGRO RUM S.A. (Asesoría Agroindustrial Ambiental)
info@agrorum.net
Cda. Kennedy, Av. San Jorge # 205 y calle 3da. Oeste
Guayaquil - Ecuador

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE	
Matriz de la muestra:	Agua Natural
Descripción de la muestra:	Agua de pozo subterráneo
Lote N°:	---
Fecha/Hora de toma de muestra:	2022-02-16 - 11:00 am
Lugar de toma de muestra:	Progreso, Finca Vincas
Muestra tomada por:	Bryan Arias (Cliente)

DATOS DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA EN LABORATORIO	
Fecha de Recepción:	2022-02-17
Cantidad de muestra:	~ 3 L
Tipo de envase:	Botella Plástica
Temperatura de Recepción:	Ambiente
Fecha inicio:	2022-02-17
Fecha fin análisis:	2022-02-23

RESULTADOS DE ANALISIS					
Parámetro	Unidad	Resultado	U (k=2)	LMP	Método de ensayo
Fisicoquímicos					
Nitrato	mg/L	11,65	50		T-LB-030, Hach 10206, 8171
Nítrico ^(N)	mg/L	0,059	0,2		T-LB-050, Hach 8507
Turbidez	NTU	<2,5	100		T-LB-042, SM 2130-B Nefelométrico
Sólidos Totales Disueltos *	mg/L	598	---		T-LB-015 SM 2540 C Gravimetría
Potencial de Hidrógeno	---	7,65	6-9		T-LB-004, SM 4500 H+ B
Dureza *	mg/L CaCO ₃	316	---		T-LB-027, Método 8226 HACH
Color	UPCo	32	75		T-LB-040, Hach 8025
Hierro Total *	mg/L	<0,500	1		T-LB-002, EAA - Llama
Demanda Química de Oxígeno ^(DQO)	mg/L	10,5	<4		T-LB-001, HACH 8000, Ed 10, 2014 SM 5220 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno ^(DBO)	mg/L	0,18	<2		T-LB-002, SM 5210 B
Microbiológicos					
Coliformes Fecales	UFC/100ml	200	1 000		T-LB-049, SM 9222 D

COMENTARIOS:
Los resultados de los análisis mencionados, están comparados con el anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente norma de calidad ambiental y de descarga de efluente al recurso agua.Tabla 1. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico, en su versión actualmente vigente.

<p>NOMENCLATURA: U (nd): Incertidumbre LMP: Límite Máximo Permisible N.D.: No Detectado N.A.: No Analizado (a): Muestra recibida pasado el tiempo de espera, después de la toma de muestra. (b): Muestra recibida en envase inadecuado. En microbiología los valores expresados como < Niveles de cuantificación, significa ausencia. Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE. Los ensayos marcados con (D) están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE, pero el resultado está fuera del alcance de la acreditación. Los ensayos marcados con (**) contienen resultados ACREDITADOS suministrados por un laboratorio externo con N° de acreditación N/A. Los ensayos marcados con (†) contienen resultados NO acreditados suministrados por un laboratorio externo, competencia evaluada según el Procedimiento de Productos y Servicios Suministrados Elaboramiento de AGRO RUM S.A.</p>
<p>TERMINOS Y CONDICIONES La responsabilidad por el resultado queda excluida, a menos que haya sido realizado por AGRO RUM S.A. Los resultados de la prueba se refieren únicamente a la muestra recibida sometida a ensayo. AGRO RUM S.A. no se hace responsable por los datos proporcionados por el cliente. La información completa relativa a los ensayos, está a disposición del cliente que la solicita. El contenido de este informe sólo puede publicarse o reproducirse de forma completa. Los informes de resultados serán entregados en horario laboral cuando sea confirmado el pago por parte del cliente y será entregado por vía e-mail. AGRO RUM S.A. garantiza absoluta confidencialidad, comprometiéndose a guardar reserva respecto a los datos e información sobre los cuales haya tomado conocimiento, así como los informes de resultados que tiene en custodia. En el caso de que la información necesite ser enviada, se comunicará previamente a las partes involucradas a fin de solicitar su autorización.</p>

Autorizado por:


 Firmado digitalmente por
 Isabel García A.
 Fecha: 2022.03.24
 12:10:40 -05'00'

Coordinadora de Laboratorio

-FIN DEL INFORME DE ANALITICO-



UNIDAD DE CONTROL DE CALIDAD
LABORATORIOS
AGUAS PETRÓLEO Y MEDIO AMBIENTE
Facultad de Ingeniería Química
Universidad de Guayaquil
Calle Universitaria Salvador Alvarado
Teléfono: 2282949 - FAX: 2284772
Guayaquil - Ecuador

LABORATORIO DE
ENSAYO
ACREDITADO

FOR EL SAE
CON ACREDITACIÓN

N° ONE LE C 08-003

INFORME DE ANALISIS FISICO - QUIMICO

INFORME N°: LA / 154 / 21

SOLICITADO POR: BRYAN ARIAS OÑARTE / JOHNY GOMZARAY
EMPRESA: -
DIRECCIÓN: -
Fecha de inicio de análisis: 2021 / 12 / 17 Fecha de recepción: -
Fecha de culminación de análisis: 2021 / 12 / 22 Fecha de emisión: 2021 / 12 / 17

IDENTIFICACIÓN DE LOS ANÁLISIS TABULADOS

A: MUESTRA DE AGUA DE POZO⁽¹⁾ TIPO DE MUESTRA: PUNTUAL⁽²⁾
(Vía Progreso Playas, barrio San José) FECHA DE MUESTREO: 2021 / 12 / 17⁽³⁾

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados		Incert. U (k=2)	Límites Máximos Permitidos ⁽⁴⁾	Método
				A			
Potencial de Hidrogeno	pH			7.04	± 0.11	6 - 9	090470 METHUEN
*Color	Color real 2000 integración seneca	PCU		25	-	75	8025 HACH
**Turbiedad		NTU		2.35	-	990	2190 H
*Sólidos disueltos	-	mg/l		363	-	-	2500 H
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O. ₅	mg/l		0.28	-	< 2	0108 METHUEN
**Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l		11	-	< 4	0109 METHUEN
*Dureza	CaCO ₃	mg/l		363	-	-	2190 H
*Hierro	Fe	mg/l		0.02	-	1.0	8099 HACH
*Nitrato	N-NO ₃ ⁻	mg/l		0.009	-	0.2	8107 HACH
*Nitrito	N-NO ₂ ⁻	mg/l		1.03	-	50	8171 HACH

OBSERVACIONES:

Los ensayos marcados () NO están incluidos en el alcance de la Acreditación del SAE.

**Rango de Acreditación: DQO: 100 - 800 mg/l; DBO: 100 - 500 mg/l.

⁽³⁾ Datos proporcionados por el cliente.

El laboratorio no es responsable de la información proporcionada por el cliente o de las condiciones en que se reciben las muestras y que puedan afectar la validez de los resultados.

⁽⁴⁾ Legislación Ambiental Tabla 1, Criterios de calidad de agua para consumo humano y domesticación. Acuerdo Ministerial 2005, N°048.097-A, 140 Nvs.

Acreditado por:
ING. MARLON RAMIREZ
DIRECTOR TÉCNICO

Fecha de emisión:
2021 / 12 / 22

Los análisis fueron realizados de acuerdo al STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER, SEWAGE AND INDUSTRIAL WASTE, 23-ED EDITION

* Los resultados obtenidos en este informe son exclusivos de la Muestra sometida a ensayo.
Nota: - * Queda prohibida la reproducción parcial o total de este informe sin previa autorización de esta Unidad.

Anexo 2: Elementos de la planta piloto

Generador de Electricidad



Piscina de almacenamiento agua



Terreno de la finca



Pozo



Accesorios



Arena



Grava



Zeolita



Grava



Zeolita



Carbón activado



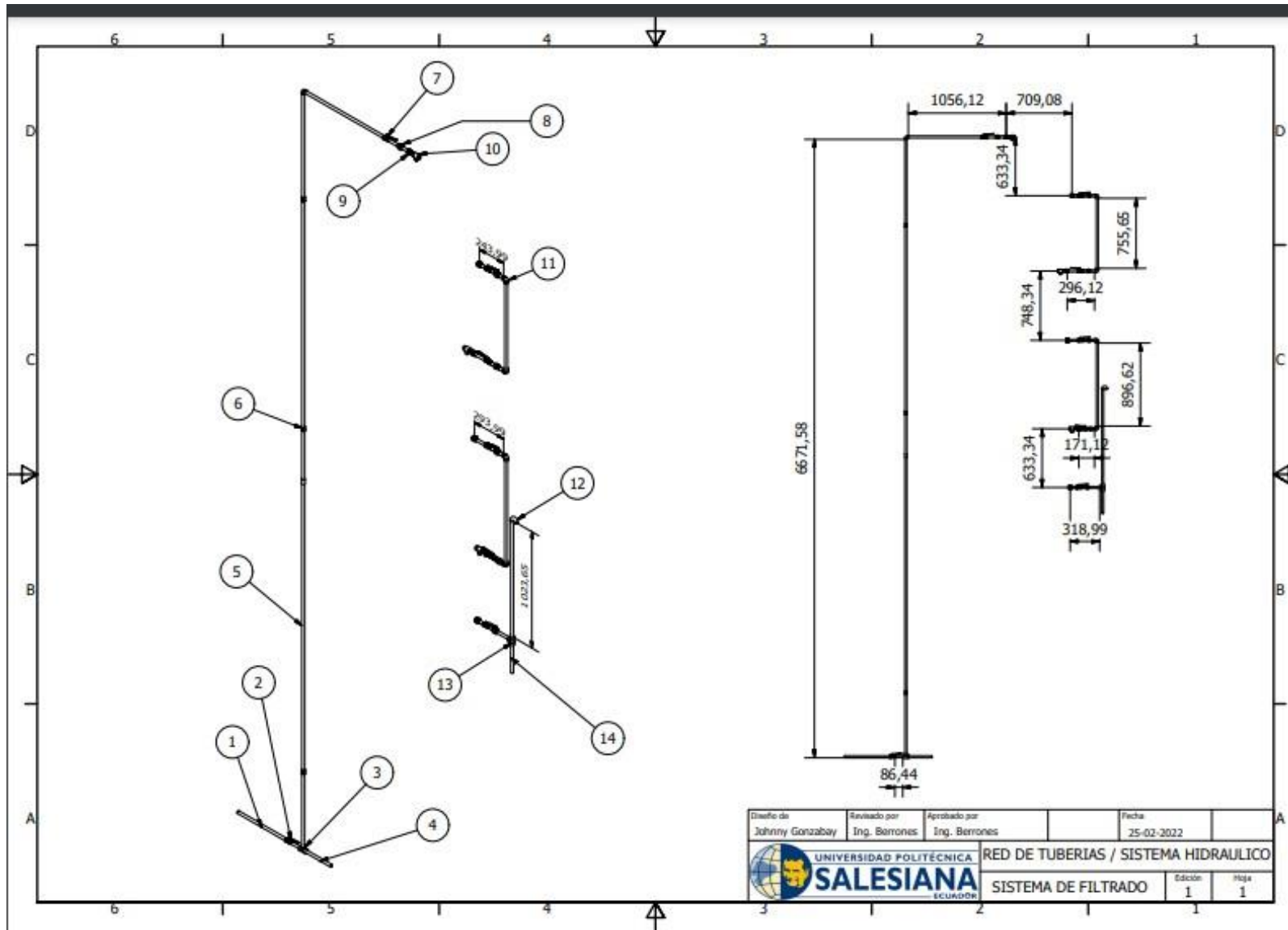
Arena ,filtro completo



Filtrando el agua del pozo



Anexo 3: Red de tuberías del sistema hidráulico



Anexo 5: Diseño de la torre para potabilización

