

# Planta desalinizadora: diseño y potenciales beneficios socioambientales en la aplicación de riego en La Guajira

María José Valdivieso Hernández

Director  
Ing. José Reinaldo Vuelvas Quintana

Codirector  
Cesar Augusto Ruiz Agudelo

Maestría en Energía y Sostenibilidad  
Trabajo de profundización



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Colombia

Pontificia Universidad Javeriana  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Energía y Sostenibilidad  
Bogotá D.C.  
2021

# Agradecimientos

*Le agradezco a mis padres por apoyarme en este camino, en las decisiones que tomados en mi vida y por esas largas noches que han pasado conmigo en este proceso académico, profesional y personal.*

*Agradezco a mi director José Vuelvas, codirector Cesar Ruiz y mi asesor Juan Carlos Giraldo, por haber estado a lo largo de este proyecto, con sus constantes palabras motivadoras y enseñanzas que fueron más allá de lo académico*

*Agradezco a mi gran amiga Yolanda Latorre, por esas traspasadas y revisiones que tuvo la tesis y que hoy gracias a su ayuda está culminada.*

# Glosario

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística  
DBO: demanda biología de oxígeno  
DBO: demanda biología de oxígeno  
ED: del inglés *Electrodialysis* - Electrodiálisis  
GFD: del inglés - *Ground Fault Detector* - Detección de falla a tierra  
HDH: del inglés *Humidification-dehumidification* – humidificación-deshumidificación  
HPDD: hidrocarburos del petróleo disuelto y dispersos  
HPDD: hidrocarburos del petróleo disuelto y dispersos  
IGAC: Instituto Geográfico Agustín Codazzi  
MED: del inglés Multi *Effect Desalination* - destilación de múltiple efecto  
MIGD: del inglés – *Millions gallons per day* – Millones de galones por día  
MPPT: del inglés - *Maximum power point tracking* - Seguidor de punto de máxima potencia  
MSF: Del inglés *Multi-stage flash distillation* - *Flash* multietapa  
NBI: Necesidades básicas insatisfechas  
OD: oxígeno disuelto  
ONS: Observatorio Nacional de Salud  
Pm: Presión de membrana, esta hace referencia a la presión requerida para que la separación de iones y sales ocurra, se expresa en términos de permeabilidad de la membrana y diferencia de presión osmótica (DOW FilmTec, 2021).  
PN: Compuesto de silicio tipo P con silicio tipo N  
POT: Plan de Ordenamiento Territorial  
PRFV: Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio  
PWM: Modulación por ancho de pulsos  
RO: del inglés *Reverse osmosis* - Osmosis inversa (OI)  
SST: solidos suspendidos totales

# Índice

<b>1. Introducción</b> .....	7
<b>1.1 Objetivos</b> .....	8
<b>1.1.1 Objetivo general</b> .....	8
<b>1.1.2 Objetivos específicos</b> .....	8
<b>2. Especificaciones geográficas</b> .....	9
<b>2.1 Condiciones de La Guajira</b> .....	9
<b>2.2 Condiciones Uribia</b> .....	10
<b>2.3 Especificaciones del municipio de Uribia</b> .....	11
<b>3. Diseño</b> .....	16
<b>3.1 Tecnología de la planta desalinizadora.</b> .....	19
<b>3.2 Diseño detallado</b> .....	20
<b>3.2.1 Caudal</b> .....	20
<b>3.2.2 Membrana</b> .....	21
<b>3.2.3 Concentraciones</b> .....	21
<b>3.2.4 Presión Osmótica</b> .....	22
<b>3.2.5 Número de membranas y presión</b> .....	24
<b>3.2.6 Selección de bombas</b> .....	24
<b>3.3 Diseño del pretratamiento</b> .....	26
<b>3.3.1 Desbaste y filtrador de arena</b> .....	26
<b>3.4 Remineralización</b> .....	27
<b>3.5 Modelo de riego</b> .....	28
<b>3.6 Tubería</b> .....	29
<b>3.7 Sistema fotovoltaico</b> .....	29
<b>3.7.1 Cálculos del sistema fotovoltaico</b> .....	30
<b>3.8 Costos</b> .....	32
<b>4. Evaluación impacto ambiental</b> .....	34
<b>4.1 Selección de etapas, fases y actividades.</b> .....	35
<b>4.2 Resumen de la matriz Conesa</b> .....	36
<b>4.3 Sostenibilidad y beneficios socioambientales</b> .....	37
<b>4.3.1 Beneficios directos</b> .....	37
<b>4.3.2 Beneficios indirectos</b> .....	38
<b>4.3.3. Sostenibilidad</b> .....	38
<b>5 Conclusiones y recomendaciones</b> .....	40

<b>5.1 Conclusiones</b> .....	40
<b>5.2 Recomendaciones</b> .....	41
<b>6. Bibliografía</b> .....	42

## Índice de figuras

Figura 1 Modelo conceptual del proyecto. Fuente: elaboración propia .....	8
Figura 2 Radiación en Colombia. Fuente: (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2018) .....	9
Figura 3 Departamento de La Guajira. Fuente: (Crudo transparente, 2019).....	10
Figura 4 Ubicación Cabo de la Vela.....	13
Figura 5 Trayecto a la planta desalinizadora. ....	13
Figura 6 Diseño de membrana. Fuente: (Osmofilter, 2019) .....	20
Figura 7 Pretratamiento – Desbaste. Fuente: (Deagua, 2020).....	27
Figura 8 Pretratamiento – Filtración. Fuente: (Hidrometalica, 2018) .....	27
Figura 9 Filtro para la remineralización .....	28
Figura 10 Área de aspersores. Fuente: Elaboración propia .....	29

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Cantidad de agua dulce .....	14
Ecuación 2 Caudal de alimentación .....	20
Ecuación 3 Caudal de rechazo .....	20
Ecuación 4 Concentración de rechazo – Ejemplo Nitratos .....	22
Ecuación 5 Concentración permeable .....	22
Ecuación 6 Presión osmótica .....	22
Ecuación 7 Número de membranas .....	24
Ecuación 8 Presión de la membrana .....	24
Ecuación 9 Potencia de bombas .....	25
Ecuación 10 Carga de trabajo .....	25
Ecuación 11 Pérdidas por longitud .....	25
Ecuación 12 Pérdidas por accesorios .....	25
Ecuación 13 Ecuación de Bernoulli .....	25
Ecuación 14 Potencia del inversor .....	30
Ecuación 15 Numero de baterías .....	30
Ecuación 16 Numero de baterías .....	31
Ecuación 17 Numero de paneles .....	31
Ecuación 18 Corriente controlador .....	32
Ecuación 19 Cálculo del impacto. Fuente: (Hidroar, 2015) .....	34

## Índice de tablas

Tabla 1 Estado del POT. Fuente: (Corpoguajira & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020) .....	11
Tabla 2 Condiciones iniciales para el diseño. Fuente: Elaboración propia con base en (INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, 2020) y (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2019) (INVEMAR - Instituto de Investigación Marina y Costeras, 2020). .....	15
Tabla 3 Especificaciones para tener en cuenta en el diseño. Fuente: Elaboración propia .....	16
Tabla 4 Matriz de decisión de la tecnología de planta desalinizadora, para la Guajira. Fuente: elaboración propia .....	19
Tabla 5 Especificaciones básicas de la membrana. Fuente: (DOW FilmTec, 2021) .....	21

Tabla 6 Concentraciones de alimentación, rechazo y permeado. Fuente: Elaboración propia	22
Tabla 7 Concentración molar en alimentación. Fuente: Elaboración propia	23
Tabla 8 Presión osmótica. Fuente: Elaboración propia	23
Tabla 9 Resultados para toma de decisión de bomba. Fuente: Elaboración propia	26
Tabla 10 Configuración de bombas. Fuente: Elaboración propia	26
Tabla 11 Procesos de remineralización	27
Tabla 12 Consumo estimado. Fuente: Elaboración propia	30
Tabla 13 Dimensionamiento de baterías	31
Tabla 14 Dimensionamiento de paneles solares	32
Tabla 15 Costos de la implementación de la planta desalinizadora. Fuente: Elaboración propia con base en (Barnes de Colombia S.A., 2020), (DOW FilmTec, 2021), (Aspercol, 2020),(SOLARTEX, 2020)	33
Tabla 16 Modelo de importancia del impacto. Fuente: Elaboración propia	34
Tabla 17 Selección de etapas, fases y actividades. Fuente: Elaboración propia	35
Tabla 18 Resumen de matriz Conesa. Fuente: Elaboración propia	36
Tabla 19 Compensación a impactos. Fuente: Elaboración propia	37
Tabla 20 Costos de mantenimiento Vs ingresos	39

## Índice de diagramas

Diagrama 1 PFD planta desalinizadora. Fuente: Elaboración propia	17
Diagrama 2 Pasos para el diseño de la planta. Fuente: Elaboración propia	18

## Índice de anexos

Anexo 1 tecnologías desalinizadoras	46
Anexo 2 Sistema fotovoltaico	51
Anexo 3 Membrana	54
Anexo 4 Matriz Conesa	56

# Capítulo 1

## 1. Introducción

El mundo de las energías renovables se está haciendo cada vez más grande y van tomando más impulso, esto debido a la nueva conciencia verde que existe en esta generación, los jóvenes entre 18 y 35 años fueron reconocidos como la generación con mayor conciencia ambiental (Observatorio ambiental de Bogotá, 2021).

Con este proyecto se busca ayudar a la solución de 3 grandes problemáticas, la primera se basa en un concepto global, que es el uso de energías fósiles, hasta el momento han sido las protagonistas en lo relacionado con el funcionamiento de desalinizadores (Germán et al., n.d.); el segundo es un problema local, que se presenta específicamente en La Guajira – Colombia, la falta de agua dulce que afecta las siembras, lo que nos lleva a la tercera problemática; la desnutrición que en el mismo sector se ve cerca de un 24% más que en el resto del país, debido a la dieta desbalanceada que se lleva por la falta de alimentos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2019).

El departamento de La Guajira, en los últimos años, ha registrado el menor volumen de lluvias, específicamente en el municipio de Uribia se registran alrededor de 300 mm al año, lo que generan sequías y claramente imposibilita la siembra (IDEAM, 2020). La Erosión en este departamento se ha visto claramente con el paso de los años (INVEMAR, 2012), no solo debido a la escasez hídrica, también se ve por factores antropogénicos como: los cultivos, la minería, la ampliación de infraestructura, los procesos de deforestación, y tránsito de maquinaria (Prada Ruiz et al., 2015).

Teniendo estas problemáticas, sumada al incumplimiento de las promesas por parte del gobierno como lo menciona José Ramón Molina Peláez, el presidente de Asoranchería. El gremio de agricultores del departamento ha pedido que solucionen sus dificultades ya sea con la culminación de su megaproyecto de la represa “El Cercado” o con la implementación de nuevos proyectos (De la Hoz, 2020). Conociendo el deterioro que se ha generado en La Guajira, tanto en la calidad del suelo, como en la calidad de vida de la población, se propone contribuir con este proyecto.

A lo largo de este documento se propone el proceso para el diseño de una planta desalinizadora con la incorporación con de energías alternativas y la evaluación ambiental del mismo. En el dimensionamiento de este proyecto se utilizan diferentes técnicas y medios bibliográficos con el fin de conocer el área seleccionada, de manera tal que se pueda tener en cuenta la mayor cantidad de factores en la elección de cada uno de los ítems, haciendo que el modelo final sea adecuado y coherente para las circunstancias presentadas en dicho territorio.

El modelo consta de un tanque de almacenamiento de agua salada, en el cual se depositará el agua requerida para un día de trabajo, previendo posibles complicaciones, una planta desalinizadora, que debido a las condiciones y necesidades del lugar elegido se seleccionó de ósmosis inversa, esta tecnología funciona por medio de membranas semipermeables que retiene las sales y los iones con determinada eficiencia, según la membrana seleccionada. Al ser una membrana y con el fin de garantizar una mayor vida útil, se realiza un tratamiento previo, en el que se elimina una alta cantidad de sólidos que se encuentren en el agua.

La planta desalinizadora se diseña para funcionar con energía fotovoltaica, puesto que el corregimiento del Cabo de la Vela en Uribia, no cuenta con energía eléctrica convencional estable de manera constante. Con ánimo de maximizar la eficiencia energética de la planta que trabajará 7 horas al día, el agua dulce quedará depositada para continuar con su propósito en lo restante del día. El requerimiento energético se suplirá por medio de paneles solares, finalmente se espera realizar una separación del agua salada en el subproducto (salmuera) y el producto (agua dulce), que, con ayuda de un sistema de riego, el agua dulce, será llevada a una siembra de auyama tal como se muestra en la figura 1.

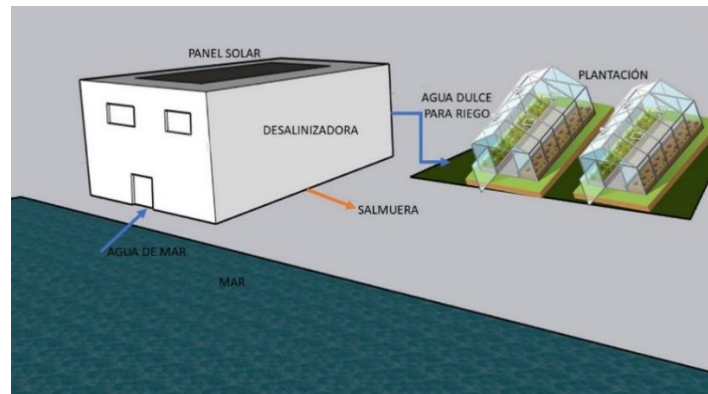


Figura 1 Modelo conceptual del proyecto. Fuente: elaboración propia

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo general

Desarrollar un diseño conceptual de una planta desalinizadora, alimentada por energía fotovoltaica con fines de riego, orientado a las comunidades rurales con estrés hídrico en la Guajira colombiana, considerando los potenciales beneficios socioambientales.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Establecer un conjunto de tecnologías para la desalinización que sean aplicables a regiones con ubicación marino-costera, que sufran de estrés hídrico y con suelos aptos para la agricultura en La Guajira.
- Dimensionar la planta desalinizadora, alimentada por energía fotovoltaica tomando en consideración las características de la población y el tipo de siembra.
- Desarrollar una evaluación inicial de los potenciales beneficios socioambientales derivados de la implementación de la planta desalinizadora en La Guajira.



# Capítulo 2

## 2. Especificaciones geográficas

En este capítulo se presentan las consideraciones teóricas de los aspectos relevantes para el diseño de la planta desalinizadora, respecto a las condiciones geográficas del lugar que sea elegido. Esto con el fin de entender cuáles son las necesidades y condiciones meteorológicas, marítimas y socioambientales de esta área, para así poder iniciar con un diseño que sea coherente con dichas especificaciones, en la implementación conceptual de la planta desalinizadora.

### 2.1 Condiciones de La Guajira

El departamento de La Guajira es seleccionado para este proyecto, por sus necesidades hídricas (León Linares & Acosta Arias, 2015) y su excelente ubicación para la implementación energía fotovoltaica. Tal como se muestra en la figura 2, la radiación y las horas sol de este departamento incluso en sus proyecciones se mantienen por encima de 4,5 KWh/m<sup>3</sup>/día.

Para efectuar la selección de sitio donde se realizará la implementación teórica, lo primero que se debe mencionar, son los requisitos que se han trabajado como hipótesis:

- Suelo con posible actitud agrícola
- Alto estrés hídrico
- Con fuente de agua salada
- Cerca al mar

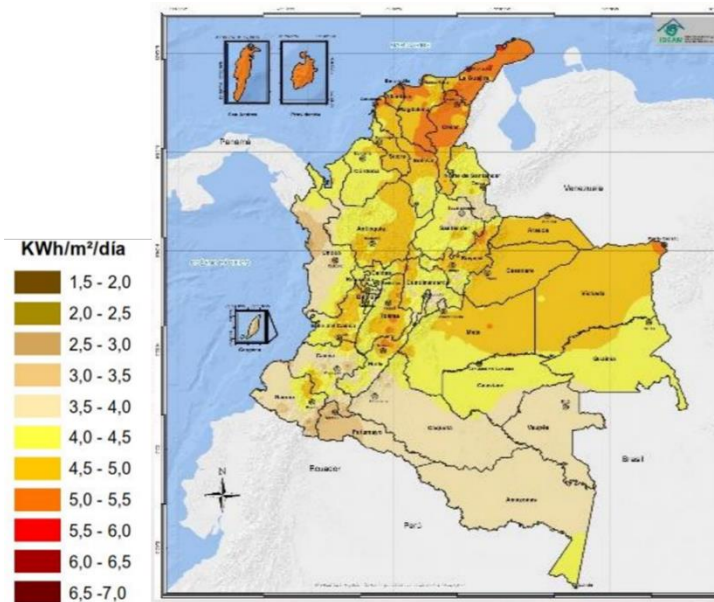


Figura 2 Radiación en Colombia. Fuente: (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2018)

Tomando la figura 2 anterior se puede observar que en la zona norte se da la mayor radiación del país, tomando en cuenta la escala de colores que se observa a la izquierda de la imagen se puede concluir que La guajira tiene una radiación entre 4,5 y 6,5 KWh/m<sup>3</sup>/día.

## 2.2 Condiciones Uribia

Uribia en el 2016 fue catalogado como el municipio con mayores necesidades básicas insatisfechas (NBI), con un 96% según la ONS, siendo uno de los niveles más altos en el país (Cortes & Alvis, 2016).

El municipio de Uribia cuenta con la mayor superficie en el norte de Colombia, tiene una extensión de 7.904 Km<sup>2</sup> (DNP, 2017), su centro urbano se encuentra a 90 kilómetros de Riohacha, cuenta con un clima desértico y cálido con temperaturas promedio de 26 a 28°C tal como se alcanza a ver ve en la figura 2. En este territorio hay una precipitación anual entre 0 y 500 mm de agua al año, siendo este el departamento más seco de Colombia (López Morales, 2017), cuenta con una población aproximada de 163.462 personas (Martínez Ortiz, 2019).

Uribia cuenta con 21 corregimientos que se encuentran dispersos, en la figura 3 se presenta el mapa político del departamento de la Guajira, en donde se resalta la ubicación geográfica del municipio de Uribia, el cual está localizado en la zona norte de la península. Según Rubén Almazo, Secretario de Gobierno de Uribia, la falta de lluvias no permite garantizar el sostenimiento de las diferentes obras que se han iniciado en el municipio (Defensoría del Pueblo, 2019).

En los diferentes corregimientos solo uno de ellos tiene un pozo, por lo que los demás se les debe proporcionar el agua por medio de carrotaques, que según los datos de la Defensoría se distribuye de manera gratuita (Defensoría del Pueblo, 2019).

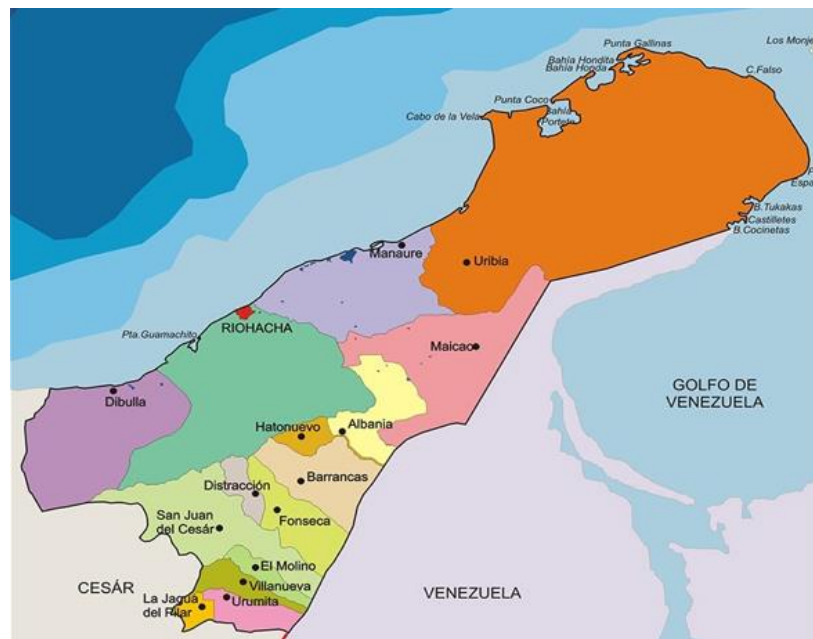


Figura 3 Departamento de La Guajira. Fuente: (Crudo transparente, 2019)

Según el Censo que se realizó en el 2018, el 78,21% de la población toma el agua para uso diario de un pozo sin bomba, aljibe, jagüey, acuífero o , representando a su vez que el 89,3% de Uribia se encuentra en condiciones de pobreza. Esta realidad se debe a la falta de implementación de los acuerdos a los que se había llegado, según el documento de cumplimiento y verificación de 2020 (Veeduría ciudadana, 2020)

Según los datos presentados por CORPOGUAJIRA que se pueden observar en la tabla 1, el POT en el municipio de Uribia se encuentra desactualizado, sin embargo, esto no impidió

crear un sistema de gestión de riesgo referente al cambio climático (Corpoguajira & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

N°	Municipio	Resolución de la Corporación	Fecha de Adopción POT	Primera generación	Estado Actual	Segunda generación
1	Riohacha	206 de 30/01/2002	2/02/2002	POT	Reviso y ajuste 2015	POT
2	Maicao	2716 de 16/10/2002	22/11/2002	POT	Desactualizado	POT
3	Uribe	1319 de 12/06/2001	27/06/2001	POT	Desactualizado	POT

Tabla 1 Estado del POT. Fuente: (Corpoguajira & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020)

### 2.3 Especificaciones del municipio de Uribe

Clima: El municipio de Uribe, por su ubicación en la zona norte de la península de La Guajira, se puede clasificar en tres tipos tomando como referente la clasificación que maneja el IGAC: Cálido-árido, cálido-semiárido, cálido muy seco.

El clima cálido-árido se encuentra en la zona oriental del territorio del área rural del municipio, este tipo de clima (Corpoguajira Colombia, 2020), “no presenta excesos hídricos debido a los bajos volúmenes de precipitación en la zona, los meses de mayor pluviosidad son mayo y octubre y los más secos, enero y julio; en esta unidad hay un déficit hídrico a lo largo del año”. El clima cálido-semiárido es el predominante en el área urbana y la mayor parte del territorio del municipio, en este tipo de clima, “los niveles de evapotranspiración excesivos superan los niveles de agua precipitada por lo que hay un déficit hídrico a lo largo del año, especialmente en los meses de enero y diciembre” (Corpoguajira Colombia, 2020). El clima cálido muy seco se encuentra en la zona septentrional del área del municipio, al igual que en el clima cálido-semiárido, los niveles de evapotranspiración elevados hacen que haya un déficit hídrico a lo largo del año.

Tipos de suelo: Según el Plan de Ordenamiento Territorial del año 2009 (Guajira & Disposiciones, 2009), el municipio de Uribe estableció la siguiente clasificación de tipos de suelos dentro de su jurisdicción territorial: suelo urbano, suelo de expansión urbana, suelo de protección y suelo rural.

El suelo urbano comprende aquellas áreas que cuentan con infraestructura vial y redes primarias de energía, acueducto y alcantarillado, posibilitando su urbanización y edificación. El suelo de expansión urbana incluye una porción del territorio que dentro de la vigencia del POT se habilitará para el uso urbano, mientras que el suelo de protección está conformado por zonas de protección y conservación del medio ambiente.

En cuanto al suelo rural, constituye los terrenos que están fuera del casco urbano y de expansión no aptos para la edificación, por razones de oportunidad, o por su destinación a usos agrícolas, ganaderos, forestales, de aprovechamiento de recursos naturales, mineros, paisajísticos, turísticos o actividades análogas. Así mismo, dadas las características del territorio de Uribe, los resguardos indígenas entran en categoría de suelo.

Economía: En Uribe el 29,7% de los establecimientos se dedican a la industria, el 46,6% al comercio, el 22,8% a servicios y el 1,0% a otra actividad (DANE, 2005). El Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023 indica que la economía del municipio se basa en ganadería

caprina, el comercio, el turismo, el procesamiento del dividivi y la exportación del carbón y gas natural. A 2017 se registraron 6 empresas de manufactura. Las actividades que registran mayor generación de empleo son: cemento, cal y yeso (10,94%) y reciclaje de desperdicios y desechos metálicos (3,13%). Por otro lado, en ese mismo año, se registraron 13 empresas de comercio. Las actividades que reflejan la mayor generación de empleo, son: restaurantes autoservicios, comercio al por menor de otros productos nuevos y tiendas de alimentos, bebidas y tabaco (Alcaldía de Uribia, 2020).

Según el Censo Nacional de Población y Vivienda realizado en el año 2018, en el municipio de Uribia habitan 163.462 personas, de las cuales 83.043 son mujeres y 77.668 son hombres. Por cada 100 habitantes hay 52 mujeres. El 97,1% de la población pertenece al grupo étnico indígena, el 0,1% son afrocolombianos y 2,8% no pertenece a ningún grupo étnico. El 95,4% de la población habita en centros poblados y rural disperso mientras que solo el 4,8% habita en la cabecera municipal. En Uribia hay 20,37 habitantes por kilómetro cuadrado (DANE, 2018).

Sumado a esto, solo el 5,9% de las viviendas cuentan con acceso a energía, el 2,9% tiene acceso a alcantarillado y el 2,5 % tiene acceso a acueducto (39,07% en cabecera municipal, 8,41% en centros poblados y 0,41% en zonas rurales dispersas). En el municipio hay una privación del 88,1% a fuentes de agua mejoradas (DANE, 2018).

En cuanto a alfabetización, según el Dane, el 67,8% de la población de Uribia no sabe ni leer ni escribir. Acorde a cifras del Ministerio de Salud y Protección Social, para el año 2018, la tasa de mortalidad por desnutrición es de 33,40 muertes por cada 100.000 menores de cinco años, siendo así la más alta del departamento (DANE, 2018). En la tasa de mortalidad infantil, el departamento ha mostrado un progreso moderado, al pasar de 35 niños por mil nacidos vivos en 2005 a 33 niños por mil nacidos vivos en 2015, una tasa muy alta comparada con el indicador nacional de 17 fallecidos por mil nacidos vivos.(UNICEF, 2019) La tasa de pobreza multidimensional evalúa los resultados de satisfacción (o no privación) que tiene un individuo respecto a ciertas características que se consideran vitales, según el Dane, estas son: condiciones educativas del hogar, condiciones de la niñez y la juventud, salud, trabajo y condiciones de la vivienda y acceso a servicios públicos domiciliarios. Se consideran en situación de pobreza los hogares que tengan privación en por lo menos el 33,3% de los indicadores. En el municipio de Uribia, el índice de pobreza multidimensional es del 92,2% (59,70% en cabecera municipal y 93,70% en el resto del municipio), siendo este el valor más alto a nivel nacional. La proporción de personas en miseria es del 60,35%, siendo la más alta del departamento.

En cuanto a agricultura, el Plan de Desarrollo de Uribia resalta que, en 2014, solo el 14,8% de las unidades productivas agropecuarias del municipio contaban con sistema de riego; el 0,3% disponían de fertilizantes, el 0,8% contaba con asistencia técnica, a su vez, en el sector agrícola, no hay ningún predio con certificación en buenas prácticas. Estos indicadores reflejan la existencia de una baja vocación agrícola (Concejo Municipal de Uribia, 2020).

Para la elección de la ubicación geográfica en la que se quiere realizar la implementación del proyecto se tiene en cuenta principalmente la cercanía al mar, esto se debe a que es el factor predominante para el correcto funcionamiento de la planta. Teniendo en cuenta lo anterior se decide realizar el estudio específicamente en el Cabo de la Vela.



Figura 4 Ubicación Cabo de la Vela

El cabo de la vela o el también llamado Jepira, por lo Wayúu se encuentra con unas temperaturas que oscilan entre los 22 y los 30°C, Cuenta con buenas playas, por lo cual tiene un gran atractivo turístico, principalmente por el pilón de Azúcar, La playa Dorada y el ojo de Agua.

Sin embargo, pese a su incremento en el sector turismo, la desnutrición y pobreza en este sector es una característica predominante, según un estudio que se realizó en La Guajira por el Unicef, 4 de los 22 niños que fueron valorados sufría de desnutrición (unicef, 2014). A continuación, en la siguiente figura 5 se puede observar en el punto 1 (circulo azul) el lugar en el cual se plantea instalar la planta desalinizadora, este punto se encuentra a más o menos 180m del lugar de captación, de la misma manera se puede observar el punto 2 (circulo verde), que se encuentra a 43,8 m de la planta, este punto, hace referencia al lugar en el cual se plantea tener la cosecha, dando un total de 223,8 m como se muestra a continuación.

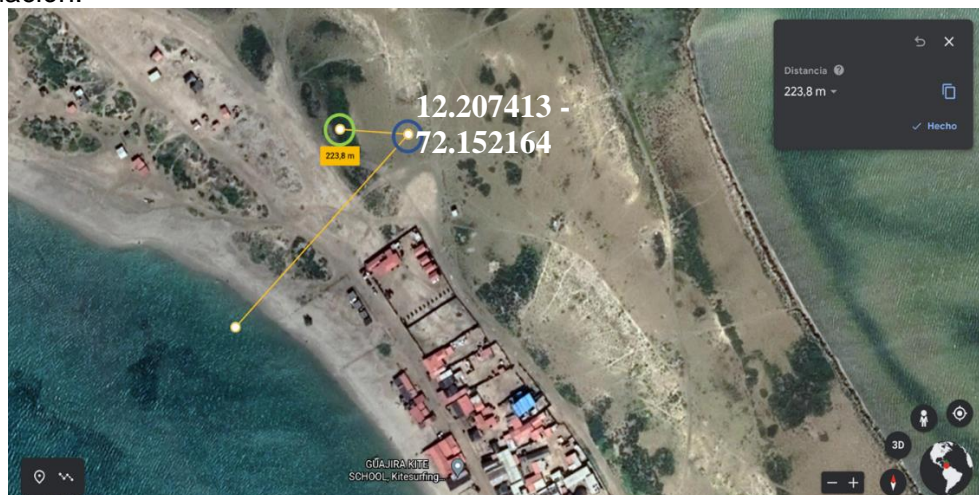


Figura 5 Trayecto a la planta desalinizadora.

Esta zona es elegida por la cercanía que tiene con la población, por ende, se puede sacar mayor provecho de la cosecha. Este sector está ubicado en las siguientes coordenadas 12.207413 - 72.152164. Tal como se puede observar en la figura 5, existen zonas verdes lo que indica que el suelo se encuentra con posible actitud agrícola, sin embargo, por el tipo

de cosecha que se va a realizar se hará un tratamiento previo para asegurar el estado del suelo.

La cosecha que se manejaba en estos corregimientos principalmente es de maíz y un frijol especial de la región, con el paso de los años, gracias a las continuas sequías, la cosecha en este municipio se ha vuelto insostenible y ya no se dan. Según (Agrobanco - UNALM, n.d.) en una hectárea de siembra se utilizan alrededor de 46,7 m<sup>3</sup> de agua. Para la implementación de una cosecha se cuenta con un terreno de aproximadamente 300 m<sup>2</sup> (20m X 15m). Teniendo en cuenta lo anterior y conociendo el desperdicio de agua generado por los métodos de riego, es prudente seleccionar un margen de error que se encuentre entre 40 y 50% según lo anterior se toma un valor del 48% y con base en la ecuación 1 se deduce que se necesita cerca de 2,075 m<sup>3</sup> de agua dulce para el riego que se tiene propuesto.

Conociendo el requerimiento hídrico de la siembra y el factor de riesgo, se puede conocer cuánta agua debe desalinizar la planta. Es decir, la corriente del permeado.

$$\text{Cantidad de agua dulce} = \frac{46,7 \text{ m}^3 * 300 \text{ m}^2}{10000 \text{ m}^2} * 1,4811 = 2,075 \text{ m}^3 = 2075L$$

Ecuación 1 Cantidad de agua dulce

VARIABLE	VALOR	UNIDADES
Agua dulce riego	2075	L
Hora solar	7	h
Temperatura promedio	26 -28	°C
Temperatura del agua promedio	23,4 – 31,9	°C
Turbiedad promedio	38	NTU
pH	8,2	
OD	7,4	mg/L
SST	64	mg/L
Nitratos	3,7	µg/L
Fosfatos	2,7	µg/L
HPDD	0,2	µg/L
DBO	2,4	mg/L
Amonio	0,2	mg/L
Bario	0	mg/L
Bicarbonato	189	mg/L
Boro	0	mg/L
Calcio	420	mg/L
Magnesio	1368	mg/L
Potasio	391	mg/L
Sulfato	2786	mg/L
Sodio	12190	mg/L

Tabla 2<sup>1</sup> Condiciones iniciales para el diseño. Fuente: Elaboración propia con base en (INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, 2020) y (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2019) (INVEMAR - Instituto de Investigación Marina y Costeras, 2020).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente y los parámetros fisicoquímicos presentados en el informe del instituto de investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR (INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, 2020) e (INVEMAR - Instituto de Investigación Marina y Costeras, 2020), se realiza una recopilación de los datos necesarios en la tabla 2 para el diseño de la planta desalinizadora y el sistema fotovoltaico.

---

<sup>1</sup> En la tabla anterior no se tiene en cuenta los componentes que según INVEMAR tienen un valor de 0.

# Capítulo 3

## 3. Diseño

Para iniciar el proceso de diseño de cualquier elemento, se debe conocer y tener claro qué actividades, el tiempo y las demandas que ejecutarán, por tal razón en la tabla 3 se muestran las especificaciones principales, con las cuales la planta desalinizadora contará y al finalizar el proyecto debe cumplir.

CONCEPTO	DETERMINACIÓN
Funciones	Captar agua a aproximadamente 223,8 m de la planta Pretratamiento para el cuidado de los equipos
Energía y consumo	Se dispone de energía solar y baterías.
Materiales	Alta resistencia a la corrosión e intemperie
Vida útil con mantenimientos	Equipos de 20 años Disponibilidad 24 h
Mantenimiento	Cambio de filtros 6 meses Cambio de membranas 1 año
Impacto ambiental	Bajo impacto al medio marino y medio terrestre

Tabla 3 Especificaciones para tener en cuenta en el diseño. Fuente: Elaboración propia

Con el fin de comprender lo realizado a lo largo del documento, se muestra un diagrama PFD el esquema 1, es decir una representación del flujo de proceso de flujo de proceso, en el que se muestran los equipos utilizados en la planta desalinizadora, los flujos, las temperaturas y la presión que se maneja en cada corriente, también en la parte superior hay unos cajetines, en los cuales se muestran las características de cada equipo



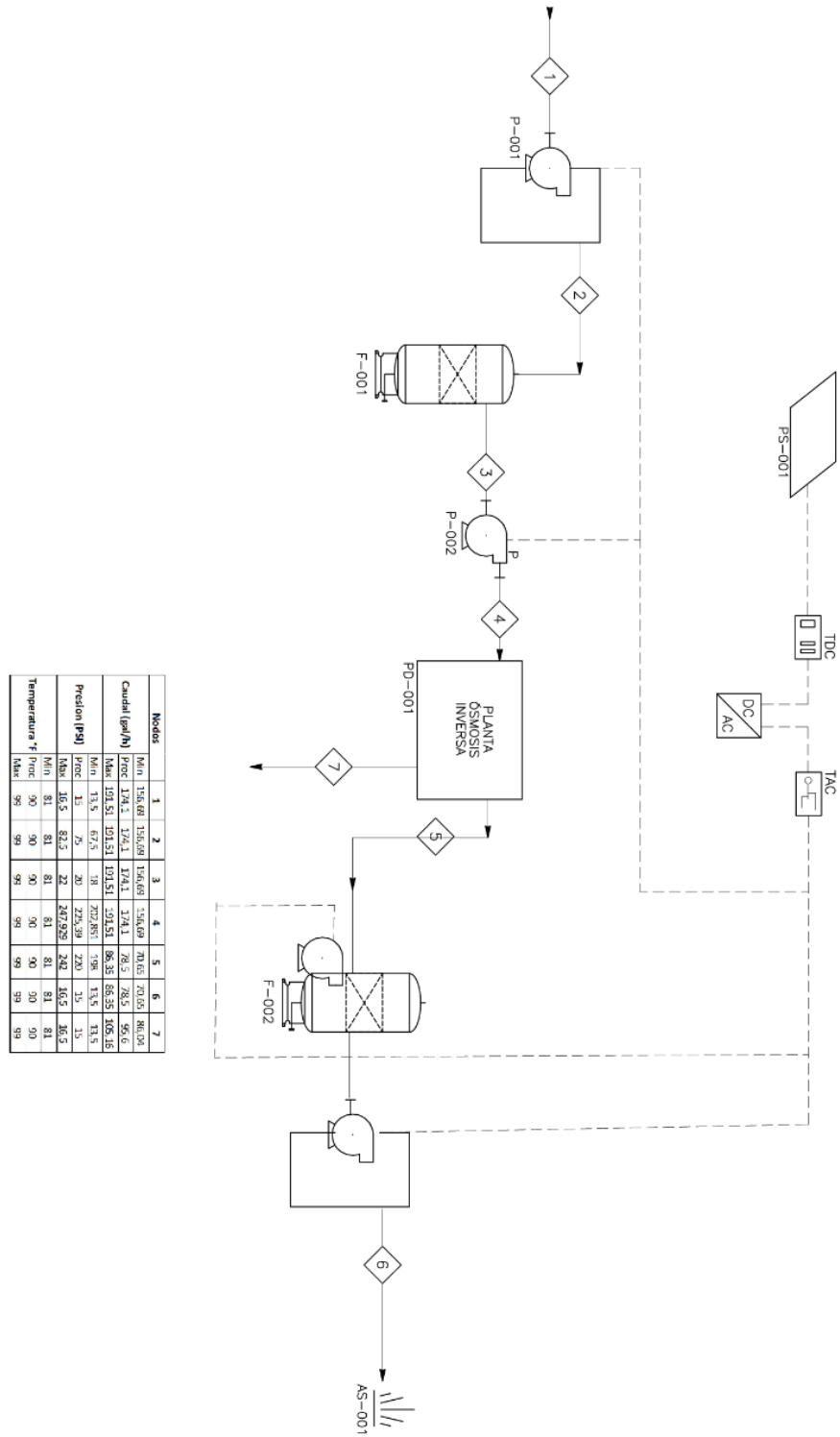


Diagrama 1 PFD planta desalinizadora. Fuente: Elaboración propia

A continuación, en el diagrama 2, se observa el procedimiento para el diseño de la planta desalinizadora, que funciona con energía fotovoltaica.

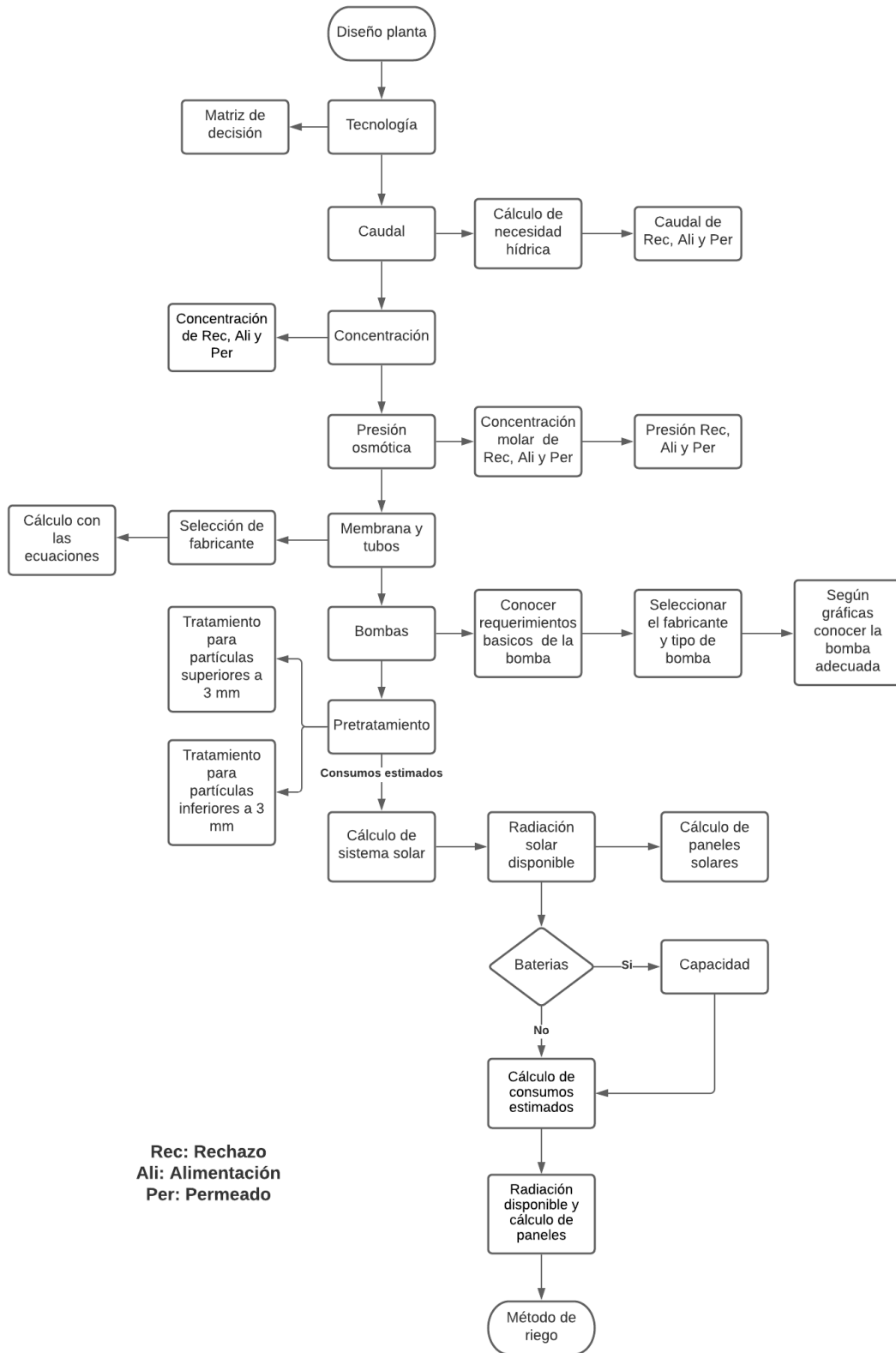


Diagrama 2 Pasos para el diseño de la planta. Fuente: Elaboración propia

A continuación, y teniendo en cuenta los datos de necesidades, especificaciones y condiciones previamente mencionados, se procede a iniciar con la selección de los componentes de la planta desalinizadora, que funcionará con la integración de energía fotovoltaica.

### 3.1 Tecnología de la planta desalinizadora.

Revisando la bibliografía, acerca de las diferentes tecnologías como se muestra en el anexo 1, se encontró que todas ellas cuentan con ventajas y desventajas, sin embargo, para la zona descrita anteriormente y tomando en cuenta sus precarias condiciones de infraestructura, hay unas tecnologías que por diferentes factores fueron descartadas ver anexo 1. Teniendo en cuenta todo lo explicado, se realiza una tabla de decisión, en la cual se le asigna un valor a cada una de las variables (Consumo de energía, costo de la instalación, capacidad de producción, fracción de agua recuperada, mantenimiento, impacto en el medio ambiente y pérdida de energía), según la información conseguida, donde cada número tiene un significado (1 = malo, 2 = regular y 3 = bueno) y se ve multiplicada por la importancia que se le ha dado a cada aspecto.

Variable	Tecnología										
	%	MSF		ED		RO		MED		HDH	
Consumo de energía	15%	1	0,15	3	0,45	3	0,45	1	0,15	2	0,3
Costo de la instalación	19%	1	0,19	2	0,38	3	0,57	1	0,19	1	0,19
Capacidad de producción	9%	2	0,18	2	0,18	3	0,27	2	0,18	1	0,09
Fracción de agua recuperada	9%	1	0,09	3	0,27	2	0,18	2	0,18	2	0,18
Mantenimiento	18%	1	0,18	2	0,36	2	0,36	1	0,18	3	0,54
Impacto en el medio ambiente	20%	1	0,2	2	0,4	2	0,4	1	0,2	3	0,6
Pérdida de energía	10%	1	0,1	2	0,2	2	0,2	1	0,1	2	0,2
Total	100%	1,09		2,24		2,43		1,18		2,1	

Tabla 4 Matriz de decisión de la tecnología de planta desalinizadora, para la Guajira. Fuente: elaboración propia

Tal como se muestra en la tabla 4, teniendo en cuenta cada variable se selecciona la tecnología de osmosis inversa, ya que fue la que mayor valor obtuvo, lo que quiere decir que es la técnica que más se ajusta a las condiciones del corregimiento del cabo de la Vela en presupuesto y las posibilidades de hacer mantenimiento.

En la siguiente figura 6 se observa el diseño de un tubo membrana, donde el agua entra por el centro del tubo, mientras el material de rechazo queda en el portado de agua de entrada, la membrana semi permeable y el material de portador de permeado, que se encuentran en la parte interior del tubo como se muestra en la figura 6, haciendo que el agua permeada salga por el centro, mientras que la concentrada por los laterales y así pasa al siguiente tubo.

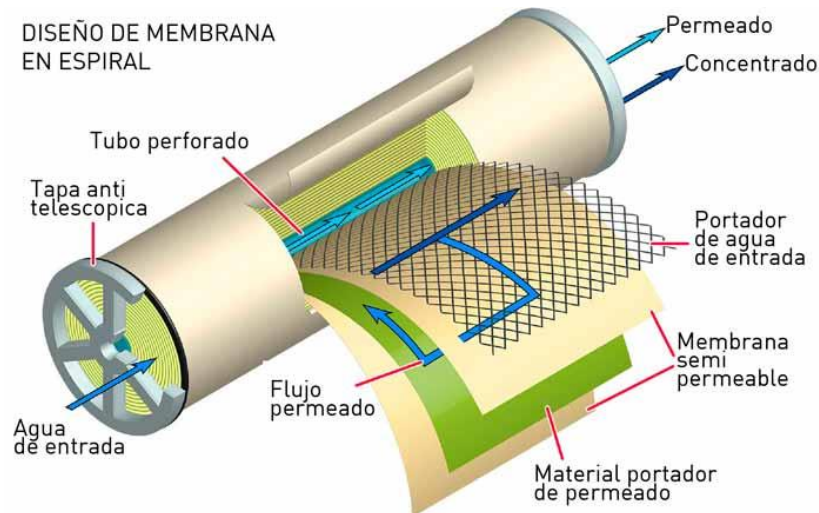


Figura 6 Diseño de membrana. Fuente: (Osmofilter, 2019)

### 3.2 Diseño detallado

Una vez se conoce bajo qué técnica se trabajará, se procede a la selección de los factores de construcción de la planta, la cual se enfocará en almacenamiento, el pretratamiento, las membranas, tubos de presión, bombas y modelo de riego.

#### 3.2.1 Caudal

Con el fin de encontrar el caudal de entrada y de tener una desalinización constante en la que se aprovechen las horas sol con valores que oscilan entre 6 y 8 horas (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2019), para mantener almacenada el agua dulce por el tiempo restante, se conoce que la cantidad de agua dulce neta que espera como resultado el proceso es de 2075 L/día, esta cantidad se divide en las horas que la máquina espera trabajar, es decir 7 horas al día, ahora bien, la eficiencia en la recuperación del proceso con ósmosis inversa se encuentra entre el 45 y el 60% de eficiencia, por lo que se utiliza la ecuación 2 (Qi et al., 2011)

$$Q_f = \frac{Q_p}{\eta} = \frac{2075 \frac{\text{L}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{7 \text{ h}}}{0,45} = 659 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Ecuación 2 Caudal de alimentación

Donde

- $Q_f$  = caudal de alimentación o agua bruta.
- $Q_p$  = caudal de permeado o caudal producto.
- $\eta$  = Conversión o recuperación general del sistema.

Teniendo estos datos se procede a calcular el caudal de rechazo

$$Q_r = Q_f - Q_p = 659 \frac{\text{L}}{\text{h}} - 297 \frac{\text{L}}{\text{h}} = 362 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

Ecuación 3 Caudal de rechazo

Donde

- $Q_f$  = caudal de alimentación o agua bruta.
- $Q_p$  = caudal de permeado o caudal producto.
- $Q_r$  = caudal de rechazo o salmuera

Se calcula el caudal de alimentación, rechazo y permeado para conocer la cantidad de agua y por ende las concentraciones que se deben tratar

### 3.2.2 Membrana

Para la selección de la membrana se tendrán en cuenta 2 documentos encontrados durante la búsqueda bibliográfica: “Desalinización de agua para aplicaciones de potabilización mediante el desarrollo de tecnología solar sustentable” del Ingeniero Omar Guadalupe Claudio Gómez, para la obtención de grado como Maestro en opto mecatrónica (Gómez, 2018) e “Introducción a la Desalación por ósmosis inversa. Conceptos Básicos” Del Ingeniero Carlos tejedor (Tejedor, 2008)

Teniendo en cuenta que los tres aspectos más importantes para la selección de membranas son: la fácil adquisición, bajo consumo energético y alto rechazo; se toma la membrana SW30HRLE-440i. Se puede observar todas sus especificaciones en el Anexo 3. Sus características más importantes se pueden observar en la tabla 5

Especificación del producto						
DOWFILMTEC Elemento	Área activada (ft <sup>2</sup> )	Espesor (mL)	Permeado (GPM)	Flujo	Rechazo de Boro	Rechazo de sales
SW30HRLE-440i	440	28	8000	30,2	92	99,8

Tabla 5 Especificaciones básicas de la membrana. Fuente: (DOW FilmTec, 2021)

De la tabla 5, se puede ver que la membrana tiene un porcentaje de rechazo a las sales del 99,8%, la presión de operación es de 55,2 bar, puede tratar un flujo de hasta 30,2 m<sup>3</sup>/d, Además esta es una de las marcas comerciales una de las marcas más comerciales, por lo cual no habrá problema en caso de necesitar el producto para su remplazo, entre otros datos que cobran importancia se encuentran en el Anexo 3.

### 3.2.3 Concentraciones

La concentración es la proporción de soluto que hay en un solvente que puede estar en cualquier estado, la concentración se ve reflejada en la literatura como  $C$ . Con ayuda de las siguientes ecuaciones tendremos la información de esta variable que la desalinizadora manejará a lo largo del proceso, las de entrada brindadas por la fuente bibliográfica que se muestran en la tabla 2, y las de rechazo y permeables calculadas una vez se conocen las características de la membrana, donde:

- $R$ : Coeficiente de rechazo
- $\eta$ : Coeficiente de recuperación del sistema
- $C_{fi}$  = Caudal de alimentación o agua bruta.
- $C_{pi}$  = Caudal de permeado o caudal producto.
- $C_{ri}$  = Caudal de rechazo o salmuera
- $Q_p$  = Caudal permeado
- $Q_r$  = Caudal de rechazo

$$C_{ri} = \frac{R * C_{fi}}{1 - \eta} = \frac{0,998 * 0,0037 \frac{mg}{L}}{1 - 0,45} = 0,0067 \frac{mg}{L}$$

Ecuación 4 Concentración de rechazo – Ejemplo Nitratos

$$C_{pi} = \frac{C_{fi} * Q_{fi} - C_{ri} * Q_{ri}}{Q_p} = \frac{0,0377 \frac{mg}{L} * 659 \frac{L}{h} - 0,068408364 \frac{mg}{L} * 297 \frac{L}{h}}{362 \frac{L}{h}} = 0,0013 \frac{mg}{L}$$

Ecuación 5 Concentración permeable

Elemento	[]o	[] Rechazo	[] Permeado	Unidad
Nitratos	0,004	0,007	0,001	mg/L
Fosfatos	0,003	0,005	0,001	mg/L
Amonio	0,200	0,363	0,066	mg/L
Bario	0,100	0,181	0,033	mg/L
Bicarbonato	189,000	342,949	62,694	mg/L
Boro	0,000	0,000	0,000	mg/L
Calcio	420,000	762,109	139,319	mg/L
Flúor	0,000	0,000	0,000	mg/L
Magnesio	1368,000	2482,298	453,783	mg/L
Nitrito	0,000	0,000	0,000	mg/L
Potasio	391,000	709,487	129,700	mg/L
Sílice	0,000	0,000	0,000	mg/L
Estroncio	0,000	0,000	0,000	mg/L
Sulfato	2786,000	5055,324	924,152	mg/L
Sodio	12190,000	22119,309	4043,578	mg/L

Tabla 6 Concentraciones de alimentación, rechazo y permeado. Fuente: Elaboración propia

La tabla 6 muestra cual es la concentración de cada elemento, tanto en la corriente de alimentación, como en la corriente de rechazo, y a corriente permeada. Estas concentraciones, son las que finalmente se necesitan para tener claridad de la cantidad de elementos que se van a retirar durante el proceso y así conocer la molaridad.

### 3.2.4 Presión Osmótica

Con ayuda del resultado que acá se genere, se hallará la presión de trabajo de las bombas y por ende dará referencias del consumo energético

$$P_0 = R * (T - 273,15) * \Sigma_m$$

Ecuación 6 Presión osmótica

Donde:

- R: Constante de gases ideales
- T: Temperatura del agua
- Po: Presión osmótica
- $\Sigma_m$ : Sumatoria de concentración molar

Para conocer la presión osmótica, es necesario hallar la molaridad de cada elemento para conocer el total, este procedimiento se realiza teniendo los datos de cuantos mg hay en una mol, es decir con el peso atómico de los elementos, luego se divide la concentración que se conoce de la tabla anterior y así con estos datos, ya se puede conocer la presión osmótica

Elemento	mg/mol	[o molar	[r molar	[p molar	Unidades
Nitratos	6,200E+04	5,967E-08	1,103E-07	2,017E-08	mol/L
Fosfatos	9,497E+04	2,843E-08	5,159E-08	9,431E-09	mol/L
Amonio	1,703E+04	1,174E-05	2,131E-05	3,896E-06	mol/L
Bario	1,373E+05	7,282E-07	1,321E-06	2,415E-07	mol/L
Bicarbonato	6,102E+04	3,098E-03	5,621E-03	1,028E-03	mol/L
Boro	1,081E+04	0,000	0,000	0,000	mol/L
Calcio	4,008E+04	1,048E-02	1,902E-02	3,476E-03	mol/L
Flúor	1,900E+04	0,000	0,000	0,000	mol/L
Magnesio	2,431E+04	5,628E-02	1,021E-01	1,867E-02	mol/L
Nitrito	4,601E+04	0,000	0,000	0,000	mol/L
Potasio	3,910E+04	1,000E-02	1,815E-02	3,317E-03	mol/L
Sílice	6,008E+04	0,000	0,000	0,000	mol/L
Estroncio	8,762E+04	0,000	0,000	0,000	mol/L
Sulfato	9,606E+04	2,900E-02	5,263E-02	9,621E-03	mol/L
Sodio	2,299E+04	5,302E-01	9,621E-01	1,759E-01	mol/L
Total		6,391E-01	1,160E+00	2,120E-01	mol/L

Tabla 7 Concentración molar en alimentación. Fuente: Elaboración propia

Ya que se tienen todos los datos para resolver la ecuación 6, se asume una temperatura de 36°C (Torres et al., 2018) y se realiza la sumatoria del total de la línea de alimentación que se encuentra en la tabla anterior, tabla 7, dando como resultado que la presión osmótica es de 15,98 Bar en la alimentación.

$$P_o = 0,0809 \frac{L * Bar}{mol K} * (36 + 273,15)K * 0,6391 \frac{mol}{L} = 15,98 Bar$$

Corriente	Presión osmótica (bar)	Presión osmótica (psi)
Alimentación	15,98	231,77
Rechazo	29	429,61
Permeable	5,3	76.87

Tabla 8 Presión osmótica. Fuente: Elaboración propia

Se realiza el mismo procedimiento para la línea de rechazo y permeada, así se conoce cuál es la presión que se necesita en la salida de cada corriente

### 3.2.5 Número de membranas y presión

Para calcular el número de membranas que se debe emplear, se utiliza la siguiente ecuación, el caudal permeado se divide entre el área de la membrana que está dada en las especificaciones de la elegida (Anexo 3) y el flujo específico (Dupon, 2020). El flujo específico se toma con base en la guía de diseños de FILMTEC, para elementos de 8 pulgadas, finalmente se escoge 10 gal

$$N_e = \frac{Q_p}{f * A} = \frac{1883 \frac{\text{gal}}{\text{día}}}{10 \frac{\text{gal}}{\text{d} * \text{ft}^2} * 440 \text{ft}^2} = 0,4279$$

Ecuación 7 Número de membranas

Donde:

- $N_e$  = número de membranas
- $Q_p$  = Caudal permeado
- $f$  = Flujo específico
- $A$  = Área de la membrana

Teniendo en cuenta que el número resultante de la ecuación 7 es 0,4279, se aproxima al siguiente número entero, que es 1, es decir para este flujo de agua permeada solo se requiere de 1

Uno de los aspectos más importantes en la operación de ósmosis inversa es la presión, por eso ahora se procede a calcular esta variable en la cual se debe trabajar, para ello se utilizará la ecuación 9

$$P_m = \frac{J_d}{SMP} + \Delta\pi$$

Ecuación 8 Presión de la membrana

Donde:

- $P_m$ : Presión de la membrana
- $J_d$ : Flujo específico
- $SMP$ : Permeabilidad específica de la membrana
- $\Delta\pi$ : Diferencial de presión osmótica entre la corriente de alimentación y la de rechazo

En este caso según el fabricante, el flujo máximo permitido para los tubos de presión es de 10gfd, la permeabilidad específica de la membrana es de 0,0282  $\frac{\text{gfd}}{\text{lb/in}^2}$  y esto se encuentra descrito en (DOW FilmTec, 2021)

$$P_m = \frac{10 \text{ gfd}}{0,0282 \frac{\text{gfd}}{\text{psi}}} + |225,39 - 409,15| \text{psi} = 552,45 \text{psi} = 38,1 \text{Bar}$$

### 3.2.6 Selección de bombas

Durante el proceso habrá cinco bombas, de las cuales 4 serán evaluadas para el proceso, con las ecuaciones que se observan a continuación. Las cuatro bombas que se van a seleccionar son la bomba de succión, la bomba de pretratamiento, la bomba de alta presión para la planta de ósmosis inversa y la bomba de riego. La quinta bomba no se calcula, pues el sistema de remineralización incluye una bomba de 0,5 HP.



Para determinar la potencia de las bombas necesarias, a lo largo de este ítem, se registró por las siguientes 2 ecuaciones, que fueron tomadas del libro Mecánica de fluidos aplicada (Mott, 2006)

$$\text{Pot} = \frac{Hb * \rho * g * Q}{746 * \eta}$$

Ecuación 9 Potencia de bombas

Donde:

- Pot: Potencia
- Hb: Carga de trabajo o altura dinámica
- $\rho$ : Densidad del agua –  $1030 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
- g: Gravedad  $9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
- Q: Caudal que debe suministrar la bomba

$$H_p = \frac{\text{Pot}}{\eta}$$

Ecuación 10 Carga de trabajo

Donde:

- Pot: Potencia
- $\eta$ : Eficiencia de la bomba se debe encontrar entre 55 y 85%, que por criterios de autor se toma 70%

Para tener en cuenta el diseño se realiza con tubería de material PRFV, que cuenta con un factor de fricción de 0,02, se suministra este dato, para dar paso a las ecuaciones 11 y 12 que hace referencia a las pérdidas por longitud y por accesorios respectivamente.

$$hf_L = \frac{f * L * v^2}{2gD}$$

Ecuación 11 Pérdidas por longitud

$$hf_{acc} = k \frac{v^2}{2g}$$

Ecuación 12 Pérdidas por accesorios

Donde

- K: Coeficiente de fricción de accesorios
- F: Factor de fricción de la tubería
- D: Diámetro nominal de la tubería

Finalmente, para hallar la altura dinámica se utiliza la ecuación 14, que se obtiene al despejar la ecuación de Bernoulli

$$H_b = hf + \left[ \left( \frac{P_2}{\rho * g} \right) + \frac{v_2^2}{2 * g} + z_2 \right] - \left[ \left( \frac{P_1}{\rho * g} \right) + \frac{v_1^2}{2 * g} + z_1 \right]$$

Ecuación 13 Ecuación de Bernoulli

Donde:

- Hb altura dinámica
- Hf = pérdida
- P = presión
- g = gravedad
- Z = altura

- V = velocidad
- P = densidad

La potencia neta de las bombas necesarias después de obtenida, se multiplica por un factor de seguridad de 1,25 según las recomendaciones del fabricante (Barnes de Colombia S.A., 2020). Tomando en cuenta todo lo explicado anteriormente se muestran los resultados en la tabla 9

Bomba	Pretratamiento	Planta de osmosis	Riego	Succión
Hfl (m)	0,076	0,114	0,055	1,371
Hfacc (m)	0,487	0,243	0,156	1,461
Hft (m)	0,563	0,358	0,211	2,832
Hb (m)	36,180	73,610	35,828	47,971
Potencia (HP)	0,225	1,145	0,223	0,746
Potencia segura (HP)	0,338	1,717	0,334	1,119
Potencia de compra (HP)	0,5	2	0,5	1,5

Tabla 9 Resultados para toma de decisión de bomba. Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la tabla 10 se muestran cuáles fueron los resultados de las bombas.

Bomba	Potencia (HP)	voltaje (V)
Pretratamiento - Tanque de presión	0.5	110
Planta - bomba de presión	2	110/220
Riego - tanque de presión	0.5	110
Bomba de succión	1.5	110/220

Tabla 10 Configuración de bombas. Fuente: Elaboración propia

### 3.3 Diseño del pretratamiento

En esta fase se realiza una remoción de sólidos, por lo general de tamaños superiores a 1 cm. Esta tecnología en particular requiere de un pretratamiento cuidadoso, pues se puede ver como un factor fundamental para la durabilidad de las membranas, evitar mantenimientos frecuentes, cambios de los tubos o taponamientos.

#### 3.3.1 Desbaste y filtrador de arena

En la elección de pretratamiento se eligen 2 tecnologías, la primera es un desbaste que consiste en la retención de partículas con tamaños superiores a 1 cm, por medio de rendijas como se muestra en la figura 7, este proceso se propone para la durabilidad del segundo método que es el uso de un filtrador, específicamente un filtrador de arena, que ayuda a la

eliminación de SST. Este proceso cuenta a su vez con tres subprocesos en su interior, el filtrado, el lavado y el aclarado. A lo largo del recorrido el agua es bombeada para iniciar con el filtrado, seguido se inyecta aire de manera tal que el agua se va clarificando y el proceso se repite. Para llevar a cabo este procedimiento se utilizan máquinas especializadas, como la que se observa a continuación en la figura 8.



Figura 7 Pretratamiento – Desbaste. Fuente: (Deagua, 2020)

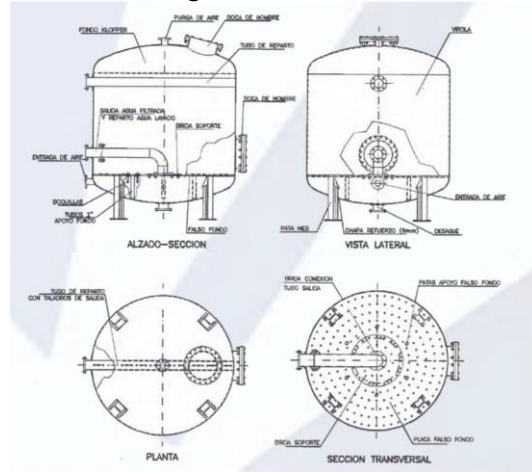


Figura 8 Pretratamiento – Filtración. Fuente: (Hidrometalica, 2018)

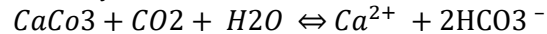
### 3.4 Remineralización

El agua desalinizada por lo general tiende a ser muy corrosiva, por lo cual necesita una Remineralización, esta tiene como objeto aumentar la alcalinidad y la dureza hasta llegar a unos valores de LSI – índice de saturación de Langelier, de esta manera se reduce su carácter agresivo, aumentando los bicarbonatos respecto al cloro y los sulfatos. En el sector agrícola, como en este caso, se utiliza también para la mejora, ya que incluye un contenido mayor de calcio y de sodio. El agua desalada por lo general no cuenta con suficiente CO<sub>2</sub> como para permitir una remineralización, por eso en la mayoría de los procesos se debe incluir este componente (Hernández Suarez, 2010). A continuación, en la tabla 14 se podrá observar la tabla que indica la tecnología que se maneja.

Proceso	Consumo de químicos por incremento de 1 mol de HCO <sub>3</sub>	Incremento de contenido en cationes y aniones por 1 mol de HCO <sub>3</sub>
Carbonato de calcio + Dióxido de carbono	50,1 mg CaCO <sub>3</sub> 22mg CO <sub>2</sub>	20mg Ca <sup>2+</sup>
Dióxido de carbono + Hidróxido calcio	37,1 mg Ca (OH) 44mg CO <sub>2</sub>	20mg Ca <sup>2+</sup>
Dióxido de carbono + Dolomita	35,1 mg mgOCaCO <sub>3</sub> 33mg CO <sub>2</sub>	6,1 mg Mg <sup>2+</sup> 20 mg Ca <sup>2+</sup>
Carbonato de calcio+ Ácido sulfúrico	100,1 mg CaCO <sub>3</sub> 49mg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	40,1 mg Ca <sup>+2</sup> 48 mg SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>

Tabla 11 Procesos de remineralización

Para este caso, teniendo en cuenta lo accesible del producto y los precios, se utilizará el primer procedimiento, que incluye carbonato de calcio con dióxido de carbono.



Para este procedimiento se utilizan unos lechos filtrantes que contienen estos componentes, para el correcto funcionamiento de estos filtros y el cumplimiento de su objetivo se deben realizar limpiezas del filtro diarias.



Figura 9 Filtro para la remineralización

Este filtro incluye directamente la bomba y, esta bomba es de 0,5 Hp, lo cual aumenta el consumo diario de la planta, esta sería utilizada la misma cantidad de tiempo que la bomba de riego, es decir 1 hora

### 3.5 Modelo de riego

En la agricultura, el tipo de riego más utilizado es por medio de aspersores, esto es gracias a que estos giran en torno a su eje, permitiendo regar una superficie circular que dependiendo el tipo de aspersor elegido será el alcance y el tipo de lluvia (Cardozo Pérez & Diaz Martínez, 2014).

Según el área que se necesita regar, se selecciona un aspersor que tenga la capacidad de proveer agua a todo el terreno, esta se activará con el temporizador que se encuentra previo al tanque de presión constante, sin embargo, el diseño por seguridad debe llevar una válvula.

Tomando como base para realizar los cálculos un con un diámetro de cobertura que 16 m, (Aspercol, 2020), hacer la elección del número de aspersores. Para este caso específico, el cabo de la vela cuenta con vientos de 27 km/h en promedio, por la cual se requiere un espacio dado por los aspersores que cubran el terreno en caso de ser cambiada la dirección por el viento. Teniendo en cuenta la cantidad de agua que se desperdicia en caso de ser cambiada la dirección, se utiliza un margen de seguridad de 40%, esto se puede observar en la siguiente figura 10, un solo aspersor es suficiente, por lo cual se realizará el diseño con cuatro aspersores, teniendo la distancia de riego requerida

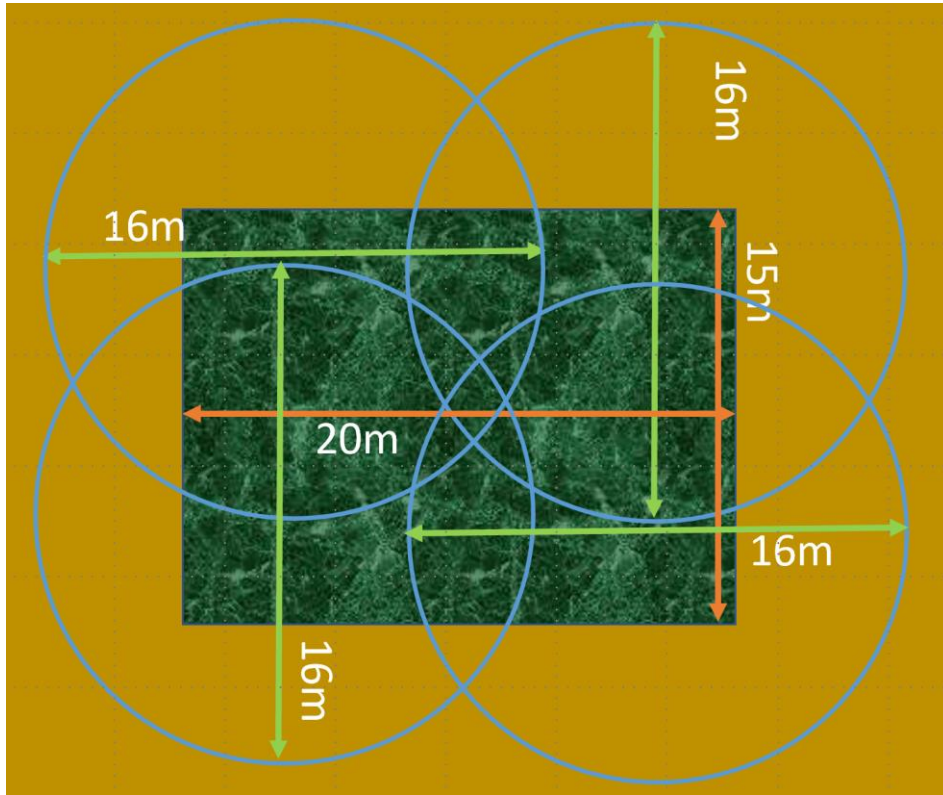


Figura 10 Área de aspersores. Fuente: Elaboración propia

### 3.6 Tubería

Tal como se muestra en la figura 5 desde el mar hasta el punto en donde estará la cosecha hay aproximadamente 228,3m, conociendo que este punto no será en línea recta se hace un factor de seguridad para la estimación de costos del 20%, dando como resultado que lo que se requieren son 274 m en tubería.

$$228,3m * 1,2 = 273,94m \approx 274m$$

### 3.7 Sistema fotovoltaico

Con ayuda de un sistema predeterminado, para el cálculo de la planta solar, se conocen los datos necesarios como se mostrarán a continuación, en donde cada uno de ellos está explicado en el Anexo 2

- Paso 1: Cálculo de consumos estimados
- Paso 2: Radiación solar disponible
- Paso 3: Cálculo de inversor
- Paso 4: Capacidad de los acumuladores
- Paso 5: Cálculo de paneles
- Paso 6: Cálculo de controlador MPPT

### 3.7.1 Cálculos del sistema fotovoltaico

Con el fin de encontrar el consumo estimado, lo primero que se debe realizar es una tabla en la que se discriminen todos los artefactos que consuman energía eléctrica y calcular la potencia diaria requerida tal como se muestra en la tabla 12.

La potencia de las bombas se conoce por los caballos de fuerza que fueron el resultado dado en la tabla 10. Tomando en cuenta el caudal de la bomba se asigna el tiempo de trabajo de cada una de las mismas.

Elementos para instalar	Potencia (W)	Factor de corrección por pérdidas 25% (W)	Horas de trabajo (h)	Energía total (Wh/día)
Bomba de alta presión	1492	1865	1	1865
Bomba de pretratamiento	373	466,2	1	466.2
Filtro de remineralización	373	466,2	1	466.2
Bomba succión	1119	1399	1	1399
Bomba de riego	373	466,2	1,25	583
TOTAL	3730	4663	5,25	4779,4

Tabla 12 Consumo estimado. Fuente: Elaboración propia

Con los datos anteriores se calculan las características del sistema para la alimentación de la planta desalinizadora. El lugar donde se instalará según el IDEAM (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2019) tiene una radiación estable.

Conociendo el consumo diario y el tipo de carga, se procede a calcular el inversor

$$Potencia\ del\ inversor = Potencia\ requerida * Factor\ de\ seguridad$$

Ecuación 14 Potencia del inversor

$$Potencia\ del\ inversor = 3730\ W * 4 = 14920W$$

Se selecciona el factor de seguridad de 4 veces la potencia necesaria dada la carga inductiva generada por el arranque de las bombas dejando el margen adecuado para el correcto funcionamiento en el escenario del pico de corriente. Por lo cual se selecciona un inversor de 15000 W y 48 V

Una vez se conoce el voltaje para el funcionamiento del sistema se realiza el cálculo de las baterías. Con el fin de tener una mayor vida útil, se usarán en el proyecto baterías de litio, los cuales permiten una descarga del 85%.

$$Cn_{banco} = \frac{E_{Tot} * D_{aut}}{Vn * E_{fpd}}$$

Ecuación 15 Numero de baterías

$$Cn_{banco} = \frac{4779,4Wh * 2}{48V * 0,85} = 234,28 Ah$$

$$N_{bat} = \frac{Cn_{banco}}{Cn_{bateria}}$$

Ecuación 16 Numero de baterías

$$N_{bateria} = \frac{234,28 Ah}{100 Ah} = 2,34$$

Donde

$E_{Tot}$  : Energía total de la carga

$D_{aut}$  : Días de respaldo

$V_n$  : Voltaje nominal del banco

$E_{fpd}$  : Eficiencia profundidad de descarga

$Cn_{banco}$  : Carga del banco

$Cn_{bateria}$  : Carga de las baterías

$N_{bateria}$  : Numero de baterías

Dimensionamiento baterías		
Días de autonomía (en caso de mal tiempo)	2	Días
Eficiencia profundidad de descarga	85%	
Energía requerida	9558,8	Wh
Voltaje total de la batería	48	V
Bateria comercial	100	Ah
<b>Nº total de batería Litio</b>	<b>3</b>	

Tabla 13 Dimensionamiento de baterías

Se seleccionan baterías de 48 Voltios y 100 Ah, por lo tanto, se requieren 3 de éstas generando 300 Ah.

Teniendo en cuenta los resultados presentados previamente, se procede a hallar los paneles solares.

$$N_{paneles} = \frac{V_n * C_{bat} * E_{fpd}}{Horas\ pico\ solar * Potencia\ del\ panel}$$

Ecuación 17 Numero de paneles

$$N_{paneles} = \frac{48V * 300Ah * 0,85}{6h * 550w} = 3,71$$

Dimensionamiento paneles solares		
Potencia del panel	550	W
Ubicación	Cabo de la Vela	
Periodo del año que usaremos la instalación	Media anual	
Horas pico solar	6	h
Energía generada por un módulo al día	3300	Wh
Nº módulos después de pérdidas	4	<b>paneles</b>
Voltaje del panel	24	<b>V</b>
Voltaje requerido	48	<b>V</b>
<b>Nº de paneles del sistema</b>	<b>8</b>	<b>paneles</b>

Tabla 14 Dimensionamiento de paneles solares

Se requieren 4 paneles de 550 W, estos paneles funcionan a 24 V, lo que se traduce en un arreglo de 4X2. Es decir, finalmente se necesitan 8 paneles solares para alimentar el sistema.

Finalmente, se selecciona el controlador

$$C_{controlador} = \frac{\text{potencia generada}}{Vn}$$

Ecuación 18 Corriente controlador

$$C_{controlador} = \frac{2200W}{48V} = 45,83A$$

Por lo cual se selecciona un controlador MPPT de 50 A a 48V

Para el correcto funcionamiento del sistema se requiere un inversor de 15 kW para sistemas de 48 V, 3 baterías de 48 voltios a 100 Ah, un controlador MPPT de 50 A a 48 V y 8 paneles de 550 W a 24 Voltios, para formar con arreglo de 4X2 para tener generar una potencia de 2200 W en una configuración de 48 V

### 3.8 Costos

Al ser un proyecto conceptual, los valores que se encuentran son proyecciones promedio de diferentes cotizaciones realizadas a lo largo de la elaboración del proceso de diseño.



<b>Artefacto</b>	<b>Unidades</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
Membrana	1	\$ 117.700	\$ 117.700
Mallas	1	\$ 650.000	\$ 650.000
Filtrador	1	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000
Remineralizador	1	\$ 3.680.000	\$ 3.680.000
Bomba de succión	1	\$ 1.268.000	\$ 1.268.000
Bomba de presión cte.	2	\$ 799.000	\$ 1.598.000
Bomba de alta presión	1	\$ 1.299.000	\$ 1.299.000
Válvulas	12	\$ 113.500	\$ 1.362.000
Aspersores	4	\$ 71.900	\$ 287.600
Cable solar rojo m	200	\$ 5.360	\$ 1.072.000
Cable solar verde m	200	\$ 5.360	\$ 1.072.000
Cable solar negro m	200	\$ 5.360	\$ 1.072.000
Inversor	1	\$ 7.357.155	\$ 7.357.155
Breaker termo magnético	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Caja fusible tipo Riel	1	\$ 69.300	\$ 69.300
Totalizador	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Sistema de puesta a tierra	1	\$ 2.700.000	\$ 2.700.000
Hidrogel g	50000	\$ 89	\$ 4.450.000
Transporte	3	\$ 1.500.000	\$ 4.500.000
Tanque de almacenamiento	1	\$ 2.436.000	\$ 2.436.000
Tubería m	274	\$ 8.967	\$ 2.456.958
Días de mano de obra para paneles	45	\$ 180.000	\$ 8.100.000
Días de mano de obra para construcción	45	\$ 140.000	\$ 6.300.000
Protecciones fotovoltaicas	1	\$ 549.253	\$ 549.253
Estructura de paneles	8	\$ 180.000	\$ 1.440.000
Construcción para planta de OI	1	\$ 20.000.000	\$ 20.000.000
Controlador	1	\$ 1.043.000	\$ 1.043.000
Baterías	4	\$ 3.036.534	\$ 12.146.136
Paneles solares	8	\$ 1.036.000	\$ 8.288.000
<b>Precio total</b>		<b>\$</b>	<b>97.114.102</b>

Tabla 15 Costos de la implementación de la planta desalinizadora. Fuente: Elaboración propia con base en (Barnes de Colombia S.A., 2020), (DOW FilmTec, 2021), (Aspercol, 2020),(SOLARTEX, 2020)

En la tabla anterior se muestran los insumos, tanto de personal, como de materiales necesarios para la implementación del proyecto en La Guajira, se muestran las cantidades, según los precios estimados.

# Capítulo 4

## 4. Evaluación impacto ambiental

En este capítulo se encontrará el procedimiento para el desarrollo de la matriz Conesa (Servicios Hidrogeológicos y ambientales, 2013)(Servicios Hidrogeológicos y ambientales, 2013), de la cual se podrá ver cuáles son los impactos más significativos y cuáles de ellos necesitan medidas de compensación, esta matriz se realiza evaluando los impactos frente a las actividades y dando un valor determinado según el criterio evaluado. Los criterios para evaluar son 11 y se pueden evaluar con los siguientes datos:

Criterio	Valor	Significado
Naturaleza	+	Beneficioso
	-	Perjudicial
Intensidad (i)	1	Baja
	12	Total
Extensión (EX)	1	Puntual
	12	Critica
Momento (MO)	1	Largo plazo
	8	Critico
Persistencia (PE)	1	Fugaz
	4	permanente
Reversibilidad (RV)	1	Corto plazo
	4	Irreversible
Sinergia (SI)	1	Sin sinergismo
	4	Muy sinérgico
Acumulación (AC)	1	Simple
	4	Acumulativo
Efecto (EF)	1	Indirecto
	4	Directo
Periodicidad (PR)	1	Irregular
	4	Continuo
Recuperabilidad (MC)	1	Recuperación rápida
	8	Irrecuperable

Tabla 16 Modelo de importancia del impacto. Fuente: Elaboración propia

Una vez se tienen los valores se utiliza la siguiente ecuación, para así conocer la magnitud del impacto.

$$I = \pm(3i + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

Ecuación 19 Cálculo del impacto. Fuente: (Hidroar, 2015)

Teniendo en cuenta estos datos, se procede a conocer cuáles son las etapas, fases, actividades, medio, elemento e impactos para de esta manera complementar la matriz Conesa.

#### 4.1 Selección de etapas, fases y actividades.

ETAPA	FASES		ACTIVIDAD
Pre operativa	Gestión Social	Información y comunicación	Exposición de objetivos y alcance del proyecto
		Contratación de servicios, mano de obra y servidumbres	Selección de personal y servicios de terceros
			Contratación de mano de obra no calificada
			Educación y capacitación al personal
			Negociación de tierras y servidumbres
Operativa	Instalación de planta desalinizadora	Montaje de equipos e instalación de paneles	Demanda de mano de obra, servicios e insumos de terceros
			Movilización de personal, equipos y materiales vía fluvial
			Montaje de equipos e infraestructura
			Retiro de la capa vegetal
			Movimiento de tierras
			Disposición de residuos sólidos
Post operativa	Desmantelamiento	Retiro, cambio o mantenimiento de estructura	Demanda de mano de obra y servicios de terceros
			Desmontaje, cambio o mantenimiento de membranas o paneles
			Disposición de residuos sólidos
		Restauración ambiental del entorno	Recuperación de áreas intervenidas
			Revegetalización de áreas intervenidas
		Manejo de las relaciones con la comunidad	Terminación de contratos

Tabla 17 Selección de etapas, fases y actividades. Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la tabla, este proyecto al igual que cualquier otro, cuenta con tres etapas fundamentales: Pre- operativa, en la que se contemplan todas las actividades en las que se puede ejecutar previo a la a la implementación del proyecto, la operativa que es proceso de construcción de la planta desalinizadora, y la post operativa que es cuando se

va a realizar el desmonte de los equipos, esto se ejecuta con el fin de contemplar todas las posibles variables e impactos que se podrían generar, tal como se muestra en la siguiente tabla 18.

#### 4.2 Resumen de la matriz Conesa

En la siguiente tabla se verá un resumen, en donde solo se encuentran el medio, el elemento, los impactos y los resultados, estos fueron evaluados según el resultado como bajo, moderado, severo y crítico (Hidroar, 2015).

MEDIO	ELEMENTO	IMPACTO	VALOR FINAL DEL IMPACTO	TIPO DE IMPACTO
ABIÓTICO	SUELOS	Cambios en el uso del suelo	29,8	Moderado
		Cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo (Regenerar)	30	Moderado
	PAISAJE	Modificación del paisaje	-20,9	Bajo
	AGUA	Insumos hídricos constantes para riego	21	Bajo
BIÓTICO	FLORA	Cambios en la composición y estructura de la cobertura vegetal	-22	Bajo
		Variación en ecosistemas naturales	49	Moderado
	FAUNA	Abastecimiento de alimentos para consumo animal	39	Moderado
		Modificación del hábitat de la fauna terrestre	20	Bajo
SOCIOECONÓMICO	DIMENSIÓN DEMOGRÁFICA	Cambio en la dinámica y estructura poblacional	33,2	Moderado
	DIMENSIÓN ESPACIAL	Cambio en la oferta y demanda de servicios sociales y ambientales	43,6	Moderado
	DIMENSIÓN ECONÓMICA	Cambio en el valor y uso actual del suelo	55,7	Severo
		Cambio en las actividades productivas económicas tradicionales	47,3	Moderado
		Generación de empleo	41,2	Moderado
	DIMENSIÓN CULTURAL	Cambio en hábitos alimenticios	31,4	Moderado
		Cambio en las prácticas socioculturales tradicionales	13,2	Bajo
		Generación de proyectos sociales	50,6	Severo

Tabla 18 Resumen de matriz Conesa. Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la tabla anterior se puede ver que dos de los impactos son negativos, aunque con un tipo bajo, por lo cual se deben tomar medidas de compensación como se ve a continuación.

Teniendo en cuenta la tabla anterior, en la que se observan cuáles son los impactos, se puede ver claramente los positivos un valor superior a 0 y negativos con un valor inferior, en severos se encuentran 2 que son de impacto positivo, mientras que los dos que son negativos se ve que tienen un impacto bajo.

Se puede ver que lo que mayor impacto genera son las acciones que generan proyectos y el cambio en el uso del suelo, el uso de baterías y cambios alimenticios o en la forma de vida de la población, esto se puede observar mucho mejor en el anexo 4, donde se ve la matriz Conesa completa, donde evalúa los impactos

Impacto	Compensación
Modificación del paisaje	Construcción de malocas
	Revegetalización
Cambios en la composición y cobertura vegetal	Remediación del suelo cuando se termine el proyecto
	Incentivar proyectos para la alimentación del ganado

Tabla 19 Compensación a impactos. Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la tabla 19 hubo dos impactos que salen negativos, en este el primero es la modificación del paisaje y se trata de realizar la compensación con la construcción de malocas en las cuales la población se pueda reunir y no pierdan espacios de integración y la segunda manera es por medio de la revegetalización, esta además de ayudar de compensar el primer impacto, también ayuda con el segundo impacto, pues para realizar la revegetalización, primero se debe realizar una restauración del suelo.

### 4.3 Sostenibilidad y beneficios socioambientales

A continuación, se muestran los beneficios directos e indirectos que produce la implementación de la planta desalinizadora

#### 4.3.1 Beneficios directos

Como principal beneficio para la comunidad se habilitan 300 m<sup>2</sup> de tierra con fines agrícolas, este territorio será recuperado, de manera tal que su fertilidad aumente.

Adicional, según el DANE en una hectárea de siembra de maíz se consiguen 3,24 Ton/cosecha (DANE, 2004), por lo cual para los 300 m<sup>2</sup> que se implementa, se producen aproximadamente 97,2 Kg tres veces al año. Este modelo agrícola es un complemento a la seguridad alimentaria de la comunidad, sin embargo, en caso de ver excedentes, estos pueden ser utilizados para la venta, produciendo ganancias económicas. En el caso que el maíz se vendiera en su totalidad y tomando un valor dado por un almacén de cadena de 4712 pesos colombianos / kg el ingreso total sería de 458000 pesos colombianos 3 veces al año, lo que equivale a 1374000 en un año.

### 4.3.2 Beneficios indirectos

La cosecha toma aproximadamente 4 meses y después de esta hay un periodo de restauración del suelo que toma aproximadamente 1 semana, tiempo suficiente para arar el terreno, aplicar cal viva y dejar reposar. Durante este periodo el agua que no se utiliza, es decir los 2075 litros pueden ser utilizados según la lógica de la comunidad (Everth Cuenca – Técnico agrícola, 2021).

En la comunidad Wayúu, existe una jerarquía, por tal razón ellos se pueden poner de acuerdo, para el uso de esta agua dulce que está llegando durante la semana de reposo, que es de aproximadamente 14575 litros. Se propone que sea utilizada con fines de limpieza o en actividades cotidianas que no incluyan el consumo.

Finalmente cabe recalcar que este proyecto presenta estos beneficios para la comunidad esperando que la se vea incentivada al cuidado de la planta.

Actualmente comer en hojas como recipientes biodegradables se ha vuelto más común, también se puede hacer almidón de maíz (Grande & Orozco, 2013), o se puede utilizar para refuerzo de determinados plásticos, incluso en caso que la comunidad no disponga de los elementos para hacerlo ellos mismo se puede vender a las empresas encargadas (Mujté et al., 2008). Finalmente, un último uso que se podría realizar es mediante la generación de biomasa con las cascarras y tallos (Sosa, 2007).

### 4.3.3. Sostenibilidad

A lo largo del tiempo en La Guajira se han planteado diversas soluciones, entre ellas una planta desalinizadora (Naranjo, 2021), sin embargo, estas han fracasado por incumplimientos o en su mayoría por a falta de mantenimiento. Tal cómo se planteó en el capítulo 3 se espera que el proyecto tenga una durabilidad de 20 años y para ello se requiere de un plan a largo plazo (Ramos Peroza, 2016).

Las membranas y los filtros requieren un mantenimiento periódico que se puede dar cada 2 meses por la calidad se agua y el cambio de los mismos puede variar entre 6 y 9 meses (Aparicio Gonzáles, 2019), el mantenimiento de las bombas puede variar entre 3 y 6 meses (Termodinámica y Biología del agua, 2020), y finalmente, la limpieza de los paneles de 5 a 3 veces en el año. Se propone tomar en cuenta las siguientes acciones previo a la instalación de la planta desalinizadora:

- Capacitar a la comunidad en el uso de la planta desalinizadora.
- Realizar capacitaciones a la comunidad para el mantenimiento de filtros, bombas y membranas.
- Capacitar a la comunidad en la limpieza de paneles solares
- Mantener Stock de membranas y filtros en caso de requerir de mantenimiento correctivo.
- Realizar periódicamente visitas de un operario para toma de muestras de la calidad del agua.
- Programar visitas de personal de mantenimiento cada semestre para la revisión del sistema completo .

Tomando como base los costos de mantenimiento se realiza una comparación entre los ingresos y los egresos en el proyecto

<b>MANTENIMIENTO</b>	<b>Frecuencia por año</b>	<b>Precio unitario</b>	<b>Precio por 10 años</b>
Cambio de filtros	2	\$ 227.900	\$ 4.558.000
Cambio de membranas	2	\$ 117.000	\$ 2.340.000
Revisión anual	1	\$ 500.000	\$ 5.000.000
Capacitación	1	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000
Costo total mantenimiento en 10 años			\$ 21.898.000
Ingreso en 10 años			\$ 13.740.000

Tabla 20 Costos de mantenimiento Vs ingresos

Tal como se observa en la tabla anterior, el proyecto económicamente no es viable, por los costos de mantenimientos que tiene, por lo cual requeriría una financiación permanente de parte de la entidad benefactora. En la tabla 20 se observa el ingreso en caso que la comunidad venda su producción por completo, sin embargo, la función principal de la implementación de la planta desalinizadora es la mejora en la calidad de vida de la comunidad, lo cual es una variable que no se puede monetizar.

# Capítulo 5

## 5 Conclusiones y recomendaciones

En este capítulo se mostrará lo que finalmente se pudo analizar del proyecto tratado y las recomendaciones que se dan en caso de realizar el proyecto o para la complementación de este.

### 5.1 Conclusiones

- Se realizó un análisis bibliográfico a partir de fuentes secundarias, con el fin de localizar las condiciones necesarias para la implementación del diseño conceptual de la planta, basado en lo anterior se eligió el corregimiento del Cabo de la Vela en el municipio de Uribia de La Guajira.
- Se realizó una búsqueda bibliográfica y por medio de una matriz de selección se evaluaron diferentes tecnologías, Electrodiálisis, humidificación-deshumidificación, osmosis inversa, flash multietapa y destilación de múltiple efecto donde según las características más relevantes a consideración del estudiante fueron calificadas, siendo consumo de energía, costo de la instalación, capacidad de producción, fracción de agua recuperada, mantenimiento, impacto en el medio ambiente y pérdida de energía, con asignación de porcentajes de 15%, 19%, 9%, 9% 18%, 20% y 10% respectivamente, para finalmente la tecnología más viable para la instalación de la planta desalinizadora bajo dichas condiciones es ósmosis inversa, con un valor de 2,43/3.
- Se realiza un diseño en donde se calcula el caudal de las corrientes de alimentación (659L/día), rechazo (362L/día) y permeado de la planta (297L/día), teniendo en cuenta estos valores se conoce que la planta desalinizadora requerirá para su correcto funcionamiento 1 membrana, que funciona con alta presión, por lo cual se instalará previo a la planta una bomba que sea capaz de inyectar el agua a bajo dichas condiciones.
- Se requiere una bomba de alta presión, una bomba para el pretratamiento, la bomba que incluye el remineralizador, la bomba de succión encargada de transportar el agua desde el mar y una bomba para el sistema de riego.
- Para el correcto funcionamiento del sistema se requiere un inversor de 15 kW para sistemas de 48 V, 3 baterías de 48 voltios a 100 Ah, un controlador MPPT de 50 A a 48 V y 8 paneles de 550 W a 24 Voltios, para formar con arreglo de 4X2 para tener generar una potencia de 2200 W en una configuración de 48 V
- El costo total de la aproximación del presupuesto realizado para la posible implementación del proyecto es de \$ 97.114.102, que consta de la planta desalinizadora, el pre tratamiento, tratamiento y post tratamiento, sistema fotovoltaico, mano de obra y elementos de construcción y transporte.
- Se estableció que los dos impactos negativos son: la modificación del paisaje y los cambios en la composición y estructura de la cobertura vegetal, los cuales se propone subsanar por medio de la construcción de malocas y nuevos espacios que para la comunidad y la revegetalización una vez terminado el proyecto
- El proyecto no es económicamente viable porque los costos de mantenimiento a lo largo de 10 años superan los ingresos generados en el mismo periodo de tiempo, en el caso de vender la producción completa de la cosecha



## **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda ampliar la capacidad de la planta desalinizadora, para que el proyecto pueda ser económicamente viable, sin embargo se considera la mejora en la calidad de vida de los habitantes de la comunidad
- Se recomienda la implementación del proyecto y realizar capacitaciones a la comunidad para el mantenimiento de la planta desalinizadora, para que de esta manera tenga una mayor vida útil.
- Realizar la caracterización del agua proveniente de la planta desalinizadora frecuentemente, para asegurar la calidad de la misma.
- Realizar campañas de incentivo para el aprovechamiento del proyecto.
- Pactar con la comunidad periodos y formatos para el mantenimiento del proyecto.

# Capítulo 6

## 6. Bibliografía

- Agrobanco - UNALM. (n.d.). *Riego tecnificado en el cultivo de Maiz Amarillo* (pp. 1–32).
- Alcaldía de Uribia. (2020). *Uribia*. <http://www.urbia-laguajira.gov.co/Paginas/default.aspx>
- Alkaisi, A., Mossad, R., & Sharifian-Barforoush, A. (2017). A Review of the Water Desalination Systems Integrated with Renewable Energy. *Energy Procedia*, 110(December 2016), 268–274. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.138>
- Aparicio Gonzáles, J. (2019). *Planificación del mantenimiento de una planta desaladora*.
- AreaTecnologia. (2018). *Paneles Solares Funcionamiento Tipos Usos Celdas*. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>
- AreaTecnologica. (2018). *Regulador de Carga Solar: Calculos, Tipos, Funciones*. <https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>
- Aspercol. (2020). *Aspersores*. <https://www.aspercol.com/aspersores.php>
- Barnes de Colombia S.A. (2020). *Bombas de agua*. <https://www.barnes.com.co/#>
- Biblioteca del Congreso Nacional. (2017). *Impacto Ambiental de Desalinización de Agua de Mar*.
- Borsani, R., & Rebagliati, S. (2005). Fundamentals and costing of MSF desalination plants and comparison with other technologies. *Desalination*, 182(1–3), 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.03.007>
- Cardozo Perez, M. E., & Diaz Martinez, M. J. (2014). *Diseño de un sistema de riego por aspersión en la finca el cedro ubicada en el municipio de Aquitania*.
- Concejo Municipal de Uribia. (2020). *Acuerdo municipal 005*.
- Corpoguajira Colombia. (2020). *Atlas Ambiental del Departamento de La Guajira*. [https://issuu.com/corpoguajira/docs/atlas\\_ambiental\\_guajira/20](https://issuu.com/corpoguajira/docs/atlas_ambiental_guajira/20)
- Corpoguajira, & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Plan de Acción Institucional 2020 -2023*.
- Cortes, K., & Alvis, N. (2016, September). *Informe técnico séptima edición*. [https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/publicaciones alternas/boletin8-wayuu/resultados.html](https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/publicaciones%20alternas/boletin8-wayuu/resultados.html)
- DANE. (2004). *Maíz tecnificado en Colombia*. 1–13.
- DANE. (2005). *Censo General 2005 Perfil de Uribia* (pp. 23–26).
- DANE. (2018). *CENSO NACIONAL DE POBLACION Y VIVIENDA*.
- Deagua. (2020). *Rejas de desbaste* –. <http://blogdeagua.es/reja-de-desbaste/>
- Defensoría del Pueblo. (2019). *La sed y la desesperanza del pueblo wayú | Defensoría del Pueblo*. <https://www.defensoria.gov.co/es/nube/enlosmedios/2127/La-sed-y-la-desesperanza-del-pueblo-wayú.htm>
- De la Hoz, F. (2020). *Agricultores piden al Gobierno culminar obras de distrito de riego en La Guajira*. *El Herald*. <https://www.elheraldo.co/la-guajira/agricultores-piden-al-gobierno-culminar-obras-de-distrito-de-riego-en-la-guajira-810140>
- DOW FilmTec. (2021). *FILMTEC™ Reverse Osmosis Membranes Technical Manual*. (Issue February, p. 210).
- Dupon. (2020). *System Design. The Steps to Design a Membrane System. Tech Manual*. 45, 4–9.
- European Union. (2012). *Autonomous Desalination System concepts for seawater and brackish water in rural Areas with Renewable energies*.

- German Aerospace Center (DLR). (2007). Aqua-CSP Study Report, Concentrating Solar Power for Seawater Desalination. *Desalination*.
- Germán, •, Dévora-Isiordia, E., González-Enríquez, R., & Ruiz-Cruz, S. (n.d.). *Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México*.
- Ghalavand, Y., Hatamipour, M. S., & Rahimi, A. (2015). A review on energy consumption of desalination processes. *Desalination and Water Treatment*, 54(6), 1526–1541. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.892837>
- Gómez, C. O. (2018). *Desalinización De Agua Para Aplicaciones De Potabilización Mediante El Desarrollo De Tecnología Solar Sustentable*. 12–50.
- Gómez Ramírez, J., Murcia Murcia, J. D., & Cabeza Rojas, I. (2017). La Energía Solar Fotovoltaica en Colombia: Potenciales, Antecedentes y Perspectivas. *Universidad Santo Tomás*, 1–19.
- Grande, C., & Orozco, B. (2013). Producción y procesamiento del maíz. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 11(1), 97–110.
- Guajira, L. A., & Disposiciones, P. Y. O. (2009). *PLAN BASICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE URIBIA , LA GUAJIRA PLAN BASICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE MUNICIPIO DE URIBIA CONCEJO MUNICIPAL ACUERDO NUMERO \_\_ 016 \_ POR MEDIO DEL CUAL SE ADOPTA EL PLAN BASICO DE ACUERDA : TI*. 1–74.
- Hernandez Suarez, M. (2010). *Guia para la remineralización de las aguas desaladas*.
- Hidroar. (2015). *Metodología para el Calculo de las Matrices Ambientales. I*, 1–5.
- Hidrometalica. (2018). *Filtro de arena*.
- IDEAM. (2020). *La Guajira - Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia* (Issue 4, p. 1).
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2018). *ATLAS CLIMATOLÓGICO, RADIACIÓN Y VIENTO*.
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2019). *Radiación Solar*. 6–10.
- INVEMAR. (2012). *Programa Nacional para la Investigación de la Erosión Costera*. [http://www.invemar.org.co/inicio?p\\_p\\_id=101&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_101\\_struts\\_action=%2Fasset\\_publisher%2Fview\\_content&\\_101\\_returnToFullPageURL=%2F&\\_101\\_assetEntryId=77906&\\_101\\_type=content&\\_101\\_urlTitle=programa-nacional-para-la-investigacion-de-la-erosion-costera&inheritRedirect=false](http://www.invemar.org.co/inicio?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F&_101_assetEntryId=77906&_101_type=content&_101_urlTitle=programa-nacional-para-la-investigacion-de-la-erosion-costera&inheritRedirect=false)
- INVEMAR - Instituto de Investigacion Marina y Costeras. (2020). *Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico Colombianos*.
- INVEMAR, MinAmbiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCE, CVS, CORPOURABÁ, CODECHOCÓ, CVC, C. y CORPONARIÑO. (2020). *Diagnóstico y Evaluación de la Calidad de las Aguas Marinas y Costeras en el Caribe y Pacífico Colombianos. Informe Técnico 2019*.
- Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M. T. H., Smakhtin, V., & Kang, S. mu. (2019). The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of the Total Environment*, 657(December 2018), 1343–1356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>

- Kabeel, A. E., Hamed, M. H., Omara, Z. M., & Sharshir, S. W. (2013). Water Desalination Using a Humidification-Dehumidification Technique—A Detailed Review. *Natural Resources*, 04(03), 286–305. <https://doi.org/10.4236/nr.2013.43036>
- Karaghoul, A., & Kazmerski, L. L. (2011). Renewable Energy Opportunities in Water Desalination. *Desalination, Trends and Technologies*. <https://doi.org/10.5772/14779>
- Leon Linares, E., & Acosta Arias, C. M. (2015). *Análisis-vulnerabilidad-por-sequía-La\_Guajira-a-partir-de-NBI*.
- López Morales, J. D. (2017, September). *Así son los días en Uribia, el pueblo más seco de Colombia*. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/el-pueblo-donde-menos-llueve-en-colombia-es-uribia-en-la-guajira-135092>
- Martínez Ortiz, A. (2019). La Guajira Caracterización Departamental y municipal. Informe presentado a Cerrejón Minería responsable. *Cerrejon*, 192.
- Mcgovern, R. K. (2012). *Saturation Curve Analysis of Humidification-Dehumidification Desalination*. 1–105.
- Mott, R. L. (2006). *Mecanica de fluidos aplicada*. PEARSON.
- Mujté, P., Méndez, JA., Vilaseca, F., López, J. P., Flández, J., Barberá, L., Pérez, I., & Pelach, M. A. (2008). Residuos de tallo de maíz como refuerzo de polipropileno. *Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*, 23–24.
- Najafi, F. T., Alsaffar, M. M., Schwerer, S. C., Brown, N., & Ouedraogo, J. (2016). Environmental impact cost analysis of multi-stage flash, multi-effect distillation, mechanical vapor compression, and reverse osmosis medium-size desalination facilities. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, 2016-June*. <https://doi.org/10.18260/p.26729>
- Naranjo, J. D. (2021). *La Guajira: agua que mata*. <https://semanarural.com/web/articulo/los-ninos-siguen-muriendo-de-hambre-en-la-guajira-y-los-proyectos-de-pozos-han-fracasado-o-no-han-sido-suficientes/1932>
- Observatorio ambiental de bogota. (2021). *El compromiso de las nuevas generaciones con el medio ambiente y la sociedad* » *Observatorio Ambiental de Bogotá*. <https://oab.ambientebogota.gov.co/el-compromiso-de-las-nuevas-generaciones-con-el-medio-ambiente-y-la-sociedad/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, F. (2019). *Mal manejo del riego: amenaza para los suelos, el agua y la seguridad alimentaria*. <http://www.fao.org/FOCUS/S/SpeclPr/spro13-s.htm>
- Osmofilter. (2019). *Tratamiento integral del agua*. [https://www.osmofilter.com/mx/industrial\\_membranas.php](https://www.osmofilter.com/mx/industrial_membranas.php)
- Patiño Abella, J. S., Tello Reyes, J. S., & Hernández Mora, J. A. (2009). Desarrollo de un regulador de carga para sistemas fotovoltaicos aplicando instrumentación virtual. *Ingeniería (Bogotá)*, 14(2), 13–18. <https://doi.org/10.14483/23448393.2375>
- Pourafshar, S. T., Jafarinaemi, K., & Mortezaipoor, H. (2020). Development of a photovoltaic-thermal solar humidifier for the humidification-dehumidification desalination system coupled with heat pump. *Solar Energy*, 205(May), 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.045>
- Prada Ruiz, S., Prieto Martínez, P. V., & Vergara, C. A. (2015). La Erosión En El Suelo De La Zona Costera De La Guajira Desde 1975 a La Actualidad Y Su Relación Con Las Actividades Económicas De La Región \*. *Revista Estudiantes Facultad de Ciencias Económicas*, V(1), 31–39.

- Prakash Narayan, G., Mistry, K. H., Sharqawy, M. H., Zubair, S. M., & Lienhard, J. H. (2010). Energy effectiveness of simultaneous heat and mass exchange devices. *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, 1(2). <https://doi.org/10.5098/hmt.v1.2.3001>
- Qi, W., Liu, J., & Christofides, P. D. (2011). A distributed control framework for smart grid development: Energy/water system optimal operation and electric grid integration. *Journal of Process Control*, 21(10), 1504–1516. <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2011.05.010>
- Ramos Peroza, M. alberto. (2016). *Operaciones de mantenimiento y reparación en la planta desaladora de Santa Cruz de Tenerife*.
- Rodríguez Murcia, H. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingeniería*, 28, 83–89. <https://doi.org/10.16924/revinge.28.11>
- Servicios Hidrogeológicos y ambientales. (2013). *Metodología para el Cálculo de las Matrices Ambientales Metodología para el Cálculo de las Matrices Ambientales*.
- Serway, R., & Jewett, J. (2008). Física para ciencias e ingeniería Vol. 1. In *Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.* (Vol. 1, Issue 4, p. 640).
- SOLARTEX. (2020). *Panel Solar 535 Watts MonoPerc Ja Solar | Solartex Colombia*. <https://www.solartex.co/tienda/producto/panel-solar-535-watts-monoperc-ja-solar/>
- Sosa, A. (2007). *PRODUCCION DE BIOMASA, RENDIMIENTO Y COMPETENCIA ENTRE PLANTAS DE MAIZ SEGÚN SU VARIABILIDAD TEMPORAL EN LA EMERGENCIA*.
- Stoughton, K. M., Duan, X., & Wendi, E. (2013). Reverse Osmosis Optimization. *U.S. Department of Energy*, August, 9–17.
- Tan, C. H., Lefebvre, O., Zhang, J., Ng, H. Y., & Ong, S. L. (2012). Membrane processes for desalination: Overview. In *Membrane Technology and Environmental Applications* (Issue June). <https://doi.org/10.1061/9780784412275.ch10>
- Tejedor, C. (2008). Introducción a la Desalación por ósmosis inversa. *Conceptos Básicos. EOI Escuela de Negocios*, 56.
- Termodinámica y Biología del agua. (2020). *Mantenimiento de bomba de presión de agua* . <https://controldelagua.es/mantenimiento-bomba-de-presion-de-agua/>
- Torres, M. D. G., Contreras, J. G., & Ortiz, A. M. (2018). Condensación de la humedad del aire: solución a la escasez de agua en regiones de Colombia como La Guajira y San Andrés Isla. *Letras ConCiencia TecnoLógica*, 15–24.
- unicef. (2014). *Situación nutricional de algunas comunidades Indígenas Wayúu de los corregimientos de Nazareth y Cabo de la Vela del municipio de Uribia, La Guajira*. 143, 1–5.
- UNICEF. (2019). *SOS de los niños de La Guajira*. <https://www.unicef.org/colombia/comunicados-prensa/con-un-sms-se-atiende-el-sos-de-los-ninos-de-la-guajira>
- Veduría ciudadana. (2020). *Informe Anual Veduría Ciudadana para la Implementación de la Sentencia T-302 del 2017 Documento de Cumplimiento y Verificación Noviembre 2019 - Octubre 2020*.
- Velasco Muñoz, Á., & Calvache, Ó. S. (2019). Evolución De La Generación De Energía Solar Fotovoltaica En Colombia. *Repositorio Institucional USC*, 1–16.

## Anexo 1 tecnologías desalinizadoras

Tecnologías desalinizadoras

Los procesos de desalinización se clasifican en dos categorías: procesos térmicos y procesos de membrana (Tan et al., 2012)<sup>2</sup>. Los procesos térmicos Los procesos termales incluyen los siguientes tipos de desalinizadores:

- MSF
- MED

Los procesos de membrana incluyen los siguientes tipos de desalinizadores:

- Electrodialisis
- Osmosis Inversa
- Modelo MSF (Multistage Flash)

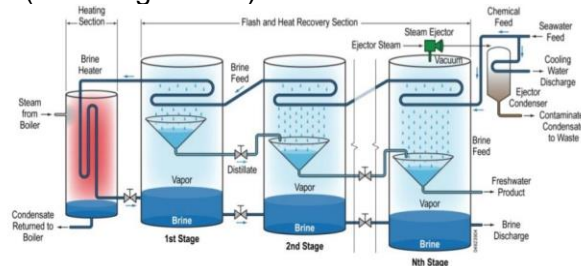


Figura 1 Modelo MSF. Fuente: (Ghalavand et al., 2015)

De acuerdo con Ghalavand et al (2015)<sup>3</sup> el sistema está compuesto por varias etapas intermitentes, un calentador de salmuera, unidades de bombeo, un sistema de alimentación, ventilación y un circuito de control de agua de refrigeración. El principio del modelo Multi- Stage Flash consiste en que el agua de mar se bombea a través de los intercambiadores de calor y en un calentador de salmuera alcanza la temperatura máxima que alcanza la planta (entre 80°C - 90°C) (Tan et al., 2012), posteriormente el líquido caliente ingresa a una primera cámara que se mantiene ligeramente por debajo de la presión de vapor de saturación del agua. Una parte del agua se condensa, y el agua que permanece, también llamada salmuera concentrada, fluye a la siguiente etapa en donde la presión y la temperatura se reducen para aumentar la evaporación. El proceso se repite en cada etapa, el agua condensada se recupera mediante colectores de condensación. Una planta MSF puede contener entre 4 y 40 etapas dependiendo su capacidad, usualmente este tipo de desalinizadoras han sido desarrolladas para el manejo de escalas superiores a 5000 m<sup>3</sup>/ día.

La desalinización instantánea multietapa (MSF) consume normalmente 290 kJ / m<sup>3</sup> de energía térmica y 4 a 6 kWh / m<sup>3</sup> de electricidad (European Union, 2012)<sup>4</sup>. La demanda de electricidad no es significativa en la medida en que esta se utiliza para servicios auxiliares

<sup>2</sup> Tan, C. H., Lefebvre, O., Zhang, J., Ng, H. Y., & Ong, S. L. (2012). Membrane processes for desalination: Overview. Membrane Technology and Environmental Applications. <https://doi.org/10.1061/9780784412275.ch10>

<sup>3</sup> Ghalavand, Y., Hatamipour, M. S., & Rahimi, A. (2015). A review on energy consumption of desalination processes. Desalination and Water Treatment, 54(6), 1526–1541. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.892837>

<sup>4</sup> European Union. (2012). Autonomous Desalination System concepts for seawater and brackish water in rural Areas with Renewable energies.

como bombas, dosificadores, eyectores de vacío. Por otro lado, (Najafi et al., 2016)<sup>5</sup>, resalta que una unidad MSF que produce 100 m<sup>3</sup>/día requiere 3900 Kwh/día. Una planta MSF, tiene un porcentaje de recuperación de agua entre 10% y 20% Para (German Aerospace Center (DLR), 2007)<sup>6</sup>, las plantas MSF suelen tener una capacidad por debajo de 76000 m<sup>3</sup>/día. Sumado a esto, según (Jones et al., 2019)<sup>7</sup> las plantas MSF tienen en promedio un porcentaje de recuperación de agua del 22%.

Las plantas MSF según (Biblioteca del Congreso Nacional, 2017)<sup>8</sup> suelen emitir salmueras que están entre 10°C y 15°C por encima de la temperatura de las aguas receptoras. Por otro lado, en los procesos térmicos como MSF, se produce principalmente contaminación térmica, además "temperatura del agua de mar, la salinidad, la corriente de agua y la turbidez. También dañan el medio marino, provocando la migración de los peces y aumentando la presencia de algas, nematodos y pequeños moluscos. A veces aparecen microelementos y materiales tóxicos en la salmuera vertida"

#### Modelo MED (Multi Effect Distillation)

Las unidades MED, según (Ghalavand et al., 2015), funcionan bajo el principio de reducir la presión ambiental en cada etapa sucesiva, lo que permite que el agua de alimentación se someta a ebullición múltiple sin tener que suministrar calor adicional después de la primera etapa. En este sentido, el agua de mar se calienta al punto de ebullición mediante el uso de tubos que adquieren calor a través de una fuente de calor disponible; posteriormente, el agua es rociada sobre los tubos, se genera vapor de agua con bajo porcentaje de salinidad y este fluye mediante otro tubo a una nueva etapa. De igual manera, el agua restante de la primera etapa se bombea al siguiente efecto repitiendo el mismo proceso. El proceso continuo entre 4 y 21 veces en promedio si se realiza en una planta grande.

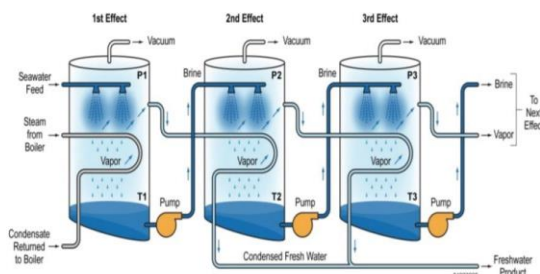


Figura 2 Modelo MED. Fuente: (Ghalavand et al., 2015)

Según (Najafi et al., 2016) en plantas de gran tamaño donde se producen entre 5000 y 15000 m<sup>3</sup>/d de agua potable, hay un consumo de energía de entre 1.5 y 2.5 KWh/m<sup>3</sup>. Por otro lado, en una planta MED donde se producen 100 m<sup>3</sup>/ día, se consumen 1750 KWh/día.

<sup>5</sup> Najafi, F. T., Alsaffar, M. M., Schwerer, S. C., Brown, N., & Ouedraogo, J. (2016). Environmental impact cost analysis of multi-stage flash, multi-effect distillation, mechanical vapor compression, and reverse osmosis medium-size desalination facilities. ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings, 2016-June. <https://doi.org/10.18260/p.26729>

<sup>6</sup> German Aerospace Center (DLR). (2007). Aqua-CSP Study Report, Concentrating Solar Power for Seawater Desalination. Desalination.

<sup>7</sup> Jones, E., Qadir, M., van Vliet, M. T. H., Smakhtin, V., & Kang, S. mu. (2019). The state of desalination and brine production: A global outlook. *Science of the Total Environment*, 657(December 2018), 1343–1356. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.076>

<sup>8</sup> Biblioteca del Congreso Nacional. (2017). Impacto Ambiental de Desalinización de Agua de Mar. Recuperado de <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=42372>

En cuanto a consumo de energía térmica, (Alkaisi et al., 2017)<sup>9</sup> resalta que en promedio una planta MED consume entre 230 y 390 (KJ/Kg). Jones et Al. (2019) indican que el porcentaje de recuperación de agua de las plantas desalinizadoras MED es del 25% (German Aerospace Center (DLR), 2007) señala que las planta MED, suelen tener una capacidad por debajo de 36000 m<sup>3</sup>/día.

Así como el proceso de desalinización MSF, el proceso multietapa emite salmueras cuya temperatura se encuentra por encima de las aguas receptoras. Sumado a esto, al contar con un proceso térmico, la salmuera vertida en el mar altera la turbidez, la temperatura del agua y la población de fauna.

### Electrodiálisis

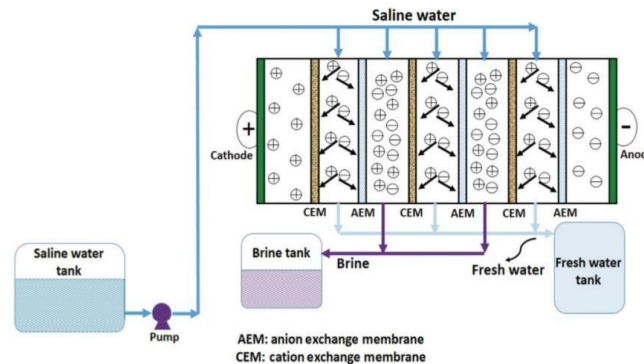


Figura 3 Electrodiálisis. Fuente: (Ghalavand et al., 2015)

Según (Borsani & Rebagliati, 2005) el sistema de desalinización por electrodiálisis elimina selectivamente los sólidos disueltos, en función de su carga eléctrica, transfiriendo los iones de agua salobre a través de una membrana de intercambio iónico semipermeable cargada con un potencial eléctrico. El proceso utiliza una fuerza impulsora para transferir especies iónicas desde la fuente de agua a través del cátodo (iones cargados positivamente) y el ánodo (iones cargados negativamente) a una corriente concentrada de aguas residuales. De esta forma, el agua que ingresa al sistema se transforma en tres tipos: 1. Agua de producto, que tiene un nivel bajo de sólidos disueltos 2. Agua de alimentación de electrodos, la cual al pasar sobre los electrodos crea un potencial eléctrico; 3. Salmuera, que recibe iones de agua salobre.

(Tan et al., 2012) señala que una planta de electrodiálisis con capacidad de 20.000 m<sup>3</sup>/ día, requiere de un consumo total de energía de entre 3 y 6 KWh/m<sup>3</sup>. De acuerdo con (Jones et al., 2019) las plantas desalinizadoras con sistema de electrodiálisis pueden alcanzar un porcentaje de recuperación de agua entre 80% y 86% Según (German Aerospace Center (DLR), 2007) las plantas ED suelen tener una capacidad por debajo de 19000 m<sup>3</sup>/día.

### Ósmosis inversa

De acuerdo con (Tan et al., 2012) el principio de la ósmosis consiste en un proceso natural que ocurre entre dos fluidos separados por una membrana semipermeable que permite el paso del solvente, su dirección depende de factores como temperatura y una mayor concentración de los sólidos disueltos. Sin embargo, el mismo autor señala que, si se aplica una presión mayor que la presión osmótica de la solución más concentrada, el líquido fluirá de forma inversa hacia la solución menos concentrada. En relación a esto, (Karaghoulí &

<sup>9</sup> Alkaisi, A., Mossad, R., & Sharifian-Barforoush, A. (2017). A Review of the Water Desalination Systems Integrated with Renewable Energy. *Energy Procedia*, 110(December 2016), 268–274. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.138>



Kazmerski, 2011)<sup>10</sup> menciona que, en el proceso de ósmosis inversa, las moléculas de agua contenidas en el agua de mar pasan a través de una membrana selectiva, mientras que los iones de sal disueltos no atraviesan la membrana. Este proceso representa cerca del 45% de la capacidad de desalinización a nivel mundial.

(Karaghoulí & Kazmerski, 2011) mencionan que un sistema típico de desalinización mediante Ósmosis Inversa consta de cuatro subsistemas: sistema de pretratamiento, bomba de alta presión, módulo de membrana y sistema de pos tratamiento.

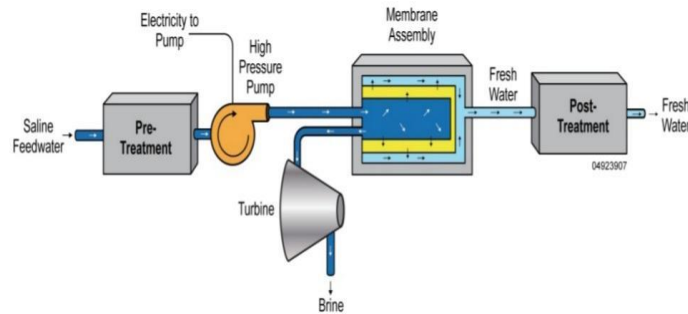


Figura 4 Modelo osmosis inversa. Fuente: (Karaghoulí & Kazmerski, 2011)

El sistema de ósmosis inversa, según (Stoughton et al., 2013), cuenta con los siguientes componentes básicos: prefiltros, membrana, vasos a presión, bombas, válvulas, tanques de almacenamiento y línea de drenaje. Las especificaciones de estos varían según el modelo de la planta.

(German Aerospace Center (DLR), 2007) usualmente, una planta de este sistema cuenta con una capacidad total de 40.000 m<sup>3</sup>/día y suele poseer una capacidad de producción menor a 20000 m<sup>3</sup>/ día. Por otro lado, (Jones et al., 2019), indica que el porcentaje de recuperación de agua en el proceso de ósmosis inversa es del 42% No obstante, los valores varían según el modelo de la planta y se pueden alcanzar porcentajes de recuperación del 60% Además de esto, estas plantas suelen operar a temperaturas de entre 15°C - 32°C.

Por otro lado, (Tan et al., 2012) señalan respecto al consumo de energía eléctrica, que un proceso de desalinización por OI consume entre 3 y 10 kWh/m<sup>3</sup>. No obstante, de acuerdo con un proceso de ósmosis inversa típico puede operar a una capacidad mínima de 1.8 kWh m<sup>-3</sup>, lo que a su vez equivale a un 59% de eficiencia energética.

Los productos químicos utilizados para desinfectar y limpiar el sistema deben ser químicamente compatibles con la membrana de barrera delgada de poliamida o acetato de celulosa que rechaza la sal. El autor resalta que este procedimiento de limpieza se debe realizar cuando hay una pérdida del 10% en el caudal permeado normalizado, cuando hay un incremento del 10% en la presión diferencial o hay una disminución en el rechazo de sal. En cuanto al impacto medioambiental que tienen las plantas de OI, (Biblioteca del Congreso Nacional, 2017) describe que, durante el pretratamiento y post tratamiento, se suelen utilizar productos químicos como biocidas, detergentes y anti incrustantes, estos, al ser extraídos antes de entrar a las membranas y al ser suministrados en bajas cantidades se reduce un posible impacto. No obstante, por otro lado, las plantas OI vierten salmueras con mayor concentración de sales y temperaturas que llegan a ser 1°C superiores al agua circundante. Modelo HDH (Humidificación- Deshumidificación)

Según (Prakash Narayan et al., 2010) este sistema, haciendo referencia a su nombre consta de un humidificador, un deshumidificador y un calentador. El proceso consiste en que el

<sup>10</sup> Karaghoulí, A., & Kazmerski, L. (2011). Renewable Energy Opportunities in Water Desalination. Desalination, Trends and Technologies. <https://doi.org/10.5772/14779>

aire se humidifica mediante el contacto directo con agua salada. En el deshumidificador, el aire húmedo caliente se pone en contacto indirecto con agua salada fría. Esto hace que el vapor de agua se condense, lo que produce una corriente de agua dulce. Kabeel et Al. (2013) indica que el porcentaje de agua destilada recuperada se encuentra en un rango entre 5% y 20%

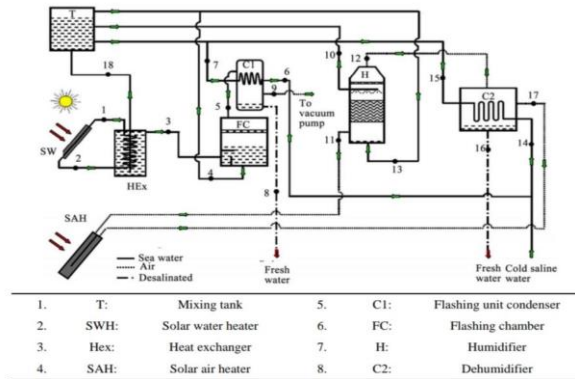


Figura 5 Modelo HDH. Fuente: (Kabeel et al., 2013)

Este proceso, según (Karaghoulí & Kazmerski, 2011) tiene dos configuraciones, ciclo de agua abierto, y ciclo de aire cerrado, en el primero, el agua de mar ingresa al sistema, se calienta en el colector solar y luego se rocía al aire en el evaporador. El aire humidificado circula en el sistema y cuando llega al condensador, una cierta cantidad de vapor de agua comienza a condensarse. En el segundo ciclo, a medida que el aire pasa por el evaporador, se humidifica. Y al pasar por el condensador, se extrae el vapor de agua, de este resalta el sistema para reciclar salmuera y asegurar una mayor cantidad de agua salada para convertirla en agua dulce.

(Pourafshar et al., 2020)<sup>11</sup> señala que un sistema de humidificación-deshumidificación con una evaporación de agua en el humidificador de 4,48 kg (1.06kg/h/ m<sup>2</sup> de superficie del humidificador), un caudal de agua de 0.15 kg/s y una temperatura de condensación de 20° C, consume aproximadamente entre 0,22 - 0,53 KWh/kg/h, se alcanza además un rango de 260-370 KWh/m<sup>3</sup> en un sistema HDH con bomba de calor. Según (McGovern, 2012)<sup>12</sup> estas plantas suelen tener una capacidad de 1000 m<sup>3</sup>/día. Si bien este sistema permite desalinizar unos niveles óptimos de agua de mar, los niveles de tecnología actuales de este proceso encuentran un uso limitado y aún no son comercialmente viables a escala mundial para una implementación generalizada.

<sup>11</sup> Pourafshar, S. T., Jafarinaemi, K., & Mortezaipoor, H. (2020). Development of a photovoltaic-thermal solar humidifier for the humidification-dehumidification desalination system coupled with heat pump. *Solar Energy*, 205(May), 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.045>

<sup>12</sup> McGovern, R. K. (2012). Saturation Curve Analysis of Humidification-Dehumidification Desalination, 1–105.

## Anexo 2 Sistema fotovoltaico

La energía solar fotovoltaica tuvo sus primeros avances en 1839 con el descubrimiento del efecto fotoeléctrico por parte del físico francés Alexandre Bequerel. Sin embargo, el avance más significativo se lograría en 1954 cuando los laboratorios Bell desarrollaron la primera célula fotovoltaica de Silicio cristalino, la cual aprovechaba el 6% de la energía que recibía del sol (Velasco Muñoz & Calvache, 2019)<sup>13</sup>.

La energía solar es una energía renovable que se obtiene de la radiación electromagnética que llega a la tierra en forma de luz, calor y rayos ultravioletas, luego de un proceso de fusión nuclear que ocurre en el sol. Según Serway (2005) “cada segundo 1.340 julios de radiación electromagnética del sol, pasan perpendicularmente a través de un 1 m<sup>2</sup> en la parte superior de la atmósfera terrestre”, de esta forma, la energía solar representa la mayor cantidad de energía disponible en el planeta (Velasco Muñoz & Calvache, 2019).

Los paneles se colocan en serie para conseguir un voltaje adecuado a la aplicación eléctrica en cuestión o demandada; entonces los paneles capturan la energía solar transformándola directamente en eléctrica en forma de corriente continua, que se almacena en acumuladores, para que pueda ser utilizada fuera de las horas de luz. Los módulos fotovoltaicos admiten tanta radiación directa como difusa, pudiendo generar energía eléctrica incluso en días nublados (Gómez Ramírez et al., 2017)<sup>14</sup>.

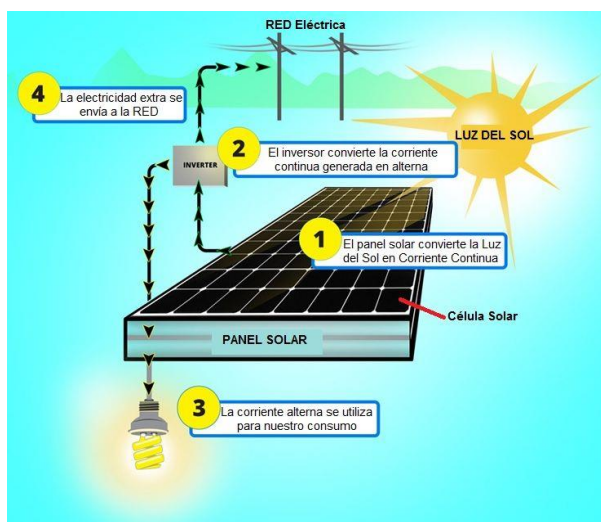


Figura 6 Panel solar funcionamiento. Fuente: (AreaTecnologia, 2018)

Esta tecnología genera una corriente continua por medio de semiconductores cuando estos son iluminados por un haz de fotones. Mientras la radiación solar incide directamente sobre una célula puesta en un panel solar, un movimiento canalizado de electrones genera una corriente eléctrica. Cada célula puede producir entre 1 y 2 vatios. El sistema generador de energía solar fotovoltaica está compuesto por paneles solares, controladores, baterías e inversores de corriente (Patiño Abella et al., 2009)<sup>15</sup>.

<sup>13</sup> Velasco Muñoz, Á., & Calvache, Ó. S. (2019). Evolución De La Generación De Energía Solar Fotovoltaica En Colombia. Repositorio Institucional USC, 1–16. Recuperado de <https://repository.usc.edu.co/handle/20.500.12421/2781>

<sup>14</sup> Gómez, C. O. (2018). Desalinización De Agua Para Aplicaciones De Potabilización Mediante El Desarrollo De Tecnología Solar Sustentable, 12–50.

<sup>15</sup> Patiño Abella, J. S., Tello Reyes, J. S., & Hernández Mora, J. A. (2009). Desarrollo de un regulador de carga para sistemas fotovoltaicos aplicando instrumentación virtual. Ingeniería (Bogotá), 14(2), 13–18. <https://doi.org/10.14483/23448393.2375>

### CONEXIÓN DEL INVERSOR A LA BATERÍA

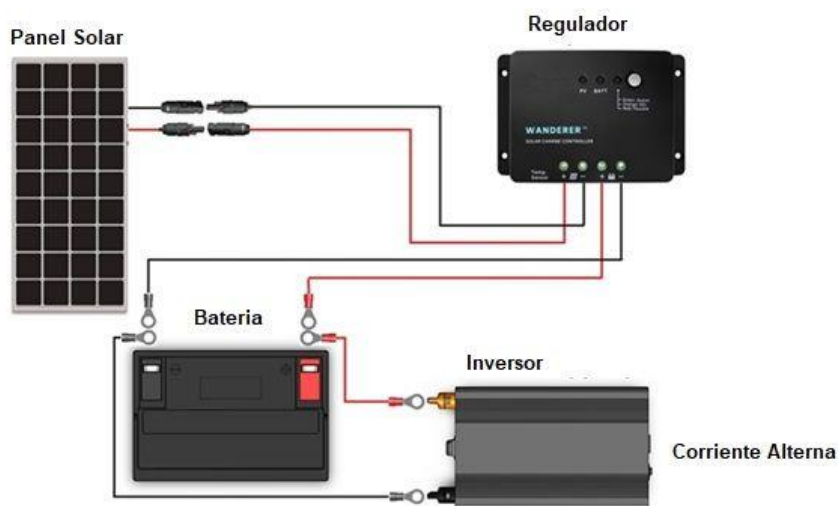


Figura 7 Elementos para el funcionamiento de la energía fotovoltaica. Fuente: (AreaTecnologica, 2018)

**Panel solar:** un panel solar es un dispositivo que directamente convierte luz en energía eléctrica basado en el efecto fotovoltaico, se producen con silicio y consiste en una unión PN, dos electrodos, una red conductiva y un revestimiento anti-reflexión. Pueden ser Mono cristalinos, los cuales cuentan con silicio fundido en forma de lingotes, llegan a tener una eficiencia de hasta 17% aunque su proceso de producción es más costoso; poli cristalinos, hechos con silicio fundido en forma de cuadros, alcanzan una eficiencia de hasta el 13% y tienen una mayor capacidad para absorber radiación en climas cálidos (Patiño Abella et al., 2009).

**Controladores:** los controladores, son dispositivos que realizan una supervisión del estado de carga de la batería mediante una captura constante del voltaje presente en los bornes de esta misma. Cuando se detecta un voltaje de descarga, el regulador desconecta las cargas para que la energía que llega a los paneles solares pueda recargar la batería. De igual manera, cuando se detecta un voltaje superior al fijado en las baterías, el regulador desconecta automáticamente los paneles. Hay dos clases de reguladores, tipo PWM, los cuales soportan cargas menores a 200W y tipo MPPT, que soportan cargas mayores a 200W (Gómez Ramírez et al., 2017)<sup>16</sup>.

**Baterías:** las baterías, se utilizan como un elemento de almacenamiento energético dentro de un sistema autónomo fotovoltaico, se suelen utilizar dos tipos de baterías, las de plomo ácido y las de Níquel – cadmio (Velasco Muñoz & Calvache, 2019).

**Inversor:** el inversor es un elemento que convierte la corriente continua que recibe de los paneles solares en corriente alterna de forma constante (Patiño Abella et al., 2009).

Colombia es uno de los países en el mundo que cuenta con una alta capacidad de producción de energía fotovoltaica debido a que la irradiación en regiones como la Pacífica o la Atlántica supera el promedio a nivel mundial. En la zona de la Guajira energía solar

<sup>16</sup> Gómez Ramírez, J., Murcia, J. D., & Cabeza Rojas, I. (2017). La Energía Solar Fotovoltaica en Colombia: Potenciales, Antecedentes y Perspectivas. Universidad Santo Tomás, 1–19. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/10312#.Xpdrv3oYcAI.mendeley>

produce niveles de entre 1200 y 2200 kWh/m<sup>2</sup>/año (Gómez Ramírez et al., 2017). La energía solar fotovoltaica tuvo sus inicios en el país a inicios de la década de los 80 con el programa de telecomunicaciones rurales de Telecom, en este se instalaban generadores fotovoltaicos de 60 Wp para radioteléfonos rurales (Rodríguez Murcia, 2008)<sup>17</sup>.

La inversión de energía es uno de los más grandes problemas en el sector rural donde los altos costos de producción especialmente por los costos y consumo de los combustibles fósiles ha ocasionado que en muchos lugares remotos donde hay lugares con oportunidad de producción y almacenamiento de energía idónea por sus condiciones ambientales (Rodríguez Murcia, 2008).

Las celdas fotovoltaicas son dispositivos de metal fotosensibles, que al momento de entrar en contacto con los rayos del sol desprenden electrones generando así la energía eléctrica. Cada una de estas celdas puede generar entre 2 a 4 amperios con un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios. Con este procedimiento los paneles solares toman la energía solar para convertirla en energía eléctrica de manera continua, que puede ser almacenada. Para asegurar el funcionamiento en los días incluso nublados, esta tecnología está diseñada para la recepción de radiación directa y difusa (Serway & Jewett, 2008)<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> Rodríguez Murcia, H. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingeniería*, (28), 83–89. <https://doi.org/10.16924/revinge.28.11>

<sup>18</sup> Serway, R., & Jewett, J. (2008). *Física para ciencias e ingeniería* Vol. 1. Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.

## Anexo 3 Membrana



Product Data Sheet

### **DOW FILMTEC™ SW30HRLE-440i Element**

High Rejection, Seawater Reverse Osmosis Element with *iLEC*™ Interlocking Endcaps

#### **Description**

Dow Water & Process Solutions offers various premium seawater reverse osmosis (RO) elements designed to help reduce capital and operation cost of desalination systems. DOW FILMTEC™ Elements combine excellent membrane quality with automated precision fabrication, taking system performance to exceptional levels.

DOW FILMTEC™ SW30HRLE-440i Elements offer sustainable lower lifecycle cost for medium- and high-salinity feedwater by combining high rejection and low energy performance with the highest active area and a thick feed spacer. Benefits of the DOW FILMTEC SW30HRLE-440i element include:

- Helps systems to be designed and operated to either lower operating cost through reduced energy consumption, or to decrease capital cost through higher productivity at lower operating fluxes.
- High NaCl and boron rejection to help meet World Health Organization (WHO) and other drinking water standards.
- Very high guaranteed active area of 440 ft<sup>2</sup> (41 m<sup>2</sup>) permits lower system cost by maximizing productivity and facilitating accurate and predictable system design and operating flux.
- The combination of very high active area with a thick feed spacer (28 mil) allows low cleaning frequency and high cleaning efficiency.
- Utilization of the distinct *iLEC*™ Interlocking Endcaps that help reduce system operating costs and the risk of O-ring leaks that can cause poor water quality (see Form No. 609-00446 for information on cost-saving benefits).
- Sustainable high performance over the operating lifetime of the element, because oxidative treatments are not used in membrane production. This is one reason DOW FILMTEC elements are more durable and may be cleaned more effectively over a wider pH range (1 – 13) than most other RO elements, which use oxidative treatments.
- Effective use in permeate staged seawater desalination systems without impairing the performance of the downstream stage.

#### **Product Type**

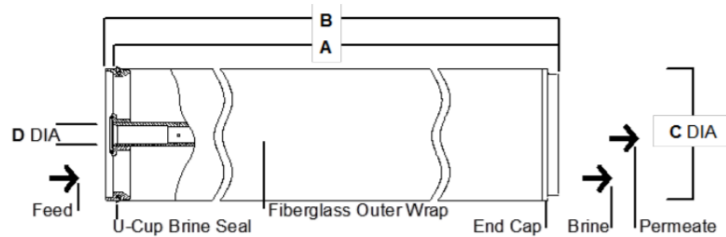
Spiral-wound element with polyamide thin-film composite membrane

## Product Specifications

DOW FILMTEC™ Element	Active Area		Feed Spacer	Permeate Flow Rate		Stabilized Boron	Stabilized Salt
	(ft <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	Thickness (mil)	(GPD)	(m <sup>3</sup> /d)	Rejection (%)	Rejection (%)
SW30HRLE-440i	440	41	28	8,000	30.2	92	99.80

- The above values are normalized to the following conditions: 32,000 ppm NaCl, 5 ppm boron, 800 psi (5.5 MPa), 77°F (25°C), pH 8, 8% recovery.
- Permeate flows for individual elements may vary ± 15%.
- Minimum Salt Rejection is 99.65%.
- Stabilized salt rejection is generally achieved within 24 – 48 hours of continuous use; depending upon feedwater characteristics and operating conditions.
- Product specifications may vary slightly as improvements are implemented.
- Active area guaranteed ± 5%. Active area as stated by Dow Water & Process Solutions is not comparable to the nominal membrane area figure often stated by some element suppliers. Measurement method described in Form No. 609-00434.

## Element Dimensions



DOW FILMTEC™ Element	A		B		C		D	
	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)	(in.)	(mm)
SW30HRLE-440i	40.0	1,016	40.5	1,029	7.9	201	1.125 ID	29 ID

- Refer to Dow Water & Process Solutions Design Guidelines for multiple-element applications. 1 inch = 25.4 mm
- Element to fit nominal 8-inch (203-mm) I.D. pressure vessel.
- Individual elements with *ILEC*™ Interlocking Endcaps measure 40.5 inches (1,029 mm) in length (B). The net length (A) of the elements when connected is 40.0 inches (1,016 mm).

## Operating and Cleaning Limits

Maximum Operating Temperature <sup>a</sup>	113°F (45°C)
Maximum Operating Pressure	1,200 psig (83 bar)
Maximum Element Pressure Drop	15 psig (1.0 bar)
pH Range, Continuous Operation <sup>a</sup>	2 – 11
pH Range, Short-Term Cleaning (30 min.) <sup>b</sup>	1 – 13
Maximum Feed Silt Density Index (SDI)	SDI 5
Free Chlorine Tolerance <sup>c</sup>	< 0.1 ppm

<sup>a</sup> Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).

<sup>b</sup> Refer to guidelines in "[Cleaning Procedures](#)" for more information.

<sup>c</sup> Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, Dow Water & Process Solutions recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to technical bulletin "[Dechlorinating Feedwater](#)" for more information.

### Anexo 4 Matriz Conesa

MEDIO		ABIÓTICO			BIÓTICO				SOCIOECONÓMICO												
ELEMENTO		SUELOS	PAISAJE	AGUA	FLORA		FAUNA		DIMENSIÓN DEMOGRÁFICA	DIMENSIÓN ESPACIAL	DIMENSIÓN ECONÓMICA			DIMENSIÓN CULTURAL							
IMPACTO		Cambios en el uso del suelo	Cambios en las propiedades fisicoquímicas del suelo (Regenerar)	Modificación del paisaje	Insumos hídricos constantes para riego	Cambios en la composición y estructura de la cobertura vegetal	Variación en ecosistemas naturales	Abastecimiento de alimentos para consumo animal	Modificación del hábitat de la fauna terrestre	Cambio en la dinámica y estructura poblacional	Cambio en la oferta y demanda de servicios sociales y ambientales	Cambio en el valor y uso actual del suelo	Cambio en las actividades productivas económicas tradicionales	Generación de empleo	Cambio en hábitos alimenticios	Cambio en las prácticas socioculturales tradicionales	Generación de proyectos sociales				
PRE-OPERATIVA	Gestión social	Información y comunicación	Exposición de objetivos y alcance del proyecto	N						-1		1					1				
				A																	
				I								2		2						4	
				E								2		2						5	
				X																	
				M								8		4						3	
				O																	
				P								4		3							2
				E																	
				R								4		3							2
				V																	
				S								2		2							2
A								1		1							4				
C																					
E								2		4							2				
T																					
P								4		4							2				
R																					
M								8		4							2				
C																					
V								0		-43	0	35	0	0	0	0	41				



									1	1		1	1	1	-1	
									6	4		6	6	8	4	
									12	12		8	6	8	7	
									2	4		6	6	8	6	
									4	4		2	4	4	4	
									3	3		3	2	3	3	
									2	2		2	3	2	2	
									2	2		3	3	2	2	
									3	3		2	4	4	3	
									4	4		4	3	3	3	
									1	1		3	2	3	2	
	0	0	0	0	0	0	0	0	63	59	0	59	57	69	-51	0
									1	1		1	1	1	-1	
									5	3		5	5	8	3	
									12	12		8	6	8	8	
									2	4		6	6	8	6	
									4	4		2	4	4	4	
									3	3		3	2	3	4	
									2	2		2	3	2	2	
									2	2		3	3	2	2	
									3	3		2	4	4	3	
									3	3		3	2	2	2	
									1	1		3	2	3	2	

Educación y capacitación al personal	V	0	0	0	0	0	0	0	0	59	55	0	55	53	68	-50	0	
	N								1	1	1		1	1		-1	1	
	I								5	3	5		6	11		3	12	
	E								8	12	6		5	8		7	12	
	M								6	4	6		5	6		6	4	
	O																	
	P								2	4	4		3	3		4	6	
	R																	
	V								3	3	2		3	2		4	3	
	S								2	2	3		1	4		2	2	
	A								3	2	3		2	3		2	2	
	C																	
	F								2	3	4		2	3		3	3	
P								3	3	2		3	3		2	2		
R																		
M								3	1	2		4	2		2	1		
C																		
V	0	0	0	0	0	0	0	55	55	53	0	51	75	0	-48	83		
Negociación de tierras y servicios	N									1		1						
	A																	
	I									6		5						
	E									2		4						
	X																	
	M									3		2						
	O																	
	P									3		4						
	R																	
	V									2		4						
S									3		2							
A									3		1							
C																		
F									2		4							
P									1		4							
R																		

<b>OPERATIVA</b>	<b>Instalación de planta desalinizadora</b>	Montaje de equipos e instalación de paneles	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4		8											
				V	0	0	0	0	0	0	0	0	43	0	52	0	0	0	0	0	0	0				
				Movilización de personal, equipos y materiales	Demanda de mano de obra, servicios e insumos de terceros	N	A										1	1		1	1	1	-1	1		
							I												4	3		5	9	4	2	7
							E												2	2		2	4	3	3	7
							M												2	4		2	4	2	1	2
							P												3	2		3	3	2	2	4
							R												3	2		3	2	3	3	4
							V												4	2		3	2	1	3	3
							S												3	2		3	3	1	2	2
							F												2	2		3	4	3	2	3
							P												3	1		3	4	2	3	4
							M												6	4		4	4	2	4	1
							V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	32	0	43	61	34	-32	58
				Movilización de personal, equipos y materiales	Demanda de mano de obra, servicios e insumos de terceros	N	A			-1							1	1		1	1	1		1		
							I			3									6	6		5	11	4		3
							E			2									4	3		2	8	5		5
							M			2									2	2		2	6	3		2
							P			2									1	3		1	3	2		3
							R			2									1	2		1	2	3		3
V			2												1	2		1	2	3		3				
S			1												3	3		2	2	3		4				
Movilización de personal, equipos y materiales	Demanda de mano de obra, servicios e insumos de terceros	A	C			3							2	3		2	3	2		3						
			F			3									1	1		2	4	2		1				

P R R			1						3	2		2	3	1		1		
	M C		4						4	2		4	5	4		2		
	V	0	0	-31	0	0	0	0	43	42	0	35	77	42	0	38		
	M o n t a j e d e e q u i p o s e i n f r a e s t r u c t u r a	N A	1		-1		-1		-1	1	1	1		1		1	1	
		I	8		4		9		8	3	5	9		10		8	4	
		E X	1		2		3		2	2	1	4		4		6	3	
		M O	4		5		3		2	2	4	5		4		2	2	
		P E	4		3		3		3	3	2	4		2		2	2	
		R V	4		2		2		3	3	2	3		3		2	2	
		S I	2		2		2		2	4	3	2		2		2	1	
		A C	3		3		2		3	3	3	4		2		3	4	
		E F	4		4		2		2	1	2	4		4		1	2	
		P R	4		4		1		1	1	3	4		2		1	1	
		M C	8		6		5		4	3	4	8		2		2	2	
		V	59	0	-45	0	-53	0	0	-48	33	40	69	0	59	0	51	34
		R e t i r o d e l a c a p a v e g e t a l	N A	-1	1	-1		-1	-1	-1			1					
	I		10	8	5		11	8	6			10						
	E X		8	10	8		10	4	4			8						
	M O		4	3	3		8	7	1			4						
	P E		4	2	2		4	3	3			4						
R V	3		2	2		3	3	2			3							
S I	2		3	3		2	2	2			3							
A C	1	3	3		2	3	2			2								

Movimiento de tierras	EF	4	2	3		4	3		2			3					
	PR	4	2	3		4	3		1			1					
	MC	6	5	5		5	4		4			6					
	V	-74	66	-55	0	-85	-60	0	-43	0	0	72	0	0	0	0	0
	NA	1	-1	-1		-1	-1		1			1		1			
	I	7	12	11		8	7		5			5		6			
	EX	10	8	8		7	7		4			3		2			
	MO	4	5	5		4	2		3			3		4			
	PE	4	4	3		4	3		3			4		1			
	RV	4	3	4		3	3		2			3		1			
	SI	2	2	3		2	4		2			3		1			
	ACC	1	4	2		4	3		2			1		2			
	EF	3	4	3		3	2		2			3		3			
PR	1	1	1		1	2		1			1		3				
MC	6	5	8		7	7		5			6		3				
V	66	-80	-78	0	-66	-61	0	43	0	0	45	0	40	0	0	0	
Disposición de residuos sólidos	NA		1	-1		1				1					1		
	I		3	4		6				4					6		
	EX		2	1		2				3					4		
	MO		3	4		1				2					2		
	PE		2	3		3				3					4		
	RV		2	2		3				2					3		
SI		2	1		2					3				2			

<b>POST - OPERATIVA</b>																
<b>Desmantelamiento</b>																
Retiro, cambio o mantenimiento de estructura																
Demanda de mano de obra y servicios de terceros																
AC		3	2		3					4					3	
EF		1	3		2					1					4	
PR		2	2		2					2					3	
MC		6	4		4					5					4	
V	0	34	-35	0	42	0	0	0	0	40	0	0	0	0	51	0
NA									1	1			1	1	1	1
I									4	3			9	4	7	6
EX									2	2			4	2	4	7
MO									2	4			3	3	2	2
PE									3	2			4	3	3	3
RV									3	2			3	3	3	4
SI									4	3			3	3	4	3
AC									3	2			4	2	2	2
EF									2	3			3	1	2	3
PR									3	1			4	3	3	4
MC									4	4			4	2	3	1
V	0	0	0	0	0	0	0	0	40	34	0	0	63	36	51	54
NA				-1					-1				1			1
I				4					3				4			5
EX				2					2				1			4
MO				6					3				7			2
PE				1					1				3			2
RV				1					1				2			1

Restauración ambiental Recuperación de áreas	Disposición de residuos sólidos	SI				2				3				2			4	
		AC				3				2				2			3	
		EF				2				1				4			3	
		PR				2				1				2			1	
		MC				4				4				1			3	
		V	0	0	0	-37	0	0	0	0	-29	0	0	0	37	0	0	42
		NA			-1				1		1			1		1		
		I			10				9		3			3		5		
		EX			2				2		3			1		3		
		MO			3				3		3			1		2		
	PE			3				3		2			3		3			
	RV			2				2		2			1		2			
	SI			1				2		2			3		2			
	AC			3				1		3			2		3			
	EF			3				3		2			3		3			
	PR			2				2		2			2		2			
	MC			4				4		5			2		4			
	V	0	0	-55	0	0	0	0	51	0	36	0	0	28	0	42	0	
	NA	1	1	1	1	-1	1	1	1		1			1			1	
	I	5	7	8	8	8	7	6	7		5			4			5	
EX	2	4	5	4	3	4	2	8		3			2			2		
MO	2	2	1	2	2	1	2	3		3			4			3		
PE	3	3	3	2	3	2	2	3		1			1			2		

Manejo de las Terminación de	Revegetación de áreas intervenidas	R	3	2	3	3	3	2	2	3		1			2			2
		V	3	3	2	1	2	4	3	3		2			1			3
		A	2	3	3	1	2	3	1	2		3			2			4
		C	4	3	3	3	4	2	3	3		2			3			2
		E	4	4	3	2	2	1	2	3		1			1			2
		F	2	4	2	4	5	5	4	2		5			4			4
		P	42	53	54	50	-53	49	41	59	0	39	0	0	34	0	0	41
	M	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	
	C	8	12	10	8	11		4	9	8	8	9		6	5	8	9	
	X	4	8	10	3	12		6	6	2	3	4		4	2	6	6	
	M	3	2	4	2	2		2	1	2	3	4		4	1	2	2	
	O	3	3	4	4	3		2	3	2	3	4		2	2	3	4	
	P	2	3	2	2	3		1	2	2	1	3		1	2	2	2	
	R	2	4	4	3	3		2	3	3	4	3		1	2	2	2	
	V	2	3	2	3	3		2	3	3	2	2		1	1	3	3	
	S	4	3	4	1	4		1	3	1	2	4		2	1	2	3	
	I	4	2	4	1	4		1	2	1	1	4		2	1	4	4	
	E	4	5	4	4	4		2	2	4	2	2		4	4	4	2	
	X	56	77	78	50	83	0	37	58	46	48	61	0	43	33	58	61	
	M									1	1		1	-1	-1	1	1	
O									7	6		6	12	7	8	6		
									4	4		3	12	8	7	8		
									2	2		2	7	5	2	2		



									3	2		2	3	2	2	3
									3	2		2	3	1	2	2
									3	3		2	1	4	3	3
									4	3		3	2	2	3	3
									2	2		3	4	3	2	3
									3	1		1	4	4	3	1
									4	4		2	7	4	5	3
									53	45	0	41	-91	-62	60	54
<b>VALOR FINAL DEL IMPACTO</b>	29.8	30	-20.875	21	-22	49	39	20	33.18181818	43.58333333	55.66666667	47.33333333	41.23076923	31.42857143	13.2	50.6

