



**Diseño y montaje de un sistema de bombeo con capacidad de 0,27 Litros/s para  
uso agrícola (bebederos de ganado y riegos) de la Finca Villa Norma, San Vicente  
del Caguán**

**Daniel Felipe Lombana Veru**

20451517839

**Rubén Darío Pastrana Ramírez**

20451826902

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

Año 2022



**Diseño y montaje de un sistema de bombeo con capacidad de 0,27 Litros/s para  
uso agrícola (bebederos de ganado y riegos) de la Finca Villa Norma.**

**Daniel Felipe Lombana Veru**

20451517839

**Rubén Darío Pastrana Ramírez**

20451826902

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

**Ingeniero Mecánico**

Directora

Martha Solano -Ingeniera mecánica

Línea de investigación de materiales, diseño mecánico y elementos de máquinas.

**Universidad Antonio Nariño**

Programa Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Neiva, Colombia

Año 2022



## NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

\_\_\_\_\_.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_

Firma del Tutor

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

Neiva, 10 mayo 2022.

# Contenido

	Pág.
Contenido	
<b>Resumen</b> .....	<b>7</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>8</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>9</b>
<b>Descripción del problema</b> .....	<b>13</b>
<b>Justificación</b> .....	<b>14</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>16</b>
<b>Antecedentes</b> .....	<b>17</b>
<b>1.Marco teórico</b> .....	<b>19</b>
1.1    Parámetros para sistemas de bombeo.....	19
1.2    Sistemas de bombeo .....	20
1.3    Sistema de almacenamiento por tanque .....	21
1.3.1    Configuración de tanques usados actualmente .....	21
1.4    Disminución de turbidez en el agua por filtrado .....	27
1.4.1    El filtrado con carbón activo como tratamiento de agua.....	28
1.4.2    El filtrado con arena como tratamiento de agua .....	28
1.4.3    Filtración por arena y su importancia en los riegos.....	29
<b>2. Diseño Metodológico</b> .....	<b>30</b>
2.1    Primera fase. Ideación y conceptualización .....	31
2.1.1    Diagnóstico inicial .....	31
2.1.2    Caracterización de los tanques .....	32
2.1.3    Caracterización del sistema de bombeo.....	32
2.1.4    Caracterización del filtrado del agua .....	32
2.2    Segunda fase. Ejecución y diseño .....	33
2.2.1    Cálculo para el sistema de bombeo.....	33
2.2.2    Cálculo de estructura metálica y análisis por elementos finitos.....	38
2.2.3    Compra de los elementos requeridos para el sistema de bombeo .....	43

2.3	Tercera fase. Establecer la construcción del proyecto .....	46
2.3.1	<i>Construcción de la estructura</i> .....	47
2.3.2	<i>Ubicación de tanques con accesorios y sistema de bombeo</i> .....	51
2.4	Calculo de union soldada .....	56
2.4.1	<i>Manual de operación y mantenimiento preoperacional</i> .....	58
<b>3.</b>	<b>Resultados y análisis de resultados.....</b>	<b>61</b>
3.1	Primer resultado de parámetros de sistema de bombeo y sistema de filtrado.....	61
3.2	Segundo resultado del diseño del sistema de bombeo de agua con capacidad de 0,27 Litros/s.....	63
3.3	Análisis de la estructura para soportar 3000 litros .....	63
3.3.1	<i>Análisis de resultados de unión soldada</i> .....	72
3.3.2	<i>Funcionamiento del equipo</i> .....	73
	<b>Conclusiones .....</b>	<b>76</b>
	<b>Anexos .....</b>	<b>77</b>
	Anexos N.º 1. Plano sujetadores .....	77
	Anexos N.º 2. Plano base plataforma .....	78
	Anexos N.º 3. Plano apoyos dos caras .....	79
	Anexos N.º 4. Plano para segundo tanque .....	80
	Anexos N.º 5. Plano soporte para torres.....	81
	Anexos N.º 6. Plano parales de 2000mm, 1200mm y 400mm.....	82
	<b>Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>83</b>

## Lista de Figuras

	Pág.
<b>Figura 1. 1</b> <i>Bomba por Combustión</i> .....	20
<b>Figura 1. 2</b> <i>Bomba por Combustión</i> .....	22
<b>Figura 1. 3</b> <i>Tanques de 55 Litros</i> .....	23
<b>Figura 1. 4</b> <i>Tanque de Llenado con Capacidad de 250 Litros</i> .....	24
<b>Figura 1. 5</b> <i>Tanque de Llenado con Capacidad de 250 Litros</i> .....	25
<b>Figura 1. 6</b> <i>Sistemas de Tanques que Trabajan por Gravedad</i> .....	26
<b>Figura 1. 7</b> <i>Configuración de Tanques</i> .....	27
<b>Figura 1. 8</b> <i>Turbidez en el Agua Río Caguán</i> .....	28
<b>Figura 2. 1</b> <i>Diagrama de distancias y alturas sobre el nivel de la bomba</i> .....	33
<b>Figura 2. 2</b> <i>Diagrama de cuerpo libre sobre el perfil cuadrado</i> .....	39
<b>Figura 2. 3</b> <i>Análisis sobre un perfil cuadrado.</i> .....	39
<b>Figura 2. 4</b> <i>Diagrama de cargas, cortantes y flectores</i> .....	41
<b>Figura 2. 5</b> <i>Parales principales</i> .....	47
<b>Figura 2. 6</b> <i>Soporte intermedio.</i> .....	48
<b>Figura 2. 7</b> <i>Soporte lateral.</i> .....	49
<b>Figura 2. 8</b> <i>Construcción y ensamble de torre uno.</i> .....	49
<b>Figura 2. 9</b> <i>Piezas y acoples</i> .....	50
<b>Figura 2. 24</b> <i>Armado de torres.</i> .....	51
<b>Figura 2. 11</b> <i>Corte de tanques.</i> .....	52
<b>Figura 2. 12</b> <i>Verificación de tanques y tubos de filtrado.</i> .....	52
<b>Figura 2. 13</b> <i>Ubicación de accesorios sobre los tanques.</i> .....	53
<b>Figura 2. 14</b> <i>Distribución de material filtrante.</i> .....	54
<b>Figura 2. 15</b> <i>Distancia entre tanques 600 mm.</i> .....	55
<b>Figura 2. 16</b> <i>Ubicación de carga en la union soldada</i> .....	56
<b>Figura 2. 17</b> <i>Tamaño de la garganta del cordon de soldadura</i> .....	57
<b>Figura 2. 15</b> <i>Propiedades de electrodos de acero</i> .....	57
<b>Figura 3. 1</b> <i>Distribución de manguera hasta los tanques.</i> .....	61
<b>Figura 3. 2</b> <i>Salida de agua luego de pasar por los tres filtros.</i> .....	62
<b>Figura 3. 3</b> <i>Purgado de bomba.</i> .....	63
<b>Figura 3. 4</b> <i>Procedimiento sobre el tubo.</i> .....	64
<b>Figura 3. 5</b> <i>Valor de límite de fluencia en acero estructural tipo TE- 20.</i> .....	65



<b>Figura 3. 6</b> <i>Aplicación de material.</i> .....	65
<b>Figura 3. 7</b> <i>Deformación sobre tubo</i> .....	66
<b>Figura 3. 8</b> <i>Plataforma.</i> .....	67
<b>Figura 3. 9</b> <i>Primera torre.</i> .....	67
<b>Figura 3. 10</b> <i>aplicación de cargas.</i> .....	68
<b>Figura 3. 11</b> <i>Aplicación de cargas en el ensamble.</i> .....	68
<b>Figura 3. 12</b> <i>Simulación torre uno.</i> .....	69
<b>Figura 3. 13</b> <i>Cargas en torre tres</i> .....	70
<b>Figura 3. 15</b> <i>Simulación torre tres.</i> .....	70
<b>Figura 3. 15</b> <i>Simulación torre uno.</i> .....	71
<b>Figura 3. 16</b> <i>Simulación de cargas en torre tres.</i> .....	72
<b>Figura 3. 17</b> <i>Simulación de esfuerzos sobre torre uno</i> .....	72
<b>Figura 3. 18</b> <i>Verificación de conexiones.</i> .....	73
<b>Figura 3. 19</b> <i>Prueba de funcionamiento tramo uno</i> .....	74
<b>Figura 3. 20</b> <i>Prueba de funcionamiento tramo dos</i> .....	74

## Lista de tablas

**Pág.**

<b>Tabla 2. 1 Rugosidad del PVC .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 2. 2 Valores de coeficiente K de aditamentos .....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 2. 3 Costos de construcción. ....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 2. 4 Material torre uno.....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 2. 5 Material de torre dos. ....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 2. 6 Material de torres tres.....</b>	<b>46</b>

## Lista de Símbolos y Abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
L/s	Litros/ segundo	$\frac{L}{s}$
$\rho$	Densidad del agua	kg/m <sup>3</sup>
g	Aceleración por gravedad	(9,81 m/s) <sup>2</sup>
Q	Descarga de agua	m <sup>3</sup> /h
H	Tamaño de la cabeza	mm
Hp	Potencia	mm
$h_B$	Cabeza de energía	mm
V	Velocidad	$\frac{m}{s}$
Re	Reinolds	

Neiva, 27 de abril de 2022

## **Dedicatoria**

*A nuestros padres por el apoyo incondicional en nuestro proceso formativo como Ingenieros Mecánicos.,*

*A los campesinos por su ardua labor en el campo para brindarnos alimentos y bienestar a quienes estamos en la ciudad.*

*A todas aquellas personas que hicieron posible desarrollar este proyecto.*

## **Agradecimientos**

Los autores expresan sus agradecimientos

A la Universidad Antonio Nariño, por la oportunidad de profesionalizarnos y avanzar en el crecimiento personal, ciudadano y profesional.

Así mismo a los maestros y maestras por sus valiosos aportes a nuestra formación.

A la asesora, ingeniera Martha Solano, quien, con su experiencia y orientación, incentivó este proceso investigativo.

Y a todas las personas que hicieron posible a través de sus aportes que hoy estemos culminando nuestro estudio de pregrado.



## Resumen

El departamento del Caquetá tiene actualmente en las zonas rurales; problemas para suministrar agua por los acueductos actuales, provocando en la mayoría de fincas, acudir a extraer agua de ríos y pocetas de almacenamiento natural para su propio abastecimiento agroindustriales. Partiendo de esta necesidad la finca Villa norma ubicada en vereda San Vicente, se le brindo una solución por medio del diseño y montaje de un sistema de bombeo con capacidad de 0,27 litros/ s para requerimientos en bebederos y riego. Con una metodología practica empírica, se trasladó agua turbia desde una distancia de 230000 mm ; empleando una bomba de 1 Hp. Para disminuir la turbidez del agua se usó una configuración de tanques con capas de filtrado de piedra, piedrilla, carbon mineral y arena . Permitiendo, distribuir del agua por gravedad, debido a una diferencia de altura de 8000 mm en la zona de almacenamiento de 3000 litros.

**PALABRAS CLAVE:** Filtrado, riego, tanques de almacenamiento, bombeo aéreo.

### **Abstract**

The department of Caquetá currently has in rural areas; problems to supply water by the current aqueducts, causing most farms to draw water from rivers and natural storage ponds for their own agro-industrial supply. Based on this need, the Villa Norma farm located in San Vicente, was given a solution through the design and installation of a pumping system with a capacity of 0.27 liters / s for drinking and irrigation requirements. With a practical empirical methodology, turbid water was transferred from a distance of 230,000 mm; using a 1 Hp pump. To reduce the turbidity of the water, a configuration of tanks with filtering layers of stone, pebbles, charcoal and sand was used. Allowing, to distribute the water by gravity, due to a height difference of 8000 mm in the storage area of 3000 liters.

**KEY WORDS:** Filtration, irrigation, storage tanks, aerial pumping.



## Introducción

El departamento del Caquetá tiene actualmente dificultad para suministrar agua para las zonas rurales que se encuentran distantes de los municipios; como lo es San Vicente del Caguán, en donde se afecta ampliamente el sector agropecuario de la región, causando el riego no tecnificado de cultivos y el suministro intermitente de agua al ganado bovino, provocando el uso inadecuado del agua como recurso natural no renovable(Ideam, 2019). Esta situación indica la necesidad de implementar estrategias tecnológicas, que permitan ejercer un mayor control en la administración de los recursos naturales, contribuyendo al desarrollo de la región y el país.

Para la realización del presente estudio se ha tenido en cuenta las contribuciones realizadas por diversos autores, los cuales desde sus aportes orientan este proceso investigativo. Abedinpour 2017, realizó una evaluación de campo del desempeño técnico del sistema de riego por aspersión de pivote central, desarrollado durante la temporada de cultivo del maíz , operando por diferentes velocidades de trabajo. Desde este proyecto se pudo concluir que la aplicación de agua no uniforme conduce a un riego excesivo o insuficiente en varias partes del campo, lo que puede resultar en un desperdicio de agua(Abedinpour, 2017). Ocampo en el año 2019, diseñó un sistema de riego por aspersión para un área de siembra de aproximadamente de 433.27 m<sup>2</sup> para los cultivos de maíz, frijol y cebolla larga, en la granja Tarapacá ubicada en la ciudad de Santiago de Cali, se calcularon las frecuencias de riego óptimas para cada planta, lo que permitió que el sistema de riego fuera más eficiente y por lo tanto cada cultivo recibiera solo la cantidad

de agua que realmente necesitaba, se determinaron las velocidades y las presiones requeridas en cada tramo de tubería, para el correcto funcionamiento del sistema (Ocampo, 2019).

Cortes & Vargas, en el año 2020(Cadavid & Garcia, s. f.), presentaron el diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante, aplicado en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias Marie Poussepin. En este trabajo lograron automatizar el riego del cultivo y tener un control de las variables principales que influyen directamente en el desarrollo de la siembra, se optimizó el consumo de agua ya que así se garantiza la cantidad necesaria y exacta requerida por el tipo de cultivo.

Así mismo, para el desarrollo de este proyecto es necesario resaltar algunos aspectos técnicos como los propuestos por Valadez 2017 (Valades, 2017), según el cual para almacenar y distribuir agua es necesario conocer o estimar la variación del agua y tener en cuenta como se debe manejar. Así mismo sostiene que es importante recalcar el uso de válvulas o equipos de bombeo, para luego si ser almacenada y el personal operativo pueda tomar decisiones al momento de presentarse alguna eventualidad; además que se debe considerar el gasto de salida y el de entrada del agua , teniendo en cuenta que la entrada de se puede afectar por la época del año, el uso de agua de día o de noche, la zona geográfica de la localidad a trabajar o proyecto a desarrollar , aportes similares a los considerados por Herrera y Martínez (2019), que señalan la necesidad de llevar el control de consumo mensual de los últimos años, debido a que hay temporadas en las que se requiere más agua que en otras , no solo por los cambios climáticos, sino por el requerimiento del momento según sea la aplicación(Leal & Chingaté, s. f.).

Considerando los aportes que realizaron los autores citados anteriormente, las problemáticas tratadas se deben al uso racional del agua para los riegos, siendo así, que, en el sector de la vía de nacional del Caquetá, se ubica la finca Villa Norma, el cual no cuenta con este tan preciado líquido para riegos de cultivos y la hidratación del ganado.

Requiriendo el uso de herramientas tecnológicas, debido a múltiples factores dentro de los cuales está el alto costo de las mismas, la falta de conocimiento de los dueños o administradores de las fincas, la ausencia de recursos económicos para su construcción o adquisición, llevándolos a utilizar tecnologías arcaicas, disfuncionales; como lo es el riego por medio de la bomba Kondor, la cual tiene una capacidad de 20 litros únicamente, equipo que es cargado en la espalda de los trabajadores e impulsado de manera manual, lo que puede generar posibles problemas ergonómicos en el operador.

Este tipo de tecnologías arcaicas; está causando en el campo agroindustrial una baja demanda de productos cárnicos en este mundo globalizado, que exige con urgencia estos procesos de tecnologización, para ser competitivos, pero también que velen por la protección del ambiente, caso específico el agua, recurso natural cada vez más escaso y contaminado. El uso prudente del agua en el sector agrícola para sostener su crecimiento y el retraso de la degradación ambiental, toma importancia en la medida que este recurso no está al acceso de todos, no garantiza la manutención de los diferentes procesos agrícolas y repercute en las condiciones económicas de la finca.

Como desarrollo del documento se tiene plasmado en el capítulo del marco teórico, bases fundamentales para entender la importancia de los tanques de almacenamiento y configuraciones a usar, ya que aportaron en el diseño, con el uso de tanques configurados en serie y al aprovechar la gravedad se omite el uso de bombas para desplazar agua hasta

otros puntos requeridos, además se contempla la importancia de como disminuir la turbidez del agua, ya que es el recurso usado por la finca Villa Norma, agua de poceta con tonalidad café debido al color de la tierra y los sedimentos que se forman por desechos acumulados de plantas producto de las temporadas de invierno y se descomponen en los tanques naturales.

En el capítulo de diseño metodológico, se plantea de manera práctica y empírica, las fases empeladas para lograr extraer agua de la poceta y ser trasladada hasta los puntos de riego y de bebederos de ganado, en donde se parte de un diagnóstico de la zona de trabajo, parámetros requeridos para calcular la bomba del sistema, y el cálculo de una estructura para soportar los tanques de 3000 litros, además se describe como se disminuyó la turbidez del agua.

En el capítulo de análisis y resultados se describe como es el sistema de bombeo para 0,27 litros/s, se describe el comportamiento y análisis estructural de las torres y la disminución de turbidez en el agua, logrando por gravedad trasladar hasta una distancia 80000 mm en bebederos de ganado y 30000 mm en la zona de riego.

Este proyecto se limita al diseño y establecimiento de un sistema de bombeo con capacidad de 0,27 litros/s únicamente, obedece a las necesidades particulares de la finca Villa Norma de San Vicente del Caguán y a las características de la fuente hídrica que se utiliza para el riego e hidratación del ganado bovino, la cual generalmente presenta un alto grado de turbidez durante la mayor parte del año. Por la situación climática de la región, es posible que los tiempos de ejecución se alteren en el entendido de que las vías de acceso se tornan difíciles en temporada de lluvias.

## Descripción del problema

La finca Villa Norma se encuentra ubicada en la vereda las Américas, en zona rural del municipio de San Vicente del Caguán del departamento del Caquetá, actualmente tiene como negocio comercial la venta de leche y bovinos en los cuales posee 70 cabezas de ganado y 2 hectáreas de ella están destinadas al cultivo de caña y botón de oro para el consumo de los bovinos, creándose como problema sobre la finca la ausencia de agua para los bebederos de ganado y el riego de los cultivos usados para el consumo del ganado.

Además, el agua que logra extraer o usar de los nacederos posee características similares de alta turbidez a los afluentes cercanos del río Caguán y la quebrada Caño Negro, (Benitez, 2019), de donde se extrae el agua para su almacenamiento y posterior riego de dichos cultivos que se realiza en un tiempo de 5 a 6 horas, 4 veces por semana; con un costo administrativo por contratación de personal de 4'600.000 y para la hidratación del ganado por medio bebederos de 100 litros.

Agregando como problemática que en tiempo de verano, en especial el mes de enero del año 2022 los caudales de los ríos del Caquetá desciende notablemente(Infoabe, 2022), generando escases de la misma, lo que afecta los cultivos y el crecimiento y desarrollo del ganado.

Como efectos negativos la ausencia de una tecnología mejorada en la finca Villa Norma, provoco que, como gestión administrativa por parte del propietario de la finca, deba llevar agua de la siguiente manera: Transportar agua por medio de un tanque en un tractor, pero es de resaltar que el combustible en la zona es escaso debido a que la estación de servicio más cercana se encuentra a 70 km. Como otra estrategia se utilizan equinos, pero el propietario cuenta solamente con dos equinos para desarrollar esta labor. De no ser

intervenida esta situación, es probable que la productividad se minimice aún más, se incrementen más los costos operativos y en tiempos de sequía no se pueda garantizar el riego de los cultivos e hidratación del ganado, generando pérdidas económicas como la pérdida de masa corporal de los bovinos, cultivos deteriorados por falta de agua, ocasionado corte de la cosecha y se genera residuos ambientales que afectan la calidad de vida de sus propietarios y trabajadores.

### **Problema**

Procesos de extracción de agua no tecnificados para usos en riegos de cultivos de caña/botón de oro y la falta de agua para los bebederos de ganado.

### **Hipótesis**

Se tiene como hipótesis que al implementar un sistema de bombeo hasta una torre de almacenamiento ubicada 24000 mm de altura , se puede aprovechar la gravedad para pasar el agua por filtros de carbon/ arena; redirigiendo agua con menos turbidez a los sitios de riego y bebederos de ganado.

### **Justificación**

El uso prudente del agua en el sector agrícola y pecuario para sostener su crecimiento y el retraso de la degradación ambiental, toma importancia en la medida que este recurso no está al acceso de todos, no garantiza la manutención de los diferentes procesos agrícolas y repercute en las condiciones económicas del campesinado, de la población de la región y del país en general. La eficiencia en el uso del agua a través de

una mejora adecuada de las técnicas de gestión de la misma y otros factores de producción son esenciales para impulsar la productividad limpia en su utilización. Por otra parte, el éxito del uso del agua a través de riegos tecnificados que se emplean para aprovechar nuevas tierras, señala el camino hacia un papel mucho más importante en el desarrollo de futuros proyectos de recuperación de tierras y mejoramiento de los cultivos.

Las investigaciones recientes enfatizan en sistemas de riego que funcionen adecuadamente en la aplicación de agua para que ésta permanezca dentro de la zona de las raíces, haciendo que el agua esté siempre disponible en cantidades suficientes para satisfacer las necesidades de agua del cultivo y del ganado. Así mismo sugieren formas prácticas de gestionar los sistemas de riego dentro de límites tolerables sin descuidar los efectos del viento, factor importante que contribuye a la falta de uniformidad en el riego.

Desde la anterior lectura y teniendo en cuenta la problemática encontrada en la finca villa Norma, con relación al sistema de riego de los cultivos y la hidratación del ganado bovino, productos de los que devienen los recursos económicos para su sostenimiento y el de sus propietarios, se justifica este proyecto porque al implementar un sistema de riego de cultivos más tecnificado y acorde a las necesidades que tiene la finca en este aspecto, se está contribuyendo a utilizar el agua de manera controlada, puesto que el propietario de la finca podrá disponer y encender el sistema cuando lo requiera; se hace uso racional de la misma; además con este nuevo sistema se evitará que el personal de la finca realice esfuerzos mecánicos, mejorando las condiciones de seguridad industrial de los trabajadores encargados de la producción agropecuaria. Así mismo, al establecer el sistema de bombeo con capacidad de 0,27 litros/s, se distribuirá agua filtrada durante tres horas, arrojando una razón de volumen de agua por 0,27 litros

por segundo, lo que permitirá llenar los bebederos una vez al día y el resto será repartido en los riegos por etapas, dando continuidad de alimento al ganado.

En este mismo sentido el proyecto brinda una configuración de tanques elevados que permiten distribuir agua por gravedad (Pérez, n.d) sistema que disminuye costos para emplear una nueva bomba para distribuir agua luego de ser filtrada. Esta nueva tecnología minimiza costos en operatividad, disminuye la movilización de maquinaria que se ve afectada en caso de que estas fallen y los repuestos para su reparación estén distantes a la finca. Otro de los aspectos que hace la diferencia, es el uso de gasolina como medio de combustible para activar la bomba, debido a la ausencia del servicio de energía pública de este sector del municipio de San Vicente del Caguán. El diseño y establecimiento de los equipos de bombeo de agua filtrada hacia los bebederos de ganado y tanques de almacenamiento contribuirá al proceso de modernización del sector agropecuario regional y nacional debido a que es un diseño que tiene un control de agua manipulado por los operarios, permitiendo llenar los tanques, dosificar los puntos de riegos y bebederos sin desperdiciar agua.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Diseñar y montar un sistema de bombeo con capacidad de 0,27 litros/s para uso agrícola en bebederos de ganado y riegos de la Finca Villa Norma en San Vicente del Caguán.

### **Objetivos Específicos**

Determinar los parámetros del sistema del bombeo y sistema de filtrado.



Diseñar un sistema de bombeo de agua con capacidad de 0,27 litros/s para una altura de trabajo de 30 metros.

Evaluar por medio de pruebas en campo el funcionamiento del sistema de bombeo con 0,27 litros/s y de filtrado.

### **Antecedentes**

Como antecedentes se tuvo en cuenta algunas investigaciones realizadas a nivel internacional y nacional sobre sistema de bombeo y uso de tanques para filtrar el agua y darle un uso apropiado.

La tesis “El diseño del sistema de abastecimiento de agua por gravedad y bombeo, para el caserío Xeabaj ii, aldea Chiquisis, y por gravedad, para la aldea Tzamjuyub del municipio de Santa Tarina Xtahuacán, departamento de Sololá”, implementado por Aragón Matamoros ( 2008), se llevó el agua a un tanque donde se realizaba la cloración para su distribución. Se tenían ya localizadas 3 nuevas fuentes de agua de brote definido donde 2 de ellas tenían una distancia de 1600 metros del tanque de distribución con una altura superior a la del tanque, por tanto, debía llegar al mismo a través de una línea de conducción por gravedad = 0.77 lts/s; la tercera fuente se encontraba a 370 metros del tanque y a una altura inferior, por lo que se debía manejar el sistema por bombeo= 0.51 lts/s.

Ahora el estudio, “El diseño hidráulico y sanitario de una planta de tratamiento para agua potable en la finca avícola buena vista (Cáqueza-Cundinamarca)”, por los autores Álvarez y Vargas que diseñaron e implementaron una planta de tratamiento para el suministro de agua potable a la finca en mención, iniciativa que surge ya que las personas

y los animales están consumiendo agua que no cumple con los requerimientos mínimos de calidad y saneamiento; la fuente de agua se obtiene de un sistema de acueducto veredal compuesto por una bocatoma cuya captación proviene de un nacedero, el cual llega por medio de tubería a la finca, pero a este líquido no se le hace ningún tipo de tratamiento para garantizar su consumo; la finca tiene una demanda de agua de aproximadamente 210 L/d y 4320 L/d respectivamente(Álvarez & Vargas, 2020). El caudal adoptado para este diseño fue de 0.267 l/s el cual se verificó mediante un aforo en la llegada a la tubería de la finca donde se obtuvo como resultado un caudal de 0.255 litros/s, el margen de error entre el real y el otorgado es sólo del 4,5.

Con la tesis, “ Proyecto potabilización de agua mediante filtración y desinfección química”, desarrollado por el autor Nieto en el año 2019, ya que una finca de Algeciras Huila, Colombia y la zona de los alrededores no cuenta con ningún tipo de tratamiento de agua, por ello se toma la iniciativa de resolver esta problemática, se implementó el diseño de un filtro de arena no convencional y desinfección química por cloración(Nieto, 2019).

El autor es claro en cuanto a la elección de este tipo de filtro, dado que este tiene componentes que permiten la remoción de turbiedad, dureza y calcio. Siendo el carbón activo y Zeolita elementos importantes y aprobados para el tratamiento de este líquido vital. En este caso el caudal de salida del filtro en un recipiente de 15 litros se toma un tiempo de llenado de 5,4 minutos, y el caudal de entrada al recipiente final es igual al de salida del filtro, lo que indica que en 90 minutos se llena el tanque. El autor indica que para obtener buenos resultados la filtración debe de ser lenta debido a que, en este caso con la utilización de capas de carbón y zeolita, ellos cumplen su función cuando el agua penetra cada uno de sus poros.

## 1.Marco teórico

Como aspectos teóricos considerados en el proyecto se trataron las siguientes temáticas: Parámetros para sistemas de bombeo, sistemas de almacenamiento por tanques y disminución de turbidez en el agua por filtrado.

### 1.1 Parámetros para sistemas de bombeo

Según la empresa Sondagua de ingenieros civiles de Chile, (Sondagua, 2021), para elegir el sistema de bombeo se requiere de una correcta elección de la bomba ya que ésta puede quemarse o darse de baja debido a un mal uso. Siendo así, que debe considerarse los siguientes ítem:

Lugar de instalación: determinar de dónde proviene el agua; un pozo, río o lago, y determinar si la bomba trabaja en una superficie o deberá ser sumergible.

Caudal del agua: Cantidad de agua a extraer por litros en un determinado tiempo.

Altura de trabajo: Se debe considerar la altura de entrada y la altura de descarga de la tubería.

Como la zona de aplicación del proyecto no cuenta con electricidad se debe usar un tipo de bomba por combustión el cual debe aportar un mayor flujo de agua, permitir graduar el caudal y operarse más o menos ocho horas ya que la bomba puede sufrir averías.(Ferretero, 2019).

Según la figura 1.1, este tipo de bomba se caracteriza por enviar agua a lugares distantes, envía un caudal y presión al mismo tiempo y son ideales para el sector agrícola (Zonamotor, 2019).

## Figura 1. 1

### *Bomba por Combustión*



Fuente :Tipos de Bomba de Agua |- Hazlo con Maestro. (Maestro,2008)

## 1.2 Sistemas de bombeo

Las aplicaciones de sistemas de bombeo de agua, se ha convertido en una necesidad para satisfacer la demanda de agua que se requiere en el campo con finalidades de llevar el líquido hasta los riegos de cultivo, riegos de ganado y suministrar agua en fincas. Para lograr un adecuado sistema de bombeo se debe partir de una selección adecuada de la potencia hidráulica (Sharma et al., 2020). Empleando la siguiente ecuación:

$$Ph(kW) = \frac{\rho x g x Q x H}{3.6x10^6}$$

Dónde:

$\rho$  = Densidad del agua en  $kg/m^3$ ,

$g$  = Aceleración por gravedad ( $9,81 m/s^2$ ),

$Q$  = Descarga de agua ( $m^3/h$ ) y

$H$  = Tamaño de la cabeza (m), que es la suma de la cabeza estática (m) y las pérdidas por fricción (m).

Para un sistema de bombeo, la ecuación anterior debe estar a la mano con criterios para la selección de la bomba, ya que es fundamental determinar según los autores Gualteros y Rousee (Gualteros & Rousee, 2021), el volumen de trabajo, la presión del

sistema, las caídas de presión y la eficiencia de la bomba motor, agregando que se debe considerar el máximo volumen de trabajo de las temporadas en la cual se escasea y abunda el agua; ya que ésta depende del clima en el cual se somete. Además, según el autor Cui (Cui et al., 2022), es importante realizar registros y gráficas de la cantidad de agua extraída, la cantidad de combustible usado y el resultado final obtenido en kilos. Lo que da a entender Cui, es ver cómo el método usado, el cual extrae agua, mejora el crecimiento de los cultivos o del objetivo, en donde permite entender el consumo de recursos como es el agua.

### **1.3 Sistema de almacenamiento por tanque**

Se explica el uso de tanques y proyectos que se han realizado dependiendo de la configuración de tanques por gravedad.

#### ***1.3.1 Configuración de tanques usados actualmente***

Los tanques de almacenamiento, eventualmente se han usado para captar agua, luego de un proceso de filtración, en donde por medio de la gravedad el agua recolectada pasa por superficies de diferentes materiales filtrantes y se extrae de ella elementos no deseados. Para comprender un poco este tipo de configuración se encontraron las siguientes investigaciones:

##### ***1.3.1.1 Modelo 1.***

La universidad Católica de Colombia, debido al consumo de agua que alcanza a obtener de sus 750 estudiantes por día, ha llegado a usar un total de 37500 Litros por día, el cual puede apoyarse y reducir el agua pública por agua de precipitación de lluvia alcanzando un total de 30 Litros por metro cuadrado (Forero & Bernal, 2017).

En la figura 1.2 se puede apreciar cómo por medio de la gravedad el agua lluvia es captada en una zona baja para luego filtrarse en capa de antracita, una capa de arena de Ottawa, capa de lava, capa de geo textil, estructura metálica y una estructura plástica filtrante de Trincera tipo Aguacell, que luego por gravedad envió el agua con un bajo caudal de recolección al tanque de almacenamiento.

**Figura 1. 2**

*Recolector de Aguas Lluvias*



Fuente: Universidad Católica de Colombia. Ortiz & Velandia, 2017.

Con la implementación de varios tanques plásticos de almacenamiento con capacidad de 55 Litros se logró captar 7.5 metros cúbicos, se recolectaba agua las 24 horas del día debido a la constancia de las lluvias.

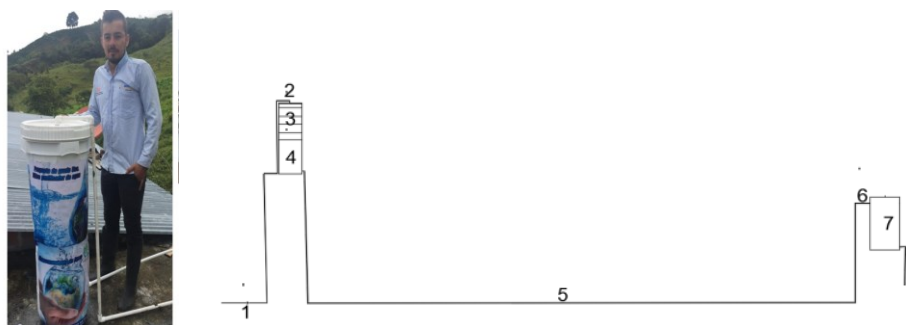
### **1.3.1.2 Modelo 2.**

La universidad Cooperativa de Colombia sede Neiva, por medio de un proyecto de potabilización empleó una configuración de tanques y filtrado por gravedad con el fin de mostrar un modelo económico y sencillo para aplicar en hogares que no cuentan con agua potable en las zonas rurales de Algeciras (Nieto, 2019). Los tanques de 55 Litros, se

configuraron para trabajar uno encima de otro, y separados por una superficie perforada de uno de los tanques, en donde el primer tanque usó 4,8 cm de grava gruesa, 4,8 cm de grava, 9 cm de carbón activo, 8,4 cm de zeolita, 7,7 cm de arena gruesa y 10 cm de arena gruesa, elementos que se depositaron en los tanques del siguiente modelo de la figura 1.3:

**Figura 1. 3**

*Tanques de 55 Litros*



Fuente: Potabilizacion de agua filtracion y desinfeccion – Universidad Cooperativa de Colombia. Gaitan, 2019.

Luego de ser filtrado a una altura de 3 metros , se configuró por gravedad de la siguiente manera: El modelo que se usó emplea agua que baja de fuentes naturales y se transporta por magueras hasta las fincas el cual se conecta al tramo 1 un filtro antes de ingresar al tanque, luego al tramo 2 un filtro, tramo 3 un tanque de almacenamiento y filtrado, tramo 4 red de tubería PVC, tramo 5 caudal al tanque final de 250 Litros, tramo 6 tanque de clorado y tramo 7 salida de agua potable. Al tanque final se implementó una válvula de flotador.

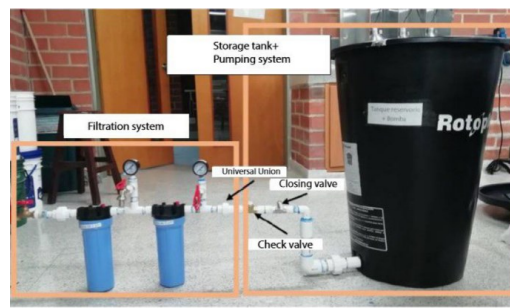
### **1.3.1.3 Modelo 3.**

En este estudio por Afkhami y Marotta se planteó un diseño para tatar agua potable y eliminar la turbidez con la implementación de un tanque de recolección que bombeaba por presión, agua que luego se filtraba por dos juegos de filtros en serie a una altura

inferior de la de ingreso.(Afkhami et al., 2021). El tanque de llenado se usó con capacidad de 250 Litros, y una bomba con presión máxima de 1,6 bar, que luego del sistema de filtrado enviaba inicialmente un caudal de 5,2 Litros por minuto y terminaba en 4,4 Litros por minuto.

#### Figura 1. 4

*Tanque de Llenado con Capacidad de 250 Litros, y una Bomba Peristáltica con Presión Máxima de 1,6 bar*



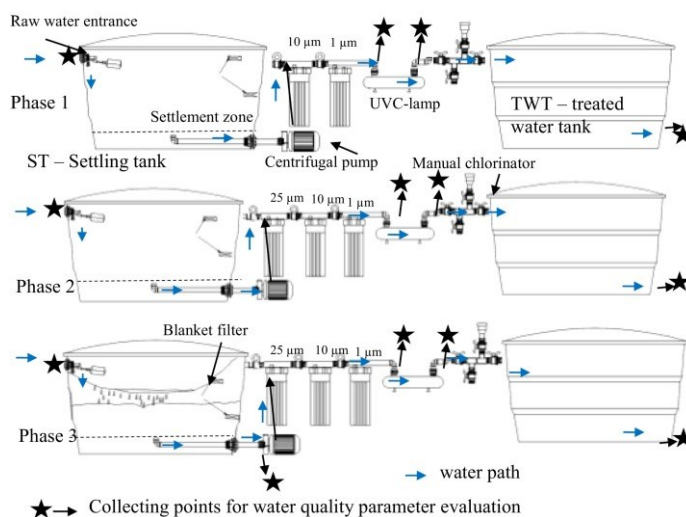
Fuente: Configuración de tanque por presión de 1 bar – Universidad de Ulster- Reino Unido Afkhami et al. 2021

En la figura anterior 1.4, se puede evidenciar que se usó un manómetro antes de cada filtro, ya que estos no pueden pasar más de un 1 bar, posee válvula antiretorno de fluido, una válvula de cierre y una válvula de salida con llave, las salidas del líquido para filtrar están en la parte más baja del tanque para lograr aprovechar la presión ejercida por la gravedad del líquido.

#### 1.3.1.4 Modelo 4.

La investigación de Maciel, se basó en que el agua doméstica debe ser importante tratarla, para ello implementó un sistema de configuración de tanques en el cual antes de cada tanque aplicó una etapa antes de centrar al tanque, en donde según la siguiente figura 1.5 muestra lo siguiente:



**Figura 1.5***Sistema de Configuración de Tanques*

Fuente: Purificación, filtración, desinfección y cloración- Universidad de Sao Paulo - Maciel et al., 2021.

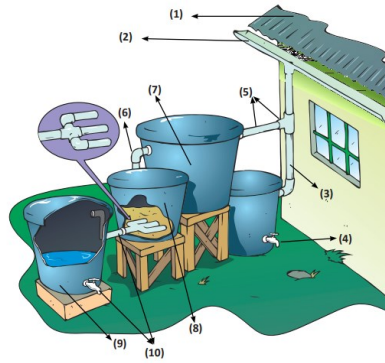
Como se observó, con cada etapa aplica una fase dentro del agua que al final disminuye notablemente la turbidez de agua, en donde la fase 1 en la entrada del agua al aplicar una fuerza de impulsión del agua pasa por unas lámparas UV para desinfectar el agua, y luego por gravedad llega a un siguiente tanque que posee nuevamente otra bomba que impulsa el agua para ser clorificada y depositada en otro tanque que por gravedad pasa a un filtro de membrana y este se acumula para luego pasar a una tercera fase que posee nuevamente una serie de filtros por micras que ayudan a eliminar más impurezas del agua y al final pasan a un cuarto tanque. Los tanques empleados son para una capacidad de 310 Litros y las bombas empleadas están para 1/2Hp para un caudal de 40 Litros por minuto. Además cada tanque posee un flotador de grifo para controlar el nivel del agua en mínimo y máximo(Maciel et al., 2021).

### 1.3.1.5 Modelo 5.

Por medio de la entidad OPS/ OMS Colombia se usó un sistema de tanques que trabajan por gravedad desde la recolección del agua en tejado, este proyecto nace debido a que en los tiempos de sequía en la costa Pacífica Colombiana no hay zonas para abastecerse de agua y ésta carece de un buen estado para el consumo(OMS Colombia, 2010).

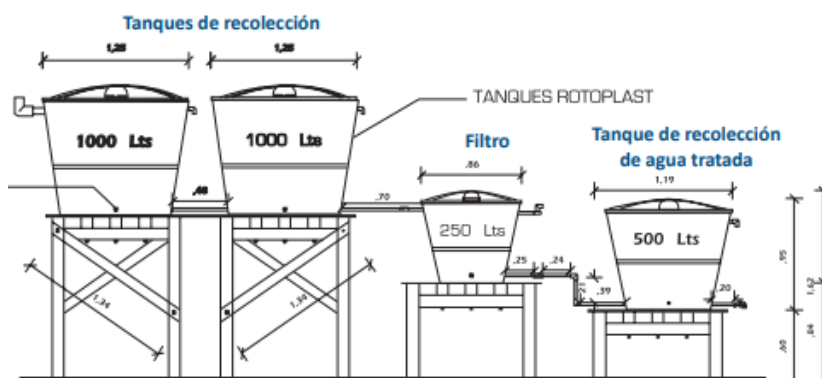
#### Figura 1. 6

*Sistemas de Tanques que Trabajan por Gravedad Desde la Recolección del Agua en Tejado*



Fuente : Sistema de recolección y filtrado de aguas lluvias - Vuelta del Mero, Nariño (Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud, 2010).

En la figura 1.6 anterior, se compone de: 1 etapa de captación, 2 recolección y conducción, 3 bajante, 4 tanque interceptor, 5 conexión al tanque, 6 rebose, 7 tanque de recolección, 8 tanque de filtro de arena, 9 tanque de almacenamiento de agua tratada, 10 otros accesorios. Desde un punto de vista con cotas, la configuración de tanques se plantea de la siguiente manera según la figura 1.7:

**Figura 1.7***Configuración de Tanques*

Fuente : Sistema de recolección y filtrado de aguas lluvias - Vuelta del Mero, Nariño (Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud, 2010).

Se percibe en la figura 1.7 dos tanques de recolección con capacidad de 1000 Litros, un segundo tanque de 250 Litros que se conecta por salida de gravedad el cual posee el material filtrante y al final un tanque de 500 Litros el cual recolecta el agua tratada.

Según el proyecto planteado por la OMS Colombia se recomienda usar 200 kilos de arena para un tanque de 250 Litros o las  $\frac{2}{3}$  del tanque en arena.

#### 1.4 Disminución de turbidez en el agua por filtrado

En el desarrollo del proyecto, se observó que el agua usada por la finca Villa Norma proviene de una ramificación del río Caguán, este afluente se caracterizó por tener una turbidez en los últimos años, luego que se aumentará la ganadería, la explotación del oro y por desembocar sobre el agua residuales de los diferentes municipio con el que se comunica en su paso por el departamento del Caquetá («Río Caguán», 2017), en la figura 1.8 se puede apreciar su tonalidad café.

**Figura 1. 8***Turbidez en el Agua Río Caguán*

Fuente: propia fotografía del Río Caguán

Ya comunicando con la finca se encuentra un brazo pequeño del río, llamado Caño negro el cual cuando crece su caudal llena las pocetas de agua aledañas a la finca, así se puede evidenciar en la figura 1.8. Partiendo de la turbidez con la que llega el agua, se hace más turbia al momento de almacenarse en las pocetas, ahora como el proyecto requiere de agua con menos turbidez .

***1.4.1 El filtrado con carbón activo como tratamiento de agua***

Actualmente el filtrado se ha usado en zonas donde hay poca población y por ello no son económicamente viables las plantas de tratamiento de agua centralizadas tradicionales para el consumo doméstico (Afkhami et al., 2021). Para disminuir la turbidez, dentro de la investigación de Karri (Karri et al., 2021), se encontró que el uso de carbón activado como filtro de agua tiene un bajo costo, es reutilizable y de alto rendimiento dado que se recoge de un filtro de agua ya usado y se activa químicamente.

***1.4.2 El filtrado con arena como tratamiento de agua***

En el estudio realizado por Freitas (Freitas et al., 2022), encontró que el filtro de arena lento doméstico es uno de los tratamientos a escala más prometedores ya que puede

mejorar la calidad del agua en comunidades aisladas; estos tratamientos de agua son alternativas efectivas para la proporción de agua. Dentro de los estudios a través del uso de filtros de arena se identificó por parte de Castro y Gutiérrez (Castro-Gutiérrez et al., 2022), cómo el metaldehído puede disminuirse del agua con la implementación este tipo de filtro, en donde se ubican los recipientes de manera que trabaje la circulación del agua de forma lenta y la arena realice el proceso de eliminación biológica de microorganismos.

Esta necesidad se ha hecho más notable en países en desarrollo, dado que existe recursos de agua dulce limitados o incluso nulos. Según la Organización Mundial de la Salud hay alrededor de 2 millones de personas que utilizan agua contaminada originada desde lagos, tanques o ríos para beber. (Alsulaili et al., 2020).

#### ***1.4.3 Filtración por arena y su importancia en los riegos***

Según los investigadores Lee y Oki (Lee & Oki, 2013), debido a la sobre explotación de los acuíferos se han registrado altas concentraciones de sal en el agua de pozo, esto ha llevado a que los acuicultores utilicen aguas residuales no tratadas para el riego de cultivos, por tanto, se ha venido experimentando los filtros de arena donde arroja resultados prometedores. Este tipo de filtración lenta se desarrolló primeramente como un sistema de purificación para agua potable, pero a medida que se han desarrollado nuevos métodos de purificación del agua, ahora la filtración lenta está en un uso amplio para eliminar los patógenos de las plantas de los sistemas de riego de recirculación (Abdoulkader et al., 2015). Para el investigador (Gonçalves et al., 2021), el objetivo de utilizar estos filtros de arena es lograr que al tratar aguas residuales, ésta se pueda utilizar en su totalidad para el consumo animal y riego de cultivos.

## 2. Diseño Metodológico

Se trata de una investigación aplicada con un enfoque tecnológico, con la que se buscó poner en práctica las teorías con aplicación directa a los problemas de la sociedad en este caso al sector agrario. Para Murillo (2008), la investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracterizó porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos alcanzados, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad.

El proyecto se desarrolló en cuatro fases a decir:

Primera fase. Ideación y conceptualización: Se realizó el diagnóstico inicial y estableciendo las características que debe tener el sistema de filtrado. Para ello se desarrollaron 4 actividades: Diagnóstico, caracterización de los tanques, caracterización del sistema de bombeo y caracterización del filtrado del agua, para dar cumplimiento al primer objetivo: “Determinar los parámetros del sistema del bombeo y sistema de filtrado.”

Segunda fase. Ejecución y diseño: en esta fase se diseñó y compró elementos del equipo de bombeo; así mismo se realizó los cálculos para la selección de bomba y se evaluó la resistencia de materiales para la estructura metálica y así dar cumplimiento al segundo objetivo: “Diseñar un sistema de bombeo de agua con capacidad de 0,27 litros/s para una altura de trabajo de 30 metros”.

Tercera fase. Establecer: Una vez realizado el diseño se adquirieron los materiales requeridos y se procedió a ejecutar las siguientes actividades: Construcción del proyecto,

desarrollándose las actividades de Construcción de la estructura, ubicación de tanques con accesorios y sistema de bombeo, se evaluó el funcionamiento del equipo.

Cuarta fase: Se revisaron los resultados, evaluándose su funcionamiento se hará entrega del manual de operación y mantenimiento preoperacional para el equipo.

Cumpliendo al tercer objetivo “Evaluar por medio de pruebas en campo el funcionamiento del sistema de bombeo con 0,27 litros/s y de filtrado.”

## **2.1 Primera fase. Ideación y conceptualización**

Para el desarrollo de esta fase se procede de diagnóstico inicial, caracterización de los tanques, caracterización del sistema de bombeo y caracterización del filtrado de agua.

### **2.1.1 Diagnóstico inicial**

Como diagnóstico inicial se tiene las siguientes consideraciones:

El tipo de agua que se puede emplear posee niveles de turbidez elevados debido a los sedimentos que presenta la poceta de agua y debido a que la tierra es de tendencia a tonos naranjas y café.

La distancia que hay desde el punto a establecer como zona de almacenamiento de agua está a una distancia de 80000 mm desde los bebederos de ganado y de 30000 mm a la zona de riego, Desde la zona de almacenamiento y el punto de extracción de agua está a una distancia de 150000 mm.

La poceta al punto de almacenamiento tiene una altura de 24000 mm y en pendiente negativa a 8000 mm para las zonas de riego y bebederos de ganado.

La bomba a seleccionar debe ser de tipo motobomba por combustión, debido a que el servicio de energía no llega a la zona de almacenamiento.

La estructura debe ser de tipo desarmable, ya que a futuro puede cambiar la zona de almacenamiento, y la estructura deba ser ubicada nuevamente.

### **2.1.2 Caracterización de los tanques**

Para el desarrollo del proyecto se estableció:

a) Se requerían tres tanques con capacidad de 1000 litros cada uno con el fin de lograr almacenar los 0,27 litros de agua en las 3 horas de operación. b) Los tanques por su peso aproximado a 1000 kilos deben poseer una estructura individual el cual le sirve como base. Para lograr disminuir costos del proyecto, se encontró que los tanques ubicados de manera individual y al situarlos en cascada, se lograba un filtrado entre ellos por gravedad. Se configuraron con descenso de 800 mm desde la torre dos y la torre uno, valor que tenía los tanques por su altura. A su vez los tanques al estar a una determinada altura se puede omitir el uso de otra bomba y realizan un trabajo de bombeo por gravedad.

### **2.1.3 Caracterización del sistema de bombeo**

Para establecer las características de bombeo se tuvo en cuenta: a) Determinar la potencia para desplazar agua a una distancia de 150000 mm por tubería y una altura de 24000 mm, con una altura sobre el nivel de la poceta de 1200 mm. B)La bomba debe emplear y poder desplazar 3000 litros en 3 horas, siendo el valor de 0,27 litros/s. c)El fluido a trabajar es agua a temperatura ambiente 20 °C.

### **2.1.4 Caracterización del filtrado del agua**

Como caracterización del sistema de filtrado de agua se requiere: a) Que el agua no llegue con el mismo nivel de turbidez que se extrae de los afluentes, para ello se debe



filtrar el agua y disminuir dicho nivel. b) El filtrado se debe realizar en los dos primeros tanques. c) El primer tanque debe eliminar la mayor turbidez posible, para ello se establece hacer capas con la siguiente secuencia partiendo desde la superficie del tanque: Grava de tamaño medio, carbón mineral, gravilla tamaño pequeño, arena lavada. d) El segundo tanque debe eliminar parte de la turbidez del segundo tanque, para ello se disminuye la capa de la secuencia del tanque uno. e) Los tubos de filtrados se emplean con perforaciones de 10 mm de diámetro sobre una longitud de 1000 mm, proyectados en 4 hileras sobre la superficie del tubo repartidos a 90°.

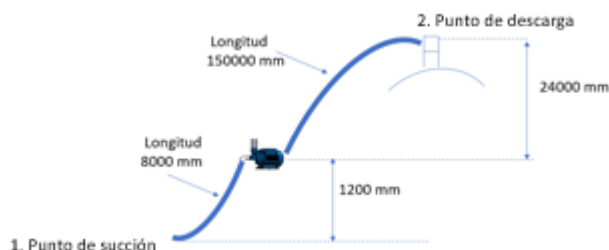
## 2.2 Segunda fase. Ejecución y diseño

Durante esta fase, se establece el cálculo del sistema de bombeo y cálculo de la estructura con su análisis por elementos finitos según su deformación.

### 2.2.1 Cálculo para el sistema de bombeo

#### Figura 2. 1

Diagrama de distancias y alturas sobre el nivel de la bomba.



Fuente: Propia de los autores.

En la figura anterior 2.1, se plantea la longitud de la zona de succión con 8000 mm y una diferencia de altura con referencia a la bomba de 1200 mm y para la longitud de la

tubería de descarga con 150000 mm y una altura de 24000 mm, de donde los parámetros iniciales son:

Línea de succión:

$$L_s = 1200\text{mm}$$

Línea de descarga:

$$L_d = 150000\text{mm}$$

En la tubería de descarga como de succión se usó tubería de 50 mm, no posee codos o reductores de velocidad o cambios de diámetros. Para analizar el sistema de bombeo, se usó el principio de Bernoulli, en donde se analiza el punto de (punto 1) y de descarga (Punto 2) realizando un balance de energía:

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2 * g} + \frac{P_1}{\rho} + h_B = h_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + \frac{P_2}{\rho} + h_{f_{1-2}} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$h_1 = 1200\text{mm}$$

$$h_2 = 24000\text{mm}$$

$$h_B = \text{Cabeza de energía}$$

$$h_{f_{1-2}} = \text{Pérdidas de succión}$$

Analizando la ecuación con la línea de referencia:

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2 * g} + \frac{P_1}{\rho} + h_B = h_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + \frac{P_2}{\rho} + h_{f_{1-2}}$$

$$h_1 = -1200\text{mm}$$

Sistema estacionario  $V_1 = 0$ , es un velocidad constante de agua

$P_1 = P_2$ , están bajo presión atmosférica, por lo tanto se cancelan

$$h_B = h_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + h_{f_{1-2}}$$

$$h_2 = 24000\text{mm} - 1200\text{mm} = 22800\text{mm}$$

Con la ecuación anterior:

$$h_B = h_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + h_{f1-2}$$

De donde  $V_2$  se toma por el caudal requerido

$$Q = 0.27 \text{ litros/s}$$

$$Q = 0.27 \frac{L}{s} * \frac{1.000 \text{ cm}^3}{1L} * \frac{1 \text{ m}^3}{1'000.000 \text{ cm}^3} = 0,00027 \frac{\text{m}^3}{s}$$

Despejo velocidad, de donde se tomó como área un diámetro de 50 mm, que según un tubo este valor debe ser tomado como el nominal:

$$D_{int} = 54,26 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Area &= \pi * r^2 = \pi * \left(\frac{54.26 \text{ mm}}{2}\right)^2 = 2312 \text{ mm}^2 * \frac{1 \text{ m}^2}{1'000.000 \text{ mm}^2} \\ &= 0.002312 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Del caudal y el área puedo hallar la velocidad:

$$V_2 = \frac{Q}{A} = \frac{0,00027 \frac{\text{m}^3}{s}}{0,002312 \text{ m}^2} = 0.1167 \frac{\text{m}}{s} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Pérdidas en el sistema por fricción

Se calculó las perdidas por fricción y se parte de la caída de presión:

$$h_{f1-2} = F * \frac{L}{D} * \frac{V_2^2}{2 * g} + \sum K_c * \frac{V_2^2}{2 * g} + K_v * \frac{V_2^2}{2 * g} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$F = \text{Fricción}$

$L = \text{Longitud de tubería}$

$D = \text{Diametro de tubería}$

$$h_{f1-2} = \frac{V_2^2}{2 * g} \left\{ F * \frac{L}{D} + \sum K_c + K_v \right\}$$

Para hallar F, se parte del factor de fricción de Coolebrook:

$$F = \frac{1,325}{\left\{ -\ln \left( \frac{\varepsilon}{3,7 * D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right\}^2}$$

Ecuación 2.5

Se halló el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V * D * \rho}{\mu}$$

Ecuación 2.6

$$D = 0,05426m$$

$$V = 0.1167 \frac{m}{s}$$

$$\mu = \text{Viscosidad del agua} = 1,005 * 10^{-3} Pa * s$$

$$\rho = \text{Densidad del agua} = 998 \frac{Kg}{m^3}$$

$$Re = \frac{0.1167 \frac{m}{s} * 0,05426m * 998 \frac{Kg}{m^3}}{1,005 * 10^{-3} Pa * s}$$

$$Re = 6288.03$$

Cuando  $Re > 4000$  turbulento uso la tabla 2.1 de rugosidad:

**Tabla 2. 1**

**Rugosidad del PVC.**

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\varepsilon$ (mm)	Material	$\varepsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Fuente: Hidráulica Mataix.

Se tomó de tabla 2.1, la rugosidad del PVC:

$$\varepsilon = 0,0015mm$$

Se reemplazó:

$$F = \frac{1,325}{\left\{ -\ln \left( \frac{0,0015}{3,7 * 0,05426} + \frac{5,74}{6288.03^{0,9}} \right) \right\}^2}$$

$$F = 0,0615$$

De tabla 2.2 se tomó los valores de coeficiente k de entrada normal al tanque.

**Tabla 2. 2**

**Valores de coeficiente K de aditamentos.**

Aditamento	K	Aditamento	K
Ampliación gradual (*)	0.3	Te paso directo	0.6
Boquilla	2.8	Te salida bilateral	1.8
Codo de 45°	0.4	Te salida lateral	1.3
Codo de 90°	0.9	Válvula de ángulo abierta	5.0
Codo de retorno	2.2	Válvula de cheque de bisagra	2.5
Entrada de borda	1.0	Válvula de compuerta abierta	0.2
Entrada normal tanque tubo	0.5	Válvula de compuerta abierta(1/2)	5.6
Medidor de agua, disco	7.0	Válvula de globo abierta	10.0
Medidor Vénturi (**)	2.5	Válvula de pie	1.8
Reducción gradual (*)	0.2		

Fuente: Applied Hydraulics in Engineering, John Wiley

$$K_{\text{Entrada normal tanque tubo}} = 0,5$$

$$L = 8000mm + 150000mm = 158000mm = 158m$$

$$K_v = \text{No hay válvulas} = 0$$

$$h_{f1-2} = \frac{V_2^2}{2 * g} \left\{ F * \frac{L}{D} + \sum K_c + K_v \right\}$$

$$h_{f1-2} = \frac{\left(0.1167 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} * \left[ 0,0615 * \frac{158m}{0,05426m} + 0 + 0.5 \right]$$

$$h_{f1-2} = 179.58m * 0.000694 = 0.1246$$

Ahora:

$$h_B = h_2 + \frac{V_2^2}{2 * g} + h_{f1-2}$$

*Ecuación 2.7*

$$h_B = 24.125m$$

La potencia de la bomba con la nueva altura de trabajo es:

$$P_{B(hp)} = \frac{Q * \rho * g * h_B}{746 * e} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

$$P_{B(hp)} = \frac{0,00027 \frac{m^3}{s} * 997 \frac{Kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 24.125m}{746 * 0,75}$$

$$P_{B(hp)} = \frac{63.70}{559.5} = 0,11 hp$$

La potencia requerida, para el sistema es de 0,11 Hp, pero como en el mercado no hay una potencia para bomba de este valor, se tomó una bomba de ½ Hp como más cercana en caso de comprar. Como en la finca se tiene una bomba de 1 Hp, la bomba cumple con el requisito mínimo de 0,11 Hp

## 2.2.2 *Cálculo de estructura metálica y análisis por elementos finitos*

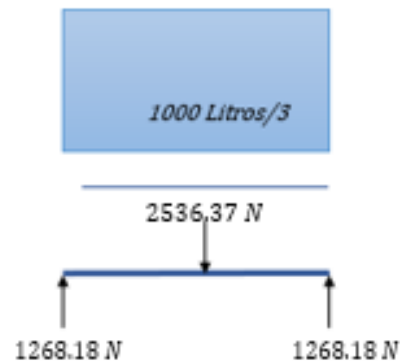
### 2.2.2.1 *Cálculo de la estructura.*

Se analizó el tipo de tubería que existe en la zona, para ser evaluada y determinar si los materiales son aptos para construcción. Para desarrollar esta actividad se requiere de calcular y seleccionar los materiales de la estructura, ya que éstos deben soportar la carga de los tanques en vacío y los 3000 litros. Para lograr este cálculo se analizó por medio de cálculos estáticos, cálculo de selección de material y cálculo de deflexión para un solo tanque de 1000 litros. Para analizar la estructura que requería el sistema de soporte para isotanques, se planteó un diseño independiente de la estructura con el fin de que las piezas del diseño pudiesen ser transportadas de manera fácil a un lugar de difícil acceso, para ello primero definimos: la base de soporte. Para toda la estructura usamos tubería cuadrada de

4X4 calibre 16 la tubería menos costosa y resistente en el mercado. Como la base debe ser plana para evitar deformación de los tanques, que es un plástico con peso de 1000 Litros. Se evalúa 3 tubos cuadrados con el fin de evaluar si soportaban o no las cargas. Se planteó la distribución de cargas, como se observa en la figura 2.2.

**Figura 2. 2**

*Diagrama de cuerpo libre sobre el perfil cuadrado.*



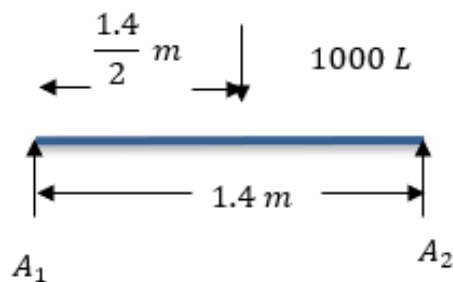
Fuente: Propia de los autores.

Tubo Cuadrado de 4 cm X 4 cm

### 2.2.2.2 Análisis estático para el tubo cuadrado.

**Figura 2. 3**

*Análisis sobre un perfil cuadrado.*



Fuente: Propia de los autores.

Se convierte los litros a metros cúbicos, que es la unidad que se usa a escala real como se plasmó en la figura 2.3 .la distribución de carga.

$$1000 \text{ Litros} \frac{0.001 \text{ m}^3}{1 \text{ Litro}} = 1 \text{ m}^3 \text{ Volumen}$$

Se tomó la densidad del agua

$$a: 997 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$$

$$997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa} = 997 \text{ kg}$$

Como el tanque debe llevar un bastidor plástico y metálico se suma al peso del contenedor:

$$21.5 \text{ kg} + 15.7 \text{ kg} = 37.2 \text{ Kilos}$$

Se adiciona este peso, entonces tendríamos que la masa es:

$$\text{Masa} = 37.2 \text{ kg} + 997 \text{ kg}$$

$$\text{Masa} = 1034.2 \text{ kg}$$

Esto es en peso ahora lo convertiremos a fuerza

$$F = 1034.2 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 10145.50 \text{ N} \quad \text{Lo dividimos por 4 Que es número de barras que lleva la estructura}$$

$$F = \frac{10145.50 \text{ N}}{4}$$

Ahora teniendo la fuerza total ahora determinaremos la reacción en los apoyos  $A_1$  y  $A_2$  haciendo sumatoria de fuerzas en el eje y:

$$- F + A_1 + A_2 = 0$$

$$A_1 = F - A_2$$

Ecuación 2.9



Teniendo nuestra ecuación principal debemos hacer una sumatoria de momentos para determinar la reacción en uno de los apoyos, en este caso vamos a analizar en  $A_1$

$$F \times \frac{1.4}{2} \text{ m} - A_2 \times 1.4 \text{ m} = 0 \quad \text{Ecuación 2.10}$$

$$A_2 = 1268.18 \text{ N}$$

Reemplazamos La ecuación 2 en la ecuación 1:

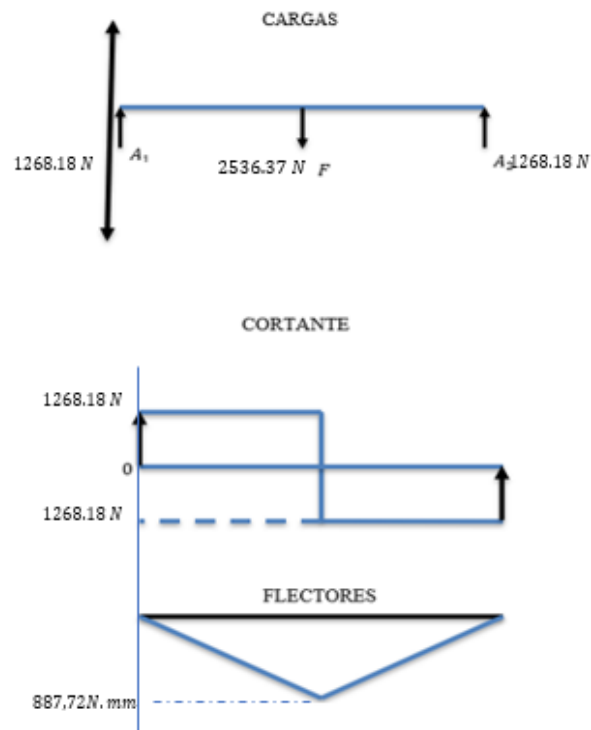
$$-F + A_1 + 1268.18 \text{ N} = 0$$

$$A_1 = 1268.182 \text{ N}$$

Teniendo la Fuerza y las reacciones en los apoyos ahora tendremos que determinar nuestro punto crítico en la tubería .Se realiza el diagrama de esfuerzos cortantes y flectores sobre la tubería, como se aprecia en la figura 2.4.

#### Figura 2. 4

*Diagrama de cargas, cortantes y flectores*



Fuente: Propia de los autores.

Empleado la ecuación:

Esfuerzo por flexión máxima

Factor de seguridad

$$\sigma_{max} = \frac{Mc}{I}$$

$$FS = \frac{SY}{\sigma}$$

El valor de la inercia para un tubo de 40 mm x 40 mm y espesor de 1.6 este dado

por

$$I = 6.050 \text{ cm}^4 \frac{(1 \text{ m})^4}{(100 \text{ cm})^4}$$

$$I = 6.05 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

Para el valor de SY; Se toma el que da la tabla

SY= 269 Mpa

Ahora evaluaremos

$$\sigma_{max} = \frac{Mx C}{I}$$

$$C = 20 \text{ mm} \times \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ mm}}$$

$$C = 0.02 \text{ m}$$

$$\sigma_{max} = \frac{887.72 \text{ Nm} \times (0.02 \text{ m})}{6.05 \times 10^{-8} \text{ m}^4} \quad \sigma_{max} = \frac{17.754 \text{ Nm}^2}{6.05 \times 10^{-8} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{max} = 293.46 \text{ MPa} \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$N = \frac{264 \times 10^6 \text{ Pa}}{\sigma_{max}}$$

$$N = \frac{264 \times 10^6 \text{ Pa}}{293 \times 10^6 \text{ pa}}$$

$$N = 0.91$$

Ahora evaluaremos la deformación que tiene la tubería al ejercerle esta fuerza.

$$\gamma_{max} = \frac{-pl^3}{48 E I}$$

Módulo del acero a 206 Gpa

$$= 10145.50 \frac{\text{N}}{4}$$

$$= 2536.37 \text{ N}$$

$$\gamma_{max} = \frac{-2536.37 N x (1.4 m)^3}{48 x (206 x 10^9 pa) x (6.05 x 10^4 m^4)}$$

$$\gamma_{max} = 11.6 mm$$

$$\gamma_{max} = 0.0116 m$$

Este fue el factor de seguridad obtenido y es razonable porque se acerca a 1. Ahora la deformación que dio por la carga de 11.6 mm en la mitad se recomienda usar refuerzos en toda la mitad para evitar la deformación de la estructura.

### 2.2.3 *Compra de los elementos requeridos para el sistema de bombeo*

Fue necesario realizar la compra de elementos en la ciudad de Neiva, debido a que en la zona no se cuenta con suministros de los mismos. Para comprar los elementos de la estructura, se requirió de un listado en donde se describe, la cantidad de piezas, longitud de tubería, tornillería, soldadura a usar, tipos de refuerzos, base estructural. Para lograr estos datos, se partió del diseño CAD, ya que, de éste, se puede tomar las medidas y los materiales requeridos. Para la construcción de la estructura se parte de la lista de partes por longitud según la torre, dando los siguientes valores de la tabla 2.3:

**Tabla 2. 3**

#### **Costos de construcción.**

COSTOS EN MATERIALES			
Materiales	Valor	Cantidad	Total
Manguera de 2" de calibre 60	350000	1	350000
Manguera de 1/2" de calibre 60	65000	1	65000
Tornillos de 1/2"	1400	48	67200

Soldadura	600000	1	600000
Acoples macho y hembra	17000	5	85000
Laminas de 20x20 acero	25000	12	300000
Transporte a casa de recepción	350000	1	350000
Transporte	200000	1	200000
Tubos de 2" PVC ( 8 metros)	32000	1( 1/3)	42600
Barilla de 3/8"	7000	5	35000
Arandelas de 3/8"	50	120	6000
Tuercas de 3/8"	50	120	6000
Tubo de cuadrado de 40x40 1,5 calibre 16	72000	13	936000
Platinas de 40mm x5	51000	2	102000
Isotanques de 1000 L	150000	3	450000
Llave de 1/2",15cm de tubo,	10000	1	10000
Hoja de corte para segueta	2500	2	5000
Gradilla en bolsas	5000	8	40000
Costos Total			3649800

Fuente: Propia de los autores.

Para la torre uno se requiere 25782 mm, el paral principal arranca con una medida de 2000 mm segun la siguiente tabla 2.4:

**Tabla 2. 4**

**Material torre uno.**

MATERIAL REQUERIDO TORRE 1			
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD	MM TOTAL
1	Tubo Cu 1200mm	3	3600
2	Tubo Cu 1400mm	4	5600
3	Tubo Cu 2000mm	4	8000

4	Tubo Cu 800 DIA	6	4800
5	Tubo Cu Paral intermedio 571 mm	2	1142
6	Tubo Cu Lateral intermedio 1320	2	2640
TOTAL DE MATERIAL EN MM			25782

Fuente: Propia de los autores.

Para la torre dos se requirió de 22582 mm con cambio de la longitud en los parales a una difencia de 800mm para un total de 1200mm, ver tabla 2.5.

**Tabla 2. 5**

**Material de torre dos.**

MATERIAL REQUERIDO TORRE 2			
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD	MM TOTAL
1	Tubo Cu 1200mm	3	3600
2	Tubo Cu 1400mm	4	5600
3	Tubo Cu 1200mm	4	4800
4	Tubo Cu 800 DIA	6	4800
5	Tubo Cu Paral intermedio 571 mm	2	1142
6	Tubo Cu Lateral intermedio 1320	2	2640
TOTAL DE MATERIAL EN MM			22582

Fuente: Propia de los autores.

En la torre tres se hace cmabios en el paral del numeral 3, con una longitud de 400mm, para un total de manera grupal de 19382mm según la tabla 2.6:

**Tabla 2. 6****Material de torre dos.**

MATERIAL REQUERIDO TORRE 3			
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD	MM TOTAL
1	Tubo Cu 1200mm	3	3600
2	Tubo Cu 1400mm	4	5600
3	Tubo Cu 400mm	4	1600
4	Tubo Cu 800 DIA	6	4800
5	Tubo Cu Paral intermedio 571mm	2	1142
6	Tubo Cu Lateral intermedio 1320	2	2640
TOTAL DE MATERIAL EN MM			19382

Fuente: Propia de los autores.

Ya generada la cantidad de milímetros de tubo estructural requerido, se definió en tramos de 6 metros (6000mm) para determinar los tubos a comprar:

$$tubos\ totales = (19382mm + 22582mm + 25782mm)/6000mm$$

$$tubos\ totales = 11,29\ tubos$$

un aproximado de 13 tubos se deben comprar, y un platina de 6000 mm para realizar los acoples.

### 2.3 Tercera fase. Establecer la construcción del proyecto

Durante esta fase, se realizó compra de materiales en Neiva, se cortó los materiales y compra de accesorios para luego ser trasladados. Se realizó una verificación de piezas y de las conexiones de la tubería.

### 2.3.1 Construcción de la estructura

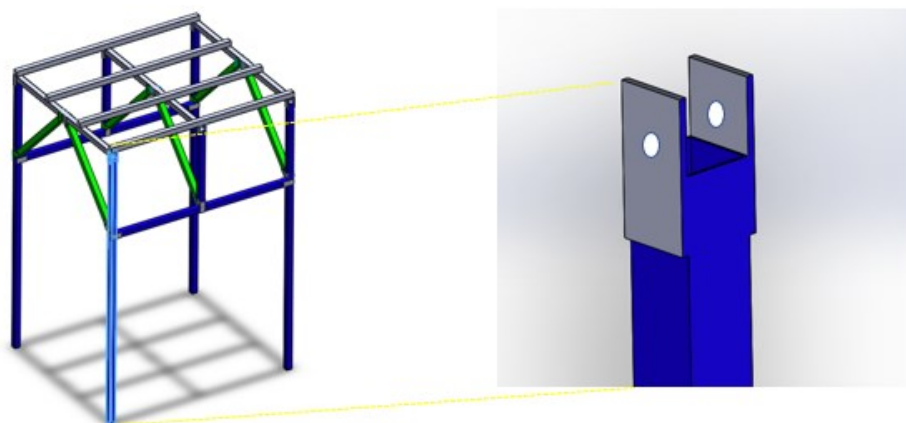
Para la etapa de construcción, cada torre tiene una diferencia de altura de 800mm, debido a la altura de los tanques, cada paral disminuyó quedando de la siguiente manera: Paral uno altura 2000mm, para torre dos 1200mm y para torre tres 400mm. Se mantiene las medidas para 1200 de lado y de ancho 1400mm.

La estructura quedó totalmente desarmable para ser transportada, en donde la única pieza que se dejó soldada fue la plataforma, con el fin de garantizar que las piezas se acoplaran fácil con otras piezas; se decide realizar unas juntas o acoples que se soldan a los extremos y que estos puedan acoplarse entre si por medio de tornillería de 50mm y diámetro de 12,5mm, la configuración que se dió para las diferentes partes y forma de acoplar se dió así:

1. El paral principal de la figura 2.5, un acople en solo extremo para apoyar con la plataforma.

#### Figura 2. 5.

*Parales principales.*



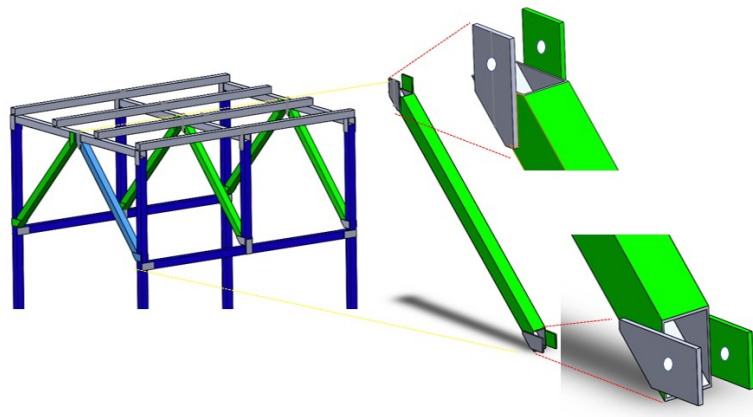
Fuente: Propia de los autores.

El soporte intermedio de color verde, se configuró para que acoplara la cara de uno de extremos con el paral de 2000mm y el otro extremo para que haga contacto entre superficies con la plataforma, estos poseen acople en los extremos de cada cara para unir por medio de tornillería.

## 2. Soportes intermedios

### Figura 2. 6

*Soporte intermedio.*



Fuente: Propia de los autores.

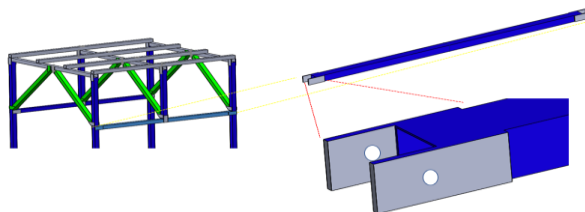
Para unir los paralelos extremos de 2000 mm, se usó un perfil cuadrado que en sus extremos posee acoples para unirse a los paralelos por tornillería ver figura 2.6, este a su vez, permite apoyar con los soportes de color verde que reciben la carga de los tanques y se disipa por este hasta los paralelos; además se agrega un soporte de color azul, el cual posee acoples invertidos para unirse con la plataforma.



### 3. Soporte lateral para unir paraleles.

**Figura 2. 7**

*Soporte lateral.*



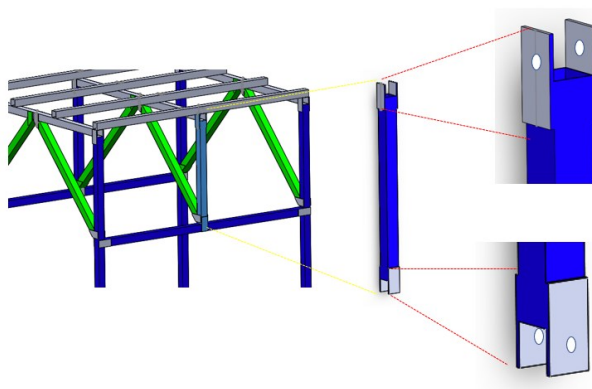
Fuente: Propia de los autores.

El soporte de la figura 2.7, que une la plataforma con el perfil cuadrado que une los paralelos, posee caras de soporte invertido para que pueda acoplar por tornillería, además sobre este se apoya un soporte de color verde.

### 4. Paral intermedio:

**Figura 2. 8**

*Construcción y ensamble de torre uno.*



Fuente: Propia de los autores.

En los cortes de los acoples, se verificó que fueran lo más preciso (ver figura 2.8), para que así como en el programa no existiría interferencia, en la vida real con el corte de materiales fuese lo mismo, con ello se logró ajustes precisos de las partes de la estructura

de las torres uno, dos y tres; además, se requirió de servicio de soldadura y corte de piezas; se revizaron las uniones soldadas; se pulieron y se retiraron los bordes cortantes para evitar algún corte mientras se manipula en el ensamble; además se agregaron las platinas que soportan los parales.

Para completar el armado se realizó lo siguiente:

1. Revisión de parales y acoples.

### **Figura 2. 9**

*Piezas y acoples.*



Fuente: Propia de los autores.

Se revizó que todas las piezas estuviesen completas con sus acoples, ver figura 2.9, verificándose que los parales estuviesen bien soldados, totalmente verticales; se verificó que los acoples dejaran asentar sobre ellas otras piezas para confirmar su ensamble.

## 2. Traslado a finca Villa Hermosa.

### **Figura 2. 10**

#### *Armado de torres*



Fuente: Propia de los autores.

Se llevaron los materiales para la ejecución del proyecto, en donde se inició con el ensamble de las torres ver figura 2.24, en el cual se instalaron los 64 tornillos de 50mm con 12,5mm de diámetro, se instaló con precaución cada pieza, con ayuda de un mazo de goma, ya que al no dejar tolerancias, quedó ajustado todo el armado de las torres. A todas las piezas se aplicó anticorrosivo negro, un color a base de aceite negro y luego se dejó para su posterior secado.

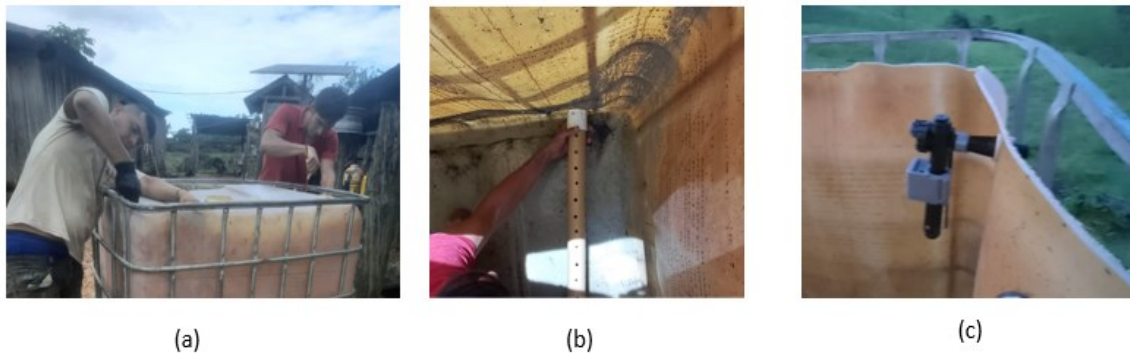
### **2.3.2 *Ubicación de tanques con accesorios y sistema de bombeo***

Se debe ubicar los elementos de tanque y sistema de bombeo, ya que de este ensamble se determina qué faltantes o partes se deben adicionar para reforzar tanto la estructura como el sistema de bombeo. La forma de lograr la actividad, parte de tener todas las piezas y las herramientas necesarias para el ensamble y la puesta en marcha. Para ello se realizaron los siguientes pasos:

1. Corte de tanques para tapa y orificios para tubo.

**Figura 2. 11**

*Corte de tanques.*



Fuente: Propia de los autores.

Se realizó el corte de la parte superior de los tanques con broca tipo cierra ( ver figura 2.11 a) y con ayuda de seguetas, tal como se observa en la figura 2.11, para ingresar en ellos y lograr realizar la perforación e ingresar los accesorios para los tubos ( ver figura 2.11 b), verificación de tanque, ubicación de niveles de agua ( ver figura 2.11 c) y estabilidad de elementos conectores. Antes de llevar los tanques al sitio, se verifica en la figura 2.12, que los tanques estén estables sobre la torre, se realizó la perforación de los tubos a cada 50 mm a una longitud de 1000 mm de forma lineal, y alrededor del tubo se hicieron cuatro hileras a cada 90 °.

**Figura 2. 12**

*Verificación de tanques y tubos de filtrado.*



Fuente: Propia de los autores.

## 2. Traslado de tanques y ubicación sobre torres.

**Figura 2. 13**

*Ubicación de accesorios sobre los tanques.*



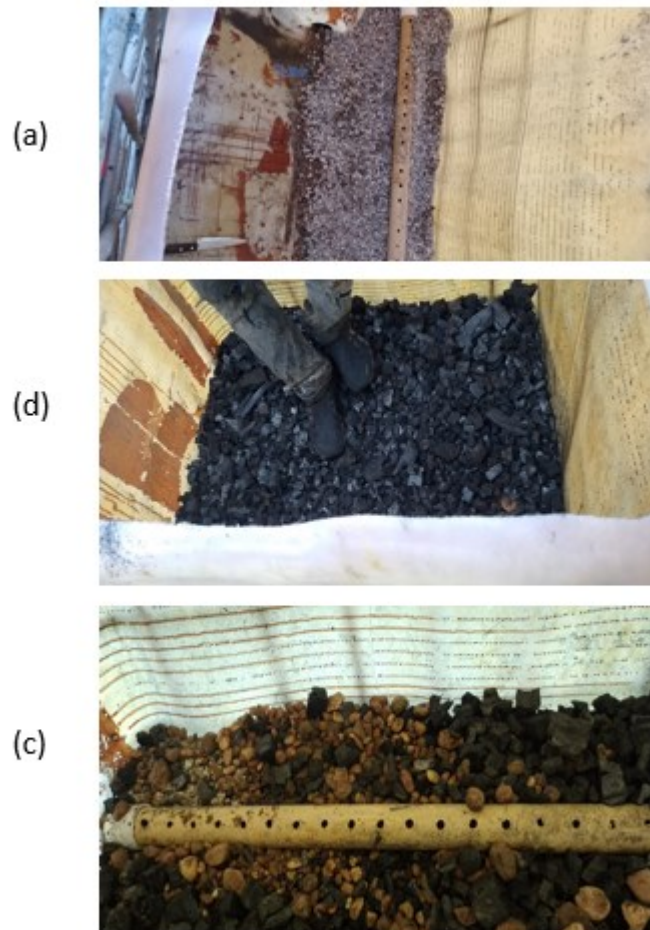
Fuente: Propia de los autores.

Luego de haber terminado con las torres, se ubicaron los tubos que comunican a una diferencia de 200 mm y se agregó el pegante para evitar fugas de agua( ver figura 2.12 a) , se acondicionó los sellos plásticos de los acoples hembra y macho de los tubos, como se evidencia en la figura 2.13 .

3. Se agrega las capas de material filtrante.

**Figura 2. 14**

*Distribución de material filtrante.*



Fuente: Propia de los autores.

Se procedió a aplicar en el primer tanque una capa de los materiales filtrantes más gruesos según se observa en la figura 2.14 a, en donde se inició con 100mm de gravilla, 100 mmm de carbón mineral ( ver figura 2.14 b), 50mm de gravilla grano medio ( ver figura 2.14 c),. Para el segundo tanque se agregó 100 mm de gravilla, 50 mm de carbón mineral y 100 mm de arena lavada fina. Al tercer tanque no se agregó material filtrante, solo se dejó para almacenar el agua filtrada, con un menos grado turbidez.



#### 4. Terminación y ensamble.

**Figura 2. 15**

*Distancia entre tanques 600 mm.*



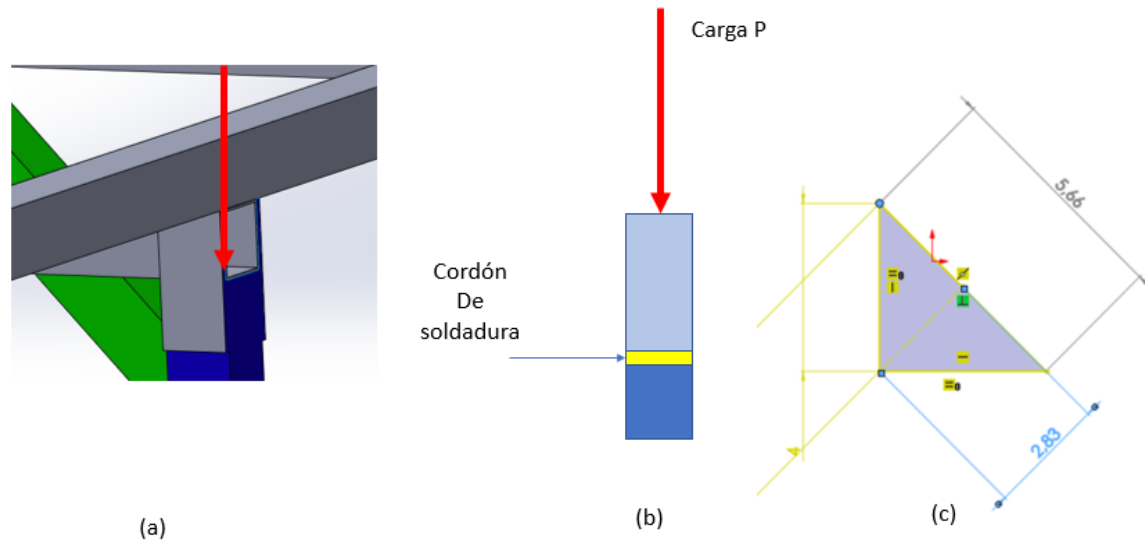
Fuente: Propia de los autores.

Los tanques que se observan en la figura 2.15, quedaron a una distancia de 600mm , para lograr hacer el ingreso entre ellos y lograr verificar los acoples; los tres tanques quedaron alineados entre las torres; cabe destacar que la estructura tiene un margen de espacio de 100 mm por cada lado.

## 2.4 Cálculo de unión soldada

**Figura 2. 16**

*Ubicación de carga en la union soldada*



Fuente: Propia de los autores.

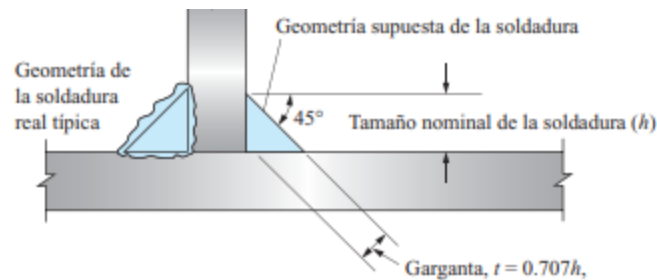
Para analizar los cordones de soldadura , se tomó la parte central de la estructura en donde la carga ( ver figura 2.16 a), se posiciona de manera vertical sobre la parte soldada ( ver figura 2.16 b), de esta zona se forma un triángulo en cual parte del espesor de la lámina de 4 mm formando la garganta del cordón de soldadura con valor de 2,83 mm (ver figura 2.16 c).

El valor de la garganta formado, es la zona que queda como el espesor de soldadura, para ello por medio de la siguiente figura 2.17 del libro de Norton se procede a validar (Mott & Navarro Salas, 2009, p. 681) , cuanta carga puede soportar el cordón de soldadura.



**Figura 2. 17**

*Tamaño de la garganta del cordón de soldadura*



Fuente: Resistencia de materiales (Mott & Navarro Salas, 2009, p. 681)

$$\tau = \text{esfuerzo cortante}$$

$$P = \text{Carga (N)}$$

$$t = \text{Espesor de garganta}$$

En las torres uno, dos y tres determino que la estructura que más esfuerzo recibe es la torres uno y dos, se evaluó la torre uno ya que la tres posee menor deformación como se evidencio en la simulación. En el diseño de las torres se usó soldadura E70 ,de donde se determinó la carga máxima que puede soportar por esfuerzo cortante de 145 Mpa.

**Figura 2. 18**

*Propiedades de electrodos de acero*

Tipo de electrodo	Resistencia mínima a la tensión		Esfuerzo cortante permisible		Metales soldados típicos
	ksi	MPa	ksi	MPa	
E60	60	414	18	124	A36, A500
E70	70	483	21	145	A572 Gr. 50 A913 Gr. 50, A992
E80	80	552	24	165	A913 Gr. 65

Fuente: Resistencia de materiales (Mott & Navarro Salas, 2009, p. 681)

$$P = \tau L t$$

$$P = 145 * (10^6) * (40\text{mm}) * (2,83\text{mm}) \frac{N}{m^2} * \frac{m^2}{1000^2\text{mm}^2}$$

$$P = 16414.4 \text{ N}$$

El valor máximo que puede soportar el cordón de soldadura es de 16414.4 N, para que falle por corte, ahora según el valor que carga que se realiza en este punto es de 2536.37 N, pero como en la pieza se realiza dos cordones de soldadura por cada cara, la carga P calculada total es de :

$$P = 16414.4 \text{ N} * 2 = 32828.8 \text{ N}$$

Se puede decir que :

*la carga maxima  $P = 32828.8 \text{ N} >$  es mayor a 2536,37 N*

Lo que indica que el cordón de soldadura de 40 mm de largo con espesor de garganta de 2,83 mm soporta la carga de 2536,37 N.

#### **2.4.1 Manual de operación y mantenimiento preoperacional**

Este manual responde a la necesidad de instruir en forma clara y sencilla en el uso y mantenimiento del mismo a quienes lo requieran.

Operación en la bomba:

1. Verificar que este a nivel 1200 mm sobre el nivel del agua sentido negativo.
2. Llena de guio, para succión de agua, para evitar cavitación, se usa el yoyo para el encendido, antes se debe verificar nivel de combustible, se verifica la válvula de entrada de aire, se verifica la salida la succión y se conecta la manguera.

Operación en la tubería:

1. Se verifica que la tubería no tenga fugas.
2. Verificar que la manguera no esté envuelta en sí misma y así evitar que se parta por dobles, elementos cortantes en el camino, que no tenga perforación, verificar agua al sitio.

Operación en los tanques:

1. Verificar que el flotador de nivel de agua esté funcionando, este libre de obstrucción, verificar que este móvil.
2. Verificar que los tubos del agua no tengan obstrucción en los tanques de uno a dos y de dos a uno.
3. Se verifica la salida del agua filtrada,
4. Verificar cada dos meses los sedimentos en los tanques.
5. Realizar lavado de tanque cada vez que el sedimento se adhiera a las paredes.

Para el uso de tanques de recolección y estos sean usados en el almacenamiento de agua, se deben seguir unas recomendaciones con el fin de prolongar el trabajo sobre el mismo. Partiendo de lo anterior, se designó en un tiempo de tres meses realizar unas rutinas de mantenimiento, según pasos recomendados por Matamorros(Matamoros, 2018):

- Revizar funcionamiento de valvulas by-pass.
- Revizar aperturas y cierres de llaves o válvulas.
- Revizar estructuras con el fin de verificar agrietamientos.
- Aplicar detergente o jabón industrial.
- Lavar el interior del tanque con cepillo plástico.

Por situaciones presentadas durante la investigación, se incluyó que se debe revisar la superficie, se debe verificar con el fin de no poseer en zonas objetos que causen abolladuras, verificar el nivel del tanque con la superficie y verificar las sujeciones del tanque a la torre.

Operación sobre la Estructura:

1. Verificar que la tornillería esté ajustada. Usando llave número 14 y una llave expansiva.

Operación en la salida de agua para riegos y bebederos:

2. Verificar la válvula de repartición de agua para riegos y bebederos.

3. Verificar que la tubería no esté doblada y perforada.

Piezas de cambio:

- Flotador de nivel agua.
- Yoyo de la bomba.
- Abrazaderas metálicas.
- Manguera de 2”.
- Manguera de 1 ½ “.
- Manguera de ½”.
- Acople de mangueras para medidas: 2”, 1 ½” y ½”.

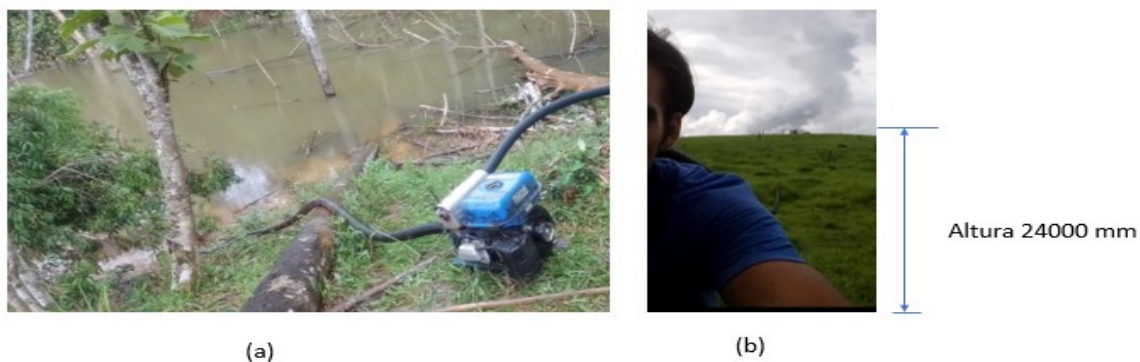
### 3. Resultados y análisis de resultados

#### 3.1 Primer resultado de parámetros de sistema de bombeo y sistema de filtrado

Cumpliendo con el primer objetivo “ Determinar los parámetros del sistema del bombeo y sistema de filtrado.” Parámetros del sistema de bombeo: Se determinó que en zonas montañosas en donde no es posible realizar la medición de una altura específica con niveles de tipo laser o por servicio fotográfico, se puede emplear técnicas básicas como lo es medición de niveles por manguera de agua, que con ayuda de tramos cortos de listones sobre el suelo se puede marcar la variación existente del nivel sobre una superficie y repitiendo este paso se puede tomar un nivel, así se permitió llegar a una distancia de 150 metros con una variación de altura de 24000 mm del sitio dispuesto para los tanques, se puede apreciar en la siguiente Figura 3.1. Donde se evidencia la pendiente para llegar a la zona de instalación:

#### Figura 3. 1

*Distribución de manguera hasta los tanques.*



Fuente: Propia de los autores.

Con lo anterior la bomba a gasolina, permitiendo succionar agua ( ver figura 3.1 a) y dirigirla al punto establecido ( ver figura 3.1 b), en donde la bomba no llegó a cavitarse, no

presentó falta de potencia y operó sin ningún problema durante las tres horas que se requería para la finca Villa Norma.

Sistema de filtrado: En los resultados obtenidos durante la filtración, se usó el sistema de tanques en serie que según los autores Forero y Bernal, el emplear tanques y un sistema de filtrado se puede aprovechar la diferencia de alturas; y disminuir la turbidez del agua (Forero & Bernal, 2017), permitiendo que el agua se desplace por gravedad, y así en recorrido pueda pasar por materiales filtrantes como el empleado en el proyecto, en donde se empleó 100 mm de gravilla tamaño grande sobre los tubos perforados, 100 mm de carbón mineral, 50 mm de gravilla mediana y finalizando sobre la superficie 50 mm de arena fina lavada. Además este diseño se asemeja al empleado por el autor Carranza, (Carranza, 2018), en el cual el emplea una estructura de concreto para una capacidad de 15 metros cúbicos. En donde la solución planteada para la finca consta de 3 metros cúbicos o 3000 litros, diferenciándose de que no emplea concreto para la torre, si no una estructura desarmable de perfil cuadrado en acero estructural.

### **Figura 3. 2**

*Salida de agua luego de pasar por los tres filtros.*



a. Se evidencia salida del agua.

Fuente: Propia de los autores.

### 3.2 Segundo resultado del diseño del sistema de bombeo de agua con capacidad de 0,27 Litros/s

Cumpliendo al segundo objetivo “Diseñar un sistema de bombeo de agua con capacidad de 0,27 litros/s para una altura de trabajo de 30 metros.” El sistema de bombeo se obtuvo por medio de una bomba de  $\frac{1}{2}$  Hp, la cual empleó una capacidad de 0,27 litros/s, permitiendo desplazar agua a una distancia de 150000mm, además se logró que la bomba trabajara a una diferencia de presión de 1200mm y una altura de trabajo de 24000mm. En donde la bomba debía ser purgada sino ésta no realizaría su trabajo, así se evidencia en la Figura 3.3 :

#### Figura 3.3

*Purgado de bomba.*



Fuente: Propia de los autores.

### 3.3 Analisis de la estructura para soportar 3000 litros

Al comparar los resultados del análisis estático de una sección de la plataforma; se aplicó la fuerza puntual de 2536,37N en la mitad de la tubería estructural con

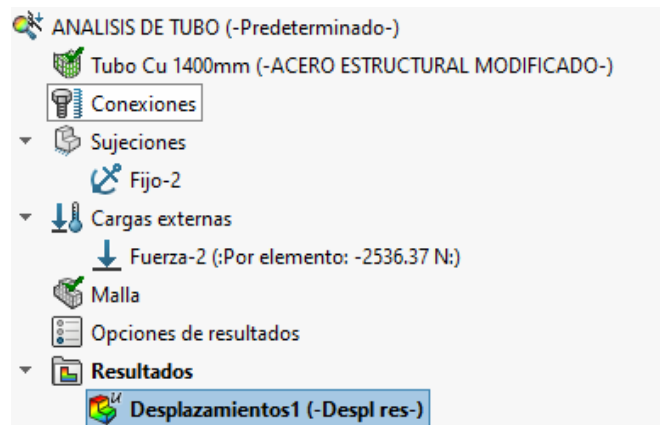
longitud de 1400mm, dando un valor de 11,6 mm como deformación, valor que se consideró alto sobre toda la estructura, pero es aceptable debido a que se usó un factor de seguridad de 0,91. Para comprobar esta deformación, se realizó por simulación de cargas estáticas en el Software de Solidworks en análisis por elementos finitos según su deformación URES, dando como resultado en la mitad de la tubería un valor URES de 7,13 mm.

El procedimiento realizado fue el siguiente:

1. En el gestor de diseño del programa se agregó los siguientes datos: Tubo de 1400, se instala una carga de 2536,37N se usa apoyos en los extremos según la figura 3.4.

### Figura 3. 4

*Procedimiento sobre el tubo.*



Fuente: Propia de los autores.

2. En el material, se usó como base el 1045, y se editaron los valores de límite de fluencia y de tracción, similares a los de la tabla del material usado, como se observa en la figura 3.5 :



**Figura 3.5**

*Valor de límite de fluencia en acero estructural tipo TE- 20.*

DENOMINACIÓN DEL TUBO <i>Tube Denomination</i>	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN MÍNIMA R (MPA) <i>Tensile Strength Minimum</i>	LÍMITE DE FLUENCIA MÍNIMO RE (MPA) <i>Yield Strength</i>		ALARGAMIENTO DE ROTURA MÍNIMO LO = 50 mm <i>Elongation in 50 mm (%)</i>	
		SECCIÓN CIRCULAR <i>Circular Section</i>	SECCIÓN CUADRADO Y RECTANGULAR <i>Square and rectangular section</i>	SECCIÓN CIRCULAR <i>Circular section</i>	SECCIÓN CUADRADO Y RECTANGULAR <i>Square and rectangular section</i>
TE - 20	310	228	269	15	13
TE - 22	363	216	225	12	10
TE - 30	490	294	303	10	8
TE - 36	510	353	364	9	7

Fuente: Propia de los autores.

Luego se realizó la aplicación del material, en donde se digita el valor de la figura 3.6 de 269 MPA.

**Figura 3.6**

*Aplicación de material.*

Propiedades: Tablas y curvas Apariencia Rayado Personalizado Datos de apl

Propiedades de material  
No se pueden editar los materiales en la biblioteca predeterminada. Para editar un material, cópielo primero a una biblioteca personalizada.

Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal  
Unidades: SI - N/m<sup>2</sup> (Pa)  
Categoría: ACERO ESTRUCTURAL  
Nombre: ACERO ESTRUCTURAL MODIFICADO  
Criterio de fallos predeterminado: Tensión de von Mises máx.  
Descripción:  
Origen:  
Sostenibilidad: No definido

Propiedad	Valor	Unidad
Densidad de masa	7850	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	269000000	N/m <sup>2</sup>
Límite de compresión		N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	269000000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica	1.15e-005	/K
Conductividad térmica	49.8	W/(m·K)
Calor específico	486	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

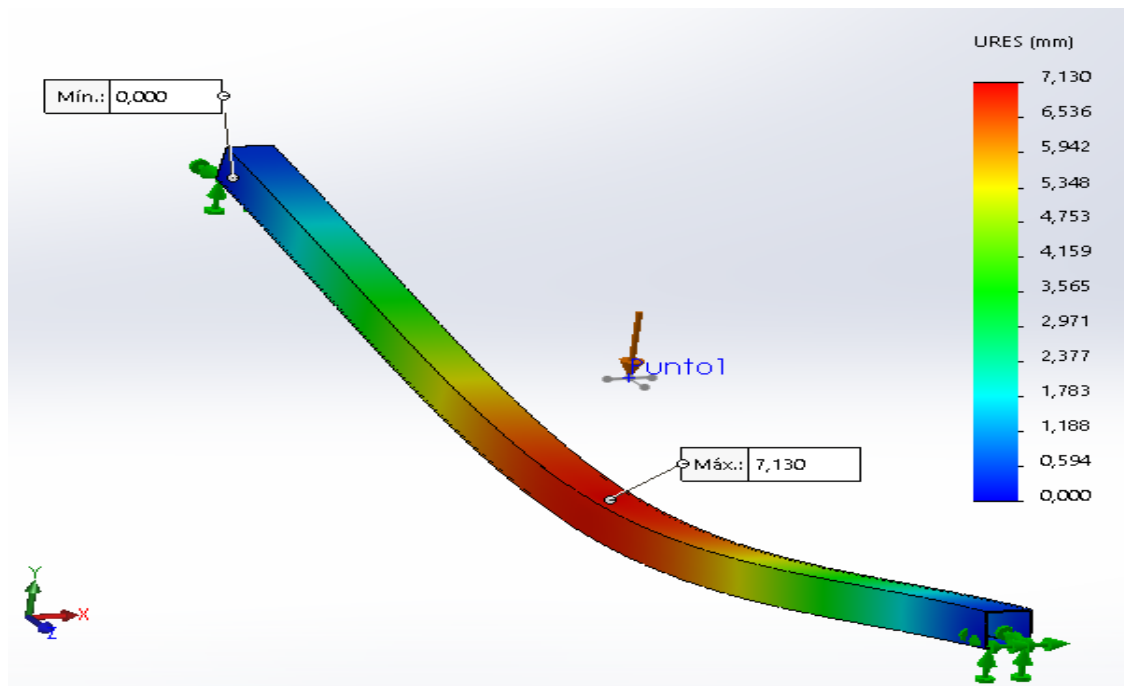
Haga clic aquí para acceder a más materiales con el portal web de materiales de SolidWorks

Fuente: Propia de los autores.

3. En resultado de la simulación, dió un valor de 3,13mm; representado en tonalidad roja , como se observa en la figura 3.7:

**Figura 3. 7**

*Deformación sobre tubo.*



Fuente: Propia de los autores.

Este valor permite entender que la deformación, es menor a la calculada por estática, pero todavía sigue siendo alta, ya que puede ocasionar que la estructura desplace otras piezas de la torre. Para brindar un diseño que supla esta necesidad de disminuir la deformación, se planteó una estructura que, en la mitad del tubo analizado antes, pueda reducir el valor URES de 7,13 mm.

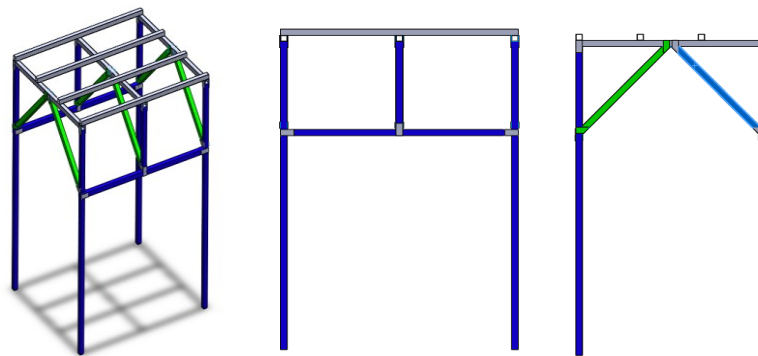
Se planteó la estructura de la siguiente manera:

Se usó una plataforma que aparece en la figura 3.8 con 4 soportes distanciados de manera uniforme , los que se apoyan sobre tres perfiles:

**Figura 3. 8***Plataforma.*

Fuente: Propia de los autores.

Luego se procedio a ubicar la plataforma sobre una estructura conformada por cuatro paraleles, como se observ en la figura 3.9, ellos se unen en sus extremos con diseño en forma de I , y en sus costados con un diseño de V invertida, con el fin de que en las partes centrales se pueda acoplar las estructuras y que al aplicarse la carga disminuya la deformación de 11,6 mm.

**Figura 3. 9***Primera torre.*

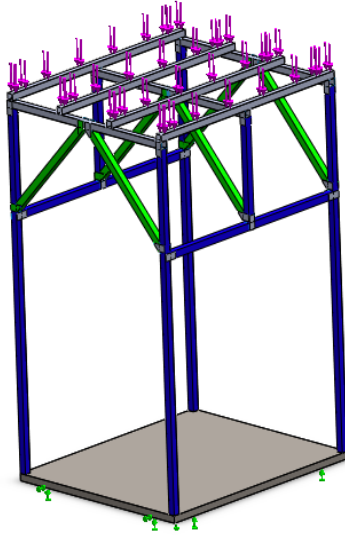
Fuente: Propia de los autores.

Con la estructura anterior se diseñaron soportes de manera triangular, para dar rigidez a la estructura, se procedió nuevamente a evaluar por análisis estático toda la estructura con una carga en cada paral de 2536,37N, con el fin de evaluar si el diseño propuesto mitiga la deformación de 11,6 mm. Para ello se procedió de la siguiente manera:

Se ubicaron las cargas sobre la estructura de la figura 3.10:

**Figura 3. 10**

*aplicación de cargas.*

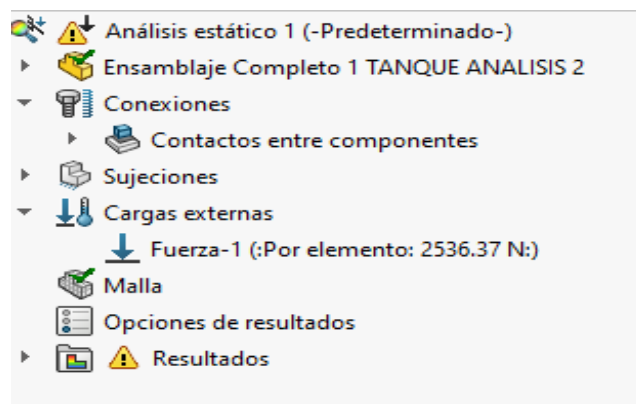


Fuente: Propia de los autores.

Se procedió a colocar el valor de las cargas de la figura 3.11:

**Figura 3. 11**

*Aplicación de cargas en el ensamble.*

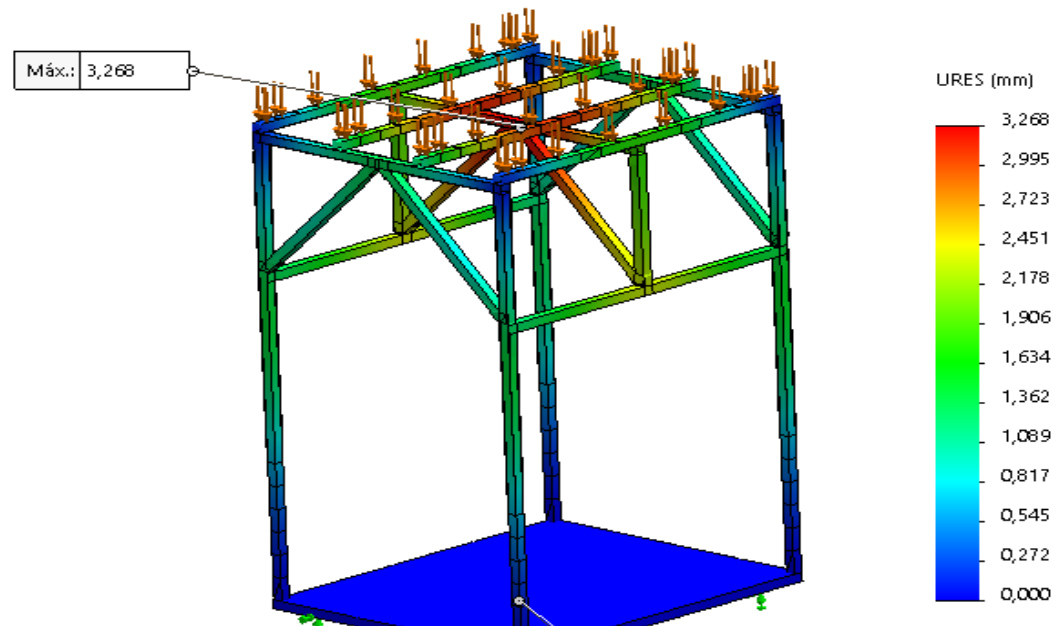


Fuente: Propia de los autores.

Se determinó la deformación máxima y mínima de la figura 3.12:

**Figura 3. 12**

*Simulación torre uno.*



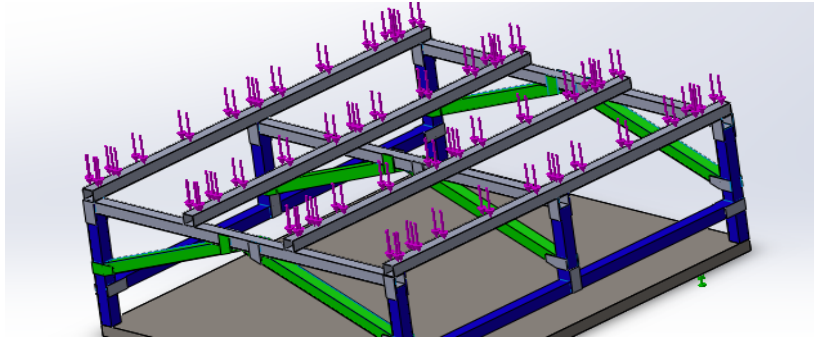
Fuente: Propia de los autores.

Ya determinando que la deformación máxima es de 3,2 milímetros, se confirmó que el diseño de manera triangular en sus soportes disminuyó la deformación de la plataforma. A diferencia del valor calculado de 11,3 mm por método estático y el de 7,13 mm para un solo perfil se definió que el diseño es viable para empezar a construir. Para el análisis estructural del modelo del tanque dos, no se hizo simulación ya que es el mismo diseño del primero, en donde lo que varía es la longitud de los parales a una longitud de 1200mm. El tanque tres, si se evaluó por simulación ya que posee una abertura diferente en los soportes, para ello se evaluó con el mismo procedimiento del tanque 1, arrojando como resultado:

Aplicación de cargas en figura 3.13:

**Figura 3. 13**

*Cargas en torre tres.*

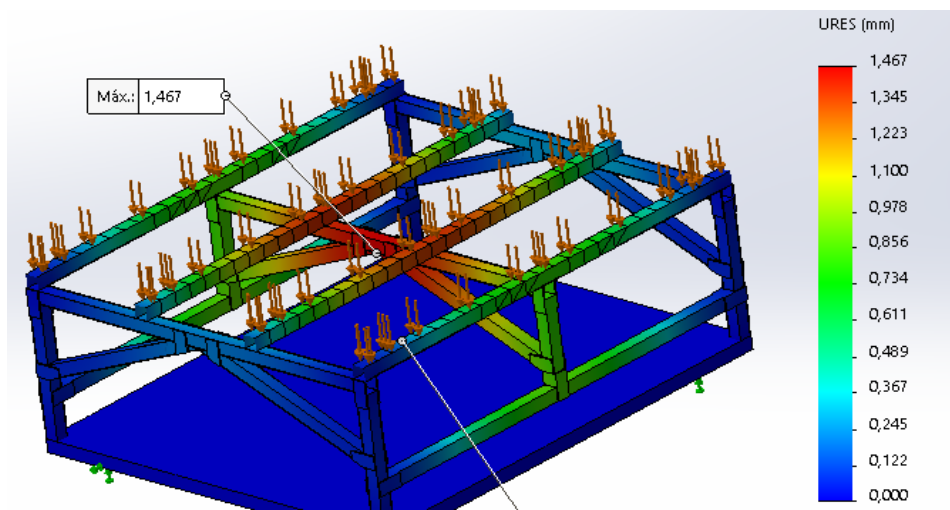


Fuente: Propia de los autores.

Este es el resultado de la simulación de la figura 2.3.14 el cual dió una deformación máxima de 1,46 mm. El valor dió menor al de la torre uno, ya que el ángulo de los soportes , color verde, es menor, debido a que el tanque se configuró a una altura de 400 mm.

**Figura 3. 14**

*Simulación torre tres.*

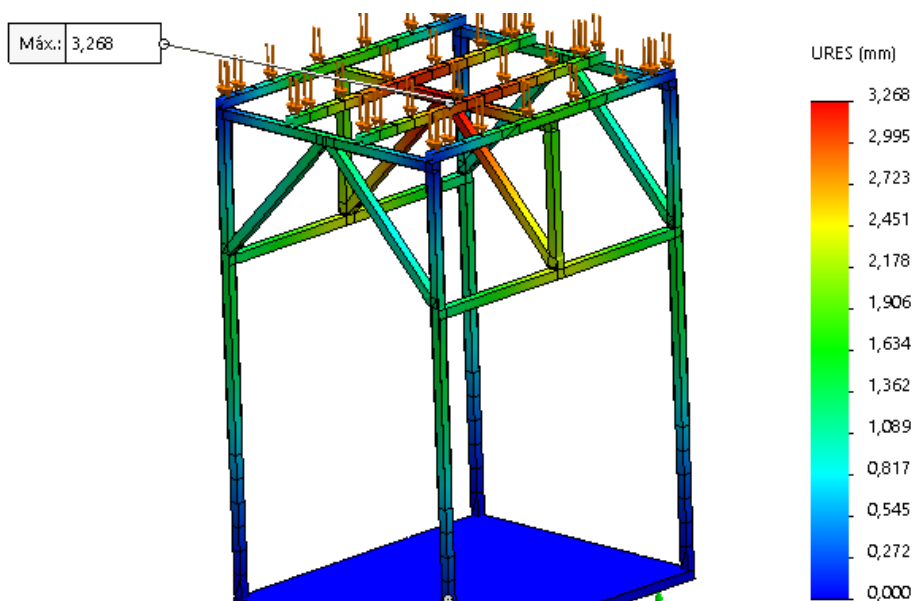


Fuente: Propia de los autores.

Se observó que la a deformación de tanques, es muy pequeña, los diseños son aptos para pasar a la etapa de construcción. Además para dar solución al objetivo se valoró la deformacion realizada de la carga sobre la torre en donde se evidenció que el diseño y material empleado logró una deformación de 3,4 mm para la primera torre según la Figura 3.15.

**Figura 3. 15**

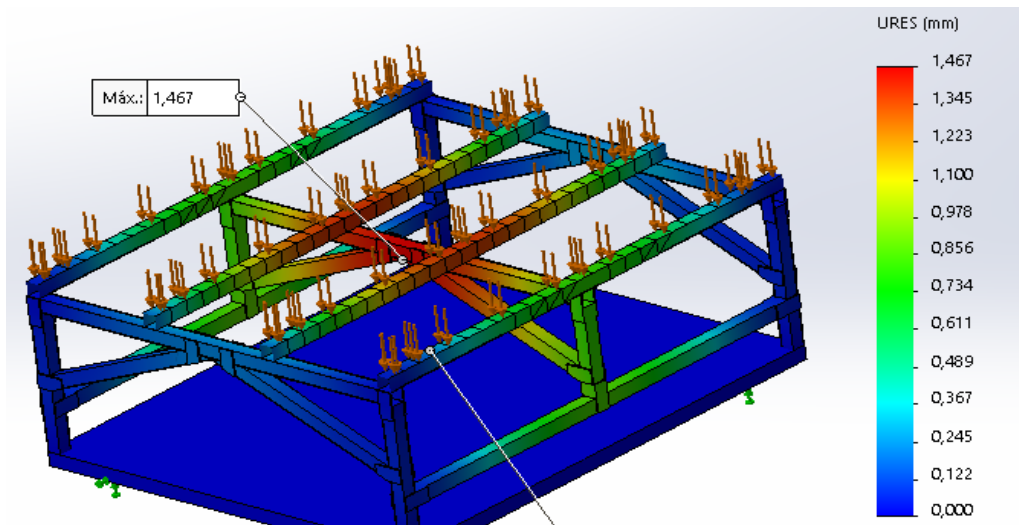
*Simulación torre uno.*



Fuente: Propia de los autores.

Mostrando que la plataforma Figura 3.15, en su parte central llegó a una deformación máxima de 3,2 y en sus laterales de 1.3 a 2.17 mm, valor que no afecta a la estructura de la torre, ya que lo importante es no dejar deformar los paraleles que presentan una deformación mínima de 1.6 a 1.9 mm.

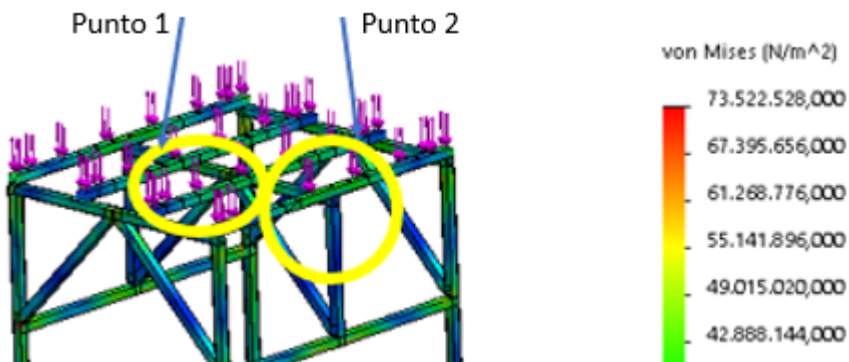
A su vez, la torre tres, debido a su diseño llegó a una deformación máxima de 1,4 mm, evidenciándose en la Figura 3.16 , y mostrando un comportamiento similar al de la torre uno en cuanto a la forma como se distribuye la deformación.

**Figura 3. 16***Simulación de cargas en torre tres.*

Fuente: Propia de los autores.

### 3.3.1 *Análisis de resultados de unión soldada*

Para el siguiente análisis se determinó que la torre uno posee dos puntos con mayor esfuerzo, en donde se tiene esfuerzos de ( 42- 49) Mpa según el análisis de esfuerzos a los que se somete la torre de la figura:

**Figura 3. 17***Simulación de esfuerzos sobre torre uno*

Fuente: Elaboración de los autores.

Por lo anterior es esfuerzo máximo 145 Mpa por corte de la soldadura 7010 supera el máximo esfuerzo que se da en la torre de 73 Mpa.

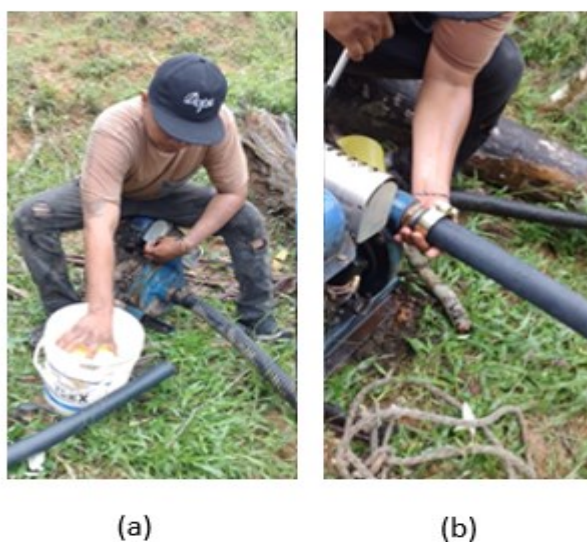


### 3.3.2 *Funcionamiento del equipo*

Dando cumplimiento al tercer objetivo "Evaluar por medio de pruebas en campo el funcionamiento del sistema de bombeo con 0,27 litros/s y de filtrado.". Se verificó prueba de estanqueidad, adicionando la inspección y funcionamiento de la bomba según sentido de la misma; con su respectivo purgado ( ver figura 3.18 a); se realizó la nivelación de la bomba; se verificó que la tubería de succión no tuviera fugas, tal como se evidencia en figura 3.18 (b):

#### **Figura 3. 18**

*Verificación de conexiones.*



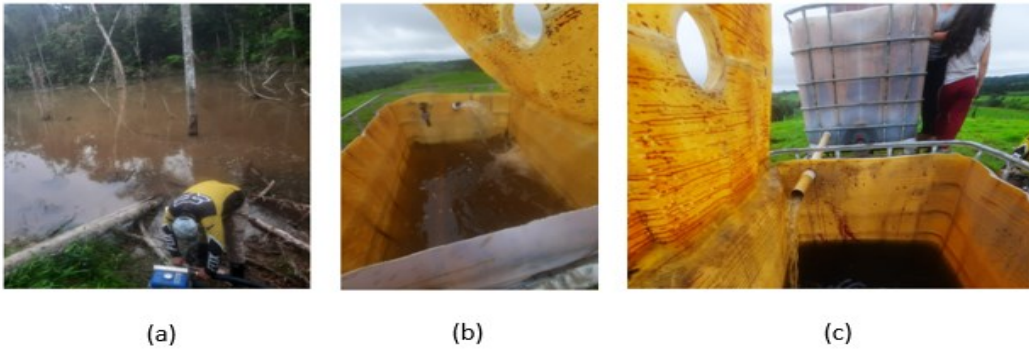
Fuente: Propia de los autores.

Se verificó y comprobó que la bomba empleada, sí lograba transportar agua a la distancia destinada ( ver figura 3.19 a) , además se evidenció que de tanque a tanque se lograba el paso del fluido por el material filtrante ( ver figura 3.19 b), logrando a su vez disminuir la turbidez ( ver figura 3.19 c) y ser repartida por medio de una llave de paso, configurada para dar paso a los bebederos de ganado y paso a los riegos; en donde debe ser

operada manualmente, considerando que el primer tanque al estar llenado en su totalidad éste cierra el paso de agua debido a una válvula de cierre por flotador.

### Figura 3. 19

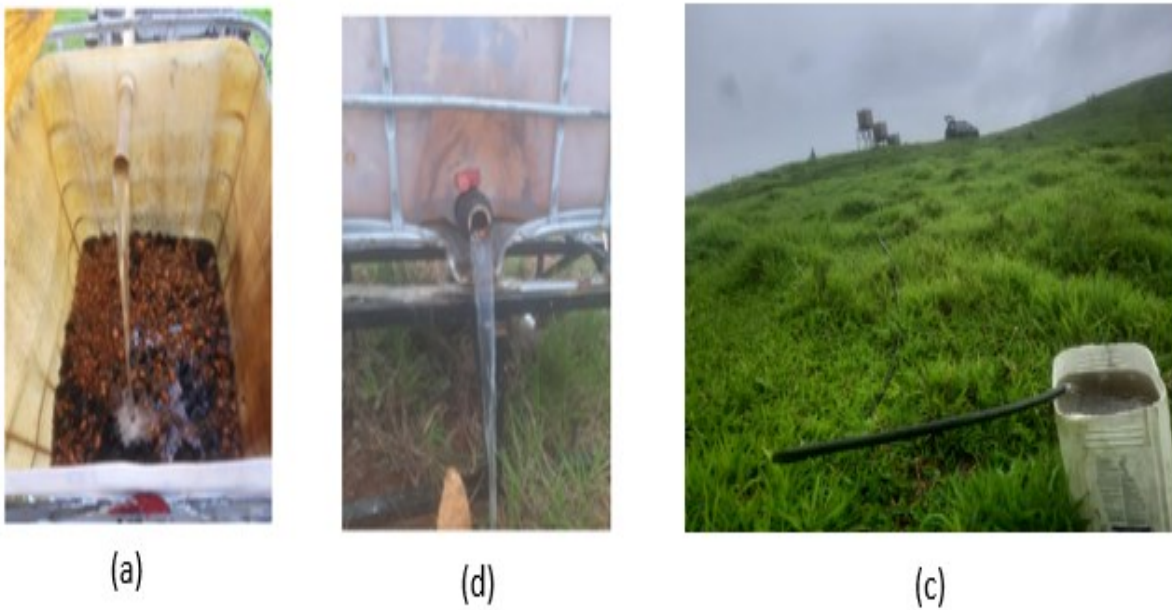
*Prueba de funcionamiento tramo uno*



Fuente: Propia de los autores.

### Figura 3. 20

*Prueba de funcionamiento tramo dos*



Fuente: Propia de los autores.

En la Figura 3.20 y 3.19 anterior, se puede evidencia en la secuencia de fotos desde toma del agua por la bomba, llenado al primer tanque, llenado del segundo tanque, llenado del tercero por material filtrante ( ver figura 3.20 a), salida del último tanque y por gravedad llego el agua ( ver figura 3.20 b); evidenciando el cambio de turbidez desde la poceta hasta una distancia de 80000 mm en los riegos ( ver figura 3.20 c), ya que los bebederos para ganado están a 30000 mm se cumpliría el objetivo de llevar agua hasta este punto.

Fue necesario revisar el funcionamiento del sistema de bombeo, ya que, de él, depende si el agua llega a la altura de trabajo que son los 28.300 mm, además se revisó cuánto tiempo se demoró en filtrarse el agua, para ello se tomó el tiempo de llenado de cada uno de los tres tanques. Para lograr el funcionamiento se requirió de revisar todos los elementos, y revisar fugas de agua, desde las conexiones de la bomba, en los tanques y en la salida, evidenciando que hay estanqueidad

Al realizarse la prueba de llenado en los tanques, se verificó que el agua pasara de un tanque al otro por medio del filtrado; así mismo se verificó que al último tanque llegara el agua con menor turbidez a la de la entrada. Finalizando se abre válvula manual para liberar agua a los bebederos o para la zona de riego, en donde se puede ver que el agua si sale en el último tanque.

Se comprobó que, por gravedad, existe una diferencia de altura a la zona de bebederos de agua por 8000 mm de altura negativa y al sitio de riego por 6000 mm de altura negativa. Por lo tanto, el agua llegó sin ningún problema a los sitios establecidos, en donde la manguera se llevó al sitio de bebedero; ubicada entre los 70000 mm a 80000 mm.

## Conclusiones

Desarrollado el proyecto en el que se diseñó y montó un sistema de bombeo capacidad de 0,27 litros/s para uso agrícola (bebederos de ganado y riegos) de la Finca Villa Norma en San Vicente del Caguán y de acuerdo a los objetivos trazados para el cumplimiento del mismo, se concluye:

Se determinó los parámetros del sistema de bombeo, permitiendo obtener el agua necesaria para el llenado de los tres tanques y en este sentido aprovecharla en temporadas de sequía logrando su transporte; al punto de riego y bebederos de ganado.

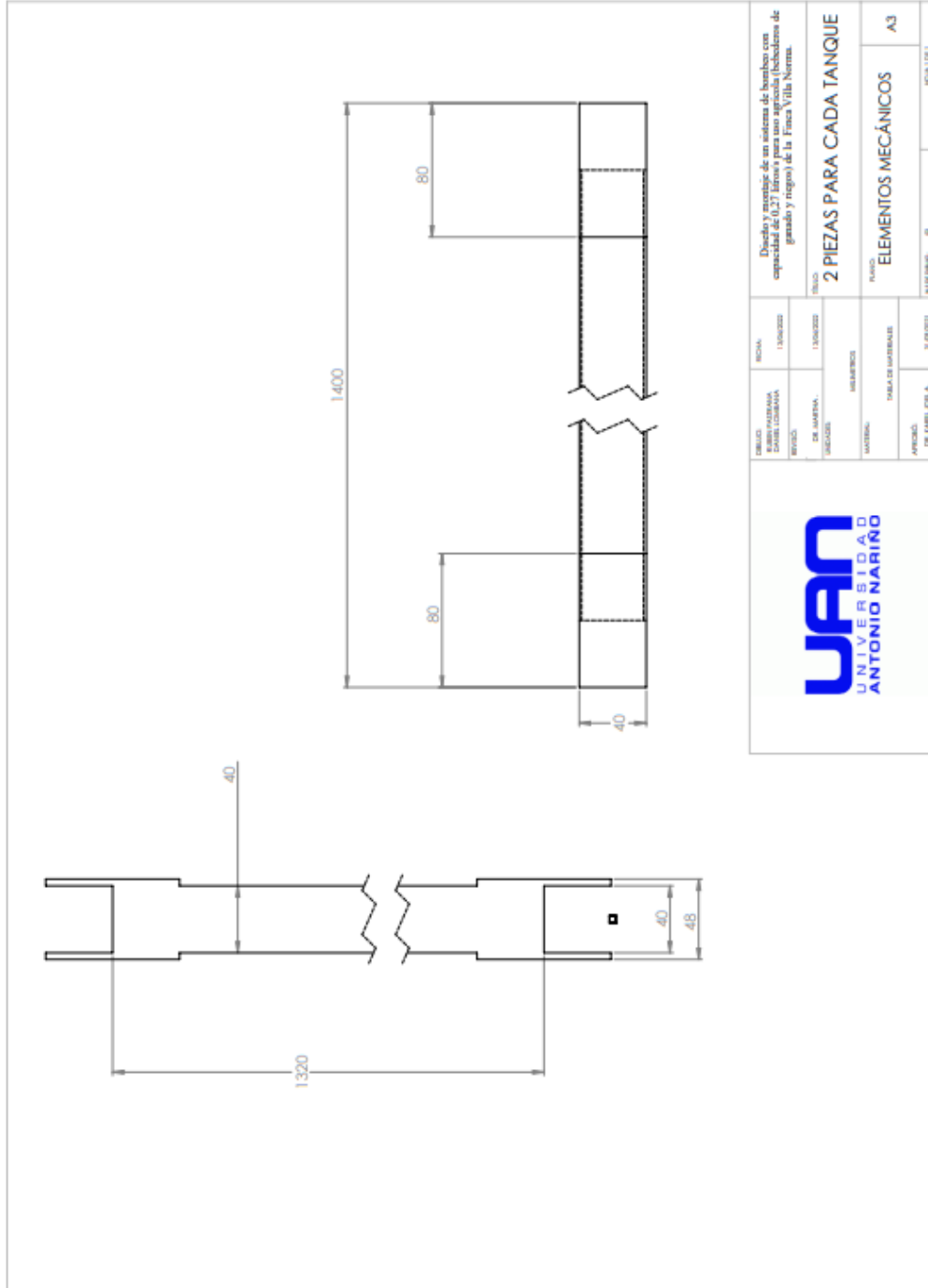
El proceso de filtración de agua por gravedad y el uso productos minerales como el carbón mineral, arena y gravilla, minimizó la turbidez del agua sin hacer uso de químicos nocivos para los cultivos y la salud de los bovinos.

Se diseñó un sistema de bombeo de agua con capacidad de 0,27 litros/s para una altura de trabajo de 30 metros, se contribuyó a la realización del proyecto apropiadamente, evitando fallas en su construcción, reduciendo costos, uso de materiales reutilizables, un diseño estructural armable y liviano que dio facilidad en el transporte.

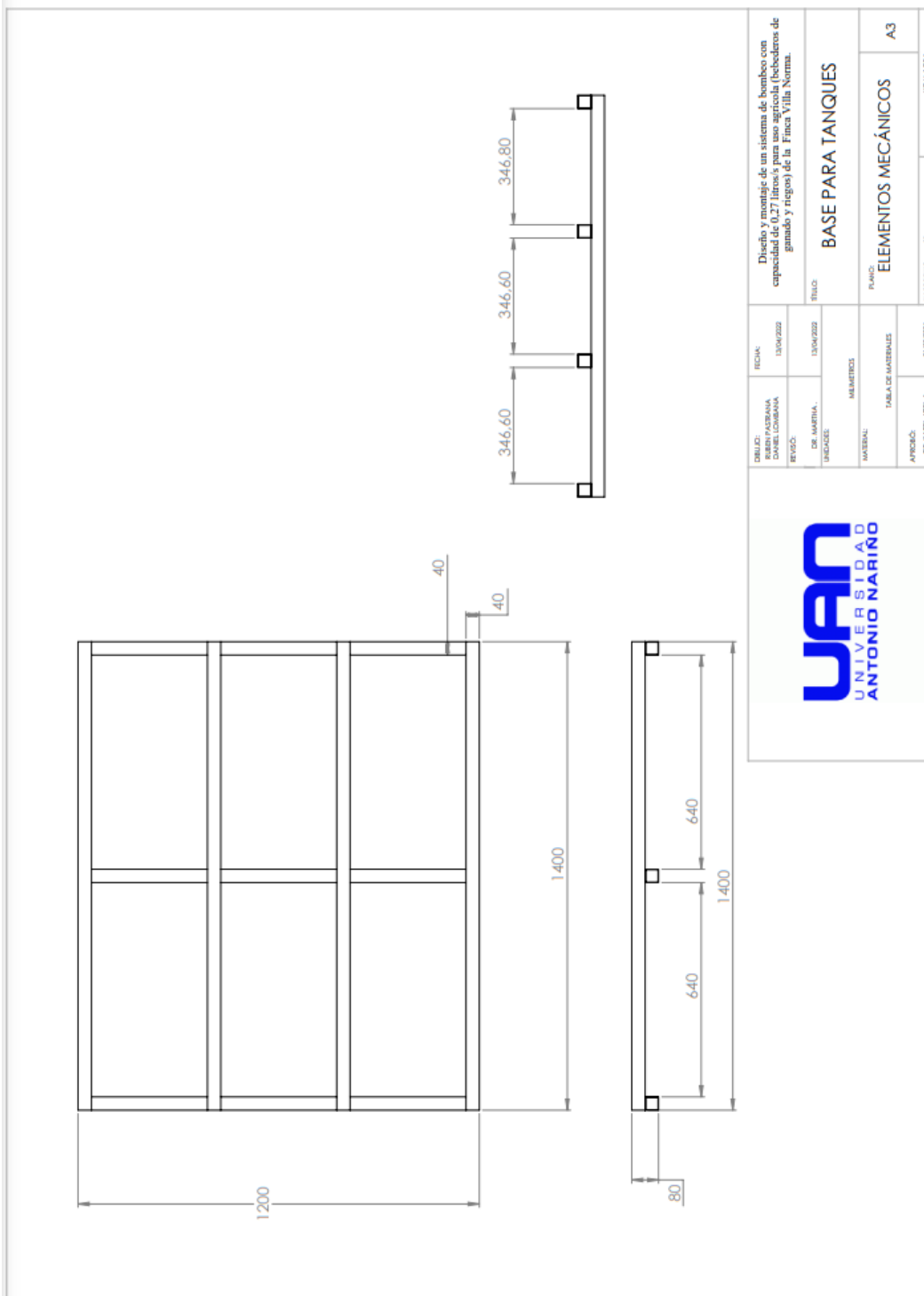
El Evaluar por medio de pruebas en campo el funcionamiento del sistema de bombeo con 0,27 litros/s y de filtrado permitió evidenciar que el diseño realizado cumplía con los requerimientos de transportar agua a un bajo costo con materiales reutilizables en un montaje satisfactorio sin fallas y durable en el tiempo.

Anexos

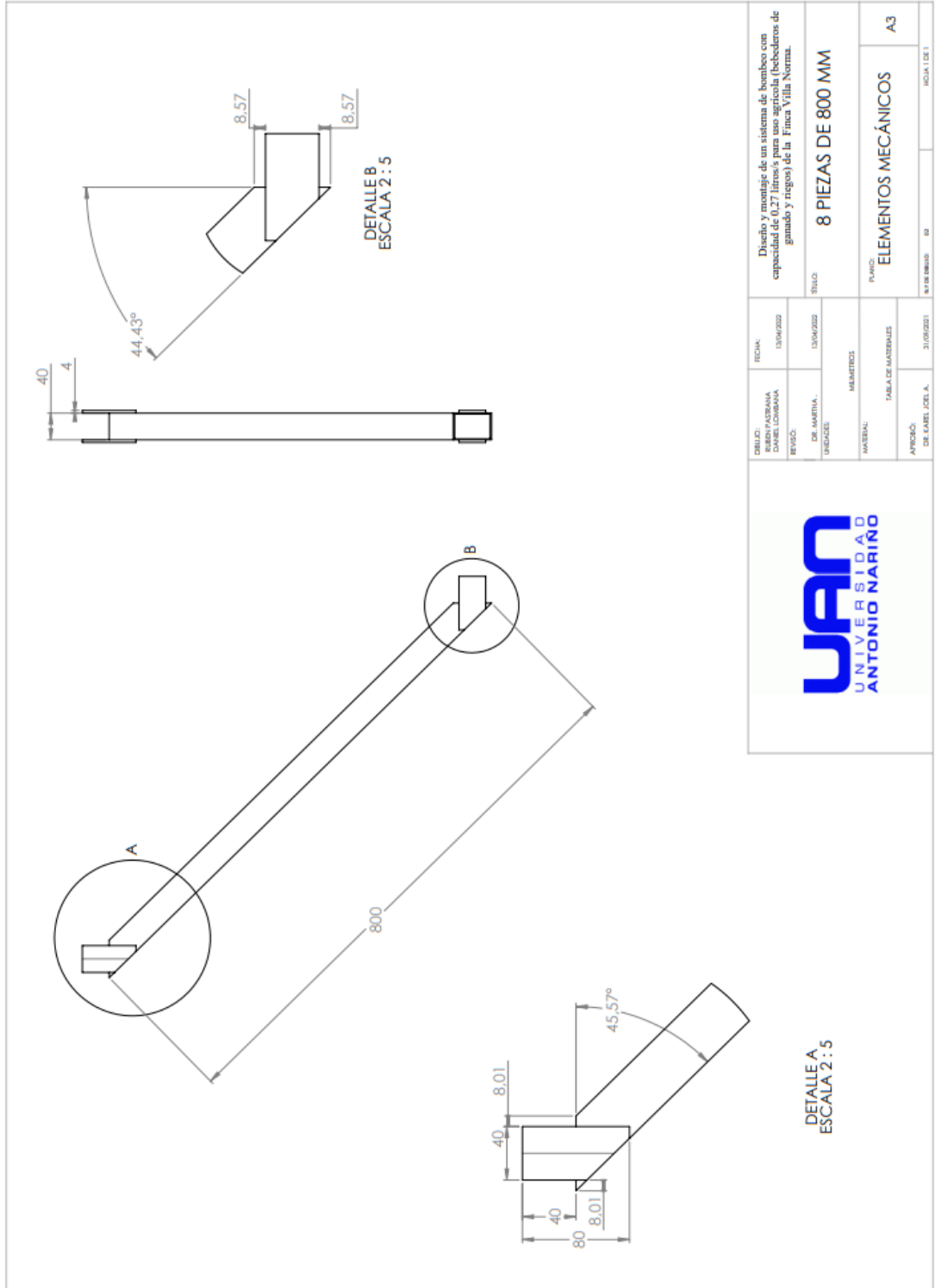
Anexos N.º 1. Plano sujetadores



Anexos N.º 2. Plano base plataforma



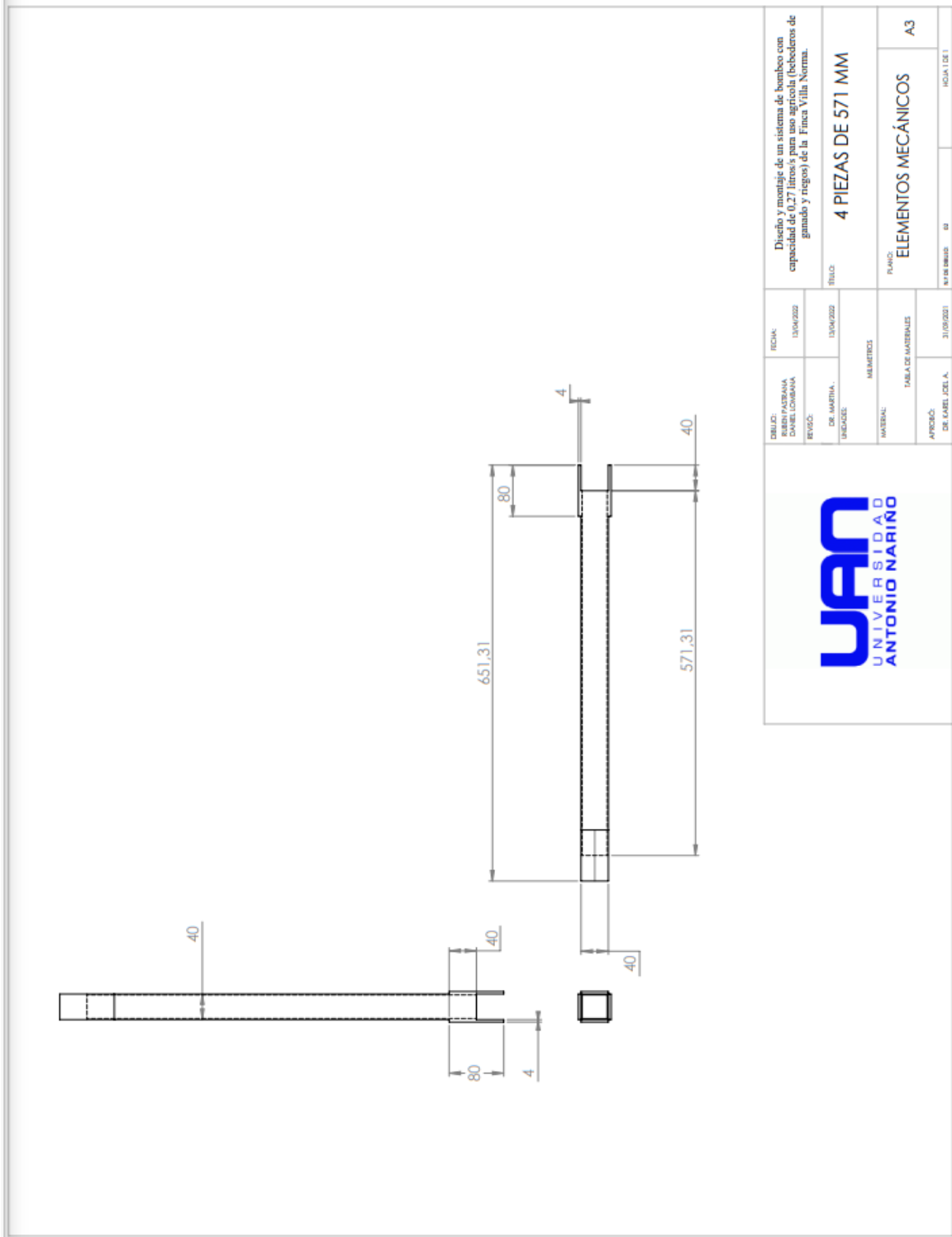
**Anexos N.º 3. Plano apoyos dos caras**



<b>DISEÑO:</b> RUBEN PASTRANA DANIEL LOBANA REVISOR: DR. MARTHA INGENIERO: MATEVAL MATERIAL: TABLA DE MATERIALES APROBADO: DR. LOPEZ, J. A.		<b>FECHA:</b> 13/04/2022 13/04/2022	Diseño y montaje de un sistema de bombeo con capacidad de 0,27 litros para uso agrícola (pedestales de gomas y riego) de la Finca Villa Norma.
<b>TÍTULO:</b> 8 PIEZAS DE 800 MM		ESCALA: 1:1	
<b>MATERIAL:</b> TABLA DE MATERIALES		ELEMENTOS MECÁNICOS	
<b>PROYECTO:</b> DE LOPEZ, J. A.		A3	

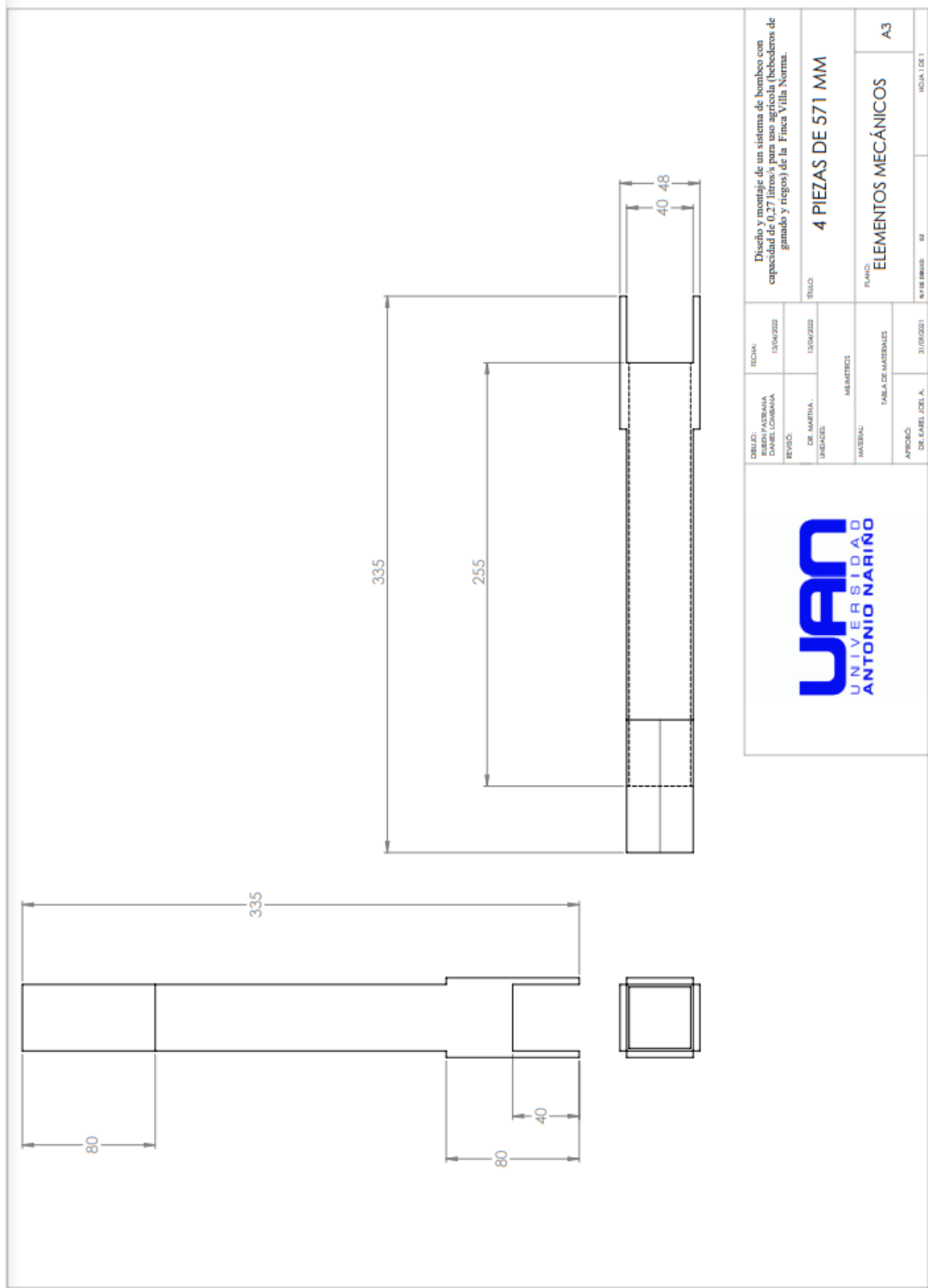


Anexos N.º 4. Plano para segundo tanque





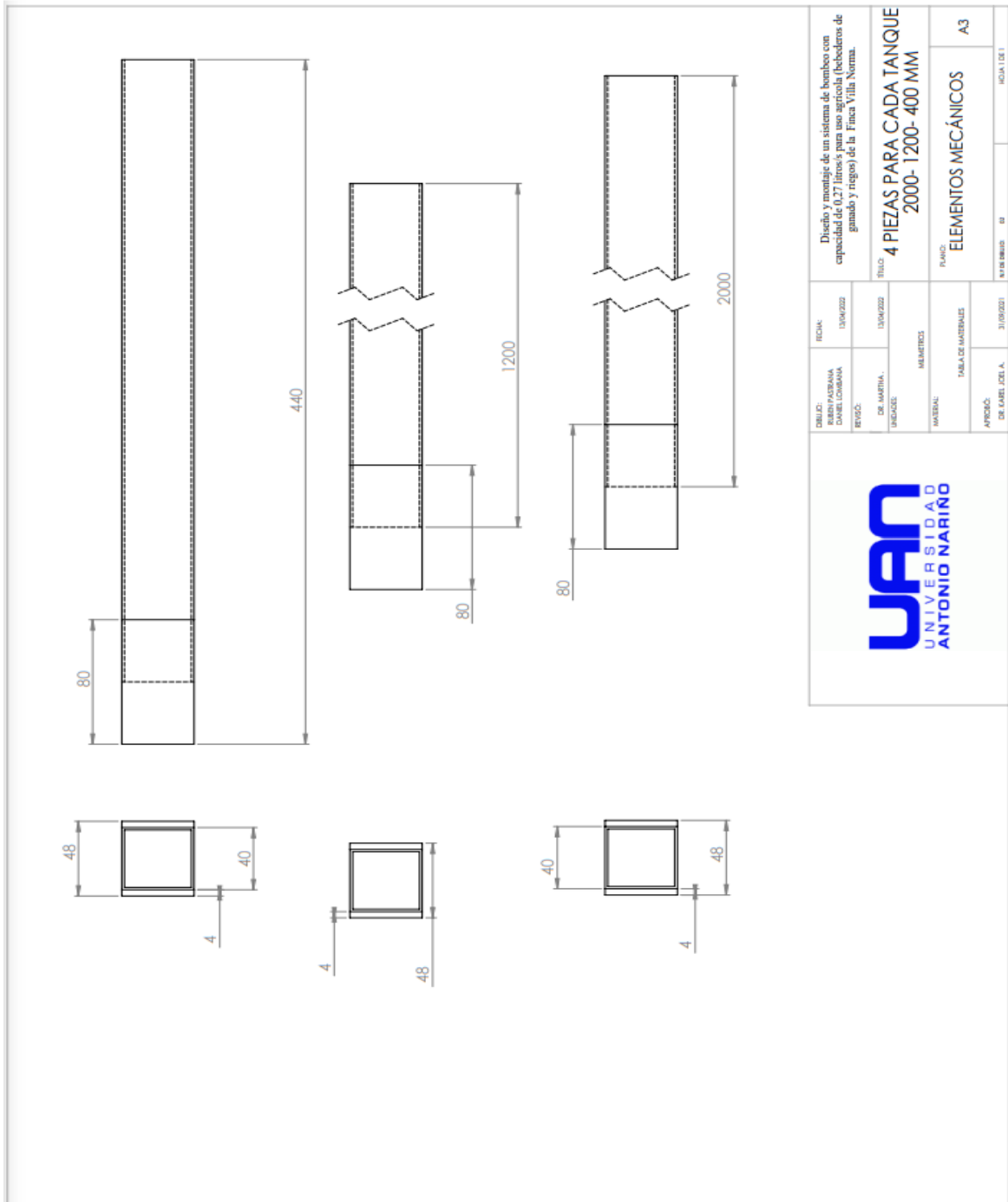
Anexos N.º 5. Plano soporte para torres



OBJETO: BUNDT FACOMANA UNIVERSIDAD DE MARTHA.	FECHA: 13/04/2022	Descripción y montaje de un sistema de bombas con capacidad de 0,27 litros/s para uso agrícola (bebederos de ganado y riego) de la Finca Villa Norma.	
REVISOR: INGENIERO	13/04/2022	TIPO: 4 PIEZAS DE 571 MM	
UNIDADES: MILIMETROS		PLANO: ELEMENTOS MECÁNICOS A3	
MATERIAL: PLACA DE ACEROS		NÚMERO DE: 03	
APROBADO: DE LABEL, CELA.	31/05/2021	HOJA 1 DE 1	



Anexos N.º 6. Plano paralelos de 2000mm, 1200mm y 400mm



## Referencias Bibliográficas

- Abdoulkader, B. A., Mohamed, B., Nabil, M., Alaoui-Sossé, B., Eric, C., & Aleya, L. (2015). Wastewater use in agriculture in Djibouti: Effectiveness of sand filtration treatments and impact of wastewater irrigation on growth and yield of *Panicum maximum*. *Ecological Engineering*, *84*, 607-614.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.065>
- Abedinpour, M. (2017). Field evaluation of center pivot sprinkler irrigation system in the North-East of Iran. *Journal of Water and Land Development*, DOI: 10.1515/jwld-2017-0033, 3-9. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0033>
- Afkhami, A., Marotta, M., Dixon, D., Ternan, N. G., Montoya-Jaramillo, L. J., Hincapie, M., Galeano, L., Fernandez-Ibanez, P., & Dunlop, P. S. M. (2021). Assessment of low-cost cartridge filters for implementation in household drinking water treatment systems. *Journal of Water Process Engineering*, *39*, 101710.  
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101710>
- Alsulaili, A., Al-Harbi, M., & Elsayed, K. (2020). The influence of household filter types on quality of drinking water. *Process Safety and Environmental Protection*, *143*, 204-211. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.06.051>
- Álvarez, H., & Vargas, T. (2020). *Diseño hidráulico y sanitario de una planta de tratamiento para agua potable en la finca avícola buena vista (cáqueza-cundinamarca)*. 49.
- Benitez, por F. (2019, septiembre 13). Lo que aún no conoces sobre el RÍO CAQUETÁ y algo más. *La web sobre ríos mas completa del mundo*. <https://conocelosrios.com/c-colombia/rio-caqueta/>

- Cadavid, V. C., & Garcia, M. F. V. (s. f.). *Diseño e implementación de un sistema de riego automatizado y monitoreo de variables ambientales mediante iot en los cultivos urbanos de la fundación mujeres empresarias marie poussepin*. 100.
- Carranza, K. (2018). *Diseño y estudios preliminares de un tanque elevado cuadrado*.
- Castro-Gutierrez, V., Pickering, L., Cambroner-Heinrichs, J., Holden, B., Haley, J., Jarvis, P., Jefferson, B., Helgason, T., Moir, J., & Hassard, F. (2022). Bioaugmentation of pilot-scale slow sand filters can achieve compliant levels for the micropollutant metaldehyde in a real water matrix. *Water Research*, 211, 118071. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118071>
- Chinchilla, M. A. B. (2021). *Diseño del sistema de agua potable por gravedad y bombeo en la aldea joconal y escuela primaria en la aldea campanario progreso, municipio de la unión, departamento de zacapa*. 193.
- Cui, S., Wu, M., Huang, X., & Cao, X. (2022). Unravelling resources use efficiency and its drivers for water transfer and grain production processes in pumping irrigation system. *Science of The Total Environment*, 818, 151810. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151810>
- Ferretero, R. E. (2019). *Las bombas para agua y sus usos | El Ferretero*. <https://ferretero.com/las-bombas-para-agua-y-sus-usos/>
- Forero, W., & Bernal, W. (2017). *Propuesta para la captación y uso de agua lluvia en las instalaciones de la universidad católica de colombia a partir de un modelo físico de recolección de agua*.
- Freitas, B. L. S., Terin, U. C., Fava, N. M. N., Maciel, P. M. F., Garcia, L. A. T., Medeiros, R. C., Oliveira, M., Fernandez-Ibañez, P., Byrne, J. A., & Sabogal-Paz,

- L. P. (2022). A critical overview of household slow sand filters for water treatment. *Water Research*, 208, 117870. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117870>
- Gonçalves, R. F., de Oliveira Vaz, L., Peres, M., & Merlo, S. S. (2021). Microbiological risk from non-potable reuse of greywater treated by anaerobic filters associated to vertical constructed wetlands. *Journal of Water Process Engineering*, 39, 101751. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101751>
- Gualteros, S., & Rousse, D. R. (2021). Solar water pumping systems: A tool to assist in sizing and optimization. *Solar Energy*, 225, 382-398. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.06.053>
- Ideam,. (2019). *Resultados inventario sanitario rural: Una herramienta para mejorar el acceso a agua potable y saneamiento básico, región Amazonía departamento de Caquetá y Putumayo*. MAVDT.
- Infoabe. (2022). *Fuerte sequía que azota a Caquetá mantiene a miles de pobladores sin agua*. infobae. <https://www.infobae.com/america/colombia/2022/01/13/fuerte-sequia-que-azota-a-caqueta-mantiene-a-miles-de-pobladores-sin-agua/>
- Karri, S. N., Ega, S. P., Srinivasan, P., & Perupogu, V. (2021). Used carbon water filter— A source for high performance microporous activated carbon electrode for aqueous supercapacitor. *Journal of Energy Storage*, 44, 103399. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.103399>
- Leal, C. H., & Chingaté, J. M. (s. f.). *Diseño Hidráulico De Un Tanque De Succión, Un Tanque De Regulación Y Red De Distribución Para El Abastecimiento De Agua En La Urbanización Rincón De Las Margaritas, Villavicencio—Meta*. 215.

- Lee, E., & Oki, L. R. (2013). Slow sand filters effectively reduce *Phytophthora* after a pathogen switch from *Fusarium* and a simulated pump failure. *Water Research*, 47(14), 5121-5129. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.054>
- Maciel, P. M. F., Fava, N. de M. N., Lamon, A. W., Fernandez-Ibañez, P., Byrne, J. A., & Sabogal-Paz, L. P. (2021). Household water purification system comprising cartridge filtration, UVC disinfection and chlorination to treat turbid raw water. *Journal of Water Process Engineering*, 43, 102203. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102203>
- Matamoros, L. A. A. (2018). *Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil*. 244.
- Nieto, J. F. G. (2019). *Potabilización de agua mediante filtración y desinfección química*. 50.
- Ocampo, A. L. (2019). *Diseño de un sistema de riego en la granja tarapacá ubicada en la ciudad de santiago de cali*. 71.
- OMS Colombia. (2010). *Sistemas de captación y filtrado de aguas lluviaa.pdf*.
- Río Caguán: Todo lo que necesita conocer sobre él. (2017, diciembre 15). *Conozcamos Todos Los Rios De Nuestro Planeta*. <https://riosdelplaneta.com/rio-caguan/>
- Sharma, R., Sharma, S., & Tiwari, S. (2020). Design optimization of solar PV water pumping system. *Materials Today: Proceedings*, 21, 1673-1679. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.322>
- Sondagua. (2021). Cómo elegir una bomba para extracción de agua | Sondagua. *Blog*. <https://www.sondagua.cl/blog/como-elegir-una-bomba-para-extraccion-de-agua/>

Valades, L. de A. (2017, febrero 16). *Almacenamiento y regulación de agua en el sistema de distribución* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/luis-anda-valades/almacenamiento-y-regulacion-agua-sistema-distribucion>

Zonamotor. (2019). *8 Fallas Más Comunes De La Bomba De Gasolina: Señales Y Soluciones!* Zona Del Motor. <https://zonadelmotor.com/sistema-de-combustible/bomba-de-gasolina/fallas-comunes-de-la-bomba-de-gasolina/>