



Universidad del Desarrollo
Facultad de Ingeniería

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR PARA PROCESOS INDUSTRIALES

AGUSTIN IGNACIO HINRICHSSEN ESCANDON

PROFESOR GUÍA: DIEGO RIVERA SALAZAR, PHD

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO A LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA
UNIVERSIDAD DEL DESARROLLO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE
MAGÍSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

Concepción – CHILE
2023



Universidad del Desarrollo
Facultad de Ingeniería

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR PARA PROCESOS INDUSTRIALES

AGUSTIN IGNACIO HINRICHSEN ESCANDON

Proyecto de Grado presentado a la Comisión integrada por los profesores:

PROFESORES GUIA: Diego Rivera Salazar, Phd

PROFESOR INTEGRANTE 1: Lorenzo Reyes-Bozo, PhD

PROFESOR INTEGRANTE 2: Jose Luis Salazar Navarrete, Phd

Para completar las exigencias del Grado de Magíster en Ingeniería Industrial y de
Sistemas.

Diciembre, 2023

Concepción, Chile

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Por medio de la presente, declaro que el trabajo titulado: **PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR PARA PROCESOS INDUSTRIALES**, que presento a la Universidad del Desarrollo de Chile, es de mi autoría (o co-autoría) y no ha sido publicado previamente, ni está siendo considerado para publicación bajo otra filiación. En igual sentido, declaro que el trabajo de tesis y su contenido, son originales y que todos los datos y referencias a trabajos ya publicados con anterioridad han sido debidamente identificados, referenciados o citados en el documento, y que estas citas han sido incluidas en las referencias bibliográficas. Afirmo, asimismo, que los materiales presentados no se encuentran protegidos por derechos de autor; y en caso de que así lo estuvieran, me hago responsable de cualquier litigio o reclamo relacionado con la violación de derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad a la Universidad del Desarrollo de Chile.

Finalmente, me comprometo a no someter este trabajo (o parte de este), a consideración en ninguna revista o congreso para publicación sin contar con la aprobación y haber pasado el debido proceso de revisión en Universidad del Desarrollo. En caso de que un artículo sea aprobado para su publicación, autorizo a la Universidad del Desarrollo a incluir dicho artículo en sus revistas, y a reproducirlo, editarlo, distribuirlo, exhibirlo y comunicarlo en el país y en el extranjero, por medios impresos, electrónicos, Internet o cualquier otro medio, para propósitos científicos y sin fines de lucro.



AGUSTIN IGNACIO HINRICHSEN
ESCANDON
Firma

*A mi familia, por todas las tardes y fines de semana
Dedicadas al programa y a este proyecto,
por confiar irrestrictamente en mí
Y a enseñarme que todo lo que me proponga,
lo puedo cumplir, solo depende de mí*

AGRADECIMIENTOS

Para comenzar, agradecer a mis profesores a lo largo de mi vida como estudiante, desde el colegio en el cual estuve por 12 años, llevándome muy buenos recuerdos de grandes profesores y personas que pasaron por el mismo, los cuales pasan a ser parte del día a día en el camino del colegio, pasas más tiempo viendo a tus profesores que despierto en la casa con papá y mamá, por lo que estos junto a los padres te enseñan y guían para ser primero, una gran persona y luego un buen estudiante, creo que en el primer punto aportaron bastante durante mi crecimiento personal, en lo segundo, podría tener mis dudas, pero no por parte de ellos, sino por parte del estudiante en cuestionamiento, muchas gracias por dedicar parte de su tiempo en enseñar de la forma que lo hicieron conmigo y con muchos más.

Luego llegaron los profesores de la U, los cuales se encontraron con un Agustín más grande en edad pero siempre con sus bromas y risas con los compañeros, tuvieron que lidiar conmigo en clases que tal vez no era lo más fácil, pero siempre se dieron el tiempo de explicar cuando uno no entendía por completo la materia, siempre con una gran disposición a responder algunas preguntas fuera del horario de clases y intentado que sus alumnos aprendieran de la mejor forma y quedara todo lo más claro posible. Muchas gracias por formarme como profesional, con el conocimiento más técnico y con las habilidades blandas necesarias para el desafío que es lidiar con personas que uno no conoce en el trabajo.

A mis profesores del MIIS, programa el cual me completa como profesional, gracias por su dedicación y ganas de enseñar a personas que muchas veces como me pasó a mí, olvidamos lo que significa volver a estudiar y ustedes se encargan de ayudar en todo este proceso para que todo sea más fácil de una u otra forma.

A mi familia, mi señora y mi hijo, que sin duda son el pilar fundamental en el día a día, los que dejaron de hacer muchas cosas para que el papá estudiara y sea un profesional más completo y con mayor conocimiento, gracias por apoyar en los días buenos, pero sobre todo apoyar en los días que no son tan buenos, llegar y ver sonrisas en sus caras, mejoran el día de cualquiera, para mi hijo, que llegó a dar vueltas la cabeza de este papá chocho con su forma de ser, su sonrisa cuando ve al papá no necesita hablar para demostrar lo que siente al ver a una persona, y uno se queda corto para expresar todo el amor que puede sentir un padre hacia un hijo. A mi esposa, por apostar por mí al tomar este magíster, por creer en mí más que uno

mismo. Por ser la mejor madre para nuestro hijo, eres increíble, todo lo que haces por y para él, que muchas veces uno no entiende o le cuesta más internalizar, pero siempre con una paciencia infinita conmigo, gracias por elegirme como tu compañero de vida y como siempre te digo, que esto es hasta viejitos.

A papá y mamá, por formarme como persona, siempre buscando lo mejor para mí y mi hermano, dejando de hacer o sacrificar muchas cosas para poder educarnos de la mejor forma, tanto en colegio como universidad. En la vida uno tiene personas a las cuales admira y ellos son dos personas que admiro y que me gustaría llegar a estar a su altura algún día. Como padre en primer lugar y luego como persona, siempre dando lo mejor de ustedes con el resto, sin buscar algo en retribución. Junto a ellos está mi hermano, al cual le agradezco la paciencia durante toda nuestra infancia y adolescencia que me soportó durante tantos años compartiendo pieza, llegando tarde de los carretes haciendo ruido, despertándolo y a pesar del enojo momentáneo siempre al día siguiente venían las historias de las fiestas y risas de ellas. Te agradezco por ser un gran hermano un referente durante toda la infancia y adolescencia.

Para finalizar, agradecer a la última pieza clave para hoy ser quien soy, mi tata, un tremendo profesional que dedicó toda su vida a enseñar a otros y por otra parte, mal enseñar a sus nietos, en esto siempre fuiste un experto, sin importar lo que dijeran los padres, siempre fuiste contra la corriente en muchas cosas, nos hacías regalos solo para ver a unos niños felices y emocionados con sus regalos, fuera cual fuera, me enseñaste a viajar y junto con esto, a aprender en cada uno de los viajes, dedicaste muchos veranos a organizar vacaciones con mi hermano y conmigo, nos llevabas a algún lugar que se te ocurría a última hora o te dejabas llevar por las ideas que te dábamos nosotros, pero siempre con la respuesta que todos buscan al pedir algo, un gran SI. Sin duda, los recuerdos que tenemos son imborrables y tenemos una gran cantidad de historias para recordar entre risas.

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR PARA PROCESOS INDUSTRIALES

AGUSTIN IGNACIO HINRICHSEN ESCANDON

Bajo la supervisión del Profesor Diego Rivera Salazar, PhD, en la Universidad del Desarrollo de Chile

Resumen

Este trabajo presenta una alternativa para la mejora en la gestión de recursos hídricos en industrias de la ciudad de Arica. El objetivo de esta investigación es proponer la implementación de una planta desalinizadora de osmosis inversa para aumentar el volumen de agua desalada para actividades industriales. Para lograrlo se propone una aproximación cuantitativa, la cual se basa en una evaluación técnica y viabilidad económica para la instalación de una planta desaladora que supla los requerimientos a dos empresas, junto a un estudio de impacto de disponibilidad de agua para el uso domiciliario. La implementación de la planta desaladora de 1.000 m³/día, eficiencia entre un 45 y 50%, consumo de energía de 3,03kWh/m³, genera un impacto positivo tanto para las industrias en estudio, gracias a la estabilidad del suministro y continuidad operacional, como para la liberación de este recurso para usos residenciales continuando con la estrategia de sostenibilidad de la empresa en estudio. En síntesis, la alternativa propuesta resulta factible y atractiva tanto para el sector industrial como para la comunidad de Arica dado el aumento en la disponibilidad de agua potable para el uso doméstico.

Palabras Clave: Recursos hídricos; Actividades industriales; Agua desalada; Osmosis inversa; Continuidad operacional.

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR PARA PROCESOS INDUSTRIALES

AGUSTIN IGNACIO HINRICHSSEN ESCANDON

- Propone implementar planta desalinizadora para la comunidad industrial
- Aproxima cuantitativamente una evaluación técnica y económica
- Considera requerimientos de dos empresas, junto al impacto en su entorno
- Impacta positivamente, logra estabilidad del suministro y continuidad operacional
- Aumenta la disponibilidad de agua potable para uso doméstico

ÍNDICE GENERAL

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN	9
1.1	CRISIS HÍDRICA Y SU EFECTO EN LA INDUSTRIA	10
1.2	BREVE DISCUSIÓN DE LA LITERATURA	10
1.3	CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO	13
1.4	OBJETIVO GENERAL	14
1.4.1	<i>Objetivos específicos</i>	14
1.5	PROPUESTA METODOLÓGICA	14
1.6	ORGANIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTE TRABAJO	15
2	INFORMACIÓN Y RESULTADOS.....	17
2.1	PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS.....	17
2.2	PROCESO DE RECOGIDA DE INFORMACIÓN	19
2.3	LOS DATOS RECOGIDOS:	19
2.4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	21
2.5	ANÁLISIS DE DEMANDA Y COSTO	21
2.6	ANÁLISIS TÉCNICO DE LA PROPUESTA	22
2.7	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA	22
2.8	PROYECTO DE DESALINIZACIÓN PROPUESTO.....	23
2.9	PROPUESTAS, OFERENTES, ADJUDICACIÓN Y CONTRATO.....	23
2.10	AVANCES DE LA IMPLEMENTACIÓN, NUEVOS CONTRATOS, BRECHAS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	24
3	ARTÍCULO	25
4	CONCLUSIONES GENERALES.....	36
4.1	PROPUESTA PARA TRABAJOS FUTUROS.....	38
5	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	40
6	ANEXO: REPORTE DE PLAGIO.....	42
7	ANEXOS: INFORMACIÓN RECOPIADA PARA ESTUDIO	43
8	ANEXO: AUTORIZACIÓN USO DE INFORMACIÓN	48

1 INTRODUCCIÓN

La crisis hídrica se manifiesta como una realidad ineludible, imponiendo a las empresas la necesidad imperativa de adaptarse a un suministro de agua acotado y restringido, especialmente durante ciertos meses del año. En este contexto, se torna esencial explorar y analizar alternativas que permitan incrementar la disponibilidad de agua destinada a los procesos productivos en la región. La supervivencia y el desarrollo de la industria en Arica y Parinacota están directamente vinculados a la capacidad de gestionar eficazmente este recurso escaso.

La escasez de agua no solo afecta la viabilidad operativa de las empresas, sino que también plantea desafíos significativos para el desarrollo sostenible de la región en su conjunto. La disponibilidad de agua no solo influye en la producción industrial, sino que también tiene repercusiones directas en la calidad de vida de la población y en la preservación de los ecosistemas locales.

En esta perspectiva, se hace necesario indagar y proponer acciones concretas que permitan sumar disponibilidad hídrica de manera efectiva. El presente trabajo académico tiene como objetivo abordar esta problemática, identificando y analizando las estrategias clave que podrían contribuir a garantizar un suministro adecuado de agua para las actividades industriales en la región de Arica y Parinacota.

A través de un análisis profundo de la situación actual de una empresa regional, así como de la revisión de alternativas y experiencias exitosas en otras regiones del mundo y en Chile, se busca aportar conocimiento valioso que pueda guiar la toma de decisiones y la implementación de medidas concretas. La contribución de este trabajo se centra en proporcionar dentro de un análisis cuantitativo, las acciones necesarias para superar los desafíos hídricos en la industria de la región, considerando factores climáticos, geográficos, económicos y tecnológicos.

1.1 Crisis hídrica y su efecto en la industria

Dada esta realidad, es posible efectuar el siguiente cuestionamiento de contexto: ¿Cuáles son las acciones claves para sumar disponibilidad hídrica para la industria en la región de Arica y Parinacota?

En efecto, la crisis hídrica es una realidad a la cual las empresas deben adaptarse a un suministro acotado y restringido en ciertos meses durante el año, por lo que es imperativo analizar alternativas para aumentar de alguna forma la disponibilidad de agua para los procesos productivos en la zona.

1.2 Breve discusión de la literatura

El aumento de la población ha provocado una mayor demanda de agua a nivel global, tanto para uso humano como productivo. A nivel global, alrededor del 1% está disponible para uso antrópico (Jiménez & Wainer, 2017). La oferta de agua está determinada por las diferencias geográficas, hidrogeológicas y climáticas (e.g. precipitación, temperatura, radiación solar). Frente a un escenario de creciente demanda y disminución de la oferta se configura una condición de escasez que se ha profundizado por los efectos del cambio climático (Bautista Jaramillo, 2021).

En Chile La inquietud sobre un escenario de escasez se ha debatido durante las últimas décadas, principalmente debido a la ocurrencia de la megasequía, lo que ha llevado al anuncio de diversas estrategias y medidas (Rojas & Fragkou, 2021), como por ejemplo el aumento de la eficiencia del uso y el aumento del volumen o seguridad de oferta mediante mejoras o aumento en la infraestructura. No obstante, las obras mayores están directamente relacionadas a la capacidad financiera, tanto del estado como de privados, se hace imperativo que el Estado tome participación en este tema (Mamani, 2021). El desarrollo de infraestructura es fundamental pues permite aumentar la disponibilidad de agua, calidad, cantidad, oportunidad y accesibilidad.

Desalinización de agua

La desalinización o desalación implica la eliminación de sales del agua del mar o salobre con el objetivo de obtener agua con un determinado nivel de reducción depende de la calidad objetivo del proceso. Por ejemplo, para consumo humano se requiere una alta reducción de

las sales disueltas (Ramos-Martín & León-Zerpa, 2023) Los métodos más usados son la evaporación y la desalación por membranas, junto a otros métodos menos comunes, que utilizan iones en sólidos y líquidos para la extracción de la sal (Ferrer & Riaño 2012).

Para el sistema térmico se necesita calor para provocar la evaporación del agua salada. La condensación del vapor corresponde a agua sin sales, mientras que la sobrante, llamada salmuera, se desecha. Por otro lado el sistema de membranas es un proceso por el cual el agua salada se separa en dos vertientes, una corriente de salmuera concentrada y la otra corriente de agua potable baja en concentración de sales disueltas. Algunos métodos son:

Destilación por compresión mecánica de vapor (MVC), en el cual se inserta un elemento calefactor al interior de una caldera con agua salada, una vez que se evapora el agua, se comprime el mismo para obtener agua con bajos niveles de sales.

Destilación multiefectos (MED), las plantas con este sistema se configuran con una serie de tubos verticales u horizontales, los cuales son calentados con algún tipo de líquido en su interior. Una vez calentados los tubos, se rocía agua salada, para que, al tener contacto con los tubos, se produzca la evaporación del agua, el cual fluye a través de los tubos, se condensa y se vuelve agua pura.

Osmosis inversa, que consiste en desplazar soluciones menos concentradas, por diferencia de energía potencial, hacia soluciones con mayor concentración, esto a través de una membrana semipermeable. Para este sistema, se necesita un pretratamiento, el cual consiste en pasar el agua salada a través de filtros de carbono activado y arena, hasta que pasan por las membranas de osmosis inversa, donde se regula el pH del agua y se añaden productos para evitar que la sal se deposite en las membranas. Luego el agua pasa a un tratamiento de desinfección (lámparas UV, cloración u ozonificación (Isiordia, Enríquez, & Fernández 2012).

Gestión de proyectos

Un proyecto, es la indagación de una resolución perspicaz de un problema determinado (Urbina, 2001). Donde se requiere establecer uno o varios objetivos y los posibles resultados de éstos. En un proyecto se definen etapas de forma ordenada (Estrada, 2015). A su vez, la gestión de proyectos se refiere a la administración de los recursos que se necesitan para cumplir con la planificación establecida.

La gestión de proyectos ha tomado mayor importancia en el contexto del avance sostenible y continuo en las sociedades, pues permite comparar y evaluar diversas posibilidades dentro de un escenario determinado (Reyes, 2015).

¿Cómo lo abordan en el resto del mundo?

España cuenta con un sólido sector de constructores, operadores, empresas cotizadas, diseñadores y centros de investigación, ya que cuenta con una de las mayores capacidades instaladas de plantas desaladoras del mundo con una capacidad de suministro de agua de 5 millones m³/día lo cual implica que tienen el potencial para atender a una población de 34 millones de personas. Otros países se encuentran en el Golfo Pérsico, incluido Emiratos Árabes Unidos, en especial Arabia Saudí, donde no obstante de la crisis, los proyectos de desalación en esta zona se prevé que alcancen aproximadamente la mitad a nivel mundial entre los años 2020 y 2025 (Martínez, 2020).

La capacidad instalada de producción de agua en Arabia Saudita es la más alta, alcanzando los 12 Mm³/d, lo que equivale al 9,81% de la capacidad mundial. Le siguen en orden: Emiratos Árabes Unidos, Estados Unidos de América, España y China, con porcentajes de 7,5, 4,7, 3,6 y 3,0%, respectivamente. La decisión de implementar plantas desalinizadoras se toma principalmente cuando no hay alternativas sencillas para obtener agua dulce, cuando es posible obtener energía a bajo costo y los niveles de vida son lo suficientemente altos. (Saavedra et al, 2021).

Resultados o casos de éxito en Chile

La desalinización en Chile tuvo sus inicios a finales del siglo XIX; sin embargo, ha sido en la última década cuando se ha observado un notorio aumento en la instalación de plantas desalinizadoras en el país. Donde al año 2018 las plantas en operación producen 5.868 L/s de agua desalada con una proyección de aumentar esta capacidad en un 116,5% alcanzando un total de 12.706 l/s, donde hay que tener en cuenta que la mayoría de estos proyectos son plantas desaladoras para la minería, entre ellos se encuentra Spence de propiedad de BHP Billiton con una producción de 1.000 l/s y RT Sulfuros de Codelco con una producción de 1.950 l/s (Herrera-León et al, 2019).

Cabe mencionar que hoy en día la planta de Spence está operativa.

Por otro lado, la escasez de suministro de agua dulce en una aldea costera rural en Chile impulsó la implementación de una planta piloto de desalinización mediante nanofiltración. El propósito de este estudio fue evaluar el sistema de desalinización de agua de mar y agua salobre utilizando un proceso de nanofiltración de dos etapas. El sistema logró una tasa de recuperación de permeado de 21,0 L/(m² h) y 51,3 L/(m² h) en la primera etapa a 40 bares y en la segunda etapa a 15 bares, respectivamente. Dado que la calidad del agua obtenida en la primera etapa fue satisfactoria, se combinó con agua de la segunda etapa, generando agua potable segura que cumple con los estándares locales e internacionales. En la actualidad, este sistema abastece de agua potable a una aldea costera de la región del Bio-Bio en Chile con una capacidad de 23 m³/día, además de ser compatible con fuentes de energía renovable. Ofrece la posibilidad de suministrar agua potable de alta calidad. (Vargas & Borquez 2020).

Hasta diciembre de 2022, en Chile operan 38 plantas para un caudal de 8.535 L/s. Además, existen 38 proyectos en desarrollo para 28.859 L/s. Entre las plantas actualmente en funcionamiento, la producción alcanza los 6.137 L/s, lo que representa el 71,9% del potencial o caudal de diseño. Esta producción se destina principalmente a operaciones mineras de gran escala, con 1.908 litros por segundo (22,3%) dirigidos al consumo humano, cubriendo así las necesidades de aproximadamente 700,000 habitantes, lo que equivale al 4% de la población total del país (Campero, Bennett & Arriagada 2023).

Finalmente, y habiendo revisado las principales contribuciones que aportan o han aportado a la línea de trabajo de este proyecto, es posible indicar que una oportunidad de desarrollo se encuentra en el hecho que no existe, para el caso de la industria en la región de Arica y Parinacota, información suficiente o certeza, respecto de implementación de una planta desalinizadora de agua de mar para procesos industriales. Lo que autoriza la siguiente como contribución para este proyecto de grado.

1.3 Contribución del trabajo

Habiendo examinado los fundamentos teóricos esenciales de este estudio, es relevante señalar que la motivación primordial que lo sustenta es la mejora de la eficiencia y disponibilidad operativa del recurso hídrico en entornos de escasez donde hay más de un usuario del recurso. Se propone una implementación que mejore la disponibilidad de agua

desalada dentro de una industria específica. En este sentido este trabajo contribuye a la comprensión de barreras y facilitadores estructurales que permitan el desarrollo de la comunidad industrial, en base a la disponibilidad de un recurso que en la medida del tiempo se ha convertido en un recurso escaso como lo es el agua.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, este trabajo considera los siguientes como objetivo general y objetivos específicos para este trabajo de tesis.

1.4 Objetivo general

Proponer un proyecto la implementación de una planta desalinizadora para mejorar la disponibilidad de agua desalada, buscando la estabilidad en el suministro y la eficiencia en procesos dentro de la comunidad industrial, liberando agua potable para el uso dentro de la comunidad.

1.4.1 Objetivos específicos

- Estudiar las condiciones actuales de disponibilidad de agua dentro de una empresa de procesos industriales en la región de Arica y Parinacota.
- Analizar la factibilidad de implementar una planta desaladora para uso industrial.
- Implementar una planta desalinizadora en base al análisis de la información recopilada.

1.5 Propuesta metodológica

Paradigma y diseño: La investigación propone la utilización de una metodología cuantitativa. Enrique & Barrio Fraile (2018), sostiene que una forma científica y rigurosa de verificar un fenómeno es mediante variables que puedan ser medidas y cuantificadas. Este trabajo se basa en un enfoque técnica y económica para la instalación de una planta desaladora en la ciudad de Arica.

Datos del estudio: Se dispuso de los datos de la propuesta licitada, y de la ingeniería conceptual, para la estimación y evaluación de la ingeniería básica y de detalles hasta la implementación, y con ello licitar la implementación de la planta.

Entorno: El proyecto se desarrolla en la ciudad de Arica, en una empresa chilena, la cual se dedica a la producción de concentrado de Omega-3 de alta calidad el cual es generado desde el aceite de pescado. El 100% de su producción se exporta, principalmente a Estados Unidos y la UE. La cual tiene un consumo de 1.000 m³/día de agua en su proceso productivo.

Instrumentos: ingeniería económica, evaluación de proyectos esto se realiza con información de las empresas a las cuales se les solicitó participar de este proyecto según el consumo de agua de la planta procesadora, ingeniería de proyectos, propuestas de valor.

Análisis de costos, presupuestos y sostenibilidad: A raíz de la baja calidad del agua, su alto costo y disponibilidad intermitente, al tener una planta en una zona desértica se define realizar el estudio para la instalación de una planta desaladora. Se estudió el costo del consumo histórico de la compañía. Luego se realizó un estudio de 2 propuestas según capacidad, especificaciones técnicas solicitadas por la compañía para luego realizar un flujo de caja donde se analiza la rentabilidad. Junto al análisis mencionado anteriormente, la compañía verifica que la implementación, esté acorde a la estrategia de sostenibilidad donde Hernández (2022) indica que la sostenibilidad en la cadena de suministro se configura como una posibilidad para generar un impacto positivo en el medio ambiente y la sociedad, potenciando los beneficios inherentes de ambas áreas de manera conjunta. Factores como la tecnología y el enfoque del ciclo de vida del producto, entre otros elementos, pueden contribuir de manera positiva al desempeño de las organizaciones en este contexto.

En este caso la estrategia posee 4 pilares, el cuidado del medioambiente, desarrollo del equipo, añadir valor a la comunidad y la ética en los negocios.

Ética: Los datos se obtuvieron con permiso de la empresa. Se mantiene el anonimato de datos estratégicos.

1.6 Organización y presentación de este trabajo

Este trabajo de grado posee cuatro capítulos principales y se organiza como sigue:

Capítulo 1: Presenta el marco conceptual del proyecto, contextualizándolo, proponiendo objetivos y discutiendo desde la literatura la pertinencia del foco de la investigación, su contribución, y presentando a su vez un marco metodológico para su desarrollo e implementación.

Capítulo 2: Asociado a recogida de información, modelos y datos. También explicita resultados.

Capítulo 3: El proyecto de grado, se presenta en formato resumido en un artículo académico que se estructura de la siguiente manera:

1. Título
2. Resumen
3. Introducción
4. Metodología
5. Resultados
 - 5.1 Análisis de demanda y costo
 - 5.2 Análisis técnico de la propuesta
 - 5.3 Análisis económico de la propuesta
 - 5.4 Proyecto de desalinización propuesto
 - 5.5 Propuestas, oferentes y adjudicación
 - 5.6 Avances de la implementación, brechas y discusión de resultados
6. Conclusiones
7. Referencias

Capítulo 4: Finalmente las conclusiones generales derivadas de este trabajo, y una dirección para la investigación futura, la cual considera aquellas preguntas no contestadas durante el desarrollo de este trabajo, se presentan en este capítulo.

Referencias generales

Anexos

2 INFORMACIÓN Y RESULTADOS

Para abordar este trabajo de investigación se ha optado por una aproximación cuantitativa, que permite considerar la siguiente estructura para la presentación de la información y sus análisis:

2.1 Procedimiento de recogida y análisis de datos

Esta propuesta analiza dentro de una empresa de procesos industriales, el impacto de la planta desaladora en la continuidad operacional. Por tal motivo, se llevó a cabo en el año 2022 una revisión de información interna de la compañía como consumo histórico de agua, propuestas económicas y técnicas de los oferentes junto a las inversiones a realizar para su posterior análisis.

El método utilizado en este estudio es de recolección de datos, en este se recolecta información de diferentes aspectos para su posterior análisis económico de la propuesta.

Fechas en que se recogieron los datos:

Entre el 01 de junio de 2022 y 15 de junio 2022.

Entre el 15 de octubre de 2022 y 25 de octubre 2022.

Entre el 01 de agosto de 2023 y 30 de agosto 2023.

Fuera de estas fechas, se mantuvo una constante comunicación vía correo y llamadas telefónicas para actualizar el estado del proyecto.

Coherencia con lo planificado:

La solicitud de reunión inicial para la solicitud información debió ser modificada, esto debido a que faltaban autorizaciones para que pudieran facilitar algunos documentos por controles internos de aspecto legal.

Se tuvo que postergar una tercera reunión por mantenciones de carácter urgente dentro de la planta.

Luego de tener la documentación, dentro del proceso de análisis personalmente fue una época complicada con el nacimiento de mi hijo, cambio de ciudades en 2 oportunidades, 4 cambios de casa y 2 cambios de trabajo por lo que fue difícil encontrar un espacio de tranquilidad para poder avanzar forma óptima.

Fortalezas y debilidades del proceso:

Fortalezas:

- Con consentimiento informado, y transparencia
- Proceso ético
- La propuesta se está materializando
- Permitió dar respuesta a la pregunta de investigación

Las debilidades propias de la investigación de contexto se circunscriben a:

- Para poder generalizar los resultados de esta propuesta, se deben considerar más empresas de la zona de características similares.
- Faltó un análisis cualitativo para disminuir los sesgos generados a través de la aproximación cuantitativa
- Fue un proceso de análisis lento debido a diversos factores personales

Población y muestras

Además de lo planteado en el marco metodológico, en la sección de población sobre la que se efectuará el estudio, es una empresa chilena ubicada en la región de Arica y Parinacota la cual procesa aceite de pescados hasta lograr concentrado de Omega-3 y para su funcionamiento requiere de 1.000 m³/día. Donde se dispuso de información sobre consumo de agua potable,

Instrumento.

Como se indicó anteriormente, para recoger información sobre el tema denominado implementación de planta desaladora de agua de mar, se utilizaron propuestas técnicas y económicas de oferentes, junto a historial de consumo de agua potable en m³ y su respectivo monto en dinero para su posterior evaluación económica.

La información solicitada fue entregada por la compañía previo consentimiento informado. A partir de dichas instancias se provoca un espacio de conversación en relación con la preparación que tiene la organización respecto a la continuidad operacional del negocio.

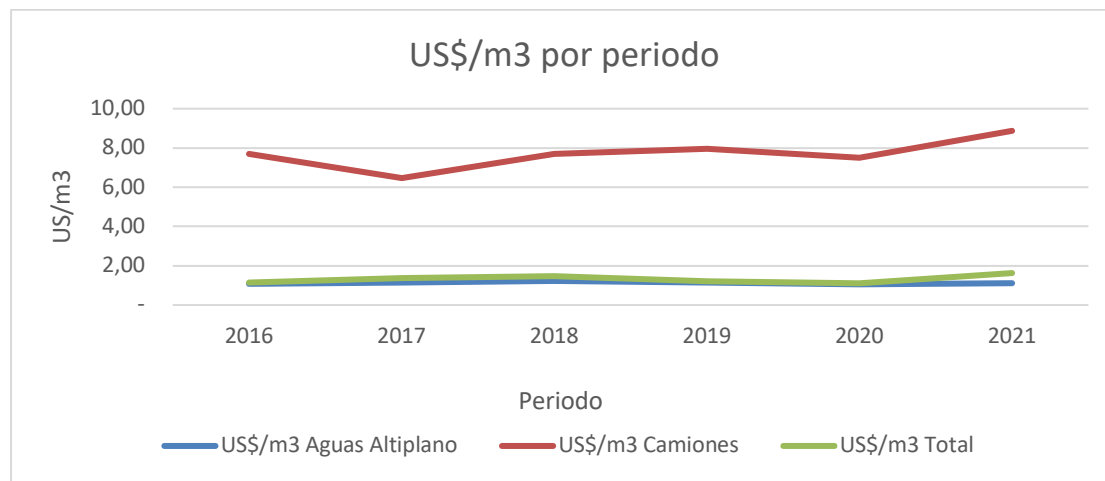
2.2 Proceso de recogida de información

Como se ha indicado anteriormente, se aplicó un instrumento basado en una entrevista semi-estructurada, a través de un cuestionario de respuestas abiertas las que han permitido agrupar las respuestas por categorías claves, concentrando la información para analizarla posteriormente de forma cualitativa.

2.3 Los datos recogidos:

La agrupación de resultados por categorías claves, agrupando la información para su posterior análisis queda dada por el siguiente gráfico seguido por 4 tablas.

US\$/m3 por periodo Fuente: Proyecto planta desaladora GO (Entregado por la empresa)



M3 anuales por proveedor Fuente: Proyecto planta desaladora GO (Entregado por la empresa)

m3			
Año	Aguas Altiplano	Camiones	Total
2016	172,235	1,269	173,504
2017	131,183	5,805	136,988
2018	134,223	5,235	139,458
2019	120,144	1,200	121,344
2020	113,753	930	114,683
2021	102,547	7,404	109,951

INVERSIONES ESTIMADAS Fuente: Proyecto planta desaladora GO (Entregado por la empresa)

Inversiones		
Planta (Incluye puesta en marcha y capacitación)	578,000	US\$
Montaje (incluye OO.CC.)	10,000	US\$
Piping (materiales,montaje y pintura)	60,000	US\$
Imprevistos (5%)	32,400	US\$
Total Inversiones	680,400	US\$

COSTOS OPERACIONALES POR M3 Fuente: Proyecto planta desaladora GO (Entregado por la empresa)

Costos Operación		
Energía (a \$62,4/kWh)	0.23	US\$/m ³
Productos químicos	0.08	US\$/m ³
Reposición membranas OI	0.05	US\$/m ³
Reposición membranas UF	0.02	US\$/m ³
Mantenimiento/Repuestos	0.08	US\$/m ³
Subtotal	0.46	US\$/m³

Presentación de ofertas y detalle GO Fuente Proyecto Planta desaladora GO (Entregado por la empresa)

		Proveedor	
		Aquavant	Simtech
Instalación	Nº Contenedores 40´	1	2
Agua	Caudal Producción (m ³ /d)	912	1000
	Cumple Calidad GO	Si	Si
Pretratamiento	Capacidad (m ³ /h)	84	104
	Material	PA o PP	PP
	Rango filtración (mm)	130	130
	Marca	Arkal	Bownt
Ultrafiltración	Capacidad (m ³ /h)	84	104
	Material	PVDF	Multibore ®
	Rango filtración (mm)	0.03	0.02
	Área de filtración (m ²)	1232	720
	Marca	DOW	INGE (DuPont)
Osmosis Inversa	Bomba Alta Presión	Danfoss APP 43/1700	Danfoss APP 53/1500
	Capacidad bomba (m ³ /h)	42	42.8
	Materialidad	Super Duplex	Super Duplex

	Presión (barg)	70	58.7
	Recuperador de Energía	iSave 40 (Danfoss)	iSave 50 (Danfoss)
	Membranas por tubo	5	7
	Tubos	10	10
Control	PLC	AB (no especifica modelo)	Micrologix 1400 AB
	Pantalla	Táctil 22"	Táctil 15"
	VDF	Powerflex AB	Powerflex AB
Energía	Potencia Instalada (kW)	150	203.7
	Potencia Operación (kW)	No informa	144.9
	Potencia CEB(kW)		50.7
	Potencia CIP (kW)		29.9
	Consumo Específico (kWh/m ³)	2.52	3.03
Condiciones Comerciales	Valor Completo (US\$)	892,500	578,000
	Condición Entrega	Sobre camión Arica	Descargado en Arica
	Capacitación y Puesta en Marcha	Si	Si
	Pagos	40% con OC; 50% Ex-works y 10% a la Aceptación ó 45 días desde fecha de entrega	A convenir, puede ser pago posterior a la entrega
	Validez Oferta	45 días	15 días
	Plazo Entrega	120-180 días	235 días
	Garantía	1 año	1 año

2.4 Análisis e interpretación de los datos

A continuación, presentamos los resultados de la evaluación técnica y económica, y otras etapas del proyecto para la instalación de una planta desaladora. Por cuestiones de espacio y de claridad en la lectura hemos decidido incluir únicamente los elementos relevantes para la comprensión del proyecto.

2.5 Análisis de demanda y costo

Para el análisis de la demanda y costo, se realiza un estudio del consumo de agua de los proveedores aguas del altiplano y camiones aljibes durante el periodo 2016-2021 como se puede apreciar en la figura 1 y el costo del m³ durante todo el periodo (Figura 2). La estabilidad del suministro se refleja en la cantidad de m³ proveídos por camiones aljibes, ya que, se recurre a estos cuando la capacidad del proveedor local de agua, aguas del altiplano,

no logra cubrir las necesidades de la compañía. El suministro a través de camiones aljibes se acentúa en el último año del análisis (2021)

Para lograr procesos eficientes, toda industria que utilice el agua dentro de sus procesos debe garantizar el suministro para no detener o pausar procesos dentro de la producción. En épocas de sequías, se realiza racionamiento de agua potable dentro de la comunidad industrial para asegurar el racionamiento a la población, por lo que los industriales deben recurrir a proveedores que, en este caso, serían empresas con el servicio de agua potable en camiones aljibes. Un corte provoca que se tenga que alimentar la planta desde estanques, los cuales hay que alimentar a través de estos camiones. El m³ desde camiones aljibe puede llegar a ser 8 veces más caro que el m³ suministrado por la compañía que surte de agua a la ciudad. Se trata de costos adicionales imprevistos, ya que, los cortes suelen ser repentinos y sin aviso previo, debido a esto, la industria debe comprar agua al precio que sea para continuar con sus procesos.

2.6 Análisis técnico de la propuesta

Una vez calculada la necesidad de m³ de agua necesarios para la operación de la compañía se analiza si es que existe un lugar o terreno disponible para su emplazamiento, donde el área debe ser de al menos 50 m².

2.7 Análisis económico de la propuesta

Para el análisis económico del proyecto se considera el costo de la planta, los costos de montaje, piping, materiales, montaje y pinturas e imprevistos. El total es de US\$680.400 (Tabla II). Junto a este análisis, se analiza el ahorro por m³ implementando la planta, como la sumatoria en costos de operación respecto de energía, reposición de membranas, productos químicos, reposición de membranas de ultrafiltrado y mantenimiento (Tabla III). La implementación de la planta genera un ahorro de US\$122.221 en comparación el mismo consumo anual con un costo promedio de los últimos 3 periodos de US\$0,97/m³.

Para la evaluación privada del proyecto, la compañía utilizó una tasa de un 10% evaluando el mismo a 20 años, donde el resultado de esta fue de un valor actual neto (VAN) de USD\$70.594. Según Fajardo et al (2019) este resultado sugiere que la inversión es

económicamente eficiente pues supera la tasa de descuento o rentabilidad establecida. La tasa interna de retorno (TIR) es de 2,1% para una recuperación de la inversión en 5,6 años. Dados estos resultados se define realizar el proyecto de la planta desaladora.

Esta evaluación económicamente positiva además, asegura mantener la estabilidad en el suministro de agua, lo cual es fundamental para el funcionamiento del proceso.

2.8 Proyecto de desalinización propuesto

El proyecto de desalinización es un proyecto de una planta desaladora a través de osmosis inversa, la cual tiene una capacidad de 1.000 m³/día. El agua de mar una vez ingresada al circuito o flujo, se pretrata, esto consiste en filtración gruesa de discos y ultrafiltración. A continuación, el agua pretratada pasa a la etapa de osmosis inversa la cual elimina las sales presentes en el agua gracias a altas presiones y membranas de osmosis inversa el resultado de esto es agua de rechazo y agua de proceso o producto que sería el agua pura. La planta que se compone de 2 contenedores de 40 pies, (Figura 5 y 6) para que finalmente el agua sea insertada en el proceso productivo a través de una cañería.

2.9 Propuestas, oferentes, adjudicación y contrato

Se analizaron dos propuestas, una de la empresa Simtech y otra de la empresa Aquavant (ver tabla IV), donde se indica en detalle la materialidad de componentes críticos del proyecto, ambas cumplían con la calidad de agua solicitada por la compañía. El proceso se adjudicó a la compañía Simtech para la instalación e implementación de la planta desaladora propuesta (ver imagen I). El proyecto debe cumplir con una condición plug&play, es decir, instalar la planta en el sitio acordado y conectar a las cañerías correspondientes para hacer llegar el agua de mar a la planta desaladora y luego conectar a las cañerías que llevan el agua pura al proceso.

2.10 Avances de la implementación, nuevos contratos, brechas y discusión de resultados

El proyecto, finalmente comienza en el mes de octubre del año 2022. Actualmente la planta desaladora se encuentra operando, su inauguración fue realizada el mes de diciembre del 2023 ante las autoridades regionales. Si bien la planta se encuentra operando, según carta Gantt del proyecto este tuvo una demora de 9 meses en su puesta en marcha por retrasos del proveedor debido a la demora en la importación de los equipos críticos de la planta desaladora. Además de esto se presentaron diferencias en los límites de batería, estos límites corresponden a lo que debe hacerse cargo el proveedor de la planta y lo que debe hacerse cargo el mandante. Esto se produce por una distinta interpretación de la oferta inicial, lo cual una vez avanzado el proyecto provocó demoras, esto debido a que ambas partes deben estar de acuerdo en asumir costos que no estaban identificados inicialmente. Desde una mirada sostenible esta implementación, por el lado de la compañía, cumple con los cuatro pilares fundamentales declarados en su estrategia de sostenibilidad, donde el cuidado del medioambiente logra cumplirse gracias a que el agua que es utilizada para el proceso productivo y caldera una vez utilizada es devuelta al mar junto a la salmuera o agua de rechazo por lo que no genera un impacto negativo y donde la energía eléctrica utilizada para el funcionamiento de la misma proviene de energías renovables, esto debido a que la compañía participa en el programa de certificación Green-e™ Direct, que certifica que el 100% de la energía eléctrica utilizada en sus operaciones proviene de fuentes de energía renovables. Para lograr esta implementación, se tuvo que capacitar al personal de planta, ya sea en la operación de la misma, como en el proceso de mantenimiento. El valor añadido a la comunidad es el de desestresar la red de agua potable local, ya que, estos 1.000 m³/día eran retirados de esta red, junto a esto, cabe destacar que es la primera planta desaladora de agua de mar en la región por lo que es un gran avance tecnológico para la región y las diferentes industrias dentro de la misma. Y por último, ser ética en el negocio, utilizando energías renovables, siendo un consumidor y productor responsable en los recursos utilizado, específicamente en este caso siendo responsable de la devolución del agua de mar utilizada en el proceso junto a la salmuera o agua de rechazo.

3 ARTÍCULO

El presente apartado, recoge la investigación contextualizada motivo de este proyecto de grado, y es presentada en formato de artículo académico. Se trata de un artículo conciso, escrito en el formato típico de revistas especializadas o de conferencias, de acuerdo con reglas específicas definidas por la dirección del programa.

El artículo, ha sido cuidadosamente redactado con el fin de que se haga fácilmente entendible y logre expresar de un modo claro y sintético lo que se pretende comunicar, considerando las citas y referencias respectivas de los estudios que lo fundamentan. El trabajo realizado, se sintetiza entonces como artículo, para facilitar al trabajo de quienes puedan estar interesados en consultar la obra original.

Este trabajo, considera y discute, a través de un proyecto aplicado, desarrollado en un contexto de realidad profesional, la integración de herramientas y conocimientos que se han adquirido en las líneas de desarrollo del programa. Lo que se consolida en una investigación profesional contextualizada a la realidad profesional que se expone, la que se relacionada con líneas y ámbitos específicos abordados en el plan de estudios del programa, permitiendo integrar, de manera adecuada, los conocimientos teóricos y metodológicos desarrollados en él.

PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR PARA PROCESOS INDUSTRIALES

AGUSTIN IGNACIO HINRICHSEN ESCANDON

Graduado del programa de Magister en Ingeniería Industrial y de Sistemas,

Facultad de Ingeniería, Universidad de Desarrollo,

ahinrichsene@udd.cl

RESUMEN:

Este trabajo presenta una alternativa para la mejora en la gestión de recursos hídricos en industrias de la ciudad de Arica. El objetivo de esta investigación es proponer la implementación de una planta desalinizadora de osmosis inversa para aumentar el volumen de agua desalada para actividades industriales. Para lograrlo se propone una aproximación cuantitativa, la cual se basa en una evaluación técnica y viabilidad económica para la instalación de una planta desaladora que supla los requerimientos a dos empresas, junto a un estudio de impacto de disponibilidad de agua para el uso domiciliario. La implementación de la planta desaladora de 1.000 m³/día, eficiencia entre un 45 y 50%, consumo de energía de 3,03kWh/m³, genera un impacto positivo tanto para las industrias en estudio, gracias a la estabilidad del suministro y continuidad operacional, como para la liberación de este recurso para usos residenciales continuando con la estrategia de sostenibilidad de la empresa en estudio. En síntesis, la alternativa propuesta resulta factible y atractiva tanto para el sector industrial como para la comunidad de Arica dado el aumento en la disponibilidad de agua potable para el uso doméstico.

Palabras Clave: Recursos hídricos; Actividades industriales; Agua desalada; Osmosis inversa; Continuidad operacional.

3. Introducción

El aumento de la población ha provocado una mayor demanda de agua a nivel global, tanto para uso humano como productivo. A nivel global, alrededor del 1% está disponible para uso antrópico (Jiménez & Wainer, 2017). La oferta de agua está determinada por las diferencias geográficas, hidrogeológicas y climáticas (e.g. precipitación, temperatura, radiación solar). Frente a un escenario de creciente demanda y disminución de la oferta se configura una condición de escasez que se ha profundizado por los efectos del cambio climático (Bautista Jaramillo, 2021).

En Chile La inquietud sobre un escenario de escasez se ha debatido durante las últimas décadas, principalmente debido a la ocurrencia de la megasequía, lo que ha llevado al anuncio de diversas estrategias y medidas (Rojas & Fragkou, 2021), como por ejemplo el aumento de la eficiencia del uso y el aumento del volumen o seguridad de oferta mediante mejoras o aumento en la infraestructura. No obstante, las obras mayores están directamente relacionadas a la capacidad financiera, tanto del estado como de privados, se hace imperativo que el Estado tome participación en este tema (Mamani, 2021). El desarrollo de

infraestructura es fundamental pues permite aumentar la disponibilidad de agua, calidad, cantidad, oportunidad y accesibilidad.

Desalinización de agua

La desalinización o desalación implica la eliminación de sales del agua del mar o salobre con el objetivo de obtener agua con un determinado nivel de reducción depende de la calidad objetivo del proceso. Por ejemplo, para consumo humano se requiere una alta reducción de las sales disueltas (Ramos-Martín & León-Zerpa, 2023) Los métodos más usados son la evaporación y la desalación por membranas, junto a otros métodos menos comunes, que utilizan iones en sólidos y líquidos para la extracción de la sal (Ferrer & Riaño 2012).

Para el sistema térmico se necesita calor para provocar la evaporación del agua salada. La condensación del vapor corresponde a agua sin sales, mientras que la sobrante, llamada salmuera, se desecha. Por otro lado el sistema de membranas es un proceso por el cual el agua salada se separa en dos vertientes, una corriente de salmuera concentrada y la otra corriente de agua potable baja en concentración de sales disueltas. Algunos métodos son:

Destilación por compresión mecánica de vapor (MVC), en el cual se inserta un elemento calefactor al interior de una caldera con agua salada, una vez que se evapora el agua, se comprime el mismo para obtener agua con bajos niveles de sales.

Destilación multiefectos (MED), las plantas con este sistema se configuran con una serie de tubos verticales u horizontales, los cuales son calentados con algún tipo de líquido en su interior. Una vez calentados los tubos, se rocía agua salada, para que, al tener contacto con los tubos, se produzca

la evaporación del agua, el cual fluye a través de los tubos, se condensa y se vuelve agua pura.

Osmosis inversa, que consiste en desplazar soluciones menos concentradas, por diferencia de energía potencial, hacia soluciones con mayor concentración, esto a través de una membrana semipermeable. Para este sistema, se necesita un pretratamiento, el cual consiste en pasar el agua salada a través de filtros de carbono activado y arena, hasta que pasan por las membranas de osmosis inversa, donde se regula el pH del agua y se añaden productos para evitar que la sal se deposite en las membranas. Luego el agua pasa a un tratamiento de desinfección (lámparas UV, cloración u ozonificación (Isiordia, Enríquez, & Fernández 2012).

Gestión de proyectos

Un proyecto, es la indagación de una resolución perspicaz de un problema determinado (Urbina, 2001). Donde se requiere establecer uno o varios objetivos y los posibles resultados de éstos. En un proyecto se definen etapas de forma ordenada (Estrada, 2015). A su vez, la gestión de proyectos se refiere a la administración de los recursos que se necesitan para cumplir con la planificación establecida.

La gestión de proyectos ha tomado mayor importancia en el contexto del avance sostenible y continuo en las sociedades, pues permite comparar y evaluar diversas posibilidades dentro de un escenario determinado (Reyes, 2015).

¿Cómo lo abordan en el resto del mundo?

España cuenta con un sólido sector de constructores, operadores, empresas cotizadas, diseñadores y centros de

investigación, ya que cuenta con una de las mayores capacidades instaladas de plantas desaladoras del mundo con una capacidad de suministro de agua de 5 millones m³/día lo cual implica que tienen el potencial para atender a una población de 34 millones de personas. Otros países se encuentran en el Golfo Pérsico, incluido Emiratos Árabes Unidos, en especial Arabia Saudí, donde no obstante de la crisis, los proyectos de desalación en esta zona se prevé que alcancen aproximadamente la mitad a nivel mundial entre los años 2020 y 2025 (Martínez, 2020).

La capacidad instalada de producción de agua en Arabia Saudita es la más alta, alcanzando los 12 Mm³/d, lo que equivale al 9,81% de la capacidad mundial. Le siguen en orden: Emiratos Árabes Unidos, Estados Unidos de América, España y China, con porcentajes de 7,5, 4,7, 3,6 y 3,0%, respectivamente. La decisión de implementar plantas desalinizadoras se toma principalmente cuando no hay alternativas sencillas para obtener agua dulce, cuando es posible obtener energía a bajo costo y los niveles de vida son lo suficientemente altos. (Saavedra et al, 2021).

Resultados o casos de éxito en Chile

La desalinización en Chile tuvo sus inicios a finales del siglo XIX; sin embargo, ha sido en la última década cuando se ha observado un notorio aumento en la instalación de plantas desalinizadoras en el país. Donde al año 2018 las plantas en operación producen 5.868 L/s de agua desalada con una proyección de aumentar esta capacidad en un 116,5% alcanzando un total de 12.706 l/s, donde hay que tener en cuenta que la mayoría de estos proyectos son plantas desaladoras para la minería, entre ellos se encuentra Spence de propiedad de BHP Billiton con una

producción de 1.000 l/s y RT Sulfuros de Codelco con una producción de 1.950 l/s (Herrera-León et al, 2019).

Cabe mencionar que hoy en día la planta de Spence está operativa.

Por otro lado, la escasez de suministro de agua dulce en una aldea costera rural en Chile impulsó la implementación de una planta piloto de desalinización mediante nanofiltración. El propósito de este estudio fue evaluar el sistema de desalinización de agua de mar y agua salobre utilizando un proceso de nanofiltración de dos etapas. El sistema logró una tasa de recuperación de permeado de 21,0 L/(m² h) y 51,3 L/(m² h) en la primera etapa a 40 bares y en la segunda etapa a 15 bares, respectivamente. Dado que la calidad del agua obtenida en la primera etapa fue satisfactoria, se combinó con agua de la segunda etapa, generando agua potable segura que cumple con los estándares locales e internacionales. En la actualidad, este sistema abastece de agua potable a una aldea costera de la región del Bio-Bio en Chile con una capacidad de 23 m³/día, además de ser compatible con fuentes de energía renovable. Ofrece la posibilidad de suministrar agua potable de alta calidad. (Vargas & Borquez 2020).

Hasta diciembre de 2022, en Chile operan 38 plantas para un caudal de 8.535 L/s. Además, existen 38 proyectos en desarrollo para 28.859 L/s. Entre las plantas actualmente en funcionamiento, la producción alcanza los 6.137 L/s, lo que representa el 71,9% del potencial o caudal de diseño. Esta producción se destina principalmente a operaciones mineras de gran escala, con 1.908 litros por segundo (22,3%) dirigidos al consumo humano, cubriendo así las necesidades de aproximadamente 700,000 habitantes, lo que equivale al 4% de la población total del

país (Campero, Bennett & Arriagada 2023).

Entendida esta realidad, y considerando la revisión bibliográfica presentada, es posible efectuar el siguiente cuestionamiento de contexto: ¿Cuáles son las acciones claves para sumar disponibilidad hídrica para la industria en la región de Arica y Parinacota?

En efecto, la crisis hídrica es una realidad a la cual las empresas deben adaptarse a un suministro acotado y restringido en ciertos meses durante el año, por lo que es imperativo analizar alternativas para aumentar de alguna forma la disponibilidad de agua para los procesos productivos en la zona.

Habiendo examinado los fundamentos teóricos esenciales de este estudio, es relevante señalar que la motivación primordial que lo sustenta es la mejora de la eficiencia y disponibilidad operativa del recurso hídrico en entornos de escasez donde hay más de un usuario del recurso. Se propone una implementación que mejore la disponibilidad de agua desalada dentro de una industria específica. En este sentido este trabajo contribuye a la comprensión de barreras y facilitadores estructurales que permitan el desarrollo de la comunidad industrial, en base a la disponibilidad de un recurso que en la medida del tiempo se ha convertido en un recurso escaso como lo es el agua.

Entendido esto, el objetivo de este trabajo es, proponer un proyecto la implementación de una planta desalinizadora para mejorar la disponibilidad de agua desalada, buscando la estabilidad en el suministro y la eficiencia en procesos dentro de la comunidad industrial, liberando agua

potable para el uso dentro de la comunidad.

4. Metodología

Paradigma y diseño: La investigación propone la utilización de una metodología cuantitativa. Enrique & Barrio Fraile (2018), sostiene que una forma científica y rigurosa de verificar un fenómeno es mediante variables que puedan ser medidas y cuantificadas. Este trabajo se basa en un enfoque técnica y económica para la instalación de una planta desaladora en la ciudad de Arica.

Datos del estudio: Se dispuso de los datos de la propuesta licitada, y de la ingeniería conceptual, para la estimación y evaluación de la ingeniería básica y de detalles hasta la implementación, y con ello licitar la implementación de la planta.

Entorno: El proyecto se desarrolla en la ciudad de Arica, en una empresa chilena, la cual se dedica a la producción de concentrado de Omega-3 de alta calidad el cual es generado desde el aceite de pescado. El 100% de su producción se exporta, principalmente a Estados Unidos y la UE. La cual tiene un consumo de 1.000 m³/día de agua en su proceso productivo.

Instrumentos: ingeniería económica, evaluación de proyectos esto se realiza con información de las empresas a las cuales se les solicitó participar de este proyecto según el consumo de agua de la planta procesadora, ingeniería de proyectos, propuestas de valor.

Análisis de costos, presupuestos y sostenibilidad: A raíz de la baja calidad del agua, su alto costo y disponibilidad intermitente, al tener una planta en una zona desértica se define realizar el estudio para la instalación de una planta desaladora. Se estudió el costo del consumo histórico de la compañía. Luego

se realizó un estudio de 2 propuestas según capacidad, especificaciones técnicas solicitadas por la compañía para luego realizar un flujo de caja donde se analiza la rentabilidad. Junto al análisis mencionado anteriormente, la compañía verifica que la implementación, esté acorde a la estrategia de sostenibilidad donde Hernández (2022) indica que la sostenibilidad en la cadena de suministro se configura como una posibilidad para generar un impacto positivo en el medio ambiente y la sociedad, potenciando los beneficios inherentes de ambas áreas de manera conjunta. Factores como la tecnología y el enfoque del ciclo de vida del producto, entre otros elementos, pueden contribuir de manera positiva al desempeño de las organizaciones en este contexto.

En este caso la estrategia posee 4 pilares, el cuidado del medioambiente, desarrollo del equipo, añadir valor a la comunidad y la ética en los negocios.

Ética: Los datos se obtuvieron con permiso de la empresa. Se mantiene anonimato de datos estratégicos.

5. Resultados

A continuación, presentamos los resultados de la evaluación técnica y económica, y otras etapas del proyecto para la instalación de una planta desaladora. Por cuestiones de espacio y de claridad en la lectura hemos decidido incluir únicamente los elementos relevantes para la comprensión del proyecto.

5.1 Análisis de demanda y costo

Para el análisis de la demanda y costo, se realiza un estudio del consumo de agua de los proveedores aguas del altiplano y camiones aljibes durante el periodo 2016-2021 como se puede apreciar en la figura 1 y el costo del m³ durante todo el periodo

(Figura 2). La estabilidad del suministro se refleja en la cantidad de m³ proveídos por camiones aljibes, ya que, se recurre a estos cuando la capacidad del proveedor local de agua, aguas del altiplano, no logra cubrir las necesidades de la compañía. El suministro a través de camiones aljibes se acentúa en el último año del análisis (2021)

Para lograr procesos eficientes, toda industria que utilice el agua dentro de sus procesos debe garantizar el suministro para no detener o pausar procesos dentro de la producción. En épocas de sequías, se realiza racionamiento de agua potable dentro de la comunidad industrial para asegurar el racionamiento a la población, por lo que los industriales deben recurrir a proveedores que, en este caso, serían empresas con el servicio de agua potable en camiones aljibes. Un corte provoca que se tenga que alimentar la planta desde estanques, los cuales hay que alimentar a través de estos camiones. El m³ desde camiones aljibe puede llegar a ser 8 veces más caro que el m³ suministrado por la compañía que surte de agua a la ciudad. Se trata de costos adicionales imprevistos, ya que, los cortes suelen ser repentinos y sin aviso previo, debido a esto, la industria debe comprar agua al precio que sea para continuar con sus procesos.

5.2 Análisis técnico de la propuesta

Una vez calculada la necesidad de m³ de agua necesarios para la operación de la compañía se analiza si es que existe un lugar o terreno disponible para su emplazamiento, donde el área debe ser de al menos 50 m².

5.3 Análisis económico de la propuesta

Para el análisis económico del proyecto se considera el costo de la planta, los costos de montaje, piping, materiales, montaje y pinturas e imprevistos. El total es de

US\$680.400 (Tabla II). Junto a este análisis, se analiza el ahorro por m³ implementando la planta, como la sumatoria en costos de operación respecto de energía, reposición de membranas, productos químicos, reposición de membranas de ultrafiltrado y mantenimiento (Tabla III). La implementación de la planta genera un ahorro de US\$122.221 en comparación el mismo consumo anual con un costo promedio de los últimos 3 periodos de US\$0,97/m³.

Para la evaluación privada del proyecto, la compañía utilizó una tasa de un 10% evaluando el mismo a 20 años, donde el resultado de esta fue de un valor actual neto (VAN) de USD\$70.594. Según Fajardo et al (2019) este resultado sugiere que la inversión es económicamente eficiente pues supera la tasa de descuento o rentabilidad establecida. La tasa interna de retorno (TIR) es de 2,1% para una recuperación de la inversión en 5,6 años. Dados estos resultados se define realizar el proyecto de la planta desaladora.

Esta evaluación económicamente positiva además asegura mantener la estabilidad en el suministro de agua, lo cual es fundamental para el funcionamiento del proceso.

5.4 Proyecto de desalinización propuesto

El proyecto de desalinización es un proyecto de una planta desaladora a través de osmosis inversa, la cual tiene una capacidad de 1.000 m³/día. El agua de mar una vez ingresada al circuito o flujo, se pretrata, esto consiste en filtración gruesa de discos y ultrafiltración. A continuación, el agua pretratada pasa a la etapa de osmosis inversa la cual elimina las sales presentes en el agua gracias a altas presiones y membranas de osmosis inversa el resultado de esto es agua de

rechazo y agua de proceso o producto que sería el agua pura. La planta que se compone de 2 contenedores de 40 pies, (Figura 4 y 5) para que finalmente el agua sea insertada en el proceso productivo junto a la alimentación de caldera, donde luego de ser utilizada el agua, es devuelta junto al agua de rechazo o salmuera, al mar logrando así minimizar el impacto ambiental en la operación de la planta desaladora.

5.5 Propuestas, oferentes y adjudicación

Se analizaron dos propuestas, una de la empresa Simtech y otra de la empresa Aquavant (ver tabla IV), donde se indica en detalle la materialidad de componentes críticos del proyecto, ambas cumplían con la calidad de agua solicitada por la compañía. El proceso se adjudicó a la compañía Simtech para la instalación e implementación de la planta desaladora propuesta (ver figura 3). El proyecto debe cumplir con una condición plug&play, es decir, instalar la planta en el sitio acordado y conectar a las cañerías correspondientes para hacer llegar el agua de mar a la planta desaladora y luego conectar a las cañerías que llevan el agua pura al proceso.

5.6 Avances de la implementación, brechas y discusión de resultados

El proyecto, finalmente comienza en el mes de octubre del año 2022. Actualmente la planta desaladora se encuentra operando, su inauguración fue realizada el mes de diciembre del 2023 ante las autoridades regionales. Si bien la planta se encuentra operando, según carta Gantt del proyecto este tuvo una demora de 9 meses en su puesta en marcha por retrasos del proveedor debido a la demora en la importación de los equipos críticos de la planta desaladora. Además de esto se presentaron diferencias en los límites de batería, estos límites corresponden a lo

que debe hacerse cargo el proveedor de la planta y lo que debe hacerse cargo el mandante. Esto se produce por una distinta interpretación de la oferta inicial, lo cual una vez avanzado el proyecto provocó demoras, esto debido a que ambas partes deben estar de acuerdo en asumir costos que no estaban identificados inicialmente. Desde una mirada sostenible esta implementación, por el lado de la compañía, cumple con los cuatro pilares fundamentales declarados en su estrategia de sostenibilidad, donde el cuidado del medioambiente logra cumplirse gracias a que el agua que es utilizada para el proceso productivo y caldera una vez utilizada es devuelta al mar junto a la salmuera o agua de rechazo por lo que no genera un impacto negativo y donde la energía eléctrica utilizada para el funcionamiento de la misma proviene de energías renovables, esto debido a que la compañía participa en el programa de certificación Green-e™ Direct, que certifica que el 100% de la energía eléctrica utilizada en sus operaciones proviene de fuentes de energía renovables. Para lograr esta implementación, se tuvo que capacitar al personal de planta, ya sea en la operación de la misma, como en el proceso de mantenimiento. El valor añadido a la comunidad es el de desestresar la red de agua potable local, ya que, estos 1.000 m³/día eran retirados de esta red, junto a esto, cabe destacar que es la primera planta desaladora de agua de mar en la región por lo que es un gran avance tecnológico para la región y las diferentes industrias dentro de la misma. Y por último, ser ética en el negocio, utilizando energías renovables, siendo un consumidor y productor responsable en los recursos utilizado, específicamente en este caso siendo responsable de la devolución del agua de mar utilizada en el

proceso junto a la salmuera o agua de rechazo.

4. Conclusiones

Este trabajo establece que las acciones claves para sumar disponibilidad hídrica para la industria en la región de Arica y Parinacota son: la instalación de una planta desaladora de agua para uso industrial en procesos que junto con sumar la disponibilidad hídrica para la industria, ayuda a obtener procesos más eficientes gracias a la estabilidad generada en el suministro de este recurso el cual durante el periodo estudiado se ve afectado con constantes cortes de suministro en la zona de estudio. Junto a esto, al aumentar la disponibilidad hídrica para la industria, se libera la misma cantidad para la población, por lo que la ciudad cuenta con mayor cantidad disponible lo cual le permite asegurar el suministro dentro de la misma.

Para ello se propuso un proyecto de implementar una planta desalinizadora de osmosis inversa para la mejora en la disponibilidad de agua desalinizada dentro de la comunidad industrial, liberando su equivalente para su uso en la comunidad. En efecto los resultados muestran que la implementación de la planta es rentable para la compañía, Además de cumplir con los indicadores financieros, la planta permite mantener un costo fijo por m³ de agua además de mantener la estabilidad en el suministro de la misma lo cual es clave para una organización la cual necesito de este bien dentro de sus procesos en una zona desértica como lo es la región de Arica y Parinacota por lo que se producen cortes durante todo el año para asegurar el suministro a la población. Por otro lado, para que esto sea implementado de mejor forma, se debe llegar al detalle de la instalación dejando claro los límites del

proveedor como los del mandante para que al momento de la instalación no se produzcan retrasos por falta de ellos y principalmente se sugiere elaborar un contrato donde queden claros estos límites y responsabilidades de cada parte. En la sostenibilidad a largo plazo, si bien la compañía logra un hito en la ciudad, instalando la primera planta desaladora en la región, logrando liberar la cantidad producida por la planta para la comunidad, tiene el desafío de cambiar nuevamente la fuente de combustible, anteriormente petróleo, hoy en día gas licuado, junto a la disminución en generación de emisiones de CO₂, lo cual queda para un estudio futuro. Gracias a la innovación en sus procesos, hoy sólo un 5% del agua utilizada en la planta proviene de la red regional, por lo que de igual manera queda para un análisis futuro el estudio para reducir ese porcentaje a cero.

Dicho esto, el presente estudio ayuda a mejorar la comprensión de los obstáculos y factores favorables en la estructura que fomentan el crecimiento de la comunidad industrial, centrándose en la disponibilidad de un recurso que ha ido escaseando con el tiempo, como es el caso del agua.

Referencias

- Bautista Jaramillo, M. V. (2021). Análisis de la densidad poblacional en la UPZ 89 de la localidad de Chapinero, la cual afecta la demanda en el servicio de agua potable de la población.
- Campero, C., Bennett, N. J., & Arriagada, N. (2023). Technologies of dispossession in the blue economy: Socio-environmental impacts of seawater desalination in the Antofagasta Region of Chile. *The Geographical Journal*, 189(2), 231-245.
<https://doi.org/10.1111/geoj.12429>
- Enrique, A. M., & Barrio Fraile, E. (2018). Guía para implementar el método de estudio de caso en proyectos de investigación. *Propuestas de investigación en áreas de vanguardia*, 159-168.
- Estrada, J. (2015). Análisis de los estándares internacionales más utilizados en la gestión de proyectos. En J. Estrada, Análisis de los estándares internacionales más utilizados en la gestión de proyectos. Buenos Aires: UP.
- Fajardo Vaca, L. M., Girón Guerrero, M. F., Vásquez Fajardo, C. E., Fajardo Vaca, L. A., Zúñiga Santillán, X. L., Solís Granda, L. E., & Pérez Salazar, J. A. (2019). Valor actual neto y tasa interna de retorno como parámetros de evaluación de las inversiones.
- Ferrer, A. A., & Riaño, V. V. (2012). LA DESALACIÓN: UNA OPCIÓN MÁS. *AMBIENT*, 11
- Isiordia, G. E. D., Enríquez, R. G., & Fernández, N. E. P. (2012). Técnicas para desalinizar agua de mar y su desarrollo en México. *Ra Ximhai*, 8(2.), 57-68.
- Jiménez, S., & Wainer, J. T. (2017). Realidad del agua en Chile: ¿escasez o falta de infraestructura?
- Hernández, B. L. S. (2022). Gestión del conocimiento y sostenibilidad en la gestión de la cadena de suministro: revisión de literatura. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 24(3), 732-748.
<https://doi.org/10.36390/telos243.17>
- Herrera-Leon, S., Cruz, C., Kraslawski, A., & Cisternas, L. A. (2019). Current situation and major challenges of desalination in Chile. *Desalin. Water Treat*, 171, 93-104.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151853>
- Mamani, M. Y. G. (2021). La Gestión del recurso hídrico frente a una posible crisis hídrica. *Derecho Ambiental*, 1(1).
<https://doi.org/10.56212/rae.v1i1.12>
- Martínez, D. Z. (2020). La desalación del agua en España. *Estud. Sobre La Econ. Española*, 101, 169-186.
- Ramos-Martín, A., & León-Zerpa, F. (2023). Desarrollo de una metodología para el estudio de la eficiencia energética en plantas de desalinización por ósmosis inversa de agua de mar.
- Rojas, R. A. G., & Fragkou, M. C. (2021). ¿Infraestructura ante la crisis hídrica? Políticas de Estado en los ríos Petorca y La Ligua. *Cuadernos Médico Sociales*, 61(1), 61-71.
<https://doi.org/10.56116/cms.v61.n1.2021.26>
- Saavedra, A., Valdés, H., Mahn, A., & Acosta, O. (2021). Comparative analysis of conventional and emerging technologies for seawater desalination: Northern Chile as a case study. *Membranes*, 11(3), 180.

<https://doi.org/10.3390/membranes11030180>

Vargas, C., & Borquez, R. (2020). Evaluation of the operation seawater and brackish water

desalination system using two-pass nanofiltration. *Desalin. Water Treat*, 204, 50-58.

<https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26287>

4 CONCLUSIONES GENERALES

Este trabajo establece que las acciones claves para sumar disponibilidad hídrica para la industria en la región de Arica y Parinacota son: la instalación de una planta desaladora de agua para uso industrial en procesos que junto con sumar la disponibilidad hídrica para la industria, ayuda a obtener procesos más eficientes gracias a la estabilidad generada en el suministro de este recurso el cual durante el periodo estudiado se ve afectado con constantes cortes de suministro en la zona de estudio. Junto a esto, al aumentar la disponibilidad hídrica para la industria, se libera la misma cantidad para la población, por lo que la ciudad cuenta con mayor cantidad disponible lo cual le permite asegurar el suministro dentro de la misma.

Para ello se propuso un proyecto de implementar una planta desalinizadora de osmosis inversa para la mejora en la disponibilidad de agua desalinizada dentro de la comunidad industrial, liberando su equivalente para uso residencial. En efecto los resultados muestran que la implementación de la planta es rentable para la compañía, Además de cumplir con los indicadores financieros, la planta permite mantener un costo fijo por m³ de agua además de mantener la estabilidad en el suministro de la misma lo cual es clave para una organización la cual necesita de este bien dentro de sus procesos en una zona desértica como lo es la región de Arica y Parinacota por lo que se producen cortes durante todo el año para asegurar el suministro a la población. Por otro lado, para que esto sea implementado de mejor forma, se debe llegar al detalle de la instalación dejando claro los límites del proveedor como los del mandante para que al momento de la instalación no se produzcan retrasos por falta de ellos y principalmente se sugiere elaborar un contrato donde queden claros estos límites y responsabilidades de cada parte.

Dicho esto, el presente estudio ayuda a mejorar la comprensión de los obstáculos y factores favorables en la estructura que fomentan el crecimiento de la comunidad industrial, centrándose en la disponibilidad de un recurso que ha ido escaseando con el tiempo, como es el caso del agua.

Para el estudio del suministro de agua potable para una empresa de procesos industriales en la región de arica y Parinacota se puede concluir que dicho suministro no es estable, ya sea por factores de corte por parte del proveedor local de aguas o por falta de lluvias en el altiplano que es de donde el proveedor de agua obtiene parte del suministro. Es por esto que, para una empresa que necesita este recurso para su funcionamiento las 24 hrs del día los siete días de la semana, la implementación de la planta lograría mantener la misma con un suministro estable, lo que lograría mantener una continuidad operacional y un óptimo funcionamiento.

Al analizar la factibilidad de instalar una planta desaladora de agua de mar se logró cuantificar el ahorro que se lograría gracias al análisis de dos propuestas técnicas y económicas solicitadas por la compañía junto al factor de mayor relevancia para ella que es lograr la estabilidad en el suministro de este recurso y así lograr una mayor eficiencia dentro del proceso además de tener mayor claridad en el costo por m³.

Finalmente se realiza una propuesta, la cual adjudica el proyecto a la empresa simtech, esto debido a que las especificaciones técnicas se ajustaban de mejor manera a lo solicitado por el mandante además de un costo considerablemente menor al de su contraparte. Esto genera una evaluación técnica y económica del proyecto, considerando el monto de las inversiones a realizar, costos operacionales por m³, tasa de descuento considerada por la compañía en un periodo de evaluación de 10 años. Esta evaluación resulta positiva, entregando como resultado un VAN= USD\$70.594, lo cual al ser positivo y asegurando la continuidad de abastecimiento del suministro, se define realizar el proyecto.

En la sostenibilidad a largo plazo, si bien la compañía logra un hito en la ciudad, instalando la primera planta desaladora en la región, logrando liberar la cantidad producida por la planta para la comunidad, tiene el desafío de cambiar nuevamente la fuente de combustible, anteriormente petróleo, hoy en día gas licuado, junto a la disminución en generación de emisiones de CO₂, lo cual queda para un estudio futuro. Gracias a la innovación en sus procesos, hoy sólo un 5% del agua utilizada en la planta proviene de la red regional, por lo que de igual manera queda para un análisis futuro el estudio para reducir ese porcentaje a cero.

En este contexto, el presente estudio aporta al entendimiento de los obstáculos y factores que propician la evolución de la comunidad industrial, fundamentándose en la disponibilidad de un recurso que, con el transcurso del tiempo, ha adquirido la condición de escasez, tal como es el caso del agua. Esto a través de la implementación de una planta desaladora de agua de mar para procesos industriales, logrando así mantener una continuidad operacional junto a descomprimir el uso de agua potable logrando liberar su equivalente para uso residencial.

4.1 Propuesta para trabajos futuros

Como continuación de este trabajo de tesis, hay varias líneas de desarrollo que quedan pendientes, y en las que es posible continuar trabajando; algunas de ellas, están más directamente relacionadas con este trabajo de tesis y son el resultado de preguntas que han ido surgiendo durante el proceso de investigación, como otras que son más tangenciales a la investigación. A continuación, revisaremos trabajos futuros que pueden investigarse como conclusión de esta investigación:

- Realizar una investigación de otras empresas del rubro industrial de similares características para así analizar si es una solución que se pueda implementar a gran escala en la industria.
- Un compromiso de la compañía en temas de sostenibilidad es el de dejar un consumo mínimo de agua extraída de la red de agua potable y esta misma extraerla de la planta desaladora pero hace falta el proceso de potabilización, por lo que un trabajo futuro es el de potabilizar el agua extraída de la planta desaladora.
- Realizar una investigación del consumo para una posible implementación de una planta desaladora para empresas del mismo holding que la del estudio, ya que, están presentes en el rubro de la madera, combustibles, lubricantes, pesquero, minería y energía entre otros.
- Realizar un estudio minucioso sobre todos los costos ocultos dentro del proceso desde que se corta el suministro de agua potable, hasta la reposición de la misma.

Esto debido a que hay procesos que se detienen hasta la llegada de camiones con agua, por lo que es tiempo de proceso perdido y en este artículo no está estudiado.

- Realizar una investigación relacionada a la eliminación de combustibles fósiles, junto a su viabilidad económica.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bautista Jaramillo, M. V. (2021). Análisis de la densidad poblacional en la UPZ 89 de la localidad de Chapinero, la cual afecta la demanda en el servicio de agua potable de la población.
- Campero, C., Bennett, N. J., & Arriagada, N. (2023). Technologies of dispossession in the blue economy: Socio-environmental impacts of seawater desalination in the Antofagasta Region of Chile. *The Geographical Journal*, 189(2), 231-245.
<https://doi.org/10.1111/geoj.12429>
- Enrique, A. M., & Barrio Fraile, E. (2018). Guía para implementar el método de estudio de caso en proyectos de investigación. *Propuestas de investigación en áreas de vanguardia*, 159-168.
- Estrada, J. (2015). Análisis de los estándares internacionales más utilizados en la gestión de proyectos. En J. Estrada, Análisis de los estándares internacionales más utilizados en la gestión de proyectos. Buenos Aires: UP.
- Fajardo Vaca, L. M., Girón Guerrero, M. F., Vásquez Fajardo, C. E., Fajardo Vaca, L. A., Zúñiga Santillán, X. L., Solís Granda, L. E., & Pérez Salazar, J. A. (2019). Valor actual neto y tasa interna de retorno como parámetros de evaluación de las inversiones.
- Ferrer, A. A., & Riaño, V. V. (2012). LA DESALACIÓN: UNA OPCIÓN MÁS. AMBIENT, 11
- Isiordia, G. E. D., Enríquez, R. G., & Fernández, N. E. P. (2012). Técnicas para desalinizar agua de mar y su desarrollo en México. *Ra Ximhai*, 8(2.), 57-68.
- Jiménez, S., & Wainer, J. T. (2017). Realidad del agua en Chile: ¿escasez o falta de infraestructura?
- Hernández, B. L. S. (2022). Gestión del conocimiento y sostenibilidad en la gestión de la cadena de suministro: revisión de literatura. *Telos: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 24(3), 732-748.
<https://doi.org/10.36390/telos243.17>
- Herrera-Leon, S., Cruz, C., Kraslawski, A., & Cisternas, L. A. (2019). Current situation and major challenges of desalination in Chile. *Desalin. Water Treat*, 171, 93-104.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151853>
- Mamani, M. Y. G. (2021). La Gestión del recurso hídrico frente a una posible crisis hídrica. *Derecho Ambiental*, 1(1).
<https://doi.org/10.56212/rae.v1i1.12>
- Martínez, D. Z. (2020). La desalación del agua en España. *Estud. Sobre La Econ. Española*, 101, 169-186.
- Ramos-Martín, A., & León-Zerpa, F. (2023). Desarrollo de una metodología para el estudio de la eficiencia energética en plantas de desalinización por ósmosis inversa de agua de mar.
- Rojas, R. A. G., & Fragkou, M. C. (2021). ¿ Infraestructura ante la crisis hídrica? Políticas de Estado en los ríos Petorca y La Ligua. *Cuadernos Médico Sociales*, 61(1), 61-71.
<https://doi.org/10.56116/cms.v61.n1.2021.26>
- Saavedra, A., Valdés, H., Mahn, A., & Acosta, O. (2021). Comparative analysis of conventional and emerging technologies

for seawater desalination: Northern Chile as a case study. *Membranes*, 11(3), 180.

<https://doi.org/10.3390/membranes11030180>

Vargas, C., & Borquez, R. (2020). Evaluation of the operation seawater and brackish water

desalination system using two-pass nanofiltration. *Desalin. Water Treat*, 204, 50-58.

<https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26287>

6 ANEXO: REPORTE DE PLAGIO

El reporte de posibilidad de plagio de este trabajo, con otros trabajos publicados entrega un porcentaje de similitud de:



Plagiarism Checker X - Report

Originality Assessment

6%



Overall Similarity

Date: ene. 8, 2024
Matches: 206 / 3371 words
Sources: 13

Remarks: Low similarity detected, consider making necessary changes if needed.

Verify Report:
Scan this QR Code



**7 ANEXOS: INFORMACIÓN
RECOPILADA PARA
ESTUDIO**

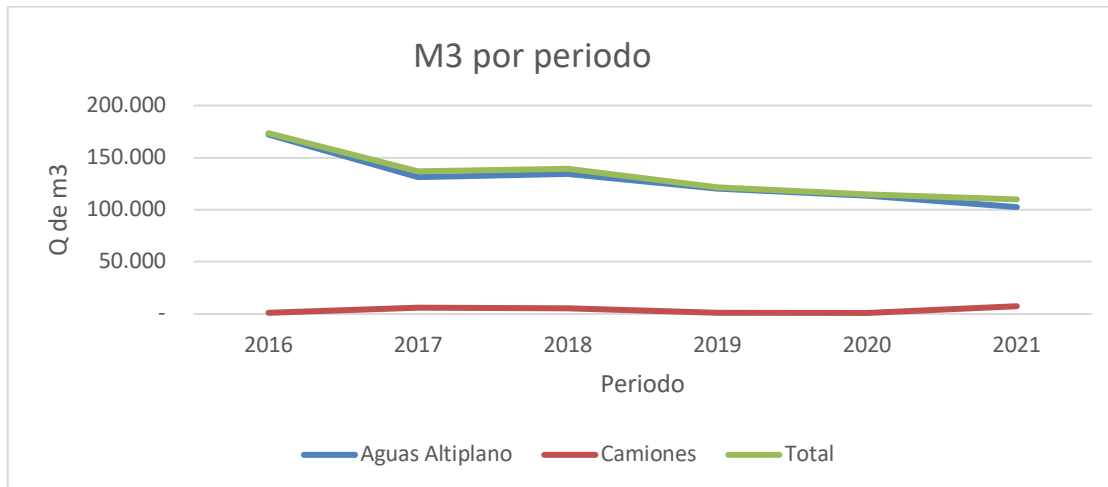


Figura 1. M3 por año Fuente: Proyecto planta desaladora GO (Entregado por la empresa)

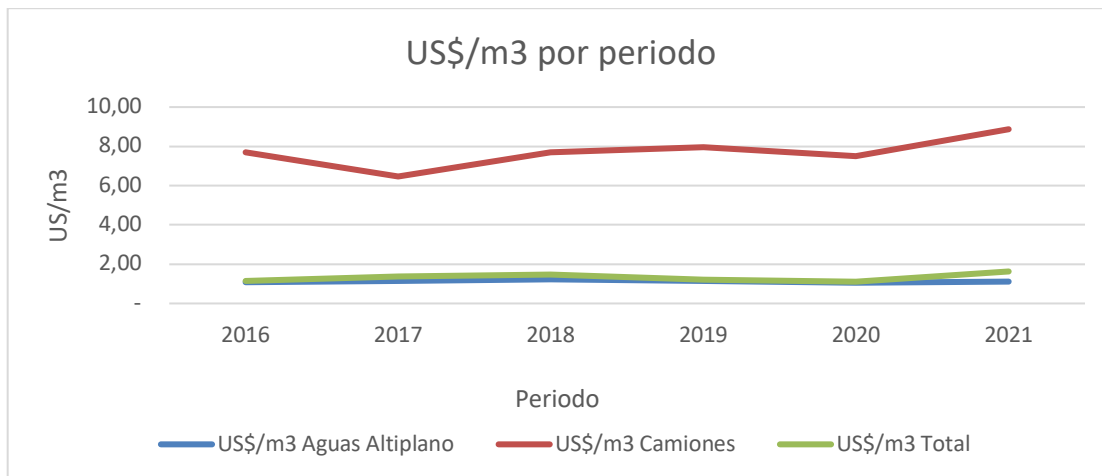


Figura 2. US\$/m3 por periodo Fuente: Proyecto planta desaladora GO (Entregado por la empresa)

Tabla I. M3 anuales por proveedor Fuente: Proyecto planta desaladora GO (Entregado por la empresa)

m3			
Año	Aguas Altiplano	Camiones	Total
2016	172,235	1,269	173,504
2017	131,183	5,805	136,988
2018	134,223	5,235	139,458
2019	120,144	1,200	121,344
2020	113,753	930	114,683
2021	102,547	7,404	109,951

Tabla II. INVERSIONES ESTIMADAS Fuente: Proyecto planta desaladora GO (Entregado por la empresa)

Inversiones		
Planta (Incluye puesta en marcha y capacitación)	578,000	US\$
Montaje (incluye OO.CC.)	10,000	US\$
Piping (materiales,montaje y pintura)	60,000	US\$
Imprevistos (5%)	32,400	US\$
Total Inversiones	680,400	US\$

Tabla III. COSTOS OPERACIONALES POR M3 Fuente: Proyecto planta desaladora GO (Entregado por la empresa)

Costos Operación		
Energía (a \$62,4/kWh)	0.23	US\$/m ³
Productos químicos	0.08	US\$/m ³
Reposición membranas OI	0.05	US\$/m ³
Reposición membranas UF	0.02	US\$/m ³
Mantenimiento/Repuestos	0.08	US\$/m ³
Subtotal	0.46	US\$/m³

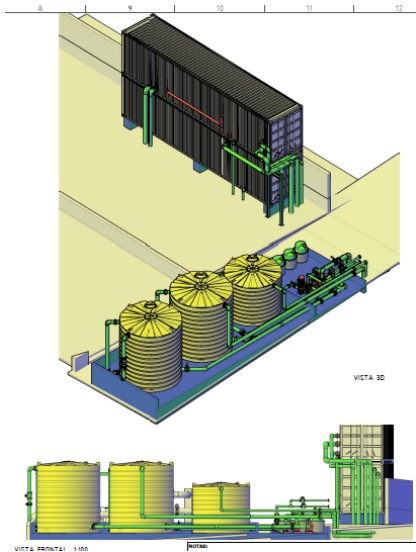


Figura 3. Planta propuesta Fuente: Proyecto Planta desaladora GO (Entregada por la empresa)

DISPOSICIÓN EQUIPOS CONTENEDOR PISO N°1

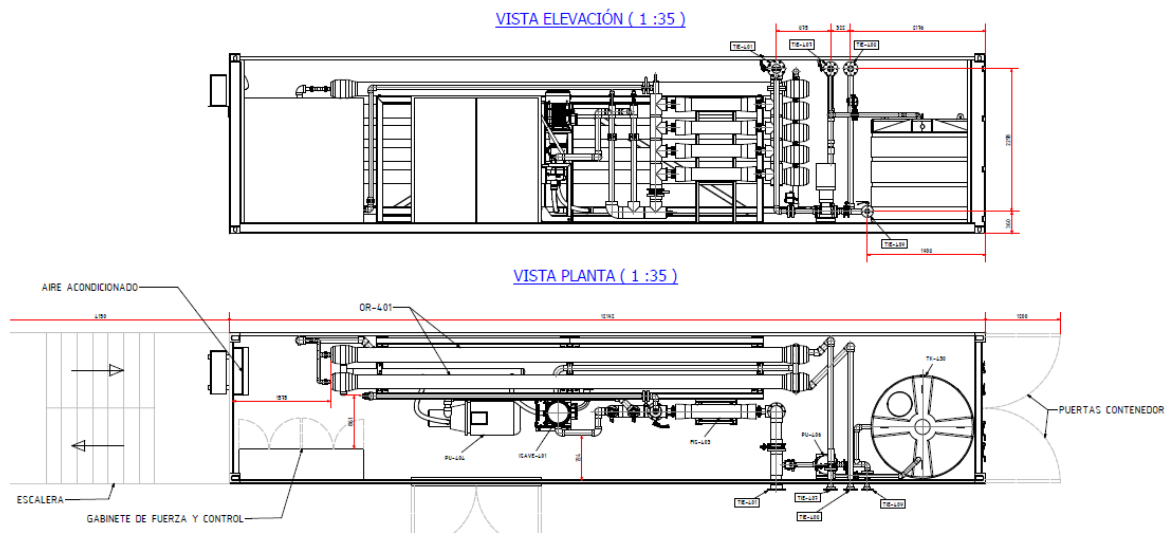
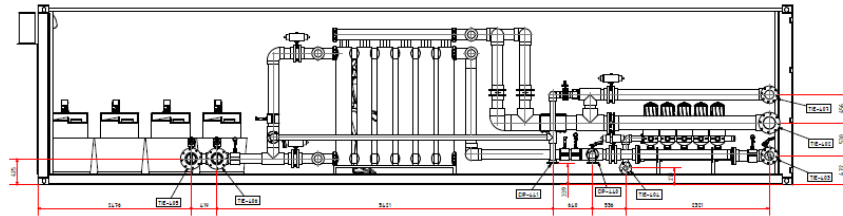


Figura 4. Contenedor I Fuente: Proyecto Planta desaladora GO (Entregada por la empresa)

DISPOSICIÓN EQUIPOS CONTENEDOR PISO N°2

VISTA ELEVACIÓN (1:35)



VISTA PLANTA (1:35)

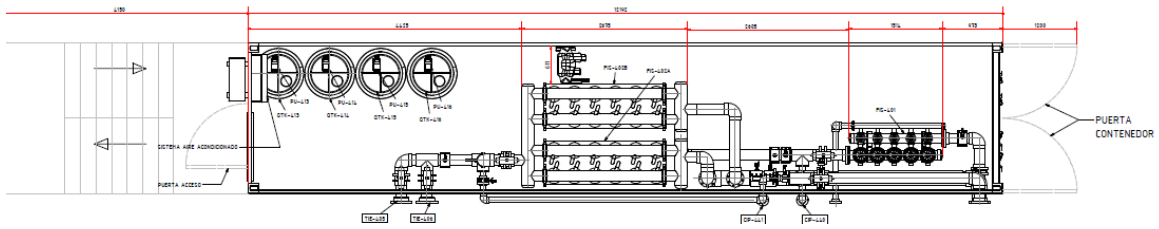


Figura 5. Contenedor II Fuente: Proyecto Planta desaladora GO (Entregada por la empresa)

Tabla IV: Presentación de ofertas y detalle GO Fuente Proyecto Planta desaladora GO
(Entregado por la empresa)

		Proveedor	
		Aquavant	Simtech
Instalación	N° Contenedores 40'	1	2
Agua	Caudal Producción (m ³ /d)	912	1000
	Cumple Calidad GO	Si	Si
Pretratamiento	Capacidad (m ³ /h)	84	104
	Material	PA o PP	PP
	Rango filtración (mm)	130	130
	Marca	Arkal	Bownt
Ultrafiltración	Capacidad (m ³ /h)	84	104
	Material	PVDF	Multibore®
	Rango filtración (mm)	0.03	0.02
	Área de filtración (m ²)	1232	720
Osmosis Inversa	Marca	DOW	INGE (DuPont)
	Bomba Alta Presión	Danfoss APP 43/1700	Danfoss APP 53/1500
	Capacidad bomba (m ³ /h)	42	42.8
	Materialidad	Super Duplex	Super Duplex
	Presión (barg)	70	58.7
	Recuperador de Energía	iSave 40 (Danfoss)	iSave 50 (Danfoss)
	Membranas por tubo	5	7
Control	Tubos	10	10
	PLC	AB (no especifica modelo)	Micrologix 1400 AB
	Pantalla	Táctil 22"	Táctil 15"
Energía	VDF	Powerflex AB	Powerflex AB
	Potencia Instalada (kW)	150	203.7
	Potencia Operación (kW)	No informa	144.9
	Potencia CEB(kW)		50.7
	Potencia CIP (kW)		29.9
Condiciones Comerciales	Consumo Específico (kWh/m ³)	2.52	3.03
	Valor Completo (US\$)	892,500	578,000
Condiciones Comerciales	Condición Entrega	Sobre camión Arica	Descargado en Arica
	Capacitación y Puesta en Marcha	Si	Si
	Pagos	40% con OC; 50% Ex-works y 10% a la Aceptación ó 45 días desde fecha de entrega	A convenir, puede ser pago posterior a la entrega
	Validez Oferta	45 días	15 días
	Plazo Entrega	120-180 días	235 días
	Garantía	1 año	1 año

8 ANEXO: AUTORIZACIÓN USO DE INFORMACIÓN



Arica, 06 de diciembre de 2023

Sr.

Agustín Hinrichsen E.

Presente

De mi consideración:

Por medio de la presente autorizo a Ud., el uso de imágenes y diagramas relacionados con nuestra planta de desalinización de agua de mar, para ser usada con fines académicos enmarcados en su trabajo de tesis.

Sin otro particular, saluda atentamente a Ud.

José Luis López C.

Gerente de Operaciones