



Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua potable con Osmosis Inversa

Edwin Arley Vanegas Chavarría

Informe de prácticas para optar al título de Ingeniero Sanitario

Asesor

Alveiro David Salazar, Ingeniero Sanitario

María Lizeth Marín Marín, Administradora en Salud

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería – Escuela Ambiental

Ingeniería sanitaria

Ciudad de Medellín

2023

Cita	(Vanegas Chavarría, 2023)
Referencia	Vanegas Chavarría, E.A. (2023). Diseño de una Planta de Tratamiento con Osmosis Inversa [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes

Decano: Julio Saldarriaga Molina

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Contenido

1. Resumen.....	7
2. Abstract.....	8
3. Introducción.....	9
4. Objetivos.....	11
4.1. Objetivo general.....	11
4.2. Objetivos específicos.....	11
5. Marco teórico.....	11
6. Metodología.....	14
6.1. Diseño filtro marino.....	18
7. Diseño planta de tratamiento de agua potable (PTAP).....	19
7.1. Descripción del Sistema de Tratamiento de Agua Potable.....	19
7.2 Preoxidación y coagulación.....	19
7.3 Floculador hidráulico helicoidal:.....	20
7.4 Sedimentador:.....	21
7.5 Filtro de arena y antracita.....	21
7.6 Tanque de almacenamiento y retro-lavado.....	22
7.7 Desinfección.....	23
8. Parámetros De Diseño.....	23
9. Descripción de las Memorias de Cálculo Planta de Tratamiento Agua Potable.....	25
9.2 Coagulación.....	25
9.3 Dimensionamiento del floculador hidráulico.....	27
9.4 Dimensionamiento del Sedimentador.....	33
9.5 Dimensionamiento del filtro.....	34
9.6 Dimensionamiento de los filtros de carbón activado.....	50

10. Diseño sistema de osmosis inversa.....	51
10.1 Osmosis Inversa.....	51
10.2 Funcionamiento osmosis inversa.....	52
10.3 Componentes de un equipo de osmosis inversa	53
11. Descripción de la memoria de cálculos de la osmosis inversa.....	54
11.1 Datos De Diseño Osmosis Inversa	56
11.2 Introducción de datos de diseño al programa IMSDesing	57
12. Resultados	60
12.1 Avance construcción planta de tratamiento de agua potable con osmosis inversa hotel piénsalo bien.....	61
13. Conclusiones	63
Referencias.....	64

Lista de Figuras

Figura 1. ubicación del proyecto Piénsalo Bien.....	15
Figura 2. Esquema planta de tratamiento.....	16
Figura 3. Dimensionamiento completo del sistema	17
Figura 4. planta del sistema	17
Figura 5. Esquema filtro marino.	18
Figura 6. filtro marino.....	18
Figura 7. Esquema del tratamiento de agua potable.....	19
Figura 8. Dosificadores electromecánicos de químicos.	20
Figura 9. Floculador helicoidal.	20
Figura 10. Sedimentador.....	21

Figura 11. Grava de soporte del lecho y arena de filtración.	21
Figura 12. Tanque de almacenamiento.....	22
Figura 13. Filtros de carbón activado.....	23
Figura 14 Test de jarras con diferentes concentraciones de coagulantes	26
Figura 15. Planta de tratamiento de agua potable con tanque de almacenamiento.....	51
Figura 16 Esquema osmosis inversa.....	52
Figura 17 Esquema osmosis inversa 3 etapas	55
Figura 18 introducción de la caracterización	57
Figura 19 introducción de los parámetros de diseño	58
Figura 20. Elección de la membrana	58
Figura 21. Resultados del calculo.....	59
Figura 22. Diseño sistema de osmosis inversa.....	59
Figura 23. características membrana seleccionada.....	61
Figura 24. dimensiones membrana.....	61
Figura 25. Estructuras de la planta de tratamiento agua potable instalada.....	62

Lista de tablas

Tabla 1. Datos del proyecto.	14
Tabla 2. Características lecho filtrante y medio de soporte	35
Tabla 3. Especificaciones tubería de lavado.	38
Tabla 4. Especificaciones lecho filtrante y medio de soporte.....	50
Tabla 5. Tabla de presiones, tomado de página Hidranautics.....	53
Tabla 6. Caracterización suministrada.....	56
Tabla 7. diseño sistema de osmosis inversa.....	60

1 Resumen

Ante el aumento de la población mundial, también se da un incremento en el uso de los recursos naturales para satisfacer sus necesidades básicas, como servicios públicos, educación y vivienda. Los recursos necesarios para este propósito son cada vez más escasos, a causa de la contaminación que generan las actividades humanas. Uno de estos recursos que se ve mayormente afectado es el agua, siendo indispensable para la vida y el desarrollo de cualquier población. La necesidad de disponer de dicho recurso en cantidad y calidad suficiente ha llevado al desarrollo de nuevas tecnologías que contribuyen a satisfacer la creciente demanda. La osmosis inversa es una de estas tecnologías que se ha presentado como una opción para tratar agua de mar en zonas costeras que no cuentan con acceso a agua potable. En Colombia existen empresas que diseñan y ponen en marcha esta clase de sistemas, una de ellas es la empresa Ingeniería Ambiental Especializada IAE EU, que diseñó una planta de tratamiento de agua potable que cuenta con un sistema de osmosis inversa, el proyecto se desarrolló en el municipio de Coveñas. Este trabajo de prácticas contribuyó a las labores de diseño y montaje de la planta de tratamiento de agua potable con osmosis inversa.

Palabras clave: Planta de tratamiento, potabilización, osmosis inversa.

2. Abstract

Given the increase in the world population, there is also an increase in the use of natural resources to satisfy basic needs, such as public services, education, and housing. The resources necessary for this purpose are increasingly scarce, due to the pollution left by human activities. One of the most affected resources is water, being essential for the life and development of any population. The need to have this resource in sufficient quantity and quality has led to the development of new technologies that can help meet its growing demand. Reverse osmosis is one of these technologies that has been presented as an option to treat seawater in coastal areas that do not have access to drinking water. In Colombia, there are companies that design and implement this type of system, such as the company Ingeniería Ambiental Especializada IAE EU, which is currently designing a drinking water treatment plant that will have a reverse osmosis system, taking place in the municipality of Coveñas. This work contributed to the design and assembly work of the drinking water treatment plant with reverse osmosis.

Keywords: Treatment plant, potabilization, reverse osmosis.

3. Introducción

El crecimiento poblacional hace que la demanda de recursos naturales cada vez sea más alta. Los recursos naturales son necesarios para satisfacer las necesidades humanas como: alimentación, salud y servicios básicos (Naciones Unidas). Uno de estos recursos es el agua, dado que es esencial para la supervivencia y el desarrollo de la sociedad, y a pesar de ser tan importante, en los últimos años se viene observando un deterioro en este recurso por actividades que afectan la calidad y cantidad de esta, entre estas actividades destacan: la deforestación, la degradación de ecosistemas, la contaminación por vertimientos en cuerpos de agua, la expansión urbana, la minería etc. (Quiroga , 2007). Actividades como estas han causado que cada vez sea más difícil abastecer de agua de calidad a toda la población. Actualmente alrededor del mundo se encuentran sin acceso a agua potable cerca de 2200 millones personas (Organización Mundial de la Salud, 2017). Esta situación no solo afecta a lugares de difícil acceso sino también a grandes ciudades. Una investigación de las 500 ciudades más grandes del mundo publicada en 2014 estimó que una de cada cuatro de estas atraviesa una situación de "estrés de agua", lo que según Naciones Unidas sucede cuando los suministros anuales descienden por debajo de 1.700 metros cúbicos por persona (BBC Mundo, 2018), siendo esto más crítico en países áridos y zonas costeras (Naciones Unidas, 2019).

Dado lo anteriormente planteado se evidencia una necesidad de soluciones para afrontar esta problemática, una de estas soluciones es la exploración y desarrollo de nuevas tecnologías. El proceso de osmosis inversa constituye una de estas tecnologías y consiste en un tratamiento que permite concentrar o eliminar contaminación de una solución líquida (Moreno 2011). Las principales aplicaciones de este proceso a nivel industrial, es la desalinización de agua de mar, la obtención de agua pura, el tratamiento de aguas residuales y la potabilización del agua. Este proceso se hace ideal para lugares con grandes costas y sin acceso a agua dulce, como es el caso de Arabia Saudí que es uno de los países pioneros en desalinización de agua del mar. En este país cuatro de cada cinco litros que se consumen provienen de plantas desalinizadoras (AQUAE Fundación). En América Latina este tratamiento a pesar de ser costoso está llamando la atención en países áridos como México, donde se están construyendo proyectos que utilizan este tipo de tecnología (Bnamericas, 2016), (Valenzuela, 2022). Colombia, aunque es uno de los países más

ricos en recursos hídricos, no es ajeno a problemas de acceso a agua potable. Según los datos revelados en el censo 2018 realizado por el DANE, el 13,6 % de la población colombiana no tiene acceso a acueducto y agua potable, estando algunas de estas poblaciones localizadas en zonas costeras o cercanas a agua de mar (DANE, 2018). Esta situación podría ser mitigada con la implementación de plantas de tratamiento de agua que cuenten con sistemas de osmosis inversa. A nivel nacional diversas empresas ofrecen en sus servicios el diseño y montaje de estas clases de plantas como es el caso de la empresa de Ingeniería Ambiental Especializada (IAEEU) con más de 30 años de trayectoria en la fabricación, diseño y montaje de plantas de tratamiento de agua potable, residual e industrial. Actualmente la empresa se encuentra en el diseño y construcción de una planta de tratamiento de agua potable para un proyecto turístico en el municipio de Coveñas que cuenta con un tratamiento convencional de tratamiento de agua (filtración, coagulación, floculación, sedimentación.) más un sistema de osmosis inversa.

La zona donde se está llevando a cabo el proyecto no cuenta con fuentes de abastecimiento de agua dulce, pero si con acceso a agua de mar, por lo que la empresa asumió el reto de diseñar el sistema mencionado para suplir las necesidades de este proyecto. La intención de este trabajo de prácticas fue contribuir a las labores de diseño y montaje para una planta de tratamiento de agua potable con osmosis inversa, con el fin de abastecer un hotel en el municipio de Coveñas, conforme a la normativa vigente. Cabe aclarar que para esto se dispondrá de los equipos y la información necesaria proporcionada por la empresa.

4 objetivos

4.1. Objetivo general

- Contribuir a las labores de diseño y montaje para una planta de tratamiento de agua potable con osmosis inversa, con el fin de abastecer un hotel en el municipio de Coveñas.

4.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de diseño para un sistema de osmosis inversa para obtener agua potable.
- Apoyar el diseño de las unidades necesarias para la planta de potabilización según la normativa colombiana

5. Marco teórico

Normatividad

Actualmente en Colombia en cuanto a vigilancia sobre la calidad del agua se refiere existe una extensa normatividad, sin embargo, entre las principales normas destacan el decreto 1575 que establece el sistema de control y calidad del agua, y la resolución 2115 del 2007, a través de los cual se define las características, instrumentos y límites máximos en parámetros como turbiedad, color y pH.

La Resolución 0330 de 2017, por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico, la cual brinda recomendaciones para la formulación, diseño y construcción de sistemas para la obtención de agua potable. La implementación de estas normas previene que se presenten consecuencias negativas sobre la salud debido a la producción de agua para consumo humano.

Desalinización

La desalinización es un proceso que permite obtener agua potable a partir de agua con alta salinidad. Para llevar a cabo este proceso existen diversas tecnologías como los métodos de evaporación-condensación, como la destilación solar, la destilación en múltiples etapas y la compresión mecánica de vapor; los métodos de separación por membranas, como la destilación por membrana, osmosis inversa, nanofiltración y otros métodos como el intercambio catiónico y la electrodiálisis (Grueso et al., 2019). Todos estos métodos varían en costos, impacto ambiental, calidad del producto, energía consumida, entre otras más (Guadalupe, 2018).

Osmosis inversa

La osmosis es el fenómeno por el cual el agua pasa a través de una membrana semipermeable, pasando de una disolución diluida a una concentrada para lograr un equilibrio iónico entre ambos lados de la membrana. En la naturaleza, este fenómeno se manifiesta en las paredes celulares, que regulan la hidratación de la célula y el intercambio iónico entre la célula y el espacio intersticial. En Colombia este proceso podría ser aplicable en ciudades en donde se presentan problemas de abastecimiento de agua como en Sucre, uno de los departamentos más afectados por la falta del recurso hídrico (**Lieberman, 2015**).

Potabilización

La potabilización del agua consiste en la eliminación de compuestos químicos mediante floculantes y filtración, y desinfección con cloro (Idrovo, 2010), el agua producto de estos procesos se considera potable, que es aquella que cumple con las características físicas, químicas y microbiológicas que la hace apta para el consumo humano (Guaña & Moncayo, 2015). En Colombia se debe cumplir con el Decreto 1575 de 2007 el cual establece el control de la calidad del agua para consumo humano, prevención y control de los riesgos para la salud humana, asociados al consumo de agua (ministro de Ambiente, 2007) y la resolución 2115 del 2007, la cual señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua de consumo humano (ministerio de vivienda, 2001) En las plantas de potabilización de aguas se cuentan con

tratamientos físicos y químicos, con los que se busca la eliminación de turbiedad, color, materia orgánica en suspensión, eliminación de agentes químicos contaminantes como hierro, manganeso, flúor y finalizando con el proceso de desinfección con el uso de agentes desinfectantes de cloro y/o ozono (Yepes, Rojas, 2017). Estos tratamientos en plantas convencionales se encuentran divididos en etapas que son coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección.

Coagulación – floculación

El proceso de coagulación floculación es usado comúnmente en la potabilización de aguas por su bajo costo. El proceso puede ser dividido en dos fases, Coagulación donde se desestabiliza una suspensión o suspensión coloidal que sucede al añadir químicos, normalmente sales de aluminio o hierro (conocidos como Agentes Coagulantes) y Floculación donde se añaden partículas inestables de tal manera que interactúen y formen conglomerados de mayor tamaño, los cuales pueden ser separados por sedimentación (Solís, 2017).

Filtración

La filtración del agua es un procedimiento que permite eliminar del agua sólidos suspendidos. Esto permite eliminar los contaminantes sólidos insolubles en aguas.

Desinfección

La desinfección es un proceso de oxidación que conlleva a la desactivación o eliminación de microorganismos presentes en el agua, sean o no patógenos, con el objeto de prevenir epidemias de infecciones gastrointestinales como cólera, tifoidea, disentería, entre otras. La desinfección constituye la etapa final de la potabilización del agua (Conagua, 2007).

Tren de tratamiento

Se entiende como tren de tratamiento a la combinación específica de procesos unitarios o la combinación de sistemas aplicados para alcanzar un objetivo específico de

tratamiento o al ordenamiento de los diferentes procesos unitarios que permitan obtener agua segura para consumo humano a partir de aguas crudas. Para el diseño de una planta de potabilización, es necesario conocer las características fisicoquímicas y biológicas del agua, así como los procesos necesarios para modificarla (Moeller, 2004).

6. Metodología

Datos generales del proyecto

A continuación, se describen las principales características del proyecto *Piénsalo bien*:

Tabla 1. Datos del proyecto.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Nombre del proyecto	Piénsalo Bien
Localización	Municipio de Coveñas, Departamento de Sucre
Número de cabañas	7
Número de bungalow	12
Número de habitaciones	47
Número de personas	199
Dotación*	500 L/habitación-día

*Dotación tomada según la Tabla 6 de la Norma Técnica Colombiana 1500.

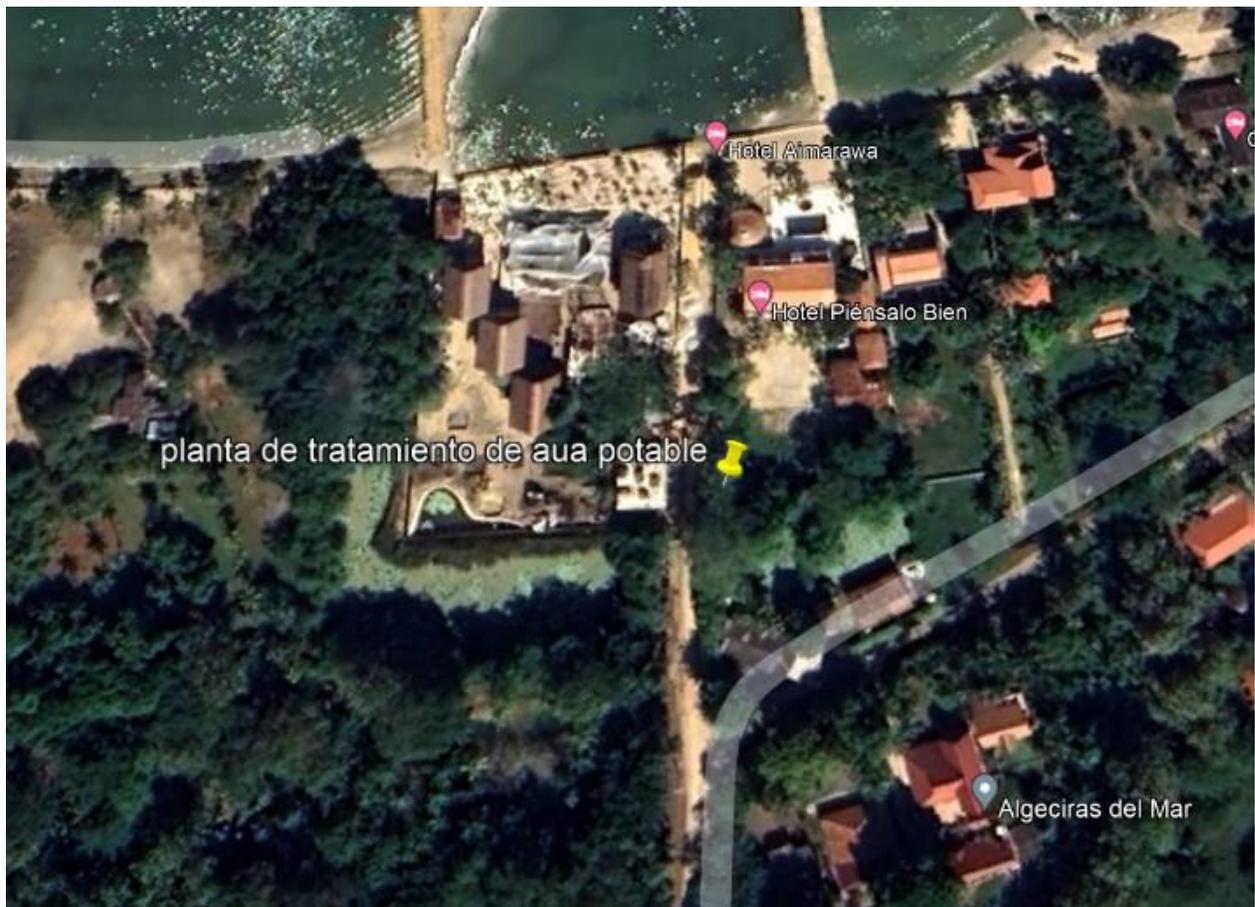


Figura 1. Ubicación del proyecto Piénsalo Bien.

Fuente: Google Earth 2022

Se eligió este tipo de tratamiento porque no se encontraron en la zona fuentes subterráneas o superficiales de agua dulce donde se puedan abastecer y el acueducto del municipio no cuenta con la cobertura hasta el hotel “Piénsalo Bien”.

El sistema consistió en una captación de agua de mar del mar caribe, a través de un filtro marino. Por bombeo se conducirá el agua la planta de potabilización de agua (PTAP) de diseño modular, que contiene los procesos coagulación, floculación, sedimentación y filtración, seguido a esto se llevará a un filtro de carbón activado donde se le mejorará color, olor y sabor.

El siguiente paso será la conducción de agua a un sistema de osmosis inversa compuesto por membranas capaces de retirar hasta el 99 % de la salinidad del agua de mar y así obteniendo agua desmineralizada que por último será llevada a tanques de almacenamiento.

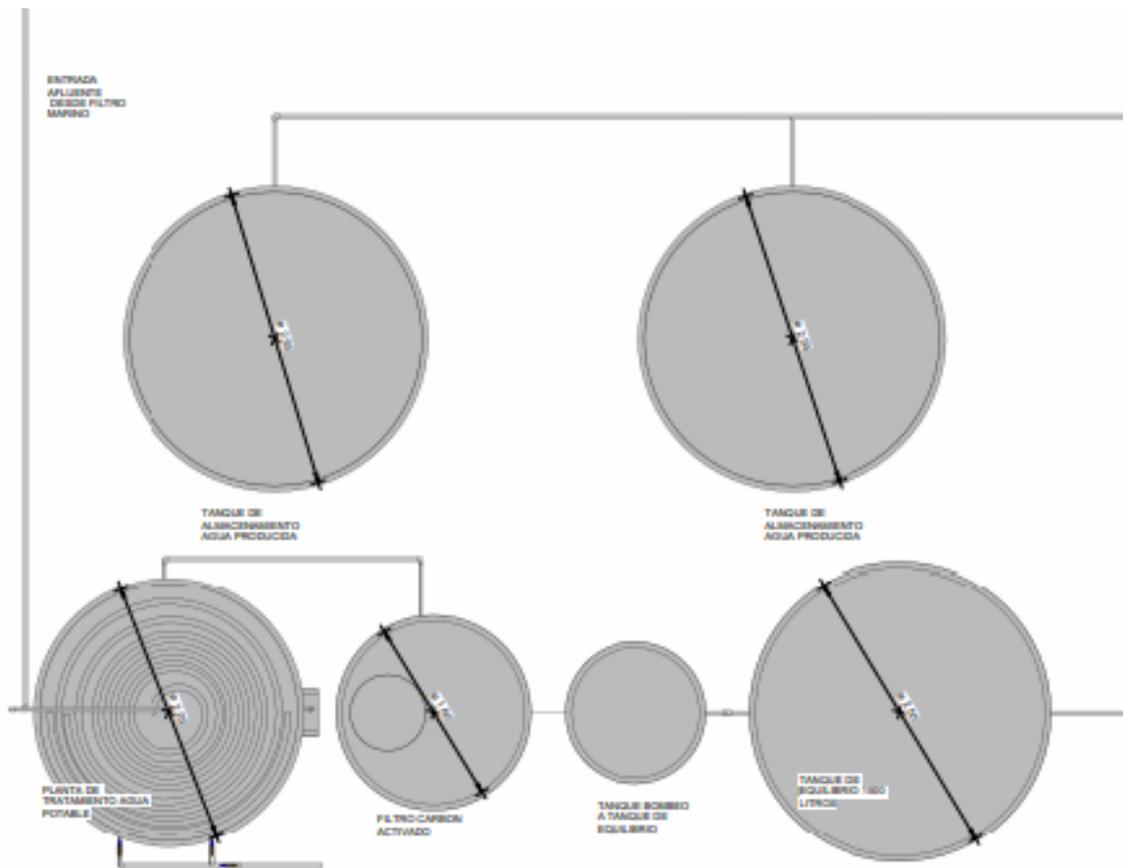


Figura 2. Esquema planta de tratamiento.

Fuente: Elaboración propia

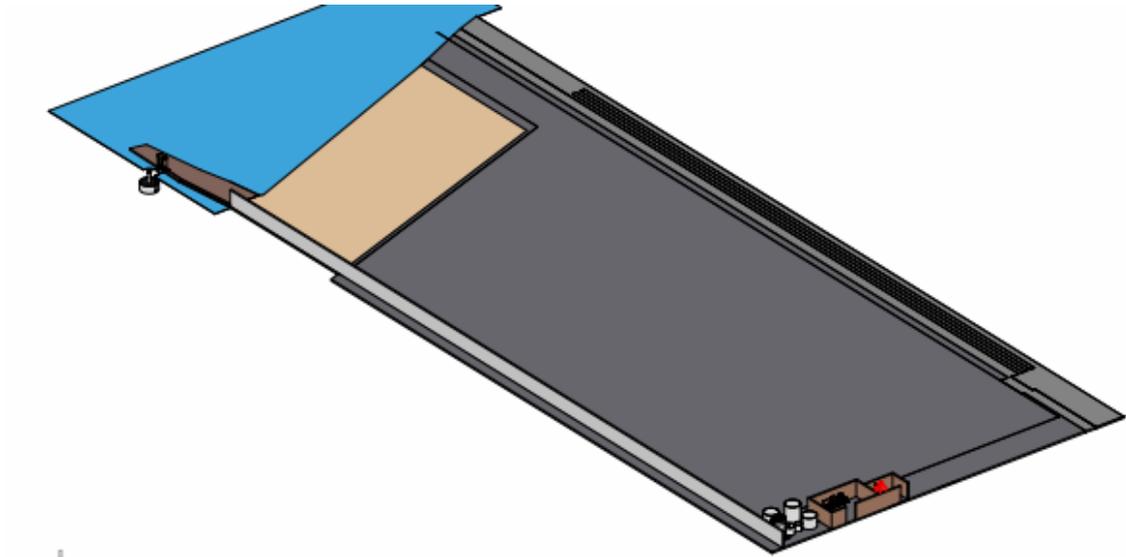


Figura 3. Dimensionamiento completo del sistema

Fuente: Elaboración propia

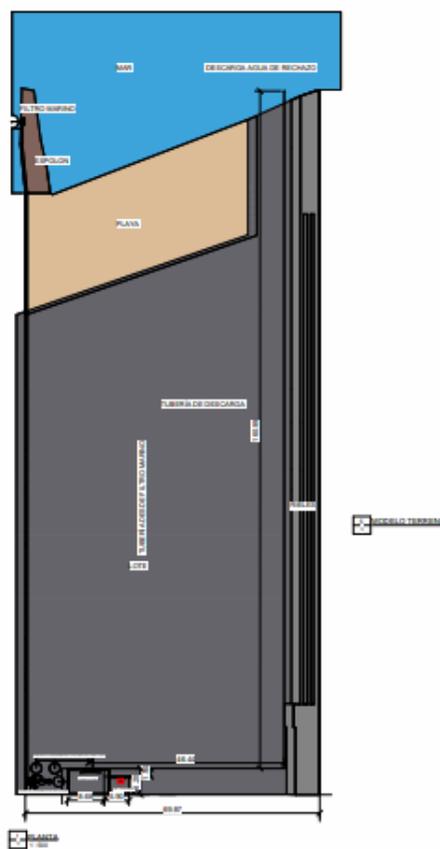


Figura 4. Planta del sistema

Fuente: Elaboración propia

6.1. Diseño filtro marino

El filtro marino será la estructura encargada de conducir agua de mar proveniente del mar caribe, por bombeo a la planta de tratamiento, y retirar sólidos gruesos como algas, basuras o cualquier clase de residuo grueso. Esta estructura estará constituida por agregados de distinto tamaño, una bomba lapicero y la conducción hasta la planta de tratamiento, , por lo que solo se incluye imágenes ilustrativas.

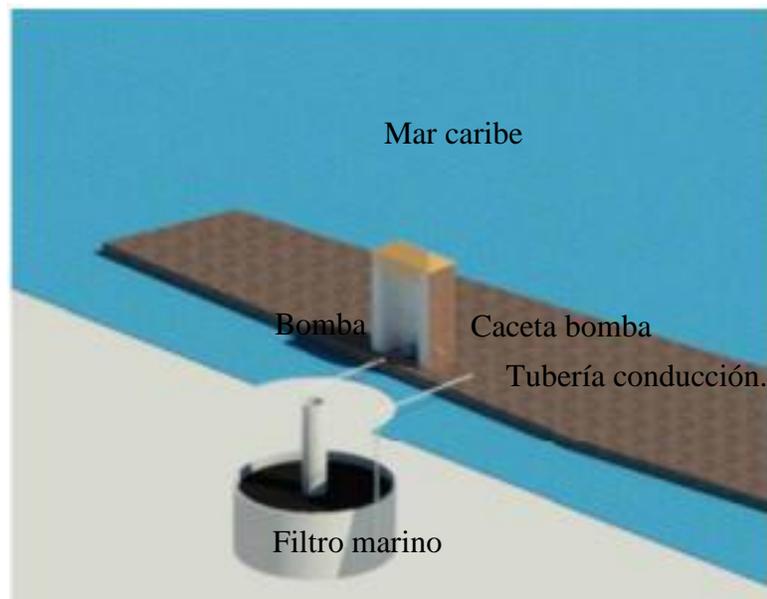


Figura 5. Esquema filtro marino.

Fuente: Elaboración propia

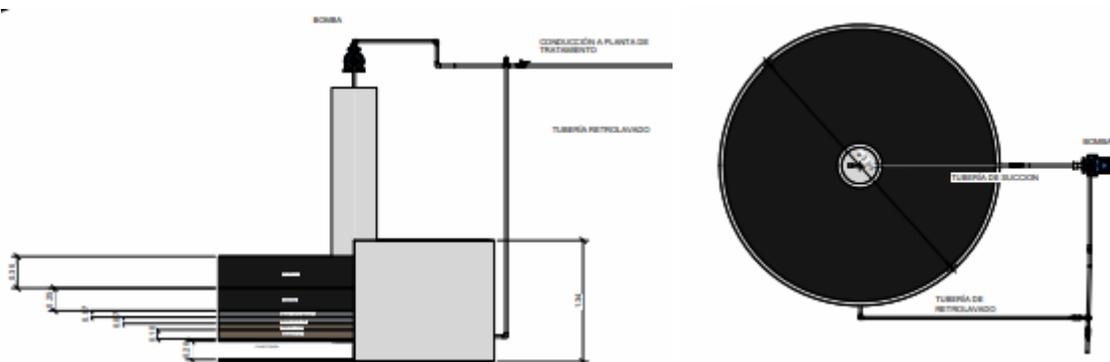


Figura 6. Filtro marino.

Fuente: Elaboración propia

7. Diseño planta de tratamiento de agua potable (PTAP)

7.1. Descripción del Sistema de Tratamiento de Agua Potable

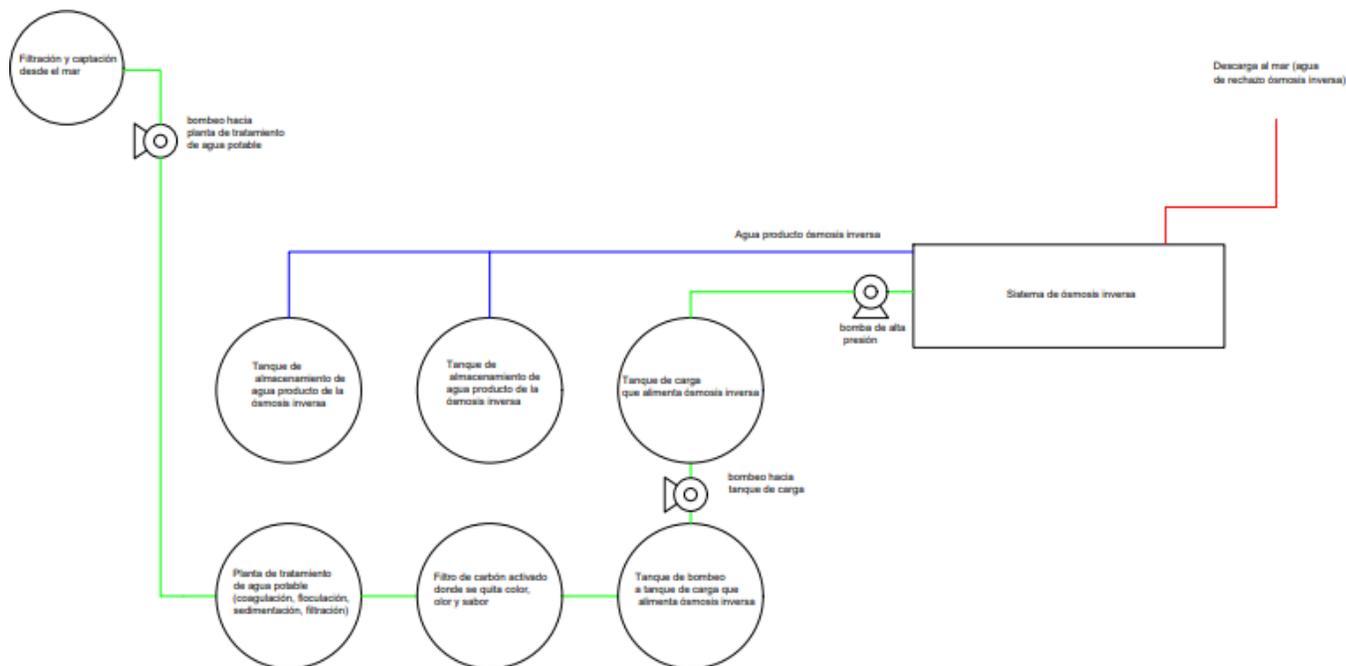
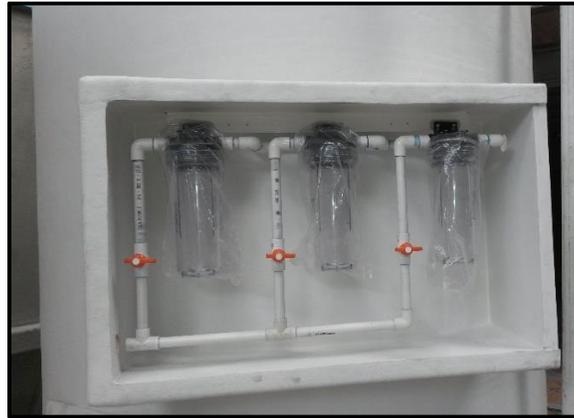


Figura 7. Esquema del tratamiento de agua potable.

Fuente: Elaboración propia

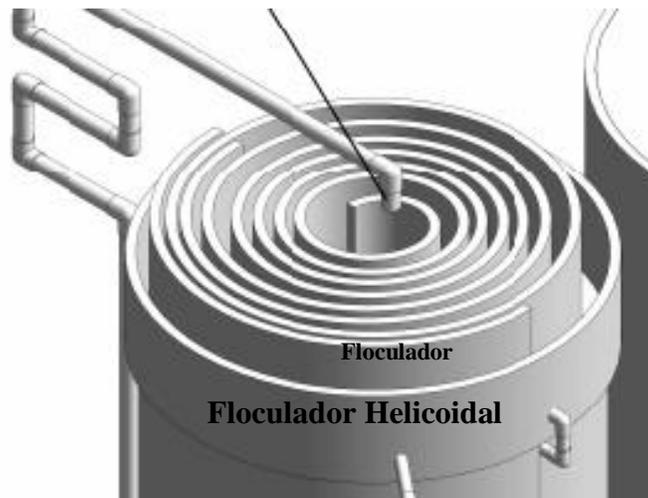
La planta de agua potable del proyecto Piénsalo Bien estará conformada por las siguientes unidades de tratamiento, las cuales cumplen con la Resolución 0330 de 2017:

7.2 Preoxidación y coagulación: Permite eliminar del agua los elementos o sustancias que por sus características químicas o microbiológicas puedan ser afines al oxígeno o generadoras de problemas infecciosos, en este caso se tiene la incorporación de cloro mediante un dosificador electromecánico. Adicionalmente se adicionará sulfato de Aluminio como coagulante.



*Figura 8. Dosificadores electromecánicos de químicos
.Fuente: Elaboración propia*

7.3 Floculador hidráulico helicoidal: Estructura de forma circular dotada de tabiques de tipo caracol conectados e interpuestos de manera tal que obligan al agua a realizar un movimiento de helicoidal provocando que las partículas formen grumos llamados flocs. Este elemento se instala en la parte superior de la planta de tratamiento de agua potable.



*Figura 9. Floculador helicoidal.
.Fuente: Elaboración propia*

7.4 Sedimentador: Consiste en un tanque circular donde ingresa el agua con un movimiento tangencial, que garantiza el aumento del recorrido de los flóculos en la búsqueda de su descenso hasta alcanzar el fondo de la estructura. Por último, el agua libre de partículas es recolectada en una tubería perforada que la lleva al proceso de filtración.



Figura 10. Sedimentador.

Fuente: Elaboración propia

7.5 Filtro de arena y antracita: Se encuentra situado en uno de los costados de la estructura cilíndrica vertical. El agua proveniente de la unidad de sedimentación ingresa al filtro por la parte superior a través de una flauta de distribución, descende a través del lecho mixto (grava y antracita) hacia el falso fondo de la estructura dejando en la parte superior los flóculos no retenidos en la unidad de sedimentación.



Figura 11. Grava de soporte del lecho y arena de filtración.

Fuente: Elaboración propia

7.6 Tanque de almacenamiento y retro-lavado: Se localiza en el costado opuesto al filtro. El agua proveniente del filtro se va depositando en este compartimiento hasta alcanzar una altura de rebose. Cuando se está produciendo y almacenando agua, no se presenta rebose. En el momento que el filtro ha cumplido su carrera de filtración (ha llegado a su punto de colmatación), se realiza un retro-lavado, abriendo una válvula que desocupa rápidamente la parte superior del filtro, el agua contenida en el tanque de almacenamiento se devuelve por el falso fondo fluidizando el lecho de filtración eliminando las partículas de suciedad atrapadas durante el proceso de filtración.

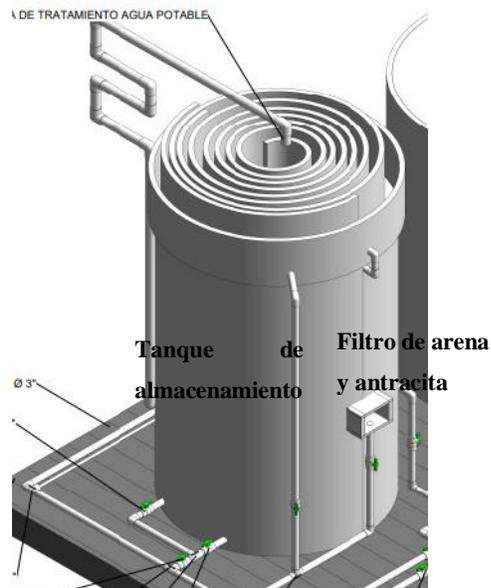


Figura 12. Tanque de almacenamiento

Fuente: Elaboración propia

El filtro de carbón activado se utiliza para retirar las sustancias orgánicas tóxicas y la dureza del agua. El sistema de tratamiento se dota de esta estructura adicional, la cual remueve del agua las sustancias que dan mal aspecto tales como el olor, el color y el sabor, que en un sistema de potabilización convencional es imposible retenerlos.



Figura 13. Filtros de carbón activado

Fuente: Elaboración propia

7.7 Desinfección: una vez el agua ha pasado por los filtros de carbón activado, se dosifica una concentración de cloro entre 2 a 2,5 mg/L, garantizando la eliminación de cualquier microorganismo que pudiera haber pasado por los procesos previos de tratamiento y protege el agua del ataque de ellos durante los periodos de almacenamiento. En este proceso se debe verificar que el agua, dentro de los tanques de distribución, cuenten por lo menos con 2 mg/L de cloro libre y que en el último punto de la red se detecte un mínimo de 0,5 mg/L, para este proyecto esta dosis será suministrada después del proceso de osmosis inversa.

8. Parámetros De Diseño

Teniendo en cuenta las exigencias del proyecto, se plantea una planta de tratamiento para la potabilización del agua proveniente del mar caribe.

Población de Diseño: El Proyecto Piénsalo Bien estará constituido por 7 cabañas con 5 habitaciones cada una y 12 bungalow que equivale a una habitación cada uno, para lo cual se asumió una población de hasta 5 personas por habitación y 2 personas por bungalow respectivamente, resultando una población de diseño de 199 personas.

Dotación neta

El proyecto Piénsalo Bien requiere abastecer de agua potable a sus instalaciones donde el uso será doméstico residencial. Para la determinación del caudal de diseño se tomó como consideración un consumo de 500 L/habitación-día para “hoteles tipo a” según la Tabla 6 de la Norma Técnica Colombiana 1500.

Dotación bruta

La dotación bruta para la planta de tratamiento de agua potable se calcula con la siguiente ecuación:

$$dotación_{bruta} = \frac{dotación_{neta}}{1 - \% p}$$

Donde:

dbruta: dotación bruta

dneta: dotación neta

% p: pérdidas máximas admisibles (Según el Artículo 43 de la Resolución 0330 de 2017, el porcentaje de pérdidas máximas admisibles no deberá superar el 25 %).

Se halló la dotación bruta asumiendo un porcentaje de pérdidas del 25%:

$$dotación_{bruta} = \frac{500 \frac{L}{habitación - día}}{1 - \frac{25}{100}} = 666,67 \frac{L}{habitación - día}$$

Caudal de diseño

Para un sistema de tratamiento de agua potable el caudal aplicado es el caudal máximo diario (QMD), que es el resultado de multiplicar el caudal medio diario por un factor K1, el cual en ningún caso serán superior a 1,3:

$$Qmd = \frac{\text{Habitaciones} * \text{dotación}_{bruta}}{86400}$$

Donde:

Qmd: Caudal Medio Diario.

H: número de habitaciones.

dneta: dotación neta.

$$QMD = Qmd * K_1$$

Donde:

QMD: Caudal Máximo Diario

K1: Factor de mayoración igual a 1,3

Por lo tanto, el caudal máximo diario de la planta de tratamiento de agua potable es el siguiente:

$$QMD = \frac{\text{Habitaciones} * \text{dotación}_{bruta} * K_1}{86400}$$

$$QMD = \frac{47 \text{ habitaciones} * 666,67 \frac{L}{\text{habitación} - \text{día}} * 1,3}{86400} = 0,47 \frac{L}{s}$$

9. Descripción de las Memorias de Cálculo Planta de Tratamiento Agua Potable

Las memorias de cálculo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable del proyecto Piénsalo Bien se basaron en la Resolución 0330 del 2017.

9.2 Coagulación

El objetivo principal de la coagulación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, con el fin de favorecer su aglomeración. El proceso de coagulación

en la planta de tratamiento se da en la tubería de entrada hasta llegar a las bandejas de aireación, donde se produce una mezcla rápida. El coagulante utilizado es sulfato de aluminio, el cual permite la aglomeración de las partículas. Es importante resaltar que la correcta dosificación del coagulante es la base fundamental para un adecuado funcionamiento de cada una de las estructuras que conforman un sistema de tratamiento de agua potable.

Mediante los test de jarras se determinaron las dosis óptimas de sulfato de aluminio, los cuales garantizan un perfecto proceso de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección final del agua a consumir.

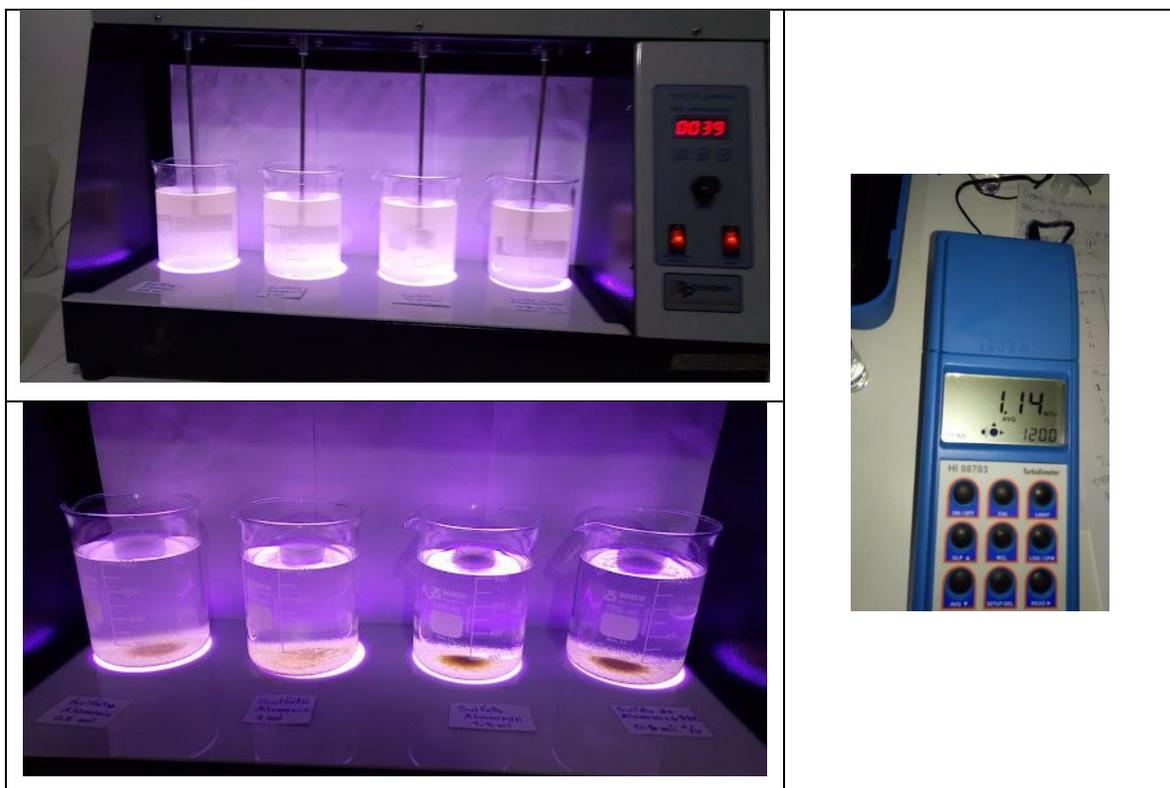


Figura 14 Test de jarras con diferentes concentraciones de coagulantes

Fuente: Elaboración propia

La planta de tratamiento del proyecto Piénsalo Bien, contará con dos dosificadores electromecánicos: uno para el coagulante y otro para el agente oxidante, dichos dosificadores estarán debidamente graduados para inyectar las dosis requeridas.

Los químicos son preparados con una concentración de 3000 mg/L aproximadamente, los cuales son entregados a la tubería entrante con las bombas dosificadoras. Las bombas inicialmente se gradúan para trabajar al 50% del caudal de fabricación, pero la cantidad de químico entregado puede variar.

Tener presente que los resultados obtenidos sólo aplican para la muestra evaluada en el momento, por tanto, durante la etapa operativa de la planta de agua potable, las concentraciones de coagulantes deberán ser ajustados al igual que las cantidades requeridas de cloro ya que éstas cambiarán dependiendo del clima o de las condiciones que se puedan presentar aguas arriba del punto de captación.

9.3 Dimensionamiento del floculador hidráulico

El dimensionamiento del floculador se realizó por medio de las siguientes ecuaciones:

- Tiempo de retención (T): 10 min
- Velocidad promedio para partículas floculentas, (Vp): 0,15 m/s

El volumen requerido para la estructura es:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= \text{Caudal} * \text{TRH} \\ \text{Volumen} &= 0,47 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 10 \text{ min} = 0,28 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

La estructura circular tiene un diámetro de 1 m por lo que la altura útil de la misma es:

$$\begin{aligned} \text{Altura útil} &= \frac{V}{A} \\ \text{Altura útil} &= \frac{0,14 \text{ m}^3}{\pi \left(\frac{0,7 \text{ m}}{2}\right)^2} = 0,35 \text{ m} \end{aligned}$$

Según el Artículo 112 de la Resolución 0330 de 2017, los gradientes de velocidad de mezcla deben estar entre 10 s^{-1} y 70 s^{-1} , con un gradiente medio de 40 s^{-1} . En ese sentido, se escogen los siguientes gradientes:

- Zona 1: $G1 = 60 \text{ s}^{-1}$
- Zona 2: $G2 = 40 \text{ s}^{-1}$
- Zona 3: $G3 = 20 \text{ s}^{-1}$

Para obtener los anteriores gradientes se requieren las siguientes condiciones de velocidad de flujo y tiempo de retención:

- Zona 1: $V1 = 0,110 \text{ m/s}$; TRH= 3 min
- Zona 2: $V2 = 0,088 \text{ m/s}$; TRH= 3 min
- Zona 3: $V3 = 0,06 \text{ m/s}$; TRH= 4 min

Con el tiempo de retención hidráulico de cada zona y su velocidad, se calcula la longitud para cada zona, como si se tratase de un canal:

$$L_i = V_i * T_i$$

Donde

L_i : Longitud de la zona de mezcla.

V_i : Velocidad de la zona de mezcla.

T_i : Tiempo de retención hidráulica en la zona de mezcla.

$$L_1 = 0,110 \frac{m}{s} * 3 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 20 \text{ m}$$

$$L_2 = 0,088 \frac{m}{s} * 3 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 16 \text{ m}$$

$$L_3 = 0,060 \frac{m}{s} * 4 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 14 \text{ m}$$

Se calcula el área transversal “A” de cada zona, usando la ecuación de continuidad:

$$A_i = \frac{Q}{V_i}$$

Donde

A_i : Área transversal de la zona de mezcla.

V_i : Velocidad de la zona de mezcla.

Q : Caudal.

$$A_1 = \frac{0,47 \frac{L}{s} * \frac{1 m^3}{1000L}}{0,110 \frac{m}{s}} = 0,0043 m^2$$

$$A_2 = \frac{0,47 \frac{L}{s} * \frac{1 m^3}{1000L}}{0,088 \frac{m}{s}} = 0,0053 m^2$$

$$A_3 = \frac{0,47 \frac{L}{s} * \frac{1 m^3}{1000L}}{0,060 \frac{m}{s}} = 0,0078 m^2$$

Las placas usadas determinan la altura del floculador, si se deja un borde libre (para que la placa no quede sumergida), las placas de 35 cm de altura quedarán con una profundidad útil de 28 cm; el ancho de los canales o la separación entre las placas “b” se calcula con la siguiente ecuación:

$$b_i = \frac{A_i}{Hu}$$

Donde

b_i : Separación entre placas por zona de mezcla.

A_i : Área transversal de la zona de mezcla.

Hu : profundidad útil del floculador.

$$b_1 = \frac{0,0045 \text{ m}^2}{0,28 \text{ m}} = 0,016 \text{ m}$$

$$b_2 = \frac{0,0057 \text{ m}^2}{0,28 \text{ m}} = 0,02 \text{ m}$$

$$b_3 = \frac{0,0083 \text{ m}^2}{0,28 \text{ m}} = 0,030 \text{ m}$$

Por facilidad constructiva y operativa se aumentó la separación entre las placas a 5 cm, 8 cm y 10 cm, respectivamente.

Se verifica la velocidad de giro para cada una de las zonas, de modo que en ningún caso exceda los 0,15 m/s para evitar la ruptura del floc con la siguiente ecuación:

$$Vg_i = \frac{Q}{b_i * Hu}$$

Donde:

Vg_i : Velocidad de giro por zona de mezcla.

A_i : Área transversal de la zona de mezcla.

H_u : profundidad útil del floculador.

Q : Caudal.

$$Vg_1 = \frac{0,47 \frac{L}{s} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 L}}{0,05 \text{ m} * 0,28 \text{ m}} = 0,034 \frac{m}{s}$$

$$Vg_2 = \frac{0,47 \frac{L}{s} * \frac{1 m^3}{1000 L}}{0,08 m * 0,28 m} = 0,021 \frac{m}{s}$$

$$Vg_3 = \frac{0,47 \frac{L}{s} * \frac{1 m^3}{1000 L}}{0,10 m * 0,28 m} = 0,017 \frac{m}{s}$$

Se calculan las pérdidas de energía en cada una de las zonas de mezcla de la siguiente manera:

$$H_i = k * L_i * \frac{Vi^2}{2g}$$

Donde:

Hi: Perdidas por zona de mezcla.

K: Factor de forma (3,0).

Li: longitud de la zona de mezcla.

Vi: Velocidad en la zona de mezcla.

$$H_1 = 3 * 20 m * \frac{\left(0,11 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,04 m$$

$$H_2 = 3 * 16 m * \frac{\left(0,088 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,02 m$$

$$H_3 = 3 * 14 m * \frac{\left(0,060 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,007 m$$

Se calcula las pérdidas por fricción entre las placas en cada una de las zonas de mezcla de la siguiente manera:

$$h_i = \left(\frac{n * V_i}{Rh_i^{\frac{2}{3}}} \right)^2 * L_i$$

Donde:

hi: Pérdidas por fricción en la zona de mezcla.

Rhi: Radio hidráulico en la zona de mezcla.

n: Coeficiente de rugosidad de Manning (0,011).

Li: longitud de la zona de mezcla.

Vi: Velocidad en la zona de mezcla.

$$h_1 = \left(\frac{0,011 * 0,110 \frac{m}{s}}{\left(\frac{0,0043 m^2}{(0,05 m + (2 * 0,28 m))^{\frac{2}{3}}} \right)^{\frac{2}{3}}} \right)^2 * 20 m = 0,02 m$$

$$h_2 = \left(\frac{0,011 * 0,088 \frac{m}{s}}{\left(\frac{0,0053 m^2}{(0,08 m + (2 * 0,28 m))^{\frac{2}{3}}} \right)^{\frac{2}{3}}} \right)^2 * 16 m = 0,008 m$$

$$h_3 = \left(\frac{0,011 * 0,060 \frac{m}{s}}{\left(\frac{0,0078 m^2}{(0,10 m + (2 * 0,28 m))^{\frac{2}{3}}} \right)^{\frac{2}{3}}} \right)^2 * 14 m = 0,002 m$$

Se calculan las pérdidas totales por zona de mezcla como la suma entre las pérdidas por energía y las pérdidas por fricción, con ese valor se verifica el gradiente de mezcla a través de la siguiente ecuación:

$$G_i = \sqrt{\frac{g * Ht_i}{\mu * T_i}}$$

Donde

G_i : Gradiente de mezcla por zona.

Ht_i : Pérdidas totales por zona de mezcla.

μ : Viscosidad dinámica del agua.

T_i : Tiempo de retención en la zona de mezcla.

$$G_1 = \sqrt{\frac{9,81 \frac{m}{s^2} * 0,06 m}{1,0614 * 10^{-6} \frac{N-s}{m^3} * 3 min * \frac{60 s}{1 min}}} = 55,5 s^{-1}$$

$$G_2 = \sqrt{\frac{9,81 \frac{m}{s^2} * 0,028 m}{1,0614 * 10^{-6} \frac{N-s}{m^3} * 3 min * \frac{60 s}{1 min}}} = 37,92 s^{-1}$$

$$G_3 = \sqrt{\frac{9,81 \frac{m}{s^2} * 0,009 m}{1,0614 * 10^{-6} \frac{N-s}{m^3} * 4 min * \frac{60 s}{1 min}}} = 18,62 s^{-1}$$

9.4 Dimensionamiento del Sedimentador

El dimensionamiento del sedimentador se realizó por medio de las siguientes consideraciones y ecuaciones:

- Diámetro: 1,45 m.
- Altura útil: 0,25 m (más 10 cm de borde libre).

El volumen de la estructura es:

$$Volumen = \pi(r)^2h$$

$$Volumen = \pi \left(\frac{1,45 \text{ m}}{2} \right)^2 * 0,25 \text{ m} = 0,41 \text{ m}^3$$

El tiempo de retención hidráulico de la estructura está dado por:

$$TRH = \frac{Volumen}{Q}$$

$$TRH = \frac{0,41 \text{ m}^3}{\frac{0,47 \text{ m}^3}{1000 \text{ s}}} = 878 \text{ s} (14,64 \text{ minutos})$$

La carga hidráulica superficial es:

$$Carga \text{ Hidráulica Superficial} = \frac{Q}{\text{Área}}$$

$$Carga \text{ Hidráulica Superficial} = \frac{\frac{0,47 \text{ m}^3}{1000 \text{ s}}}{\pi \left(\frac{1,45 \text{ m}}{2} \right)^2} = 0,000284 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ s}} \left(24,59 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ d}} \right)$$

9.5 Dimensionamiento del filtro

En la Tabla 2 se presentan las características del lecho filtrante y medio de soporte de la unidad de filtración cuyas especificaciones fueron proporcionadas por el proveedor (Arenas Industriales Ltda).

Tabla 2. Características lecho filtrante y medio de soporte

Lecho filtrante	Antracita	
Tamaño efectivo (D10)	0,80	mm
Densidad específica (ρ)	1.650	g/cm ³
Coefficiente de uniformidad (Cu)	1.600	
Porosidad (ϵ)	50	%
Profundidad del lecho (L)	0,35	m
Factor de forma (Ψ)	0,70	
Lecho filtrante	Arena	
Tamaño efectivo (D10)	0,50	mm
Densidad específica (ρ)	2.650	g/cm ³
Coefficiente de uniformidad (Cu)	1.600	
Porosidad (ϵ)	40	%
Profundidad del lecho (L)	0,15	m
Factor de forma (Ψ)	0,80	
Falso fondo*	Placa perforada	
Material de soporte	Grava	
Material de soporte 1 (Fondo)	2,0	pulg
Espesor material de soporte 1 (Fondo)	9	cm
Material de soporte 2	1,50	pulg
Espesor material de soporte 2	7	cm
Material de soporte 3	0,375	pulg
Espesor material de soporte 3	7	cm
Material de soporte 4	0,1875	pulg
Espesor material de soporte 4	7	cm

*El falso fondo será una placa de fibra de vidrio, perforada con orificios de 1" a una distancia de 0,10 m uno de otro.

El número de filtros necesarios está dado por:

$$N = 0,044 * \sqrt{Q_{diseño}}$$

Donde:

N: Número teórico de filtros requeridos

Q_{diseño}: Caudal de diseño del sistema de filtración (m³/día)

$$N = 0,44 * \sqrt{0,47 \frac{l}{s} * \frac{1 m^3}{1000 l} * \frac{86400 s}{dia}} = 0,28$$

Se plantea una unidad de filtración con las características mencionadas en la tabla anterior.

El caudal de filtración está dado por:

$$Q_f = \frac{Q_{diseño}}{N}$$

Donde:

Q_f: Caudal de Filtración (m³/s).

Q_{diseño}: Caudal de diseño del sistema de filtración (m³/s).

N: Número de filtros.

$$Q_f = \frac{0,00047 \frac{m^3}{s}}{1} = 0,00047 \frac{m^3}{s}$$

Se calcula el área de filtración requerida por el sistema de filtrado así:

$$A = \frac{Q_{diseño}}{V}$$

Donde:

A: Área requerida por el sistema de filtrado (m²)

Q_{diseño}: Caudal de diseño sistema de filtración (m³/día)

V: Tasa de filtración (m³/m²-día)

$$A = \frac{0,00047 \frac{m^3}{s} * 86400 \frac{s}{día}}{\frac{180 m^3}{m^2 - día}} = 0,23 m^2$$

Para el sistema de filtración se plantea una unidad circular autolavante, con un diámetro de diseño de 1,3 metros y 3 metros de alto.

$$Af' = \frac{\pi * \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2}{2}$$

Donde:

Af': Área real de filtración (m²)

∅: Diámetro de la estructura (m)

$$Af' = \frac{\pi * \left(\frac{1,3 m}{2}\right)^2}{2} = 0,66 m^2$$

Dada esta nueva área de filtración, se hace necesario recalcular la tasa de filtración de la siguiente manera:

$$V' = \frac{Qf}{Af'}$$

Donde:

V': Tasa real de filtración (m³/m²-día)

Af': Área real por filtro (m²)

Qf: Caudal de Filtración (m³/día)

$$V' = \frac{0,00047 \frac{m^3}{s} * 86400 \frac{s}{día}}{0,66 m^2} = 61,53 \frac{m^3}{m^2 - día}$$

Este valor de carga aun es admisible por la Resolución 0330 de 2017 la cual establece el valor límite de carga en $250 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$.

- Dimensionamiento del sistema autolavante

El dimensionamiento del sistema autolavante se realizó teniendo en cuenta la consideración de una tubería de lavado de 3 pulgadas:

Tabla 3. Especificaciones tubería de lavado.

Parámetro	Valor	Unidades
Diámetro tubería de lavado	3	pulg
Diámetro real tubería de lavado	76,20	mm
Área tubería de lavado (A_t)	$4,56 \times 10^{-3}$	m^2

Se calcula el caudal de lavado de la siguiente manera:

$$Q_L = A_t * C_d * \sqrt{2 * g * h}$$

Donde:

Q_L : Caudal de lavado (m^3/min)

A_t : Área tubería de lavado (m^2)

C_d : Coeficiente de descarga orificios circulares (0,6)

g : Constante gravitacional (9.81 m/s^2)

h : Altura lámina de agua (2,8 m desde el tanque de retro-lavado)

$$Q_L = 4,56 \times 10^{-3} \text{ m}^2 * 0,6 * \sqrt{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 2,80 \text{ m}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 1,22 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

Se determina la velocidad de lavado:

$$V_L = \frac{Q_L}{A_{f'}}$$

Donde:

VL: Velocidad de lavado (m/min)

QL: Caudal de lavado (m³/min)

Af': Área real por filtro (m²)

$$V_L = \frac{1,22 \frac{m^3}{min}}{0,66 m^2} = 1,85 \frac{m}{min}$$

La expansión del lecho filtrante se calcula de la siguiente manera:

- Antracita

$$L_e = L * (1 - \varepsilon) * \sum \left(\frac{\varepsilon_i}{1 - F_{ei}} \right)$$

Donde:

L_e: Profundidad del lecho expandido (m)

L: Profundidad del lecho de antracita (m)

E: Porosidad de la antracita (%)

$$\sum \left(\frac{\varepsilon_i}{1 - F_{ei}} \right) \text{ Este último tomado de granulometria} = 2,628$$

$$L_e = 0,35 m * (1 - 0,5) * 2,628 = 0,46 m$$

Se calcula el porcentaje de expansión de la antracita como:

$$\% \text{ Expansión antracita} = \frac{(L_e - L)}{L} * 100 \%$$

Donde:

%Expansión antracita: Porcentaje de expansión (%)

Le: Profundidad del lecho de antracita expandido (m)

L: Profundidad del lecho de antracita (m)

$$\% \text{Expansión antracita} = \frac{(0,46 \text{ m} - 0,35 \text{ m})}{0,35 \text{ m}} * 100\% = 31,4\%$$

- Arena

$$L_e = L * (1 - \varepsilon) * \sum \left(\frac{\varepsilon_i}{1 - F_{ei}} \right)$$

Donde:

Le: Profundidad del lecho expandido (m)

L: Profundidad del lecho de arena (m)

E: Porosidad de la arena (%)

$$\sum \left(\frac{\varepsilon_i}{1 - F_{ei}} \right) \text{ Este último tomado de granulometria} = 2,25$$

$$L_e = 0,15 \text{ m} * (1 - 0,4) * 2,25 = 0,20 \text{ m}$$

Se calcula el porcentaje de expansión de la arena como:

$$\% \text{Expansión arena} = \frac{(L_e - L)}{L} * 100 \%$$

Donde:

%Expansión arena: Porcentaje de expansión (%)

Le: Profundidad del lecho de antracita expandido (m)

L: Profundidad del lecho de arena (m)

$$\% E_{antracita} = \frac{(0,20 \text{ m} - 0,15 \text{ m})}{0,15 \text{ m}} * 100\% = 35 \%$$

Se calcula la expansión total del lecho:

$$L_{et} = \frac{(L_e \text{ arena} * \% \text{ Expansión arena}) + (L_e \text{ antracita} * \% \text{ Expansión antracita})}{L_{antracita} + L_{arena}}$$

Donde:

Let: Expansión total del lecho mixto (m)

% Expansión arena: Porcentaje de expansión (%)

Le arena: Profundidad del lecho de arena expandido (m)

% Expansión antracita: Porcentaje de expansión (%)

Le antracita: Profundidad del lecho de antracita expandido(m)

L arena: Profundidad del lecho de arena (m)

L antracita: Profundidad del lecho de antracita (m)

$$L_{et} = \frac{(0,203 \text{ m} * 35\%) + (0,46 \text{ m} * 31,4 \%)}{0,35 \text{ m} + 0,15 \text{ m}} = 0,32 \text{ m}$$

- Pérdidas durante el lavado

Se calculan las pérdidas generadas en el lecho filtrante y el material de soporte durante una carrera de lavado por medio de las siguientes ecuaciones:

$$h_1 = L * (1 - \varepsilon) * (\rho - 1)$$

Donde:

h1: Pérdidas en el lecho de antracita (m)

L: Profundidad del lecho de antracita (m)

E: Porosidad de la antracita (%)

P: Densidad específica de la antracita (g/cm³)

$$h_1 = 0,35 \text{ m} * (1 - 0,5) * (1,65 - 1) = 0,114 \text{ m}$$

Se repite el mismo procedimiento para el cálculo de las pérdidas en el lecho de arena:

$$h_2 = L * (1 - \varepsilon) * (\rho - 1)$$

Donde:

h_2 : Pérdidas en el lecho de arena (m)

L: Profundidad del lecho de arena (m)

E: Porosidad de la arena (%)

P: Densidad específica de la arena (g/cm^3)

$$h_2 = 0,15 \text{ m} * (1 - 0,4) * (2,65 - 1) = 0,149 \text{ m}$$

Las pérdidas generadas en el material de soporte (gravas) durante el lavado:

$$h_3 = \frac{Vl * Lg}{3}$$

Donde:

h_3 : Pérdidas en el lecho de soporte (grava) (m)

Lg: Profundidad del lecho de soporte (m)

Vl: Velocidad de lavado (m/s)

P: Densidad específica de la grava (g/cm^3)

$$h_3 = \frac{1,834 \frac{\text{m}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} * (0,09 \text{ m} + 0,07 \text{ m} + 0,07 \text{ m} + 0,07 \text{ m} + 0,05 \text{ m})}{3}$$

$$= 0,0035 \text{ m}$$

Por tanto, las pérdidas totales durante el lavado son:

$$h_r = h_1 + h_2 + h_3$$

Donde:

h_r : Pérdidas totales durante el lavado (m)

h1: Pérdidas en el lecho de antracita (m)

h2: Pérdidas en el lecho de soporte (grava) (m)

$$h_r = 0,114 \text{ m} + 0,149 \text{ m} + 0,0035 \text{ m} = 0,266 \text{ m}$$

- Pérdidas durante la filtración

Las pérdidas durante la operación del filtro se calcularon teniendo en cuenta dos escenarios: el primero cuando el lecho filtrante se encuentra totalmente limpio y el segundo cuando el lecho se encuentra colmatado a un 40 %.

- Pérdidas en la filtración con lecho limpio

Estas pérdidas se calcularon teniendo en cuenta la ecuación de Rose, por tanto, se tienen las siguientes ecuaciones:

- Antracita

$$Nr = \frac{\Psi * D_{10} * V'}{\nu}$$

Donde:

Nr: Numero de Reynolds antracita (Adm)

Ψ : Factor de forma de la antracita (Adm)

D10: Tamaño efectivo de la antracita (m)

V': Tasa real de filtración ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{-s}$)

V: Viscosidad cinemática del agua ($\text{N-s}/\text{m}^3$)

$$Nr = \frac{0,7 * 0,8 \text{ mm} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ m}} * 31,24 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ - dia}} * \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}}}{1,06146 \times 10^{-6} \text{ N} - \frac{\text{s}}{\text{m}^3}} = 0,191$$

Se calcula el coeficiente de arrastre en el lecho de antracita:

$$Cd = \frac{24}{Nr} + \frac{3}{\sqrt{Nr}} + 0,34$$

Donde:

Cd: Coeficiente de arrastre antracita (Adm)

Nr: Numero de Reynolds antracita (Adm)

$$Cd = \frac{24}{0,191} + \frac{3}{\sqrt{0,191}} + 0,34 = 133$$

Se calculan las pérdidas de carga en la antracita:

$$h1' = \frac{1,067}{\Psi} * Cd * \frac{1}{\varepsilon^4} * \frac{L}{D10} * \frac{V'^2}{g}$$

Donde:

h1': Pérdidas de carga en la filtración lecho de antracita (m)

Cd: Coeficiente de arrastre antracita (Adm)

D10: Tamaño efectivo de la antracita (m)

Ψ: Factor de forma de la antracita (Adm)

V': Tasa real de filtración (m³/m²-s)

L: Profundidad del lecho de antracita (m)

E: Porosidad de la antracita (%)

g: Constante gravitacional (9,81 m/s²)

$$h1' = \frac{1,067}{0,7} * 133 * \frac{1}{\left(\frac{50}{100}\right)^4} * \frac{0,35 \text{ m}}{0,80 \times 10^{-3}} * \frac{\left(31,24 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 - \text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}}\right)^2}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0,019 \text{ m}$$

- Arena

$$Nr = \frac{\Psi * D10 * V'}{\nu}$$

Donde:

Nr: Numero de Reynolds arena (Adm)

Ψ : Factor de forma de la arena (Adm)

D10: Tamaño efectivo de la arena (m)

V' : Tasa real de filtración ($m^3/m^2\cdot s$)

ν : Viscosidad cinemática del agua ($N\cdot s/m^3$)

$$Nr = \frac{0,8 * 0,5 \text{ mm} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ m}} * 31,24 \frac{m^3}{m^2 \cdot \text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}}}{1,06146 \times 10^{-6} \text{ N} \cdot \frac{s}{m^3}} = 0,136$$

Se calcula el coeficiente de arrastre en el lecho de arena:

$$Cd = \frac{24}{Nr} + \frac{3}{\sqrt{Nr}} + 0,34$$

Donde:

Cd : Coeficiente de arrastre arena (Adm)

Nr: Numero de Reynolds arena (Adm)

$$Cd = \frac{24}{0,136} + \frac{3}{\sqrt{0,136}} + 0,34 = 184,58$$

Se calculan las pérdidas de carga en la arena:

$$h2' = \frac{1,067}{\Psi} * Cd * \frac{1}{\varepsilon^4} * \frac{L}{D10} * \frac{(V')^2}{g}$$

Donde:

$h2'$: Pérdidas de carga en la filtración lecho de arena (m)

Cd : Coeficiente de arrastre arena (Adm)

$D10$: Tamaño efectivo de la arena (m)

Ψ : Factor de forma de la arena (Adm)

V' : Tasa real de filtración ($m^3/m^2\cdot s$)

L : Profundidad del lecho de arena (m)

E : Porosidad de la arena (%)

g : Constante gravitacional ($9,81 m/s^2$)

$$h2' = \frac{1,067}{0,8} * 184,58 * \frac{1}{\left(\frac{40}{100}\right)^4} * \frac{0,15 m}{0,8 \times 10^{-3}} * \frac{\left(31,24 \frac{m^3}{m^2 \cdot dia} * \frac{1 dia}{86400 s}\right)^2}{9,81 \frac{m}{s^2}} = 0,038 m$$

Las pérdidas generadas en las gravas se calculan con la siguiente ecuación y se obtiene el mismo resultado.:

$$h3' = \frac{0,787 \frac{m}{min} * \frac{1 min}{60s} * (0,10 m + 0,05 m)}{3}$$

$$h3' = 0,0035 m$$

Las pérdidas generadas por el falso fondo se obtienen luego de aplicar la siguiente ecuación:

$$h4' = \frac{V'^2}{2 * g}$$

Donde:

$h4'$: Pérdidas de carga en la filtración falso fondo (m)

V' : Tasa real de filtración ($m^3/m^2 \cdot S$)

g : Constante gravitacional ($9.81 m/s^2$)

$$h_3 = \frac{\left(31,24 \frac{m^3}{m^2 \cdot dia} * \frac{1 dia}{86400 S}\right)^2}{2 * 9,81 \frac{m}{s^2}} = 6,66 \times 10^{-9} m$$

Teniendo presente todas las pérdidas generadas durante una carrera de filtración, se procede a calcular las pérdidas totales generadas de la siguiente manera:

$$h_f = h_{1'} + h_{2'} + h_{3'} + h_{4'}$$

Donde:

h_f : Pérdidas totales de carga en la filtración lecho limpio (m)

$h_{1'}$: Pérdidas de carga en la filtración lecho de antracita (m)

$h_{2'}$: Pérdidas de carga en la filtración lecho de arena (m)

$h_{3'}$: Pérdidas de carga en la filtración lecho de soporte (grava) (m)

$h_{4'}$: Pérdidas de carga en la filtración falso fondo (m)

$$h_f = 0,019 m + 0,038 m + 0,0035 m + 3,98 \times 10^{-8} m = 0,060 m$$

- Pérdidas en la filtración con lecho colmatado

Asumiendo una colmatación del 40% del lecho filtrante se tiene:

$$h_{f'} = h_f * F_m$$

Donde:

$h_{f'}$: pérdidas totales de carga en la filtración lecho colmatado (m).

h_f : pérdidas totales de carga en la filtración lecho limpio (m).

F_m : Factor de mayoración.

$$hf' = 0,060 \text{ m} * 1,4 = 0,08 \text{ m}$$

Se cumple el valor máximo de pérdida de carga admisible propuesto, el cual era de 2 m.

- Cálculo de los niveles de agua en el filtro
- Cota cresta de canal de lavado (C.C.L) teniendo presente que el falso fondo se encuentra a 0,2 m del fondo de la estructura:

$$C.C.L = \text{alto falso fondo} + L_g + L_{\text{arena}} + L_{\text{antracita}} + L_{et} + B.L$$

Donde:

C.C.L: Cota cresta de canal de lavado (m)

B.L.: Borde Libre (m)

L: Profundidad del lecho de arena (m)

L: Profundidad del lecho de antracita (m)

L_g: Profundidad del lecho de soporte (m)

L_{et}: Expansión total del lecho mixto (m)

$$C.C.L = 0,2 \text{ m} + 0,35 + 0,15 \text{ m} + 0,35 \text{ m} + 0,32 \text{ m} + 0,3 \text{ m} = 1,725 \text{ m}$$

- Cota nivel del agua en el filtro (C.N.A)

$$C.N.A = C.C.L + h_r$$

Donde:

C.N.A: Cota nivel del agua en el filtro (m)

C.C.L: Cota cresta de canal de lavado (m)

h_r: Pérdidas totales durante el lavado (m)

$$C.N.A = 1,725 \text{ m} + 0,266 \text{ m} = 1,991 \text{ m}$$

- Nivel mínimo de operación (N.M.O)

$$N.M.O = C.N.A + hf$$

Donde:

N.M.O: Nivel mínimo de operación (m)

C.N.A: Cota nivel del agua en el filtro (m)

hf: pérdidas totales de carga en la filtración lecho limpio (m)

$$N.M.O = 1,991 m + 0,060 m = 2,051 m$$

- Nivel de operación colmatado (N.O.C)

$$N.O.C = C.N.A + hf'$$

Donde:

N.O.C: Nivel de operación colmatado (m)

C.N.A: Cota nivel del agua en el filtro (m)

hf': pérdidas totales de carga en la filtración lecho colmatado (m)

$$N.O.C = 1,991 m + 0,08 m = 2,075 m$$

- Nivel de operación máximo (N.O.M)

$$N.O.M = C.N.A + B.L$$

Donde:

N.O.M: Nivel de operación máximo (m)

C.N.A: Cota nivel del agua en el filtro (m)

B.L.: Borde Libre (m)

$$N.O.M = 1,991 m + 0,3 m = 2,291 m$$

Dado que el máximo nivel al interior del filtro es de 2,291 m y dejando un borde libre adecuado (30 cm) las dimensiones finales del filtro serán:

- Diámetro 1,3 m.
- Altura 3,0 m.

9.6 Dimensionamiento de los filtros de carbón activado

Para el cálculo de los filtros de carbón activado se desarrolló la misma metodología propuesta para el desarrollo del filtro de lecho mixto de arena y antracita, teniendo como base la granulometría del material; como datos de interés se muestra en la siguiente tabla las dimensiones del filtro y la composición del lecho del mismo.

Tabla 4. Especificaciones lecho filtrante y medio de soporte.

Caracterización lecho filtrante y medio de soporte	
Lecho filtrante	Carbón Activado
Profundidad del lecho (L)	0,35 m
Falso fondo	Placa perforada
Material de soporte	Gravas
Material de soporte 1 (Fondo)	2,0 pulg
Espesor material de soporte 1 (Fondo)	10 cm
Material de soporte 2	1,0 pulg
Espesor material de soporte 2	5 cm
Material de soporte 3	0,5 pulg
Espesor material de soporte 3	5 cm
Material de soporte 4	0,25 pulg
Espesor material de soporte 4	5 cm
Material de soporte 5	0,125 pulg
Espesor material de soporte 5	5 cm
Material de soporte 6 (Torpedo)	0,09375 pulg

Caracterización lecho filtrante y medio de soporte

Espesor material de soporte 6 (Torpedo)	5 cm
---	------

El falso fondo será una placa de fibra de vidrio perforada con orificios de 1" a una distancia de 0,10 m uno de otro.

Dado que el máximo nivel al interior de los filtros es de 1,0 m y dejando un borde libre adecuado (20 cm) las dimensiones finales serán:

- Diámetro 1,20 m.
- Altura 1,20 m.

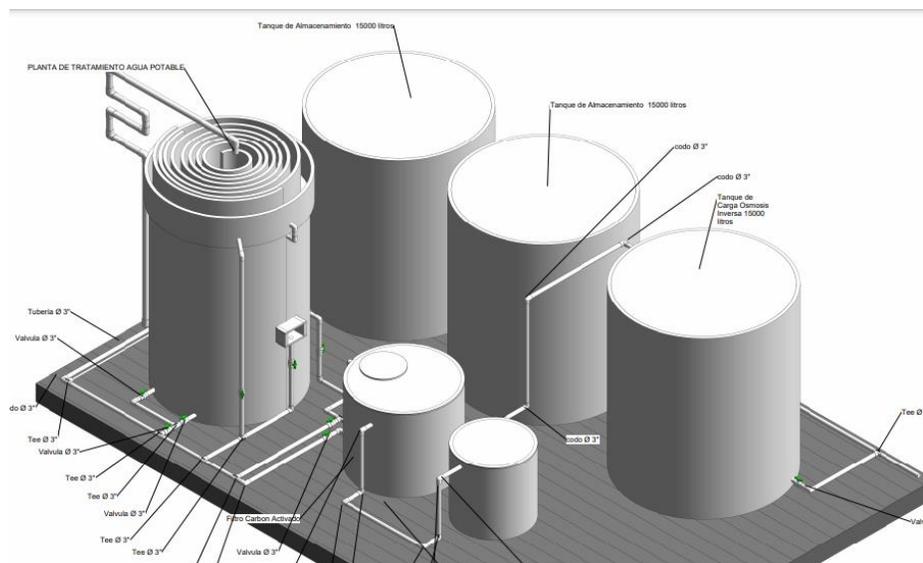


Figura 15. Planta de tratamiento de agua potable con tanque de almacenamiento

Fuente: Elaboración propia

10. Diseño sistema de osmosis inversa

10.1 Osmosis Inversa

La ósmosis ocurre cuando el agua pasa a través de una membrana semipermeable, desde una solución de menor salinidad hasta otra de mayor concentración salina. En la ósmosis inversa se aplica presión externa al agua de alto soluto (agua concentrada) para causar que el solvente (agua) pase a través de la membrana, dejando al soluto (sales y otros no permeados) en una salmuera más concentrada (Arreguín, & Martín).

10.2 Funcionamiento ósmosis inversa

En los procesos de ósmosis inversa lo que se busca es obligar que partículas de hasta 0.001 micras pasen a través de una serie de mallas o membranas concéntricas de diferentes tamaños, durante este recorrido el agua que se va a tratar ya sea de mar, residual, industrial o de pozo avance por una serie de tuberías a elevada presión y en este avance escape de dichas membranas (Devora, 2018), este procedimiento se desarrolló en base de la idea de vencer la presión osmótica la cual es la presión que se debe vencer para hacer pasar un líquido a través de una membrana semipermeable (Delgado 2007).

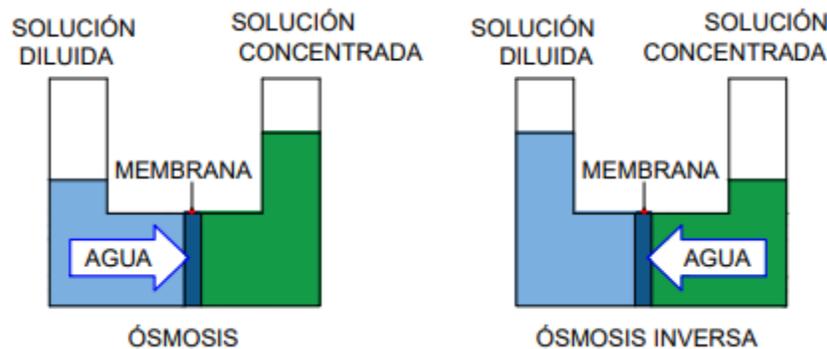


Figura 16 Esquema ósmosis inversa

En la ósmosis inversa se ejerce presión en el extremo de la solución concentrada, eliminando las partículas disueltas. En este proceso el agua sucia puede circular a elevada presión en circuitos cerrados formados por tuberías de membrana.

El proceso básico de la ósmosis inversa, que incluye pre-tratamiento, transporte por la membrana y postratamiento antes de la distribución, la empresa Ingeniería Ambiental

Especializada diseñó el pretratamiento, participó en la elección de las membranas y en la selección de la capacidad de la bomba de alta presión para el caudal de diseño (0,5 l/s)

Dado que el objetivo de la osmosis inversa es vencer la presión osmótica, los distintos fabricantes manejan rangos de presión dependiendo del tipo de agua.

Tabla 5. Tabla de presiones, tomado de página Hidranautics

Procesos	Presiones típicas de operación
Osmosis inversa agua de mar	500-1000
Osmosis inversa agua de mar salobre	100-500
Nanofiltración	50-225
Ultrafiltración	30-50
Microfiltración	2-45

Según la empresa fabricante de sistemas de osmosis inversa Hidranautics y corroborado con distintos fabricantes, para desalinizar agua de mar mediante osmosis inversa es necesaria una presión bastante alta por lo que es necesaria una bomba de alta presión, y se puede concluir a que a mayor concentración de sólidos totales disueltos mayor es la presión necesaria para un sistema de osmosis inversa.

10.3 Componentes de un equipo de osmosis inversa

Un sistema de ósmosis inversa se compone de cinco partes básicas:

1) Recipientes a presión y membranas

Las proteínas que componen los materiales de la membrana varían según el tipo de agua de entrada y la claridad final. Hay materiales de membrana para agua salobre, agua de mar, desinfección de grado hospitalario y membranas diseñadas para eliminar contaminantes específicos.

2) Ósmosis inversa en estructura deslizante (skid)

Para que un sistema de Ósmosis Inversa sea lo más duradera posible se requiere de una estructura de acero al carbono con recubrimiento en polvo para montar todos sus componentes.

3) Filtro de cartucho

La mayoría de los sistemas de ósmosis inversa incluyen un filtro de cartucho para garantizar que no pasen partículas grandes que dañen las membranas cuando pasen a través de ellas. Este cartucho es generalmente un filtro de polipropileno hilado de cinco micras, pero la medida puede variar.

4) Bomba de alta presión de ósmosis inversa

Sin una bomba de alto grado, la tasa de rechazo para un sistema de ósmosis inversa no es viable en la mayoría de los entornos comerciales o industriales. Es vital para el sistema asegurarse de que la bomba coincida con la cantidad y el tamaño de la membrana de forma adecuada. Por lo general, cuanto mayor sea la potencia de la bomba de admisión, mejores serán las tasas de rechazo y recuperación del permeado.

5) Panel de control

Por último, el sistema de ósmosis inversa debe ser controlado por un operador, realizando monitoreo con el uso de un panel de control vinculado a todo el sistema.

Cabe resaltar que, hasta este punto de diseño de la planta de tratamiento de agua potable con osmosis inversa, la empresa Ingeniería Ambiental Especializada, está a cargo del diseño hidráulico del sistema de osmosis inversa.

11. Descripción de la memoria de cálculos de la osmosis inversa

Para el diseño del sistema de osmosis inversa fue necesaria una caracterización de agua de mar en el punto de captación, con la cual se realizó una simulación en el programa IMSDesing, un Software de simulación. En el Software se introduce los parámetros de diseño,

para determinar el tipo de membrana y la capacidad que debe tener la bomba de alta presión para vencer la presión osmótica.

Para definir el diseño de un sistema de osmosis inversa es necesario definir algunos parámetros que se ingresan al programa de diseño IMSDesing, los cuales son

- El número de etapas que es las veces que pasa a través de una membrana el flujo de agua, que en términos de diseño de osmosis inversa se llama flujo permeado.
- El número de membranas por etapa
- La caracterización del agua a tratar
- El caudal de diseño según el proyecto
- El porcentaje de agua a recuperar ya que los sistemas de osmosis inversa dan como producto dos flujos uno el agua potable desmineralizada y el agua de rechazo comúnmente llamada salmuera.

Ejemplo

La Figura a continuación corresponde al diseño de un sistema de osmosis inversa que consiste en 3 etapas y en cada etapa hay una membrana.

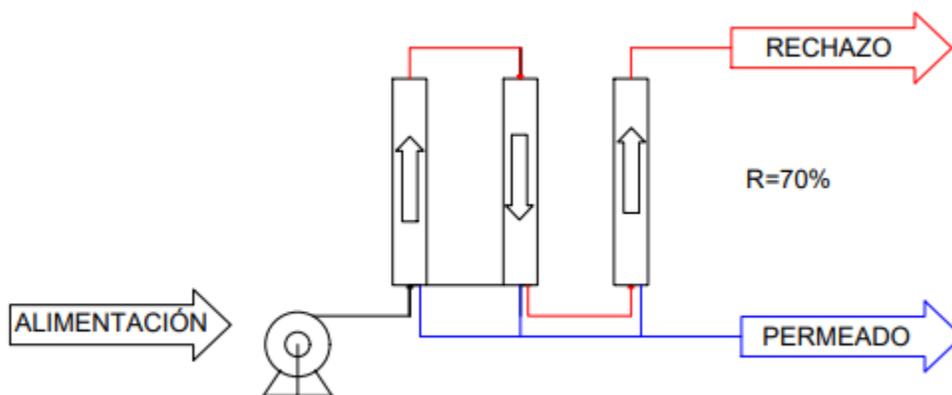


Figura 17 Esquema osmosis inversa 3 etapas

Fuente: Elaboración propia

11.1 Datos De Diseño Osmosis Inversa

Para el diseño del sistema de osmosis inversa se simulará el funcionamiento de la planta con distintas etapas y distinto número de membranas, el caudal de diseño que debe ser el mismo de la planta de tratamiento, osea 0.5 l/s (7.9 gpm) y una recuperación del 50%, con lo cual se tiene a la salida del sistema de tratamiento 15.8 galones por minuto, 7.9 gpm de producto y 7.9 gpm de rechazo, por último, la caracterización del agua a tratar que para este caso son aproximadamente 30826 ppm.

Tabla 6. Caracterización suministrada

Parámetro	Resultado	Unidades
Sodio	9006	mg/l
Calcio	450	mg/l
Magnesio	1320	mg/l
Potasio	390	mg/l
Bario	<Límite de detección	mg/l
Estroncio	<Límite de detección	mg/l
Amonio	0.1	mg/l
Cloruro	16764.2	mg/l
Bicarbonato	<Límite de detección	mg/l
Flúor	<Límite de detección	mg/l
Nitritos	<Límite de detección	mg/l
Sulfatos	2750	mg/l
Oxido de silicio	0	mg/l
Boro	45	mg/l
Potencial hidrogenión	7	pH
Temperatura	25	°C

11.2 Introducción de datos de diseño al programa IMSDesing

IMSDesign

Acerca Ayuda Online Limites de diseño

Análisis Diseño Cálculo Postratamiento

nuevo Guardar Iones específicos Análisis Múltiples abrir guardar como Reset Imprimir calculadora

Save As Archivo de proyecto Option-Pick One Only Guardar análisis

Proyecto: HOTEL PIENSALO BIEN Calculado por: EDWIN VANEGAS Temperatura: 25.0 °C

pH 7.00 CO3 1.39 mg/l CO2 7.665 mg/l NH3 0.00 mg/l Conductividad

Cationes			Aniones		
	mg/l	mg/l CaCO3		mg/l	mg/l CaCO3
Calcio	450.00	1125.00	HC03	145.00	118.85
Mg	1320.00	5409.84	S04	2750.00	2864.58
Na	9006.00	19578.26	Cl	16764.20	23644.85
K	390.00	498.75	F	0.00	0.00
NH4	0.10	0.28	N03	0.00	0.00
Ba	0.000	0.00	P04	0.00	0.00
Sr	0.000	0.00	SiO2	0.00	
			B	0.00	
Total, meq/l		532.24	Total, meq/l		532.61

seleccione análisis

Paso1

Bruta

Alimentación

Permeado

Rechazo 1

Saturaciones					
TDS Calculado	30826	mg/l	CaSO4	25.4	%
Presión osmótica	22.2	bar	BaSO4	0.0	%
Ca3(PO4)2 SI	0.00		SrSO4	0.0	%
CCPP	13.79	mg/l	CaF2	0.0	%
			Silica	0.0	%

Figura 18 introducción de la caracterización

Fuente: IMS Design

Proyecto: HOTEL PIENSALO BIEN | Calculado por: EDWIN VANEGAS | Temperatura: 25.0 °C | Tipo de agua: Mar

Trenes Paso1 Paso1

pH alimentación		7.00	Producto químico	None
Conversión	%	50.00	Concentración de la solución, %	100
Flujo/tren de permeado,	gpm	7.90	Tasa de dosificación de productos químic	mg/l
Flujo promedio	gfd	5.90	Edad membrana	años
Caudal de alimentación,	gpm	15.80	Disminución Fluj por año	7.00
Caudal de rechazo	gpm	7.90	Factor de ensuciamiento	1.00
			Incremento de paso de sales/año, %	10.0

Figura 19 introducción de los parámetros de diseño

Fuente: IMS Design

Todas las membranas hoja de especificaciones ele

	Modelo	Producción nominal (GPD)	Rechazo de sal, %	Tipo de elemento	Tamaño (in x in)	Área (Pies cuadrados)	spaciado (mil)	Presión de prueba (psi)	Presión de imentació (psi)	Permeate TDS (mg/l)
C	<input type="checkbox"/> ESPA4 MAX	13200	99.20	BWRO Lowest Pressure	8 X 40	440	28	100		
C	<input type="checkbox"/> ESPA4-LD	12000	99.20	BWRO Lowest Pressure Lo...	8 X 40	400	34	100		
C	<input type="checkbox"/> ESPA4-LD HP	11000	99.20	BWRO Lowest Pressure Lo...	8 X 40	400	34	100		
C	<input type="checkbox"/> ESPAB MAX	9000	99.30	BWRO Low Pressure Boron...	8 X 40	440	28	150		
C	<input type="checkbox"/> LFC3-LD	11000	99.70	BWRO Low Fouling High Re...	8 X 40	400	34	225		
C	<input type="checkbox"/> SWC4 MAX	7200	99.80	SWRO Highest Rejection	8 X 40	440	28	800		
C	<input type="checkbox"/> SWC4-LD	6500	99.80	SWRO High Rejection Low ...	8 X 40	400	34	800		
C	<input type="checkbox"/> SWC5 MAX	9900	99.80	SWRO High Rejection	8 X 40	440	28	800		
C	<input type="checkbox"/> SWC5-LD	9000	99.80	SWRO High Rejection Low ...	8 X 40	400	34	800		
C	<input type="checkbox"/> SWC6 MAX	6600	99.60	SWRO Highest Flow	8 X 40	440	28	600		
C	<input checked="" type="checkbox"/> SWC6-LD	6000	99.60	SWRO High Flow Low Dp	8 X 40	400	34	600	Cálculo ...	
C	<input type="checkbox"/> SanRO-HS2-4...	3000	99.60	Sanitary Highest Flow	4 X 40	90	32	225		
C	<input type="checkbox"/> SanRO-HS-4	2200	99.70	Sanitary High Rejection	4 X 40	90	32	225		
C	<input type="checkbox"/> SanRO-HS2-8	14000	99.60	Sanitary Highest Flow	8 X 40	380	32	225		
C	<input type="checkbox"/> SanRO-HS-8	10000	99.70	Sanitary High Rejection	8 X 40	380	32	225		

Figura 20. Elección de la membrana

Fuente: IMS Design

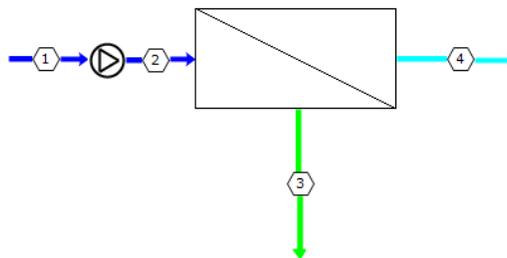
Resultados de Cálculo (Flows are per vessel)								
Arreglo	Tubo de presión	Alimentación (psi)	Conc (psi)	Alimentación (gpm)	Conc (gpm)	Flujo (gfd)	Flujo máximo (gfd)	Beta máximo
1-1	4	657.4	654.1	3.95	1.98	5.9	15.4	1.08

Concentración de permeado											
Calcio	0.094	K	9.707	Sr	0.000	Cl	275.604	P04	0.000	CO2	7.665
Mg	0.275	NH4	0.003	HCO3	4.279	NO3	0.000	SiO2	0.000	CO3	0.000
Na	179.517	Ba	0.000	SO4	11.333	F	0.000	B	0.000	pH	5.9
NH3	0.001									TDS	480.81 mg/l

Saturaciones del rechazo y parámetros							
CaSO4, %	61	SrSO4, %	0	Presión osmótica	638.5 psi	pH	7.2
BaSO4, %	0	SiO2, %	0	CCPP	108.49 mg/l	TDS	61142.7 mg/l
Ca3(P04)2 SI	0.00	CaF2, %	0				

Figura 21. Resultados del calculo

Fuente: IMS Design



	1	2	3	4
Caudal (gpm)	15.8	15.8	7.90	7.90
Presión (psi)	0	657	654	0
TDS (mg/l)	30827	30827	61143	481
pH	7.00	7.00	7.24	5.92
Econd (us/cm)	48537	48537	92689	1081

Figura 22. Diseño sistema de osmosis inversa.

Fuente: IMS Design

12. Resultados

Una vez finalizada la simulación en el programa, se determinó un diseño del sistema de osmosis inversa para tratar un caudal de 0.5 l/s y 30826 ppm NaCL, arrojando:

Tabla 7. Diseño sistema de osmosis inversa

Numero de etapas	2
Etapas 1 número de membranas por recipientes de presión	6
Etapas 2 número de membranas por recipientes de presión	6
Etapas 1 número de recipiente de presión	4
Etapas 2 número de recipiente de presión	4
Ppm agua producto (NaCL)	481
Capacidad necesaria de la bomba de alta presión (psi)	638.5

Membrana Seleccionada

La membrana seleccionada fue la SWC6-LD la cual tiene la capacidad de retirar hasta 32000 ppm del agua tratada y producir hasta 12000 galones por día, por lo que es capaz, de suministrar el caudal necesario para el Hotel Piénsalo bien.




SWC6-LD

Specified Performance*

Permeate Flow:	Low Pressure: 6,000 gpd (22.7 m ³ /d)	High Flow: 12,000 gpd (45.4 m ³ /d)
Salt Rejection:	99.6% (99.4% minimum)	99.8% (99.7% minimum)
Applied Pressure:	600 psi (4.1 MPa)	800 psi (5.5 MPa)
Test Conditions:	32000 ppm NaCl solution 600 psig (4.1 MPa) Applied Pressure 77 °F (25 °C) Operating Temperature 10% Permeate Recovery 6.5 - 7.0 pH Range	

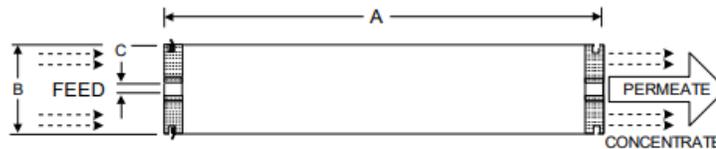
Figura 23. Características membrana seleccionada

Fuente: IMS Design

General Product Description**

Configuration: Low Fouling Spiral Wound
 Membrane Polymer: Composite Polyamide
 Membrane Active Area**: 400 ft² (37.2 m²)
 Feed Spacer: 34 mil (0.86 mm)

Packaging: All membrane elements are supplied with a brine seal, interconnector, and O-rings. Elements are enclosed in a sealed polyethylene bag containing less than 1.0% sodium meta-bisulfite solution, and then packaged in a cardboard box.



Element Details**

A, inches (mm)	B, inches (mm)	C, inches (mm)
40.0 (1016)	7.89 (200)	1.125 (28.6)

**Values listed are indicative, not specified. For more detailed specifications, see our Technical Service Bulletin documents or contact Hydranautics Technical Department

Figura 24. dimensiones membrana

Fuente: IMS Design

12.1 Avance construcción planta de tratamiento de agua potable con osmosis inversa hotel piénsalo bien

Hasta el momento de terminación del contrato de prácticas fueron realizados los diseños de la planta de tratamiento de agua potable cuyas estructuras fueron construidas en fibra de vidrio y llevadas hasta el proyecto.



Figura 25. Estructuras de la planta de tratamiento agua potable instalada.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al sistema de osmosis inversa se realizó el diseño del tipo de sistema, determinando cada uno de los componentes del sistema, aunque en lo que corresponde al montaje de este no fue posible tener registro fotográfico ya que los componentes necesarios son de fabricación extranjera y para la terminación del contrato de prácticas no habían llegado los equipos al país.

13. Conclusiones

- Es evidente la ventaja que presentan estos sistemas frente a sistemas convencionales para tratamiento de aguas ya que, como se puede apreciar en los resultados al final del proceso se puede obtener un agua que paso de casi 32000 ppm NaCL solo 481 ppm NaCL
- Ante el deterioro de las fuentes de agua a nivel mundial, la desalinización de agua de mar se puede convertir en una de las mejores opciones para satisfacer la alta demanda actual de agua potable. A pesar de que diseño fue realizado para solucionar el problema de abastecimiento de agua potable a un hotel, es apreciable que es una solución viable que podría ser aplicable a comunidades que presente desabastecimiento y se encuentren en cercanías a agua de mar.

Se logró realizar el diseño de una planta de planta de tratamiento de agua potable, con un dimensionamiento de lo que será el sistema de osmosis inversa. Hasta el momento de finalización del contrato de prácticas, no se había podido definir una empresa que suministrara los equipos con las características buscadas por lo que solo se llegó hasta este punto del proyecto.

Referencias

AQUAE Fundación, (s.f.). Las plantas desalinizadoras más grandes del mundo. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/desalinizacion-en-el-mundo/#:~:text=Actualmente%20Arabia%20Saud%C3%AD%2C%20es%20uno,consumen%20proviene%20de%20plantas%20desalinizadoras.>

Ávila, (2022). Comunidad realiza plantón en Usiacurí (Atlántico) por falta de agua potable. <https://www.alertacaribe.com/noticias/atlantico/comunidad-realiza-planton-en-usiacuri-atlantico-por-falta-de-agua-potable.>

BBC Mundo, (2018). 11 de las grandes urbes del mundo con más probabilidades de quedarse sin agua potable como Ciudad del Cabo. <https://www.bbc.com/mundo/noticias42975307#:~:text=Una%20investigaci%C3%B3n%20de%20las%20500,1.700%20metros%20c%C3%BA%20por%20persona.>

Bnamericas, (2016). Planta Desalinizadora de Guaymas y Empalme (Desaladora Sonora). <https://www.bnamericas.com/es/perfil-proyecto/planta-desalinizadora-de-guaymas-y-empalme-revision-planta-desalinizadora-de-guaymas-y-empalme-desaladora-sonora.>

Conagua, (2007). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento- Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>.

DANE, (2018). Encuesta sobre ambiente y desempeño institucional nacional -EDI 2018-Anexos. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/gobierno/encuesta-sobre-ambiente-y-desempeno-institucional-nacional-edi/edi-2018-anexos>

Grueso, Castro, Correa, Saldarriaga, (2019). Estado del arte: desalinización mediante tecnologías de membrana como alternativa frente al problema de escasez de agua dulce, <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v18n35/2248-4094-rium-18-35-69.pdf>.

Guaña & Moncayo, (2015). Evaluación y Comparación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable Convencional con una Planta de Potabilización por Hidroxigenación Iónica, en Calidad de Agua, Funcionamiento y Costos en el Sistema de Agua Segura Ayampe– pto. López–machalilla. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/27058/1/TG%20PTAP%20V%C3%A9lez%20Stder%20v4%20Ajuste%20CTG%20VF.pdf>.

Guadalupe, (2018), Desalinización de Agua para Aplicaciones de Potabilización Mediante el Desarrollo de Tecnología Solar Sustentable. <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/873/1/17450.pdf>.

Idrovo, (2010). Optimización de la Planta de Tratamiento de Uchupucun. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2426/1/tq1066.pdf>.

Idrovo, (2010). Optimización de la Planta de Tratamiento de Uchupucun. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2426/1/tq1066.pdf>.

Instituto mexicano de tecnología, (2020). Remineralización de agua osmotizada mediante un contactor de calcita de flujo continuo ascendente. http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/2242/TCA_052.pdf?sequence=1&isAllow

Ministerio de la Protección Social, & Ministerio de Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, (2007). Resolución Número 2115 de 2007. Ministerio de La Protección Social Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 23. http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/alternativa/Res_2115_de_2007.pdf.

Michael Liberman (2015). Bioquímica, Biología Molecular Y Genética. <https://www.um.es/lafem/DivulgacionCientifica/Libros/BioquimicaYBiologiaMolecularParaCienciasDeLaSalud.pdf>.

Moeller, (2004). Sistemas integrados de tratamiento y reúso, Caso México. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloI/2Sistemasdetratamientoyreuso.pdf>

Moreno, (2011). Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa dober osmotech de Colombia LTDA. <file:///C:/Users/Edwin%20Vanegas%20C/OneDrive/Escritorio/referencias/TBM00990.pdf>.

Naciones unidas, (s.f.). Una población en crecimiento. <https://www.un.org/es/global-issues/population>.

Naciones unidas, (2017). 2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro. <https://www.who.int/es/news/item/12-07-2017-2-1-billion-people-lack-safe-drinking-water-at-home-more-than-twice-as-many-lack-safe-sanitation>.

Naciones Unidas, (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>.

Quiroga, (2007). Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5498/S0700589_es.pdf?sequence=1.

Rentokil, (2021). ¿Por qué se usa la filtración del agua?. <https://www.rentokil-initial.cl/blog/filtracion-del-agua/>.

Semana, (2022). 55 municipios registran desabastecimiento de agua potable por sequía. <https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/55-municipios-registran-desabastecimiento-de-agua-potable-por-sequia/48572/>.

Solís, (2017). Sistema de tratamiento de aguas mediante osmosis inversa. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/15143/Informe.pdf>.

Valenzuela, (2022). Desaladora de Guaymas-Empalme comenzará operaciones en mayo. <https://www.expreso.com.mx/noticias/sonora/desaladora-de-guaymas-empalme-comenzara-operaciones-en-mayo/144702>.

Yepes, Rojas, 2017. Descripción del proceso de potabilización del agua en una planta de la ciudad de Cali. <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4168/DESCRIPC%C3%93N%20DEL%20PROCESO%20.pdf?sequence=3&isAllowed=y>