

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DEL MAR PARA
INCREMENTAR NIVEL DE SERVICIO DE AGUA POTABLE EN
CIUDADES DEL LITORAL LAMBAYECANO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR

MARIA VALERIA GARCIA PERLA

ASESOR

MARIA RAQUEL MAXE MALCA

<https://orcid.org/0000-0002-5371-9241>

Chiclayo, 2021

**PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE AGUA DEL MAR
PARA INCREMENTAR NIVEL DE SERVICIO DE AGUA
POTABLE EN CIUDADES DEL LITORAL LAMBAYECANO**

PRESENTADA POR:

MARIA VALERIA GARCIA PERLA

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

APROBADA POR:

Lucio Antonio Llontop Mendoza

PRESIDENTE

Danny Adolfo Bustamante Sigueñas

SECRETARIO

Maria Raquel Maxe Malca

VOCAL

Dedicatoria

A mi ángel, que siempre estuvo presente, que me dio una nueva apreciación de la vida y siempre me recordaba lo orgullosa que estaba de mí. Por no tener la oportunidad de retribuirlo.

A mis padres, por su apoyo incondicional en mi formación profesional y personal. Por inculcar un ejemplo de esfuerzo y valentía ante las adversidades.

A mi familia, por estar a mi lado en todo momento motivándome a alcanzar mis metas, siempre con integridad y respeto.

Agradecimientos

A mi asesora, la Ing. María Raquel Maxe Malca, por su apoyo, motivación y preocupación por el desarrollo de la presente tesis.

A los ingenieros César Cama Peláez y Oscar Vásquez Gervasi por brindar su asesoría desinteresada para contribuir a la realización de este trabajo de investigación.

A Renato y Ana por su apoyo altruista en la ejecución del proyecto y preocuparse por el éxito de mi formación profesional.

Índice

Resumen	5
Abstract	6
Introducción.....	7
Revisión de literatura.....	8
Materiales y métodos	10
Resultados y discusión	11
Conclusiones	29
Recomendaciones	29
Referencias.....	30
Anexos	33

Resumen

La presente investigación propone la implementación de una planta desalinizadora de agua de mar para incrementar el nivel de servicio de agua potable de las ciudades del litoral de Lambayeque. El estudio de mercado analizó el comportamiento de la demanda y oferta, determinando la existencia de una demanda insatisfecha de 4 925 474 m³, a partir de la cual se estableció que la demanda del proyecto abarcará el 90% de esta, confirmando la viabilidad comercial del proyecto. Así mismo, se realizó un estudio de localización que determinó la ubicación de la planta, mediante la matriz de factores ponderados, entre los distritos de Pimentel y Santa Rosa. También se desarrolló el estudio de ingeniería que analizó la viabilidad tecnológica, mediante la descripción del proceso productivo y requerimiento de materia prima, maquinaria y mano de obra para la producción de agua potable para una capacidad de 17 049,7 m³/día. El diseño de planta se realizó a través de dos metodologías: Guerchet y Systematic Layout Planning. Finalmente, al analizar la viabilidad económica y financiera se obtuvo un VAN de S/ 4 505 045,24 y una tasa interna de retorno de 23% mayor al TMAR global de 16%, considerando viable el proyecto. Además, se obtiene un beneficio del 29% por cada sol invertido, en un tiempo de retorno de 3 años y 4 meses.

Palabras claves: Agua de mar, Desalinización, Ósmosis inversa, Agua potable.

Abstract

This research proposes the implementation of a seawater desalination plant to increase the service level of drinking water in the cities of the Lambayeque coast. The market study analyzed the behavior of the demand and supply, determining the existence of an unsatisfied demand of 4 925 474 m³, from which it was established that the demand of the project will cover 90% of this one, confirming the commercial viability of the project. Also, a location study was carried out that determined the location of the plant, by means of the matrix of weighted factors, between the districts of Pimentel and Santa Rosa. An engineering study was also developed that analyzed the technological viability, through the description of the productive process and the requirement of raw material, machinery, and labor to produce drinking water for a capacity of 17 049.7 m³/day. The plant design was carried out through two methodologies: Guerchet and Systematic Layout Planning. Finally, when analyzing the economic and financial viability, a NPV of S/. 4 505 045,24 was obtained and an internal rate of return of 23% higher than the global MARR of 16%, considering the project is viable. In addition, a benefit of 29% for each sol invested was obtained, in a return time of 3 years and 4 months.

Keywords: Seawater, Desalination, Reverse osmosis, Drinking water

Introducción

Los recursos naturales son indispensables para la subsistencia de la vida en el planeta. A lo largo de los años la escasez hídrica se ha convertido en un tema muy controversial, a menudo se escucha cómo distintos países del mundo sufren la falta de este recurso, que trae como consecuencia dificultades orientadas al desarrollo humano. Sin embargo, el problema con el recurso hídrico es la falta de disponibilidad equitativa en el tiempo y espacio, mientras que en ciertas temporadas abunda, en otras se sufre de sequías [1].

El Perú, gracias a sus características geográficas, es un país que no presenta escasez física del agua. No obstante, el problema está orientado a su distribución, la mayor parte del recurso se encuentra en el oriente del país, mientras que la gran masa de población en la costa. La costa almacena aproximadamente el 1,8 % del total de agua dulce disponible en el país [2]. Este porcentaje equivale a un promedio de 1 500 millones m³ de agua los cuales no son destinados en su totalidad para el consumo humano. El 66% es destinado para el uso agrícola, y el 24% para la población [3].

El departamento de Lambayeque está ubicado al noroccidente del Perú, limitado con el Mar Peruano. Cuenta con 2 plantas de tratamiento de aguas fluviales para la transformación de agua potable, ubicadas en los distritos de Chiclayo y Lambayeque, sin embargo, el agua producida no es suficiente para abastecer a toda la población. En este sentido ciertas comunidades optaron por la extracción de aguas subterráneas, como es el caso de los distritos de Santa Rosa, San José, Pimentel y Puerto Eten situados en el litoral lambayecano. No obstante, la ubicación de estos distritos no es un factor favorable para este tipo de abastecimiento, pues son zonas áridas y cercanas al mar; razón por la cual el suministro de agua es limitado.

En el distrito de Pimentel los registros de los años 2017 y 2018 presentan una demanda insatisfecha de más de 1 000 m³ de agua anuales. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) una persona consume en promedio 100 litros al día, mientras que la empresa Sedapal afirma que el peruano promedio consume 163 litros como máximo al día [4]. Sin embargo, en los distritos de Puerto Eten, Pimentel, Santa Rosa y San José el consumo per cápita es de 140, 97, 44 y 17 litros respectivamente, pues los pobladores están limitados a consumir una cantidad inferior a la estimada, debido al bajo suministro ofrecido por la empresa prestadora de servicios [5].

El suministro de agua potable de estas ciudades representa un factor limitante para el desarrollo socioeconómico, pues el escaso abastecimiento limita las actividades de la población. Además, la cantidad de habitantes se incrementará con el transcurso de los años, por consiguiente, aumentará la demanda de agua, y se podría generar un estrés hídrico de las fuentes de abastecimiento, empeorando la situación. Una fuente con mayor capacidad que los pozos tubulares es el mar, que a través del método de desalinización se obtiene agua potable. Al ser una fuente inagotable permitirá el abastecimiento continuo del recurso, satisfaciendo las necesidades actuales y futuras de este. Además, las tecnologías empleadas en las plantas desalinizadoras a lo largo de los años han evolucionado y se han refinado, logrando así un funcionamiento mucho más eficiente.

Frente a esta problemática, surge la interrogante ¿Cómo aprovechar el agua de mar para incrementar el nivel de servicio de agua potable en las ciudades del litoral de Lambayeque? Esta investigación tiene por finalidad diseñar una planta desalinizadora de agua de mar para incrementar el nivel de servicio de agua potable de las ciudades del litoral de Lambayeque. Para desarrollar de este primer objetivo, se plantearon como objetivos específicos identificar la

demanda insatisfecha del agua potable de las ciudades del litoral de Lambayeque, elaborar una propuesta de diseño de ingeniería de una planta de desalinización y evaluar la inversión requerida para el equipamiento de la planta desalinizadora de agua de mar.

Revisión de literatura

La desalinización es un proceso que consiste en eliminar la sal de aguas salobres con el fin de obtener agua dulce o en muchos casos agua potable [6]. Cabe señalar que el agua potable es aquel suministro de agua que puede ser consumido sin ningún tipo de restricción por el hombre, debido a que cumple con los estándares de calidad establecidos por las autoridades, y por lo tanto no resulta perjudicial ante la salud de las personas [7]. Incluso algunas entidades como la Asamblea General de las Naciones Unidas establecieron que todo ser humano tiene derecho de acceso al agua y saneamiento [8].

Calidad de agua permeada

Idrees [9] en su investigación establece las características de los parámetros del agua permeada o producto del proceso de desalinización por el método de ósmosis inversa, a fin de determinar la capacidad del proceso para obtener agua apta para el consumo (ver tabla 1). Además, indica que la calidad del agua permeada está supeditada a la fuente de captación, así como el rendimiento del proceso a factores como la presión y concentración de sales del agua de mar.

Tabla 1. Caracterización de agua permeada

Requerimiento	Parámetro	Agua de mar	Agua permeada	Unidad
Organoléptico	Olor	Inodoro	Inodoro	-
	Sabor	Salada	Dulce	-
	Color	BDL	BDL	UCV
	pH	7,64	6,56	-
	Sólidos totales disueltos	738	16,75	mg/L
	Cloruros	38,28	7,65	mg/L
	Sulfatos	289	8	mg/L
Microbiológico	Dureza total	215,6	12,32	mg CaCO ₃ /L
	Bacterias coliformes, termotolerantes o fecales, E. Coli	11	0	UFC

Fuente: Elaboración propia. En base a Idrees 2020

Desalinización de agua de mar

La tecnología de desalinización de agua de mar lleva muchos años en la industria, por lo cual ha sido perfeccionada a lo largo del tiempo, con objetivo de cada vez obtener procesos más eficientes. El método desarrollado inicialmente fue la destilación, la cual consiste en elevar la temperatura del agua hasta llegar al punto de ebullición, para separar la sal del agua. La primera queda en estado sólido mientras que la segunda en estado gaseoso. Posteriormente el vapor de agua debe pasar por un proceso de condensación para obtener el agua dulce [10]. No obstante, muchos casos descartan este método debido a que requiere un alto costo en combustible para evaporar el agua. Sin embargo, por la naturaleza del proceso es fácil de complementarlo con la aplicación de energías renovables, tales como la energía solar [11].

La desalinización mediante destilación solar según Castañeda [12], es uno de los procesos más convenientes debido a que hace uso de energías renovables. Asimismo, determina que el rendimiento del proceso genere 0,98 L por cada litro de agua de mar que ingrese al proceso. Esta tecnología puede ser mejorada, pues según la investigación de Saettone y Valencia [13] al acoplar un colector solar a los destiladores solares se incrementa la eficiencia del equipo en un 45,8%. Sin embargo, esta tecnología no es desarrollada a nivel industrial por lo que la capacidad de producción está limitada a las horas de radiación solar, así como los factores climáticos de la zona donde estén ubicados.

El método más empleado y avanzado para aplicar este proceso es por ósmosis inversa (OI), a pesar de ser uno de los métodos más caros de implementación, 60% por encima de los demás [6]. Crittenden, Trussell, Hand, Howe y Tchobanoglous [14] indican que el proceso de ósmosis inversa consiste en separar una solución mediante el uso de una membrana semipermeable. Se ejerce una fuerza de empuje a una solución con alta concentración de sólidos disueltos que sea superior a la presión osmótica, de tal manera que de un lado de la membrana se retiene la solución concentrada y se obtiene la solución diluida (permeada). Jareño [15] indica que el proceso de desalinización de agua de mar inicia desde la captación de agua de mar, y sugiere que esta sea desde una toma abierta con una velocidad de 20 m/s de succión, posterior a ello indica que se requiere un proceso de pretratamiento dividido en dos partes químico y físico; el químico consiste en emplear un cloruro férrico (FeCl_3) como coagulante, el hipoclorito sódico (NaClO) como desinfectante y reductores (bisulfito sódico); el físico consiste en el filtrado de anillos capaz de retener partículas minerales entre 100-200 μm proceso ejercido a 8 bar; la ultrafiltración se encarga de eliminar partículas de 5 micras con una duración aproximada de 1 min; opcionalmente se puede implementar un filtrado de caucho a fin de proteger las membranas OI; ósmosis inversa tiene un rendimiento del 60% y considerar que la temperatura adecuada es a 25° C y finalmente el proceso remineralización para potabilizar el agua permeada.

La calidad de agua potable obtenida del proceso de desalinización depende de la fuente de extracción, que a la vez determina de la calidad del agua bruta donde sus principales factores determinantes son el pH y salinidad; existen diversos sistemas de captación los cuales se adaptan a la tecnología empleada y calidad de las plantas [16]. Los sistemas de captación se dividen en dos grandes grupos, abiertos y cerrados, Orostizaga [17] evaluó 3 tipos, un sistema abierto sumergido y dos sistemas cerrados, mediante norias y pozo radial. Este último presentaría las mejores condiciones para implementarse, resulta invulnerable ante los cambios de corrientes o mareas, evita el contacto directo con la vida marina y la calidad de agua está libre de contaminantes del exterior. El costo de construcción de un pozo radial con un caudal de 500 L/s es de aproximadamente S/. 4 090 y requiere de una profundidad de 30 m. Además, al implementar un pozo de captación el pretratamiento químico se descarta del proceso de desalinización.

Remineralización

El agua del permeado no es directamente apta para el consumo humano, por tal motivo se debe realizar un proceso de remineralización, el cual consiste en ajustar los parámetros de agua producto tales como la dureza, alcalinidad y pH. Ghali *et al.* [18] analiza los diversos métodos remineralización mediante cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) con CO_2 , cloruro de calcio con bicarbonato de calcio y lechos de calcita. Indica que el proceso mediante lechos de calcita es 53 y 84% más barato que los mencionados previamente respectivamente, además este debe ser dosificado en 80 g/m^3 . El proceso consiste en inyectar el agua permeada por la parte inferior para que esta fluya de manera ascendente, el cual requiere de un tiempo de reacción de 7 min. Jareño [15, p. 97] indica que la dosis de CO_2 requerida para equilibrar el pH es de 35,2 mg/L , esto es aplicable

para valores de pH por debajo de 6, y respecto a la dureza del agua indica que la dosis adecuada de carbonato de calcio es 80 mg/L.

Descarga de salmuera

El agua de descarte del proceso de desalinización contiene una elevada concentración de sales, Zarzo [19] indica que la mayoría de las plantas desalinizadoras de agua de mar optan por valorizar la salmuera, mediante un sistema de recuperación de energía. Casos de estudio demuestran que es capaz de presentar un ahorro de energía superior del 30% y este depende del flujo de descarga. Stover [20] propuso el uso de un intercambiador de presión para la recuperación de energía, el cual utiliza la presión y flujo de salida de salmuera. Determinó que este sistema es capaz de recuperar un 57% de la energía consumida por el sistema de ósmosis inversa; sin embargo, luego de pasar por el intercambiador de presión la salmuera debe ser destinada al mar. Chariasiadis [21] determinó que la inyección de salmuera a pozos profundos presenta una baja probabilidad de generar impactos negativos al medio ambiente, convenientes para el gran flujo de descarga de las plantas desalinizadoras y estima que el costo de construcción es de S/ 9 872 442,30.

Materiales y métodos

Estudio de mercado. Se realizó con el objetivo de establecer la demanda del proyecto; se evaluó el producto, la zona de influencia, demanda y oferta del agua potable. La actual demanda representa un consumo limitado por el horario de abastecimiento. Por ende, la proyección de la demanda se realizó con el consumo per cápita y tasa de crecimiento poblacional. Los datos históricos de la oferta son variables, sin embargo, presentan una tendencia, por ello se empleó el método de proyección de suavizamiento exponencial doble. Ambos datos, oferta y demanda, fueron proyectados 6 años a partir del año de ejecución del proyecto.

La localización de planta. Se desarrolló con el objetivo de establecer la ubicación óptima que permita obtener el mejor beneficio económico. Para la selección de macro localización y micro localización se empleó el método de factores ponderados. Se analizaron factores como la proximidad del mercado consumidor, condiciones climáticas, vías de acceso y comunicación, entre otras. Una matriz de enfrentamiento determinó la importancia de cada factor.

Ingeniería y tecnología. El plan de producción se estableció acorde a la demanda del proyecto previamente especificada. Se determinó los requerimientos de materiales e insumos, en este caso cantidad de agua de mar y carbonato de calcio; y se describió el proceso de desalinización del agua marina, así como el balance de materia. Además, se determinó la capacidad real, capacidad de diseño y otros indicadores de producción. En base a ello se buscó la tecnología acorde a las especificaciones establecidas; y la selección de esta se realizó mediante una matriz de ponderación que evaluó factores como marca, proveedor, material, precio y capacidad.

Diseño y distribución de planta. El requerimiento de las áreas se estableció mediante el método Guerchet considerando las maquinarias y equipos previamente establecidos. La distribución se determinó mediante el Systematic Layout Planning (SLP) para evitar recorridos innecesarios, contaminación cruzada o algún otro conveniente que afecte el proceso productivo.

La organización y recursos humanos. Tiene por objetivo facilitar la coordinación de los recursos requeridos según las áreas establecidas. A fin de asegurar y garantizar el alcance de la

máxima eficiencia se determinó los requerimientos de puestos solicitados para el correcto funcionamiento de proyecto. Además, se estableció las políticas de compra y venta.

Evaluación económica-financiera. Se determinó y estableció la inversión requerida para la ejecución del proyecto, tales como mano de obra, materiales directos e indirectos, y gastos comerciales, administrativos y financieros. La evaluación económica financiera se realizó a fin de establecer la viabilidad del proyecto teniendo en cuenta la tasa de rentabilidad, el beneficio obtenido por la inversión y la relación costo-beneficio.

Resultados y discusión

Estudio de mercado

El producto en base al cual se realizó el estudio de mercado es el agua potable, para el cual se consideraron factores como las características, la zona de influencia, oferta, demanda y precio, en base a ello se estableció el plan de ventas. El agua potable se considera a todo aquel suministro de agua que puede ser consumido sin ningún tipo de restricción por el hombre, debido a que sus parámetros están dentro de los estándares de calidad, y en este sentido la salud de las personas no resulta afectada [22].

Se analizó el producto actual en el mercado, es decir el agua potable actualmente suministrada a las ciudades de Santa Rosa, Puerto Eten, San José y Pimentel a fin de conocer sus características, se determinó que los valores de sus parámetros son muy variables, como es el caso del color que son 5, 4, 3 y 3 unidad de color verdadero (UCV) respectivamente; la turbiedad 0,71, 0,36, 0,58, y 0,91; el pH que varía desde 7,51 a 8,12 [23]. Esto se debe a que la calidad del agua obtenida está ligada a la fuente de extracción, así como al tratamiento que sea sometida.

En tal sentido, el agua potable es un producto que sus parámetros de calidad varían como se ha mencionado anteriormente. El Ministerio de Salud (MINSAL) establece los límites máximos permisibles que debe contener el producto para ser apta para el consumo humano, menciona los requerimientos organolépticos, químicos y microbiológicos (ver tabla 2).

Se conoce que el agua no posee fecha de caducidades establecida, no obstante, al estar expuesta al ambiente se vuelve muy susceptible a ser invadida por todo tipo de microorganismos, claramente no recomendables para consumir. Zahumenszky [24] indica para extender el tiempo de vida útil es importante tener en cuenta la exposición de esta al ambiente y el almacenamiento, recomendable a una temperatura de 1 a 10°C.

Para el área geográfica del proyecto se consideró a las ciudades del litoral de Lambayeque, pues al igual que la mayoría de las comunidades, presentan una tendencia creciente en el consumo de agua potable. Esta variable se ve influenciada por el crecimiento poblacional que en los últimos años se ha incrementado [25]. Sin embargo, el suministro de agua está limitado por dos factores, el primero es que debido a su ubicación geográfica de las zonas no existe la cantidad suficiente de aguas subterráneas para abastecer la necesidad de toda la población, y que el mercado es un monopolio, pues la única empresa encargada de este suministro es Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque S.A. (EPSEL).

En este marco, se estableció que el actual consumo de agua está limitado por el horario de abastecimiento, correspondiente a 4 o 5 horas al día, por lo tanto, esto se entiende como una demanda limitada. El consumo de las poblaciones sería mayor si se le suministrara más agua;

se tomó como base el consumo promedio per cápita de la población de Chiclayo que es $67,5 \text{ m}^3$ anuales. El consumo promedio sirve como referencia para ejecutar el cálculo de la demanda si se abasteciera la misma cantidad de horas al día. En este sentido se requiere conocer la cantidad de habitantes actualmente, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) [26] según los censos del 2007 y 2017 indica la cantidad de habitantes de cada distrito, datos con los cuales se calculó la tasa de crecimiento poblacional de cada ciudad; la ciudad que presenta la mayor tasa de crecimiento es Pimentel (3,27 %), seguido por San José (2,75 %), Santa Rosa (1,2 %) y finalmente Puerto Eten (0,46 %).

Tabla 2. Requerimientos de calidad de agua potable

Requerimiento	Parámetro	Valor	Unidad
Organoléptico	Olor	Aceptable	-
	Color	Aceptable	-
	Sabor	≤ 15	UCV
	pH	6,5 - 8,5	-
	Turbiedad	≤ 5	UNT
	Solidos totales disueltos	$\leq 1\ 000$	mg/L
	Cloruros	≥ 250	mg/L
	Sulfatos	≥ 250	mg/L
	Dureza total	≥ 500	mg CaCO_3/L
	Hierro	$\geq 0,3$	mg/L
	Sodio	≥ 200	mg/L
	Manganeso	$\geq 0,4$	mg/L
	Químico	Flúor	$\geq 1\ 000$
Plomo		$\geq 0,01$	mg/L
Arsénico		$\geq 0,01$	mg/L
Microbiológico	Bacterias coliformes, termotolerantes o fecales, E. Coli	0	UFC

Fuente: Elaboración propia. En base a Ministerio de Salud 2011

La tasa de crecimiento poblacional es aproximadamente 2,69 % y asumiendo el consumo promedio de $67,5 \text{ m}^3$ se determinó la proyección de la demanda. Además, a fin de realizar un cálculo más sencillo se consideró proyectar la demanda en conjunto de las 4 ciudades del litoral a partir del año 2022, debido a que en este año se estima el desarrollo del proyecto. Para el año 2027 se estima que la población será aproximadamente 97 975 habitantes y, por ende, la demanda de agua potable se incrementará, alcanzando un valor de $6\ 610\ 341 \text{ m}^3$ anuales.

El suministro de agua potable está a cargo de la empresa EPSEL, y para el año 2019 la oferta de agua potable incrementó a $1\ 520\ 479 \text{ m}^3$ [5]. Se determinó que para el año 2027 la oferta de agua potable será de $1\ 684\ 867 \text{ m}^3$ al año indicando un crecimiento, sin embargo, a comparación de la demanda se generaría una demanda insatisfecha de aproximadamente un 74% equivalente a $4\ 925\ 474 \text{ m}^3$. En este sentido se pretende abarcar un 90% de esta demanda debido a la gran disponibilidad de materia prima (agua de mar) y la tecnología existente permite la producción de hasta 6,5 millones de $\text{m}^3/\text{día}$ [27].

El plan de ventas se realizó en base a precio de venta del agua potable, según datos históricos en el año 2012 tuvo un valor de 1,57 soles mientras que en el año 2018 ascendió a la suma de 2,53 soles. Por lo tanto, se estima que para el año 2027 el precio de venta sería S/. 3,47 por

metro cúbico de agua potable. Este monto parece bastante excesivo, motivo por el cual se establece que el precio de venta tendrá un valor constante de S/. 2,99 tal y como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Plan de ventas

Año	Demanda del proyecto (m ³ /año)	Precio de venta (S/. /m ³)	Total de ingresos (S/. /año)
2022	3 784 856	2,99	11 308 299
2023	3 906 729	2,99	11 681 120
2024	4 032 370	2,99	12 056 787
2025	4 161 880	2,99	12 444 022
2026	4 295 363	2,99	12 843 137
2027	4 432 926	2,99	13 254 450

Fuente: Elaboración propia

La distribución del producto será mediante canal directo, el agua potable no es un producto que se comercializa como la mayoría a los que el mercado está acostumbrado, este debe ser llevado hasta el usuario. Por tal motivo se hará uso de la red de distribución pues es por donde se abastece de agua a la población.

Localización de planta

La ubicación de la planta en muchos de los casos está directamente relacionada con el éxito o fracaso del proyecto. En tal sentido se realizó un análisis a nivel de macro y micro localización, donde los factores de mayor importancia son la disponibilidad de materia, vías de acceso y condiciones de vida. A nivel macro se enfrentaron las provincias de Lambayeque y Chiclayo, debido a que solo estas tienen frontera con el mar peruano (fuente de captación de materia prima), siendo Chiclayo la seleccionada. Posteriormente, en el análisis micro se evaluaron los factos previamente mencionados, y se añadió ella disponibilidad de los servicios básicos (luz y agua); se evaluaron y calificaron tres localidades Puerto Eten, Santa Rosa y Pimentel. La ubicación acorde a las características requeridas fue Pimentel, sin embargo, la planta requiere de un área intangible por tal motivo la zona seleccionada está alejada del sector urbano, motivo por el cual se selecciona el área geográfica ubicada entre Pimentel y Santa Rosa a una distancia aproximada de 2,5 km de Pimentel (ver figura 1).

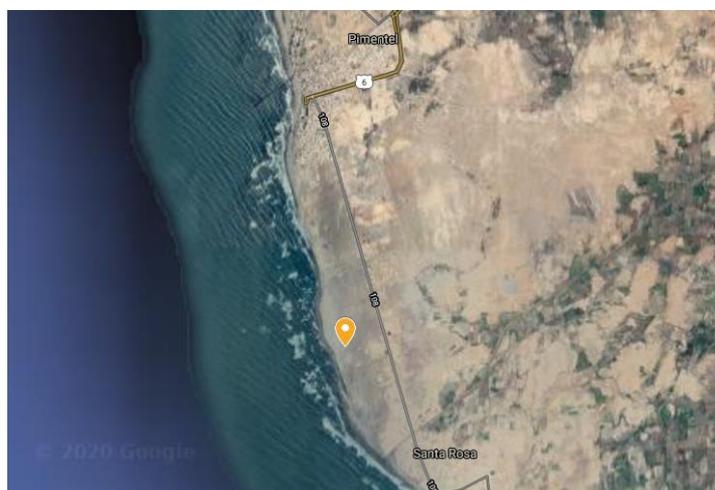


Figura 1. Ubicación de planta desalinizadora de agua de mar

Fuente: Google Earth 2020

Ingeniería y tecnología

La materia prima requerida para la producción de agua potable en este caso es el agua de mar, la cual es un recurso inagotable y está disponible en toda época. Además, como tal no presenta un costo, sin embargo, según la Ley general de agua, en el artículo 28 de la ley 17752 indica que para hacer uso del recurso se debe solicitar un permiso de utilización el cual será otorgado por la autoridad competente [28]. Los requerimientos de materiales se realizan acorde al plan de venta y al índice de consumo de los materiales, en este caso la unidad de venta es 1 metro cúbico; en tal sentido, se requiere 1,67 m³ de agua de mar, carbonato de calcio en proporción de 0,08 kg/m³ e hipoclorito de calcio en una proporción de 0,002 kg/m³ para la obtención de una unidad de venta.

Tabla 4. Requerimiento de materiales

Materiales	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año
Directos						
Agua de mar	6 371 708	6 576 879	6 788 392	7 006 419	7 231 135	7 462 718
Indirectos						
Carbonato de calcio	302 788	312 538	322 590	332 950	343 629	354 634
Hipoclorito de calcio	7 570	7 813	8 065	8 324	8 591	8 866
Total	6 682 066	6 897 231	7 119 047	7 347 693	7 583 354	7 826 218

Fuente: Elaboración propia

Para establecer la tecnología requerida para la producción de agua potable es necesario describir el proceso productivo.

Captación: El proceso inicia desde la captación del agua de mar, en este caso el sistema de captación idóneo es mediante un pozo radial, debido a que la calidad del agua no resulta afectada por factores externos del mar como vida marina, objetos flotantes y las condiciones hidrodinámicas (mareas, corrientes, etc.). Este debe estar ubicado a una distancia de 90 metros del mar y tener una profundidad de 30 metros, para obtener un caudal de 500 l/s [17].

Filtrado: El agua captada pasa por un pretratamiento físico, que se realiza en un filtrado de anillos que permite retener partículas de menor tamaño de origen mineral, en promedio de 30 µm. Es importante separar estas partículas de mayor tamaño a fin iniciar con el proceso de purificación del agua descartando un 0,5%, y evitar los posibles daños a equipos de la etapa posterior [29]. En este sentido, el agua debe pasar por una segunda etapa de filtración en la cual se eliminan partículas que aun contiene el agua.

Ultrafiltración: Es el tratamiento previo a la ósmosis inversa, el objetivo de esta etapa es eliminar o retener materia en suspensión mayor a 5 micras. Esto se debe a que estas partículas podrían dañar o afectar el rendimiento de las membranas de OI. Además, en esta etapa del proceso se emplean membranas porosas de polisulfona, a través de la cuales el agua fluye desde el interior hasta el exterior, reteniendo contaminantes y partículas equivalentes al 0,2% [29].

Ósmosis inversa: Se separan las sales disueltas, el agua atraviesa las membranas semipermeables a una alta presión mayor a la presión osmótica reteniendo salmuera y obteniendo un agua de pureza considerable. Este proceso tiene un 40% de rechazo, conocido como salmuera. Además, la temperatura ideal de procesamiento es de 25 °C. El proceso se realiza en un total de 10 trenes, lo cuales tienen un flujo de entrada de 200 m³/h cada uno aproximadamente [15].

Remineralización: El agua permeada aun no es apta para el consumo humano, debido a que sus parámetros de calidad aún no están dentro de los límites establecidos. Por tal motivo, se realiza una remineralización en lechos de calcita. En la mayoría de los casos para equilibrar el pH se hace uso de CO_2 , y a su vez se adiciona carbonato de calcio (CaCO_3) para ajustar los parámetros de dureza. Estos son adicionados según la siguiente proporción: 80 mg CaCO_3/L y 35,2 mg CO_2/L , sin embargo, el uso de CO_2 no es necesario debido a que el agua proveniente de la etapa de ósmosis inversa posee el valor de pH de 6,16 [18]. Además, según el Reglamento de la calidad del agua para el consumo humano establece que el agua debe contener un mínimo de cloro residual de 0,5 mg/L [30]. Por lo tanto, se le adiciona hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) en una dosis de 2 mg/L a fin de evitar una contaminación microbiológica o bacteriana en el agua [31].

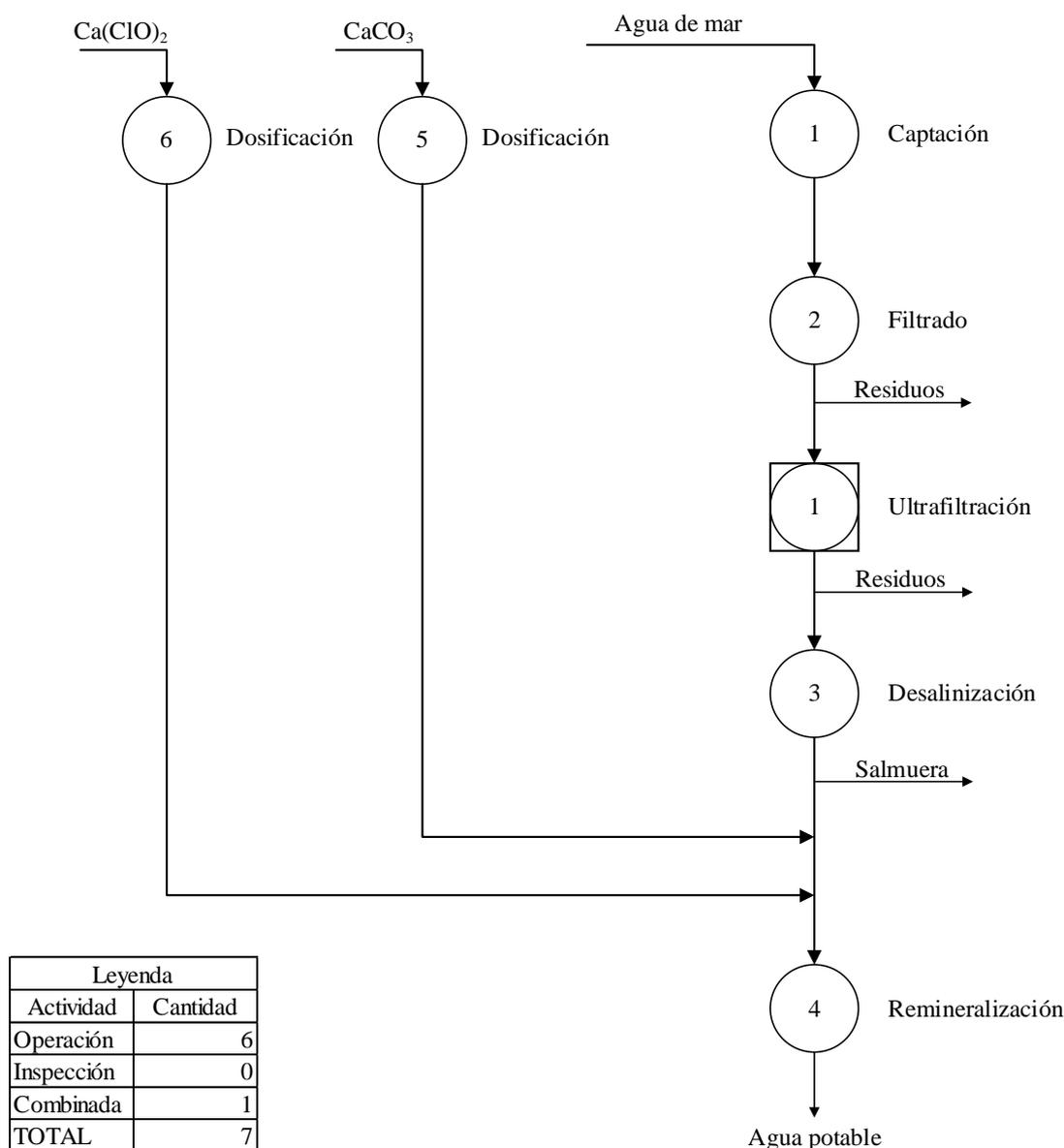


Figura 2. Diagrama de operaciones

Fuente: Elaboración propia. En base a Tamina 2018, Jareño 2018, Ghali *et al* 2020

Por otra parte, Colomina [32] indica que el método de captación idóneo es mediante un inmisario submarino, el cual emplea una torre de captación, punto desde el cual será transportada el agua de mar hasta la planta. Además, indica que el rendimiento del proceso de

ósmosis inversa es de 45%. Pero, al igual que la presente investigación indica que el agua del permeado requiere de un proceso de remineralización y acorde a sus características requiere de una dosificación de 80 g/m^3 de carbonato de calcio, y en este caso se requiere de una dosificación de CO_2 de $35,2 \text{ g/m}^3$. Daza y Hernández [33] coincide en el método de captación y sugiere la implementación de una toma abierta, sin embargo, en ambos casos requiere de un tratamiento químico previo a los físicos, los cuales consisten en la coagulación y desinfección con oxidantes. Motivo por el cual en el presente proyecto se sugiere la implementación de una toma cerrada para evitar la implementación de este pretratamiento químico.

El balance de materia se describió en la figura 3 a fin de establecer las dimensiones y características de la maquinaria requerida para el desarrollo del proceso. Se realizó en base a los requerimientos de producción de $1\,065,6 \text{ m}^3$ por hora (en toneladas).

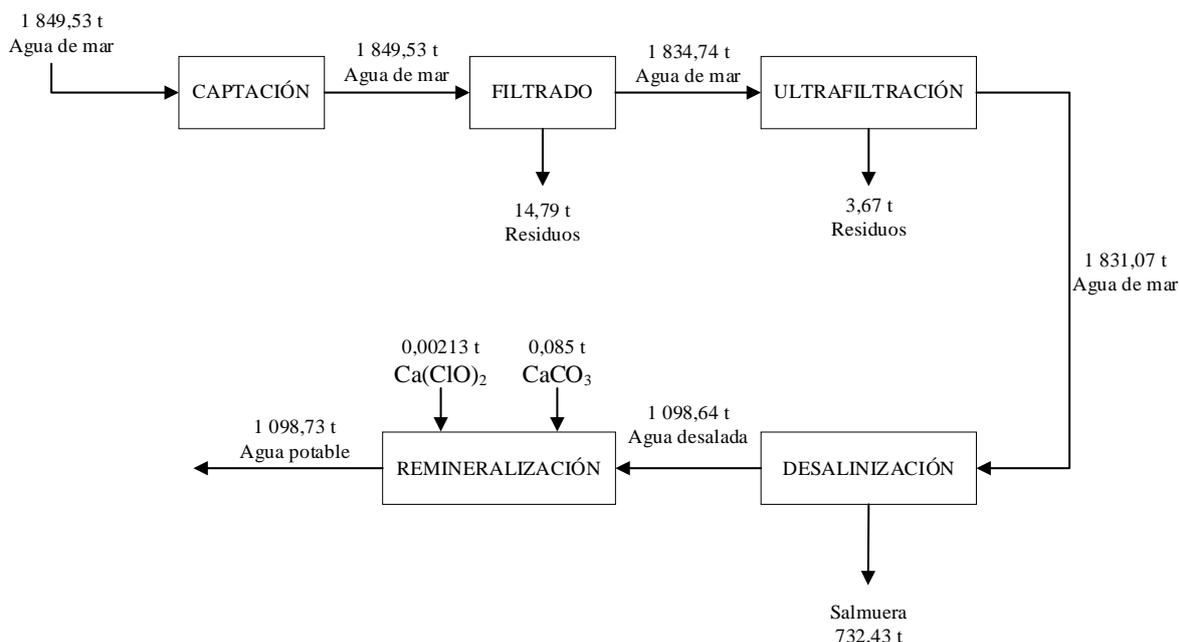


Figura 3. Balance de materia de proceso de desalinización de agua de mar

Fuente: Elaboración propia. En base a Tamina 2018, Jareño 2018, Ghali *et al* 2020

La mayoría de las plantas desalinizadoras optan por valorizar la salmuera como fuente de un sistema de recuperación de la energía requerida en el sistema de ósmosis inversa. Este sistema consiste en aprovechar el flujo de descarga para generar energía mediante el intercambio de presión de dos corrientes, la corriente de entrada de agua de mar y la corriente de salida, esto en una cámara isobárica. Como se mencionó, la etapa de ósmosis inversa se realiza en 10 trenes de membranas, cada una presenta un flujo de descarga de aproximadamente $80 \text{ m}^3/\text{h}$. El intercambiador de presión emplea un sistema rotativo, dentro se encuentran cámaras que al ingresar la salmuera ejerciendo una fuerza de presión genera que el cilindro gire, de tal manera que esa energía mecánica se convierta en energía eléctrica, permitiendo recuperar el 57% de la energía consumida en el sistema de OI [20]. Lora, López, Cardona, Fombuena y Carbonell [34] en su investigación también indica que mediante la implementación de un intercambiador de presión con los flujos de entrada (agua bruta) y salida (salmuera) del sistema de ósmosis inversa se puede recuperar energía consumida, indica que a menor capacidad de conversión de las membranas mayor será la descarga de salmuera, pero muy inferior al flujo de entrada, reduciendo la recuperación de energía a solo 36%.

En la figura 4 el intercambiador de presión está representado por el nombre de PX-Q 220, las líneas azules indican el flujo del agua de mar, que ingresa tanto a las membranas de ósmosis inversa como al intercambiador de presión; a la corriente de salida del agua de mar se debe incorporar una bomba booster para igualar al flujo de entrada requerido por el sistema de ósmosis inversa. El flujo de salida del sistema OI se divide en el agua permeada (amarillo) y de salmuera (verde). La salmuera ingresa al sistema de recuperación de energía para realizar el trabajo mecánico dentro del intercambiador de presión y luego este flujo es destinado al pozo de inyección.

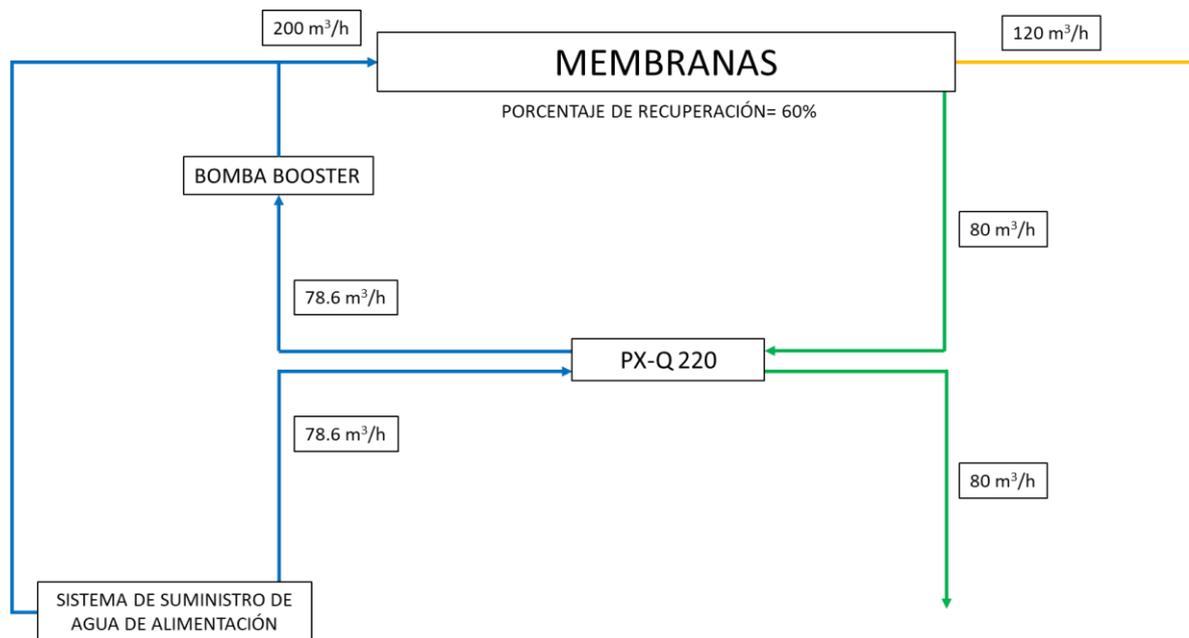


Figura 4. Sistema de recuperación de energía

Fuente: Elaboración propia. En base a Energy Recovery 2020

La capacidad diseñada es la máxima cantidad de producción para un proceso. Por tal motivo, el presente proyecto considera la capacidad de producción del año 2027 ya que esta es la más alta donde se llegará a producir 4 432 926 m³/año. En este proyecto se considera laborales 26 días/mes, los 12 meses/año; en tal sentido la capacidad de diseño será de 17 049,7 m³/día. Sin embargo, es preciso el cálculo de la capacidad real de la planta, que es determinada por el primer año de proyección el cual es 3 784 856 m³/año; y acorde a los mismos datos laborales se estableció que sería 14 557,1 m³/día. La relación entre ambos datos se establece como la capacidad utilizada, en este caso tiene un valor del 85,38%. La productividad se calcula en base a la relación entre la cantidad de agua potable producida (1 066 m³) y la materia prima (agua de mar) empleados para su producción (1 794 m³), se estableció un valor de 59,4%.

Para proceder al cálculo de otros indicadores como tiempo de ciclo, número de estaciones y eficiencia. Se requiere conocer las especificaciones de la maquinaria a emplear, por tal motivo se seleccionó la maquinaria acorde a cada etapa del proceso productivo. La selección de la tecnología estuvo ligada a ciertas características de estas como el aspecto económico, capacidad, consumo energético, tamaño, material y proveedor, mencionados por orden de importancia, siendo los primero los más importantes. El tiempo de ciclo se estableció acorde a la tecnología seleccionada, y se determinó de la suma de cada tiempo de ciclo individual de cada etapa, este valor total es de 0,20 min/m³ de agua potable.

Así mismo se establece que la cantidad de estaciones requeridas según el tiempo de ciclo y el cuello de botella ($0,06 \text{ min/m}^3$) es de 4 estaciones de trabajo como mínimo. Acorde a los datos mencionados se establece que la eficiencia con la que trabaja la planta desalinizadora es 87,8%. Cabe resaltar, que también se calculó la mano de obra requerida como mínimo, en este caso fue de 3 operarios. Sin embargo, a fin de evitar la saturación de los operarios, se estable que lo más recomendable es la asignación de un operario a cada estación por lo tanto se estableció el requerimiento de 4 operarios. En la tabla 5 se detallan los datos previamente mencionados además de los requerimientos de energía, que ascienden a 2 621 kWh, las maquinarias trabajan durante dos turnos laborales de 8 horas cada uno. Pero la energía del intercambiador de presión no se considera como un requerimiento porque esa es la potencia que produce.

Tabla 5. Maquinaria requerida en proceso productivo

Máquina	Tiempo de ciclo (min/m ³)	Capacidad (m ³ /h)	Potencia (kW)
Bomba captación	0,025	2400	160
Filtrado	0,031	640	50
Ultrafiltración	0,03	2000	70
Desalinización	0,05	1100	2291
Remineralización	0,06	267,5	50
Intercambiador de presión	-	-	1306

Fuente: Elaboración propia. En base a Alibaba, Veolia, DrinTec, Energy Recovery

Diseño y distribución de planta

La planta desalinizadora se planteó en una distribución con enfoque en el producto. La materia prima, el agua de mar, debe pasar por toda la línea de producción para la transformación en el producto final, el agua potable. La complejidad del proceso requiere el implemento de maquinaria automatiza, que a su vez no demanda de un alto número de operarios para su funcionamiento. El diseño de planta realizó en base al método Guerchet [35] que establece las áreas mínimas requeridas teniendo en cuenta los equipos móviles y fijos que circularán en determinado espacio. Así mismo, se tomaron las consideraciones del Reglamento Nacional de Edificaciones.

El almacén de materia prima diseñado para contener los insumos necesarios como la calcita para el proceso de remineralización del agua. Se diseñó considerando un aprovisionamiento de 2 veces al mes, el CaCO_3 es adquirida en big bag de 1 000 kg cada una, con unas dimensiones de 1,3 x 1,2 m y 4 m de altura. En tal sentido, se requeriría un espacio para 6 unidades aproximadamente y según el método Guerchet es área mínima es de $29,82 \text{ m}^2$.

El almacén de producto terminado debe contener el agua potable hasta su posterior distribución a las ciudades del litoral lambayecano. Este tanque tiene la capacidad en base la producción diaria de $17\,049,7 \text{ m}^3$. A diario se realizará la distribución del agua potable, por lo tanto, se requiere de un espacio de $219,43 \text{ m}^2$.

El área de calidad es indispensable en la empresa, pues al tratarse de un producto de consumo. El agua potable debe cumplir con los parámetros de calidad establecidos por el DS N° 031-2010-SA en el reglamento de la calidad de agua para el consumo humano. Así mismo, el espacio requerido para el área se estableció teniendo en cuenta las personas que laboran, así

como los materiales y equipos de laboratorio. Por lo tanto, se determinó que se requerirá un área de 46,08 m².

En el área de producción se encuentra la maquinaria necesaria para el desarrollo del proceso productivo. Así mismo, se consideran que exista el espacio suficiente para garantizar la seguridad de los operarios. Esta será el área más grande de la planta debido a que los volúmenes de producción son elevados y por lo tanto los equipos necesarios también. El área requerida es de 2541,69 m².

Los equipos de desalinización son sumamente delicados, por tal motivo es necesario disponer de un área encargada de ofrecerle el mantenimiento preventivo correspondiente. El área requerida es de 12,15 m², teniendo en cuenta que en este labora el jefe de mantenimiento y el mobiliario correspondiente.

Las áreas de gerencia, logística y finanzas, en conjunto conforman el área administrativa. Encargadas del correcto funcionamiento, manejo y control de la planta. Según la norma A 0.80 en el artículo 23 indica que toda oficina debe destinar un área mínima de residuos el cual es 6 m², por lo tanto, el área total requerida es de 68,83 m².

Los servicios higiénicos de correspondientes al área de producción se basan en la norma A 0.60 pues en el artículo 15 indica que estos servicios no pueden estar a más de 30 m de distancia del puesto de trabajo. Además, en base al número de operarios indica la cantidad mínima de suministros necesarios. Por tal motivo se requiere de un área de 49,98 m². La norma A 0.80 establece los requerimientos de los servicios higiénicos del área administrativa. Considerando que esta área solo labora 6 personas y el artículo 15 de la antes mencionada norma, se determina que el área requerida tiene una extensión de 5,57 m².

Debido a la duración del turno laboral se establece la necesidad de un área donde los trabajadores puedan consumir sus alimentos, asegurando que la inocuidad de los alimentos no se vea afectada por algún factor en la empresa. El área requerida es de 81,02 m².

Implementada como el área de control de ingreso y salida de la planta. Se requiere un área de 5,84, en esta labora un vigilante que posee del mobiliario necesario.

El estacionamiento está diseñando, teniendo en cuenta la capacidad de todo el personal de la planta. Además, se debe establecer el tamaño suficiente para el ingreso de los proveedores de suministros. La norma A.010 establece que los parámetros del ancho de cada estacionamiento son de 2,5 metros. Además, que si los estacionamientos son opuestos deben tener una separación mínima de 6 metros a fin de evitar cualquier inconveniente o accidente. Según la norma A.120 indica la existencia mínima de un estacionamiento accesible por cada 20 estacionamientos normales, en este caso se consideraron 2 a pensar de no exigirse por norma. Dentro del estacionamiento se encuentra el patio de maniobras, el cual fue diseñado en base al automóvil de mayor tamaño que circule en él. Por lo tanto, el requerimiento total del estacionamiento es de 401,6 m².

La cantidad de áreas verdes están relacionado con el estacionamiento, pues este debe ser el 5% del estacionamiento, por lo tanto, el área requerida es de 20,08 m².

En complemento con el cálculo de las áreas mínimas de cada espacio, se empleó la metodología SLP [36] para determinar la proximidad de las áreas de la planta en base a las

razones de relación existente entre ellas. En tal sentido se estableció el croquis de distribución de la planta desalinizadora (ver figura 5) y el plano de distribución de planta (ver anexo 1).

El control de calidad es un punto muy importante en toda industria, por tal motivo se debe establecer los requerimientos de este acorde al tipo de proceso y producto. En tal sentido, el control de materia primas es importante debido a que esta afecta directamente el estado de las membranas de ósmosis inversa. Sin embargo, por la naturaleza de la materia prima, sus parámetros de calidad no pueden ser controlados. La calidad del agua no varía significativamente a lo largo de los años, por lo tanto, no debe considerarse como un factor de riesgo, pero semanalmente se recomienda realizar un análisis de las propiedades físico-químicas del agua de mar.

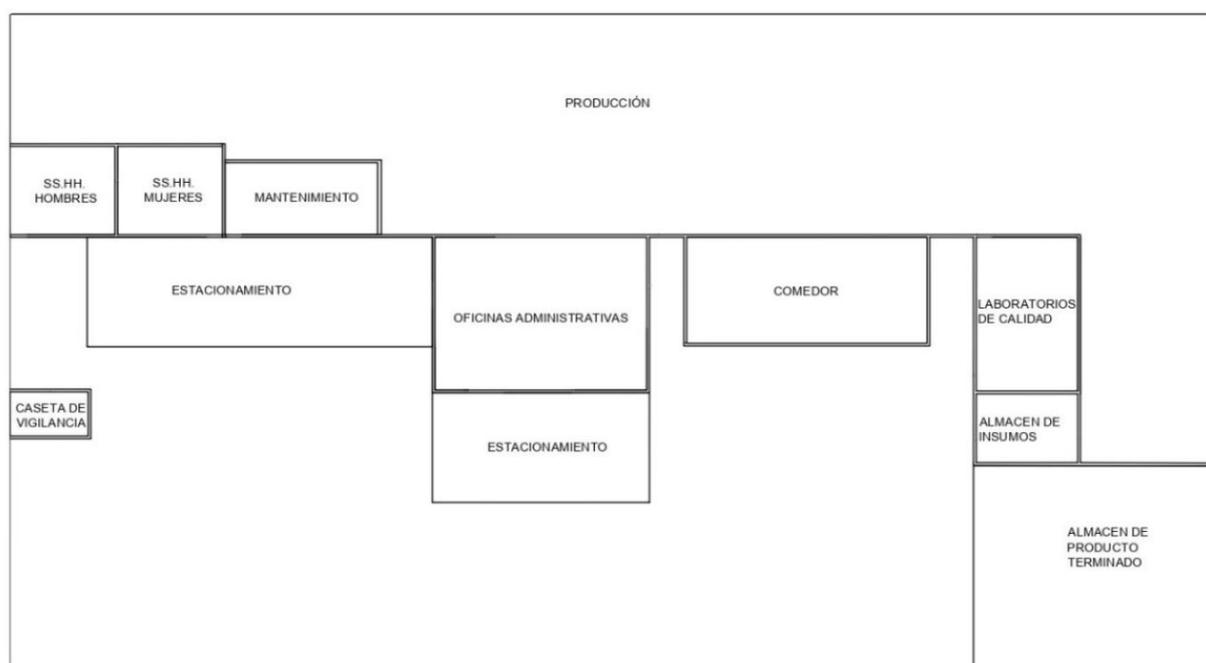


Figura 5. Croquis de planta desalinizadora

Fuente: Elaboración propia

El control del proceso productivo permite evaluar y asegurar el correcto funcionamiento y desarrollo del proceso. La transformación del agua potable es un proceso automatizado por lo cual, es necesario realizar operaciones como el mantenimiento preventivo. La etapa crucial del proceso es de ósmosis inversa, las membranas son delicadas por tal motivo se debe realizar una limpieza periódica. Esta limpieza permite eliminar las impurezas acumuladas por el trabajo realizado. Pues los sólidos suspendidos de no ser separados de las membranas podrían afectar significativamente a la calidad de agua permeada. Complicando de tal manera cumplir con los estándares de calidad del agua potable.

Y el control periódico del producto final es de suma importancia. Es indispensable asegurar la inocuidad del producto antes de que llegue al consumidor final. Además, estos parámetros deben estar dentro de los límites máximos permisibles, que figuran en el reglamento de la calidad de agua para el consumo humano de Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) y Ministerio de Salud.

Organización

Se planteó los requerimientos de personal para el funcionamiento de la planta desalinizadora, así mismo las funciones de cada puesto de trabajo:

Gerente General: Dirigir y administrar a la empresa acorde con los fines y políticas establecidas. Además, ejercer la representación legal, comercial y administrativa.

Jefe de Finanzas: Realizar las evaluaciones y controles respectivos de las transacciones financieras de la organización, teniendo como base normas legales vigentes, así como normas y principios de la contabilidad acorde a los objetivos de la empresa.

Jefe de Logística: Planeación y organización de la cadena de suministros, así como la verificación de los inventarios y garantizar el correcto almacenamiento y disposición de materiales e insumos.

Jefe de Producción: Realiza funciones de programación, organización, dirección, control y evaluación de todo el proceso productivo y a la vez lograr el óptimo rendimiento del servicio de maquila, cumpliendo con las especificaciones técnicas de los clientes.

Jefe de Mantenimiento: Controlar, establecer y planificar las actividades de mantenimiento preventivo, y de ser el caso correctivo, para garantizar y asegurar el óptimo funcionamiento de la maquinaria.

Jefe de Control de calidad: Organizar, articular, supervisar y dirigir al equipo de control de calidad de los distintos turnos de producción, buscando la mejora y el alcance de las especificaciones y requisitos de los productos antes, durante y después de los procesos productivo.

Además, se establecieron las pólizas de las cuales se regirá la empresa, mismas que se establecieron según compra de materiales, precio de venta, personal contratado y respecto a la producción.

La adquisición de la materia prima no tiene costo, sin embargo, se realizará un único gasto para la obtención del permiso de uso del agua de mar. Según la Ley general de agua, en el artículo 28 de la ley 17752 es de carácter obligatorio solicitar el permiso de utilización a la Auditoría Nacional del Agua (ANA) del departamento de Lambayeque [28]. Por otra parte, la adquisición de los insumos para la etapa postratamiento son adquiridos a un precio al contado. Y será certificado por una factura de compras, que acreditará la validez de la compra - venta realizada.

El precio de venta del agua potable se mantendrá uniforme a fin de buscar el beneficio de los clientes sin afectar la viabilidad del proyecto. El precio será de 2,99 soles por metro cubico de agua potable, como se mencionó anteriormente. Las ventas del producto se estima que el 40% en efectivo y el 60% se pagará en un plazo máximo de 30 días.

El personal contratado debe cumplir con los requisitos establecidos en el manual de operaciones y funciones establecidos. Además, se considerarán los antecedentes penales y policiales. Todos los trabajadores de la empresa registrados en planilla gozan los beneficios de establecidos por la ley: sueldos, CTS (anualmente), gratificaciones, seguro ESSALUD y asignación familiar.

La capacidad de diseño de la planta desalinizadora está por encima de la producción, esto permite tener un beneficio de holgura. Esto resulta favorable en caso de paradas programadas,

como es el caso de la realizadas por mantenimiento de maquinaria, o aquellas no programada por alguna avería o accidente que impida el normal funcionamiento de la planta.

Evaluación económica-financiera

El desarrollo del proyecto involucra una inversión requerida para su ejecución. Esta se divide en dos clases, inversión fija y diferida. La primera abarca los costos de terreno, construcción e instalación de servicios, maquinarias y equipos de producción y oficina.

El terreno: la instalación de la planta está ubicado entre los distritos de Pimentel y Santa Rosa. El costo del terreno es de 50 \$/m², se requiere un área de 4 233 m² por lo tanto este tendrá un costo de S/ 755 590,50.

Edificaciones y construcciones: se divide en dos partes, en la infraestructura industrial y la construcción de edificaciones, para el cálculo en ambos casos se establecen según las áreas requeridas y los costos por metro cuadrado, establecidos por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [37]. La infraestructura industrial requiere costos de cerco y piso (S/ 274 549,51), la nave industrial (S/ 25 680,00), pozo radial (S/ 4 089,68). Y la construcción de edificaciones requiere de S/ 446 922,72 en costos como muros, pisos, puertas y techo.

Instalaciones: requiere de instalaciones eléctricas y sanitarias, el costo del metro cuadrado es de S/ 129,88. Para ello se considera las áreas requeridas por cada espacio de la planta. Este monto es acorde a la instalación de agua fría, caliente, corriente trifásica y la conexión de telefonía, iluminación especial.

Maquinaria y equipos: se estableció el precio de la maquinaria establecida para el desarrollo del proceso productivo (ver tabla 4). Así mismo, equipos para el transporte de los insumos y otras actividades requeridas para el desarrollo del proceso productivo como mesas de trabajo, montacargas, balanza industrial, etc.

Mobiliario y equipos de oficina: hace referencia a los requeridos en el área administrativa, área de mantenimiento o incluso laboratorio de control de calidad. Tales como estantes, sillas, escritorios, etc.

Equipos de laboratorio: el control de calidad como se había mencionado es de suma importancia debido a que es un producto destinado al consumo. Incluye equipos de medición necesarios para evaluar y analizar la calidad de materia prima, insumos y producto terminado. El costo total de los equipos, instrumentos y materiales equivale a S/. 23 766,50.

Sistema eléctrico: hace referencia al sistema de conexión a la red pública de energía, y un factor significativo a considerar es la distancia desde la planta hasta el punto de conexión a la red. Su instalación es coordinado y ejecutado por la empresa Electronorte S.A. [38]. Conformado por sistemas de transmisión, transformación, tableros de llegada y respaldo eléctrico.

Transporte: en este caso se incluyó los vehículos requeridos para el transporte de los insumos u cualquier otro requerimiento que surja en el desarrollo del proyecto.

El total de los costos descritos anteriormente equivalen a la suma de S/ 47 932 015,36. Estos forman parte de la inversión tangible o fija detallada en la tabla 6.

En la inversión diferida o intangible se incluyó los permisos para proceder con el funcionamiento y construcción de las instalaciones de la planta desalinizadora (S/ 4 135). Los fletes de maquinaria y equipos equivalen a S/ 14 763,42. Además se consideran los costos de los derechos arancelarios, como IGV e IPM, alcanzan la suma de S/ 8 544 423,58 [39]. En total costos de la inversión intangible es de S/ 8 548 558,58.

El capital de trabajo indica los todos costos requeridos para el funcionamiento de la planta. Esto incluye los costos de producción como los materiales (carbonato de calcio); los costos referidos al consumo energético de la maquinaria necesaria para la producción del agua potable, en este caso el sistema de ósmosis es aquel que genera un mayor consumo, el precio del kWh es de S/ 0,22, requiriendo un total de S/ 1 432 428,89 anuales. Los salarios de los empleados se consideran como parte del capital de trabajo, incluido sus beneficios correspondientes.

Tabla 6. Resumen de inversión tangible

Descripción	Total
Terrenos	S/. 755 590,50
Construcciones	S/. 446 922,72
Infraestructura industrial	S/. 10 176 761,49
Instalaciones	S/. 225 799,93
Maquinaria	S/. 33 336 803,58
Equipo de producción	S/. 37 392,89
Equipos de oficina	S/. 21 320,00
Equipos de laboratorio	S/. 23 766,50
Sistema eléctrico	S/. 2 840 381,25
Transporte	S/. 88 000,00
Total	S/. 47 952 738,86

Fuente: Elaboración propia.

Otros gastos adiciones a considerar son los costos de comercialización, incluye los sueldos de jefe de logística, papelera, mobiliario, comisiones y gastos de transporte equivalen a S/ 47 473,61. Los gastos administrativos considera los sueldos administrativos, mobiliarios de oficinas, consumo energético, telefonía, internet y agua, alcanzan la suma de S/. 244 373,77. Los gastos financieros se incluyen en el capital de trabajo, debido a que los intereses y amortizaciones deben ser cubiertos desde el inicio funcionamiento del proyecto. La Superintendencia de Banca y Seguros (SBS) [40] indica que la tasa anual de interés activa del mercado es de 14,45%, esta es la tasa indicada para préstamos mayores a 360 días, el préstamo tiene un periodo de devolución de 15 años. El prestamos es de S/. 38 465 563,87 (ver tabla 7).

Tabla 7. Gastos financieros

	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año
Intereses	S/. 5 558 273,98	S/. 5 187 722,38	S/. 4 817 170,78	S/. 4 446 619,18	S/. 4 076 067,58	S/. 3 705 515,99
Amortizaciones	S/. 2 564 370,92					
Total	S/. 8 122 644,90	S/. 7 752 093,31	S/. 7 381 541,71	S/. 7 010 990,11	S/. 6 640 438,51	S/. 6 269 886,91

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8 se hace un resumen del capital de trabajo requerido para la ejecución del proyecto, sin embargo, la utilidad acumulada supera los egresos desde el primer año por lo tanto se hace una evaluación de primer año, y se determina el capital de trabajo es de S/ 77 916,79.

Tabla 8. Capital de trabajo

	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año
Ingresos	S/. 11 308 298,57	S/. 11 681 120,05	S/. 12 056 786,98	S/. 12 444 022,12	S/. 12 843 136,6	S/. 13 254 449,8
Total	S/. 11 308 298,57	S/. 11 681 120,05	S/. 12 056 786,98	S/. 12 444 022,12	S/. 12 843 136,6	S/. 13 254 449,8
Egresos						
Costos de producción	S/. 1 958 804,83	S/. 1 970 041,56	S/. 1 981 625,67	S/. 1 993 566,50	S/. 2 005 873,64	S/. 2 018 556,94
Gastos administrativos	S/. 244 373,77	S/. 244 373,77	S/. 244 373,77	S/. 244 373,77	S/. 244 373,8	S/. 244 373,8
Gastos de comercialización	S/. 47 473,61	S/. 47 473,61	S/. 47 473,61	S/. 47 473,61	S/. 47 473,6	S/. 47 473,6
Intereses	S/ 5 558 273,98	S/ 5 187 722,38	S/ 4 817 170,78	S/ 4 446 619,18	S/ 4 076 067,58	S/ 3 705 515,99
Amortizaciones	S/ 2 564 370,92					
Total	S/. 10 373 297,11	S/. 10 013 982,24	S/. 9 655 014,76	S/. 9 296 403,99	S/. 8 938 159,53	S/. 8 580 291,23
Saldo (déficit/superávit)	S/. 935 001,46	S/. 1 667 137,81	S/. 2 401 772,22	S/. 3 147 618,13	S/. 3 904 977,03	S/. 4 674 158,52
Utilidad Acumulada	S/. 935 001,46	S/. 2 602 139,27	S/. 5 003 911,49	S/. 8 151 529,62	S/. 12 056 506,65	S/. 16 730 665,17

Fuente: Elaboración propia.

Los gastos presentados anteriormente se reconocen como la inversión total del proyecto (ver tabla 9). El 35,30% del proyecto será parte de la inversión propia (promotor del proyecto), mientras que el 64,84% será financiado. Además, dentro de la inversión se incluirá un 5% que representa un monto reservado para cualquier imprevisto.

Tabla 9. Cronograma de inversión

Descripción	Inversión total	Inversión propia	Financiamiento
Capital de trabajo	S/ 77 916,79	S/ 77 916,79	
Inversión tangible			
Terrenos	S/ 755 590,50	S/ 151 118,10	S/ 604 472,40
Construcciones	S/ 446 922,72		S/ 446 922,72
Infraestructura industrial	S/ 10 176 761,49		S/ 10 176 761,49
Instalaciones	S/ 225 799,93	S/ 225 799,93	
Maquinaria	S/ 33 336 803,58	S/ 9 000 936,97	S/ 24 335 866,61
Equipo de producción	S/ 37 392,89		S/ 37 392,89
Equipos de oficina	S/ 21 320,00	S/ 21 320,00	
Equipos de laboratorio	S/ 23 766,50		S/ 23 766,50
Sistema eléctrico	S/ 2 840 381,25		S/ 2 840 381,25
Transporte	S/ 88 000,00	S/ 88 000,00	
Total Inversión Tangible	S/ 47 952 738,86	S/ 9 487 174,99	S/ 38 465 563,87
Inversión intangible			
Gastos preoperativos	S/ 8 548 558,58	S/ 8 548 558,58	
Total inversión intangible	S/ 8 548 558,58	S/ 8 548 558,58	
Imprevistos (5%)	S/ 2 825 064,87	S/ 2 825 064,87	
Inversión total	S/ 59 326 362,31	S/ 20 938 715,23	S/ 38 465 563,87

Fuente: Elaboración propia.

El punto de equilibrio económico es un punto importante, debido a que permite conocer el volumen mínimo de producción y de ventas que se debe realizar a fin de equilibrar los ingresos y egresos en un punto donde no se generen ni ganancias, ni pérdidas. En el primer año el punto de equilibrio es de S/ 10 117 405,72 equivalente a 3 406 349 metros cúbicos de agua potable. Y en el año 6 del proyecto se espera que estos valores se reduzcan a S/ 7 740 556,68 y a 2 588 818 m³.

Se realizó la evaluación económica financiera para determinar la viabilidad del proyecto utilizando la tasa mínima aceptada de rendimiento (TMAR), el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el costo-beneficio. Los inversionistas pretenden obtener un beneficio del 20% a partir de su inversión. El TMAR también considera la tasa de inflación, que en los últimos meses del 2020 tiene un valor de 1,86% [41]. Sin embargo, a fin de prevenir las variaciones se asume un índice de inflación del 2%. Por lo tanto, el TMAR de aportación del inversionista es de 22%. Además, según el Banco Central de Reserva del Perú (BCRP) [42] indica que la tasa de inflación tendrá una variación entre el 1 y 3%.

Acorde a las aportaciones de la inversión propia y financiada el TMAR global equivale a un valor del 16%, obteniendo un VAN de S/ 4 505 045,24 y un TIR de 23%. Por lo tanto, esto significa que al ser la tasa interna de retorno mayor al TMAR el proyecto es aprobado y se considera viable. En el análisis del costo beneficio se realiza el cálculo a través del VAN de los ingresos y egresos. Se obtuvo un resultado de S/. 1,29, esto significa que por cada sol invertido se genera una ganancia de S/. 0,29. Según el flujo de caja (ver tabla 10), a partir del año 4 se presenta un saldo acumulado de más de 5 millones de soles. Esto indica que el periodo de retorno es de 3 años y 4 meses.

Tabla 10. Flujo de caja

Ítems	0 año	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año
Inversión							
Capital social	S/ 19 015 437,04						
Préstamo	S/ 38 465 563,87						
Total Inversión	S/ 59 326 362,31						
Ingresos							
Ventas al Contado		S/ 6 784 979,14	S/ 7 008 672,03	S/ 7 234 072,19	S/ 7 466 413,27	S/ 7 705 881,94	S/ 7 952 669,85
Ventas a Crédito (30 días)		S/ 4 146 376,14	S/ 4 660 020,64	S/ 4 810 192,56	S/ 4 964 701,01	S/ 5 123 950,81	S/ 5 288 069,46
Total Ingresos		S/. 10 931 355,28	S/. 11 668 692,67	S/. 12 044 264,75	S/. 12 431 114,28	S/. 12 829 832,75	S/. 13 240 739,32
Egresos							
Costos de producción		S/ 1 958 804,83	S/ 1 970 041,56	S/ 1 981 625,67	S/ 1 993 566,50	S/ 2 005 873,64	S/ 2 018 556,94
Gastos administrativos		S/ 244 373,77					
Gastos de comercialización		S/ 47 473,61					
Gastos financieros		S/ 8 122 644,90	S/ 7 752 093,31	S/ 7 381 541,71	S/ 7 010 990,11	S/ 6 640 438,51	S/ 6 269 886,91
Total Egresos		S/ 10 373 297,11	S/ 10 013 982,24	S/ 9 655 014,76	S/ 9 296 403,99	S/ 8 938 159,53	S/ 8 580 291,23
Saldo Bruto (antes de impuestos)		S/ 558 058,17	S/ 1 654 710,43	S/ 2 389 249,99	S/ 3 134 710,29	S/ 3 891 673,22	S/ 4 660 448,08
Impuesto a la renta		S/ 167 417,45	S/ 496 413,13	S/ 716 775,00	S/ 940 413,09	S/ 1 167 501,96	S/ 1 398 134,42
Saldo (después de impuestos)		S/ 390 640,72	S/ 1 158 297,30	S/ 1 672 474,99	S/ 2 194 297,21	S/ 2 724 171,25	S/ 3 262 313,66
Depreciación			S/ 6 280 534,17				
Saldo Final (Déficit/superávit)	-S/ 19 015 437,04	S/ 390 640,72	S/ 7 438 831,47	S/ 7 953 009,17	S/ 8 474 831,38	S/ 9 004 705,42	S/ 9 542 847,83
Utilidad acumulada	-S/ 19 015 437,04	-S/ 18 624 796,32	-S/ 11 185 964,85	-S/ 3 232 955,68	S/ 5 241 875,70	S/ 14 246 581,12	S/ 23 789 428,95

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Baca [43] indica que todo proyecto debe iniciar con el análisis de mercado a fin de establecer la posibilidad real de un producto para penetrar en el mercado, analizando factores que implican el riesgo o éxito. Además, facilita la determinación de políticas de precio y comercialización. Menciona que generalmente la demanda y oferta se confunden como la misma debido a que solo se cuentan con datos de unidades producidas, generando una confusión en el sentido de no existencia de demanda insatisfecha, planteamiento completamente errado. El presente proyecto determinó la demanda real mediante el consumo per cápita de $67,5 \text{ m}^3$, caso similar el de Calderón y Sarabia [44] que en su investigación determinaron que la demanda actual de agua potable está limitada por la cantidad de suministro disponible en una ciudad playera y en tal sentido buscó el cálculo de una demanda real en base a un consumo promedio. Por otra parte, en la presente investigación se consideró abarcar el 90% de la demanda insatisfecha debido a la amplia disponibilidad de materia prima y la aceptación del producto en el mercado. Guerra y Clerc [45] en su estudio determina la existencia de un mercado potencial en el sector minero del cual considera abarcar la demanda en su totalidad, a razón de disponer de una fuente inagotable (el mar) y que los proyectos mineros no disponen de fuentes de abastecimiento del recurso hídrico, estableciendo una oportunidad de mercado para el agua desalinizada.

Respecto al estudio de localización Castañeda [12] en su investigación determina la ubicación de una planta productora de agua embotellada y sal mediante una matriz de factores ponderados, donde la zona seleccionada fue en Islay, Arequipa. Estos factores son los mismos que el presente artículo empleó, de los cuales resaltan por su importancia la disponibilidad de terreno, el clima y proximidad a la materia prima y mercado meta. Sin embargo, en la presente investigación se determinó que la localización de la planta está limitada por el tipo de producto y el mercado consumidor. En tal sentido se determinó la ubicación en el departamento de Lambayeque entre los distritos Pimentel y Santa Rosa debido a que cumple con los requerimientos para el correcto desarrollo del proyecto.

Aldáz, Castillo, Erazo y Santiana [46] en su investigación sobre el rediseño de planta de una empresa de lácteos, mediante la metodología Systematic Layout Planning establecen las mismas prioridades de relación de actividades que la presente investigación: A: Absolutamente, E: Especialmente, I: Importante, O: Normal, U: Indiferente, X: No deseable. Posterior a ello, mediante el método Guerchet determinaron el requerimiento real de la planta acorde a los equipos, máquinas y personal del área. Esto permitió incrementar el porcentaje de utilización de espacios de 37% a un 96% y una reducción del 20% y 6% en los tiempos de transporte en dos líneas de producción al eliminar recorridos innecesarios. En tal sentido la presente investigación empleó ambas metodologías para establecer los requerimientos de las áreas de trabajo y a su vez determinar la óptima distribución de planta que permita mantener un flujo continuo de materiales y recursos.

Castañeda [12] en su investigación sobre la implementación de una planta desalinizadora de agua de mar para obtener agua embotellada indica que la tasa interna de retorno es de 33% y un TMAR de 25%, en tal sentido el proyecto resultó viable con un beneficio del 57% por cada sol invertido, debido a que el proceso de desalinización propuesto es destilación solar, ideal para pequeñas producciones como es su caso. Por otra parte, un caso similar a la presente investigación, donde se propone la instalación de una planta desalinizadora por ósmosis inversa, es de Vásquez [47] a través del análisis económico y financiero obtuvo un TIR de 25%, en base a un TMAR global de 13,5% y un beneficio de S/ 0,13 aproximadamente por cada sol invertido. Caso contrario el de Barrionuevo [48] que determinó la viabilidad de un proyecto de inversión con un TMAR global de 15%, pero alcanzando una tasa de retorno del 42%.

Estudio de sostenibilidad ambiental

Las industrias crecen día a día, generando nuevos sectores, a fin de satisfacer necesidades y a la vez generar una rentabilidad. Sin embargo, es importante no ser indiferente al tema ambiental. Toda industria no solo debe ser económicamente viable sino ambientalmente sostenible

El proceso de desalinización de agua de mar al igual que todo proceso genera residuos, en este caso el residuo es el rechazo o salmuera. Esta es el agua de mar con elevada concentración de sales. La mayoría de las plantas desalinizadoras optan por la valoración del residuo en la misma planta, como es el caso de recuperar o producir energía. Sin embargo, esta salmuera debe tener una disposición final, según Lenntech [49] indica que existe varios métodos para el aprovechamiento del efluente, en USA el más común es 45% emplean la descarga en agua de mar, y el 13% inyección en pozos, como en el caso de esta investigación se consideró. Pero, resulta imposible calificar a un solo método como aplicable en todas las situaciones. La selección depende de diversos factores, como la capacidad de la planta, el sistema de tratamiento del agua de mar, condiciones climáticas, oportunidad, etc. No obstante, se menciona algunos de estos métodos.

Producción de cloro

La salmuera es un efluente con alto contenido de cloruro sódico. Gratacós [50] indica que una alternativa es aplicar el proceso de electrólisis emplea el dos electrodos, ánodo y cátodo, para hacer reaccionar los componentes de la salmuera (sal y agua). El cloruro al recibir una carga positiva se convierte en cloro y separa el sodio. La carga negativa permite obtener hidrogeno, el hidroxilo restante se combina con el sodio formando el hidróxido sódico. El reacciona al entrar en contacto con el cloro se obtienen dos soluciones hipoclorito sódico (pureza 0,8%) y cloro en equilibrio. Con membrana, esta impide el paso del agua separando el sodio, de tal manera que de un lado de la membrana (del ánodo) se obtiene el cloro y salmuera residual que en etapa posterior se puede recuperar el cloro residual y recircularla al sistema, y del otro lado (del catión) el hidróxido de sodio (pureza 15%), y de combinarse el cloro gas con el hidróxido sódico se obtiene hipoclorito sódico de pureza 12,5%.

Tratamiento por destilación

La destilación de la salmuera puede ser una alternativa que se puede dar de manera directa o como etapa posterior a la mencionada anteriormente (electrolisis). El objetivo de este tratamiento es la descarga cero, al destilar el efluente de tal manera que separe la sal contenida en ella y obtener agua pura, que sin problema podría ser vertida. Sin embargo, este es un proceso que requiere trabajar a altas temperatura, y por lo general a gran escala no resulta viable.

Control y uso de salmuera

Dévora, Robles, Fimbres y Álvarez [51] mencionan este método como uno relacionado a la oportunidad, se puede disponer de este efluente como recurso para la implementación de una granja acuícola. Depende mucho de las características de la zona de instalación de la planta, de ser el caso se puede considera una granja de camarones o especies similares. El proceso consiste en, posterior a la descarga de salmuera esta debe ser o no estabilizada a niveles tolerables para la especie (proceso de nivelación) posterior a ello se conduce a las lagunas de maduración, aquí se debe realizar un monitoreo constante a fin de evitar inconvenientes por la variación de parámetros de la salmuera. Es recomendable que los niveles de pH estén entre 7,5 – 7,8.

Conclusiones

El diseño de una planta desalinizadora de agua de mar para incrementar el nivel de servicio de agua potable de las ciudades de litoral de Lambayeque es un proyecto viable de carácter comercial, técnico y económico, acorde a los objetivos realizados en el presente estudio.

Se determinó que la demanda real en base al consumo per cápita de agua potable para el año 2022 será de 5 788 970 m³. La oferta de agua potable está a cargo de la empresa EPSEL y se estimó que para el año 2027 ascendería a 1 684 867 m³. En ese marco existiría una demanda insatisfecha de aproximadamente el 74%, de la cual se cubrirá un 90% equivalente a 4 432 926 m³.

Al realizar el diseño de planta se determinó que la capacidad de producción de 1 065 m³/h. La ubicación de la planta será entre los distritos de Pimentel y Santa Rosa, debido a que presenta una mayor proximidad al mercado consumidor y vías de acceso y comunicación. Además, según el método Guerchet se requiere un área total de 3 394 m² para la instalación de la planta.

La ejecución del proyecto requiere de una inversión total de S/ 59 326 362,31, de la cual el 64,84% será financiada por el banco, con una tasa efectiva de 14,45%. La evaluación económica y financiera establece que con un TMAR Global de 16% el proyecto es viable obteniendo un VAN de S/ 4 505 045,24 y un TIR de 23%.

Recomendaciones

Estudiar las propiedades físico-químicas del agua de mar, debido a que la variación de sus parámetros tendría fuertes impactos en los equipos y rendimiento del sistema de ósmosis inversa.

Investigar sobre otras alternativas de sistemas de recuperación de energía que aprovechen el flujo de descarga de salmuera.

Evaluar las características del efluente (salmuera) a fin de determinar el proceso o método adecuado para su disposición final, con el objetivo de reducir los impactos negativos al ambiente.

Referencias

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura, “Abordar la escasez y la calidad del agua,” *UNESCO*, 2017. <https://bit.ly/2U5TOZC> (accessed Sep. 29, 2019).
- [2] Oxford Committee for Famine Relief, “8 millones de peruanos no tienen acceso a agua potable,” *OXFAM*, 2019. <https://bit.ly/2IgcGTF> (accessed Sep. 29, 2019).
- [3] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, “Viene de las alturas: disponibilidad y usos del agua,” 2019. [Online]. Available: <https://bit.ly/316uXRF>.
- [4] El Comercio, “Sedapal: ‘Un peruano consume en promedio hasta 163 litros de agua al día,’” *El comercio*, pp. 1–2, 2018.
- [5] Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque S.A, “Avance socio-económico Lambayeque,” Lambayeque, 2019. [Online]. Available: <https://bit.ly/315yBLy>.
- [6] Acciona Business as Unusual, “Desalinización del agua de mar y salobre,” *Acciona*, 2016. <https://bit.ly/36dWg6g> (accessed Oct. 21, 2020).
- [7] Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa, “Producción del agua potable,” *SEDAPAR*. <https://bit.ly/3565cv9> (accessed Nov. 04, 2019).
- [8] Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas, “El derecho humano al agua y al saneamiento,” 2014. <https://bit.ly/311Wa7T> (accessed Nov. 04, 2019).
- [9] M. F. Idrees, “Performance Analysis and Treatment Technologies of Reverse Osmosis Plant – A Case Study,” *Case Stud. Chem. Environ. Eng.*, p. 100007, May 2020, doi: 10.1016/j.cscee.2020.100007.
- [10] Acciona, “Desalinización.” <https://bit.ly/36dWg6g> (accessed Apr. 30, 2020).
- [11] Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa, “Desalinización de agua de mar.” <https://bit.ly/3exnad7> (accessed Apr. 30, 2020).
- [12] J. Castañeda, “Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta desalinizadora que produzca agua embotellada y sal utilizando agua de mar y energía solar,” Universidad de Lima, 2017.
- [13] E. Saettone and Y. Valencia, “Comparison between solar distillers with and without solar concentrator,” *Appl. Sol. Energy*, vol. 52, no. 2, pp. 131–136, Apr. 2016, doi: 10.3103/S0003701X16020201.
- [14] J. C. Crittenden, R. R. Trussell, D. W. Hand, K. J. Howe, and G. Tchobanoglous, “Membrane Filtration,” in *MWH’s Water Treatment*, Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2012, pp. 819–902.
- [15] M. Jareño Pina, “Diseño de una planta desalinizadora mediante osmosis inversa en Béjaïa (Argelia),” Universitat Politècnica de València, Béjaïa, 2019.
- [16] M. Bello, “Sistemas de captación en desaladoras de agua de mar,” *iAgua*, Jun. 07, 2016. <https://bit.ly/32len8Z> (accessed Apr. 21, 2020).
- [17] E. Orostizaga, “Diseño preliminar de captaciones costeras de agua de mar - Aplicación en la Costa Central y Norte de Chile,” Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, 2018.
- [18] M. Ghali Biyoune *et al.*, “Water quality depends on remineralization’s method in the desalination plant,” *Mediterr. J. Chem.*, vol. 10, no. 2, pp. 162–170, Feb. 2020, doi: 10.13171/mjc10202002141228mgb.
- [19] D. Zarzo Martínez, “Problemática y soluciones para la gestión y tratamiento de salmueras procedentes de desaladoras,” Universidad de Alicante, Alicante, 2017.
- [20] R. L. Stover, “Development of a fourth generation energy recovery device. A ‘CTO’s Notebook,’” *Desalination*, vol. 165, no. SUPPL., pp. 313–321, Aug. 2004, doi:

- 10.1016/j.desal.2004.06.036.
- [21] C. Charisiadis, “Salmuera-Descarga Cero de Líquidos (ZLD),” Barcelona, 2018.
- [22] Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa, “El Agua,” *SEDAPAR*, 2019. <https://bit.ly/2I6NTAZ> (accessed Oct. 04, 2020).
- [23] Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque S.A., “Control de calidad,” Chiclayo, 2020.
- [24] C. Zahumenszky, “Si el agua no caduca,” *Gizmodo*, Jun. 17, 2017. <https://bit.ly/3mVvWnW> (accessed Mar. 22, 2020).
- [25] F. Costa and A. Sánchez, “Directorio Nacional de Centros Poblados,” Lima, Sep. 2018. Accessed: Oct. 21, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/2U4j7LH>.
- [26] Instituto Nacional de Estadística e Informática, “Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas,” Burgos, 2017. [Online]. Available: <https://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>.
- [27] Veolia, “Agua potable municipal,” *Veolia*, 2020. <https://bit.ly/38o0n2b>.
- [28] Ministerio de Ambiente, *Ley General de Aguas*. Lima: Gobierno del Perú, 2004.
- [29] J. Tamina, “Estudio para la instalación de una planta embotelladora de agua purificada en la ciudad de Talara - Piura,” Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2018.
- [30] Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud, “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano,” *Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud*. Lima, p. 46 p., Feb. 2011, Accessed: Apr. 25, 2021. [Online]. Available: http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf.
- [31] N. Fustamante and Programa PROAGUA, “Manual para la cloración del agua de sistemas de abastecimiento de agua potable,” Lima, Jun. 2017. Accessed: Apr. 25, 2021. [Online]. Available: <http://www.buenagobernanza.org.pe/>.
- [32] J. Colomina, “Diseño de una planta desalinizadora con sistema de osmosis inversa para producir 20 000 m³ /día,” Universidad Pontificia de Valencia, 2016.
- [33] M. Daza and M. Hernández, “Las plantas de ósmosis inversa, una apuesta segura en tiempos de pandemia,” *Tecnoaqua*, Burgos, pp. 48–57, May 2020.
- [34] J. Lora-García, F. López-Pérez, S. Cardona, V. Fombuena, and C. Carbonell, “Analysis of energy consumption as a key factor in seawater desalination projects,” *24th Int. Congr. Proj. Manag. Eng. Alcoi*, vol. 24, pp. 991–1003, Jul. 2020, Accessed: Oct. 23, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/38iz61d>.
- [35] L. Cuatrecasas, *Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible* No Title, PROFIT. Barcelona, 2009.
- [36] F. Meyers and M. Stephens, *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*, Tercera. Mexico: Person, 2006.
- [37] R. Yañez, *Aprueban Valores Unitarios Oficiales de Edificación para las localidades de Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao, la Costa, la Sierra y la Selva, vigentes para el Ejercicio Fiscal 2020 y dictan diversas disposiciones*. Lima: Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019, pp. 30–43.
- [38] N. Muro, “Presupuesto de instalación de Sistema eléctrico,” 2020.
- [39] W. Mogollon, *Ley General de Aduanas*. Lima: Superintendencia nacional de aduanas y de administración tributaria, 2017.
- [40] Superintendencia de Banca Seguros y AFP, “Tasa de Interés Activas de Mercado,” 2020. <https://bit.ly/357dz9u> (accessed Sep. 24, 2020).
- [41] Instituto Nacional de Estadística e Informática, “Inflación se situó en 1.86% en julio de este año,” *El Peruano*, Lima, Aug. 02, 2020.
- [42] Banco Central de Reserva del Perú, “Reporte de Inflación,” *Banco Central de Reserva*

- del Perú*, Aug. 04, 2020. <https://bit.ly/36bbI34> (accessed Oct. 05, 2020).
- [43] G. Baca, *Evaluación de Proyectos*. Ciudad de Mexico: McGRAW HILL, 2013.
- [44] L. M. Calderon Ospino and N. A. Sarabia Polo, “Proyecto diseñar y construir una planta desalinizadora de agua de mar en la ciudad de Santa Marta,” Ediciones Universidad Simón Bolívar, Santa Marta, 2020.
- [45] E. Guerra and J. Clerc, “Prefactibilidad técnica y económica de una planta desaladora de agua marina para la minería alimentada con energía generada por una planta de concentración solar,” Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2011.
- [46] M. Aldáz Parra, B. Castillo Parra, F. Erazo Rodriguez, and C. Santiana Espín, “Evaluación y rediseño de plantas en la empresa de lácteos Alanba Evaluation and redesign of plants in the lácteos Company Alanba,” *ConcienciaDigital*, vol. 3, no. 3, pp. 416–434, Aug. 2020, doi: 10.33262/concienciadigital.v3i3.1335.
- [47] J. Vásquez Pérez, “Estudio de pre factibilidad para la implementación de una planta procesadora de hojuelas de zanahoria para la exportación a EE.UU.,” Chiclayo, May 2016. Accessed: Oct. 23, 2020. [Online]. Available: <https://bit.ly/317Zz51>.
- [48] C. Barrionuevo, “Estudio de prefactibilidad para la implementación de un sistema de televisión por cable, para la ciudad de Machachi, provincia de Pichincha,” Universidad Central de Ecuador, Quito, 2017.
- [49] “Tratamiento de Salmuera,” *Lentech*, 2020. <https://bit.ly/3ld3cXG> (accessed Oct. 23, 2020).
- [50] J. Gratacós, “Generadores de cloro por electrólisis de salmuera con tecnología de célula con membrana,” *Tecnoaqua*, pp. 108–114, Feb. 2014.
- [51] G. Dévora Isiordia, A. Robles Lizárraga, G. Fimbres Weihs, and J. Álvarez Sánchez, “Comparación de métodos de descarga para vertidos de salmueras, provenientes de una planta desalinizadora en Sonora, México,” *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 33, no. Special Issue 1, pp. 45–54, Jun. 2017, doi: 10.20937/RICA.2017.33.esp02.04.

Áreas

Área 1: Plano de planta desalinizadora



Leyenda	
Número	Área
1	Producción
2	Servicios higiénicos
3	Mantenimiento
4	Estacionamiento
5	Oficinas administrativas
6	Comedor
7	Laboratorio de calidad
8	Almacén de insumos
9	Caseta de vigilancia



UNIVERSIDAD CATÓLICA
SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA INDUSTRIAL

PROYECTO : PLANTA DESALINIZADORA		PLANO :
DISEÑADO POR:	FECHA :	A-1
GARCIA PERLA, MARIA VALERIA	OCTUBRE DE 2020	
	ESCALA : 1:125	
	UNIDADES: metros	

