



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA FACULTAD DE INGENIERÍA  
MECATRÓNICA**

**PROYECTO:**

**DESARROLLO DE PURIFICADORA CON ÓSMOSIS INVERSA PARA IMPLEMENTACIÓN  
EN ZONAS AISLADAS**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO: INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21711355 OLMIN JOSUE CALDERON CALDERON**

**ASESOR: ING. ALICIA MARÍA REYES DUKE**

**CAMPUS SAN PEDRO SULA.**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta investigación primeramente a Dios y a mis padres Santos Calderón y Hernán Hernández quienes me dieron la vida, educación, apoyo y consejos. A mi abuela Antonia López que ha sido una madre para mí y siempre ha estado para brindarme sus consejos y apoyo incondicional. A mi abuelo Eliseo Calderón que fue mi segundo padre, ya no está en este mundo, pero siempre llevo sus consejos para ser una mejor persona. A mi tío Leonel Hernández quien siempre me ha apoyado en mi educación, consejos. A cada uno de mis tíos(as) que siempre me han apoyado y brindado consejos como hermanos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia por el apoyo y confianza depositada en mi para poder seguir mi sueño.

Agradezco a la ingeniera Alicia Reyes por apoyarme en la presente investigación.

Agradezco a todos los docentes de UNITEC que me brindaron sus conocimientos a lo largo de mi carrera.

## EPÍGRAFE

*"Lo que sabemos es una gota de agua;  
lo que ignoramos es el océano."*

*-Sir Isaac Newton-*

## RESUMEN EJECUTIVO

La calidad del agua es un problema que afecta a muchas personas alrededor del mundo, si bien esto va de la mano con los problemas económicos donde personas no pueden acceder a agua potable por los costos que conlleva. Existen diferentes métodos para purificar el agua y tener agua de calidad como ser ultravioleta, ozonización, osmosis inversa.

Para aplicar el método de osmosis inversa se necesita tener una bomba eléctrica que haga pasar el agua a alta presión por una membrana semipermeable, el proyecto está diseñado para que pueda funcionar en zonas aisladas donde no están conectados a la red eléctrica y no sea necesario el uso de una bomba.

Se desarrolló una purificadora aplicando el método de osmosis inversa para eliminar contaminantes y sedimentos del agua, se analizó una muestra del nacimiento que utilizan las personas de la zona aislada elegida para la implantación del prototipo y estaba contaminada con coliformes fecales y la turbidez del agua no era la adecuada, luego de ingresar a la purificadora se ha analizado una muestra para corroborar que haya mejorado la calidad del agua y reducido el nivel de contaminación y los resultados fueron buenos obteniendo agua purificada en la salida de la membrana de osmosis inversa.

Se modelaron algunas partes de la purificadora en un software CAD para hacer análisis de las mismas. Con Ayuda de matrices morfológicas se ha seleccionado el tipo de materiales y partes para la construcción del prototipo. Se elaboró una estructura de los costos que tendría el diseño de la purificadora en su totalidad.

Palabras claves -calidad del agua, bomba eléctrica, membrana semipermeable.

## **ABSTRACT**

Water quality is a problem that affects many people around the world, although this goes hand in hand with economic problems where people cannot access drinking water due to the costs involved. There are different methods to purify water and have quality water such as ultraviolet, ozonation, reverse osmosis.

To apply the reverse osmosis method, it is necessary to have an electric pump that passes water at high pressure through a semipermeable membrane, the project is designed so that it can work in isolated areas where they are not connected to the electrical network and it is not necessary to use of a pump.

A purifier was developed applying the reverse osmosis method to remove contaminants and sediments from the water, a sample of the spring used by people in the isolated area chosen for the implantation of the prototype was analyzed and it was contaminated with fecal coliforms and the turbidity of the water was not was the appropriate one. After entering the purifier, a sample has been analyzed to confirm that the water quality has improved and the level of contamination has been reduced, and the results were good, obtaining purified water at the outlet of the reverse osmosis membrane.

Some parts of the purifier were modeled in CAD software for analysis of them. With the help of morphological matrices, the type of materials and parts for the construction of the prototype have been selected. A cost structure was developed that would have the design of the purifier in its entirety.

Keywords -water quality, electric pump, semipermeable membrane.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción .....	1
II.	Planteamiento del Problema .....	3
2.1	Precedentes del problema .....	3
2.2	Definición del problema .....	4
2.3	Justificación .....	4
2.4	Preguntas de investigación .....	7
2.5	Objetivos .....	7
2.5.1	Objetivo general .....	7
2.5.2	Objetivos específicos .....	7
III.	Marco teórico .....	8
3.1	Análisis de la situación actual .....	8
3.2	Teorías de sustento .....	10
3.2.1	El agua .....	10
3.2.2	Estructura y propiedades del agua .....	10
3.2.3	Agua contaminada .....	11
3.2.4	Agua y salud .....	12
3.2.5	Calidad del agua .....	12
3.2.6	Métodos de desinfección .....	15
3.2.7	Membranas .....	20
3.2.8	Energía solar y eléctrica .....	22
IV.	Metodología .....	24

4.1	Hipótesis.....	24
4.1.1	Hipótesis nula.....	24
4.2	Enfoque.....	24
4.3	Alcance.....	24
4.4	Variables de investigación.....	25
4.4.1	Presión.....	25
4.4.2	Caudal.....	26
4.4.3	Membrana.....	27
4.4.4	Consumo eléctrico.....	27
4.4.5	Materiales.....	27
4.5	Técnicas e instrumentación.....	28
4.6	Metodología de estudio.....	28
4.7	Análisis y especificaciones del sistema.....	30
4.7.1	Diseño sistema de tuberías y caudal.....	31
4.8	Subsistema.....	32
4.8.1	Filtros.....	32
4.8.2	Membrana de osmosis inversa.....	34
4.8.3	Abrazaderas.....	35
4.8.4	Tuberías.....	36
4.8.5	Conector para las tuberías.....	36
4.8.6	Bomba.....	37
4.8.7	Manómetro.....	38



4.8.8	Microcontrolador .....	38
4.8.9	Sensor ultrasónico .....	39
4.8.10	Relé de estado solido .....	39
4.8.11	Electroválvula.....	40
4.8.12	Alimentación .....	40
4.8.13	Base del prototipo .....	41
4.8.14	Base de los filtros .....	41
4.9	Arquitectura del sistema.....	42
4.9.1	Diagrama de funcionamiento sin bomba eléctrica .....	43
4.9.2	Diagrama de funcionamiento con bomba eléctrica .....	44
4.10	Pruebas unitarias.....	45
4.10.1	Pruebas de presión.....	45
4.10.2	Pruebas estáticas.....	46
4.11	Integración de componentes.....	47
4.11.1	Lista de componentes .....	47
4.12	Integración del sistema .....	49
4.13	Cronograma de actividades.....	50
V.	Análisis y resultados.....	51
5.1	Análisis del prototipo sin el uso de una bomba eléctrica.....	51
5.1.1	Resultado del análisis a la muestra de agua.....	53
5.2	Limitaciones del sistema.....	54
5.3	Prueba del sistema con el uso de una bomba eléctrica.....	54

5.3.1	Código arduino.....	55
5.3.2	Potencia eléctrica .....	57
5.4	Costo total del proyecto.....	58
VI.	Conclusiones.....	60
VII.	Recomendaciones .....	61
VIII.	Bibliografía .....	62

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Línea del tiempo en la purificación del agua.....	3
Ilustración 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	5
<i>Ilustración 3. Situación de Niños sin Acceso a Agua Potable.....</i>	<i>6</i>
Ilustración 4. Desalinización de agua simple con energía solar.....	8
Ilustración 5. Prototipo de una purificadora.....	9
<i>Ilustración 6. Molécula de agua.....</i>	<i>11</i>
Ilustración 7. Fenómeno de osmosis inversa.....	18
Ilustración 8. Presión Osmótica en proceso de osmosis.....	19
Ilustración 9. Composición de una instalación solar fotovoltaica aislada.....	22
Ilustración 10. Variables de estudio.....	25
Ilustración 11. Esquema básico de un sistema de ósmosis inversa.....	26
Ilustración 12. Metodología en V.....	29
Ilustración 13. Análisis y especificaciones del sistema.....	30
Ilustración 14. Subsistema.....	32
Ilustración 15. Filtros.....	34
Ilustración 16. Membrana de osmosis inversa.....	35
Ilustración 17. Abrazadera.....	35
Ilustración 18. Conector rápido para las tuberías.....	36
Ilustración 19. Booster Pump.....	37
Ilustración 20. Relé de estado sólido.....	39
Ilustración 21. Base de prototipo.....	41

Ilustración 22. Base de los filtros.....	41
Ilustración 23. Arquitectura del sistema .....	42
Ilustración 24. Diagrama de osmosis inversa sin bomba eléctrica.....	43
Ilustración 25. Diagrama de osmosis inversa con bomba eléctrica.....	44
Ilustración 26. Pruebas unitarias.....	45
Ilustración 27. Prueba de presión.....	45
Ilustración 28. Prueba de Von Misses a la base de los filtros.....	46
Ilustración 29. Prueba de Von Misses a la base del prototipo.....	46
Ilustración 30. Integración de componentes.....	47
Ilustración 31. Componentes del prototipo sin el uso de una bomba eléctrica.....	48
Ilustración 32. Integración y prueba del sistema.....	49
Ilustración 33. Instalación del prototipo.....	49
Ilustración 34. Conexión del prototipo al sistema de agua potable.....	50
Ilustración 35. Cronograma de actividades.....	50
Ilustración 36. Presión de funcionamiento.....	51
Ilustración 37. Gráfica pH, TDS, Presión.....	52
Ilustración 38. Gráfica de presión y caudal.....	53
Ilustración 39. Baja presión.....	54
Ilustración 40. Prototipo final con el uso de una bomba eléctrica.....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis a muestra de agua sin purificar. ....	5
Tabla 2. Propiedades del agua para el consumo humano .....	13
Tabla 3. Clasificación de membranas.....	21
Tabla 4. Selección de filtros.....	33
Tabla 5. Selección de filtro carbono post activado. ....	33
Tabla 6. Membrana de osmosis inversa. ....	34
Tabla 7. Selección de tuberías.....	36
Tabla 8. Selección de bomba.....	37
Tabla 9. Selección de manómetro. ....	38
Tabla 10. Microcontrolador.....	38
Tabla 11. Electroválvula.....	40
Tabla 12 Power Bank.....	40
Tabla 13. Análisis en la salida de la purificadora.....	53
Tabla 14. Costos del proyecto.....	58
Tabla 15. Costos del proyecto cuando es necesario el uso de una bomba eléctrica.....	59

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación de Van't Hoff.....	19
Ecuación 2. Ecuación de continuidad.....	31
Ecuación 3. Ecuación de potencia eléctrica.....	57

## LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

**TDS:** Total Dissolved Solids (Total de sólidos disueltos).

**pH:** Potencial de hidrogeno.

**UNF:** unidad de medida de la turbidez del agua.

**UV:** Radiación ultravioleta.

**THM:** Trihalometanos.

**APA:** Ácido peracético.

**VDC:** Voltaje de corriente directa.

**VAC:** Voltaje de corriente alterna.

**SED:** Sedimentos.

**GAC:** Granular activated carbon (Carbón activo granulado).

**ACB:** Activated carbon block (Bloque de carbón activo).

**MIT:** Instituto Tecnológico de Massachusetts.

**UFC:** Unidades Formadoras de Colonias.

## I. INTRODUCCIÓN

En Honduras gran parte en las zonas rurales no tienen agua de calidad alrededor del 30% de la población usa agua de fuentes superficiales, es decir, que utilizan agua de ríos, quebradas o pozos subterráneos. (Agencia EFE, 2019) La presente investigación se basa en desarrollar un prototipo de purificación con osmosis inversa el cual estará orientado a reducir los costos que se tienen para producir agua de calidad, osmosis inversa es un método de los más efectivos que existen para la purificación del agua.

Para aplicar este método se tiene que tener un tratamiento del agua antes de entrar a la membrana de osmosis inversa y para hacer esto se pueden usar filtros de carbón activo, filtro para capturar los sedimentos. Los TDS son un parámetro básico para medir la calidad del agua aquí se pueden agrupar todos los metales, minerales y sales disueltas en el agua, con el desarrollo de la purificadora se tratará de reducir los niveles de TDS que contenga el agua en el lugar donde se instalará la purificadora, para tener un nivel adecuado y que sea agua potable y de calidad.

La purificadora consta de una membrana semipermeable que elimina los contaminantes que los filtros no son capaces de detenerlos, para que el agua pueda pasar por la membrana se necesita una bomba eléctrica que haga atravesar el agua a una presión elevada y así eliminar los contaminantes, bacterias y virus que contenga. Para el desarrollo del proyecto no se utilizará una bomba eléctrica, pero se presentará una solución cuando se requiera. Al utilizar osmosis inversa se necesita una gran cantidad de energía y es por ello que se busca reducir los costos.

El nacimiento tiene una elevación de 100 metros con respecto al lugar donde se estará implementando el proyecto, al tener esa altura hay un incremento de presión debido a la gravedad y con un buen diseño de tuberías se puede aumentar la presión y así evitar el uso de una bomba. El lugar elegido para la implementación del prototipo es aislado y afectado por la contaminación del agua, la población total de la comunidad es de 27 personas divididas en 7 hogares y todas se benefician del mismo nacimiento de agua dulce, está ubicado en la aldea La Misión, Gracias, Lempira.



Los capítulos que conforman la presente tesis con una pequeña descripción de cada uno de ellos a continuación:

En el capítulo II se presentan los precedentes del problema, preguntas de investigación y los objetivos que me ayudarán con el alcance que pueda tener la investigación y que la limitarán.

En el capítulo III se presenta el marco teórico que me ayudará a poner en contexto el problema de investigación y todas las teorías que la sustenten.

En el capítulo IV se explica la metodología que se emplea en esta investigación (metodología en V), el enfoque que tendrá, el alcance, las variables que se estarán analizando y puedan generar un cambio en los resultados.

En el capítulo V se analizarán los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al prototipo en funcionamiento y simulaciones.

En el capítulo VI se darán las conclusiones al proyecto realizado de acorde a los objetivos planteados al inicio de la investigación para después dar recomendaciones en el capítulo VII.

## II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Este capítulo comprende en explicar lo que se pretende lograr con la investigación dando los precedentes del problema, argumentando el porqué desarrollar una purificadora de agua con osmosis inversa. Se explicará a detalle el problema y justificando la causa de dicha investigación, se definirán los objetivos que me ayuden a dar un alcance y delimitar la investigación y partiendo de una serie de preguntas que serán respondidas en los capítulos posteriores.

### 2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

El agua es un recurso indispensable para los seres vivos en nuestro planeta, encontrándose presente en todas las formas de vida y en muchas de las actividades que el hombre desarrolla para su subsistencia como la agricultura y procesos de obtención de energía. (Pérez & Juan, 2019).

Las fuentes de agua se han ido contaminando a raíz de deforestación, malas prácticas con el uso de la tierra, efluentes domésticos e industriales; es decir, afecta a los seres vivos que consumen agua para hidratarse si no se tiene un sistema para purificar agua. Se han desarrollado diversos métodos para obtener agua de calidad entre ellos está el de osmosis inversa un método que se propuso en la década de los 50's y fue hasta 1970 que comenzó a ser competitiva.



Ilustración 1. Línea del tiempo en la purificación del agua.

Fuente: (Hirschfeld, 2011), (Apaza Mamani, 2012), (Tran Khac, 2010)

Al pasar de los años los métodos para obtener agua de calidad han ido evolucionando, de contar con simples filtros de algodón para la purificación del agua a tener una tecnología con el uso de los rayos UV para eliminar al máximo los contaminantes, como se mira en la ilustración 1 los avances que se han dado. Actualmente osmosis inversa es uno de los métodos más usados en Honduras para la purificación del agua debido a la efectividad que tiene.

## **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Siendo osmosis inversa uno de los sistemas más efectivos para la purificación del agua, la presente investigación se basa en desarrollar un sistema que permita purificar agua de manera fácil y a un bajo costo para mejorar la calidad de agua a las personas que viven en zonas aisladas y con pocos recursos económicos. Las empresas purificadoras de agua a nivel nacional que utilizan osmosis inversa requieren en promedio 0.02 KWh para producir un litro de agua, las personas que quieren obtener agua de calidad tienen que pagar L. 1.00 por litro. Una de las principales desventajas de osmosis inversa es el alto consumo eléctrico que conlleva producir agua purificada en comparación con otros sistemas de purificación.

## **2.3 JUSTIFICACIÓN**

Los problemas de desnutrición en niños y adultos a causa de no tener agua de calidad, en algunas zonas y la poca agua que hay está contaminada. Las personas que se encuentran en pobreza en zonas rurales son del (60,1%) (Banco Mundial, 2020). Como seres humanos debemos tomar conciencia de que en Honduras no todos tenemos agua de calidad y además en algunas zonas el agua es escasa y tienen que cuidarla.

La vida humana es importante, los grandes avances que se han dado en la purificación del agua se basan en resolver la calidad del agua que consumen las personas y los costos que tienen los diferentes métodos de purificación, se analizó una zona geográfica al norte de Gracias, Lempira cuya calidad del agua es mala y se encuentra aislada de la zona urbana. Esta zona no tiene conexión a la red eléctrica del país, para obtener energía una de las opciones es hacer uso de la energía solar.

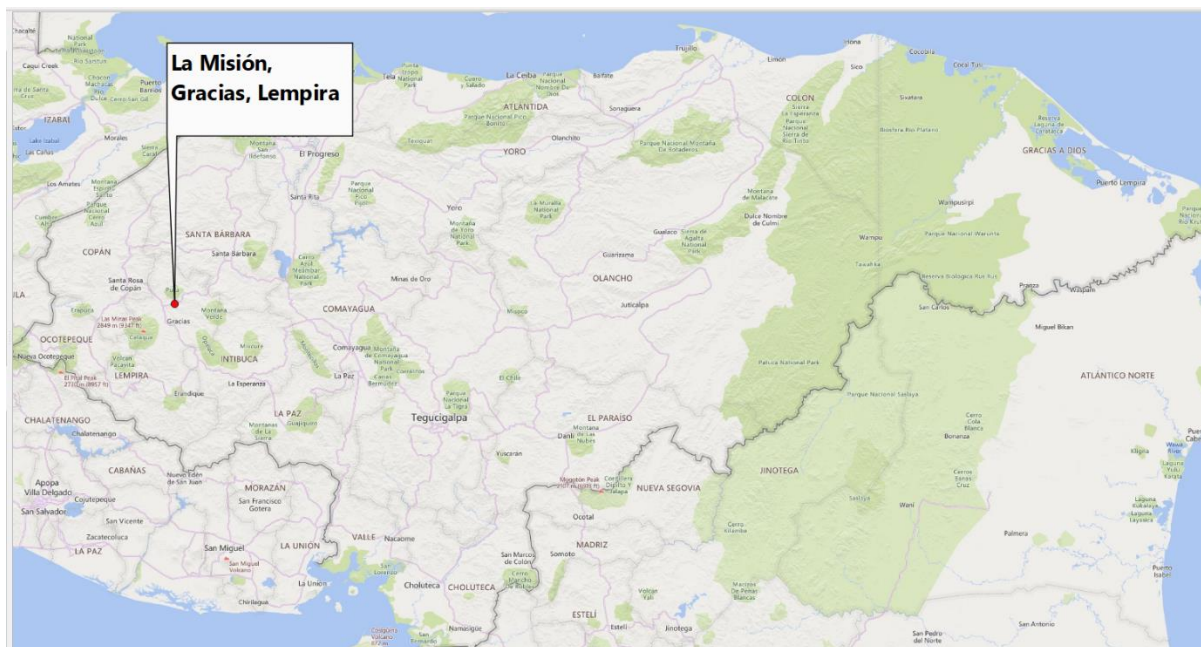


Ilustración 2. Mapa de ubicación de la zona de estudio

Fuente: Propia

Parámetros	Unidades	Resultado	Observación
Coliformes fecales.	UFC/100mL	73	Debe ser <1
Turbidez	NTU	11.52	Debe ser de 1-5
Sulfatos	mg/L	2.78±1.3	✓
Magnesio	mg/L	0.51	✓
Nitratos	mg/L	3.67±1.4	✓
Amonio	mg/L	<0.24	✓
Nitritos	mg/L	<0.007	✓
TDS	ppm	79	✓
pH		7.99	✓

Tabla 1. Análisis a muestra de agua sin purificar.

Fuente: propia

Se realizó un análisis en un laboratorio a una muestra de agua representado los resultados en la tabla 1, el agua proveniente del nacimiento se utiliza para labores domésticas y para consumo humano, como se puede ver, el agua está contaminada con coliformes fecales y esto puede provocar muchas enfermedades y así mismo la turbidez no está en su punto óptimo para consumo humano, debe ser menor. Algunos minerales están bien en su concentración.

Según (Organización Mundial de la Salud, 2019) 844 millones de personas carecen incluso de un servicio básico de suministro de agua potable, cifra que incluye a 159 millones de personas que dependen de aguas superficiales. En todo el mundo, al menos 2,000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable, que está contaminada por heces. Se calcula que la contaminación del agua potable provoca más de 502 000 muertes por diarrea al año.



*Ilustración 3. Situación de Niños sin Acceso a Agua Potable.*

Fuente: (García Cabezas, 2020)

En la ilustración 3 se observa la situación precaria que atraviesan los niños de países en desarrollo al no contar con un servicio de agua potable, esto puede afectar a su desarrollo desde temprana edad. Según (García Cabezas, 2020) en América latina no tiene fuentes de agua potable ni saneamiento básico y seguro. El crecimiento de suburbios alrededor de las grandes urbes latinoamericanas, donde la pobreza es protagonista, han impedido hasta ahora dar una respuesta a los problemas derivados del agua para la población que lo sufre. En zonas rurales el problema también es importante debido a la falta de infraestructuras que lleven agua limpia y segura.

## **2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- ¿Cuáles limitaciones puede tener un sistema con osmosis inversa?
- ¿Qué materiales son más accesibles y de bajo costo?
- ¿Es posible producir agua purificada sin la necesidad de una bomba eléctrica?
- ¿Cuánto es el consumo de electricidad al utilizar una bomba eléctrica?
- ¿Con osmosis inversa se eliminan al máximo los contaminantes del agua?
- ¿Cuál es la presión del agua en el lugar previsto para la instalación del prototipo?

## **2.5 OBJETIVOS**

A continuación, se presentan los objetivos que nos ayudaran a delimitar el tema de investigación, para tener idea clara de lo que queremos lograr.

### **2.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un producto mecatrónico que permita purificar el agua mediante osmosis inversa y obtener agua purificada de calidad a un bajo costo, que sea autónomo y poder utilizarlo en zonas aisladas.

### **2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar las limitaciones que pueda tener un sistema de osmosis inversa.
- Comparar los mejores materiales y determinar el más adecuado para la construcción de la purificadora.
- Analizar el funcionamiento del prototipo sin el uso de una bomba eléctrica.
- Realizar análisis del agua en la entrada y salida de la purificadora.
- Implementar el prototipo en una zona donde no tienen agua de calidad.

### III. MARCO TEÓRICO

Este capítulo ayudará a tener una fundamentación teórica de la investigación, brindando toda la información posible de trabajos de segunda o tercera persona. Se encontrarán conceptos que han sido planteados en otras investigaciones, libros, resultados etc. Para desarrollar un prototipo de una purificadora de agua es necesario tener una idea clara de lo que queremos lograr y saber el funcionamiento de osmosis inversa, con ayuda de descubrimientos realizados en otras investigaciones.

#### 3.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Para muchas comunidades remotas fuera de la red, la falta de acceso a agua potable y electricidad confiable son desafíos para su desarrollo económico. Los sistemas de agua de propiedad y operación comunitarios que funcionan con energía renovable disponible localmente podrían ser un paso para superar estos desafíos. Estos sistemas deben ser robustos y rentables para poder servir a comunidades remotas. Por lo tanto, el objetivo es diseñar sistemas de purificación de agua rentables, autónomos, robustos y a escala comunitaria que funcionen con energía renovable. (Bilton, 2014)



*Ilustración 4.* Desalinización de agua simple con energía solar.

Fuente: (L. Chandler, 2020)

Como se muestra en la ilustración 4 un sistema de desalinización de energía solar completamente pasivo desarrollado por investigadores del MIT y en China podría proporcionar más de 1.5 galones de agua potable fresca, por hora, por cada metro cuadrado de área de recolección solar. Estos sistemas podrían potencialmente servir a áreas costeras áridas fuera de la red para proporcionar una fuente de agua eficiente y de bajo costo.

En la actualidad se han desarrollado prototipos usando osmosis inversa, los cuales son a pequeña escala y que buscan brindar agua de calidad a una familia. En la ilustración 4 se observa un prototipo que utiliza osmosis inversa, consta de tres filtros, la membrana de osmosis, una bomba para aumentar la presión y un tanque de almacenamiento de agua. Es un sistema compacto que no ocupa mucho espacio.



*Ilustración 5.* Prototipo de una purificadora.

Fuente: (Woodard, 2020)



## 3.2 TEORÍAS DE SUSTENTO

A continuación, un análisis de las teorías de sustento que ayudarán a comprender el tema de investigación.

### 3.2.1 EL AGUA

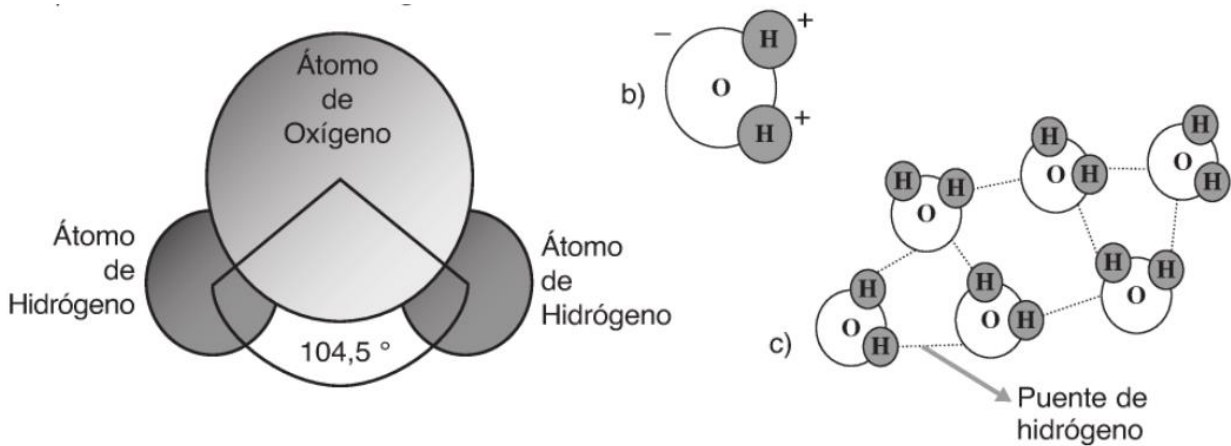
Con la excepción de productos exóticos, el agua es el mejor disolvente que existe (de sólidos, de líquidos y de gases). Si el agua no fuere así no podría sustentar la vida, pues gracias a esta propiedad conduce los nutrientes a los seres vivos y elimina sus desechos; además, lleva el oxígeno a los seres acuáticos. El 71% de la superficie de nuestro planeta está cubierto por ella; millones de toneladas, en forma de vapor, flotan en la atmósfera y sin embargo grandes regiones terrestres carecen de ella.

Los seres vivos moran inmersos en el agua o en el aire. En su interior son, en gran medida, agua: en el agua se originó la vida y de ella sigue dependiendo. La enorme presión de la actividad humana sobre la disponibilidad de este recurso en los asentamientos humanos, los centros industriales y los turísticos, y en las zonas agrícolas, exige de un gran esfuerzo para proveerla en la cantidad y con la calidad adecuada. (Guerrero Legarreta, 2010)

El agua, sobre todo en estado líquido, es un compuesto esencial en la biosfera, ya que es el componente mayoritario de la materia viva, y en su seno tienen lugar la mayoría de las reacciones biológicas. Su carácter de disolvente casi universal y sus propiedades físico-químicas definen en gran medida los sistemas físicos y biológicos de la tierra. (Francisco Martín de Santa Olalla Maña & López Fuster, 2008)

### 3.2.2 ESTRUCTURA Y PROPIEDADES DEL AGUA

El agua es un compuesto líquido a temperatura ambiente, cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno unidos mediante enlace covalente a un átomo de oxígeno. La unión de los segmentos lineales entre los centros de los átomos de hidrógeno con el átomo de oxígeno forma un ángulo de aproximadamente  $105^\circ$  y de esta configuración derivan las peculiares propiedades de esta molécula (Ilustración 6). (Francisco Martín de Santa Olalla Maña & López Fuster, 2008)



*Ilustración 6. Molécula de agua.*

Fuente: (Francisco Martín de Santa Olalla Maña & López Fuster, 2008)

### 3.2.3 AGUA CONTAMINADA

En 2017, más de 220 millones de personas necesitaron tratamiento preventivo para la esquistosomiasis, una enfermedad grave y crónica provocada por lombrices parasitarias contraídas por exposición a agua infestada. El agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, otras diarreas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población a riesgos prevenibles para su salud.

Esto es especialmente cierto en el caso de los centros sanitarios en los que tanto los pacientes como los profesionales quedan expuestos a mayores riesgos de infección y enfermedad cuando no existen servicios de suministro de agua, saneamiento e higiene. A nivel mundial, el 15% de los pacientes contraen infecciones durante la hospitalización, proporción que es mucho mayor en los países de ingresos bajos. La gestión inadecuada de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas conlleva que el agua que beben cientos de millones de personas se vea peligrosamente contaminada o polucionada químicamente.

Se calcula que unas 842 000 personas mueren cada año de diarrea como consecuencia de la insalubridad del agua, de un saneamiento insuficiente o de una mala higiene de las manos. Sin embargo, la diarrea es ampliamente prevenible y la muerte de unos 361 000 niños menores de cinco años se podría prevenir cada año si se abordaran estos factores de riesgo. En los lugares donde el agua no es fácilmente accesible, las personas pueden considerar que lavarse las manos no es una prioridad, lo que aumenta la probabilidad de propagación de la diarrea y otras enfermedades. (Organización Mundial de la Salud, 2019)

#### 3.2.4 AGUA Y SALUD

La diarrea es la enfermedad más conocida que guarda relación con el consumo de alimentos o agua contaminados. Sin embargo, hay también otros peligros. Casi 240 millones de personas se ven afectadas por esquistosomiasis, una enfermedad grave y crónica provocada por lombrices parasitarias contraídas por exposición a agua infestada. En muchas partes del mundo, los insectos que viven o se crían en el agua son portadores y transmisores de enfermedades como el dengue.

Algunos de estos insectos, denominados vectores, crecen en el agua limpia, y los contenedores domésticos de agua de bebida pueden servir como lugares de cría. Tan solo con cubrir los contenedores de agua es posible reducir la cría de vectores, y reducir también la contaminación fecal del agua en el ámbito doméstico. (Organización Mundial de la Salud, 2019)

#### 3.2.5 CALIDAD DEL AGUA

Las aguas naturales presentan en su composición contenidos variables de sales solubles que son disueltas a lo largo del ciclo hidrológico y que condicionan la calidad de las mismas, haciéndolas aptas, o no, para diferentes usos. La concentración de estas sales, a lo largo de la historia reciente ha experimentado un notable incremento como consecuencia de la actividad antrópica, hecho que conduce a la contaminación de este recurso y en algún caso al total deterioro de sistemas de utilidad pública.

<b>Parámetros</b>	<b>Orientadores de Calidad</b>	<b>Tolerables</b>
Olor y sabor.	Estarán desprovistas de olores y sabores extraños a las características propias de las aguas.	Se tolerará un ligero olor y/o sabor característico de los tratamientos empleados o de su procedencia natural.
Color (en Pt-Co)	Hasta 1 mg/l	Hasta 20 mg/l
Turbidez (en U.N.F.)	Hasta 1 U.N.F.	Hasta 5 U.N.F.
PH	De 7 a 8	De 6.5 a 9.5
Cloruros (en $\text{Cl}^-$ )	Hasta 25 mg/l	Hasta 350 mg/l
Sulfatos (en $\text{SO}_4^-$ )	Hasta 25 mg/l	Hasta 400 mg/l
Calcio (en $\text{Ca}^{++}$ )	Hasta 100 mg/l	Hasta 200 mg/l
Magnesio (en $\text{Mg}^{++}$ )	Hasta 30 mg/l	Hasta 50 mg/l
Aluminio (en $\text{Al}^{+++}$ )	Hasta 0.05 mg/l	Hasta 0.2 mg/l
Residuo Seco a 110 °C	Hasta 750 mg/l	Hasta 1500 mg/l
Nitratos (en $\text{NO}_3^-$ )	Hasta 25 mg/l	Hasta 50 mg/l
Nitritos (en $\text{NO}_2^-$ )	AUSENCIA	Hasta 0.1 mg/l
Amoniaco (en $\text{NH}_4^+$ )	Hasta 0.05 mg/l	Hasta 0.5 mg/l

*Tabla 2. Propiedades del agua para el consumo humano*

Fuente: (Grande Gil, 2017).

La calidad depende en cada caso no sólo de su composición, sino también de la relación entre ésta y el uso a que sea destinada. De esta forma, un agua potable es aquella que puede ser consumida por el hombre sin riesgo para su salud, pero algún agua no potable puede ser considerada de buena calidad para otros usos, (industriales o agrícolas). (Grande Gil, 2017)

En la tabla 2 se pueden observar las propiedades que tendría que tener el agua potable apta para el consumo humano, el agua no tiene que tener un sabor ni olor y si lo tiene ya no son características propias, el color del agua tiene que ver con la presencia de residuos de materia orgánica con contenidos naturales para que sea agua de calidad debe contener 1mg/l Pt-Co (platino-cobalto).

La turbidez juega un papel importante cuando se analiza una muestra de agua y si es de calidad tiene que tener según (Organización Mundial de la Salud, 2019) la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 U.N.F, y estará idealmente por debajo de 1 U.N.F. El pH tiene que estar en un rango de 7 a 8, Y lo que es notable es que debe tener una ausencia de nitritos que son formados a partir de la descomposición de residuos de animales y vegetales.

#### *3.2.5.1 TDS*

El (TDS) del agua del grifo en muchos países del sur del Mediterráneo como Túnez se fijan en 1500 ppm. Este límite superior de TDS es mucho más alto que la Organización Mundial de la Salud estándar fijado en 500 ppm. El análisis químico continuo del agua doméstica mostró que Los TDS del agua cambian con las estaciones y las regiones. de 400 a 1400 ppm. (Elfila, Hamed, & Hannachi, 2006)

Los sólidos disueltos lo constituyen las sales que se encuentran presentes en el agua y que no pueden ser separados del líquido por algún medio físico, tal como: sedimentación, filtración etc. La presencia de estos sólidos no es detectable a simple vista, por lo que se puede tener un agua cristalina con un alto contenido de sólidos disueltos. En las aguas potables indican la calidad de la misma.

### 3.2.6 MÉTODOS DE DESINFECCIÓN

A continuación, se presentan diferentes métodos de desinfección, que son implementados para obtener agua de calidad. Cada método es utilizado en diversos sistemas de purificación.

#### 3.2.6.1 *Cloración*

La utilización del cloro como desinfectante es el método de desinfección más común, la cloración juega un papel muy importante en todo el mundo para evitar infecciones. Se están utilizando numerosos derivados clorados para llevar a cabo estas desinfecciones, como pueden ser cloro gas, hipoclorito o dióxido de cloro; el ácido hipocloroso es el que efectúa una función germicida, pudiendo el resto de compuesto transformarse en él previa reacción con el agua.

Para una correcta desinfección con cloro hay que tener en cuenta una serie de variables, como son el tipo de microorganismo que se quiere eliminar, concentración del desinfectante y tiempo de contacto, pH (influirá en presencia o no de ácido hipocloroso), temperatura, turbidez, compuestos nitrogenados, hierro, manganeso o sulfuro de hidrógeno. (Osorio Robles, 2012)

#### 3.2.6.2 *Ozonización*

En la década de los 70 el descubrimiento de los trihalometanos (THM) en el agua debido a procesos de cloración hizo que se desarrollaran distintas líneas de investigación para evitar la formación de estos productos. Estas investigaciones llevaron a la utilización del ozono como agente oxidante para la desinfección de aguas potables.

La aplicación de la ozonización es un método de desinfección de aguas potables que se está aplicando ya en la actualidad, pero no es un método solamente aplicable a aguas potables, sino que también se puede aplicar como desinfección de aguas residuales. Hoy en día el ozono es una especie química totalmente conocida. La corta vida del ozono tanto en estado gaseoso como en disolución acuosa no permite su almacenamiento. (Osorio Robles, 2012)

### 3.2.6.3 *Ultravioleta*

La desinfección con ultravioleta (UV) es uno de los métodos de desinfección en aguas residuales más prácticos debido a que es capaz de inactivar bacterias, virus, esporas y quistes de protozoos. La desinfección con radiación ultravioleta es aplicada en aguas industriales y para la desinfección de agua residual tratada.

Evidentemente para el agua de consumo la desinfección con este sistema es mucho más eficaz que cuando se aplica con agua residual ya que la turbidez de esta última es mayor y la transmitancia de la UV disminuye. El efecto germicida de la luz UV se vincula a la energía asociada a la longitud de onda o frecuencia asociada a la luz UV que es capaz de producir daños fotoquímicos en los ácidos nucleicos de los microorganismos. (Osorio Robles, 2012)

### 3.2.6.4 *Ácido peracético (APA)*

Generalmente los compuestos más frecuentemente empleados a la hora de la desinfección de aguas residuales son los derivados del cloro, incluso aunque durante el proceso se generen subproductos, tales como los trihalometanos, que son potencialmente carcinogénicos. Debido a este problema se han propuesto numerosas alternativas para llevar a cabo esa desinfección. Estas propuestas van desde la radiación gamma, pasando por la ultra- violeta, ozono y numerosas combinaciones de varias de ellas.

### 3.2.6.5 *Ozono*

En el tratamiento del agua, el ozono actúa como el agente oxidante natural más rápido y efectivo que existe, es un poderoso bactericida, virulicida y fungicida, destruye los microorganismos rompiendo por oxidación su capa protectora. Cuando se habla del Ozono en el agua, éste es reconocido como el desinfectante más potente y veloz. Debemos de tener en cuenta la demanda de O<sub>3</sub> que tenga el agua.

Es decir, no todo el ozono se consumirá en la acción desinfectante, sino que el contenido de materia orgánica en el agua nos hará aumentar las concentraciones residuales y por lo tanto el aporte de Ozono. De igual manera, algunos factores como: la temperatura del agua, su pH, la

agitación y los sistemas de aporte de ozono nos harán variar los tiempos de contacto necesarios. Si la temperatura del agua es baja, se ve favorecida la acción germicida del Ozono. A altas temperaturas este se volatiliza, por disminución de la concentración que puede almacenar el agua. (Apaza Mamani, 2012)

#### *3.2.6.6 Cascaras de plátano*

Investigaciones realizadas han demostrado que la cáscara del banano tiene una capacidad para absorber el plomo y el cobre de las aguas de río. Con anterioridad se había experimentado con otros materiales vegetales, tales como cáscaras de maní y fibras de coco, pero las cáscaras de banano picadas reportaron mejores resultados.

Los investigadores también encontraron que las cascaras picadas de banano podrían ser utilizadas repetidamente para purificar el agua contaminada por las plantas industriales y explotaciones agrícolas hasta once veces y ser aun efectivas (Richarson & Castro, 2011).

#### *3.2.6.7 Desinfección Hidroóptica*

La tecnología UV hidroóptica utiliza una lámpara UV MP (presión media) patentada y efectivamente «recicla» una dosis UV requerida en toda la cámara de reacción utilizando una tecnología de reflexión interna patentada similar a la ciencia de la fibra óptica. El núcleo de la tecnología HOD es su cámara de desinfección de agua hecha de cuarzo de alta calidad rodeada por un bloque de aire en lugar de acero inoxidable tradicional.

Esta configuración utiliza principios de fibra óptica para atrapar a los fotones de luz UV y reciclar su energía lusiánica. Los fotones rebotan repetidamente a través de la superficie de cuarzo de nuevo en la cámara, alargando efectivamente sus caminos y sus oportunidades para inactivar microbios.

#### *3.2.6.8 Osmosis inversa*

La osmosis inversa es el proceso en el cual se aplica una presión mayor a la presión osmótica, esta presión es ejercida en el compartimiento que contiene la más alta concentración de sólidos disueltos. Esta presión obliga al agua a pasar por la membrana semipermeable en dirección



contraria al del proceso natural de osmosis. Para poder purificar el agua necesitamos llevar a cabo el proceso contrario al de ósmosis convencional, es lo que se conoce como Ósmosis Inversa.

Se trata de un proceso con membranas, en el cual se aplica una presión mayor a la presión osmótica, esta presión es ejercida en el compartimiento que contiene la más alta concentración de sólidos disueltos. Esta presión obliga al agua a pasar por la membrana semipermeable en dirección contraria al del proceso natural de osmosis, dejando las impurezas detrás.

La permeabilidad de la membrana puede ser tan pequeña, que prácticamente todas las impurezas, moléculas de la sal, bacterias y los virus, son separados del agua. (Moreno Benavides, 2011) En la ilustración 7 se puede ver el funcionamiento en una membrana de osmosis inversa, una presión hace pasar el agua a través de una membrana semipermeable que rechaza el agua contaminada y deja pasar solo el agua sin impurezas.

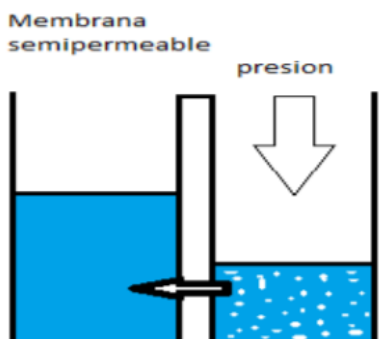


Ilustración 7. Fenómeno de osmosis inversa

Fuente: (Moreno Benavides, 2011)

#### 3.2.6.8.1 Principio de Operación de la Osmosis inversa.

El solvente pasa espontáneamente de una solución menos concentrada a otra más concentrada a través de una membrana semipermeable, pero al aplicar una presión mayor que la presión osmótica a la solución más concentrada, el solvente comenzara a fluir en el sentido inverso, el flujo del solvente depende de:

- Presión aplicada
- Presión Osmótica aparente
- Área de la membrana presurizada

### 3.2.6.8.2 Presión osmótica

Esa especie de impulso de la naturaleza que obliga al líquido a pasar de un lado al otro se llama presión osmótica. A la presión osmótica se la simboliza con la letra  $\pi$  (PI). El valor de se calcula con:

$$\pi = (C1 - C2) * R * T$$

*Ecuación 1.* Ecuación de Van't Hoff.

Dónde:

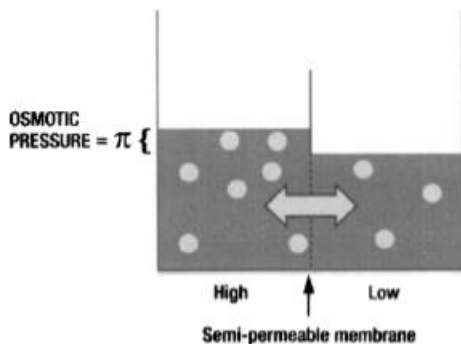
$\pi$  = Presión osmótica.

C1-C2 = Diferencia de concertaciones.

R = 0.082 Constante de los gases ideales (litros x atm / Kelvin x Mol).

T = Temperatura absoluta (grados Kelvin). (Moreno Benavides, 2011)

Se puede visualizar fácilmente como interactúa la presión osmótica en el proceso de osmosis, en la ilustración 8:



*Ilustración 8.* Presión Osmótica en proceso de osmosis

Fuente: (Kucera, 2010)

### 3.2.6.8.3 Características de la osmosis inversa

- Permite remover la mayoría de los sólidos (inorgánicos u orgánicos) disueltos en el agua (99%).
- Remueve los materiales suspendidos y microorganismos.
- Proceso de purificación de forma continua.

- Tecnología simple, que no requiere de mucho mantenimiento.
- Es modular y necesita poco espacio, de acuerdo a los caudales deseados.

#### 3.2.6.8.4 *Componentes de osmosis inversa*

- Membrana Semipermeable
- Tubos de Presión conteniendo la membrana
- Bomba generadora presión - Válvulas reguladoras de control
- Contenedores del permeado (Moreno Benavides, 2011)

### 3.2.7 MEMBRANAS

Las membranas son muy importantes para un sistema de purificación con osmosis inversa, son el corazón del sistema. Una membrana se puede definir como una película delgada que separa 2 fases y actúa como barrera selectiva al transporte de materia. (AWWARF, LE, 1998)

#### 3.2.7.1 *Características de las membranas semipermeables*

Una membrana semipermeable, también llamada membrana selectivamente permeable, es una membrana que permitirá que ciertas moléculas o iones pasen a través de ella por difusión. El índice del paso de las moléculas depende de la presión ejercida, la concentración de partículas de soluto, la temperatura de las moléculas y la permeabilidad de la membrana para cada soluto. A las moléculas que logran atravesar la membrana se las conoce como "el permeado" y a las que no lo hacen se las conoce como "el rechazo". (Moreno Benavides, 2011)

#### 3.2.7.2 *Clasificación de membranas*

En la tabla 3 hay una comparación entre membranas que nos ayuda a tener una idea de cómo es el funcionamiento, comparando grosor, forma, tamaño de poro, capa superficial, rechazos, materiales de construcción, módulos, y la presión a la que funcionan.

	<b>Osmosis Inversa</b>	<b>Nanofiltración</b>	<b>Ultrafiltración</b>	<b>Microfiltración</b>
Membranas	Asimétrica	Asimétrica	Asimétrica	Simétrica. Asimétrica
Grueso	150 mm	150 mm	150-250 mm	10-150 mm
Capa Superficial	1 mm	1mm	1mm	1 mm
Tamaño de Poro	0,002 mm	0,002 mm	0,05-0,2 mm	0,2-5 mm
Rechazos	HMWC, LMWC Cloruro Sodio, Glucosa. Aminoácidos.	HMWC, mono, di y oligosacáridos, aniones polivalentes	Macromoléculas. Proteínas, Polisacáridos Virus.	Partículas, Barro, Bacterias.
Materiales de Membrana	CA Capa delgada.	CA Capa delgada.	Cerámica, PSO, CA, PVDF, Capa Delgada.	Cerámicas, Pp, PSO, PVDF
Módulo de Membrana	Tubular, enrollada en espinal y planas.	Tubular, enrollada en espinal y planas.	Tubular, enrollada en espinal, de fibra hueca y planas.	Tubular, fibra hueca y planas.
Presión	15-150 bars.	5-35 bars.	1-10 bars.	2 bars.

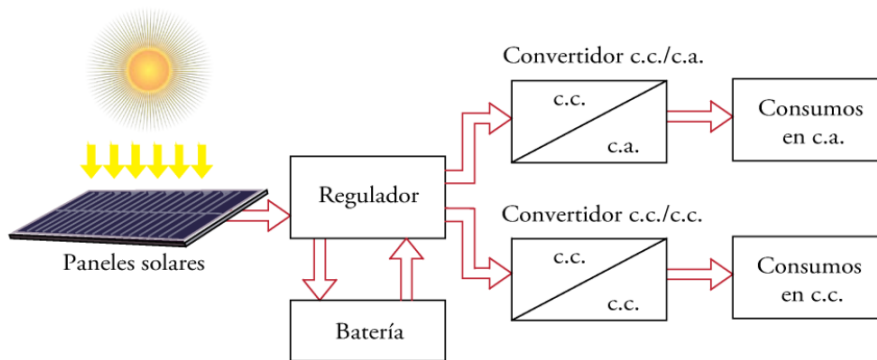
*Tabla 3. Clasificación de membranas*

Fuente: (Osorio Robles, 2012)

### 3.2.8 ENERGÍA SOLAR Y ELÉCTRICA

La energía que transporta la radiación electromagnética viaja en forma de ondas, incluso a través del espacio vacío. Todos los cuerpos irradian este tipo de energía en forma de un espectro de radiaciones de diferente longitud de onda. La forma y extensión del espectro emitido por cualquier cuerpo es una función de la temperatura a la que se encuentre. La energía de las diferentes radiaciones monocromáticas es máxima en los rayos X y sucesivamente menor en la radiación ultravioleta, visible, infrarroja, microondas y radioondas. La energía solar llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética, donde es absorbida parcialmente y convertida en diferentes formas de energía. (González Velasco, 2015)

#### 3.2.8.1 Energía solar fotovoltaica



*Ilustración 9.* Composición de una instalación solar fotovoltaica aislada.

Fuente: (Tobajas Vázquez, 2018)

Una instalación fotovoltaica representada en la ilustración 9 está compuesta por:

- Placa o captador solar fotovoltaico.
- Regulador.
- Acumulador o batería.
- Convertidor o inversor.
- Elementos para el conexionado y puesta de funcionamiento.

### *3.2.8.2 Costo de la energía eléctrica en honduras*

#### *3.2.8.2.1 Residencial*

Costo primeros 50 kWh: L 3.3657 kWh-mes

Costo mayor a 50 kWh: L 4.3796 kWh-mes

#### *3.2.8.2.2 Baja tensión*

Costo: L 4.4082/kWh-mes

#### *3.2.8.2.3 Media tensión*

Energía: L 2.6437/kWh

Potencia: L 304.797/kW-mes

#### *3.2.8.2.4 Alta tensión*

Energía: L 2.4725/kWh

Potencia: L 263.126/kW-mes

## **IV. METODOLOGÍA**

Este capítulo se abordará el enfoque de la metodología de estudio seleccionada, se definirán las variables de la investigación, técnicas e instrumentación, se abordarán las diferentes etapas presentadas en la metodología de estudio.

### **4.1 HIPÓTESIS**

El prototipo de purificación de agua mediante osmosis inversa será capaz de purificar agua sin el uso de una bomba eléctrica y eliminar al máximo los contaminantes

#### **4.1.1 HIPÓTESIS NULA**

El prototipo no purifica el agua, la salida de permeado es igual a la entrada y no se obtiene agua de calidad.

### **4.2 ENFOQUE**

El enfoque que se optó por utilizar es el cuantitativo, ya que se estarán analizando datos en la entrada y salida de la purificadora para comparar que se está reduciendo el nivel de contaminación en el agua, se harán análisis estáticos a piezas de la purificadora para corroborar el correcto funcionamiento.

### **4.3 ALCANCE**

La investigación tendrá un alcance descriptivo, demostrando las propiedades y características del objeto de estudio que es una purificadora de agua utilizando el concepto de osmosis inversa sin el uso de una bomba eléctrica, se mostraran los datos del costo del prototipo y las descripciones para la construcción del mismo, detallando cada parte para responder a las preguntas planteadas al inicio de la investigación.

#### 4.4 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Definiendo las variables de investigación que pueden alterar el funcionamiento del prototipo o pueden cambiar los resultados esperados, teniendo en cuenta todos los escenarios posibles prosigue a realizar un diagrama de las variables involucradas dependientes o independientes.

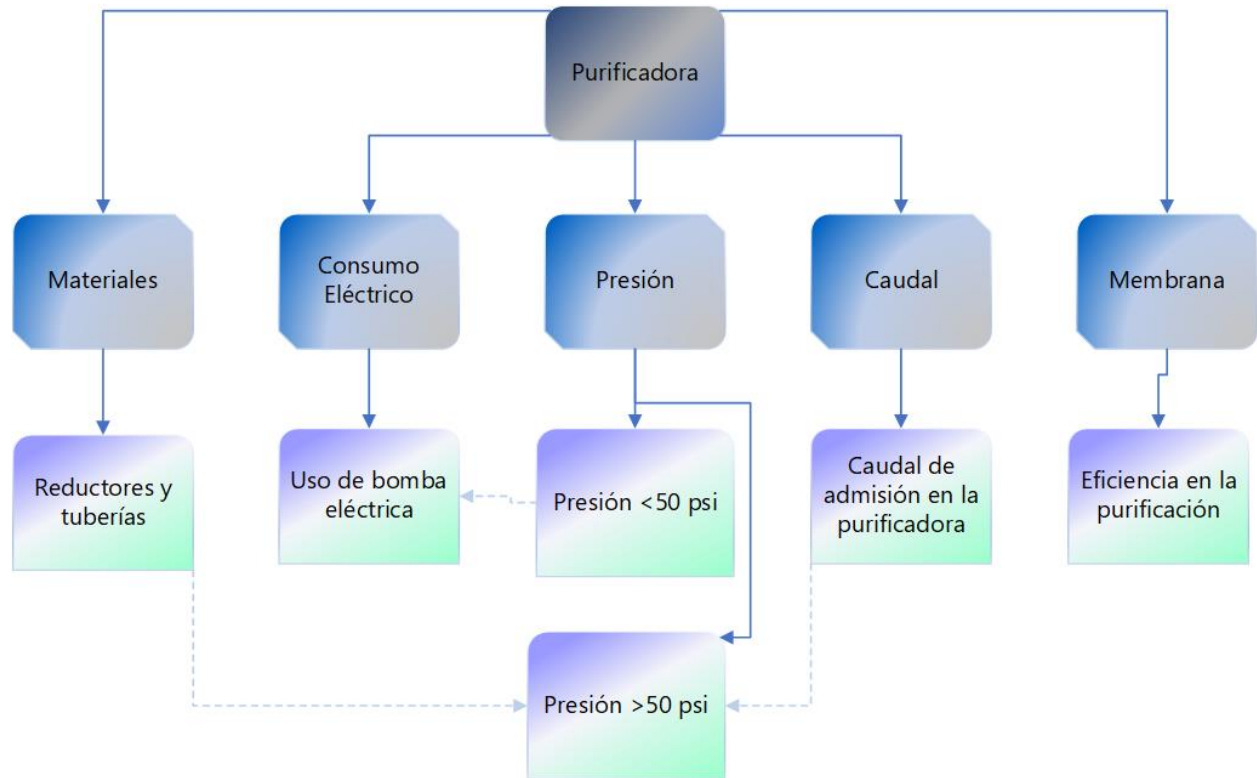


Ilustración 10. Variables de estudio.

Fuente: Propia

##### 4.4.1 PRESIÓN

Una de las variables más importantes en el prototipo, ya que el funcionamiento del sistema depende totalmente de la presión de entrada que se tenga en la membrana de osmosis inversa. Para obtener permeado se necesita obtener la presión adecuada y atravesarse la mayor cantidad de agua.

Para la implementación del prototipo se analizaron los dos posibles casos en cuanto a la presión que se obtenga en la entrada:



#### 4.4.1.1 Presión mayor a 50 psi

Al obtener este valor no es necesario el uso de una bomba eléctrica, el lugar de implementación del prototipo la presión obtenida varía en este rango. Esto repercute en los costos energéticos que se reducen en un 100% y hacen que osmosis inversa sea más eficiente.

#### 4.4.1.2 Presión menor a 50 psi

Al obtener esta presión en la entrada se tiene que utilizar una bomba eléctrica y esto afecta a la variable del consumo eléctrico. Es una presión débil que no permite obtener permeado en la salida de la membrana de osmosis inversa, toda el agua que está entrando sale como desecho. En la ilustración 11 se representa un esquema básico del funcionamiento de un sistema que utiliza osmosis inversa.

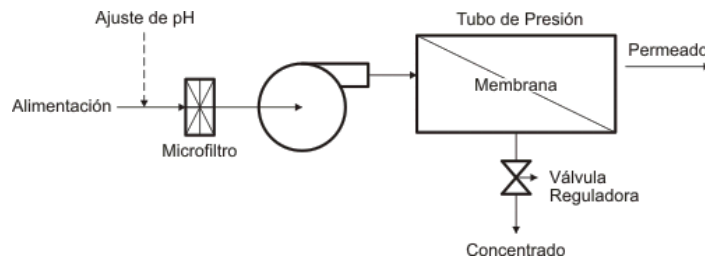


Ilustración 11. Esquema básico de un sistema de ósmosis inversa.

Fuente: (Textos científicos, 2007)

#### 4.4.2 CAUDAL

Para alimentar la purificadora se tiene un naciente que brinda un caudal de 10 L/minuto esto puede cambiar en verano cuando es una temporada seca el caudal llega a su punto mínimo y máximo en temporada lluviosa, si se tiene un caudal muy pobre puede afectar en la purificación.

##### 4.4.2.1 Caudal de admisión

La purificadora tiene un caudal de admisión que va ayudar a mantener la presión arriba de 80 psi, el naciente permite tener el caudal necesario ya sea en invierno o verano. Las temporadas lluviosas comienzan a partir de junio y el nivel del caudal aumenta.

#### 4.4.3 MEMBRANA

Las membranas tienen un papel importante en osmosis inversa, los contaminantes que no atrapan los filtros y los metales pesados, la membrana de osmosis inversa los detiene en un 99%. Esta variable puede afectar al funcionamiento de la purificación del agua.

##### 4.4.3.1 Eficiencia en la purificación

La eficiencia está relacionada con el tipo de membrana que se tenga y la presión de entrada a la membrana de osmosis inversa, todo esto puede influir a que no se tenga un buen rendimiento en la purificadora.

#### 4.4.4 CONSUMO ELÉCTRICO

El Consumo eléctrico es otra variable que se estará analizando, al usar una bomba para aumentar la presión y pueda atravesar la membrana de osmosis inversa, esto dependerá de las horas que este encendida la bomba y la potencia que consuma.

##### 4.4.4.1 Uso de bomba eléctrica

Dependiendo el lugar de instalación del prototipo va influir si es necesario el uso de una bomba eléctrica, si la presión es baja se tiene que usar una bomba eléctrica y esto afecta al consumo eléctrico según la cantidad de tiempo que se use y la potencia que consuma la bomba.

#### 4.4.5 MATERIALES

Los materiales son importantes para la construcción de la purificadora, la elección correcta puede hacer al prototipo más duradero.

##### 4.4.5.1 Reductores y tuberías

Los reductores que se utilicen para aumentar o disminuir el diámetro de la tubería influye a que se tenga la presión adecuada, así como el tipo de material de las tuberías. Todo esto influye a la variable principal del prototipo que es la presión.

#### **4.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN**

Para el desarrollo de la presente investigación se ha obtenido información de diferentes fuentes:

- Artículos de revistas científicas.
- Libros electrónicos.
- Tesis e investigaciones.

Softwares e instrumentos utilizados para desarrollar la purificadora:

- SolidWorks.
- Arduino IDE.
- Visio Profesional.
- Medidor de pH.
- Medidor de TDS

Para el desarrollo del prototipo se hace uso de SolidWorks que permite simular piezas y realizar simulaciones a las estructuras, el entorno de desarrollo integrado de Arduino es una aplicación multiplataforma que permite programar lógica a los arduinos. Vision Profesional ayudará a realizar un diagrama de la purificadora con los filtros, membrana de osmosis, tuberías. Un medidor de pH y TDS ayudarán a monitorear el nivel que se tenga en tiempo real según la presión que se esté admitiendo a la purificadora.

#### **4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

Se ha establecido utilizar la metodología en "V" que consta de dos etapas la parte de diseño del producto y la parte de las pruebas que se le hacen al mismo. Además de las fases de desarrollo de un proyecto, el modelo V también define los procedimientos de gestión de la calidad que lo acompañan y describe cómo pueden interactuar estas fases individuales entre sí. Su nombre se debe a su estructura, que se asemeja a la letra V. (Digital guide IONOS, 2020)

Al elaborar un producto mecatrónico la metodología en "V" es la indicada por el diseño que se tiene que hacer del prototipo y las pruebas que se le tienen que realizar para corroborar el funcionamiento y que los errores sean al mínimo, tratándose de una purificadora en los resultados esperados tiene que haber reducción de contaminantes en el agua.

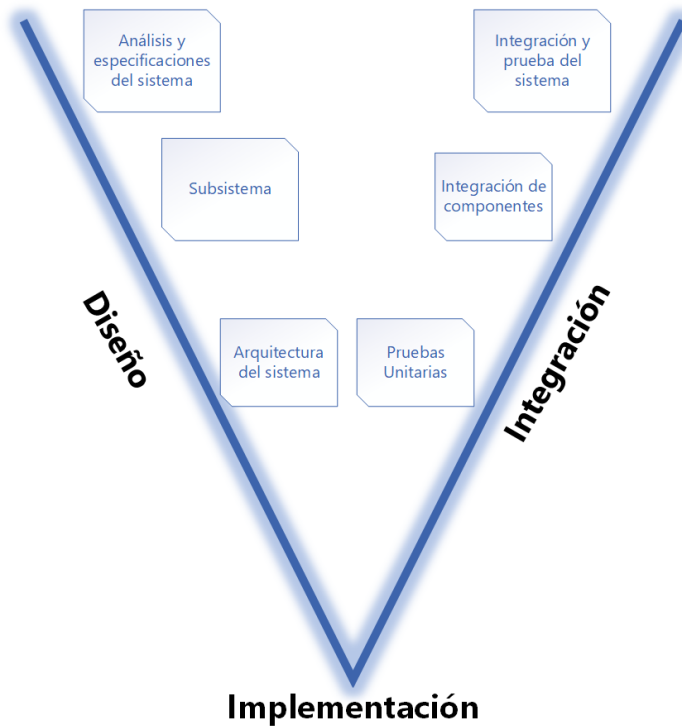


Ilustración 12. Metodología en V.

Fuente: propia.

Las tres etapas de diseño estarán conformadas por análisis y especificaciones del proyecto en general el diseño de componentes y selección de las piezas que se necesitan para el desarrollo de una purificadora con osmosis inversa, la arquitectura del sistema que es la unión de todas las partes y la lógica que tiene el diseño.

En la integración se harán pruebas a piezas de la purificadora y la integración de todos los componentes que se necesitan para tener un prototipo de purificación de agua y poner en marcha todo el sistema. La prueba final del sistema es hacer un análisis a la salida de agua de la purificadora y si en verdad se ha conseguido disminuir el nivel de contaminantes sin el uso de una bomba eléctrica.

## 4.7 ANÁLISIS Y ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA

Al haber planteado la metodología en V y las dos etapas que se dividirá, se comienza con el primer nivel.

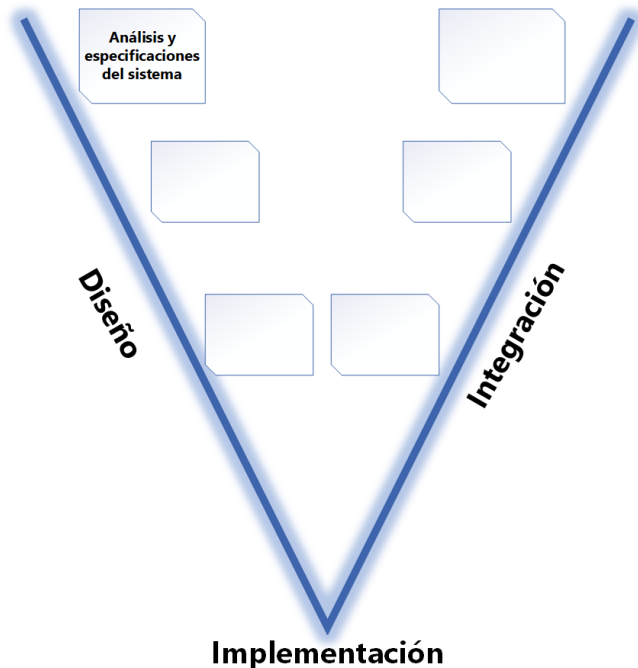


Ilustración 13. Análisis y especificaciones del sistema.

Fuente: Propia.

La puesta en marcha del proyecto se da en una zona aislada donde la calidad del agua no es buena, una comunidad rural donde se obtiene el vital líquido es de un naciente de agua dulce sin consentimiento de un análisis previo del agua y ningún tratamiento de: purificación, filtrado, cloración. La población total de la comunidad es de 27 personas divididas en 7 hogares y todas se benefician del mismo naciente de agua dulce.

Se pretende realizar una purificadora de agua utilizando ósmosis inversa y así obtener agua de calidad para esa comunidad que lo necesita, al desarrollar el prototipo se tiene que ver cuanto caudal se está recibiendo del naciente lo cual es alrededor de 0.17L/s en verano, esto puede cambiar a medida avanza el invierno y se obtenga un mayor caudal. El agua que llega del naciente se ocupa para consumo humano y labores domésticas.

#### 4.7.1 DISEÑO SISTEMA DE TUBERÍAS Y CAUDAL

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

*Ecuación 2.* Ecuación de continuidad.

Fuente: (Carbajal Alvarez , 2012)

Q=caudal

V=velocidad del agua

$\pi$ =constante

Teniendo en cuenta la ecuación 2. Se puede calcular el diámetro de la tubería que se utilizará representada por los siguientes valores:

Q=0.03165L/s  $\approx$  (3.167x10<sup>-5</sup>m<sup>3</sup>/s).

V= 1m/s

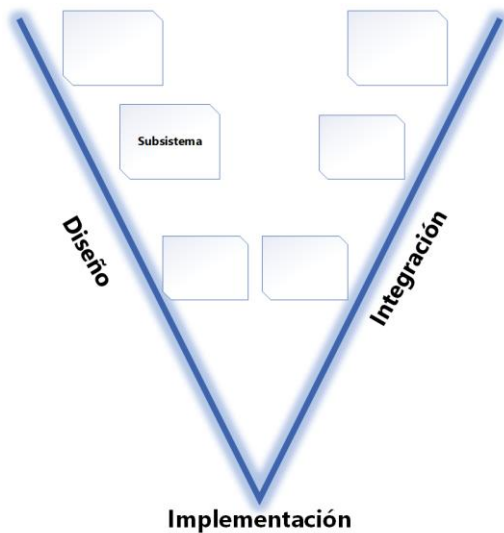
$\pi$ =3.1416

$$D = \sqrt{\frac{4 * 3.167 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 1 \text{ m/s}}}$$

$$D = 0.00635 \text{ m} \approx 0.25 \text{ in}$$

La tubería será de ¼ pulgada así se logrará aumentar la presión y lograr una buena cantidad de permeado. Con el caudal de 0.03165L/s entrando a la purificadora se espera que en tres horas haya un volumen de 341.82 L y teniendo una eficiencia del 40% del sistema se pueden obtener 136.728 L de agua purificada, con esta agua es suficiente para abastecer a una familia que en promedio consumen 25 L de agua al día. De acuerdo a la (Organizacion Mundial de la Salud, 2019) una persona requiere de 100 litros de agua al día (5 o 6 cubetas grandes) para satisfacer sus necesidades, tanto de consumo como de higiene.

## 4.8 SUBSISTEMA



*Ilustración 14.* Subsistema.

Fuente: Propia

En el segundo nivel se tiene el diseño y selección de los componentes que conformaran la purificadora.

### 4.8.1 FILTROS

Para darle un pretratamiento al agua antes de entrar a la membrana de osmosis inversa se decidió usar tres filtros de: sedimentos, GAC, ACB. El filtro de sedimentos va eliminar al máximo la tierra, arena, limo y así reducir la turbidez. El filtro de carbón activo granulado (GAC) remueve cloro, pesticidas, malos olores del agua. El filtro de bloque de carbón activo (ACB) elimina el cloro, insecticidas, benceno, y otros compuestos químicos, para darle un mejor sabor al agua y que le guste al consumidor se decidió usar un filtro post carbón activo que estará después de la membrana de osmosis inversa y dará un sabor a coco.

El uso de los primeros tres filtros dará un pretratamiento al agua y se eliminarán al máximo los contaminantes y el trabajo final será mucho más fácil para la membrana de osmosis inversa. Un juego de cuatro filtros son los necesarios para el desarrollo de la purificadora, a continuación, detalladamente la elección de los mismos y los porta filtros.

<b>Modelo</b>	<b>Presión Max.</b>	<b>Duración</b>	<b>Peso</b>	<b>SED,GAC,ACB</b>	<b>Precio</b>
AEGFFS2	101 psi	7,500 L	0.45 Kg	No	\$ 41.11
JACAR 6	80 psi	6,000 L	0.920 Kg	Si	\$ 24.44
PRTHSF10DB14	100psi	10,500 L	0.800 Kg	Si	\$30.33

*Tabla 4.* Selección de filtros.

Fuente: Propia.

El filtro seleccionado es el PRTHSF10DB14 no es el más barato, pero es el que tiene mayor duración y el mantenimiento se prolongará y se cambiará en un transcurso de dos meses según el uso que se le dé a la purificadora.

<b>Modelo</b>	<b>Presión Max.</b>	<b>Duración</b>	<b>Peso</b>	<b>Sabor</b>	<b>Precio</b>
Post-filtro GOLD	60 psi	6,000 L	0.280 Kg	Coco	\$ 11.01
Post carbón FL	100 psi	8,000 L	0.223 Kg	Coco	\$15.09
Ionfilter	124.73 psi	3,000 L	0.340 Kg	No tiene	\$ 26.30

*Tabla 5.* Selección de filtro carbono post activado.

Fuente: Propia

El filtro de carbono post activado dará un sabor exquisito al agua y remineralizará la salida de agua purificada, es un agua rica en minerales. Para selección del filtro se eligió la duración y el precio así mismo la presión máxima que es de 100 psi lo cual es la indicada para el funcionamiento del prototipo, el agua del naciente llega a una presión de 80-100 psi lo cual anda en el margen de la capacidad que soportan los filtros.





Ilustración 15. Filtros.

Fuente: Propia.

#### 4.8.2 MEMBRANA DE OSMOSIS INVERSA

Es la parte principal de la purificadora, ya que es el corazón de la purificadora, los contaminantes que atraviesan los filtros son desechados en la membrana al separarlos por la alta presión, algunos metales pesados son separados en la membrana como el aluminio, magnesio, arsénico, solidos disueltos, entre otros.

<b>Modelo</b>	<b>Presión Max.</b>	<b>Material</b>	<b>Forma</b>	<b>Tamaño del poro</b>	<b>Precio</b>
AEG Membrana	100 psi	CA	Tubular	0.001 micras	\$ 67.60
Huining Membrana	125 psi	Polipropileno	Tubular	0.08 micras	\$ 26.90
RO Membrana	300 psi	FRP	Tubular	0.1 nm	\$ 40.25

Tabla 6. Membrana de osmosis inversa.

Fuente: Propia.



*Ilustración 16.* Membrana de osmosis inversa

Fuente: (Amazon, 2018)

Se seleccionó la membrana que mejor presión resiste y el precio está en un intervalo medio, se espera que el funcionamiento y el rendimiento del proyecto mejore con la elección de este modelo con los poros que incluso son más pequeños que algunos metales pesados.

#### 4.8.3 ABRAZADERAS



*Ilustración 17.* Abrazadera.

Fuente: Propia.

Las abrazaderas serán utilizadas para sostener la membrana de osmosis inversa y el filtro de post carbón activo, estarán sujetas a la base de la purificadora para tener mayor estabilidad. Se requiere de tornillos para asegurar las abrazaderas a la base del prototipo, será necesario 4 abrazaderas para asegurar el filtro y la membrana.

#### 4.8.4 TUBERÍAS

Para el diseño de las tuberías se optó por usar mangueras, el precio es más económica en comparación con tuberías de hierro y PVC, hay menos pérdidas de presión ya que los codos no son de 90 grados como en las demás tuberías y con esto se puede aumentar la eficiencia del prototipo, la medida de la manguera es ¼ pulgada.

<b>Material</b>	<b>Durabilidad</b>	<b>Precio</b>
Manguera	10 años	0.4 \$/metro
Tubo PVC	15 años	0.55 \$/metro
Tubo de hierro	40 años	\$ 1.69/metro

*Tabla 7.* Selección de tuberías.

Fuente: Propia

#### 4.8.5 CONECTOR PARA LAS TUBERÍAS

Las tuberías utilizan uniones para acoplarse en los porta filtros y en la membrana de osmosis inversa como también en la bomba, hace más fácil la instalación y que no haya fugas en las uniones. En la ilustración 18 se puede observar cómo es la pieza que une la manguera con las piezas de la purificadora, tiene un seguro que permite la sujeción de las mangueras sin tener fugas.



*Ilustración 18.* Conector rápido para las tuberías.

Fuente: (Amazon, 2018).

#### 4.8.6 BOMBA

Para la implementación de la purificadora es necesaria una bomba si la presión del agua es demasiado baja, se conecta una bomba AC de 120V la cual tiene un transformador de 110/24VDC, la potencia consumida por la bomba es de 48 W. Se seleccionó la Booster Pump ya que las otras bombas las salidas y entradas de agua son más grandes que las mangueras que se van a usar y si se utilizan reductores para llegar a la medida que se necesita hay una caída de presión y eso no es beneficioso para el prototipo, todo el sistema depende de la variable presión.

<b>Bomba</b>	<b>Flujo máximo</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Potencia</b>	<b>Precio</b>
Truper BOAP-1	50L/min	120 V	745.7 W	\$ 97.57
Ingco	60L/min	120 V	750 W	\$ 74.9
Booster Pump	12L/min	24 VDC	48 W	\$ 90.55

*Tabla 8.* Selección de bomba.

Fuente: Propia.

La bomba elegida es de diafragma, el aumento de presión se da por el empuje de paredes elásticas.



*Ilustración 19.* Booster Pump.

Fuente: Propia.

#### 4.8.7 MANÓMETRO

Es necesario el uso de un manómetro en la entrada de la purificadora para saber la presión que se está recibiendo, de esto dependerá si se hará uso de una bomba eléctrica o no. Se eligió un manómetro de la marca Simmons que mide en un rango de 0-100 Psi y tiene un precio alrededor de \$ 4.84, la decisión se basó en el precio que es el más barato y que mide el rango de presión que se necesita saber para el prototipo de purificación.

<b>Marca</b>	<b>Presión máxima</b>	<b>Precio</b>
Simmons	100 Psi	\$ 4.84
Genebre	240 Psi	\$ 10.90
Hyuduo	100 Psi	\$ 13.90

*Tabla 9.* Selección de manómetro.

Fuente: Propia.

#### 4.8.8 MICROCONTROLADOR

Cuando sea necesario el uso de una bomba se busca automatizar el proceso para que no haya gastos innecesarios de energía, Se quiere hacer un control del encendido y apagado de la bomba y la electroválvula y para esto es necesario tener un microcontrolador que pueda decidir en que momento va detener la bomba y cuando va estar trabajando. Se decidió usar un Arduino uno al solo tener que controlar dos entradas y una salida es más fácil de programar que los otros microcontroladores y el precio está en un rango medio.

<b>Microcontrolador</b>	<b>Voltaje de entrada</b>	<b>Tipo de conector</b>	<b>Precio</b>
Arduino Uno	5 V	USB	\$ 10.69
Pic18f45k22	5-9 V	USB	\$ 40.00
Raspberry pi pico	3.3 V	USB	\$ 9.00

*Tabla 10.* Microcontrolador.

Fuente: Propia

#### 4.8.9 SENSOR ULTRASÓNICO

Se implementará un sensor ultrasónico para saber el nivel del tanque de almacenamiento de agua purificada y con esto mandar una señal al Arduino para cuando el nivel sea bajo la bomba esté encendida y al estar en un nivel alto la bomba y electroválvula estén apagadas. Se usará un sensor HC\_SR04 es un sensor para medir distancia de bajo costo y se utiliza para medir distancias en un rango de 2 a 450 cm, es fácil de trabajar con Arduino y utiliza un voltaje de entrada de 5VDC el mismo que posee una salida del Arduino.

#### 4.8.10 RELÉ DE ESTADO SOLIDO

Las salidas del Arduino manejan un voltaje de 5VDC, se requiere de un componente de electrónica de potencia para controlar la bomba y la electroválvula con el modelo de relé de estado sólido SSR-40 es posible controlar voltajes entre 110-380VAC, al tener una entrada de 3-32VDC es posible la implementación con el Arduino Uno.



*Ilustración 20. Relé de estado sólido.*

Fuente: Propia.

#### 4.8.11 ELECTROVÁLVULA

La electroválvula seleccionada es normalmente cerrada y al alimentarla con 110VAC se abre y deja pasar el fluido estará conectada en el mismo relé que la bomba ya que trabajaran sincronizados. Puede trabajar en un rango de presión de 0-145 psi lo cual está entre el rango que se maneja en el lugar de instalación del prototipo

<b>Modelo</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Estado</b>	<b>Rango de presión</b>	<b>Precio</b>
KAKO	110 VAC	NC	0-145 psi	\$ 25.99
Temco	110 VAC	NA	0-102 psi	\$ 20.99

*Tabla 11.* Electroválvula.

Fuente: Propia.

#### 4.8.12 ALIMENTACIÓN

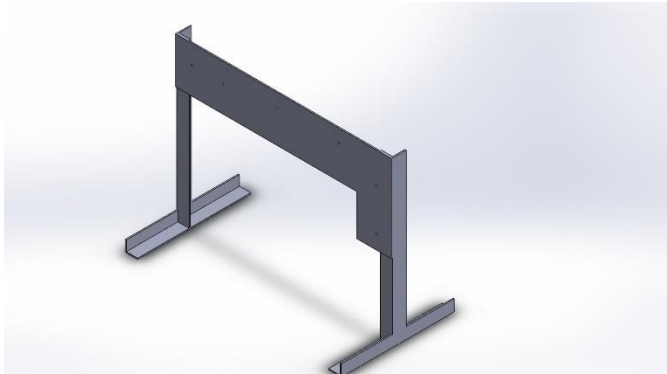
Para alimentar el Arduino se necesita una fuente de alimentación que sea recargable y brinde una salida de 5VDC la misma que requiere el Arduino Uno. Al ser un lugar aislado donde se piensa instalar el prototipo se requiere autonomía y máxima duración. Se decidió usar la BattStation Optimus ya que posee mayor rendimiento y a un precio más bajo.

<b>Modelo</b>	<b>Salida de voltaje</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Precio</b>
Miady	5 V	10000 mAh	\$ 30.00
BattStation Optimus	5 V	20400 mAh	\$ 24.99

*Tabla 12* Power Bank.

Fuente: Propia.

#### 4.8.13 BASE DEL PROTOTIPO

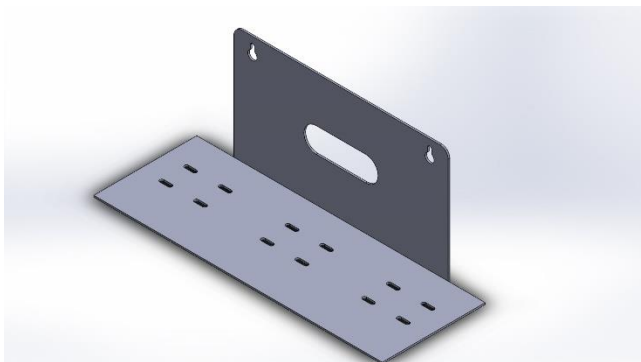


*Ilustración 21.* Base de prototipo.

Fuente: Propia.

Al comparar los materiales que son accesibles para la construcción de la base de la purificadora, se tiene: la madera, el hierro, acero inoxidable. La base de la purificadora se hará de hierro al ser un material duradero y se comporta bien al someterlo a condiciones extremas de humedad y sol. La madera tiene menos durabilidad que los otros, al someterlo a humedad se desgasta rápidamente y el acero inoxidable es mucho más caro y obtenerlo es más difícil que los otros dos materiales.

#### 4.8.14 BASE DE LOS FILTROS



*Ilustración 22.* Base de los filtros.

Fuente: Propia.



Los filtros estarán unidos por una unión rápida el de sedimentos, GAC y el filtro de carbón, al unirlos se necesita una pieza para que los sostenga de la base del prototipo, el material elegido para trabajar la base de los filtros es el hierro, ya que es el más fácil de conseguir y la durabilidad que tiene es muy buena, al someterlo a condiciones extremas en un ambiente de humedad.

#### 4.9 ARQUITECTURA DEL SISTEMA

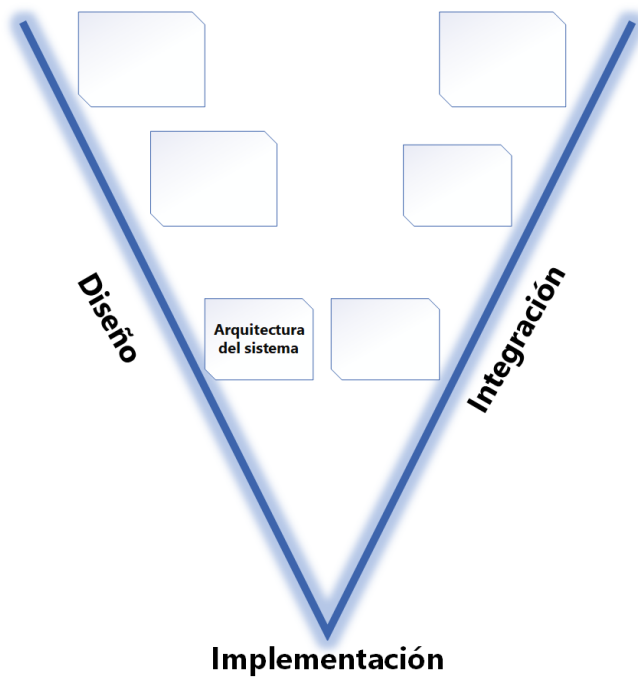


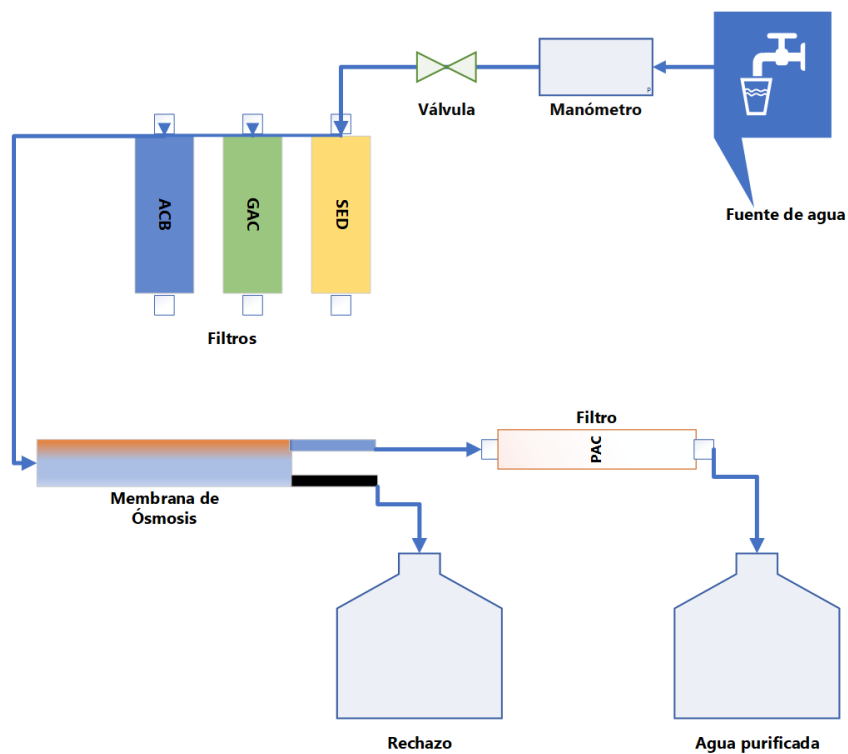
Ilustración 23. Arquitectura del sistema

Fuente: Propia.

La tercera parte del diseño es la arquitectura del sistema como tal, diagramas de funcionamiento del sistema de osmosis inversa.

#### 4.9.1 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO SIN BOMBA ELÉCTRICA

El diagrama de la ilustración 24 muestra las conexiones que se tendrían cuando el nivel de presión es superior a 80 psi, se tiene la fuente de agua dulce que se eligió para purificar y se le hizo un análisis para saber la composición de minerales y de contaminación que existe, sigue un manómetro que va ayudar a monitorear la presión de entrada, una válvula que va permitir cerrar el flujo manualmente y siguiendo el diagrama están los filtros de: sedimentos, carbón activo granular, bloque de carbón activo. Los filtros van a eliminar gran porcentaje de impurezas como ser: tierra, cloro, pesticidas, etc.



*Ilustración 24.* Diagrama de osmosis inversa sin bomba eléctrica.

Fuente: Propia.

La salida de los filtros está conectada a la membrana de osmosis inversa, es el componente más importante de la purificadora que va a eliminar los contaminantes que no se pueden detener en los filtros. En la salida de la membrana se tienen dos salidas de agua una que es la de agua purificada que se le conoce como permeado y la otra que es un desecho conocido como salmuera. El permeado tiene un filtro que le va a dar un sabor agradable al agua.

La salida de agua purificada va a pasar por un filtro de post carbón activo que va a dar un sabor agradable al agua. Las dos salidas de agua van a sus respectivos recipientes de almacenamiento, la salida de permeado será utilizada para consumo humano y labores domésticas.

#### 4.9.2 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO CON BOMBA ELÉCTRICA

Cuando la presión es menor a 50 psi se hará uso de una bomba eléctrica, para llegar a la presión de funcionamiento del prototipo. Y se agregará una electroválvula para tener el control del flujo de agua cuando la bomba esté trabajando. Para hacer eso se hará uso de un microcontrolador junto con un relé de estado sólido que controlará la bomba y la electroválvula.

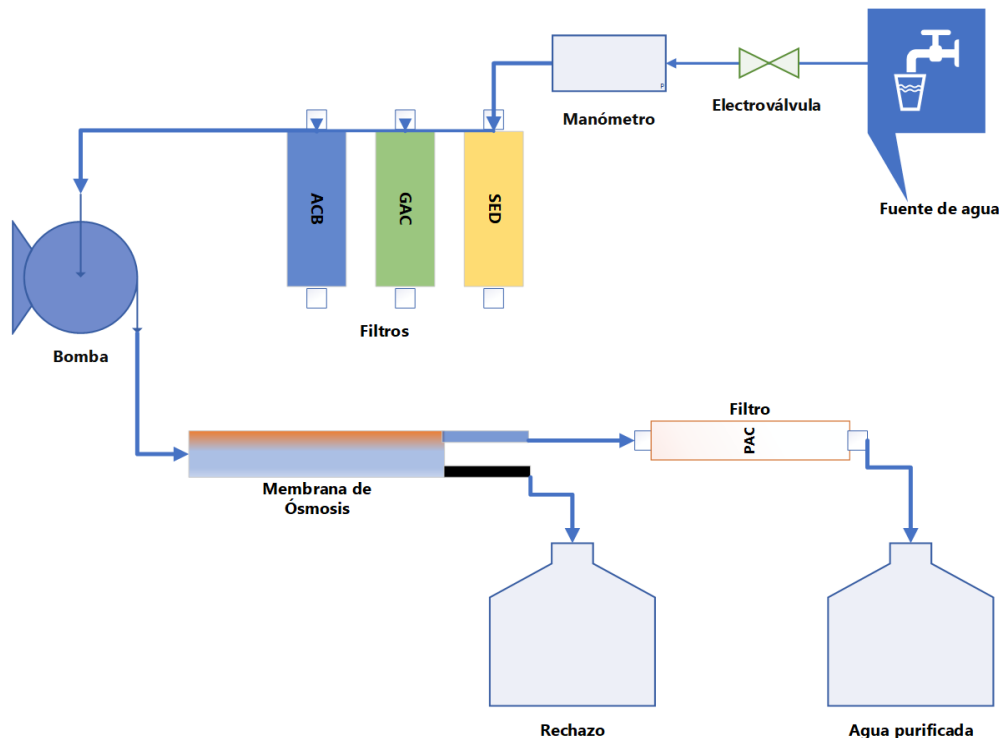


Ilustración 25. Diagrama de osmosis inversa con bomba eléctrica.

Fuente: Propia.

## 4.10 PRUEBAS UNITARIAS

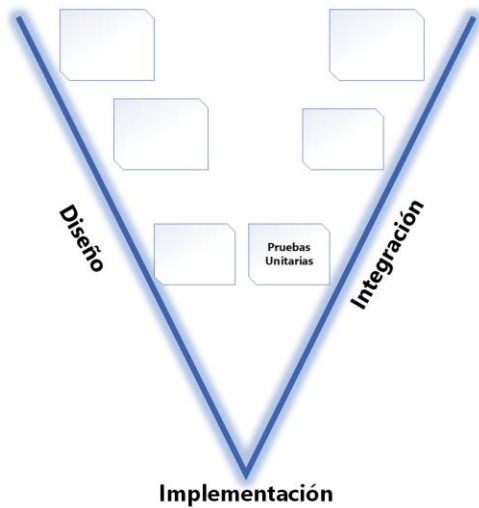


Ilustración 26. Pruebas unitarias.

Fuente: Propia.

### 4.10.1 PRUEBAS DE PRESIÓN

Se han realizado pruebas a diferentes partes de la purificadora, las mangueras, los filtros y membrana han sido sometidos a alta presión y no han tenido deformaciones al estar a una presión arriba de 100 psi que sobrepasa la presión de funcionamiento. El prototipo a una presión de 50-100 psi se comporta bien en condiciones de funcionamiento y no sufren desgaste las piezas que conforman la purificadora, se le admitió por un momento una presión arriba de 100 psi como prueba a los componentes.



Ilustración 27. Prueba de presión.

Fuente: Propia.

#### 4.10.2 PRUEBAS ESTÁTICAS

Se ha utilizado el software Solidworks Simulations para hacer una prueba estática de resistencia de materiales, la base de los filtros y la base de la purificadora. Éste software permite hacer simulaciones que en la vida real pueden ser costosas de realizar y con esto da una idea de cómo se comportan los materiales en la vida real, permite seleccionar el tipo de material con el que se está trabajando y la fuerza que se le quiere aplicar.

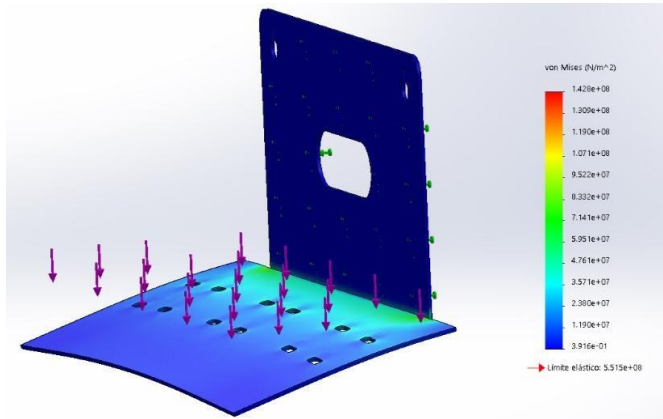


Ilustración 28. Prueba de Von Mises a la base de los filtros.

Fuente: Propia.

Para la prueba estática de la base de los filtros se utilizó una fuerza externa de 200 N, para saber cuál sería el comportamiento de la pieza. En la ilustración 28 se puede observar la prueba de Von Mises un valor máximo de  $1.428 \times 10^8 \text{ N/m}^2$  y un valor mínimo de  $3.916 \times 10^{-1} \text{ N/m}^2$ .

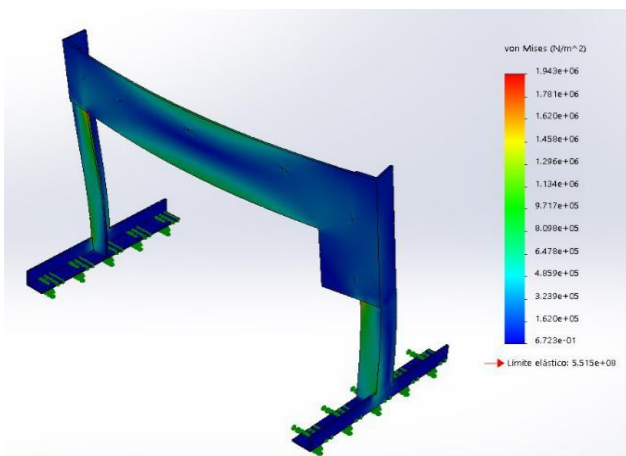


Ilustración 29. Prueba de Von Mises a la base del prototipo.

Fuente: Propia

En la base de la purificadora se utilizó una fuerza de 222 N y en la ilustración 29 está el resultado de la simulación, con un valor máximo de  $1.943 \times 10^6 \text{ N/m}^2$  y un valor mínimo de  $6.723 \times 10^{-1} \text{ N/m}^2$ . Para las dos simulaciones se eligió hierro como material de construcción de las partes.

#### 4.11 INTEGRACIÓN DE COMPONENTES

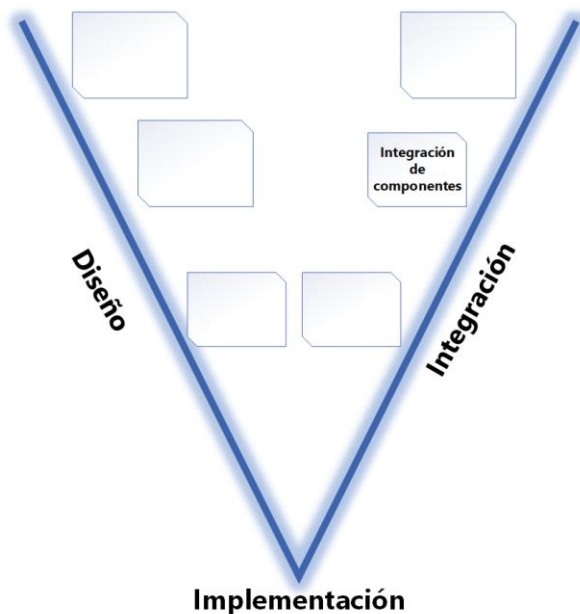


Ilustración 30. Integración de componentes.

Fuente: Propia.

Para esta etapa se tienen que tener listos todos los componentes que conforman el prototipo de purificación de agua. Algunas partes de la purificadora se fabricaron como es la base para sostener los filtros y la base de la purificadora, las demás partes se hizo la compra de algunas fue necesario traerlas de otro país ya que en Honduras no se encuentran este tipo de componentes.

##### 4.11.1 LISTA DE COMPONENTES

A continuación, la lista de componentes necesarios para construir la purificadora sin el uso de una bomba eléctrica: Filtros, membrana de osmosis inversa, tuberías, conector para las tuberías, manómetro, base del prototipo, base de los filtros, abrazaderas, tornillos, teflón, pegamento para pvc, válvula check, reductores, tanques de almacenamiento.



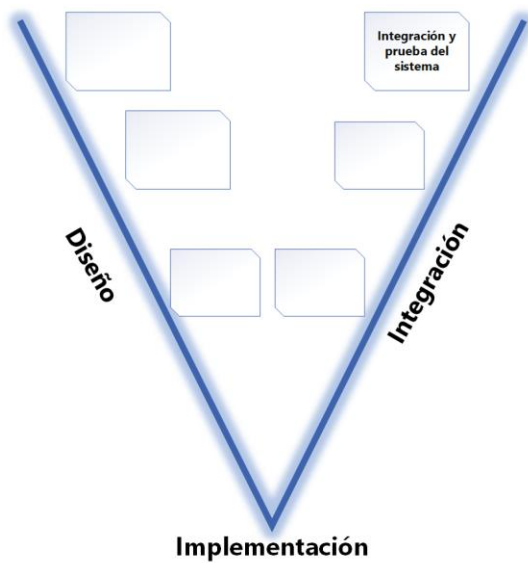
*Ilustración 31.* Componentes del prototipo sin el uso de una bomba eléctrica.

Fuente: Propia.

En la ilustración 31 están todos los componentes necesarios para la integración del prototipo, hay componentes que son delicados como la membrana que es de un material que se tiene que tener cuidado cuando se está ensamblando, los filtros poseen sellos que evitan que haya fugas y se tiene que verificar que vaya en la posición correcta, algo que es importante con la membrana de osmosis inversa son las salidas que se tienen el permeado y el rechazo que es muy fácil de confundirlas. Con ayuda del teflón se evitan las fugas que quedan en las uniones de los conectores con la membrana o los filtros.

La conexión del sistema de agua que poseen los hogares del lugar elegido para la implementación del prototipo es de  $\frac{1}{2}$  pulgada, son tuberías de PVC y para el proyecto se utilizará una manguera de  $\frac{1}{4}$  pulgada y es por eso que se requieren los reductores para poder llegar a la medida deseada y también es necesario el pegamento de PVC para que queden seguros y no haya fugas.

## 4.12 INTEGRACIÓN DEL SISTEMA



*Ilustración 32.* Integración y prueba del sistema.

Fuente: Propia

Al tener todos los componentes necesarios para ensamblar el prototipo se procede a armarlo y llevarlo al lugar de implementación para saber el funcionamiento sin el uso de una bomba eléctrica y esperar que los resultados sean satisfactorios.



*Ilustración 33.* Instalación del prototipo.

Fuente: Propia.



En la ilustración 34 está la conexión del prototipo al sistema de agua potable que utilizan las personas en la zona aislada.



Ilustración 34. Conexión del prototipo al sistema de agua potable.

Fuente: Propia.

#### 4.13 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Se elaboró un cronograma de actividades dando detalle de cada actividad a realizar en el transcurso de la investigación, en un tiempo estipulado de 10 semanas alrededor de 61 días. las fechas están en un formato DD/MM/AA.

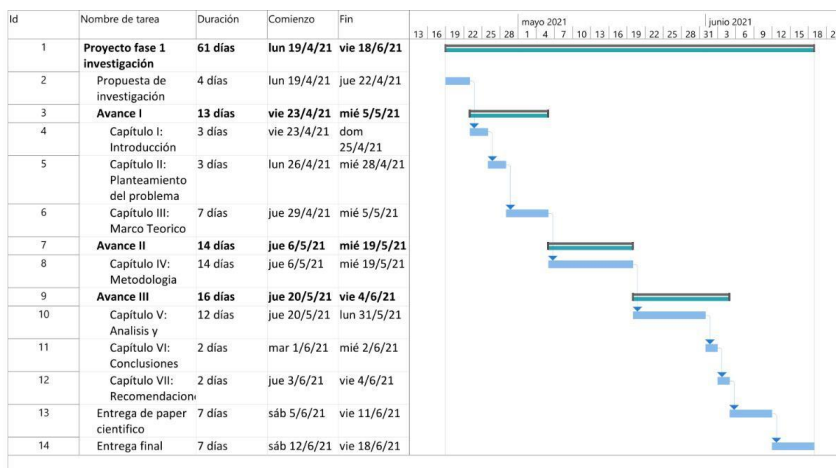


Ilustración 35. Cronograma de actividades.

Fuente: Propia.

## V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Este capítulo comprende en mostrar los resultados que se obtuvieron en la investigación, se hará énfasis en las preguntas planteadas al inicio de la investigación y responder las que no se pudieron responder en los capítulos anteriores, se mostraran los resultados que se le hicieron a una muestra de agua del permeado que ayudaran a demostrar el funcionamiento del prototipo.

### 5.1 ANÁLISIS DEL PROTOTIPO SIN EL USO DE UNA BOMBA ELÉCTRICA.

Uno de los objetivos principales de la investigación era desarrollar un prototipo que permitiera purificar agua mediante osmosis inversa sin el uso de una bomba eléctrica y poder utilizarlo en zonas aisladas donde muchas veces la calidad del agua es mala, se ha logrado purificar agua sin la necesidad de una bomba eléctrica.

El sistema de agua potable que utilizan las personas en el lugar de implementación del proyecto tiene una presión en la salida de las llaves que puede superar los 100 psi fácilmente, y se debe manejar y estabilizarla en un rango de 50-100 psi para que el sistema de purificación trabaje en condiciones estables.



*Ilustración 36.* Presión de funcionamiento.

Fuente: Propia

El caudal obtenido en el permeado es de 41.86 litros por hora cercano al valor de diseño a una presión de 80-90 psi, con tres horas de funcionamiento es suficiente para recolectar el agua que requiere una familia se obtendrían 125.58 litros, el caudal de rechazo es de 63.53 litros por hora.

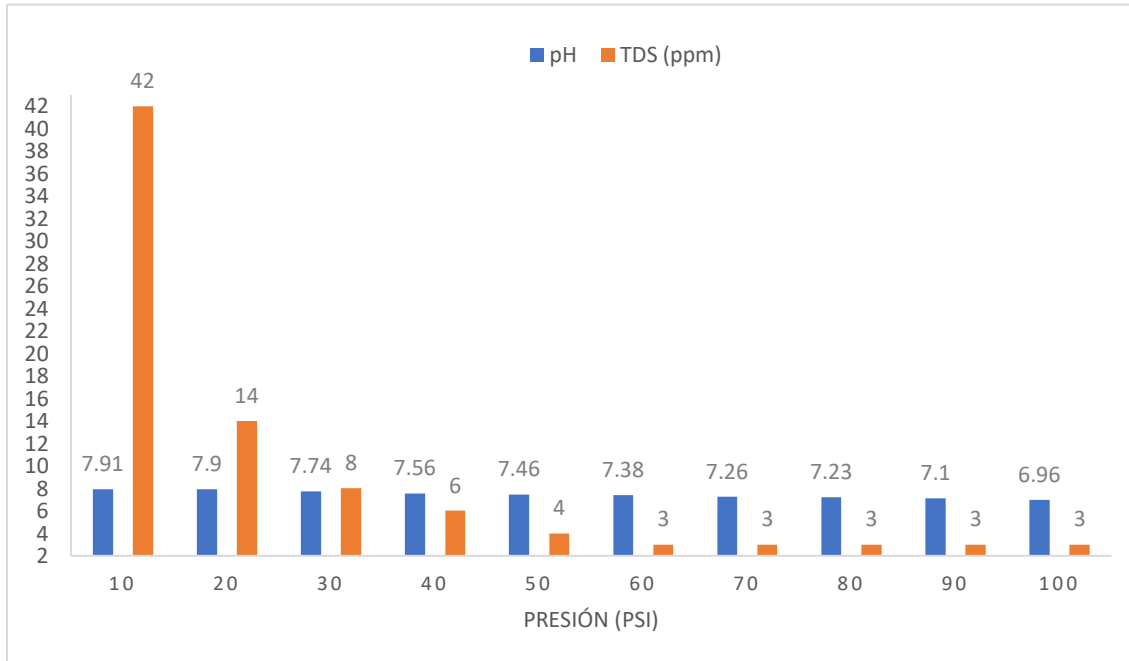
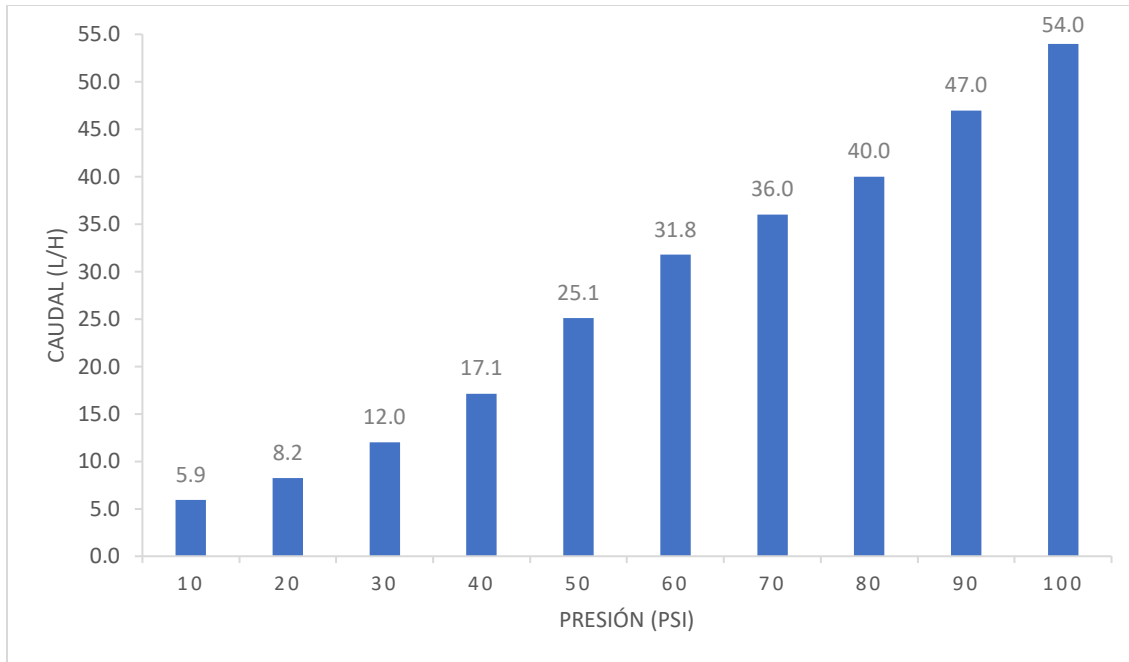


Ilustración 37. Gráfica pH, TDS, Presión.

Fuente: Propia.

Se realizaron pruebas al prototipo admitiendo presión de 10-100 psi y un valor de TDS de 79 y un pH de 7.99 en cada intervalo hubo comportamientos diferentes representados en la ilustración 37, cuando la presión está en 10 psi el nivel de pH se reduce 1% y el nivel de TDS 46.84% es hasta que llega a 50 psi la presión de entrada del prototipo cuando se comienza a estabilizar el nivel de TDS y el nivel de pH sigue disminuyendo según vaya incrementando la presión en la entrada. Cuando la presión es mayor a 50 psi el nivel de TDS se reduce 96.20% y el nivel de pH 10.06%.



*Ilustración 38.* Gráfica de presión y caudal.

Fuente: Propia.

En la ilustración 38 está representado el caudal de permeado que brinda el prototipo a determinada presión. El caudal mínimo que se obtiene es de 5.9 l/h a una presión de 10 psi y el máximo es de 54 l/h a una presión de 100 psi.

#### 5.1.1 RESULTADO DEL ANÁLISIS A LA MUESTRA DE AGUA

Parámetros	Unidades	Resultado	Observación
Coliformes fecales.	UFC/ 100mL	0.9	✓
Turbidez	NTU	0.01	✓
Amonio	mg/L	0.25±0.36	Se mantuvo
TDS	Ppm	4	✓
PH		7.15	✓

*Tabla 13.* Análisis en la salida de la purificadora.

Fuente: Propia

El resultado del análisis realizado es satisfactorio, se ha logrado disminuir uno de los principales contaminantes que tenía el agua que era el de las coliformes fecales. Se ha logrado obtener agua de calidad sin la ayuda de una bomba eléctrica para purificar agua mediante osmosis inversa uno de los métodos más efectivos que existe en el mercado nacional. El agua en la salida del permeado tiene un sabor agradable que se lo da el ultimo filtro de post carbón activo.

Las reducciones de las coliformes fecales fueron considerables casi igual a 0 lo cual está en el rango de un agua de calidad que tiene que ser menor a 1. La reducción de la turbidez es muy buena se eliminan al máximo los sedimentos en un 99.91 %. Los TDS es un parámetro para determinar si se tiene un agua de calidad, la medición se realizó con un medidor electrónico de TDS que permite medir en tiempo real y poder tener una idea si en verdad se está disminuyendo.

## **5.2 LIMITACIONES DEL SISTEMA.**

Al ser un sistema que trabaja con osmosis inversa, las eficiencias de estos sistemas son bajas y gran parte del agua que ingresa es rechazada, una limitación es en invierno cuando el agua acumula más sedimentos y los filtros y membrana se les acorta la vida útil. Para asegurarse que el sistema esté eliminando al máximo los contaminantes de coliformes fecales es necesario hacer un análisis al agua y éste es caro y no se realiza cerca del lugar de implementación.

## **5.3 PRUEBA DEL SISTEMA CON EL USO DE UNA BOMBA ELÉCTRICA.**

Cuando la presión es baja como se mira en la ilustración 35 es necesario el uso de una bomba eléctrica para incrementar la presión. Al ser muy baja la presión la producción de agua disminuyó.



*Ilustración 39. Baja presión.*

Fuente: Propia.

Se modificó la instalación del prototipo agregándole la bomba y los componentes electrónicos que controlarán el encendido y apagado de la electroválvula y la bomba, un sensor ultrasónico va permitir tener saber el valor del nivel que tiene el tanque, un relé de estado sólido para controlar los componentes que utilizan 110 VAC y poder controlarlos con pulsos de VDC. Todos estos componentes van a permitir que el sistema sea autónomo.



*Ilustración 40.* Prototipo final con el uso de una bomba eléctrica.

Fuente: Propia.

El prototipo es capaz de purificar agua alimentándolo con agua a una presión de 10 psi, el sistema tiene un caudal de salida del permeado de 27.85 litros por hora, si se quieren obtener un volumen de 130 litros para abastecer a una familia con agua suficiente para las necesidades domésticas, se ocuparía que la bomba este trabajando 4.66 horas.

### 5.3.1 CÓDIGO ARDUINO

Se hizo uso de Arduino IDE para la programación del microcontrolador que va permitir que el sistema sea autónomo cuando requiera el uso de una bomba eléctrica. El Arduino esta alimentado con una batería recargable de máxima duración, un sensor ultrasónico y un relé de estado sólido están conectados al Arduino. Al relé de estado sólido están conectados la electroválvula y la bomba para que trabajen de manera sincronizada

Dependiendo del nivel del tanque de almacenamiento que va ser medido con el sensor ultrasónico va mandar una señal para que se active o se desactive la salida del Arduino que está conectado al relé de estado sólido, código:

```
int trig=8;

int eco=9;

int duracion;

int distancia;

int bomba_electrovalvula= 11;

void setup() { pinMode(trig,OUTPUT);

  pinMode(eco,INPUT);

  pinMode(bomba_electrovalvula,OUTPUT);

  Serial.begin(9600); }

void loop() {

  digitalWrite(trig,HIGH);

  delay(1);

  digitalWrite(trig,LOW);

  duracion=pulseIn(eco,HIGH);

  distancia=duracion/58.2;

  Serial.println(distancia);

  delay(1000);

  if (distancia>23) { digitalWrite(bomba_electrovalvula,HIGH); }

    if (distancia<5) {

      digitalWrite(bomba_electrovalvula,LOW); } }
```

### 5.3.2 POTENCIA ELÉCTRICA

Teniendo el tiempo que estaría encendida la bomba se procede a calcular la potencia que consume la bomba. Para esto se hará uso de la ecuación 3.

$$P = VI$$

*Ecuación 3.* Ecuación de potencia eléctrica.

Fuente: (Fraile Mora, 2012)

Donde:

P=potencia

V=voltaje

I=corriente

Reemplazando los datos de la ecuación se tiene que:

V= 24V

I= 2A

$$P = 24V * 2A * \frac{1}{1000}$$

$$P = 0.048 Kw$$

La bomba estará encendida alrededor de 4.66 horas al día si se multiplica por la potencia que consume la bomba, se obtiene que el gasto energético de la bomba sería de 0.224 Kwh. Al ser una zona aislada la opción de usar energía solar para alimentar a la bomba es la más indicada



#### 5.4 COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Los costos del proyecto en la tabla 14 especifica los componentes que conforman el prototipo cuando nos es necesario el uso de una bomba eléctrica.

<b>Elemento</b>	<b>Costo en dólares</b>
Filtros	\$ 90
Membrana de osmosis inversa	\$ 80.3
Abrazaderas	\$ 2.00
Manguera	\$ 3.00
Conector para las mangueras	\$ 8.00
Manómetro	\$ 7.07
Válvula check	\$ 1.41
Base de los filtros y purificadora	\$ 16.16
Reductores, pegamento PVC, teflón	\$ 13.89
Tornillos	\$ 3.00
Análisis de agua	\$ 192.00
Medidores de pH y TDS	\$ 70.00
<b>Total</b>	<b>\$ 486.83</b>

Tabla 14. Costos del proyecto.

Fuente: Propia.

En la tabla 15 se muestran los costos totales del proyecto cuando en el lugar de implementación la presión del agua a purificar está en un rango mínimo y es necesario el uso de una bomba eléctrica.

<b>Elemento</b>	<b>Costo en dólares</b>
Bomba	\$135.55
Microcontrolador	\$ 10.69
Sensor ultrasónico	\$ 2.40
Relé de estado solido	\$ 7.07
Electroválvula	\$ 25.99
Alimentación	\$ 24.99
Cables de conexión	\$ 2.00
Prototipo inicial	\$486.83
<b>Total</b>	<b>\$ 695.52</b>

*Tabla 15.* Costos del proyecto cuando es necesario el uso de una bomba eléctrica.

Fuente: Propia.

## VI. CONCLUSIONES

- ✓ Se rechaza la hipótesis nula ya que el prototipo desarrollado puede realizar una purificación sin el uso de una bomba eléctrica.
- ✓ Se logró identificar algunas limitaciones que tendría el sistema de purificación de agua. Al ser un sistema que utiliza osmosis inversa el tiempo que tarda en producir agua purificada es una de las principales.
- ✓ Se hizo una comparación de los mejores materiales que son accesibles en el lugar de implementación del prototipo.
- ✓ Se logró purificar agua mediante osmosis inversa sin el uso de una bomba eléctrica y se monitorearon parámetros en tiempo real como: TDS y pH.
- ✓ Se realizaron análisis en la entrada y salida de la purificadora y se comprobó que se obtuvo agua de calidad, reduciendo en un 98.76% los niveles de coliformes fecales y un 99.91% la turbidez.
- ✓ Se logró implementar el prototipo en una zona aislada donde no tienen agua de calidad, contaminada con coliformes fecales y una turbidez arriba de la adecuada.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda utilizar el prototipo sin el uso de una bomba cuando se tiene una presión de 50 a 100 psi.
- Se recomienda usar un diámetro pequeño para las tuberías para aumentar la presión y así reducir el tiempo que tarda el sistema en producir agua purificada.
- Se recomienda usar materiales que sean accesibles para la construcción de la purificadora y evitar tuberías de materiales que puedan dar un mal sabor al agua.
- Se recomienda utilizar un filtro mineralizador a la salida del permeado para incrementar los porcentajes de minerales presentes en el agua.
- Se recomienda realizar análisis al agua lo más frecuente posible para verificar que el sistema esté brindando agua de calidad.
- Se recomienda implementar el prototipo donde el nivel de turbidez del agua no sea tan elevado para aumentar la vida útil de los filtros y la membrana.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia EFE.* (22 de marzo de 2019). Recuperado el 28 de Mayo de 2021, de <https://www.efe.com/efe/america/sociedad/el-70-de-poblacion-honduras-tiene-acceso-al-agua-pero-no-toda-es-segura/20000013-3931929>
- Amazon.* (19 de Marzo de 2018). Recuperado el 27 de Mayo de 2021, de <https://www.amazon.com/-/es/Soluciones-conexiones-retenci%C3%B3n-reemplazo-fregadero/dp/B07H2Z5ZJH>
- Apaza Mamani, C. V. (2012). *Obtencion De Agua Ozonizada Envasada. (Tesis de Ingenieria).* Universidad Nacional De San Agustín, Arequipa. Recuperado el 1 de Junio de 2021
- AWWARF, LE, W. (1998). *Tratamientos de agua por procesos de membrana.* Madrid: Mc Graw-Hill. Recuperado el 2 de Mayo de 2021
- Banco Mundial.* (09 de Octubre de 2020). Recuperado el 22 de Mayo de 2021, de <https://www.bancomundial.org/es/country/honduras/overview#3>
- Bilton, A. (2014). *University of Toronto.* Recuperado el 20 de Junio de 2021, de <https://werl.mie.utoronto.ca/photovoltaic-reverse-osmosis-systems/>
- Carbajal Alvarez , A. (2012). *Mecanica de los fluidos.* Editorial Universitaria. Recuperado el 25 de Mayo de 2021, de [https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/71509?as\\_all=mecanica\\_\\_de\\_\\_fluidos&as\\_all\\_op=unaccent\\_\\_icontains&prev=as](https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/71509?as_all=mecanica__de__fluidos&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as)
- Digital guide IONOS.* (23 de Junio de 2020). Recuperado el 23 de Mayo de 2021, de Modelo V: <https://www.ionos.es/digitalguide/paginas-web/desarrollo-web/modelo-v/>
- Elfila, H., Hamed, A., & Hannachi, A. (6 de Mazo de 2006). *Elsevier.* Recuperado el 1 de Mayo de 2021, de [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)
- Fraile Mora, J. (2012). *Circuitos eléctricos.* Pearson Educación. Recuperado el 24 de Junio de 2021, de

[https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/53928?as\\_all=circuitos\\_\\_electricos&as\\_all\\_op=unaccent\\_\\_icontains&prev=as](https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/53928?as_all=circuitos__electricos&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as)

Francisco Martín de Santa Olalla Maña, & López Fuster, P. (2008). *Agua y Agronomía*. Madrid: Mundi-Prensa. Recuperado el 29 de Abril de 2021, de <https://elibro.net/es/ereader/unitechn/35814?page=83>

García Cabezas, N. (11 de Febrero de 2020). *Ayuda en Accion*. Recuperado el 28 de Abril de 2021, de Sostenibilidad: <https://ayudaenaccion.org/ong/blog/sostenibilidad/guerra-agua-paises-escasez/#>

González Velasco, J. (2015). *Energías renovables*. Barcelona: Editorial Reverté. Recuperado el 22 de Mayo de 2021, de [https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/46748?as\\_all=energia\\_\\_renovable&as\\_all\\_op=unaccent\\_\\_icontains&prev=as](https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/46748?as_all=energia__renovable&as_all_op=unaccent__icontains&prev=as)

Grande Gil, J. A. (2017). *Contaminación de aguas subterráneas en el sector costero occidental de Huelva*. Universidad de Huelva. Recuperado el 29 de Abril de 2021, de <https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/44755>

Guerrero Legarreta, M. (2010). *El Agua*. Mexico: FCE - Fondo de Cultura Económica. Recuperado el 29 de Abril de 2021, de <https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/72081>

Hirschfeld, D. (17 de Marzo de 2011). *Scidev.Net*. Recuperado el 1 de Junio de 2021, de <https://www.scidev.net/america-latina/news/c-scara-de-banano-purificar-a-el-agua-seg-n-cient-ficos/>

Kucera, J. (2010). *Reverse Osmosis. Industrial applications and processes*. (1 ed.). New Jersey: Wiley. Recuperado el 2 de Mayo de 2021

L. Chandler, D. (6 de Febrero de 2020). *Massachusetts Institute of Technology*. Recuperado el 20 de Junio de 2021, de <https://news.mit.edu/2020/passive-solar-powered-water-desalination-0207>

- Moreno Benavides, J. A. (2011). Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa dober osmotech de colombia ltda. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Autonoma De Occidente, Santiago de Cali, Colombia. Recuperado el 1 de Mayo de 2021
- Organizacion Mundial de la Salud. (14 de Junio de 2019). *Agua*. Recuperado el 28 de Abril de 2021, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#>
- Osorio Robles, F. (2012). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes: aplicación de procesos industriales a la reutilización de aguas residuales*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado el 30 de Abril de 2021, de <https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/62518>
- Pérez, P., & J. Á. (2019). *Criterios de calidad y gestión del agua potable* (Vol. 0). UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado el 28 de Abril de 2021, de <https://elibro.net/es/ereader/unitechn/111749>
- Richarson , & Castro. (2011). *Cascaras de banana Aplicadas a la fase solida de extraccion solida del cobre y el plomo de aguas del Rio*. Recuperado el 3 de Junio de 2021
- Textos científicos*. (9 de Enero de 2007). Recuperado el 10 de Junio de 2021, de <https://www.textoscientificos.com/quimica/osmosis/inversa>
- Tobajas Vázquez, C. (2018). *Energía solar fotovoltaica*. Cano Pina. Recuperado el 10 de Junio de 2021, de <https://elibro.net/es/lc/unitechn/titulos/45047>
- Tran Khac, S. (2010). *Control avanzado de la conductividad del agua de la Planta de Ósmosis Inversa en el sistema de purificación del agua del Centro de Inmunología Molecular*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. CUJAE. Recuperado el 28 de Abril de 2021, de <https://elibro.net/es/ereader/unitechn/85903>
- Woodard, J. (24 de Marzo de 2020). *Fresh Water Systems*. Obtenido de <https://www.freshwatersystems.com/blogs/blog/what-is-reverse-osmosis>