

Diseño de una planta desalinizadora de agua de mar basada en la tecnología de osmosis inversa para abastecer de agua potable a las comunidades indígenas de la Alta Guajira



**Hugo Fabián Tamara Paternina
Moisés David López Castro**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Barranquilla, Colombia
2020

Diseño de una planta desalinizadora de agua de mar basada en la tecnología de osmosis inversa para abastecer de agua potable a las comunidades indígenas de la Alta Guajira

**Hugo Fabián Tamara Paternina
Moisés David López Castro**

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

Director:

Ingeniero Juan Vicente Cajal Barros

Línea de Investigación:

Proyectos de Ingeniería

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Barranquilla, Colombia

2020

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a nuestros padres, por ser ellos pilares fundamentales durante nuestro desarrollo y profesionalización, a nuestras familias por estar ahí apoyándonos en todo momento y lograr nuestras, nuestros profesores, tutores del conocimiento, guías profesionales, los cuales han apoyado nuestro crecimiento

Los investigadores

Agradecimientos

Agradecemos primeramente a Dios, sin el todo esto no hubiese sido posible, a todos los que de alguna u otra manera han apoyado en el crecimiento personal, compañeros de clase por el desarrollo de conocimiento en equipo y directores de la institución por abrirnos las puertas hacia el conocimiento. Los investigadores agradecemos la cooperación mutua, la dedicación y entrega en todo el momento, y en esta última parte para obtener el grado de ingenieros.

¡A todos gracias!

Resumen

La población de la Alta Guajira colombiana se considera una población pobre dentro de la Costa Caribe Colombiana, con un valor pobreza del 96%. Dentro de las dificultades sustanciales que tienen estas comunidades, se encuentra un deficiente el suministro de agua potable, cuyo gobierno ha desatendido durante mucho tiempo. Para encontrar una posible solución a este problema, en este proyecto se propone el diseño de una planta de desalinización usando el principio de ósmosis inversa, como una vía para que las comunidades extraigan el valioso recurso de los mares y accesos de aguas aledaños. La investigación se denota como proyecto aplicado, bajo un enfoque cuantitativo. Los resultados no conforman una solución para la problemática, más bien expresan de manera clara, como puede ser abordada dicha problemática desde la investigación.

Palabras Claves: Agua, Alta Guajira, osmosis inversa, planta desalinizadora.

Abstract

The population of the Colombian Alta Guajira is considered a poor population within the Colombian Caribbean Coast, with a poverty value of 96%. Among the substantial difficulties these communities face is a deficient supply of drinking water, which the government has neglected for a long time. To find a possible solution to this problem, this project proposes the design of a desalination plant using the principle of reverse osmosis, as a way for communities to extract the valuable resource from the seas and nearby water accesses. Research is denoted as an applied project, under a quantitative approach. The results do not constitute a solution for the problem, rather they clearly express how this problem can be approached from the research.

Keywords: Alta Guajira, desalination plant, reverse osmosis, water.

Tabla de Contenido

Resumen	III
Abstract.....	IV
Lista de figuras	VII
Lista de tablas	VIII
Introducción	1
Capítulo 1. Problema	5
1.1 Planteamiento del problema	5
1.1.1 Pregunta problema	7
1.2 Objetivos de la investigación	7
1.2.1 Objetivo general	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	8
1.3 Justificación.....	8
1.4 Alcance de la investigación.....	9
Capítulo 2. Marco Referencial	11
2.1 Antecedentes	11
2.2 Marco Teórico	13
2.2.1 Procesos de desalinización.....	13
2.2.2 Planta de desalinización.....	15
2.2.3 Osmosis inversa	16
2.2.4 Pretratamiento	17
2.2.5 Postratamientos.....	18
2.2.6 Etapas del diseño de una planta de osmosis inversa	19
2.3 Marco conceptual	20
2.4 Marco legal.....	21
Capítulo 3. Marco metodológico	24
3.1 Tipo de investigación	24
3.2 Diseño de la investigación	24
3.2.1 Población de estudio	25
3.2.2 Muestra	25
3.2.3 Etapas del Proyecto	26
Capítulo 4. Resultados	29
4.1 Delimitación de ubicación de planta desalinizadora.....	29
4.2 Características fisicoquímicas del agua.	32
4.3 Condiciones de operación de planta desalinizadora.....	33

4.3.1 Caudal de operación de la planta	33
4.4 Diseño de planta desalinizadora.....	36
4.4.1 Torre de captación.....	36
4.4.2 Diseño de cántara de almacenamiento	38
4.4.3 Pretratamiento del agua	39
4.4.4 Etapas de Filtración.....	40
4.4.5 Selección de membranas.....	42
4.4.6 Punto de descarga	43
4.5 Simulación de operación de planta.....	43
4.5.1 Comparación de resultados de la simulación y la norma establecida	45
4.5.2 Bombas.....	46
4.5.3 Diagrama de Flujo del proceso	46
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Osmosis inversa. Fuente: Ecoagua (2009)</i>	16
Figura 2. <i>Tabla de características físicas del agua. Fuente: Ley 1505 de 2007</i>	23
Figura 3. <i>Uribía Ubicación. Fuente: Google Maps (2020)</i>	30
Figura 4. <i>Manaure Ubicación. Fuente: Google maps (2020)</i>	31
Figura 5. <i>Figura 3D de la torre de captación. Fuente: Imitola, López y Rodríguez (2019)</i>	38
Figura 6. <i>Filtro Galaxy SKS S4". Fuente: Regaber (2020)</i>	40
Figura 7. <i>Simulación bajo software ROSA. Fuente: ROSA, Water and Process solutions</i>	44
Figura 8. <i>Simulación bajo software Rosa 2. Fuente: ROSA, Water and Process solutions</i>	44
Figura 9. <i>Selección de la membrana del proceso. Fuente: ROSA, Water and Process solutions</i>	45
Figura 10. <i>Diagrama de flujo del proceso de osmosis inversa. Fuente: Esidin (2020)</i>	47

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Parámetros del Agua para Consumo Humano. Fuente: Ministerio De La Protección Social (2007)</i>	21
Tabla 2. <i>Características fisicoquímicas del agua de operación. Fuente: Centro de Estudios del Agua, Universidad del Atlántico, 2020</i>	33
Tabla 3. <i>Asignación del nivel de complejidad. Fuente: RAS 2000, título A.</i>	33
Tabla 4. <i>Dotación Neta mínima y máxima por habitante. Fuente: RAS 2000</i>	34
Tabla 5. <i>Porcentaje de pérdidas técnicas, basado en el nivel de complejidad. Fuente: RAS, 2000</i>	34
Tabla 6. <i>Coeficiente K_1, según nivel de complejidad del sistema. Fuente: RAS, 2000</i>	35
Tabla 7. <i>Coeficiente K_2, según nivel de complejidad del sistema. Fuente: RAS, 2000</i>	35
Tabla 8. <i>Cálculo de caudales. Fuente: elaboración propia</i>	36
Tabla 9. <i>Criterios principales para el diseño de una torre de captación de agua. Fuente: Voutchkov, N. (2018).</i>	37
Tabla 10. <i>Especificaciones del filtro de la primera etapa de filtración. Fuente: Regaber (2020)</i>	40
Tabla 11. <i>Selección de membranas Software Rosa. Fuente: ROSA, Water and Process solutions</i>	42
Tabla 12. <i>Comparación de resultados obtenidos y normativa vigente en el país. Fuente: Elaboración propia a partir de ROSA, Water and Process solutions</i>	46

Introducción

La actual investigación parte de una problemática social, el agua y su disponibilidad para el consumo específicamente en la alta Guajira colombiana. El agua en la tierra abarca aproximadamente 1.300.000.000.000 trillones de los cuales, 97.23% se encuentra en océanos, 2.15% en casquetes polares y en mares un 0.008%, por lo que se puede resumir que el 99.38% del agua no es consumible. El agua dulce para el consumo humano se divide en lagos, acuíferos, atmosfera y otros espacios, por lo que solo se puede acceder al 1% de la totalidad del agua para el consumo (Colomina, 2016).

Por otra parte, una planta desalinizadora, es un conjunto de elementos establecidos que trabajan con la finalidad de hacer del agua salada, dos líquidos disponibles químicamente para el consumo humano e industrial. La osmosis inversa, se da de manera natural cuando dos soluciones de diferentes concentraciones se colocan en contacto una con otra, por una membrana semipermeable, por lo que existe una circulación natural de la solución menos concentrada a la solución más concentrada para igualar las concentraciones finales. La osmosis inversa de las plantas desalinizadoras aplica una presión mayor a este proceso, y se conforma como uno de los procesos donde se expresa menor consumo de energía; comparado con la destilación (Hernández, 1990).

Se hace necesario en este punto destacar antecedentes relacionados a la temática de estudio, resaltando a Bonilla y Venera (2017), con su investigación que lleva por nombre "Diseño de una planta desalinizadora de agua de mar para la Isla de San Andrés", expresan que en la isla, se tiene escases de agua de uso diario, el cual ha venido en constante aumento, hecho que ha llegado al punto de convertirse en una calamidad pública. El desarrollo de la planta se realiza bajo las características de osmosis inversa.

Respecto al tratamiento del agua se realiza un tratamiento de pretratamiento granular, este va a permitir que acondicionar el agua para la planta en desarrollo. Del mismo modo se realiza un sistema de dosificación incrustante, este permite evitar la precipitación de

las sales y sistemas de bombeo para el transporte de caudal de agua para toda la planta. A manera de desarrollo de la planta, fue estudiado los procesos de desalinización que se usan a nivel local y global, tres posibles diseños fueron establecidos y seleccionado uno basado en el método QFD. Para finalizar fueron realizadas pruebas y formas de evaluar la planta a través de programas que permiten identificar cómo funciona el diseño establecido.

Otra investigación importante como base para el desarrollo es Blesa (2006), el cual desarrolla un diseño de planta desalinizadora por osmosis inversa, la cual tiene como objeto dos líneas con conversión del 60,14% para la producción de agua potable. Dicha planta será situada en el Municipio Roquetas del Mar y el consumo que se espera garantizar es de 250 litros de agua por habitante, para una población aproximada de 60.135 habitantes. La cantidad de bombas para la planta será de 4 específicamente, su potencia se establece en 25,415 KW para el impulso de 6250 metros cúbicos por día. Necesario para el sistema es pretratamiento del agua, a manera que sean eliminados sólidos en el agua, materia orgánica, lo que va a permitir que no se dañe la planta mediante su uso. La forma de pretratamiento químico del agua va a ser realizad con el objeto de desinfectar el agua. El método usado para tal fin es el ácido hipocloroso, un biocida muy utilizado.

Continuando con la línea de antecedentes, se tiene la investigación subtitulada “Diseño de un sistema portable de desalinización de agua de supervivencia marina para consumo humano mediante energía solar fotovoltaica mediante ósmosis inversa”, desarrollada por Pérez, Castro y Fernández (2015), dicho trabajo tuvo como objeto de estudio, el diseño de un sistema para la obtención de agua dulce en situaciones de supervivencia marina haciendo uso de osmosis inversa y energía fotovoltaica. La situación de supervivencia se traza sobre una balsa con una tripulación de 12 individuos, para lo cual se desarrolla un sistema para la obtención de agua, cabe destacar que este tipo de balsas se utilizan en buques de la Armada, la investigaciones desarrolla todos los elementos necesarios para el funcionamiento del sistema, posibles limitaciones y adquisición de la maquinaria necesaria para su desarrollo, destáquese la importancia de este tipo de investigación para la situación y problemática actual.

Otro antecedente importante radica sobre López (2015), su investigación se titula Diseño de planta de tratamiento de agua potable por ósmosis inversa para un buque de pasaje.

Se trata de un trabajo macro por cuanto se establece la necesidad de diseño de una planta desalinizadora por osmosis inversa para un buque con la capacidad de transporte de 4.890 personas. La autora comienza resaltando una descripción de antecedentes de la investigación y un marco teórico importante para el sustento de esta. Asimismo, procede con los cálculos necesarios y el desarrollo de planos para tal diseño, continuando con las especificidades económicas y técnicas para el proyecto, culminando con un presupuesto para conseguir los objetivos plasmados.

En cuanto a estructura, la presente investigación muestra significado y relevancia para la situación actual, ya que se necesita de parámetros semejantes para lograr lo presente. El proyecto se conforma de 4 capítulos, el capítulo inicial hace relación a la problemática del proyecto y el punto de partida de este. En este se engloban el planteamiento la pregunta problema, objetivos de la investigación, justificación, delimitación y otros. El capítulo 2, contiene el marco referencial, donde se hace necesario expresar antecedentes de la investigación, marco teórico, conceptual y legal. El capítulo 3 contiene la estructura metodológica necesaria para llevar a cabo la investigación, los cuales serán desarrollados en el capítulo 4, por orden jerárquico. Por último, se establecen conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados establecidos.

Capítulo 1. Problema

1.1 Planteamiento del problema

Desde un punto de vista inicial, el agua es un recurso vital que, de manera obligatoria, los Estados o países se encuentran en la obligación de garantizar a sus poblaciones (Tello, 2008). Se considera entonces que el acceso al agua es una necesidad básica para el vivir de la humanidad. No obstante, en la actualidad, el mismo no ha podido ser abastecido por muchos países y gobiernos a nivel mundial, internacional y también nacional.

Señala el autor que esta problemática se le ha dado el nombre de “crisis mundial del agua”: este término proviene desde muchos puntos de vista, el principal de ellos radica sobre los niveles altos de contaminación ante el cual se mantiene el recurso hídrico. Seguido de ello, otra problemática que envuelve este recurso recae sobre la explotación de los recursos naturales desde un punto de vista macro, este trae como consecuencia directa que el medioambiente a nivel mundial tenga una degradación importante. Desde el punto de vista de Gleik, (2002), el agua potable con la que cuenta el mundo, para abastecer sus necesidades básicas de consumo, desarrollo de actividades, generación de energía eléctrica y todas las operaciones donde este medio natural sea necesario, corresponden al 1% de la totalidad del recurso hídrico disponible en el mundo.

Según lo expresado por la Organización de las Naciones Unidas, el agua potable que existe en el mundo es suficiente para abastecer las necesidades básicas de consumo del ser humano. La problemática a nivel mundial radica sobre la forma en como este recurso es manejado, a lo cual sobresale una gestión deficiente de la misma, acompañada de problemas de corrupción, falta de una estructura organizacional e institucional importante

para el control del recurso, deficiencia en la inversión de infraestructura, generación de proyectos, inversión económica, que generan una problemática directa hacia la forma de distribución en redes del recurso natural, falta de gestión política, capacitación acerca de la gestión y cuidado del agua, todos estos problemas en conjunto tienen como consecuencia que más de 768 millones de personas no tengan acceso al agua potable (Unicef, 2015), las mismas se encuentran viviendo en pobreza extrema, zonas rurales apartadas y otras zonas vulnerables.

Cuando se evalúa la problemática desde un contexto nacional, en Colombia, el abastecimiento de agua representa un servicio público que se distribuye a nivel domiciliario (art. 15, Ley 142 de 1994), se considera este un derecho fundamental y obligatorio para todos los habitantes. Sin embargo, este ser no ha podido ser satisfecho en todo el territorio nacional, derivando de problemas de índole político, imposibilidad en cuanto al abastecimiento con mayor énfasis en zonas vulnerables y otros ligados a la gestión del recurso. Explícitamente, “La crisis del agua es un fenómeno multifactorial que parte de asumir que las decisiones sobre cómo los recursos hídricos son protegidos, manejados, utilizados, asignados y conservados, son decisiones de gobierno, por lo cual se cree que la crisis del agua es en realidad una crisis de gobernabilidad” (Zamudio, 2012).

Cuando se habla de gobernabilidad, es posible establecer una relación con el manejo de políticas públicas, gestión desde el Estado del recurso, basado en la postura de que el acceso al agua potable es un derecho social, establecido en la constitución del país. En el mismo orden de ideas, es necesario también expresar que se necesita de un ejercicio positivo desde los gestores y los beneficiarios del recurso, en aras de que erradicar el sistema creado, donde solo se espera que el Estado sea responsable, de la conservación, cuidado y abastecimiento de agua.

Adentrar un poco más en el tema, es describir la problemática desde un nivel local, es decir, en el departamento de la Guajira, y de manera más específica la alta guajira colombiana, donde desde un punto de vista histórico el mismo ha contado con eventos que representan riesgo en la prestación del servicio de agua potable y según lo establecido por la Cámara de comercio de La Guajira (Cámara de Comercio de La Guajira, 2016), la población de la alta Guajira es el que mayor carencia a nivel rural

presenta Colombia, donde el 96% de la población es pobre. Desde la parte del gobierno del país, se han realizado un sin número de acciones que conlleven a superar a las entidades territoriales la problemática en desarrollo, acceso al agua potable, las cuales no han tenido resultados positivos para el departamento. Es evidente que en el país aún se presentan deficiencias de tipo múltiple, las cuales no permiten a la población gozar de este derecho fundamental de la humanidad.

Linares, (2018), expresa que: “Debido a la falta de implementación de sistemas de cobertura que permitan un suministro de agua al alcance de todos los miembros de las comunidades accionantes, sin restricciones de tipo económico o social, y con la garantía para los usuarios de recibir información veraz sobre la prestación del servicio”

Es notable a través de lo expresado que inmensa cantidad de las comunidades del departamento y específicamente la alta Guajira, no cuentan con un sistema o un flujo de agua potable, lo cual dista de la garantía de derecho al servicio expresado en la constitución y leyes del país

1.1.1 Pregunta problema

La problemática anterior trazada es el punto inicial para establecer la siguiente pregunta problema:

¿Cómo diseñar una planta de desalinizadora de agua de mar basada en tecnología de osmosis inversa para abastecer a las comunidades del departamento de la Guajira?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Diseñar una planta desalinizadora de agua de mar basada en la tecnología de osmosis inversa para abastecer a las comunidades indígenas de la alta Guajira.

1.2.2 Objetivos específicos

Establecer la zona de ubicación de la planta desalinizadora, basado en un estudio estadístico de la población que relacione hidrografía y demografía de esta.

Determinar las características fisicoquímicas del agua a tratar con el motivo de establecer requerimientos específicos en el diseño de la planta desalinizadora

Identificar la capacidad de tratamiento del agua de la planta desalinizadora teniendo como base un caudal de agua potable para el consumo de las comunidades

Realizar el diseño de la planta desalinizadora de agua teniendo como base el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y la resolución 2115 del 2007 emitida en el país.

Realizar una simulación a partir del Software ROSA que permita la tecnología de osmosis inversa mediante parámetros establecidos para la problemática establecida

1.3 Justificación

Desde el punto de vista justificativo, la presente investigación tiene como propósito principal, el diseño de una planta desalinizadora bajo la técnica de ósmosis inversa en aras de abastecer de agua potable a las comunidades indígenas de la alta Guajira. Una de las principales problemáticas de la alta guajira colombiana es el agua potable. La falta de este recurso produce inseguridad alimentaria y una crisis humanitaria para las poblaciones de la región, con especial énfasis en la comunidad indígena. Según los problemas más serios de la población se ven representados en el recurso hídrico, lo cual ha causado desnutrición y cobrado la vida de muchos niños de la región (Defensoría del pueblo, 2014).

Por tal razón al desarrollar esta investigación se cuenta con el diseño de una planta que puede ayudar con la problemática de la región, sirviendo como base de aplicación de proyectos entes territoriales y gobierno. Este trabajo deja beneficios de manera directa a organizaciones que tienen como finalidad llevar a cabo proyectos para tratar la

problemática de agua de la Alta Guajira y de manera indirecta a los pobladores del área estudiada, ya que pueden ser beneficiados cuando el proyecto sea puesto en marcha.

La importancia de la presente investigación radica principalmente sobre la problemática que trata. En Colombia, la zona de la alta Guajira presenta grandes problemáticas acerca de la disponibilidad del recurso hídrico, sin embargo, esta se configura como un problema en diferentes zonas del mundo. Por lo que, en cuanto a la importancia del presente trabajo, el resultado de este sirve de apoyo de aplicación de proyectos a las comunidades, de manera que se pueda ver disminuida la situación precaria del agua en la región. Bonet y De Castro (2017) expresan que, las pocas lluvias que hacen presencia en el Departamento generan sequía, lo que es directamente proporcional a una población indígena sin agricultura, ganadería y sin alimentos, recursos económicos, ni agua potable. Dicha población al no tener un acceso a agua de calidad o bajo parámetros normales para el consumo humano, contraen enfermedades, parásitos, deshidratación, desnutrición al verse bajos sus niveles de sistema inmunológico y una serie de consecuencias de tipo humanitario de serio orden y necesidad de atención. Todo lo anterior señalado expresa una problemática importante la cual puede ser mediada desde el desarrollo de la presente investigación.

Para finalizar el presente desarrollo se enmarca como la reunión de una serie de conocimientos desarrollados desde la epistemológica y los procesos metodológicos para dar solución a la problemática presentada, hecho que puede ser utilizado por otros estudiantes para reforzar sus investigaciones o desarrollar otras en la misma línea. La universidad, se enfoca en un apartado de conocimiento e investigación a favor de la sociedad, idea intrínseca dentro del presente proyecto.

1.4 Alcance de la investigación

El desarrollo de la investigación actual abarca todo el diseño de una planta de desalinización por osmosis inversa, incluyendo las diferentes etapas necesarias en el proceso, estableciendo la mejor solución posible a partir del diagnóstico realizado sobre la población. Asimismo, se tratan variables en el proceso de instalación como captación de la fuente de agua pretratamiento, temperatura del agua, módulo de osmosis inversa, sistema de desplazamiento, entre otros.

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1 Antecedentes

Los antecedentes se corresponden de otras investigaciones existentes y referentes al tema tanto a nivel nacional como a nivel internacional, estas son de importancia para la presente debido a que fundamentan la misma, presentando argumentos y guías para el desarrollo.

Desde un punto de vista nacional, se tiene a los investigadores Imitola y López (2019), con su investigación Diseño de una planta desalinizadora de agua de mar en la zona de la Media-Alta Guajira. Dichos investigadores parten de la problemática mayor en el país, con mayor incidencia en la Región Caribe específicamente en la Guajira, acerca del desabastecimiento de agua en las poblaciones indígenas. Por tal razón establecen el diseño de una planta desalinizadora la cual es ubicada en la Población de Manaure, ubicada a 12 km de la cabecera municipal de Uribía. El caudal estimado durante la investigación es de 20300 m³/día, el cual puede abastecer más de 160000 personas. Dentro de los procesos existentes para lograr desalar el agua, se opta por el proceso de osmosis inversa, por ser mayor representativo. Durante el estudio es expresada toda la maquinaria necesaria para llevar a cabo el sistema de conversión, dejando recomendaciones importantes para el transporte de agua resultante.

En la continuidad de autores se tiene a Cortes y Lesmes (2014), estos identifican que el agua es el recurso de mayor importancia a nivel mundial. En Colombia, se han presentado transformaciones ligadas al cumplimiento de la demanda del recurso y las futuras situaciones críticas debido a la escasez presentada en algunos departamentos del Estado.

Uno de estos espacios es el Municipio de Uribía en la Guajira, la problemática de esta zona radica sobre sequía, bajos volúmenes de precipitación, uso sobreexplotado del recurso disponible y otros factores que conllevan al desarrollo de proyectos para solventar dicha problemática. El objeto de la investigación es simular una planta desalinizadora mediante el uso del software Hydranautics IMS, la técnica usada por la planta es osmosis inversa y pretende atender de manera directa las problemáticas ligadas al recurso hídrico en la zona establecida.

La metodología usada para el desarrollo de la investigación se comprende de una revisión de tipo bibliográfica en aras de llevar a cabo la simulación del proceso. En el desarrollo de la investigación fueron desarrollados impactos ambientales de la alternativa en desarrollo. Las conclusiones obtenidas permiten establecer que las condiciones de la población de Uribía son necesarias y favorables para la construcción de una planta desalinizadora bajo osmosis inversa, hecho que puede dar solución a la problemática estudiada.

Ahora desde un apartado internacional, Blesa (2006), desarrolla un diseño de planta desalinizadora por Osmosis inversa la cual tiene como objeto dos líneas con conversión del 60,14% para la producción de agua potable. Dicha planta será situada en el Municipio Roquetas del Mar y el consumo que se espera garantizar es de 250 litros de agua por habitante, para una población aproximada de 60.135 habitantes. La cantidad de bombas para la planta será de 4 específicamente, su potencia se establece en 25,415 KW para el impulso de 6250 metros cúbicos por día. Necesario para el sistema es pretratamiento del agua, a manera que sean eliminados sólidos en el agua, materia orgánica, lo que va a permitir que no se dañe la planta mediante su uso.

La forma de pretratamiento químico del agua va a ser realizad con el objeto de desinfectar el agua. El método usado para tal fin es el ácido hipocloroso, un biocida muy utilizado. Del mismo modo es usado un método de decloración, es necesario y se agregará bisulfito sódico para tal fin. El agua de producción para la planta será para el consumo humano, las cuales deberán de estar reguladas por el Decreto 140 de 2003 del país, decreto 1138 de 1990 y otros factores legales.

Todos los reactivos químicos usados para el tratamiento del agua serán dosificados con bombas de membrana con una potencia de 50W. Por último, referente al apartado económico, se cuenta con un capital de 6.261.712,63 €.

Otra investigación importante para este punto a nivel internacional es la desarrollada por Piña (2019), Diseño de una planta desalinizadora mediante osmosis inversa en Béjaïa (Argelia). En la costa del Norte de África, Béjala Argelia, se lleva a cabo un estudio que expresa la necesidad de agua en el país, es este el punto de partida para el diseño de una planta desalinizadora de agua, mediante uso de osmosis inversa. A partir de esta problemática, se calcula el caudal disponible de agua para el diseño de la planta, teniendo en cuenta el análisis de pretratamiento, tratamiento y postratamiento de agua, establecimiento de filtros por anilla, filtración por cartucho y otros. Del mismo modo para comprobar los parámetros establecidos se evalúa mediante el uso del Software IMC Desing para comprobar la factibilidad de los cálculos establecidos. Los resultados conllevan a establecer una viabilidad del proyecto mediante el uso de inversión y gastos operativos para generar un proyecto factible para la población.

2.2 Marco Teórico

La información presentada a continuación corresponde como un apartado teórico necesario para el abordaje de la presente investigación.

2.2.1 Procesos de desalinización

Según Moreno (2011), La desalinización es un proceso diseñado con el motivo de producción de agua dulce mediante el uso de agua salada. Con el devenir de los años, han sido desarrollados un conjunto de procesos de purificación del agua de mar, basados en las características físicas y químicas del agua a tratar, con la finalidad de satisfacer la demanda de agua potable, lo que conllevó a mejorar los procesos observados en la naturaleza evaporación y filtración. Entre los más importantes destacan:

- Destilación Múltiple Efecto
- Destilación por Electrodiálisis
- Evaporación Súbita por Efecto Flash
- Compresión Mecánica de Vapor
- Osmosis Inversa

La destilación de múltiple efecto se enmarca como en evaporación por etapas continuas; la primera etapa es alimentada con vapor externo (entre 70° y 80°) y en el resto de las etapas se va utilizando el calor de condensación del vapor producido por la etapa anterior, de esta forma, se va elevando la temperatura del líquido tratado desde unos 22°C, (2-3 grados por etapa), hasta la temperatura del vapor de alimentación.

Al mismo tiempo, en el proceso de condensado (agua desalada) va perdiendo temperatura hasta igualar la temperatura de entrada al proceso; La diferencia de temperatura entre efectos es establecida por la elevación del punto de ebullición, las pérdidas de presión entre los efectos y la necesidad de tener una diferencia de temperatura mínima que permita obtener un caudal de destilado razonable en un evaporador es la parte fundamental del proceso (Moreno, 2011).

En continuidad la destilación por electrodiálisis, desde el punto de vista de la American Membrane Technology Association (2019), se puede describir como separación de tipo electroquímica, donde membranas cargadas y una diferencia de potencial eléctrico son usadas como mecanismos para la separación de especies de tipo iónica. Desde un sentido regular este tipo de separación puede utilizarse para llevar a cabo varios tipos de separación general, tales como la separación y concentración de sales, ácidos y bases de soluciones acuosas

Un equipo de electrodiálisis está formado por un conjunto de membranas aniónicas y catiónicas dispuestas en forma alterna y separada por espaciadores o placas, en una configuración semejante a los filtros prensa. Los espaciadores provocan turbulencias que evitan las deposiciones de materiales en la superficie de las membranas y homogeneizan la concentración.

Asimismo, la Evaporación Súbita por Efecto Flash, consiste calentar usando un recipiente de presión baja, hecho que permite la evaporación súbdita. Su funcionamiento radica en reducir abruptamente la presión del agua de mar por debajo del valor de su presión de vapor de equilibrio, ocurriendo una evaporación súbita o una ebullición explosiva de la misma. Bajo este proceso una cantidad pequeña de agua se evapora, por lo que los volúmenes de producción de la planta se generan por etapas sucesivas con cantidades de presión que se van reduciendo continuamente (Moreno, 2011).

Haciendo referencia a la compresión mecánica de vapor, este agrupa una serie de procesos de los cuales se encarga el medio ambiente de manera natural, evaporación, condensación, separación de vapor y des vaporización ciclónica. En este proceso, El vapor corre en sentido contrario al agua que ingresa para separar todos los gases y líquidos volátiles; la des vaporización ciclónica encauza el vapor en una cámara circular donde es girado a una velocidad de 40 millas por hora; este proceso hace centrifugar las gotas de agua hacia la parte de afuera donde se desaguan de vuelta en la caldera y solamente el vapor seco es transportado y condensado. Este proceso purifica el agua de alimentación que contiene una amplia variedad de contaminantes, incluyendo virus y bacterias, minerales, gases, radiación y sales. La compresión por destilación de vapor no depende de filtros ni productos químicos para limpiar el agua (Moreno, 2011)

Por último, es necesario expresar la Osmosis inversa, principal mecanismo de acción para la investigación actual, esta se encuentra basada en el equilibrio de dos fluidos los cuales contiene una diferencia de concentración de sólidos, los cuales se mezclan hasta la formación de una mezcla uniforme, en el momento en que estos dos fluidos se separan por una membrana semi permeable, se deja pasar a los fluidos y no a los sólidos. La presión osmótica del agua es de 400 psi, hecho que declara que debe ser usada una presión de 600 psi para el sistema (Tran y Misa, 2010).

2.2.2 Planta de desalinización

Son una alternativa viable para obtener agua potable en los lugares donde el agua es escasa. El método de ósmosis inversa es uno de los más utilizados, ya que es el más eficiente, económico y respetuoso con el medio ambiente, en comparación otras técnicas de desalación conocidas. El sistema de desalinización consiste en alimentar agua salobre o marina a una planta desaladora, la cual tiene como función acondicionar y eliminar sales del agua, para obtener agua producto (permeado) y un rechazo (salmuera o concentrado) (Cifuentes, 2005).

2.2.3 Osmosis inversa

Veoliawasterst (2010), señala que el proceso de la ósmosis ocurre cuando, a través de una membrana semipermeable, el agua fluye desde la 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.

Asimismo, algunas membranas de OI rechazan hasta 99 por ciento de todos los sólidos iónicos y tienen comúnmente un peso molecular en el rango de 100 a 300 daltons para los químicos orgánicos. Es necesario expresar que una mayor presión aumenta la tasa de permeado; sin embargo, también aumentará la incrustación. Dentro del proceso básico de OI se incluye:

- Pretratamiento
- Transporte de membrana
- Postratamiento antes de la distribución.

El proceso de osmosis inversa se compone de los siguientes pasos, primero necesario revisar la imagen sugerida

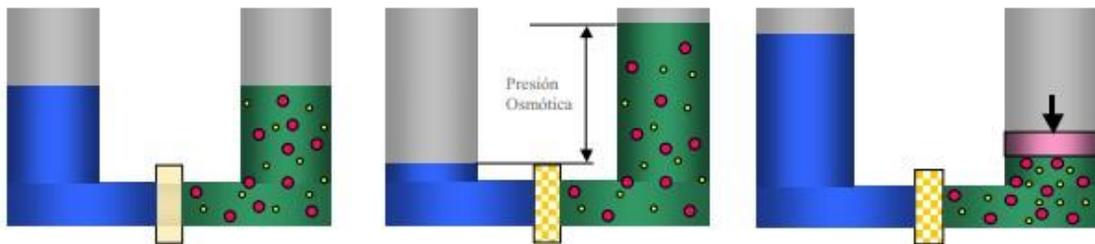


Figura 1. Osmosis inversa. Fuente: Ecoagua (2009)

La ósmosis inversa se puede expresar en 3 pasos, Ecoagua (2009):

- En el primer paso, los dos vasos se encuentran separados por una membrana semipermeable que solo permite el paso del agua; si en el vaso de la derecha se introduce agua pura y en el de la izquierda agua con sales disueltas, aparece una presión sobre la membrana desde el lado del agua pura hacia la disolución salina a efecto de igualar el potencial químico en ambas soluciones, el valor de esta presión es la presión osmótica de esa solución. Las moléculas de agua de la disolución salina también pasan hacia el agua pura, pero el balance del número de moléculas de agua atravesando la membrana es favorable en la dirección desde el agua pura a la solución salina.
- Es así como se crea el segundo paso, que es cuando disminuye la cantidad de agua pura y se incrementa la cantidad de agua salina, hasta que la columna diferencial de agua entre ambos recipientes es tal, que la presión del líquido del lado de la solución salina iguala la presión osmótica.
- En un tercer paso si a este mismo proceso de ósmosis, se le sitúa un émbolo sobre la superficie de la solución salina y se ejerce presión mecánica sobre ella, cuando se iguala la presión osmótica, el proceso se equilibra y las moléculas atraviesan de un lado a otro de la misma forma. Se continúa aumentando la presión sobre la solución salina el equilibrio se invierte, pasando más moléculas de agua de la solución salina hacia el lado de agua pura que en el sentido contrario como se muestra en el tercer paso, obteniendo agua pura mediante ósmosis inversa

2.2.4 Pretratamiento

Basado en lo expresado por el Ministerio de Sanidad y Política Social (2009), El pretratamiento es un proceso de antelación muy similar al utilizado dentro del tratamiento de agua potable. No obstante, en las plantas desaladoras el objeto es la adecuación de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del agua de alimentación para evitar de este modo, la corrosión, la formación de incrustaciones y, en definitiva, el deterioro prematuro de los equipos que hacen parte de la planta de desalación

Por otro lado, Cotruvo y Abouzaid (2010) expresan que en el pretratamiento se logra la remoción de algunos contaminantes y controlar el crecimiento de algunas bacterias y microbios sobre la superficie de las membranas, ya que la acumulación de estos reduce la vida útil y la eficiencia, por otro lado, en el pretratamiento los sólidos suspendidos son removidos a través de la filtración o membranas de poros de mayor tamaño para esto se utilizan filtros de arena y filtros de cartucho; se realizan ajustes de pH, por lo general, se disminuye para proteger las membranas y controlar la precipitación de sales, dichos procesos hacen parte del pretratamiento en una planta desaladora.

Otro punto importante para destacar del pretratamiento radica en los procesos de desalación por membranas, el cual consiste en eliminar o reducir al máximo posible el riesgo de atascamiento de las membranas, ya que se puede empeorar la calidad del agua tratada y producir un incremento de la presión necesaria para su funcionamiento. Sin embargo, el pretratamiento en las membranas se debe realizar con el fin de lograr la eliminación de sólidos en suspensión, evitar la precipitación de sales minerales, reducción del contenido de materia orgánica en el agua y por último, la reducción de la actividad biológica del agua de alimentación.

Necesario es especificar que, en la desalación por destilación, el pretratamiento se realiza con el fin de eliminar o reducir al máximo posible el riesgo de precipitación de sales insolubles en las superficies de intercambio de calor, y la eliminación de gases condensables capaces de reducir el coeficiente de transmisión de calor, provocando así serios problemas de corrosión en los evaporadores y en los equipos de la planta desaladora (Ministerio de Sanidad y Política Social (2009)

2.2.5 Postratamientos

Cuando se realiza el tratamiento de desalación del agua de mar, una de las características del fluido es dureza y alcalinidad bajas, esto hace necesario que un tratamiento posterior para su corrección antes de ser utilizadas, proceso que se conoce como Postratamiento. El tipo de postratamiento depende principalmente del tipo de proceso de desalación utilizado y del uso posterior que se le vaya a dar a esta agua (consumo humano, agrícola y etc.). Por esta razón, se pueden diferenciar cinco (5) tipos de postratamiento, los cuales Universidad del país Vasco (2011), expresa que son:

- La eliminación de CO₂ o descarbonatación,
- Mezcla de aguas,
- Intercambio iónico,
- Acondicionamiento químico
- Desinfección

En el mismo orden de ideas, según lo expresado por Cotruvo y Abouzaid (2010) el agua producto de sistemas de destilación o desalación por membranas deberá ser tratada para ajustar el pH aproximadamente a 8, puede aplicarse la carbonación u otros productos químicos tales como la cal y puede hacerse una mezcla con agua de origen para aumentar la alcalinidad y SDT y estabilizar el agua. Así mismo, podría ser necesario añadir inhibidores de corrosión, tales como polifosfatos, sin embargo, muchos sistemas vuelven a mezclar una porción del agua de origen con el agua desalada para la mineralización. El tipo de tratamiento de mayor uso es el acondicionamiento físico.

2.2.6 Etapas del diseño de una planta de osmosis inversa

Según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (2000, p.18-19) y la Resolución 2115 del 2007, se pueden establecer las siguientes como etapas para el diseño de una planta desalinizadora por osmosis inversa:

- Dotación y caudal de diseño, satisfacción de los requerimientos mínimos de agua para poblaciones, configuración del caudal máximo de diseño de la planta por hora, establecimiento del nivel de riesgo por abastecimiento de agua.
- Ubicación de la planta, disponibilidad de tierra para la ubicación del sistema, condiciones del espacio geográfico, acceso al espacio (vías de comunicación).
- Diseño conceptual
 - Tratabilidad del agua
 - Tratamiento según necesidades de calidad
 - Captación, transporte y disposición final del agua.
- Estudio técnico de recursos necesarios, selección de materiales y equipos para el diseño según la disponibilidad local.
- Adecuación hidráulica del sistema, establecimiento de pérdidas generadas por la topografía, conexiones, transporte del agua y otros.

2.3 Marco conceptual

A continuación, se toma el concepto de un conjunto de términos necesarios para la comprensión de la temática abordada (Ruiz y Valencia, 2001):

MFI, el MFI es un índice de evaluación potencial de ensuciamiento de la membrana. El volumen se recolecta en 30 s en un período de filtración cada 15 minutos. Se determina en forma gráfica. $MFI < 1$ equivale a $SDI < 3$.

Índice de Saturación de Langelier (LSI), este índice presenta características incrustantes o agresivas del agua, este contiene factores fisicoquímicos como el pH, dureza cálcica, alcalinidad y otros

Efecto pitting, A medida que el agua fluye a través de la membrana y las sales son rechazadas por ésta, una capa límite se forma cerca de la superficie de la membrana en la cual la concentración de sales excede la concentración promedio de sales en el flujo turbulento

Flux, flujo de agua, valor que se expresa en área por unidad de tiempo

Sólidos disueltos totales (Sereviche, Castillo y Acevedo, 2013), expresa que son sustancia que permaneces posterior a los procesos de filtraje, evaporación y otros.

Salinidad del agua. La salinidad de permeado es proporcional al promedio de salinidad de alimentación en la superficie de la membrana. Por consiguiente, un aumento en la salinidad de alimentación dará como resultado una salinidad de permeado correspondiente más alta.

Temperatura del agua. La temperatura afecta la velocidad de difusión del agua y los iones disueltos que atraviesan una membrana semipermeable. El cambio en el flujo de agua por temperatura es cerca del 3% por grado °C.

Turbiedad del agua de entrada. Cantidad entre materia suspendida y coloidal tales como arcillas, arenillas, materia orgánica e inorgánica, organismos microscópicos en la muestra de agua.

Caudal de alimentación. El caudal de alimentación aplicada afecta a la Presión Neta de Alimentación (PNA), la cual, a su vez, afecta directamente al flujo de permeado. Una presión más alta dará como resultado un flujo de permeado más alto. Sin embargo, la presión de alimentación no afecta el transporte de sales que atraviesa la membrana.

Recuperación de permeado. La velocidad máxima de recuperación a la cual puede operar un sistema de OI de agua salobre es definida, principalmente, por la química del agua, esto es, por la composición iónica del agua de alimentación. Una recuperación excesiva podría dar como resultado la formación de incrustaciones por deposición de sales que sobre saturan la membrana. En sistema de OI de agua de mar, la recuperación ésta limitada por la salinidad de permeado requerida y por las limitaciones de la presión de alimentación. El aumento de la recuperación del sistema dará como resultado un promedio más alto de salinidad en la superficie de la membrana, con un incremento proporcional en la presión osmótica de alimentación promedio.

2.4 Marco legal

Dentro de este apartado es importante tener en cuenta las siguientes aristas:

- El apartado legal necesario para la investigación actual se basa en la calidad del agua para el consumo humano, El Ministerio de Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial expresan la siguiente tabla:

PARAMETROS	UNIDADES	VALOR MAXIMO ACEPTABLE
Color aparente	Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Nefelometricas de turbiedad (UNT)	2
Conductividad	Microsiemens/cm	1000
Potencial de Hidrogeno	pH	6.5 y 9.0

Tabla 1. *Parámetros del Agua para Consumo Humano. Fuente: Ministerio De La Protección Social (2007)*

COMPUESTOS QUÍMICOS	SIMBOLO	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (Mg/L)
Antimonio	Sb	0.02
Arsénico	As	0.01
Bario	Ba	0.7
Cadmio	Cd	0.003
Cianuro libre y disociable	CN ⁻	0.05
Cobre	Cu	1.0
Cromo total	Cr	0.05
Mercurio	Hg	0.001
Níquel	Ni	0.02
Plomo	Pb	0.01
Selenio	Se	0.01
Trihalometanos Totales	THMs	0.2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0.01
Carbono Orgánico Total	COT	5.0
Nitritos	NO ₂ ⁻	0.1
Nitratos	NO ₃ ⁻	10.0
Fluoruros	F ⁻	1.0
Calcio	Ca	60.0
Alcalinidad Total	CaCO ₃	200.0
Cloruros	Cl	250.0
Aluminio	Al	0.2
Dureza Total	CaCO ₃	300.0
Hierro Total	Fe	0.3
Magnesio	Mg	36.0
Manganeso	Mn	0.1
Molibdeno	Mo	0.07
Sulfatos	SO ₄	250.0
Zinc	Zn	3.0
Fosfatos	PO ₄	0.5

Tabla 2. Valores tolerados de compuestos químicos en el agua potable. Fuente: Ministerio De La Protección Social (2007).

- Decreto 1505 de 2007, dicho apartado de ley establece una serie de elementos expresados en el artículo 1, como análisis microbiológico del agua, análisis básicos (pH, color aparente, coliformes totales y otros)
- En el artículo 2 de la ley expresa es posible encontrar la siguiente tabla, donde se especifican características físicas para el agua y su consumo

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable ó no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

Figura 2. *Tabla de características físicas del agua. Fuente: Ley 1505 de 2007*

- El Reglamento técnico del Sector de Agua potable y Saneamiento Básico, hace referencia al desarrollo de estudios y diseño de componentes de un sistema de potabilización de agua, el cual tiene aplicación directa sobre la investigación actual, del mismo modo hace relación a la puesta en marcha, operación y mantenimiento del sistema, el cual es usado como base para la investigación actual y sus resultados.

Capítulo 3. Marco metodológico

3.1 Tipo de investigación

Dentro del apartado científico necesario para el desarrollo actual, la presente se configura de manera inicial en la tipología aplicada, las investigaciones aplicadas tienen como propósito la resolución de un determinado problema, o un planteamiento específico, para el caso actual la necesidad de agua potable sobre la alta guajira colombiana, lo cual es punto de partida para la realización del proyecto. Asimismo, el enfoque de desarrollo metodológico cumple con lo que se conoce como enfoque cualitativo, Hernández. Fernández y Baptista (2014:3), expresan que el conocimiento en tipo de investigaciones es objetivo y mediante la mediación numérica y el análisis estadístico, se puede probar hipótesis establecidas. “utiliza la recolección de datos para establecer las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación”.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación sobre el cual se traza la investigación actual, hace referencia a un diseño no experimental y de campo.

Desde la perspectiva de Palella y Martins (2012), los diseños experimentales no manipulan las variables estudiadas, estas son descritas desde su entorno natural y donde las mismas se suceden. Del mismo modo la investigación de campo, requiere recolectar información desde el lugar geográfico donde la problemática se evidencia. En la investigación actual se requiere estar ubicado sobre el aspecto geográfico para la

definición de cantidad de población, muestras de agua para su caracterización y otros aspectos que van a ser detallados en párrafos subsiguientes.

3.2.1 Población de estudio

Toda investigación debe ejecutarse mediante sujetos de investigación, los cuales constituyen las unidades de observación y como tales poseen atributos, condiciones o cualidades cambiantes. Al respecto, Abero, Berardi, Capocasale, García y Rojas (2015), refiere que “el término universo es asociado a población, en un proyecto de investigación, alude a todos los casos de interés y que concuerdan en determinadas especificaciones”. También se les nombra como las unidades de análisis; el cual proporciona la información adecuada a la investigación.

Este aspecto, es importante puesto se le debe introducir los individuos que estarán conformando la población dentro del estudio, las cuales forman parte constitutiva de las unidades de análisis que se ha delimitar y sobre la cual es posible generalizar los resultados. En relación a lo anterior, Abero, Berardi, Capocasale, García y Rojas (2015), al hablar de población de estudio en la investigación, es hacer referencia a elementos diversos que concuerdan en el campo, aunque se les reconocen cierto número de representaciones comunes.

Para la investigación actual, en primera instancia la investigación de campo va a permitir establecer una población de estudio, para establecer sus necesidades potables, lo cual permite proceder con el diseño de la planta desalinizadora de agua.

3.2.2 Muestra

La muestra es una proporción representativa de la población. En este sentido, Palella y Martins (2012), refiere que el “estudio abarca la totalidad de la población, lo que significa hacer un censo o estudio de tipo censal, propiedades de la población del estudio”. Por esta razón, el caudal de agua establecido va a permitir. Es necesario recalcar que el proyecto no deja como beneficiario directo a la población de estudio, sin embargo, se trazan las variables que permiten desarrollar el proyecto y tener beneficiarios directos sobre el mismo.

3.2.3 Etapas del Proyecto

En primera instancia, para lograr los objetivos trazados se hace necesario establecer la locación de planta desalinizadora. Para tal fin, se debe llegar hasta la población de la Alta Guajira con el motivo de realizar un estudio demográfico e hidrográfico que permita ubicar dicha planta, basado en las necesidades de las comunidades y la disponibilidad de agua.

Para tal acción, la entrevista no estructurada, la observación y las listas de chequeo son un apartado necesario para la obtención de información y establecer parámetros como la capacidad de producción de la planta mediante las necesidades de la población evaluadas

Teniendo la ubicación pertinente de la planta, en este punto resalta la necesidad de caracterizar el agua a tratar, para ello, se realiza una prueba de laboratorio sobre una muestra de agua que permita lo anterior.

Con base en la información anterior, se identifica la capacidad de desalinización de la planta para obtener los m³/día de agua potable para su uso, basados en necesidades de la población de estudio.

En el país, existen reglamentos importantes, en cuanto a las características fisicoquímicas de agua para el consumo humano, como lo son la resolución 2115 del 2007 y Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable Y Saneamiento Básico. Al comparar las pruebas de laboratorio obtenidas con las necesidades de consumo del agua, se puede establecer todos los equipos y materiales y cálculos necesarios a la hora de diseñar la planta de desalinización bajo el proceso de osmosis inversa la cual consta de las siguientes etapas

- Diseño de la captación de agua,
- Pretratamiento del agua, diseño de la filtración y sus etapas
- Selección de filtros y membranas
- Bombas
- Tratamiento de desechos

Todos y cada uno de estos apartados debe ser configurado con el motivo de obtener parámetros para cada etapa. Mediante el uso del Software Rosa, todos los parámetros calculados van a permitir simular el proceso de osmosis inversa, lo cual debe llevar resultados que den cabida a la cantidad de agua potable necesaria en la población.

Como todo proyecto, el apartado de costos también se hace necesario, esto va a permitir establecer un promedio de costos para llevar a cabo el proyecto y de alguna manera u otra, contribuir a la mejora de la problemática.

Capítulo 4. Resultados

La información a continuación suministrada, expresa el desarrollo de los objetivos establecidos para la investigación actual, se expresan cálculos y cuantificaciones necesarias para la comprensión de este.

4.1 Delimitación de ubicación de planta desalinizadora

Cuando se habla de la problemática de disponibilidad de agua, Uribí, es una de las poblaciones con mayores falencias en este apartado. Según Martínez (2020), esta zona es conocida como la capital indígena de Colombia. Aproximadamente más del 90% de su población es Wayuu, con una deficiencia notable de agua potable.

Existen acueductos dentro de la población, tanto en la zona céntrica, como en vías que comunican a otros municipios, sin embargo, su disponibilidad no es total. Existe venta de pimpinas de agua, pozos que suministran agua salobre, usado para ropas y encerres, pero no disponible para el consumo humano.

Dentro del casco urbano de la población, han sido instaladas tuberías con el motivo de suministro de agua, no obstante, están no funcionan de manera permanente. Todo esto ejemplifica la zona como una de las precarias para la problemática estudiada. Sin embargo, su ubicación distante de la orilla de mar, lo que dificulta la ubicación de la planta de osmosis inversa.

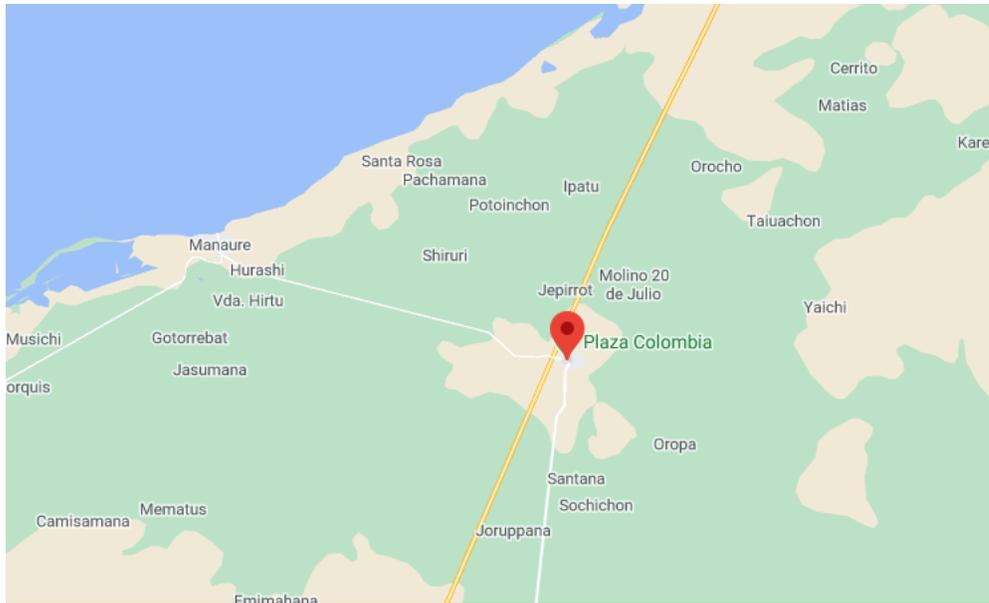


Figura 3. Uribía Ubicación. Fuente: Google Maps (2020).

Ahora bien, si se tiene en cuenta el mapa de la Alta Guajira, con el motivo de establecer factores locacionales importantes, para la ubicación de la planta, Manaure es la población con mejor ubicación. Si se ubica la problemática tratada referente a la disponibilidad de agua, sufre en menor medida de Uribía, sin embargo, el problema es latente en todo momento.



Figura 4. Manaure Ubicación. Fuente: Google maps (2020).

Como puede evidenciar, la zona de Manaure es mayor pertinente para la ubicación de la planta desalinizadora y obtención del caudal de operación.

Dentro de los criterios que han sido tomados en cuenta para la ubicación de la planta se tienen:

- Acceso fácil que permita revisión, monitoreo y una distribución adecuada del recurso hídrico o agua potable
- Efectos negativos de la planta, dentro de estos se puede expresar espacio que ocupa y ruido por parte de la maquinaria, lo que hace pertinente tomar un radio de 4 kilómetros fuera de zona urbana poblada para evitar los mismos
- Suelos que permitan tener parámetros acordes como presión y volumen
- Los terrenos deben ser parte del gobierno, ya que se establece como un proyecto para desarrollo por este tipo de entidades.
- Las vías de acceso de Manaure están totalmente pavimentadas
- Temperaturas que oscilan entre los 28 y 38°C

4.2 Características fisicoquímicas del agua.

Uno de los puntos más importantes de la investigación es establecer las características fisicoquímicas del agua de mar en la región. Esto va a permitir saber a nivel cuantitativo la cantidad de ciertos parámetros necesarios, para llevar a cabo el proceso de diseño de la planta y más importante aún que las características finales del agua potable se adapten al marco legal de la presente investigación.

La siguiente tabla expresa las características fisicoquímicas del agua de la zona:

Características	Parámetro	Valor	Unidad de medida
FÍSICAS	Temperatura	27,50	°C
	Potencial de Hidrogenión	8,10	pH
	Turbiedad	38	NTU
	Conductividad	59200	µs/cm
	Color	2	UPC
QUÍMICAS	Calcio (Ca)	421	mg/L
	Magnesio (Mg)	1367	mg/L
	Sodio (Na)	12191	mg/L
	Potasio (k)	390	mg/L
	Amonio (NH₄)	0,2	mg/L
	Bario (Ba)	0,0	mg/L
	Estroncio (Sr)	0,0	mg/L
	Bicarbonatos (HCO₃)	189	mg/L
	Sulfatos (SO₄)	2786	mg/L
	Cloruros (Cl)	20845,3	mg/L
	Flúor (F)	0,0	mg/L
	Fosfatos (POP₄)	0,0	mg/L
	Nitritos (NO₃)	0,0	mg/L
	Boro (B)	0,0	mg/L
Oxido de Silicio (SiO₂)	0,0	mg/L	

	Hierro (Fe)	0,0	mg/L
	Total de partículas disueltas	38189.5	mg/L

Tabla 2. Características fisicoquímicas del agua de operación. Fuente: Centro de Estudios del Agua, Universidad del Atlántico, 2020

Es importante también señalar, la utilidad de los valores expresados, con el motivo de simular el proceso de osmosis inversa a partir de los datos de la tabla anterior y los cálculos de diseño presentados en párrafos siguientes.

4.3 Condiciones de operación de planta desalinizadora

4.3.1 Caudal de operación de la planta

Referente a la población, la última población conocida de Manaure es de 112.100 habitantes para el año 2017, haciendo uso de la tasa de crecimiento de la población colombiana 3.84%, constante para los últimos años, se tiene una población promedio de la zona de 125.527 habitantes.

Teniendo como base el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS, uno de los puntos más importantes del sistema es establecer el nivel de complejidad, esto va a permitir trazar variables importantes para el desarrollo actual.

Nivel de Complejidad	Población en la zona Urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	<2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio alto	12501 a 60000	Media
Alto	>60000	Alta

Tabla 3. Asignación del nivel de complejidad. Fuente: RAS 2000, título A.

Basado en la cantidad de habitantes determinada, 125.527 habitantes, se puede establecer un nivel de complejidad alto para la zona de Manaure. Ahora bien este nivel de complejidad es necesario con el motivo de establecer el consumo día por habitante, haciendo uso de la siguiente tabla:

Nivel de Complejidad	Dotación neta mínima (L/hab. día)	Dotación neta máxima (L/hab. día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio Alto	130	-
Alto	150	-

Tabla 4. Dotación Neta mínima y máxima por habitante. Fuente: RAS 2000

Entonces, teniendo en cuenta el nivel de complejidad alto, basado en la cantidad de habitantes, la dotación mínima por habitante día para este nivel es de 150. Del mismo modo el nivel de complejidad también aporta valores relacionados a pérdidas técnicas, esto con el motivo de obtener una dotación específica o bruta para los habitantes determinados.

Nivel de Complejidad	Porcentaje Máximo de pérdidas admisibles para el sistema
Bajo	40%
Medio	30%
Medio alto	25%
Alto	20%

Tabla 5. Porcentaje de pérdidas técnicas, basado en el nivel de complejidad. Fuente: RAS, 2000.

En la tabla 3 se estableció una dotación mínima de 150L/hab. día, sin embargo, el porcentaje de pérdidas genera que este valor no sea real, por lo que debe adicionarse este 20% sobre la dotación establecida, dejando como resultado una dotación de 180 L/hab. Día.

Necesario para establecer el caudal de diseño, se deben establecer el caudal medio diario, caudal máximo diario y caudal máximo horario, los cuales son establecidos en la tabla siguiente a partir de las fórmulas señaladas:

Caudal medio diario (cmd):

$$cmd = \frac{Poblacion \times Consumo \text{ total hab}}{86.400}$$

$$CMD = Caudal \text{ medio diario} \times k_1$$

El valor de K_1 , es obtenido a través del Reglamento RAS 2000, a partir de la siguiente tabla

Nivel de Complejidad	Coefficiente de consumo máx. Diario. K_1
Bajo	1.30
Medio	1.30
Medio Alto	1.20
Alto	1.20

Tabla 6. Coeficiente K_1 , según nivel de complejidad del sistema. Fuente: RAS, 2000

Caudal máximo horario (CMh):

$$CMh = CMD \times k_2$$

El valor de K_2 , se obtiene a través del reglamento RAS 2000, a partir de la siguiente tabla:

Coeficiente K_2 , según Nivel de Complejidad			
Bajo	1.60	-	-
Medio	1.60	1.50	-
Medio Alto	1.50	1.45	1.40.
Alto	1.50	1.45	1.40

Tabla 7. Coeficiente K_2 , según nivel de complejidad del sistema. Fuente: RAS, 2000

Las ecuaciones y tablas anteriores permiten establecer los siguientes valores.

Caudal de diseño	Caudal medio diario (L/s)	Caudal máximo diario (L/s)	Caudal Máximo Horario (L/s)
180	261.514	313.817	439.344

Tabla 8. Cálculo de caudales. Fuente: elaboración propia

A partir de los datos anteriores, el caudal de diseño se puede obtener mediante la siguiente formula:

$$Q_{dis} = \frac{\text{Caudal Maximo Diario}}{1000} \times 86.400$$

$$Q_{dis} = 27,113.78 \text{ m}^3/\text{día}$$

Otro punto importante es la razón de recuperación del proceso de osmosis inversa el cual se traza en un 45%, por lo que el caudal bajo este criterio dejando como caudal final de 60252.84 $\text{m}^3/\text{día}$. Bajo la necesidad de tener un caudal por hora para la planta, se establece un trabajo para la misma de 12 por día dejando como resultado 5021.07 m^3/h . estos valores anteriores se consideran el caudal de operación de la planta, basado en las necesidades de consumo de agua potable de la población.

4.4 Diseño de planta desalinizadora.

A continuación, se detalla el proceso de diseño de la planta desalinizadora bajo proceso de osmosis inversa con base en Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico y la resolución 2115 del 2007 emitida en el país.

4.4.1 Torre de captación

En primera instancia se vuelve necesaria establecer a detalle los elementos de la torre de captación de la planta. Voutchkov, N, expresa una serie de criterios importantes, los cuales van a ser tomados en cuenta para la presente, estos son reunidos en la siguiente tabla.

ELEMENTO	ESCALA O TAMAÑO RECOMENDADO
Entradas del sistema	2 entradas como mínimo
Distancia de las barras en la rejilla	50- 300 mm
Velocidad de flujo de agua a través de la rejilla	0.10 a 0.15 m/s
Diámetro	De 2 a 20 m
Distancia existente desde la superficie del agua hasta la parte más alta de la torre	Bajo nivel de agua, 4 m Mediano nivel de agua, 8 m mínimo 20 m, máximo Niveles óptimos de 12 a 20 m
Altura de la torre, desde suelo marino, hasta el punto más alto de la torre	4 m como mínimo

Tabla 9. *Criterios principales para el diseño de una torre de captación de agua. Fuente: Voutchkov, N. (2018).*

Teniendo como base el caudal por hora de 5021.07 m^3/h . y una velocidad de diseño de 4 m/s, se obtiene un diámetro de 769.98 mm, haciendo uso de la formula general fluidos. Se puede establecer entonces un diámetro de tubería de captación de 1000 mm. 4 entradas, una velocidad de flujo de 0.15m/s, altura de 4m, enterrado a una profundidad de 20 m, lo que deja una distancia desde el punto más alto de la torre hasta la superficie del agua de 16 m, correspondientes al nivel óptimo. La tubería que va a ser conectada a la torre está hecha de Polietileno de alta densidad, ya que su resistencia a la corrosión, flexibilidad y alto costo son óptimos para el proyecto.

Referente al cuerpo de la torre, este tendrá una geometría circular, con un diámetro de 2 metros. Para la captación de agua en la parte superior serán instaladas 6 rejillas por tal motivo la parte superior va a tener forma de hexágono. El material necesario para la construcción de las rejillas es de una aleación de acero inoxidable 2507, la cual tiene un 25% de cromo, 7% de níquel y 4% de molibdeno. La imagen presentada a continuación muestra la forma final de la torre.

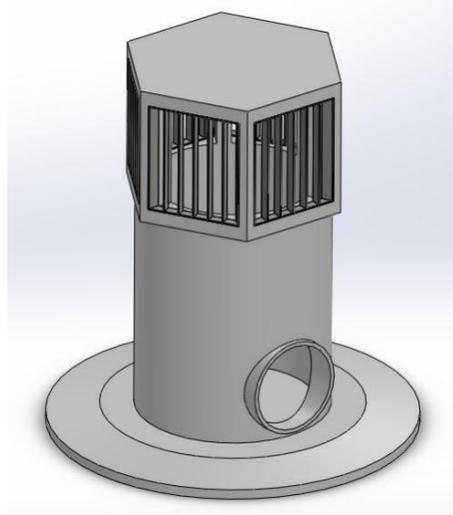


Figura 5. Figura 3D de la torre de captación. Fuente: Imitola, López y Rodríguez (2019)

4.4.2 Diseño de cántara de almacenamiento

Un punto importante a tener en cuenta es la cantara, ya que esta permite la disminución de la concertación de sales emitidas de rechazo. La cantidad de agua dentro de la cantara debe de garantizar como mínimo 15 minutos del abastecimiento de las bombas de captación de la planta, por tal motivo, el volumen mínimo de esta debe seguir la siguiente formula:

$$V_{min} = Q_f * \left(\frac{1}{4} h\right)$$

$$V_{min} = 5021.07 \frac{m^3}{h} * \left(\frac{1}{4} h\right)$$

$$V_{min} = 1255.26 \frac{m^3}{h}$$

Para tal caudal, se hace necesaria el dimensionamiento de la cantara, la cual va a tener medidas de:

$$\text{Alto} = 3m$$

$$\text{Largo} = 21m$$

Ancho= 18m

Volumen= 1080m³

4.4.3 Pretratamiento del agua

Desinfección, la desinfección es un tratamiento para la inactivación de microorganismos y patógenos que causan enfermedades. Por tal razón el Hipoclorito de Sodio es el mayor usado para este proceso. Es importante destacar que este compuesto es altamente corrosivo, por lo que la bomba que va a permitir su curso debe estar hecha de material anticorrosivo, del mismo modo debe ser peristáltica de manera que permita el flujo del hipoclorito.

Coagulación, es un proceso que permite la aglomeración de sólidos en suspensión con la ayuda de un coagulante, de manera que se alcance una masa de sedimento, sin embargo, este proceso es demorado, por lo que solo se va a ser uso de un primer filtro de coagulación. Para tal proceso se va a ser uso de Cloruro Férrico, en estado físico líquido y con una concentración de 10 ppm.

Ambos tratamientos dependen de un espacio para tal fin, con una estadía de 10 minutos en el tanque para el mezclado, por lo que para su dimensionamiento:

$$V_{min} = Q_f * \left(\frac{10}{60} h\right)$$

$$V_{min} = 5021.07(m^3/h) * \left(\frac{10}{60} h\right)$$

$$V_{min} = 836.84 m^3$$

Este volumen del tanque de pretratamiento deja como dimensiones

Alto= 3m

Largo= 20m

Ancho= 14m

Volumen=840 m³

Declaración, durante la desinfección se genera cloro el cual tiene consecuencias graves sobre las membranas que usa el sistema de osmosis inversa. Las membranas pueden admitir 0.1 ppm de cloro, por el motivo que para esta etapa va a ser utilizado el Bisulfito Sódico, con una dosis de 8ppm.

4.4.4 Etapas de Filtración

Primera etapa de filtración, esta etapa está configurada para la remoción o eliminación de partículas sólidas generadas en el proceso de coagulación las cuales tiene un diámetro mayor de 100 µm. El tipo de filtros usado para esta etapa es el filtro Galaxy 4", el cual posee características como:

Especificación	Cantidad	Unidad
Flujo de filtrado	600	M ³ /h
Diámetro del flujo frontal	10	In
Diámetro del flujo de descarga	10	in
Peso en seco	600	kg

Tabla 10. Especificaciones del filtro de la primera etapa de filtración. Fuente: Regaber (2020).



Figura 6. Filtro Galaxy SKS S4". Fuente: Regaber (2020)

Teniendo como base que este tipo de filtrado trabajan con un 80% de su capacidad máxima es decir 470 m³/h, se necesita la instalación de 11 filtros para tratar el caudal final

Segunda etapa de filtración, una membrana de osmosis necesita de condiciones específicas del agua, con el motivo de proteger las mismas, por tal motivo es necesario esta etapa de filtrado con el motivo de eliminar partículas en suspensión, microorganismos y otros. El filtro escogido para esta etapa es el BFM 96, el cual tiene un porcentaje de limpieza del 90%, y viene acompañado de válvulas para regular el flujo de operación. Para obtener la cantidad de filtros para esta etapa se hace necesario el siguiente cálculo:

$$A = \frac{5021.07 \text{ m}^3/\text{h}}{15\text{m}/\text{h}} = 334.73 \text{ m}^2$$

El área de filtración de este tipo de filtros es de 22m², por lo que el número de filtros será:

$$N^{\circ} \text{ de filtros} = \frac{5021.07 \text{ m}^3/\text{h}}{22 \text{ m}^2} = 15.2 = 16$$

Se tiene una totalidad de 16 filtros para esta etapa de filtración

Tercera etapa de filtración, anterior al proceso de osmosis, estas deben estar depuradas de solidos a un mínimo de cinco (5) micras, por tal razón esta etapa tiene ese valor como fin. Los filtros de cartucho usan polipropileno para tal fin. Por tal motivo, el filtro de PUSCHT, los cuales manejan un caudal por filtro de 600 m³/h, están hechos de acero inoxidable. Según las especificaciones, es posible tener la cantidad de filtros para esta etapa, mediante la siguiente formula

$$N^{\circ} \text{ de filtros} = \frac{5021.07 \text{ m}^3/\text{h}}{600 \text{ m}^3/\text{h}} = 8.36 = 9$$

4.4.5 Selección de membranas

Es importante definir la presión de trabajo de la planta para la selección de membranas. La presión del agua de mar es de 27 atm, entonces la presión de trabajo de la planta debe ser 2.5 veces dicha presión por lo que se tiene un promedio de 70 bares como presión de operación del sistema.

El software Rosa, de la firma Dow Filmtec, muestra una serie de membranas para su uso dentro del sistema de osmosis inversa. Las especificaciones de la membrana seleccionada son las siguientes, su selección se basó en el criterio de mayor cantidad de flujo de permeado

Membrana	Flujo de permeado (m ³ /día)	Area de filtrado (m ²)	Presión máxima de trabajo (bar)	Porcentaje de rechazo de sales (% mínimo)
SW30XLE-440i	37.4	440	1200	99.80

Tabla 11. Selección de membranas Software Rosa. Fuente: ROSA, Water and Process solutions

Para calcular el número de membranas se hace uso de la siguiente formula

$$N^{\circ}_{membranas} = \frac{Q_{final} \left(\frac{l}{h} \right)}{A(m^2) * Flujo\ de\ diseño \left(\frac{l}{m^2h} \right)}$$

Dentro de las especificaciones de la membrana seleccionada se tiene que el flujo diseño va de 8-10 l/m²h, seleccionando para el presente caso 10 l/m²h. el caudal de diseño es 27,113.78 m³/día, por lo que se necesitan 4 bastidores con un flujo de 6,778.44 m³/día.

Sustituyendo en la formula se obtiene lo siguiente:

$$N^{\circ} \text{ membranas: } \frac{6,778.44 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 1000 \left(\frac{\text{l}}{\text{m}^3} \right) * \frac{1 \text{ dia}}{12 \text{ h}}}{(41 \text{ m}^2) * \frac{17 \text{ l}}{\text{m}^2 \text{ h}}} = 810.43$$

Esto genera un total de 3244 membranas. Para la selección del número de etapas, se tiene como uso la razón de recuperación del 45%, dejando seleccionar 8 membranas y una razón de tubos de presión de 80.

4.4.6 Punto de descarga

La información de descarga corresponde a un desarrollo adecuado debido a consideraciones ambientales, por ejemplo, si se configura una descarga fuera de parámetros de control, es posible tener consecuencias negativas sobre ecosistemas marinos y afectar notoriamente el ambiente acuífero. Basados en Devora, y su teoría, la tubería de descarga debe estar en sentido contrario a la torre de captación y ubicado aproximadamente a 500 metros de la ubicación de este, de manera que el oleaje permita una distribución de la salmuera.

Simulaciones realizadas por el Banco interamericano de desarrollo expresan que la descarga debe ser situada a 200 metros de la orilla del mar, con una profundidad promedio de 13m.

4.5 Simulación de operación de planta

Se utilizó el software ROSA para la simulación de la planta. Este software de uso gratuito permite obtener una simulación correcta de los parámetros establecidos para la investigación actual.

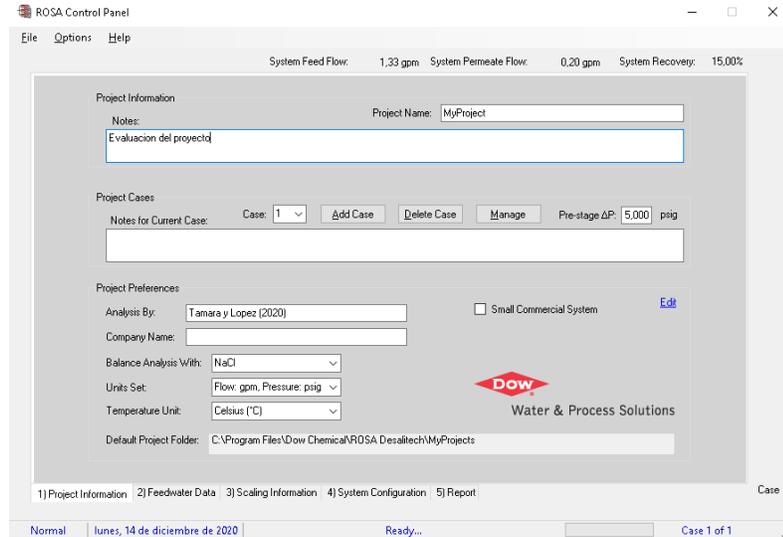


Figura 7. Simulación bajo software ROSA. Fuente: ROSA, Water and Process solutions

Seguidamente es necesario establecer valores del agua iniciales, y parámetros iniciales como temperatura y pH con el motivo de tener los datos necesarios para la simulación del proceso.

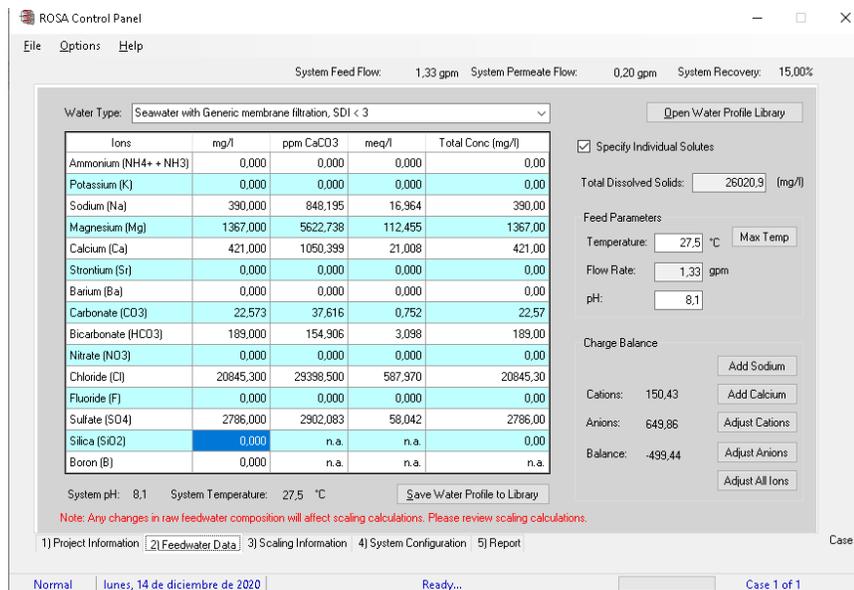


Figura 8. Simulación bajo software Rosa 2. Fuente: ROSA, Water and Process solutions

La membrana especificada dentro de párrafos anteriores encuentra sus especificaciones dentro del software y es necesaria para lograr el proceso de simulación

Element	Active Area	Pressure	Flow	Rejection(%)	Conc(ppm)	Salt	Recovery(%)
SEAMAXX	440 (40.9)	800 (55.2)	17,000 (64.3)	99.70	32000	NaCl	8
SW30XLE-400	400 (37.2)	800 (55.2)	9,000 (34.1)	99.80	32000	NaCl	8
SW30XLE-400i	400 (37.2)	800 (55.2)	9,000 (34.1)	99.80	32000	NaCl	8
SW30XLE-440	440 (40.9)	800 (55.2)	9,900 (37.5)	99.80	32000	NaCl	8
SW30XLE-440i	440 (40.9)	800 (55.2)	9,900 (37.5)	99.80	32000	NaCl	8
SW30ULE-400	400 (37.2)	800 (55.2)	11,000 (41.6)	99.7	32000	NaCl	8
SW30ULE-400i	400 (37.2)	800 (55.2)	11,000 (41.6)	99.7	32000	NaCl	8
SW30ULE-440	440 (40.9)	800 (55.2)	12,000 (45.4)	99.70	32000	NaCl	8
SW30ULE-440i	440 (40.9)	800 (55.2)	12,000 (45.4)	99.70	32000	NaCl	8
SW30HRLE-370/34	370 (34.4)	800 (55.2)	6,700 (25.3)	99.8	32000	NaCl	8
SW30HRLE-370/34i	370 (34.4)	800 (55.2)	6,700 (25.3)	99.8	32000	NaCl	8

Active Area units: square feet (square meters)
 Pressure units: psi (bar)
 Flow units: gallons per day (cubic meters per day)

Close Window

Figura 9. Selección de la membrana del proceso. Fuente: ROSA, Water and Process solutions.

4.5.1 Comparación de resultados de la simulación y la norma establecida

La siguiente tabla contiene los parámetros resultados del agua y la comparación a partir de la norma establecida como base para el consumo de agua potable.

Parámetro comparado	Agua inicial	Resultado del permeado	Parámetro en la norma	Unidad de medida
pH	8.1	6.32	6.9-9.0	pH
Turbiedad	38	<2	<2	NTU
Calcio	421	0.58	0.6	mg/l
Magnesio	1367	1.96	36	mg/l
Potasio	390	3.15	-	mg/l
Sodio	12191	74.52	200	mg/l
Amonio	0.2	0.41	-	mg/l
Bario	0	0	0.7	mg/l
Estroncio	0	0	-	mg/l
Bicarbonatos	189	1.59	-	mg/l
Sulfatos	2786	1.58	250	mg/l
Cloruro	20845.3	123.5	250	mg/l

Flúor	0	0	1	mg/l
Fosfato	0	0	0.5	mg/l
Nitritos	0	0	0.1	mg/l
Boro	0	0	-	mg/l
Oxido de silicio	0	0	-	mg/l
Hierro	0	0	-	mg/l

Tabla 12. Comparación de resultados obtenidos y normativa vigente en el país. Fuente:
Elaboración propia a partir de ROSA, Water and Process solutions

Como puede en la tabla anterior, los parámetros necesarios para el consumo de agua establecidos en la normativa del Ministerio de Protección Social (2007), han sido cumplidos con los parámetros establecidos en párrafos anteriores, lo que configura como útil a la hora de implementar el diseño plasmado

4.5.2 Bombas

Teniendo como base que cada bastidor seleccionado tiene un caudal de operación de 6778.44 m³/día, se tiene como base de trabajo por hora la cantidad de 564.87m³/h, valor necesario para establecer el flujo de cada bomba necesaria por bastidor. El factor corrosión es necesario para establecer la bomba de múltiples etapas, la cual debe suministrar una presión de 75.1 Bares.

4.5.3 Diagrama de Flujo del proceso

El siguiente diagrama contiene de manera práctica los procesos descritos en párrafos anteriores

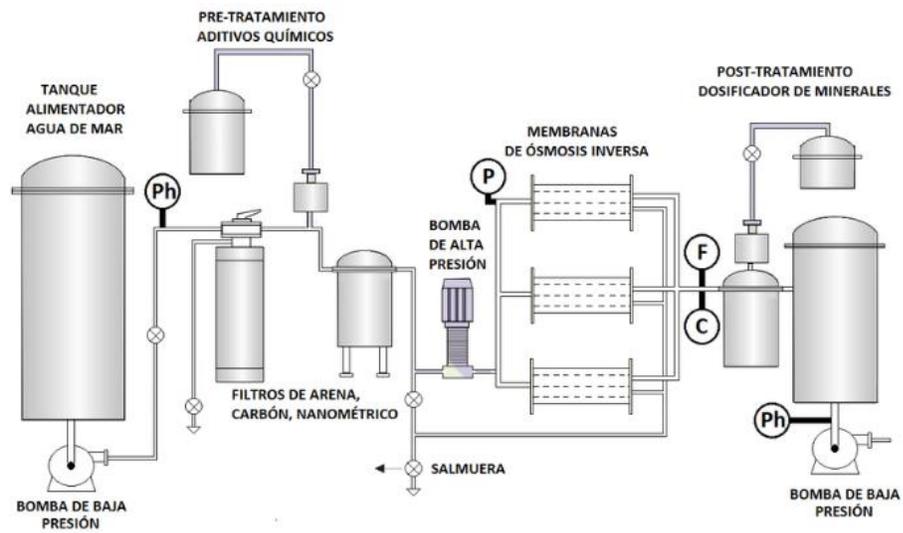


Figura 10. Diagrama de flujo del proceso de osmosis inversa. Fuente: Esidin (2020)

CONCLUSIONES

Según lo elaborado a lo largo de los anteriores capítulos, se puede concluir a favor de los objetivos iniciales planteados que:

La instalación de una planta de desalinización debe ser ubicada en Manaure, un municipio de la Alta Guajira con un total de 125.527 habitantes. La principal ventaja que tiene este lugar en comparación con Uribia es la cercanía a las zonas de acceso a agua salada, a 500 m. Otras ventajas encontradas son la relativa facilidad de sus vías y la disponibilidad de espacios para recintos industriales ubicados más de 4km de cascos urbanos.

De acuerdo con la ubicación propuesta y el diseño final simulado, las características fisicoquímicas del agua tratada por la planta cumplen la norma impuesta por el Ministerio de Protección Social (2007) para el agua de consumo humano. Estos resultados pueden compararse en la tabla 12. Aquí se ve que ninguno de los valores controlados en la norma es superado. Podrían establecerse otras alternativas de diseño que conviertan esta planta en una más eficiente, y a su vez seguir cumpliendo los reglamentos de las autoridades gubernamentales. Esto no se explora en este trabajo.

La capacidad de agua tratada por la planta es de $5021.07 \text{ m}^3/\text{h}$. Para garantizar la potabilización adecuada de este caudal, se requieren en teoría tres etapas de filtrado antes de acceder al mecanismo de ósmosis inversa; la primera con 11, la segunda con un total de 16 y la última con 9 filtros.

El diseño de la planta desalinizadora bajo estas condiciones contiene 3244 membranas las cuales serán establecidas en 4 bastidores de 80 tubos de presión. La planta además opera con una bomba multietapa de 75.1 bares que impulsa un caudal de $6778.44 \text{ m}^3/\text{día}$. La salmuera obtenida, será descargada a 200 metros de la orilla del mar, a una

profundidad promedio de 13m, con el motivo de no afectación del ambiente, de manera que el oleaje de la zona distribuya la salmuera de manera equitativa.

Finalmente, el diseño propuesto es validado utilizando el software de simulación ROSE. El modelo simulado que siguió el mecanismo de ósmosis inversa arrojó un resultado satisfactorio: las condiciones de diseño propuestas permiten obtener un agua que cumple con los requerimientos de las autoridades gubernamentales para el agua de consumo humano. Una ventaja notable al usar este software de simulación es que, al ser de código libre, reduce costos en futuras implementaciones de este proyecto, en caso de ser llevado a cabo un estudio mas exhaustivo.

En definitiva, la instalación de una planta desalinizadora significaría el alivio de miles de habitantes en el departamento de la Guajira. Aportar a la seria problemática del agua, como una labor prioritaria del gobierno colombiano, despertaría el incentivo de proyectos más elaborados y que incluyan más fases de diseño como el análisis de factibilidad económica, impactos reales ambientales y sociales que finalmente pudieran ser el motor del desarrollo que necesita esta región.

RECOMENDACIONES

Como recomendaciones para la investigación se establecen las siguientes:

- Evaluar el uso de otros tipos de desalinización de agua de mar para la población
- Llevar a cabo un estudio que permita una disposición final de la salmuera, mediante la cual no se genera contaminación ambiental con la misma
- Hacer uso de otros simuladores que permitan determinar una eficiencia de los cálculos obtenidos
- Aumentar el tamaño de población y por consiguiente de caudales para una mayor cantidad de agua obtenida
- Tener en cuenta el diseño plasmado, con el motivo de mejorar la problemática estudiada

BIBLIOGRAFÍA

- Abero, Berardi, Capocasale, García y Rojas (2015). Investigación educativa. Abriendo puertas al conocimiento. Editorial Clasco. Disponible en: <https://issuu.com/educomplexus/docs/investigacion-educativa>
- Acevedo et. Al. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físico-Químicos Básicos en Aguas. Cartagena de Indias: Eumed.
- American Membrane Technology Association (2019). Electrodialysis Reversal Desalination. Disponible en: <http://www.amtaorg.com/electrodialysis-reversal-desalination>.
- Blesa, J. (2006). Diseño de una planta desaladora de Agua de mar por osmosis inversa. Facultad de química. Universidad de Cádiz.
- Bonet, J. & De-Castro, L. (2017). La mortalidad y desnutrición infantil en La Guajira. Abril. Disponible en: http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/dtser_255.pdf
- Bonilla, E. & Venera, R. (2017). Diseño de una Planta Desalinizadora de Agua de Mar Para la Isla de San Andrés.. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10236>
- Voutchkov, N. (2018). Design and Construction of Open Intakes. Sustainable Desalination Handbook, 201–225. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809240-8.00005-8>.
- Cámara de Comercio de la Guajira (2016). Diagnóstico Del Desempeño Económico Y Social.. Disponible en: <https://www.camaraguajira.org/publicaciones/informes/informe-socio-economico-la-guajira-2016.pdf>
- Cifuentes, L. (2005). Electrowinning Of Copper In Squirrelcage Cell With Anion. Alche Journal, 2273-2284.
- Colomina, J. (2016). Diseño de una planta desalinizadora con sistema de osmosis inversa para producir 20000 m³/día. Universidad Politécnica de Valencia. P. 115. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/74584/COLOMINA%20-%20Dise%C3%B1o%20de%20un%20planta%20desalinizadora%20con%20siste>

ma%20de%20osmosis%20inversa%20con%20producci%C3%B3n%20de%2020..
..pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Cortes y Lesmes (2014). Simulación de una planta desalinizadora de agua de mar, por medio del software IMS DESING como estrategia para fortalecer el desarrollo social del norte caribe colombiano- municipio de Uribí – la guajira. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11251/Proyecto%20Desalaci%C3%B3n%20Guajira-Colombia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cotruvo, J. A., & Abouzaid, H. (2010). Nueva Guía Para La Desalación De La Organización Mundial De La Salud. Agua Latinoamérica, Volumen 7, Número 4.
- Defensoría del pueblo, Colombia. Crisis humanitaria en La Guajira (2017). Acción integral de la Defensoría del Pueblo en el departamento. p.114, 2017. Disponible en: <http://www.defensoria.gov.co/public/pdf/informedefensorialguajira11.pdf>
- Ecoagua (2009). Descripción del proceso de Ósmosis Inversa. Disponible en: <https://ecoagua.com/2016/12/28/desalacion-mediante-osmosis-inversa/>
- Esidin (2020). Diseño de un Sistema de Ósmosis Inversa. Disponible en: <https://esidin.blog/2020/06/11/disenio-de-un-sistema-de-osmosis-inversa/#:~:text=Un%20sistema%20de%20%C3%B3smosis%20inversa.temperatura%20y%20factor%20de%20recuperaci%C3%B3n.>
- Gleick, P. (2002). The World's Water: The Biennial Report on Freshwater Resources 2002-2003. Island Press, Washington, DC.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). México: McGrwall Hill Education. p. 3-5. 2014.
- Imitola, A., López, A. & Ramírez, J. (2019). Diseño de una planta desalinizadora de agua de mar en la zona de la Media-Alta Guajira. Universidad del Norte. Disponible en: <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8757/Proyecto%20Final.pdf>
- Linares, A. (2018). Acción de tutela interpuesta por AGE, LIE, EG, DG y GU contra el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y la Empresa de Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Energía del municipio de Uribí S.A.S. E.S.P. Sentencia T-415/18.
- López, M. (2015). Diseño de planta de tratamiento de agua potable por ósmosis inversa para un buque de pasaje. Disponible en: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/7433/Mar%EDa%20Jos%E9%20L%F3pez%20Mart%EDn.pdf?sequence=1>

- Ministerio De La Protección Social; Ministerio De Ambiente Vivienda Y Desarrollo Territorial. (2007). Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial. Recuperado de: www.Minambiente.Gov.Co/Documentos/Res_2115_220707.Pdf
- Ministerios De Sanidad Y Política Social (2009). Guía Desalación: Aspectos Técnicos Y Sanitarios En La Producción De Agua De Consumo Humano. Madrid.
- Moreno (2011), Destilación por múltiple efecto MED. Disponible en: <http://www.mailxmail.com/curso-agua-desalacion-1-4/destilacion-8220-multiple-efecto-8221-med>
- Palella y Martins (2012). Metodología de la investigación cuantitativa. 3era Edición
- Pérez, A., Castro, M. & Fernández, A. (2015). Diseño de un sistema portable de desalinización de agua de supervivencia marina para consumo humano mediante energía solar fotovoltaica mediante ósmosis inversa.. Disponible en: <http://calderon.cud.uvigo.es/handle/123456789/66>
- Jareño Pina, M. (2019). Diseño de una planta desalinizadora mediante osmosis inversa en Béjaïa (Argelia). <http://hdl.handle.net/10251/128094>
- Europea, U. (2008). Resolución 2007/2116 (INI). Aprobada el, 15.
- Regaber (2020). Filtración para caudales elevados, Filtro SKS Galaxy S4". PDF.
- Ruíz, & Valencia (2001). Propuesta De Un Sistema Integral Para La Producción De Energía, Agua Y Alimentos En Zonas Costeras Y/P Desérticas. Tesis De Licenciatura Química. Hermosillo, Sonora, México: Departamento De Ingeniería Química Y Metalurgia.
- Sereviche, C., Castillo, M, & Acevedo, R. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físico-Químicos Básicos en Aguas. Cartagena de Indias: Eumed.
- Tello, L. (2008). El acceso al agua potable como derecho humano. p. 107. Disponible en: <https://revistas-colaboracion.juridicas.unam.mx/index.php/derechos-humanos-cndh/article/view/5525/4872>
- Tran y Misa (2010). Purificación del agua del centro de Inmunología Molecular, La Habana: D - Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. CUJAE
- Unicef (2015). Informe anual 2015. Disponible en: https://www.unicef.org/spanish/publications/files/UNICEF_annual_report_2015_SP_ANISH_WEB.pdf

Universidad Del País Vasco. (2011). Universidad Del País Vasco. Recuperado de:
[Http://Www.Sc.Ehu.Es/lawfemaf/Archivos/Materia/Industrial/Libro-2.Pdf](http://Www.Sc.Ehu.Es/lawfemaf/Archivos/Materia/Industrial/Libro-2.Pdf)

URBANO, S. D. A. Reglamento Técnico del sector de Agua potable y saneamiento básico RAS-2000.

VWS, V. W. (2010). Desalación Por Ósmosis Inversa. De Veolia:
Www.Veoliawaterst.Com

Zamudio, C. (2012). Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos. Gest. Ambient., Volumen 15, Número 3, p. 99-112, 2012. ISSN electrónico 2357-5905. ISSN impreso 0124-177X.