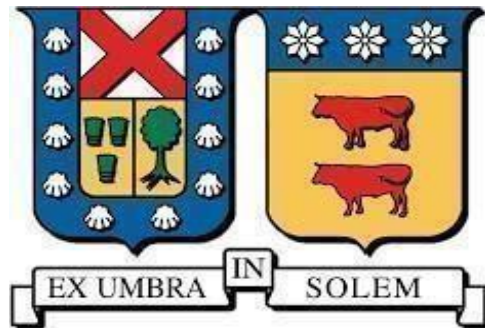


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA SEDE VIÑA DEL MAR- JOSÉ  
MIGUEL CARRERA



## PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE GENERACIÓN DE AGUA FRESCA EN UN BUQUE

Trabajo de Titulación para  
optar al Título de Ingeniero  
en Mantenimiento Industrial

Alumno: Bryan Osvaldo  
Molina González Profesor  
Guía: Mg.Ing. Pablo Andrés  
Duque Ramírez



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: PLAN DE MANTENIMIENTO PARA EL SISTEMA DE GENERACIÓN DE AGUA FRESCA EN UN BUQUE

Nombre del candidato(a): Bryan Osvaldo Molina González

Carrera / Grado: Ingeniería en mantenimiento industrial con licenciatura en ingeniería , Vespertino.

Campus: Sede Viña del mar José Miguel Carrera Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Pablo Andrés Duque Ramírez, en mi calidad de

profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente DEJO CONSTANCIA que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☐ El trabajo NO contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo CONTIENE información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por (marcar una opción):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 30-09-26

Firma:



Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 29/09/2026

Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

ÍNDICE

Resumen..... 5

Introducción..... 7

          CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA ..... 10

1.    Antecedentes generales y problemática..... 11

        1.1    Antecedentes generales..... 11

        1.2    Contexto Operacional ..... 15

        1.3    Problemática ..... 16

        1.4    Factor de corrección de temperatura..... 18

        1.5    PW-4000 ..... 20

            1.5.1    Plano de conexiones de equipo osmosis inversa..... 21

        1.6    Historial de fallas..... 28

        1.8    Análisis de criticidad..... 30

            1.8.1    Frecuencia de fallas..... 30

            1.8.2    Impacto operacional ..... 31

            1.8.3    Flexibilidad operacional..... 31

            1.8.4    Costos de mantenimiento ..... 31

            1.8.5    Impacto seguridad , higiene y ambiental (SAH )..... 32

        1.9    Selección de equipo critico ..... 32

            1.9.1    Análisis de criticidad para la línea de procesos..... 33

            1.9.2    Análisis de criticidad para los equipos de línea de proceso (Desalienación ) ..... 34

          CAPÍTULO 2: PLAN DE MANTENIMIENTO..... 37

        2.1    Mantenimiento ..... 38

        2.2    Mantenimiento a equipos previos ..... 38

            2.2.1    Limpieza de membrana ..... 38

        2.3    Tabla de limpieza y mantenimiento ..... 39

        2.4    Taxonomía ..... 40

        2.5    Análisis SIPOC ..... 41

        2.6    Modos de fallos..... 42

        2.7    Análisis de modos de falla y efectos ..... 43

|                                                                                                     |                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 2.8                                                                                                 | NPR.....                                                              | 45 |
| 2.9                                                                                                 | Árbol de decisiones.....                                              | 45 |
| 2.10                                                                                                | MTTO.....                                                             | 46 |
| 2.11                                                                                                | Finalidad del AMEF.....                                               | 51 |
| 2.12                                                                                                | Capacitaciones .....                                                  | 51 |
| CAPÍTULO 3: ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE LA PLANTA OSMOSIS INVERSA EN UNA EMBARCACIÓN MARÍTIMA..... |                                                                       | 53 |
| 3                                                                                                   | Estudio técnico económico .....                                       | 54 |
| 3.1                                                                                                 | Estándares de calidad de agua.....                                    | 54 |
| 3.2                                                                                                 | Indicador de productividad.....                                       | 54 |
| 3.3                                                                                                 | Análisis de priorización repuestos dentro del proceso de RCM.....     | 55 |
| 3.4                                                                                                 | Modelo cualitativo de repuestos centrado en confiabilidad (RCC) ..... | 55 |
| 3.5                                                                                                 | Costos de repuestos .....                                             | 58 |
| 3.6                                                                                                 | Organismos reguladores.....                                           | 59 |
| 3.7                                                                                                 | Multas.....                                                           | 59 |
| 3.8                                                                                                 | Planteamiento de escenarios de mantenimiento.....                     | 60 |
| 3.8.1                                                                                               | Escenario sin RCM .....                                               | 61 |
| 3.9                                                                                                 | Análisis de escenarios de mantenimiento.....                          | 63 |
| 3.10                                                                                                | Propuesta de mejoras .....                                            | 64 |
| 4                                                                                                   | Conclusiones.....                                                     | 66 |
| ANEXOS.....                                                                                         |                                                                       | 68 |

## **Resumen**

El agua fresca o agua potable, es el elemento principal para la sobrevivencia del ser humano. Por tal razón y debido a la capacidad limitada de almacenar agua potable a bordo de los buques, es que existen equipos llamados plantas de ósmosis inversa, las cuales tienen la función de extraer del agua de mar, la salinidad necesaria para transformar esta agua, en un producto consumible por el ser humano sin que le produzca daños a la salud. Lo anterior, logra permitir que los buques dispongan de una autonomía mayor, en relación a la disponibilidad de agua potable, debido a la utilización de estos equipos. La ósmosis inversa es un tratamiento en el cual, tiene como objetivo la purificación de agua, lo que es un procedimiento físico – químico, donde el proceso es forzar el fluido que en este caso es el agua de mar, tenga que pasar por una membrana semi permeable.

De acuerdo a lo anterior, el funcionamiento de las plantas de ósmosis inversa, se basa en aspirar agua de mar desde las cajas de agua de mar, existentes a bordo de los buques, por medio de una bomba de baja presión, la cual alimenta a una bomba de alta presión, haciendo pasar el agua de mar por medio de las membranas, lo cual provoca que las sustancias disueltas y los contaminantes, queden atrapados en el lado de alta concentración, mientras que el agua purificada pasa al lado de baja concentración. Una vez que el agua pasa por las membranas, el agua con menos concentración de sal, pasa por un equipo o sensor de salinidad, el cual tiene la función de medir la cantidad de sal en el agua, previo a ser enviada a los estanques de almacenamiento. Junto a lo anterior, los sistemas de generación de agua potable a bordo de los buques, disponen de equipos misceláneos, que apoya a la operación de las plantas de ósmosis inversa, tales como calentadores de agua, filtros de diferentes tamaños de filtrado, y elementos de sanitización del agua producida tales, como filtro UV y dosificador de cloro.

En este contexto, el objetivo del presente trabajo de titulación, es confeccionar un plan de mantenimiento del sistema de generación de agua potable existente a bordo de una Unidad de la Armada Nacional, del tipo fragatas. La función del citado sistema, es generar una cantidad mínima de agua potable de, 15 toneladas por día, lo cual corresponde al consumo total de agua de 150 personas, que corresponden a la dotación del buque. Para tal efecto, este tipo de Unidades cuentan con dos sistemas independientes pero similares para la generación de agua potable, denominados planta POI N°1 y Planta POI N°2. Los cuales utilizan dos Plantas de Ósmosis Inversa, de la marca Vigalle Marine, modelo PW-4000, para una producción nominal de 10.3 [L/h], también se estima que la embarcación tiene una operación de 180 días al año, lo que da una operación de 4320 horas al funcionar la planta 24 horas continua.

Considerando que las fallas promedio que existen en una planta de ósmosis

inversa, instalada a bordo de los buques, es de 40 fallas en un periodo de un año y a la inexistencia de un plan de mantenimiento específico, para este tipo de equipo, definido por el fabricante en su manual de operación, mencionando sólo actividades de limpieza y cambios de algunos filtros y membrana, se confeccionó un plan de mantenimiento, para lo cual se realizó un análisis de criticidad, por la variedad de componentes que componen el sistema de generación de agua potable, entre ellos los más críticos, se estima que son la bomba de alta presión y membranas, lo cual fue determinado por medio del desarrollo de una matriz de criticidad, el cual evaluó todos los componentes en calidad, de su cantidad de fallas que presenta cada uno, como también el riesgo u impacto, que representa al no tener el componente en funcionamiento.

Dando como el resultado el uso de la metodología de Análisis de modos, Efectos y Criticidad de fallas (FMECA ) y tomando en base un NPR, el cual determinará a criterio, el riesgo de gravedad de la falla u problemática, esto con lleva al uso de un árbol de decisiones, el que facilitará en la determinación de qué tipo de mantenimiento aplica, para cada modo de falla. En busca de una mejora continua, aplicando las metodologías, de análisis SIPOC y diagrama ISHIKAWA, con el objetivo de buscar oportunidades de mejora.

Ya como último tema, se realiza un estudio técnico económico, el cual como primer objetivo, evalúa la escases de los componentes y los costos se derivan estos mismos, esto da como resultado una matriz de riesgo, el cual sirve para determinar la criticidad de cada repuesto, también se abarca el tema de la multas y las entidades que las proporciona, ya que al no cumplir con los estándares calidad que se debería proporcionar aplica un castigo de 48.000.000 CLP.

Por lo que se plantean escenarios de mantenimiento, para encontrar el más viable según las necesidades . Se plantean cuatro escenarios, el primero de ellos sin la necesidad de un mantenimiento y sucesivamente, se plantea mejoras de planes rebajando la multa e implementado repuestos y apoyo al sistema de ósmosis. Lo que se plantea por último mejoras, las cuales se pueden implementar en el sistema.

## Introducción

En la década de los 50", se presenta una problemática en torno a la obtención de agua en zonas extremas. Por este motivo Charles E. Redi (1925-2015) en 1953 busca una solución mediante la ósmosis. Pero al momento de la evaluación de soluciones salinas, por la oficinas de aguas salinas de EE.UU, notó que el sistema tenía complicaciones y esa solución fue la membrana.

La cual llegó en 1959, cuando Reid y E.J. Breton, descubrieron la membrana de acetato de celulosa, que resultó ser adecuada para el proceso de ósmosis inversa. Posteriormente, en los años 1960 a 1962, S. Loeb y S. Sorirajan descubrieron que la membrana de Reid y Breton, mejoraba significativamente el flujo de soluto, y el rechazo.

Comprender los mecanismos de selectividad nos, permite predecir cómo funcionarán las membranas en diversas aplicaciones. La aparición de nuevas membranas basadas en diferentes polímeros, presenta ventajas frente al acetato de celulosa. En la década de 1970, las membranas se clasificaron según su proceso de separación y mecanismo de acción, lo que proporcionó una guía útil para su uso. Con el tiempo, la ósmosis inversa, se hizo muy popular y se desarrollaron varios métodos de funcionamiento para diferentes tipos de membranas. Hoy en día, la ósmosis inversa es muy utilizada, en industrias, negocios y hogares.

Actualmente las áreas industriales donde se aplica este sistema es precisamente en el área minería, zona extrema y marítima. Pero en esta última, precisamente en la parte mantenimiento, ha sido muy lenta o es precedido por lo ingenieros a cargo, teniendo en cuenta que en operaciones navales es fundamental su funcionamiento, el cual es precedido en la bahía de Valparaíso, en el cual se estima que el área de donde se presenta está a una temperatura de 12 a 13 grados Celsius, donde la flota de estudio es tipo fragata, la cual cuenta con un tiempo estimado de operación anual de 4320 horas, donde la embarcación, tiene funciones investigativa, de apoyo humanitario y operaciones navales, con una capacidad tanto de tripulación como de dotación entre 170 a 200 personas. Esta capacidad de dotación debe necesitar una suministración de agua suficiente, para poder efectuar de mejor forma las operaciones la cuales se pueden efectuar el navío.

Con lo anterior se contempla lo necesario que es la implementación de una planta de ósmosis en la embarcación .

Actualmente la planta presenta diversos inconvenientes, llegando a solo hacer labores de prácticamente correctivas, lo que en un periodo establecido de un año se han generado alrededor de 40 fallas, en el cual no cuenta con un plan de manteamiento sino más bien

con un kit de emergencia, dando como resultado opciones limitadas de trabajo y estrategias que se pueden implementar, esto genera una incertidumbre en el funcionamiento continuo del equipo, lo que deja como opción usar repuesto a requerimiento o cuando ya se presente la falla , lo que no es una alternativa más óptima , ya que se puede generar multa como también interrupciones operativas.

Lo cual aplicara estrategias de mantenimiento, para dar soluciones a esta problemáticas implementado herramientas, para terminar la criticidad de los componentes del equipo, mediante un estudio de criticidad, como también la elaboración de un plan de mantenimiento, el que se plantea la determinación de los modos de fallas, y establecer el riesgo que tienen.

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar estrategia integral de mantenimiento, para el sistema de generación de agua potable, de un buque de pasajeros con una capacidad máxima de 200 personas, el cual cuenta con dos sistemas independientes de generación de agua potable que opera cada uno con la planta de osmosis inversa de la marca Village Marine, modelo PW 4000, para uso marítimo.

#### Objetivos específicos:

- Diagnosticar el estado operacional actual del sistema de generación de agua potable, por medio de un análisis de criticidad ,para determinar el equipo crítico.
- Proponer plan de mantenimiento mediante la aplicación de la metodología de análisis de modo de falla y criticidad (FMECA).
- Evaluar el plan de mantenimiento mediante un análisis técnico económico, determinando la viabilidad del plan y su costo anual asociado.

## **CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES Y PROBLEMÁTICA**

## 1. Antecedentes generales y problemática

En el presente apartado, se describirá la configuración de instalación, componentes y modo de funcionamiento, del sistema de generación de agua potable existen a bordo de un buque tipo fragata, y se presentará la problemática actual asociado al mantenimiento del equipo y además de la definición del o los componentes críticos.

### 1.1 Antecedentes generales

El agua fresca o agua potable, es el elemento principal para la sobrevivencia del ser humano. Por tal razón y debido a la capacidad limitada de almacenar agua potable a bordo de los buques, es que existen equipos llamados plantas de, las cuales tienen la función de extraer del agua de mar la salinidad necesaria para transformar esta agua en un agua que sea consumible por el ser humano sin que le produzca daños a la salud. Lo anterior, le permite a los buques disponer de una autonomía mayor en relación a la disponibilidad de agua potable, debido a la utilización de estos equipos.

La ósmosis es un fenómeno natural de difusión pasiva, el cual ocurre sin la necesidad de una fuerza externa. Lo anterior, ocurre cuando dos soluciones de sales diferentes se encuentran separadas por una membrana semipermeable, la cual produce un flujo natural entre ambos fluidos desde la solución con menor concentración hacia la de mayor concentración. Este flujo sigue hasta alcanzar un equilibrio. A este proceso le conoce como ósmosis directa u ósmosis natural.

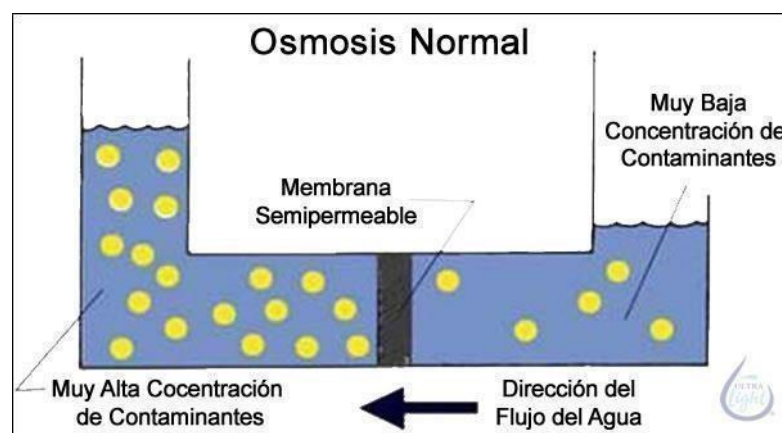


*Figura 1.0: Ósmosis natural o directa*

*Fuente: <https://aguaustralight.com/blog-post/que-es-la-osmosis-inversa/>*

Teniendo presente lo anterior, para la generación de agua potable, existen equipos llamados Plantas de Ósmosis inversa, los que basados en el principio de Ósmosis Natural, realizan el proceso inverso, aplicando presión externa a un flujo de

agua de mar, obligando a este a pasar a través de un conjunto de membranas, provocando que la sal disuelta y los contaminantes queden atrapados en el lado de alta concentración, mientras que el agua purificada pasa al lado de baja concentración.

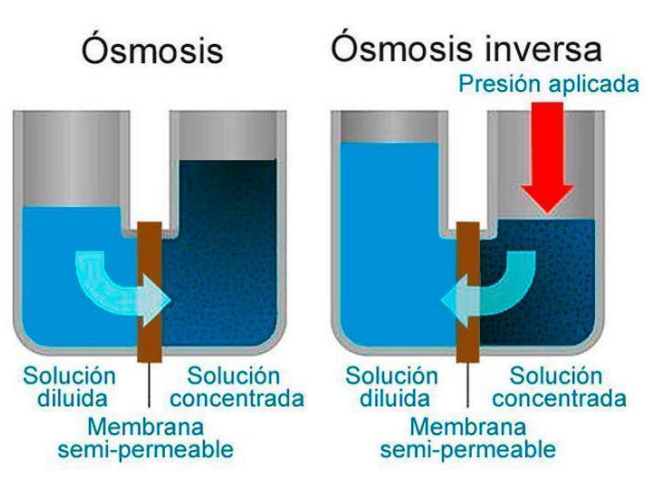


Figura 1.1: Ósmosis Inversa

Fuente: <https://www.winterhalter.com/cl-es/blog-winterhalter/equipos-de-osmosis-inversa-winterhalter-la-ultima-tecnologia-en-tratamiento-de-agua/>

### 1.1 Ósmosis en embarcaciones

La ósmosis inversa en la industria marítima es fundamental ya que proporciona agua purificada tanto para tripulación como para sus pasajeros, en donde la captación es a través de succión por lado del casco del barco, que sería la zona baja de la embarcación, donde el fluido es rico en sales minerales.

El fluido proveniente del mar, suele pasar por un proceso de pre tratamiento para eliminar su contaminación derivada del océano. Esto ayuda a prevenir la obstrucción y el daño de las membranas de ósmosis inversa, también cuenta con una bomba de alta presión la cual al igual que el proceso de osmosis inversa mencionado anteriormente, en este caso se aplica una presión externa al agua del mar en el lado de concentración de solutos. Esto implica el mismo proceso de forzar el fluido por la membrana dejando de lado a los minerales.

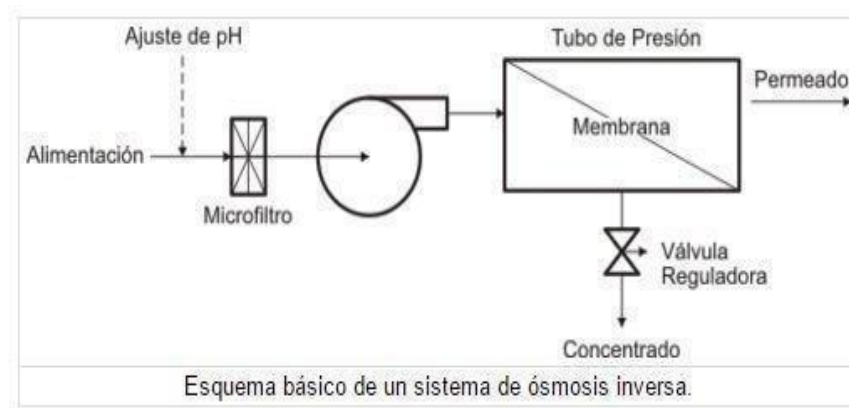


Figura 1.2: *Esquema básico de sistema osmosis inversa de una embarcación*

*Fuente: Manual modelo PW-3000-12000*

### 1.1.1 Distribución general de la planta de osmosis inversa

La distribución de la planta de osmosis inversa es fundamental ya que se tiene que verificar las ubicaciones de la entrada como su salida y su depósito, con la información entrega por el manual instalación Marine Vigalle existe dos distribuciones de instalación las cuales se puede realizar su instalación la primer se explica que la unidad RO debe ser instala debajo de la línea de agua con un drenaje, para que permita al agua estancada pueda ser retirada y para poder realizar una reparación u mantenimiento.

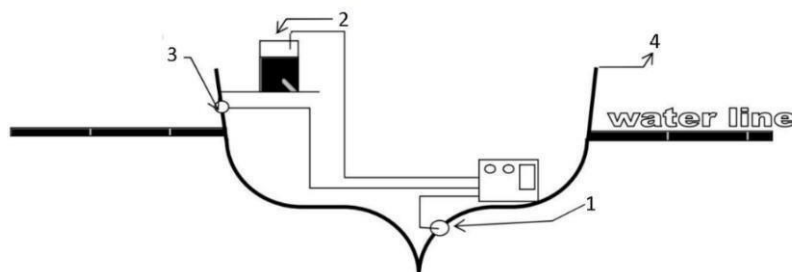


Figura 1-3: *Diagrama de distribución de planta bajo línea de agua*

*Fuente: Manual Modelo PW-3000-12000*

1. Entrada de agua salada, 1½" a través del casco, lo más bajo posible y hacia la popa del barco.
2. Es importante que la línea de agua del producto esté conectada a la parte superior del tanque de almacenamiento con un espacio de aire para evitar que el agua clorada regrese al potabilizado.
3. Descarga del agua.
4. casco de la embarcación.

La segunda distribución de la planta de ósmosis es muy similar a la primera pero el hecho que cambian es su ubicación de los componentes en este caso ya que están sobre la línea de agua y además se agrega una bomba de apoyo esto en caso que no sea posible instalar el equipo debajo de esta línea, a una altura máxima del equipo a 4,6 metro o 15 pies .

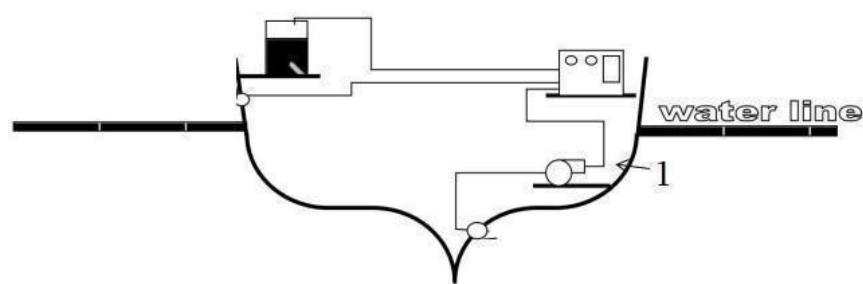


Figura 1-4: Diagrama de distribución de planta sobre línea de agua  
Fuente: Manual Modelo PW-3000-12000

1 Bomba de apoyo

En la siguiente imagen se muestra de forma esquemática los procesos que genera la planta de ósmosis inversa, donde se nombra sus componentes como sus áreas designadas.

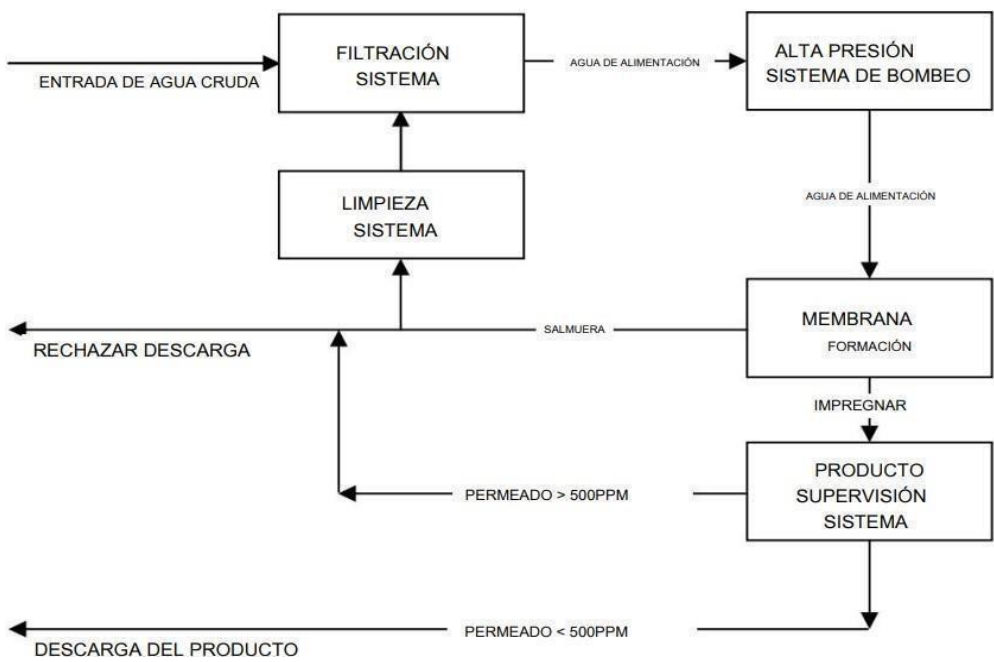


Figura 1-5 : Esquema de flujo de agua en una embarcación  
Fuente: Manual Modelo PW-3000-1200

## 1.2 Contexto Operacional

El objetivo de una fragata puede variar según la necesidad las cuales pueden actuar como escolta, patrullaje marino, investigación, apoyo humanitario, lo que implica que es necesaria que este en operación en mar Chileno, por cual una sección de ella es la planta de ósmosis inversa la cual es vital para su operación, se contempla una fragata donde está en funcionamiento en un periodo de 180 días del año, con funcionamiento de 24 horas en periodo mencionado dando un total de horas de operación de 4320 horas, también la planta de ósmosis inversa es el modelo PW-4000 de la empresa Marine Vigalle, con una producción diaria de 15.261 litros, también se estima de la dotación del personal es entre 150 a 200 personas como máximo con un consumo promedio de 70 a 80 litros diarios, la embarcación también cuenta con dos estakes los cuales se prevé que deben estar llenos con una capacidad de cada uno de 54.000 litros esto con el objetivo de pueda tener una autonomía de aproximado de 3 días, el estudio se hará sobre la costa Chilena en donde la temperatura del mar no sobrepasa los 13 grados Celsius, lo cual es un factor a considerar ya que afecta de forma directa a la producción de agua, algunos tipos de fragatas vigentes actualmente son:

- Almirante Condell
- Almirante Blanco Encalada
- Almirante Riveros



Figura 1-6 : *Fragata*

*Fuente: Manual Modelo PW-3000-1200*

### 1.3 Problemática

En el área industrial marítima precisamente en estos tipos de embarcaciones, debe existir un gran cuidado para el tratamiento de agua y sobre todo en su mantenimiento regular, esto ocurre ya que solo cuentan con un kit de operación el cual es seleccionado por el fabricante, lo que provoca que dentro del contexto de operación, presenta no sea suficiente para un funcionamiento óptimo , lo que provoca tengan que equipar dos equipos PW-4000 para la seguridad en caso de que uno de ellos presente complicaciones en su operación, siendo que este segundo equipo normalmente ya está con dificultades de funcionamiento.

Llegando a la conclusión que el mantenimiento en este caso es de carácter correctivo siendo costoso este tipo manteamiento, lo cual en casos más extremos logrando que la embarcación tenga que regresar a puerto siendo que aproximadamente esto sucede 1 o 2 veces al año, en donde se clasifica en dos situaciones de fallas, donde la primera se clasifica como falla menor donde los costos son en base al combustible y personal, y por otra parte falla grave la cual requiere un remolque , escolta o asistencia técnica especializada.

Este regreso a puerto altera lo que es el ciclo de mantenimiento como operaciones navales y de aporte humanitario.

| Ítem Estimado               | Costo Aprox. (USD)  |
|-----------------------------|---------------------|
| Combustible y Operación     | \$15.000 - \$40.000 |
| Personal (Salarios/Seguros) | \$30.000 - \$50.000 |
| Mantenimiento (en muelle)   | \$1.000 - \$2.000   |
| Total Diario Operativo      | \$45.000 - \$95.000 |

Tabla 1-1: Costos de estimados de operación  
Fuente: Elaboración propia

Los costos totales que asigna la Armada de Chile provienen de la ley de presupuesto de 2025, donde se detalla que en total cuenta con \$609 millones de USD para gasto generales de los cuales \$14.4 millones USD son destinados para el mantenimiento en seco es decir la embarcación fuera del mar.

La remuneración del personal se considera en base al portal transparencia activa de la Armada la cual entrega estos datos y por último se considera que el motor diesel de la embarcación oscila en un consumo de 500 a 2.000 L/h , lo que significa que el consumo diario en una operación es entre 12 a 16 horas de navegación, la cual cuenta con una velocidad lenta entre 18 a 20 nudos, lo que se reconoce como navegación económica o de patrulla.

En lo cual se genera un rango de mínimo y máximo de lo estimado, lo que ha de considerar que se establece como rango máximo de estudio donde el costo es de \$80.959.680.

| Categoría de Gasto      | Costo Mínimo (CLP) | Costo Diario Máximo (CLP) | Notas Técnicas                    |
|-------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Combustible y Operación | \$ 13.058.100      | \$ 34.821.600             | Basado en consumo de 500-2000 L/h |
| Sueldos y Personal      | \$ 26.116.200      | \$ 43.527.000             | Dotación de 180-200 personas      |
| Servicios de Puerto     | \$ 435.000,00      | \$ 870.000                | Conexión eléctrica y agua         |
| Mantenimiento           | \$ 870.540         | \$ 1.741.080              | Desgaste operacional base         |
| Total diario estimado   | \$ 40.479.840      | \$ 80.959.680             | TC: \$870.54 CLP/USD              |

Tabla 1-2: Costos de estimados de operación en CLP  
Fuente: Elaboración propia

| KIT                                           |          |
|-----------------------------------------------|----------|
| Producto o repuesto                           | Cantidad |
| Producto químico de limpieza de 25 lbs        | 4        |
| Conservante químico de 25 lbs                 | 11       |
| Filtro 100 ft ^2,5 micras                     | 6        |
| Filtro 100 ft ^2,20 micras                    | 6        |
| Kit sello mecánico para bomba de baja presión | 1        |
|                                               | 1        |
| Kit sello mecánico para bomba de alta presión | 1        |
| Membrana                                      | 2        |

Tabla 1-3: Kit de emergencia predeterminado  
Fuente: Manual de usuario equipos Marine vial

1.3.1 Explicación de costos

Las fragatas y grandes buques ocupan Marine gas oil (MGO) el cual es un combustible destilado y menos pesado , es decir más limpio , el cual a un costo minorista de 950 CLP por litro , pero a un precio mayorista es de 630 a 670 CLP ,este precio es otorgado Ship y Bunker.

Sueldo del persona como ya se mencionó se basa en la página transparencia activa, la cual se considera la dotación completa en este caso.

Por último los costó asociados lo cual entrega el puerto como el desgaste que se genera con su retorno.

1.4 Factor de corrección de temperatura

Se mencionó que en el contexto operacional que las condiciones de trabajo de trabajo son ideales pero en las zona de Valparaíso, específicamente la temperatura del mar no supera los 13 grados Celsius, sino más bien es de 12 grados, esto con lleva buscar una tabla de corrección la cual es entregada por el manual de fabricante, la que indicara la producción actual, ya que a mayor temperatura es mayor la producción, tomando esto como referencia la temperatura ideal de operación es de 25 °C , donde su factor es de 1.00.

| °C | Factor | °C | Factor |
|----|--------|----|--------|
| 1  | 3.64   | 14 | 1.54   |
| 2  | 3.23   | 15 | 1.47   |
| 3  | 3.03   | 16 | 1.39   |
| 4  | 2.78   | 17 | 1.34   |
| 5  | 2.58   | 18 | 1.29   |
| 6  | 2.38   | 19 | 1.24   |
| 7  | 2.22   | 20 | 1.19   |
| 8  | 2.11   | 21 | 1.15   |
| 9  | 2.00   | 22 | 1.11   |
| 10 | 1.89   | 23 | 1.08   |
| 11 | 1.78   | 24 | 1.04   |
| 12 | 1.68   | 25 | 1.00   |
| 13 | 1.61   | 26 | 0.97   |

Tabla 1-3: *Tabla de factor de corrección*  
*Fuente: Manual Modelo PW-3000-12000*

*Agua potable real  
producida =*

617.9 L/h

Factor de corrección por tabla

El factor de corrección del agua sería el siguiente en condición es de que la ubicación sería Valparaíso a 12 Celsius.

agua potable real producida = 367.7 L/h

$$\frac{617.9 \text{ L/h}}{1.68}$$

- 617.9 L/h: condiciones ideales a 25°C , agua potable producida.
- 1.68: factor de corrección a 12°C temperatura de agua cruda

El agua potable producida real es de 367.7 L/h a una temperatura de 12°C, para que se cumpla condiciones ideales de operación que es tener una temperatura de 25 °C ,se deberá implementar un calentador de agua en cual tendrá la función de elevar esta temperatura.

$$\begin{aligned} & \text{Tiempo de calentamiento (segundos)} \\ & \frac{\text{Cantidad de agua real(Kg)} * (\text{Temperatura final} - \text{temperatura inicial}) * 4186(\frac{J}{Kg * ^\circ C})}{\text{Potencia del calentador [W]}} \\ & = \frac{617.9 (kg) * (25^\circ c - 12^\circ c) * 4186(\frac{J}{Kg * ^\circ C})}{9000 [W]} \\ & = 3736(s) \\ & = \frac{3736(s)}{3600(s)} * 1h \\ & = 1.03 h \end{aligned}$$

Cumpliendo con lo anterior se establece un la producción real de 617.9 litros en una hora, con un calentador de una potencia de 9000 [W].



Figura 1-7: Calentador de agua

Fuente: [https://www.cosmoclima.cl/termo-electrico-piso-ursus-700-lts-380v-9kw-galvanizado?utm\\_source=js-google-shopping-app&utm\\_medium=js-google-shoppingapp&qad\\_source=1&qclid=CjwKCAjwnei0BhB-](https://www.cosmoclima.cl/termo-electrico-piso-ursus-700-lts-380v-9kw-galvanizado?utm_source=js-google-shopping-app&utm_medium=js-google-shoppingapp&qad_source=1&qclid=CjwKCAjwnei0BhB-)

## 1.5 PW-4000

Planta de ósmosis inversa fabricado por Marine vigalle PW-4000, es un equipo desalinizador de agua de mar de Village Marine Tec (VMT) el cual presenta un sistema de purificación por goteo que se utiliza en la ósmosis inversa (RO) como método de desalinización del agua de mar. Esta unidad produce agua potable con una concentración de sal inferior a 500 ppm mediante la eliminación de aproximadamente el 99% de la sal disuelta en el agua de mar.



Figura 1-8: Modelo PW-4000 Magille village

Fuente: Manual Modelo PW-3000-12000

Al momento de escoger un equipo se debe considerar las especificaciones técnicas, como también lo requerimiento y la condiciones a la cuales se va exponer esto equivale a un contexto de operación, en donde se deberá cumplir con la función principal del equipo tomando la norma SAEJA 1011, la cual establece cumplimiento de los criterios de mantenimiento (RCM)

- Rango de temperatura del agua cruda: 1-40°C (33-108°F)
- Presión del elemento RO (ósmosis inversa) de diseño: 800 psi
- Máxima presión del elemento RO: 1000 psi
- Máximo cloro residual del agua de alimentación: < 0,1 ppm
- Rango de pH (corto plazo para limpieza): 4-10 (3-11)
- Tipo de membrana: compuesto de película delgada

Otras características que tener en cuenta son las dimensiones del equipo, esto sirve como ejemplo la instalación del equipo o el diseño de planta, como también el espacio para realizar el mantenimiento.

|          | MODELO         |               |                |                 |
|----------|----------------|---------------|----------------|-----------------|
|          | PW3000-5000    | PW6000        | PW7000-120000  | PW16000-20000   |
| Longitud | 84"- 213,36 cm | 84"-213,36 cm | 84"- 213,36 cm | 84" – 213.36 cm |
| Ancho    | 34"- 86,34 cm  | 44"-111.76 cm | 48"-121.92 cm  | 52"-132.08 cm   |
| Altura   | 35"-88,9 cm    | 35"-88, 9 cm  | 35"- 121.92 cm | 43"- 109.22 cm  |

Figura 1-9: Cuadro de dimensiones  
Fuente: Manual Modelo PW-3000-12000

1.5.1 Plano de conexiones de equipo osmosis inversa

El siguiente plano es entregado por el manual de fabricante, el cual muestra las conexiones correspondiente a la filtración y tratamiento de agua, donde se entrega información de los elementos sensoriales como ubicación de las bombas.

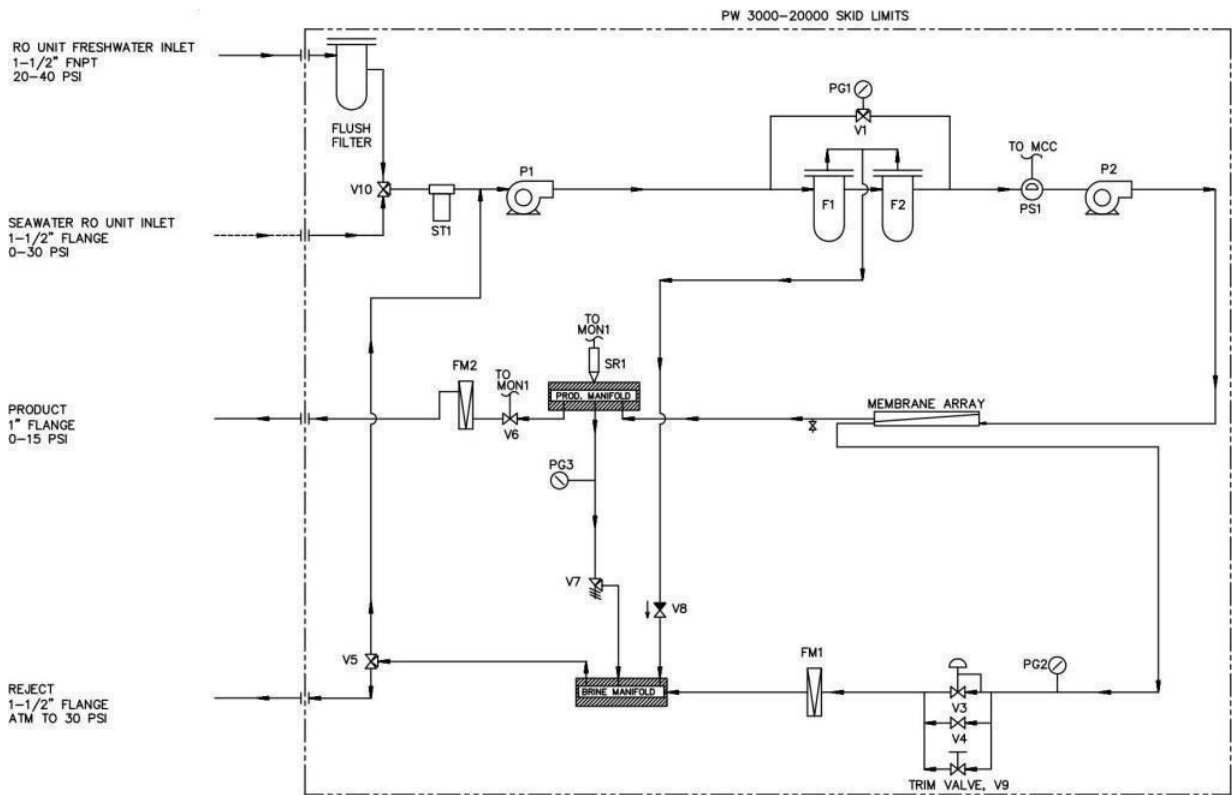


Figura 1-8: Plano de ubicación de filtros y bombas  
Fuente: Manual Modelo PW-3000-1200

- **V10:** Válvula de descarga, Válvula de agua de alimentación de 3 vías utilizada para lavar el sistema
- **P1:** Bomba de baja de presión, Presuriza el agua bruta para suministrar el cartucho
- **P2:** Bomba de alta presión, presuriza el agua de alimentación para suministrar la membrana
- **ST1:** Colador de agua cruda, elimina partículas grandes del crudo
- **PG1:** Medidor de presión del prefiltros, indica la entrada y descarga del filtro
- **V1:** válvula selectora de manómetro de filtro, permite al operador seleccionar y leer la entrada de presión como la descarga en el manómetro
- **F1:** Pre filtros de 20 micra
- **F2:** Pre filtros de 5 micra
- **PS1:** Interruptor de baja presión, apagará las bombas si la presión está por debajo de lo requerido
- **SR1:** sensor de conductividad, el sensor de conductividad proporciona señal al monitor de agua (MON)
- **MON:** Monitoreo de calidad del agua
- **FM2:** Flujoímetro indica la cantidad de permeado producido por la OR
- **V6:** Válvula de desviación de flujo, según la sanidad de agua es dirigida a permeado de agua potable o descarga (rechazo)
- **PG2:** Manómetro de alta presión
- **V7:** Válvula de alivio del producto
- **V8:** Válvula de desviación de flujo, evita que el flujo rechazado vuelva a fluir a las carcassas del filtro en la corriente de agua de alimentación.
- **PG2:** Manómetro de presión del producto, indica la presión de descarga del conjunto de membranas en la fase de permeado
- **FM1:** Flujoímetro de agua rechazada, indica la cantidad de agua rechaza por la OR
- **V3:** Válvula reguladora, ayuda a la contra presión del sistema
- **V4:** Válvula de derivación, permite al operador a omitir la válvula reguladora de alta presión durante el arranque.
- **V9:** Válvula de ajuste, sirve para ajustar el funcionamiento silencioso del regulador.

### 1.5.1.1 SISTEMA DE FILTRACIÓN

El sistema de filtración inicia con la absorción de agua el cual fluye inicialmente a través del primer filtro el cual ayuda como primera parte a filtrar las partículas más dañina desde un inicio, ST1, que elimina las partículas de gran tamaño. Una vez pasado por el filtro, el fluido es dirigido a la bomba de baja presión, P1, que eleva la presión de este fluido con el objetivo de proporcionar suficiente presión positiva de alimentación.

Su segundo proceso de filtración es pasar a través de un conjunto de filtros de micras, F1 y F2, diseñado para reducir la turbidez del agua a un diámetro nominal de 5 micras. El conjunto de filtros de micras consta con un cartucho de 20 micras y un cartucho de 5 micras. Cada carcasa de filtro contiene un elemento filtrante con un área de filtrado efectiva de 100 pies cuadrado y está equipada con un separador de aire y aceite integrado. La presión de descarga de los alojamientos del filtro se controla mediante un manómetro, PG1, que permiten al operador determinar si los elementos del filtro requieren limpieza o sustitución.



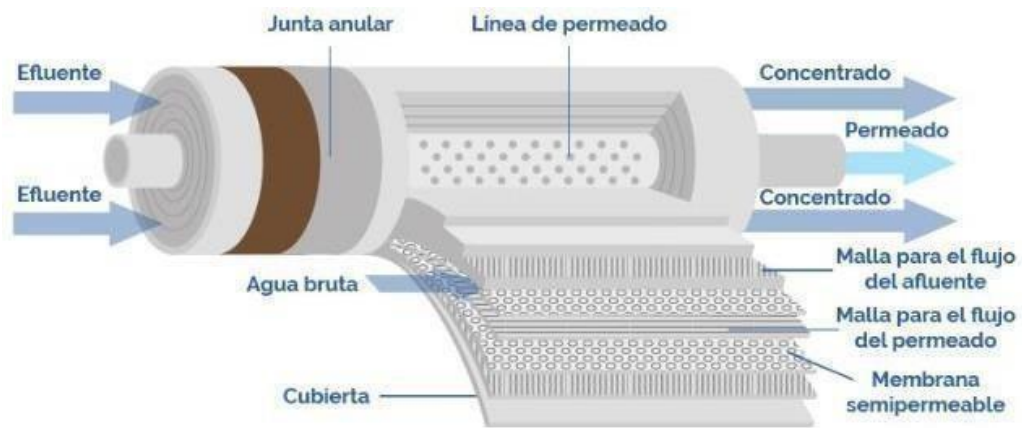
Figura 1-9: *Filtros de Osmosis inversas de embarcaciones*

*Fuente : Guía de filtros Parker*

### 1.5.1.2 Membrana Ósmosis Inversa

Las membranas de ósmosis inversa son esenciales para la producción de agua potable a bordo. En la industria marítima, estas membranas semipermeables permiten el paso del agua de mar mientras retienen sales y contaminantes.

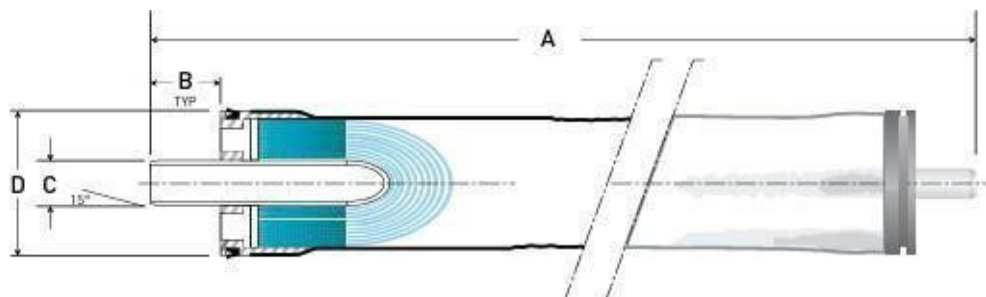
- La membrana tipo espiral: es la más destacada por su diseño interno con hojas enrolladas que separan el agua purificada del rechazo.
- El permeado: es el agua que atraviesa la membrana y se destina al consumo en la embarcación.
- El rechazo o concentrado: Son las impurezas retenidas, se expulsa al mar para evitar acumulación salina.
- El proceso requiere alta presión para superar la presión osmótica, lo que implica un consumo energético significativo.



. Figura 1-10 : Membrana tipo espiral

Fuente : <https://ingenieromarino.com/sistema-de-osmosis-inversa-como-generador-de-agua-dulce/#5-Configuraciones-de-las-Membranas>

Con la información proporcionada por el fabricante, se designa el modelo de membrana, esto en base a la producción de agua diaria que tolerada por el equipo, en este caso el modelo de membrana es el 33-0238, la cual produce una filtración diaria de 2080 litros diarios, también se considera que el equipo por diseño tiene una capacidad para almacenar ocho membranas lo que daría un total de 16640 litros de producción de agua purificada.



| MODELO  | Medida Nominal | Product<br>m3/day | Rechazo típico<br>de sal % | Dimensiones cm |     |     |      |
|---------|----------------|-------------------|----------------------------|----------------|-----|-----|------|
|         |                |                   |                            | A              | B   | C   | D    |
| 33-2519 | 2519           | 0,83              | 99,4                       | 48             | 2,8 | 1,9 | 6,1  |
| 33-0238 | 2538           | 2,08              | 99,4                       | 95,5           | 2,8 | 1,9 | 6,1  |
| 33-0440 | 4040           | 4,54              | 99,4                       | 101,6          | 2,5 | 1,9 | 10,1 |
| 33-0036 | 6040           | 9,47              | 99,4                       | 101,6          | 3,2 | 3,8 | 15,2 |

Figura 1-11: Modelos tipo espiral para equipos Marine Village

Fuente: Manual de membranas Marine village

1.5.1.3 Bomba de alta presión

Un componente esencial para el funcionamiento de la planta de ósmosis inversa, es la bomba de alta presión, donde el fabricante menciona que es la TITAN 5P50 la cual es una bomba de tipo embolo en donde sus especificaciones técnicas son :

- Número de Émbolos: 5
- Diámetro: 1.259"- 3.2 [cm]
- Carrera: 1.516"- 3.9 [cm]
- Capacidad de Aceite: 5.49 litros
- Presión Máxima de Entrada: Desde Inundado (cero) hasta 60 PSI
- Temperatura Máxima del Líquido: 120 grados Fahrenheit (82 grados Celsius)

La razón por la cual se utiliza este tipo de bomba, es que el proceso de ósmosis inversa requiere una presión significativamente mayor para forzar el agua a través de las membranas semipermeables. Las bombas de émbolo son capaces de generar altas presiones, lo que permite que el agua fluya a través de las membranas con la fuerza suficiente para separar los contaminantes.

Este tipo de bombas permiten un control muy preciso sobre la presión del sistema y también pueden proporcionar un flujo constante y uniforme de agua a través de las membranas, lo que es fundamental para que un proceso de ósmosis inversa pueda lograr ser eficiente y consistente.

Otro beneficio que presenta esta serie de bombas, es la resistencia a la corrosión ya que están diseñadas para un contacto continuo con el agua y químicos.

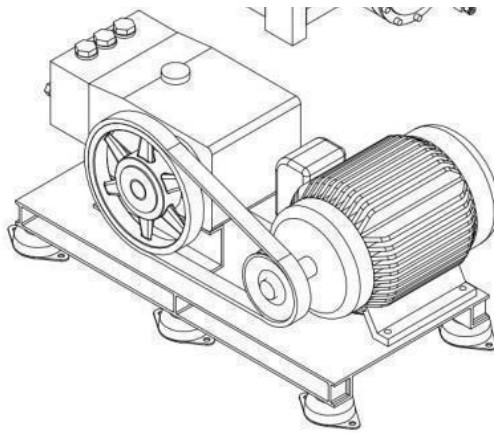


*Figura 1-11: Bomba de alta TITAN 5P50*

*Fuente: Manual series TITA*

#### **1.5.14 Bomba de baja presión**

La bomba de baja, perteneciente a la marca Ampco Pums de modelo KC2 donde la serie K ofrece una durabilidad y eficiencia, en donde entrega una presión de hasta 150 PSI u 10 BAR con una temperatura de operación de hasta 105 [°C].

El objetivo de esta bomba es aumentar la presión del fluido en el sistema, para que el caudal logre fluir por los pre filtros de micra y lograr una purificación más óptima.

Especificaciones técnicas:

- Material : Acero inoxidable 316 ,bronce nique y aluminio
- Presión máxima de descarga : 150 PSI
- Caudal : 53 [m3/ hr]
- Máxima viscosidad : 1.200 CP

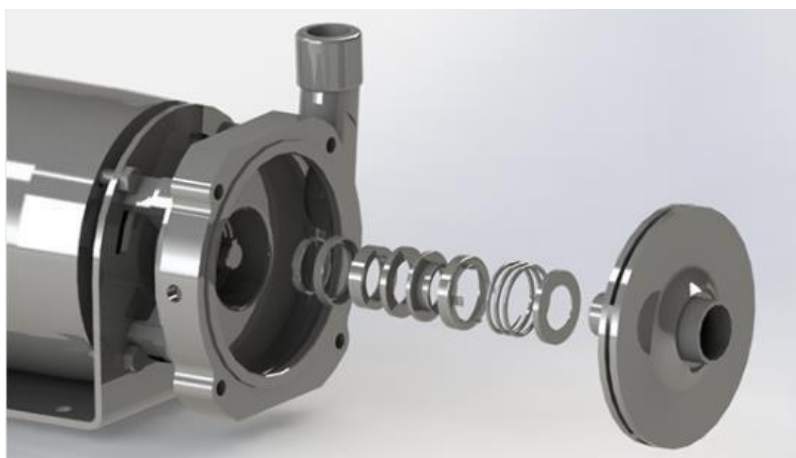


*Figura 1-12: Bomba de baja presión*

*Fuente: [Bombas Serie K - Bombas Ampco](#)*

#### 1.5.1.5 Tanque de agua

El estanque de agua tiene la función de resguardar el fluido, que este caso sería el agua desalinizada, también al momento de una operación estos estanques deben estar llenos, esto es con el objetivo de tener un resguardo de autonomía de un aproximado de 2 a 3 días, en caso de que la planta pueda presentar fallas durante la navegación.

Se estima las fragatas cuentan con dos estanque los cuales están debajo de la línea de agua o de flotación de capacidad de 54.000 litros cada uno.

#### 1.5.1.6 Panel de control del agua (MON)

El panel de control o monitor de calidad de agua es un instrumento el cual entrega información sobre la sanidad de permeado del agua en tratamiento, como también la temperatura de funcionamiento y horas de operación.

Cuenta con pulsadores de alarma en caso de no cumplir con la sanidad de agua la cual entrega como señal una luz de color roja si está por encima de lo establecido, lo que ayuda a mantener la planta de forma operativa y establecer momento de críticos.

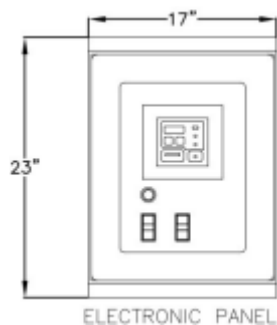


*Figura 1-13: MON*

*Fuente: Manual usuario Marine Vigalle PW-*

1.6 Historial de fallas

| Historial de fallas |            |                         |                                      |                    |
|---------------------|------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| N.                  | Fecha      | Equipo                  | Falla                                | Horas de detención |
| 1                   | 13-05-2024 | Bomba de alta           | Fuga de aceite                       | 4                  |
| 2                   | 14-08-2024 | Intercambiador de calor | Fuga en la entrada de agua           | 4                  |
| 3                   | 09-03-2024 | Bomba de alta           | Bajo caudal                          | 3                  |
| 4                   | 07-08-2024 | Pre filtros             | Baja presión                         | 3                  |
| 5                   | 16-12-2024 | Bomba de alta           | Alta temperatura                     | 3                  |
| 6                   | 15-12-2024 | Colador de agua cruda   | Fugas por sello                      | 5                  |
| 7                   | 17-06-2024 | Filtros UV              | Filtro obstruido                     | 4                  |
| 8                   | 11-11-2024 | Bomba de baja           | Baja presión                         | 5                  |
| 9                   | 01-07-2024 | Válvula selectora       | Obstrucción                          | 4                  |
| 10                  | 07-10-2024 | Estanque de almacenaje  | Mal sellado                          | 3                  |
| 11                  | 23-01-2024 | Filtros de carbono      | Aumento de las sales en el fluido    | 4                  |
| 12                  | 14-05-2024 | Filtros UV              | Poco porcentaje de disolución de sal | 3                  |
| 13                  | 28-05-2024 | Bomba de baja           | Abrasión                             | 5                  |
| 14                  | 31-08-2024 | Toma de agua            | Baja presión de entrada              | 4                  |
| 15                  | 08-07-2024 | Bastidor de membranas   | Desgaste o deformación               | 6                  |
| 16                  | 14-12-2024 | Pre filtros             | Bajo caudal                          | 4                  |
| 17                  | 07-11-2024 | Sensor de conductividad | Señal intermitente                   | 3                  |
| 18                  | 13-06-2024 | Deposito CO2            | Baja presión de entrada              | 4                  |
| 19                  | 31-12-2024 | Colector                | Tapado                               | 3                  |
| 20                  | 04-09-2024 | MON                     | Problemas eléctricos                 | 4                  |
| 21                  | 10-09-2024 | Deposito CO2            | hinchazón de sellos                  | 3                  |
| 22                  | 04-01-2024 | Sensor de conductividad | Tiempo derespuesta prolongado        | 2                  |
| 23                  | 06-09-2024 | Sensor de conductividad | Impreciso                            | 3                  |
| 24                  | 08-11-2024 | Intercambiador de calor | Dificultadesde calentar              | 4                  |
| 25                  | 06-02-2024 | Estanque de almacenaje  | Perdida de agua por el revestimiento | 3                  |
| 26                  | 06-05-2024 | Colador de agua cruda   | Permeabilidad reducida               | 2                  |
| 27                  | 14-09-2024 | Membranas de Ósmosis    | Permeabilidad reducida               | 3                  |
| 28                  | 24-07-2024 | Válvula selectora       | Disminución de en la tasa de rechazo | 3                  |
| 29                  | 12-02-2024 | Filtros de carbono      | Bajo porcentaje filtración           | 3                  |
| 30                  | 17-06-2024 | Intercambiador de calor | Obstrucción                          | 4                  |
| 31                  | 28-11-2024 | Colador de agua cruda   | Sellos agrietados                    | 3                  |
| 32                  | 25-09-2024 | Válvula selectora       | Disminución de en la tasa de rechazo | 4                  |
| 33                  | 06-10-2024 | Membranas de Ósmosis    | Abrasión                             | 3                  |
| 34                  | 15-02-2024 | MON                     | Entrega de información errónea       | 3                  |
| 35                  | 06-03-2024 | Membranas de Ósmosis    | Dañadas por material biológico       | 3                  |
| 36                  | 10-02-2024 | Bomba de alta           | Cambios bruscos de caudal            | 4                  |
| 37                  | 02-06-2024 | Bastidor de membranas   | Baja presión                         | 3                  |
| 38                  | 12-01-2024 | Intercambiador de calor | Tiempo de operación prolongado       | 4                  |
| 39                  | 02-06-2024 | Bomba de baja           | Vibración excesiva                   | 3                  |
| 40                  | 01-08-2024 | Membranas de Ósmosis    | Obstrucción                          | 4                  |

La importancia de tener un historial de falla es tener un respaldo de los acontecimientos que suceden en el equipo durante un tiempo determinado , esto con el objetivó de tener la capacidad suponer futuras fallas y determinar estrategias de mantenimiento lo que permite una mayor evaluación en el riesgo y la optimización de costos futuros tanto en su mantenimiento como repuestos.

El historial de falla presentado es de historiales previos de embarcaciones marinas de la armada de Chile , los cuales normalmente presentan entre 30 a 40 fallas anuales , tras revisar el historial de fallas el cual es de los últimos 12 meses, se identificaron patrones en el cual se puede establecer priorización manteamiento para elementos específicos.

### 1.7 Indicadores

Los indicadores sirven para evaluar métricas como la confiabilidad, disponibilidad de equipos u sistemas.

| Indicadores          |      |
|----------------------|------|
| Frecuencia de fallas | 40   |
| Horas de operación   | 4320 |
| Horas de reparación  | 132  |
| MTBF                 | 108  |
| MTTR                 | 3,3  |
| D                    | 97%  |

Tabla 1-4 : Indicadores  
Fuente : Elaboración propia

Con los datos dispuesto en la tabla, se establece que existe una falla no programada en un periodo de cada cuatro días, lo que posterior indica que tiene una funcionalidad interrumpida durante este periodo en el cual puede estar ejerciendo actividades marítimas.

| Equipo                  | N° fallas | Total de horas de fallas | MTTR |
|-------------------------|-----------|--------------------------|------|
| Bomba de alta           | 4         | 14                       | 3,5  |
| Intercambiador de calor | 4         | 9                        | 2,3  |
| Pre filtros             | 2         | 7                        | 3,5  |
| Colador de agua cruda   | 3         | 10                       | 3,3  |
| Filtros UV              | 2         | 7                        | 3,5  |
| Bomba de baja           | 3         | 13                       | 4,3  |
| Válvula selectora       | 3         | 8                        | 2,7  |
| Estanque de almacenaje  | 2         | 6                        | 3,0  |
| Filtros de carbono      | 2         | 7                        | 3,5  |
| Toma de agua            | 1         | 4                        | 4,0  |
| Bastidor de membrana    | 2         | 9                        | 4,5  |
| Sensor de conductividad | 3         | 8                        | 2,7  |
| Deposito CO2            | 2         | 7                        | 3,5  |
| Colector                | 1         | 3                        | 3,0  |
| MON                     | 2         | 7                        | 3,5  |
| Membrana de Ósmosis     | 4         | 13                       | 3,3  |

Tabla 1-5: Componentes de la planta OI  
 Fuente: Elaboración propia

### 1.8 Análisis de criticidad

La selección de equipo y sistema critico se llevará a cabo bajo la herramienta de matriz cualitativa de riesgo, lo que permitirá establecer una jerarquización según el riesgo de forma económica, humana y tecnológica, el objetivo de usar esta técnica es establecer un método el cual ayude a buscar oportunidad de mejorar.

Para llevar a cabo esta herramienta, es necesario establecer criterios de evaluación adecuados para la criticidad del equipo, la priorización puede variar según la necesidad que tenga como también su operación.

#### 1.8.1 Frecuencia de fallas

Cantidad de fallas que le sucede al equipo en un tiempo determinado que este caso es un periodo de un año, los cuales se determina en base un historial de fallas.

| Frecuencia de fallos (FF)      | Valor |
|--------------------------------|-------|
| Mayor o igual a 9 fallas anual | 4     |
| Entre 5 y 8 fallas anual       | 3     |
| Entre 1 y 4 fallas anual       | 2     |
| Menor a 1 falla anual          | 1     |

Tabla 1-6: Frecuencia de fallas  
 Fuente : Elaboración propia

1.8.2 Impacto operacional

El impacto operacional corresponde al efecto en la continuidad operacional del proceso productivo, esto es clasificando por línea de producción o del equipo según el impacto en operación frente a una falla.

| Flexibilidad Operacional (FO)                             | Valor |
|-----------------------------------------------------------|-------|
| No existe opción de servicio y no hay función de repuesto | 3     |
| Hay opción de repuesto compartido                         | 2     |
| Existe opción de repuesto y respaldo                      | 1     |

Tabla 1-7: Flexibilidad operacional  
Fuente : Elaboración propia

1.8.3 Flexibilidad operacional

Determina el grado de impacto y la oportunidad de intervención para poder ser solucionada la falla la cual está comprometiendo las funciones principales del equipo o sistema. Esto da repuesto si existe un equipo que puede operar de forma sustituta o la existencia de repuestos que puedan ser obtenidos de forma inmediata.

| Costo de mantenimiento (CM)      | Valor |
|----------------------------------|-------|
| Alto entre 1 y 5 millones        | 3     |
| Regular entre 500.000 y 1 millón | 2     |
| Bajo entre 0 y 500.000           | 1     |

Tabla 1-8:Costo de mantenimiento  
Fuente : Elaboración propia

1.8.4 Costos de mantenimiento

Son los costos asociados a la reparación del equipo frente a una falla, los cuales son , repuestos , mano de obra pero dejando de un lado los costos de pérdidas de producción.

| Impacto operacional (IO)                                        | Valor |
|-----------------------------------------------------------------|-------|
| Parada inmediata de producción (salida del producto)            | 4     |
| Parada de la unidad asistencial (proceso)                       | 3     |
| repercute en costes operacionales asociados a la disponibilidad | 2     |
| No genera ningún efecto sobre la actividad                      | 1     |

Tabla 1-9: Impacto operacional

Fuente : Elaboración propia

1.8.5      **Impacto seguridad , higiene y ambiental (SAH )**

Es la ocurrencia que puede generar daños en el personal, instalaciones o en el medio ambiente.

| Impacto seguridad , Higiene y Medio Ambiente (SAH)                      | Valor |
|-------------------------------------------------------------------------|-------|
| Afecta la seguridad del personal                                        | 5     |
| Afecta al medio ambiente con daños severos                              | 4     |
| Afecta instalaciones con daños severos                                  | 3     |
| Provoca daños menores al personal                                       | 2     |
| Provoca daño ambiente cuyo efecto no está fuera de norma ambiental      | 1     |
| No provoca ningún tipo de daño a personas , instalaciones o al ambiente | 0     |

Tabla 1-9: SHA  
Fuente : Elaboración propia

1.9      Selección de equipo critico

Riesgo = FF x C

C = (IO x FO) + CM +SAH

Dónde:  
IO: Impacto Operacional  
FO: Flexibilidad Operacional  
CM: Costo Mantenimiento  
SAH: Seguridad Ambiente Higiene

- Escala de valores de criticidad

|              |               |
|--------------|---------------|
| Critico      | Sobre 40      |
| semi critico | Entre 20 y 39 |
| No critico   | Entre 0 y 19  |

Tabla 1-9: Escala de valores de criticidad  
Fuente : Elaboración propia

1.9.1 Análisis de criticidad para la línea de procesos

Al analizar la criticidad de una sección ayuda a un estudio más exhaustivo para luego establecer los componentes y definir los estados de estos mismos, a lo cual da como resultado que la línea más crítica es la del proceso de desalineación, la que tiene sentido ya que son los componentes que realizan la labor más compleja que es el tratado de agua.

| Procesos            | FF | IO | FO | CM | SAH | Consecuencia | Total | Jerarquización |
|---------------------|----|----|----|----|-----|--------------|-------|----------------|
| Captación de agua   | 2  | 2  | 2  | 1  | 1   | 6            | 12    | No critico     |
| Pre tratamiento     | 3  | 3  | 2  | 2  | 1   | 9            | 27    | Semi critico   |
| Desalienación       | 4  | 4  | 2  | 3  | 3   | 14           | 56    | Critico        |
| Post tratamiento    | 3  | 2  | 2  | 2  | 4   | 10           | 30    | Semi critico   |
| Rechazo de salmuera | 2  | 2  | 2  | 2  | 3   | 9            | 18    | No critico     |

-

Tabla 1-10:Criticidad de procesos  
Fuente : Elaboración propia

Los resultados dan que la línea de proceso de desalineación es la más critica la cual se compone de la bomba de alta, membranas, el monitor de calidad, válvulas y flujo metro , al ser la línea con un estado más crítico y la que está expuesta a fallar más, lo que significa una mayor gasto en la implementación de mantenimiento.

| Matriz de riesgo línea de proceso |   |                     |                  |              |         |
|-----------------------------------|---|---------------------|------------------|--------------|---------|
| Frecuencia                        | 4 |                     |                  | Desalinación |         |
|                                   | 3 |                     | Pre tratamiento  |              |         |
|                                   | 2 | Captación de agua   | Post tratamiento |              |         |
|                                   | 1 | Rechazo de salmuera |                  |              |         |
|                                   |   | 0 a 9               | 10 a 13          | 11 a 14      | 15 ≥ 18 |
| Consecuencia                      |   |                     |                  |              |         |

Tabla 1-11:Matriz de criticidad de procesos.  
Fuente : Elaboración propia.

1.9.2      **Análisis de criticidad para los equipos de línea de proceso (Desalienación )**

Ya mencionado anterior se muestra el análisis de criticidad de la línea respectiva, en donde ahora se estudia la parte de los equipos que la conforman, así mismo también su matriz cualitativa de criticidad.

| Desalienación              |    |    |    |    |     |              |       |                |
|----------------------------|----|----|----|----|-----|--------------|-------|----------------|
| Equipos                    | FF | IO | FO | CM | SAH | Consecuencia | Total | Jerarquización |
| Bomba de alta              | 3  | 4  | 3  | 3  | 3   | 18           | 54    | Critico        |
| Membrana                   | 3  | 3  | 2  | 2  | 4   | 12           | 36    | Semi critico   |
| Monitor de calidad de agua | 2  | 3  | 3  | 3  | 4   | 16           | 32    | Semi critico   |
| Válvula de desviación      | 2  | 2  | 2  | 1  | 1   | 6            | 12    | No critico     |
| Flujo metro                | 2  | 2  | 2  | 2  | 1   | 7            | 14    | No critico     |

Tabla 1-12:Criticidad del procesos de desalineación.  
Fuente : Elaboración propia.

|            |   | Matriz de riesgo de equipos |  |          |                            |
|------------|---|-----------------------------|--|----------|----------------------------|
| Frecuencia | 4 |                             |  |          | Bomba de alta              |
|            | 3 |                             |  | Membrana |                            |
|            | 2 | Válvula de desviación       |  |          | Monitor de calidad de agua |
|            | 1 | Flujo metro                 |  |          |                            |

Tabla 1-13:Matriz de criticidad del procesos de desalineación  
Fuente : Elaboración propia

**Captación de agua**

Dedicada admisión de agua, elementos encargados, colador de agua cruda , colector y sensor de conductividad.

- Frecuencia de fallas : 9
- Impacto: No presenta un grado de criticidad considerable, ya que presenta pocos número de fallas como de reparación.
- Observaciones : Implementar inspecciones de forma más recurrente.

Pre-tratamiento

Sección donde intenta eliminar de forma general los organismos biológicos de mayor tamaño y presentar un fluido más limpio, componentes que se encuentran en este

sistema son la bomba de baja, intercambiador de calor, pre filtros, filtros de carbono.

- Frecuencia de fallas :11
- Impacto: Su nivel de criticidad es de carácter moderado, ya que afecta directamente al tratamiento de agua, lo cual afecta en la producción de esta.
- Observación: Establecer periodos, de limpieza y lavada en el sistema.

### **Sistema de desalinización**

Parte encargada de la desalinización del agua de mar, el cual está compuesto por la bomba de alta, membranas, sensores y monitor MON.

- Frecuencia de fallas: 13
- Impacto: Alta criticidad ya que afectar a la capacidad de navegación.
- Observación: Al ser un sistema critico se requiere un mantenimiento de carácter preventivo, como inspecciones y efectuar manteamiento cada cierto tiempo de operación.

### **Rechazo de salmuera**

Es el agua post tratamiento, el porcentaje de rechazo que queda, los elementos que lo componen son, válvula selectora.

- Frecuencia de fallas: 1
- Impacto: En este caso su criticad es mínima, conduce el rechazo y la derivación del agua tratada, para luego ser expulsada directamente al mar.
- Observación: Monitoreo del estado del sensor y también como de los conductos.

### **Post- tratamiento**

En el cual es terminado el proceso de desalinización y procede a ser almacenada para su utilización futura, los equipos que lo componen son, estanques, filtros UV y

deposito CO2.

- Frecuencia de fallas: 6
- Impacto: Su criticidad es de carácter moderado lo cual establece, que el cuidado de agua ya purificada es importante luego de su tratamiento.
- Observación : Medición de PH de forma diaria, e inspección de los estanque para prevenir fugas futuras.

## **CAPÍTULO 2: PLAN DE MANTENIMIENTO**

## 2 Plan de mantenimiento

En el presente capítulo se planteará los diferentes tipos de fallas de que se pueden presentar dentro de una planta de ósmosis inversa en una fragata de la armada de Chile esto con la ayuda del historial de falla respectivo en el capítulo anterior, lo cual ayudará a efectuar un plan de mantenimiento e identificar el tipo de estrategia tomar u medida a considerar a respecto para acudir a su reparación.

### 2.1 Mantenimiento

El mantenimiento consiste en una seguidilla de actividades, como reparaciones, actualizaciones y planificaciones, con la finalidad que al paso del tiempo no afecte la funcionalidad del equipo y su rendimiento. Estas acciones incluyen combinaciones como metodologías de manteniendo, una de ellas es el FMECA el cual tendrá un enfoque de estudio durante este capítulo.

El objetivo del mantenimiento es asegurar la fiabilidad, disponibilidad, y los gastos del equipo, también evitar fallos en el momento de la parte productiva lo cual esto puede causar costos de pérdidas, esto llevándolo al entorno de la planta de osmosis es perdida de producción y sostenibilidad de agua purificada lo que puede generar multas en un futuro al no cumplir los estándares de calidad impuestos a nivel nacional como internacionalmente.

### 2.2 Mantenimiento a equipos previos

En el manual de fabricante proporciona una planilla de mantenimiento la cual se engloba a la limpieza del sistema pero no así un mantenimiento preventivo de forma más exhaustiva, lo que condiciona otros componentes, este tipo de mantenimiento es por periodos tiempo de uso de la planta y a requerimiento.

#### 2.2.1 Limpieza de membrana

El equipo RO incluye un sistema de limpieza, el cual permite eliminar desecho orgánicos como también depósitos de sarros existente esto ayudando a que el rendimiento no disminuya por parte de la membrana se recomienda realizar esta actividad o proceso en un periodo de 30 a 90 días de uso.

Este sistema está constituido por un tanque el cual se añade un producto químico, que general mente son denominados CIP el cual es un sistema de limpieza de membranas que es bajo en pH al agua potable, el cual incluye aditivos químicos estos químicos son anti-crustantes , biocidas, para luego recircular por la a bomba de alta , ideal mente estos químico que no deberían ser dañinos para la bomba por eso deben estar estandarizados.

2.2.2 Limpieza del sistema

La limpieza de la planta de ósmosis inversa debe ser con agua potable la cual debe pasar por un filtro de carbón lo que significara que no contiene cloro, este filtro debe ser cambiando al menos una vez al año o cada 50 lavados.

2.3 Tabla de limpieza y mantenimiento

La vida útil de la planta está directamente relacionada con la admisión de agua cruda la cual entra con material biológico y contaminación externa , lo que da como solución un tratamiento de limpieza para sus componentes lo que facilita en la vida útil de ellos y posterior a un mantenimiento más efectivo.

|                                                   | Diario | Semanal | Mensual | Trimestral | requerimiento | HH(aprox) |
|---------------------------------------------------|--------|---------|---------|------------|---------------|-----------|
| Limpiar e inspeccionar la cesta del Colador       |        |         |         |            |               | 0.3       |
| Limpiar e inspeccionar los filtros                |        |         |         |            |               | 0.5       |
| Reemplace los filtros                             |        |         |         |            |               | 0.5       |
| Limpiar membranas                                 |        |         |         |            |               | 4.0       |
| Reemplazar membranas                              |        |         |         |            |               | 2.0       |
| inspeccionar la correa de transmisión de la bomba |        |         |         |            |               | 1.0       |
| Comprobar el nivel de aceite de la bomba alta     |        |         |         |            |               | 0.1       |
| Cambiar aceite bomba de alta                      |        |         |         |            |               | 1.0       |

Tabla 2-1: Tabla de inspección y limpieza  
Fuente: Manual de usuario Marine

2.3.1 Limpieza del colador

El colador es el componente que recibe de forma directa el agua cruda o agua de mar, partes biológica más grande e las impurezas más grandes afuera del sistema de filtración.

Su limpieza consiste en el retiro de la rejilla el cambio de su filtro y verificar el sellado de esta, el no presentar daños en su entorno para no generar un filtración, ya que en caso filtrara puede generar daños a los pre filtros y bombas, lo que produce fallas en cadenas.

2.4 Taxonomía

En una jerarquización por la norma ISO 14224 menciona que su clasificación sistemática es teniendo primero características similares, como su comportamiento, este caso de una embarcación, el estudio será solo en el área de planta de osmosis inversa.

Además, la norma ISO 14224 es fundamental en área de confiabilidad y mantenimiento, esta herramienta permite identificar los equipos y sistemas de mejor manera facilitando la toma de decisiones.

| Nivel                           | Descripción                                                                      |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Nivel 1: Unidad naval           | Fragata equipada con sistema de tratamiento de agua                              |
| Nivel 2: Sistema principal      | Sistema de producción y tratamiento de agua                                      |
| Nivel 3: Subsistema             | Planta de ósmosis inversa PW-4000 Marine                                         |
| Nivel 4: Conjunto funcional     | Ósmosis inversa / Pos tratamiento y distribución                                 |
| Nivel 5: Componentes mayores    | Captación y pre tratamiento / Bomba de alta presión / Tanques de almacenamiento  |
| Nivel 6: Equipos específicos    | Filtros de sedimentos / cartucho / Módulos de membranas / Bombas de distribución |
| Nivel 7: Elementos auxiliares   | Dosificadores químicos / Válvulas de control e instrumentación                   |
| Nivel 8: Elementos individuales | Motor eléctrico de bomba / Válvula de retención / Red de tuberías                |
| Elemento mantenible             | Cartucho filtrante reemplazable / Lubricante de cojinetes / Fusible              |

Figura 2-1: Jerarquización de planta de osmosis

Fuente: Elaboración propia

2.5 Análisis SIPOC

El análisis SIPOC es una herramienta útil para identificar los puntos críticos de un proceso, lo que ayuda buscar soluciones más rápidas como reducir fallas. En el caso de una planta de ósmosis inversa, puede ser utilizada para identificar los procesos y etapas de las cuales la planta opera día a día.

| S                                                                       | I                                                                                                                                 | P                                                                                                                                                                                                      | O                                                                                                                  | C                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Proveedores                                                             | Entradas                                                                                                                          | Proceso                                                                                                                                                                                                | Resultados                                                                                                         | Clientes                                                         |
| Empresa Marine Vigalle , la cual es la encargada de entrega del equipo. | <ul style="list-style-type: none"><li>• Repuestos</li><li>• Estrategias de mantenimiento</li><li>• Cursos o inducciones</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Absorción de agua cruda</li><li>• Desalinización de agua</li><li>• Cumplir con los estándares de calidad</li><li>• Almacenamiento de agua purificada</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Agua consumible para el personal</li><li>• Informe de producción</li></ul> | Embarcaciones marítima , de tipo fragata para la armada de Chile |

Figura 2-2 : SIPOC de planta de marine village

Fuente: Elaboración propia

Como resultado, se identifica que el cumplir con estándares de calidad la parte de procesos es fundamental ya que al no hacerlo no puede ser almacenado y menos entregado a la parte de clientes, por lo que lo ideal es hacer un énfasis en esa parte.

Como objetivo se espera que la parte interesada pueda comprender el funcionamiento de la misma planta y sus procesos ya que es útil para mejorar la eficiencia y la calidad de este, plateando oportunidades de mejoras para un funcionamiento óptimo.

Se establecen algunos puntos de mejora los cuales son, el ser más riguroso en los estándares de calidad, como también, el implementar herramientas para diagnosticar equipos, aplicando ultrasonido o vibraciones industriales, por último tener repuestos a disposición inmediata para cualquier inconveniente que se puede presentar, esto con el objetivo de que la embarcación no requiera ir a puerto como también no presente mantenimiento inesperado en funcionamiento.

## 2.6 Modos de fallos

Los modos de fallos son las posibles fallas o modos que puede ocurrir una falla, lo que resulta que el equipo o sistema baje su desempeño o pierda su función principal, según la norma SAE-JA1011 menciona que es un evento único el cual puede provocar una falla potencial, los modos de fallos en otras palabras es la forma la cual se produce el fallo, para poder identificar estos modos de fallas se determina realizar un FMEA, análisis de modos de fallas y efectos esta metodología ayuda a identificar posibles modos de fallas, sus causas y efectos.

Dentro del área industrial de una planta de ósmosis inversas los modos de fallas pueden ser variados tanto por sus sistemas principales como sus subsistemas, con la anteriormente mencionado, la prioridad es la obtención de los modos fallas más cruciales e identificar las fallas, para luego integrar un plan de mantenimiento, algunos modos de fallas más comunes son:

- Obstrucción en sistema de filtración como de purificación
- Presión variada por parte de las bombas
- Contaminación biológica
- Fugas
- Válvulas dañadas u obstruida

2.7 Análisis de modos de falla y efectos

La metodología denominada AMEF es un una herramienta que busca eliminar posibles fallas o los modos de fallas anterior mente mencionado, esto es base en un proceso como lo es planta de ósmosis inversa, esta herramienta es crucial en la toma de decisiones lo cual servirá para decidir el tipo de mantenimiento que se requerida.

Es una metodología clave para la gestión, ya que permite el análisis, identificar y prevenir fallas potenciales, los modos de fallas los cuales serán evaluadas son los más comunes que se pueden presentar en una fragata de la armada y basándose en el historial de fallas.

El concepto de falla funcional es la pérdida de un sistema o línea de producción la cual es incapaz de elaborar sus funciones por las cuales fue diseñado ya que puede operar, pero de forma anormal y fuera de sus parámetros, esto no quiere decir que su falla sea total o que el equipo tenga que detenerse.

Como primer acercamiento al AMEF, se hizo un estudio del cálculo del NPR (número de ponderación de riesgo), este valor determina la prioridad en la cual se debe abordar el modo falla , es decir su criticidad, en la cual se establece tres criterios de evaluación los cuales son severidad (S) , ocurrencia (O ), detención (D), estos valores luego serán un múltiplo entre ellos reflejado un resultado el cual establecerá el nivel de riesgo.

| atributo de propiedad | NIVEL NPR |
|-----------------------|-----------|
| RIESGO ALTO           | 75 – 125  |
| RIESGO MEDIO          | 19 – 74   |
| RIESGO BAJO           | 1-18      |
| NO EXISTE RIESGO      | 0         |

Tabla 2-2: Nivel de NPR

Fuente : Manual FMEA Análisis de modo y efecto de fallas potenciales.

- Severidad (S): El criterio de severidad hace a alusión sobre qué tan grave puede llegar a hacer una falla, por ejemplo un riesgo sin una alarma, lo cual puede llegar a hacer catastrófico.
- Ocurrencia (O): El criterio de ocurrencia establece la probabilidad de que el sistema o equipo presente una falla a lo largo de su vida útil o en un tiempo determinado
- Detención (D): El criterio de detención hace relación que tan es posible detectar la falla , esto se puede ver en el mundo industrial muy a menudo ya que pueden existir fallas muy complejas de

diagnosticar como otras que son de carácter más sencillas .

| Probabilidad de falla | Criterio: Severidad de efecto                                                                                                                                          | RANGO |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Muy alto              | Rango de Severidad muyalta, cuando el modo de una falla potencial afecte la operación o involucre el incumplimiento con algún requerimiento técnico , sin advertencia  | 5     |
| Alto                  | Rango de Severidad muy alta, cuando el modo de una falla potencial afecte la operación o involucre el incumplimiento con algún requerimiento técnico , con advertencia | 4     |
| Moderado              | Opera perdiendo parte de su función primaria                                                                                                                           | 3     |
| Bajo                  | Opera con un rendimientoreducido                                                                                                                                       | 2     |
| Ninguno               | Sin efecto                                                                                                                                                             | 1     |

Tabla 2-4: Criterio de detención  
Fuente : Manual FMEA Análisis de modo y efecto de fallas potenciales

| Criterio : Ocurrencia              |                             |       |
|------------------------------------|-----------------------------|-------|
| Probabilidad de falla              | Posible proporción de falla | RANGO |
| Muyalta : La falla casi inevitable | Diario                      | 5     |
| Alta : La falla es frecuente       | Semanal                     | 4     |
| Moderado : La falla es ocasional   | Mensual                     | 3     |
|                                    | Trimestral                  |       |
| Bajo : Falla poco frecuente        | Semestral                   | 2     |
| Remota : la falla es imposible     | Anual                       | 1     |

Tabla 2-3: Criterio de ocurrencia  
Fuente: Manual FMEA Análisis de modo y efecto de fallas potenciales.

| Probabilidad de falla | Criterio : detención                                         | RANGO |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|-------|
| Muy alto              | No existe un control, que pueda detectar una falla potencial | 5     |
| Alto                  | Probabilidad remota que se pueda detectar una causa de falla | 4     |
| Moderado              | Probabilidad alta que se pueda detectar una causa de falla   | 3     |
| Bajo                  | Probabilidad muyque se pueda detectar una causa de falla     | 2     |
| Ninguno               | Sin efecto                                                   | 1     |

Tabla 2-5: Criterio de severidad  
Fuente : Manual FMEA Análisis de modo y efecto de fallas potenciales

## 2.8 NPR

El número de prioridad de riesgo o más conocido como NPR tiene como objetivo poder establecer la falla o el modo de fallas más crítico y priorizar estos modos para designar estrategias de mantenimiento, como implementar el preventivo, como también implementar nuevos estudios para una mejora continua.

Para obtener un buen resultado en la implementación del NPR se toma la metodología del árbol de decisiones donde el cual tendrá un gran importancia para determinar el tipo de mantenimiento a implementar dependiendo de la falla presentada.

## 2.9 Árbol de decisiones

El árbol de decisiones o árbol lógico de decisión, es una herramienta la cual tiene la labor de recurrir que estrategia de mantenimiento será aplicada para el equipo o sistema el cual se está estudiando sus modos de fallas, da a la solución de disminuir la cantidad de fallas, como también la aplicación de nuevas estrategias, lo que a su vez implica una baja de en el NPR lo cual de forma directa es una gran beneficio. El árbol decisiones presenta cuatro secciones las cuales son:

- Consecuencia de falla oculta: en la imagen se presenta como color azul, esta sección por lo general da como resultado mantenimiento preventivo danto como resultado estudios, tareas a condición, reacondicionamiento y sustitución cíclica.
- Consecuencia para la seguridad o medio ambiente : en este apartado toma en consideración la seguridad del personal como el reglamento ambiental , lo cual aplica todo lo anterior a lo antes mencionado, tareas a condición y reacondicionamiento, pero también aplica lo que es rediseño, lo que es hacer cambios requeridos a la capacidades iniciales del equipo o sistema.
- Consecuencias operacionales: si no tiene un afecto con lo anterior puede afectar de forma operacional, los cuales puede ser calidad, costos operativos u servicio.
- Consecuencias no operacionales: busca si es factible el realizar tareas de mantenimiento o si es técnicamente viable.

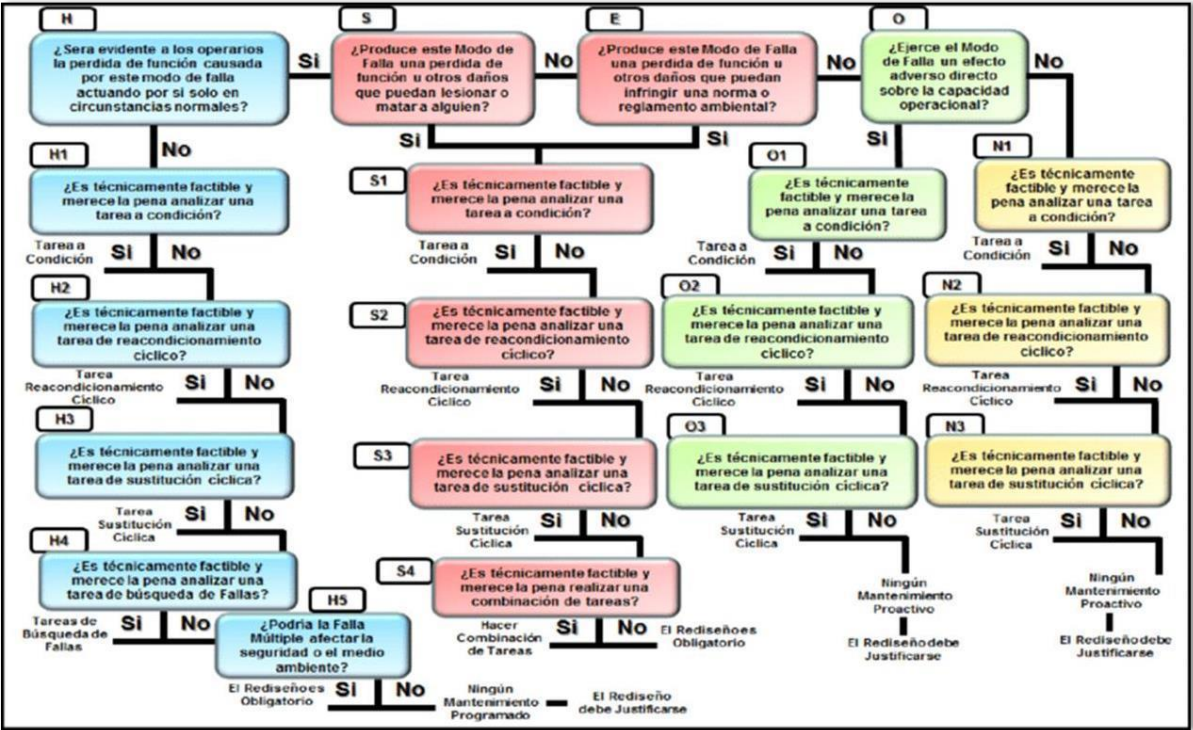


Figura 2-4: Árbol de decisiones

Fuente : <https://www.researchgate.net/figure/Figura-N-10-Arbol-logico-de-decision-para-categorizacion->

2.10 MTTO

En el manual de fabricante contempla un apartado en el cual se presenta un plan de acción para la plata de ósmosis inversa , pero expresa solo el mínimo de apoyo para la planta, lo cual en el contexto operacional que se presenta no es adaptado en las condiciones que enfrenta una fragata a nivel nacional , lo que genera incertidumbre durante su operación y su producción .Varios de estos apartados se reflejan solo en la parte lavado y cambio a condición , lo que a un futuro no es ñp adecuado ya que genera detecciones indebidas y no programadas , que un caso extremo puede generar en un falla total en la planta.

Se plantea que lo más ideal es la implementación de un manteamiento de carácter preventivo ,ya que los tiempos de limpieza son muy prolongados como de inspección , como también es esperar a que lo equipos fallen para su cambio genera una incertidumbre , ya que se puede presentar un desconocimiento en la tardanza de repuesto , lo que puede provocar tener que ir a puerto de forma urgente y detener operaciones , con una finalidad de un gasto mayor en mantención y tiempos de detención mayor de lo esperados.

Algunas ideas de mejora pueden ser más recurrente en la inspecciones , tener repuestos disponibles de forma inmediata , ya que dentro del kit de usuario solo presenta

membranas y productos de limpieza , no así bombas ni válvulas ,lo que se termina que no están pesada para un cambio dentro de un periodo sino a que falle.

| Plan de mantenimiento preventivo            |        |         |         |           |            |           |       |               |            |
|---------------------------------------------|--------|---------|---------|-----------|------------|-----------|-------|---------------|------------|
| Equipo : PW-4000                            |        |         |         |           |            |           |       |               |            |
| Tareas                                      | Diario | Semanal | Mensual | Bimensual | Trimensual | Semestral | Anual | Requerimiento | HH (Aprox) |
| Limpieza de Filtros                         |        |         |         |           |            |           |       |               | 1          |
| Limpieza de pre filtros                     |        |         |         |           |            |           |       |               | 1          |
| Limpieza de Membrana                        |        |         |         |           |            |           |       |               | 1          |
| Limpieza de Sistema                         |        |         |         |           |            |           |       |               | 3          |
| Limpieza de sensores                        |        |         |         |           |            |           |       |               | 2          |
| Inspección bomba de Alta                    |        |         |         |           |            |           |       |               | 0.4        |
| Inspección bomba de baja                    |        |         |         |           |            |           |       |               | 0.4        |
| Inspección de membrana                      |        |         |         |           |            |           |       |               | 0.4        |
| Inspección de nivel de aceite bomba de alta |        |         |         |           |            |           |       |               | 0.4        |
| Inspección de correa distribuidora          |        |         |         |           |            |           |       |               | 0.3        |
| Cambio Membrana                             |        |         |         |           |            |           |       |               | 2          |
| Cambio aceite de bomba de Alta              |        |         |         |           |            |           |       |               | 2          |
| Cambio de Filtros                           |        |         |         |           |            |           |       |               | 2          |
| Cambiode pre filtros                        |        |         |         |           |            |           |       |               | 2          |
| Cambiode Sensores                           |        |         |         |           |            |           |       |               | 2          |
| Cambiode Válvulas                           |        |         |         |           |            |           |       |               | 2          |
| Cambio de bomba de Alta                     |        |         |         |           |            |           |       |               | 4          |
| Cambiode bomba de baja                      |        |         |         |           |            |           |       |               | 4          |

Tabla 2-5: MTTO  
Fuente : Elaboración propia

| Descripción de la unidad bajo análisis |                                                                         |   |                                                                                    | Descripción de falla |                                                        |                                                      | Análisis criticidad |   |   |     |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------|---|---|-----|
| EQUIPO                                 | FUNCIÓN                                                                 | # | FALLA FUNCIONAL                                                                    | #                    | Modo de falla                                          | Causa de falla                                       | SEV                 | O | D | NPR |
| Marine<br>Vigalle -4000                | Producir agua potable a 10.3[L/min] a una presión de diseño de 55 [bar] | 1 | El subsistemas de succión y descarga no es capaz de entregar una presión de 55 bar | 1.1                  | Bomba de baja con sello mecánico dañado                | Corrosión                                            | 3                   | 3 | 4 | 36  |
|                                        |                                                                         |   |                                                                                    | 1.2                  |                                                        | desalienación bomba-motor                            | 3                   | 3 | 3 | 27  |
|                                        |                                                                         |   |                                                                                    | 1.3                  | Pre filtros obstruidos                                 | Problemas en el sistema de lavado                    | 5                   | 5 | 2 | 50  |
|                                        |                                                                         |   |                                                                                    | 1.4                  |                                                        | Incrustación                                         | 4                   | 4 | 4 | 64  |
|                                        |                                                                         |   |                                                                                    | 1.5                  | Bomba de baja fuga por colector                        | Desgaste de junta y O-rings                          | 5                   | 4 | 3 | 60  |
|                                        |                                                                         | 2 | sistema de purificación no puede entregar 10.3 [L/min]                             | 2.1                  | Membrana dañada por oxidacion (Degradación química)    | Oxido y particulas mal retenidas por pre-tratamiento | 5                   | 4 | 3 | 60  |
|                                        |                                                                         |   |                                                                                    | 2.2                  |                                                        | Cloro no es el adecuado para el tratamiento          | 5                   | 3 | 4 | 60  |
|                                        |                                                                         |   |                                                                                    | 2.3                  |                                                        | Filtros de carbonos mal estado                       | 4                   | 3 | 5 | 60  |
|                                        |                                                                         |   |                                                                                    | 2.4                  | Bomba de alta con fuga de aceite por sello de cigüeñal | desgaste o daño en el sello del cigüeñal             | 5                   | 3 | 5 | 75  |
|                                        |                                                                         |   |                                                                                    | 2.5                  |                                                        | Sobrecarga u sobrepresión                            | 5                   | 4 | 5 | 100 |
|                                        |                                                                         |   |                                                                                    | 2.6                  | Válvula dañadas por golpe de ariete                    | Arranque y paradas de bombas                         | 3                   | 4 | 3 | 36  |
|                                        |                                                                         |   |                                                                                    | 2.7                  |                                                        | Falla de control (software/PLC)                      | 5                   | 2 | 5 | 50  |

Tabla 2-6: AMEF de planta de ósmosis

Fuente: Elaboración propia

| Referencia de información |    |     | Evaluación de la consecuencias |    |    |    | H1 | H2 | H3 | Acciones de falta |    |    | Tareas propuestas                 |
|---------------------------|----|-----|--------------------------------|----|----|----|----|----|----|-------------------|----|----|-----------------------------------|
|                           |    |     |                                |    |    |    | S1 | S2 | S3 |                   |    |    |                                   |
|                           |    |     |                                |    |    |    | O1 | O2 | O3 |                   |    |    |                                   |
| F                         | FF | FM  | H                              | S  | E  | O  | N1 | N2 | N3 | H4                | H5 | S4 |                                   |
| 1                         | 1  | 1.1 | SI                             | NO | NO | SI | SI |    |    |                   |    |    | Tarea a condición                 |
|                           |    | 1.2 | SI                             | NO | NO | SI | SI |    |    |                   |    |    | Tarea a condición                 |
|                           |    | 1.3 | SI                             | NO | NO | SI | SI |    |    |                   |    |    | Tarea reacondicionamiento cíclico |
|                           |    | 1.4 | SI                             | NO | NO | SI | NO | SI |    |                   |    |    | Tarea reacondicionamiento cíclico |
|                           |    | 1.5 | SI                             | SI |    |    | NO | SI |    |                   |    |    | Tarea reacondicionamiento cíclico |
|                           | 2  | 2.1 | NO                             |    |    |    | SI |    |    |                   |    |    | Tarea reacondicionamiento cíclico |
|                           |    | 2.2 | SI                             | SI | SI |    | SI |    |    |                   |    |    | Tarea a condición                 |
|                           |    | 2.3 | NO                             |    |    |    | SI |    |    |                   |    |    | Tarea a condición                 |
|                           |    | 2.4 | SI                             | SI |    |    | NO | SI |    |                   |    |    | Tarea reacondicionamiento cíclico |
|                           |    | 2.5 | SI                             | NO | NO | SI | NO | SI |    |                   |    |    | Tarea reacondicionamiento cíclico |
|                           |    | 2.6 | NO                             |    |    |    | SI |    |    |                   |    |    | Tarea reacondicionamiento cíclico |
|                           |    | 2.7 | NO                             | SI | NO | NO | NO | SI |    |                   |    |    | Tarea reacondicionamiento cíclico |

Tabla 2-7: Árbol de decisiones  
Fuente : Elaboración propia

| Descripción de falla |                                                        |                                                      | DETALLE DE DETENCION |              | POSIBLE MEJORA |     |   |   |     |
|----------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------|--------------|----------------|-----|---|---|-----|
| #                    | Modo de falla                                          | Causa de falla                                       | Estrategia           | Frecuencia   | Acción tomada  | SEV | O | D | NPR |
| 1.1                  | Bomba de baja con sello mecánico dañado                | Corrosión                                            | Preventivo           | Cada 3 meses | Si             | 4   | 2 | 2 | 16  |
| 1.2                  |                                                        | desalinación bomba-motor                             | Preventivo           | Cada 3 meses | SI             | 3   | 3 | 3 | 27  |
| 1.3                  | Pre filtros obstruidos                                 | Problemas en el sistema de lavado                    | Preventivo           | Cada 6 mes   | SI             | 3   | 2 | 1 | 6   |
| 1.4                  |                                                        | Incrustación                                         | Preventivo           | Cada 3 meses | SI             | 4   | 2 | 2 | 16  |
| 1.5                  | Bomba de baja fuga por colector                        | Desgaste de junta y O-rings                          | Preventivo           | Cada 3 meses | SI             | 4   | 3 | 2 | 24  |
| 2.1                  | Membrana dañada por oxidación (Degradación química)    | Oxido y partículas mal retenidas por pre-tratamiento | Preventivo           | cada 6 meses | SI             | 3   | 2 | 2 | 12  |
| 2.2                  |                                                        | Cloro no es el adecuado para el tratamiento          | Preventivo           | Cada 3 meses | SI             | 4   | 2 | 2 | 16  |
| 2.3                  |                                                        | Membrana dañada por oxidación (Degradación química)  | Preventivo           | cada 6 meses | SI             | 3   | 2 | 2 | 12  |
| 2.4                  | Bomba de alta con fuga de aceite por sello de cigüeñal | desgaste o daño en el sello del cigüeñal             | Preventivo           | cada 6 meses | SI             | 3   | 2 | 3 | 18  |
| 2.5                  |                                                        | Sobrecarga u sobrepresión                            | Preventivo           | Cada 3 meses | SI             | 5   | 4 | 2 | 40  |
| 2.6                  | Válvula dañadas por golpe de ariete                    | Arranque y paradas de bombas                         | Preventivo           | Cada 3 meses | SI             | 2   | 4 | 2 | 16  |
| 2.7                  |                                                        | Cambios bruscos de caudal                            | Preventivo           | Cada 3 meses | SI             | 2   | 3 | 2 | 12  |

Tabla 2-8: Implementación de árbol de decisiones en el AMEF

Fuente : Elaboración propia

## 2.11 Finalidad del AMEF

El AMEF (análisis de modos y efectos de fallo), tiene como objetivo identificar los posible efectos de fallos técnicos que pueda presentar en la operatividad de la planta , teniendo datos a mano se pueden presentar planes de acción, lo cual es útil para anticiparse a problemas de procesos que se puedan presentar, algunos puntos los cuales se espera mejorar son :

- Mejorar la fiabilidad y calidad de producción
- Detectar causas y efectos
- Evaluar riesgos potenciales
- La reducción de costos

Otro punto es poder fortalecer las estrategias de mantenimiento preventivo como también la confiabilidad del sistema, en este caso se puede apreciar que los resultados obtenidos por el NPR por cada causa de falla, dando como conclusión que el equipo que presenta una criticidad más alta es la bomba de alta, este resultado se puede inferir que por causa de la contaminación biológica que presenta el océano, como también los cambios de presiones y que tipo de mantenimiento le realizan , ya que sin un funcionamiento óptimo de la bomba de alta la producción de agua potable no se genera.

## 2.12 Capacitaciones

Dentro la industria siempre se va esperar que el personal esté preparado para realizar su labor correspondiente, pero en un entorno donde las condiciones son variadas no siempre se puede tener todo los conocimientos a disposición como también herramientas , por lo cual se plantea que capacitar al personal, lo que puede generar muchos beneficios en diferentes aspectos, como el tiempo de mantención , presentar estrategias de mejor manera al momento de una emergencia , tener más habilidades de mantenimiento para adaptarse al contexto operacional.

Otro punto es mejora la calidad de servicio tanto es seguridad como salud de cada operador o técnico, ya que al trabajar con químicos por ejemplo en la limpieza de la membrana se debe tener mucha precaución.

En conclusión, la capacitación en una planta de ósmosis inversa es fundamental para mejorar los conocimientos y habilidades de los empleados, lo que puede conducir a una mayor productividad y eficiencia en la producción de agua purificada y, al mismo tiempo reducir los riesgos de manipulación. Actualmente el SENCE ofrece este curso

pero el costo de este está desactualizado, se estiman los siguientes costos en la tabla 2-6 , el costo del supervisor es mayor ya que implica una labor extra en preparación , por lo cual debe tener noción de ambas arias precisamente .

| Capacitaciones          | Personal | Costos CLP | TOTAL      |
|-------------------------|----------|------------|------------|
| Supervisor              | 1        | \$ 276.789 | \$ 276.789 |
| Mantenedores Mecánicos  | 2        | \$ 166.899 | \$ 333.798 |
| Mantenedores Eléctricos | 2        | \$ 166.899 | \$ 333.798 |
|                         |          |            | \$ 944.385 |

Tabla 2-6: Costos de cursos  
Fuente : Elaboración propia

## Operación Planta Osmosis Inversa

Sin evaluación.

### OTEC: Sociedad Comercial Cortez Y Román Capacitaciones Limitada

Rut: 76378841-5

Sitio web: Información no proporcionada por el OTEC.

Teléfono: 55-2848465

Dirección: Prat Nº 932, Local 4, Antofagasta, Antofagasta

Detalles del Curso

|                              |                                                            |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Codigo Sence: 1237957098     | Área: Mecánica Industrial                                  |
| Horas Teóricas: 4            | Especialidad: Máquinas Y Equipos Industriales (Operación Y |
| Horas Practicas: 8           | Mantención)                                                |
| Horas E-learning: 0          | Modalidad de instrucción: Presencial                       |
| Número de Participantes: 20  | Valor efectivo por participante: \$125.000 (*)             |
| Término Vigencia: 07-10-2020 | Valor máximo imputable: \$60.000 (*)                       |

(\*) Valor según información proporcionada por el OTEC para uso de la franquicia tributaria. Pueden existir diferencias con los valores particulares.

Figura 2-2: SENCE curso de osmosis inversa

Fuente : <https://eligemejor.sence.cl/BuscarCursoNuevo/DetalleCurso?curso=1237979223>

### **CAPÍTULO 3: ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE LA PLANTA OSMOSIS INVERSA EN UNA EMBARCACIÓN MARÍTIMA**

### 3 Estudio técnico económico

Un estudio de factibilidad económica implica evaluar la viabilidad y funcionamiento continuo de la planta en la embarcación, estos estudios ayudan en los aspectos técnicos como su forma de operación, producción, otro punto importante a tomar en consideración es que ayuda al impacto ambiental que puede generar ya que al estar funcionamiento constante debe cumplir con estándares que imparte la OMS y las regulaciones marítimas internacionales como también nacionales.

#### 3.1 Estándares de calidad de agua

Dentro de la norma Nch.1333 sanitarias existen los estándares de calidad los cuales deben cumplir con las siguientes especificaciones :

| Elemento          |                  |
|-------------------|------------------|
| Cloro residual    | 0,2 - 0,5 mg/L   |
| PH                | 6,5-8            |
| Solidos disueltos | Menor a 500 mg/L |
| Níquel            | Menor a 20 µg/L  |
| Plomo             | Menor a 10 µg/L  |
| Arsénico          | Menor a 10µg/L   |
| Mercurio          | Menor a 1 µg/L   |
| Cobre             | Menor a 2mg/L    |
| Zinc              | Menor a 3mg/L    |

Tabla 3-1 : Estándares de calidad de agua potable

Fuente : Estándares de agua potable OMS

El objetivo de cumplir estos estándares obviamente es proveer el seguro consumo, también prevenir enfermedades transmitidas, especial mente proveniente del mar .

#### 3.2 Indicador de productividad

Un momento clave es el saber cuánto es la producción de la planta de ósmosis inversa ya que esto ayuda a tener una percepción de la producción diaria, esto con el objetivo de ir apuntado a la mejorar continua y adecuarse a la condiciones de un viaje lo cuales pueden ser entre 20 a 30 días en alta mar, como se mencionó en un principio la planta trabaja en un tiempo de 24 horas diaria, en un periodo de 182 días que es promedio de trabajo de una fragata, también se estima de que al momento de la salida cuanta con dos estanques lo cuales están llenos con una capacidad de 54.000 litros.

$$Producción = \frac{\text{Tiempo real}}{\text{Tiempo disponible}} * \frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Unidades Planificadas}}$$

$$= \frac{4368}{4206} (h) * \frac{2.598.887}{2.698.987} (\text{litros anuales})$$

$$= 93\%$$

Los valores estimados son anules tanto el tiempo de medición como la unidades de producción, por lo cual se estima que la producción anual es un de 93 % , esto da entender que la fragata puede mantenerse en el mar sin preocupación , siempre y cuando cumpla con las expectativas de mantenimiento planteadas y los estándares mínimos exigidos.

### 3.3 Análisis de priorización repuestos dentro del proceso de RCM

Al momentos de priorizar los modos de fallas esto con lleva a realizarlo con los repuestos ya que al no tener estos elementos disponibles, en caso de que se presente una falla, la planta tendrá como consecuencia quedar fuera de servicio, teniendo como resultado que tenga que dirigirse a puerto para su reparación, lo que genera tiempo perdido ya que pueden estar en medio de un entrenamiento o en operaciones, lo que provoca una perdida por parte de la armada en calidad de seguridad para el país .

Ya establecido el plan de mantenimiento, como también el elemento con mayor gravedad el cual es la bomba de alta, la cual debe ser la prioridad al momento de un mantenimiento, considerando esto, un análisis de repuesto es fundamental para poder concluir que tan crítico es el repuesto, evaluando el tiempo de espera , costos y eventos que se presenten al año, esto ayuda a optimizar el manteamiento.

### 3.4 Modelo cualitativo de repuestos centrado en confiabilidad (RCC)

Este tipo de modelo es de carácter cualitativo el cual mide el riesgo del repuesto, se tiene que considerar el impacto a la industria que este caso es la planta de ósmosis, donde en base a una matriz de criticidad la cual se evaluara el repuesto para considerar su criticidad, se tomara en cuenta tres requisitos que son la frecuencia de fallas , costos y tiempo logístico.

Factor de frecuencia de fallas/Escala 1-5

- 1. Excelente: menos de 1 evento al año
- 2. Bueno: entre 1 y2 eventos al año
- 3. Promedio: entre 2 y4 eventos al año
- 4. Pobre: entre 4 y6 eventos al año
- 5. Muypobre: más de 6 eventos al año

Factor de Consecuencias- Tiempo de logística

- 1. Menos de un día
- 2. Entre 1 – 5 días
- 3. Entre 5 – 10 días
- 4. Entre 10 – 20 días
- 5. Mayor de 20 días

Impacto en el negocio (costos por: producción, indisponibilidad, repuesto (unitario), almacenamiento)

- 1.Costos inferiores a 1.000 dólares
- 2.Costos entre 1.000 y10.000 dólares
- 3.Costos entre 10.000 y100.000 dólares
- 4.Costos entre 100.000 y1.000.000 dólares
- 5.Costos superiores a 1.000.000 dólares

| Frecuencia    | Matriz de criticidad |   |   |    |    |    |
|---------------|----------------------|---|---|----|----|----|
|               | 5                    | A | A | MA | MA | MA |
|               | 4                    | M | M | A  | MA | MA |
|               | 3                    | M | M | M  | A  | MA |
|               | 2                    | B | B | M  | A  | MA |
|               | 1                    | B | B | M  | A  | A  |
|               |                      | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  |
| Consecuencias |                      |   |   |    |    |    |

Tabla 3-2: Matriz de riesgo  
Fuente: Elaboración propia

La matriz de riesgo tiene un fin de visualizar como calificar la criticidad del repuesto en condiciones que no esté disponible, es de gran ayuda para la gestión industrial, pero enfocada en la planta de ósmosis inversa, es de gran ayuda para la optimización de tiempo y recursos.

Tomando esto en cuenta los operadores de la planta de estos los cuales llevan un

tiempo más longevo trabajando en ella, ha de tener más experiencia, por lo cual constan de tener un mejor criterio de evaluación en la parte de seguridad, como operación de la planta, esto da un gran a apoyo a la producción de la planta, algunos puntos que ayuda son:

- Monitorear yajustar los procesos para minimizar los riesgos.
- Prepararse para responder a situaciones de emergencia.
- Optimizar los recursos yreducir costos operativos y de mantenimiento

|                                                 | Planta de osmosis inversa      |    |                   |                     |                    |                     |
|-------------------------------------------------|--------------------------------|----|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
|                                                 | Sistema de tratamiento de agua |    |                   |                     |                    |                     |
|                                                 | RCC                            |    |                   |                     |                    |                     |
| Equipo                                          | Repuesto                       | FF | Impacto logístico | Impacto del negocio | Posición en matriz | nivel de criticidad |
| Plantade osmosis inversa PW-4000 Marine Vigalle | Membrana                       | 4  | 2                 | 1                   | 4,2                | Media               |
|                                                 | Pre filtros 20 micra           | 3  | 2                 | 1                   | 3,2                | Media               |
|                                                 | Pre filtros 5 micra            | 4  | 2                 | 1                   | 4,2                | Alta                |
|                                                 | válvula de alivio              | 2  | 2                 | 1                   | 2,2                | Baja                |
|                                                 | válvula desviación             | 2  | 2                 | 1                   | 2,2                | Baja                |
|                                                 | Bomba de alta                  | 3  | 5                 | 3                   | 3,5                | Muy alta            |
|                                                 | Bomba de baja                  | 2  | 4                 | 3                   | 2,4                | Alta                |
|                                                 | MON                            | 1  | 4                 | 3                   | 1,4                | Alta                |
|                                                 | Intercambiador de calor        | 3  | 4                 | 2                   | 3,4                | Alta                |
|                                                 | Estanque                       | 2  | 5                 | 3                   | 2,5                | Muy alta            |
|                                                 | Filtros UV                     | 3  | 2                 | 1                   | 3,2                | Media               |

Tabla 3-3: Resultado de matriz de riesgo

Fuente: Elaboración propia

Los resultados demuestran que existe dos equipos los cuales tienen un criterio de criticidad muy alta , bomba de alta presión y el estanque , el primero se puede determinar por la tardanza de conseguir la bomba y las consecuencias que con lleva en caso que falle , lo que provoca una detección total de la planta ya que no pude producir sin este elemento, por otra parte el estanque decae en la importancia de almacenaje y resguardo del agua potable , ya que si presenta falla causa insuficiencia de este resguardo, esto lo que genera que normalmente reparen el estanque y no se genere un cambio de este por la complejidad que se presenta cambiar uno.

### 3.5 Costos de repuestos

Tener el conocimiento de costos sobre los repuestos puede establecer las garantías y proyección sobre mantenimientos futuros, esto con la finalidad poder preparar a la planta en situaciones complejas y en contexto operacional adverso, por esto se debe tener buena coordinación logística por para tanto del comprador como el proveedor, ya que no tener esto presenta la mayor de los daños que es el no tener a tiempo los repuesto y tener presentar detenciones inoportunas en la embarcación.

Esto permite tener un conocimiento de costo a futuro de un mantenimiento preventivo, lo que permite tener una mayor seguridad al momento de un traslado en mar o en operaciones navales.

| Repuesto                               | Cantidad | Precio C/U  | Total CLP    |
|----------------------------------------|----------|-------------|--------------|
| Membrana                               | 8        | \$502.062   | \$4.016.496  |
| Bombade alta presión                   | 1        | \$3.624.093 | \$3.624.093  |
| Bomba de baja presión                  | 1        | \$1.225.000 | \$1.225.000  |
| Filtro 100ft ^2,20 micras              | 6        | \$214.136   | \$1.284.816  |
| Filtro 100ft ^2,5 micras               | 6        | \$272.000   | \$1.632.000  |
| Producto químico de limpieza de 25 lbs | 4        | \$31.580    | \$126.320    |
| Intercambiadorde calor                 | 1        | \$ 240.429  | \$ 240.429   |
| Válvulas                               | 4        | \$ 18.723   | \$ 74.892    |
| Filtros UV                             | 2        | \$ 222.950  | \$ 445.900   |
| Total                                  |          |             | \$12.669.946 |

Tabla 3-4: Costos de repuestos  
Fuente : Elaboración propia

### 3.6 Organismos reguladores

Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante (DIRECTEMAR): Es el organismo de alto nivel de la Armada de Chile que regula y controla la actividad náutica deportiva y comercial.

Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA): SERNAPESCA es una entidad dependiente del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo que se enfoca en la fiscalización integral y gestión sanitaria del sector pesquero y acuicultura.

Organización Marítima Internacional (OMI): La OMI es una organización internacional que establece normas y directrices para la seguridad y protección del medio ambiente marítimo.

Reglamento de Sanidad Marítima, Aérea y de las Fronteras: Este reglamento establece que todos los puertos y aeropuertos deben contar con fuentes de abastecimiento de agua potable y de alimentos aptos para el consumo humano.

### 3.7 Multas

Las multas son un castigo monetario el cual puede ser variado según la procedencia de ese, ya que puede ser monetaria, suspensión de navegación desde temporal hasta de forma definitiva, como también contaminación al medio ambiente marino.

Según las normas chilenas establecen que deben tener una fuente de abastecimiento de agua potable en este caso el equipo PW-4000, si es que una embarcación no cumple con los requisitos de estas normas puede estar sujeto a castigos monetarios.

El organismo que establece estas multas y se rige que embarcaciones estén cumpliendo las leyes por seguridad marítima es la DIRECTEMAR, la cual tiene como objetivo la conservación del medio ambiente.

La multa como se menciona anterior mente va cambiando según la gravedad, ya que va depender del delito que se cometió, algunos valores de multas ambientales están estandarizados por la DIRECTEMAR.

3.8 Planteamiento de escenarios de mantenimiento

El planteamiento de escenarios o plantear contextos operacionales distintos, revela la realidad de los costos totales de manteamiento y la ineficiencia que puede provocar la planta o como la operación de ella , por lo cual se plantea un escenario precario y luego hasta una más eficiente, esto buscando reflejar cual es el más óptimo en producción, se estima que la ineficiencia en esta caso es provocada por el incumplimiento de normas sanitarias, como también de reglamento de la DIRECTEMAR , por lo cual son multas, lo que da como un valor monetario de alrededor de los \$28.000.000 CLP y también en costos de operación, siendo el retorno a puerto es un total \$80.959.680 CLP, esta información es recopilada por fuentes de la armada y también ejemplos en donde se presenta este escenario de regresar a puerto, por lo cual se tomara este valor para todos los escenarios ya que es una estimación Algunos punto que ayuda a mejorar son :

| Categoría de Gasto      | Costo Mínimo (CLP) | Costo Diario Máximo (CLP) | Notas Técnicas                    |
|-------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Combustible y Operación | \$ 13.058.100      | \$ 34.821.600             | Basado en consumo de 500-2000 L/h |
| Sueldos y Personal      | \$ 26.116.200      | \$ 43.527.000             | Dotación de 180-200 personas      |
| Servicios de Puerto     | \$ 435.000,00      | \$ 870.000                | Conexión eléctrica y agua         |
| Mantenimiento           | \$ 870.540         | \$ 1.741.080              | Desgaste operacional base         |
| Total diario estimado   | \$ 40.479.840      | \$ 80.959.680             | TC: \$870.54 CLP/USD              |

Tabla 3-5 : costo de retorno a puerto

Fuentes : Elaboración propia

- Incrementar la confiabilidad de los equipos
- Aumento de la eficiencia
- Mejora de la seguridad
- Sostenibilidad
- Mejora de la planificación
- Reducción de costos
- Mejora de la capacitación

3.8.1 Escenario sin RCM

La primera situación u escenario plantea un entorno sin RCM lo que implica un desinterés total en el mantenimiento total, es decir sin la preocupación de un mantenimiento preventivo lo que provoca que los componentes fallen o hasta que cumplan su vida útil en toda la planta dando como consecuencia multas e ineficiencia operacional, esto a consecuencia de no prevenir o no tener un plan de acción, como también no cumplir con los estándares mínimos requeridos.

| Ítem (Métrica)                                    | Plan sin RCM |
|---------------------------------------------------|--------------|
| Numero de fallas esperadas anuales                | 40           |
| tiempo fuera de servicio x fallas (h)             | 162          |
| Horas de ejecución de plan de Mtto preventivo (h) | 0            |
| Indisponibilidad                                  | 3,75%        |
| costo ineficiencia (Anual)                        | \$80.959.680 |
| costo MO (CLP/año)                                | \$0          |
| costos materiales (CLP/año)                       | \$0          |
| Costo servicios                                   | \$0          |
| costos MO+Mat+SERV(CLP/año)                       | \$0          |
| Global                                            | \$80.959.680 |
| Ahorro                                            | \$0          |

Tabla 3-6: Escenario sin RCM  
Fuente: Elaboración propia

3.8.2 Planteamiento de mejora escenario 1

El primero de los escenarios engloba a la solución de un mantenimiento a las fallas más críticas de la planta la cual en su principal es la bomba de alta, ya que al presentar fallas esta no es posible la operación de la planta misma lo que provoca una detención total de la misma y el regreso como también mantenimiento en una ocasión.

Al tener un repuesto disponible como la bomba permite poder efectuar un cambio a la brevedad en caso de complicaciones de la misma, esto permite un ahorro mínimo y disminución gradual de la cantidad de fallas como tiempo fuera de operación.

.Enfocado en la tareas de mayor impacto y menor costo. Es un escenario de gestión que busca mitigar las fallas más frecuentes mediante inspecciones y tareas programadas.

Es el escenario con mayor ahorro y reducción el 75% de las fallas logrando un punto de eficiencia alto.

| Ítem (Métrica)                                    | Escenario 1: RCM Básico |
|---------------------------------------------------|-------------------------|
| Numero de fallas esperadas anuales                | 10                      |
| tiempo fuera de servicio x fallas (h)             | 40                      |
| Horas de ejecución de plan de Mtto preventivo (h) | 120                     |
| Indisponibilidad                                  | 0,93%                   |
| costo ineficiencia (Anual)                        | \$19.990.044            |
| costo MO (CLP/año)                                | \$15.000.000            |
| costos materiales (CLP/año)                       | \$12.000.000            |
| Costo servicios                                   | \$0                     |
| costos MO+Mat+SERV(CLP/año)                       | \$27.000.000            |
| Global                                            | \$46.990.044            |
| Ahorro                                            | \$33.969.636            |

Tabla 3-7: Escenario 1  
 Fuente: Elaboración propia

3.8.3 Planteamiento de mejora escenario 2

El segundo escenario planta ya enfocando en las grande y medianas fallas las cuales tienes un impacto significativo ya que compensara con la mayoría de estas fallas significando una reducción enorme en la ineficiencia, donde el enfoque será implementar un mayor presupuesto a los repuestos para que estén disponibles como también implementación de estrategias de manteamiento como el manteamiento preventivo, como también que se estima solo un regreso a puerto pero solo para tareas preventivas.

Lo que significa que la implementico de más recursos genera un mayor gasto ,ya que es una planificación más exhaustiva , logra reducir la indisponibilidad lo cual es casi nula.

| Ítem (Métrica)                                    | Escenario 2: RCM Avanzado |
|---------------------------------------------------|---------------------------|
| Numero de fallas esperadas anuales                | 2                         |
| tiempo fuera de servicio x fallas (h)             | 8                         |
| Horas de ejecución de plan de Mtto preventivo (h) | 300                       |
| Indisponibilidad                                  | 0,19%                     |
| costo ineficencia (Anual)                         | \$3.998.009               |
| costo MO (CLP/año)                                | \$35.000.000              |
| costos materiales (CLP/año)                       | \$22.000.000              |
| Costo servicios                                   | \$0                       |
| costos MO+Mat+SERV(CLP/año)                       | \$57.000.000              |
| Global                                            | \$60.998.009              |
| Ahorro                                            | \$19.961.671              |

Tabla 3-6: Escenario 2  
 Fuente: Elaboración propia

3.8.4 planteamiento de mejora escenario 3 (Rediseño)

En este último escenario se propone rediseñar y lograr eliminar de la causa raíz de forma permanente, ya sea cambiando el sistema de distribución de la planta o sustituyendo por tecnología que no requiera un manteamiento constante.

Lo que da como resultado de un resultado negativo en el ahorro.

| Ítem (Métrica)                                    | Escenario 3: Rediseño |
|---------------------------------------------------|-----------------------|
| Numero de fallas esperadas anuales                | 0                     |
| tiempo fuera de servicio x fallas (h)             | 0                     |
| Horas de ejecución de plan de Mtto preventivo (h) | 50                    |
| Indisponibilidad                                  | 0,00%                 |
| costo ineficencia (Anual)                         | \$0                   |
| costo MO (CLP/año)                                | \$20.000.000          |
| costos materiales (CLP/año)                       | \$15.000.000          |
| Costo servicios                                   | \$50.000.000          |
| costos MO+Mat+SERV(CLP/año)                       | \$85.000.000          |
| Global                                            | \$85.000.000          |
| Ahorro                                            | <b>\$-4.040.320</b>   |

Tabla 3-7: Escenario 3  
Fuente: Elaboración propia

3.9 Análisis de escenarios de mantenimiento

El Escenario 1 (RCM Básico) constituye el punto de equilibrio óptimo, generando el mayor ahorro anual (\$33.969.636 CLP) junto con una reducción del 75% en la frecuencia de fallas (de 40 a 10 eventos por año) y una disminución de la indisponibilidad de 3,75% a 0,93%.

Los escenarios 2 y 3, si bien mejoran el desempeño técnico del sistema, no se justifican económicamente dentro del horizonte que se espera.

EL escenario 2 reduce el ahorro neto en un 41% respecto al Escenario 1, y el escenario 3 genera una pérdida neta de \$4.040.320 CLP anuales.

Por lo tanto, se recomienda la implementación del Escenario 1 (RCM Básico) como plan de mantenimiento a adoptar para el sistema de generación de agua potable de la fragata.

Pero se puede tomar la opción del escenario 2 como una opción de mejora incremental futura, condicionada a una revisión de sus costos de mano de obra y materiales, por ultimo se posterga el escenario 3 hasta contar con un desglose técnico-económico detallado de la partida de rediseño.

| Métrica                    | Sin RCM             | Escenario 1<br>(Básico) | Escenario 2<br>(Avanzado) | Escenario 3<br>(Rediseño) |
|----------------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Fallas anuales             | 40                  | 10                      | 2                         | 0                         |
| Horas fuera de servicio    | 162                 | 40                      | 8                         | 0                         |
| Horas de Mtto. Preventivo  | 0                   | 120                     | 300                       | 50                        |
| Indisponibilidad           | 3,75%               | 0,93%                   | 0,19%                     | 0,00%                     |
| Costo ineficiencia (anual) | \$80.959.680        | \$19.990.044            | \$3.998.009               | \$0                       |
| Costo MO+Mat+Serv          | \$0                 | \$27.000.000            | \$57.000.000              | \$85.000.000              |
| <b>Costo Global</b>        | <b>\$80.959.680</b> | <b>\$46.990.044</b>     | <b>\$60.998.009</b>       | <b>\$85.000.000</b>       |
| <b>Ahorro vs. Sin RCM</b>  | <b>\$0</b>          | <b>\$33.969.636</b>     | <b>\$19.961.671</b>       | <b>-\$4.040.320</b>       |

3.10 Propuesta de mejoras

En la lectura de manual de usuario se percata que existen oportunidades de mejora una de esas que se implemento es el intercambiador de calor, el cual fue especificados es capítulos anteriores, estas oportunidades ayuda a la mejora continua de la planta, lo cual facilita el mantenimiento, una de la mejoras que se platea es la búsqueda de un mejor componente.

3.10.1 Sistema de control y monitoreo

La lectura continua del fluido es esencial para la lograr una producción eficiente, lo cual se recomienda establecer algunos sensores y alarmas para facilitar el monitoreo continuo dentro de la planta una de la variedad de esto tipo de sensor son de lectura vibraciones, también el agregar un sistema de control más avanzado como por ejemplo PLC y SCADA para la supervisión constante de la planta y poder ajustar parámetros a condición

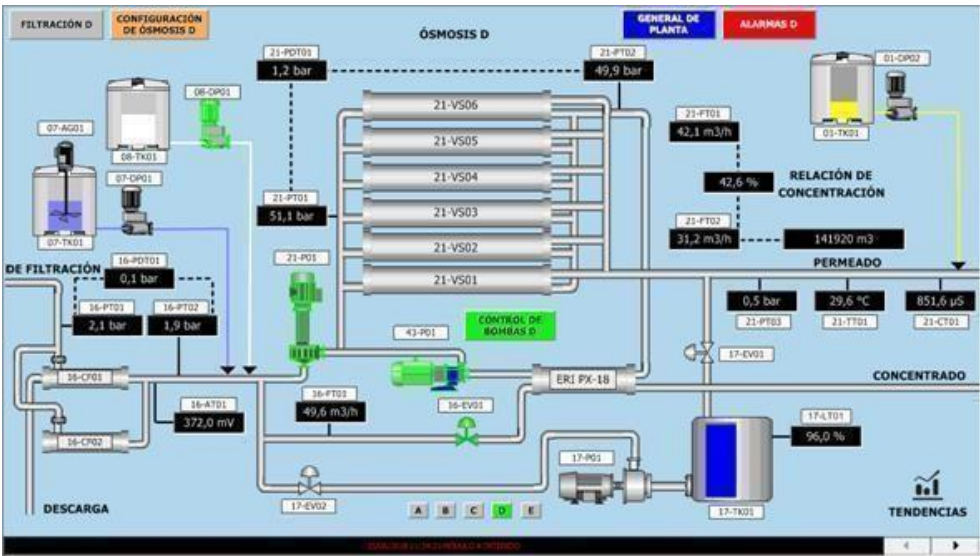


Figura 3-1:Ejemplo de SCAD en planta de osmosis inversa

Fuente: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852019000200334](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852019000200334)

3.10.2 Pre- tratamiento

Una de la partes más importante es el pre tratamiento de la planta es la cual cumple con el primer contacto del fluido proveniente del mar junto con sus sales, normalmente el pre tratamiento con lleva un filtro de tipo carbono el cual es mencionado en el manual de fabricante.

Se establece que una buena opción es la de un filtro de membrana, ya que la filtración de pre tratamiento se conoce más como micro filtración donde el tamaño de los poros se entorna entre 0.1 a 10 micras, ya que este tipo de filtración provocar remover elementos sólidos en suspensión.

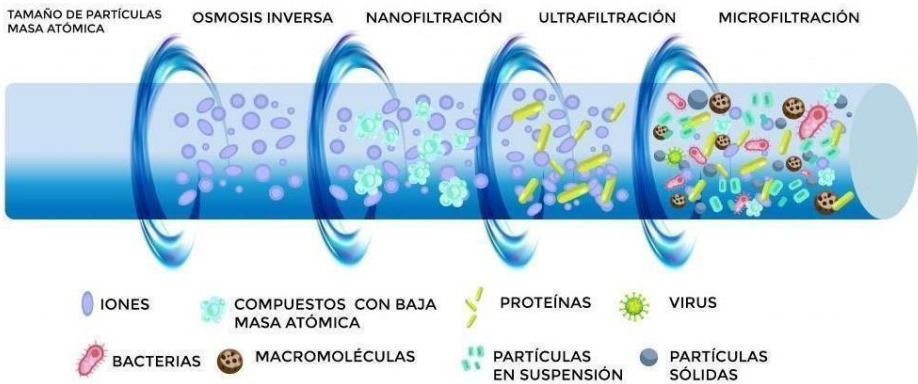


Figura 3-2: Pre -tratamiento

Fuente: <https://es.pureaqua.com/unidad-de-pretratamiento-osmosis-inversa/>

## 4 Conclusiones

En la actualidad la empresa Marine Vigalle no implementa un plan de mantenimiento preventivo, para sus equipos lo que provoca que las empresas tengan que crear de cero un plan en bajo aun contexto específico, lo cual se debe implementar estudios previos para una instalación de este tipo de planta.

Lo que se expresa de otra manera, complicaciones de manteamiento, ya que no componer de un plan se intuye un desconocimiento del sistema en cuestión, lo que provoca acciones incorrectas en su operación, lo que da como resultados detenciones inesperadas , fallas constantes, tener que volver a puerto, entre otras, lo que aun largo plazo genera tiempos y costos de ineficiencia, ya que genera dificultades en términos de operaciones navales, lo que provoca la obligación y creación de un plan de manteamiento en base al historial de fallas y tomando conclusiones de fallas comunes que se pueden presentar en navíos de tipo fragata, evaluando costos de repuestos como logísticos de estos mismos.

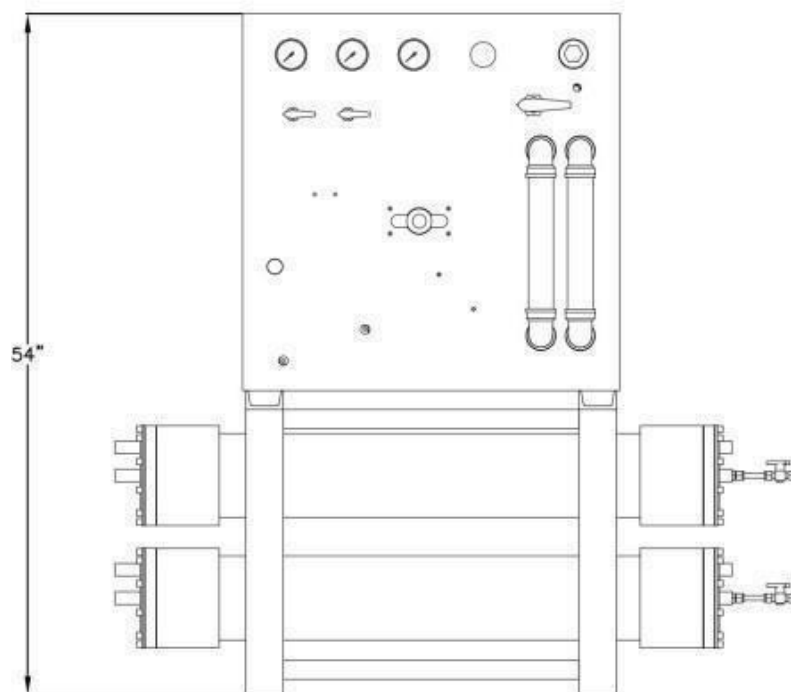
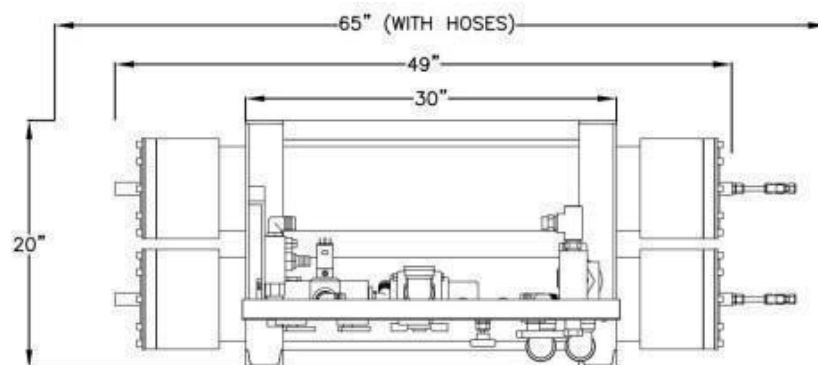
Al proponer un plan de mantenimiento para el sistema de generación de agua potable de un buque tipo fragata, compuesto por la planta de ósmosis inversa Marine Vigalle PW-4000. Se espera que junto con el desarrollo de los tres capítulos se puede concluir que el objetivo general fue cumplido, ya que se logró diseñar un plan de mantenimiento estructurado, sustentado en un diagnóstico técnico, en una metodología de análisis de fallas y en una evaluación económica que demuestra su viabilidad.

Respecto al primer objetivo específico (diagnosticar el estado operacional actual del sistema y determinar el equipo crítico), se cumplió mediante el análisis del historial de 40 fallas registradas en el período de un año y el cálculo de los indicadores de mantenibilidad (MTBF de 108 horas, MTTR de 3,3 horas y disponibilidad de 97%). A partir de la matriz de criticidad aplicada a los procesos y posteriormente a los equipos de la línea de desalinización, se determinó que la bomba de alta presión es el componente más crítico del sistema (NPR de hasta 100 en la causa de sobrecarga/sobrepresión), seguida de las membranas de ósmosis y el monitor de calidad de agua (MON). Este resultado confirma la hipótesis inicial planteada en la problemática, respecto a que la ausencia de un plan definido concentra el riesgo operacional en un número reducido de componentes.

Respecto al segundo objetivo específico (proponer planes de mantenimiento mediante la metodología FMECA), se cumplió a través del desarrollo del Análisis de Modos de Falla y Efectos (AMEF), la aplicación del árbol lógico de decisiones y la elaboración de la tabla MTTO. Como resultado, se estableció un plan de mantenimiento preventivo con tareas diarias, semanales, mensuales, trimestrales y anuales (limpieza de filtros y membranas, inspección de bombas, cambio de sellos, entre otras), lo que permite sustituir el esquema puramente correctivo identificado en la problemática por una estrategia proactiva, capaz de anticipar las fallas de mayor severidad detectadas en el AMEF (bomba de alta con NPR de 75-100).

Para finalizar los resultados obtenidos el diagnóstico de criticidad junto el AMEF con la determinación del NPR, el plan de mantenimiento preventivo guiado del árbol de decisiones y la evaluación técnico-económica de los cuatro escenarios dan cumplimiento integral a los tres objetivos específicos y, por consiguiente, al objetivo general del trabajo. Dando como resultado la implementación del Escenario 1 como punto de partida, complementado con la capacitación del personal técnico y la disponibilidad inmediata de repuesto crítico (bomba de alta), identificados como de "criticidad muy alta" en el modelo RCC, con el fin de reducir aún más la dependencia del mantenimiento correctivo y disminuir el riesgo de regreso a puerto no programado.

## **ANEXOS**



OPTIONAL CONFIGURATION

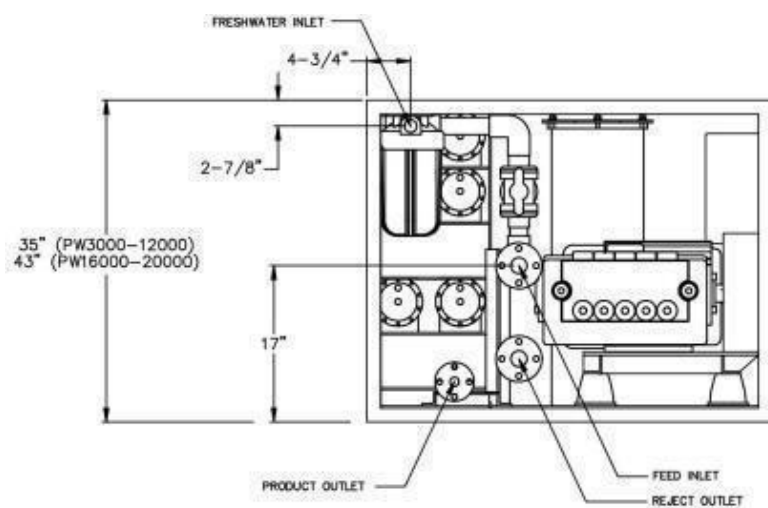


Table A.1 — Guide values for potable water consumption in litre per person/bed and day

| Type of ship                       |                                            | Group of persons embarked | Water consumption when fitted with |                      |
|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|----------------------|
|                                    |                                            |                           | Flushing toilet system             | Vacuum toilet system |
| Seagoing ship                      | Cargo ship                                 | Crew/bed                  | 220 l                              | 175 l                |
|                                    | Passenger ship                             | Passenger/bed             | 270 l                              | 225 l                |
|                                    | Luxury liner                               | Passenger/bed             | —                                  | 275 l                |
|                                    | Ferryboat with cabins                      | Passenger/bed             | 205 l <sup>a</sup>                 | 160 l <sup>a</sup>   |
|                                    |                                            | Passenger without bed     | 100 l                              | 55 l                 |
|                                    | Ferryboat without cabins                   | Passenger without bed     | 150 l                              | 105 l                |
|                                    |                                            | Crew without bed          | 100 l                              | 55 l                 |
| Inland waterway craft              | Cargo ship                                 | Crew/bed                  | Minimum 150 l                      |                      |
|                                    | Passenger ship with cabins                 | Passenger/crew/bed        | 220 l                              | 175 l                |
|                                    | Passenger ship without cabins              | Crew/passenger            | 100 l                              |                      |
| Special-purpose ship               | Research ship                              | Crew/bed                  | 220 l                              | 175 l                |
|                                    | Federal armed forces tender and larger     | Crew/bed                  | 160 l                              | 110 l                |
|                                    | Federal armed forces – smaller than tender | Crew/bed                  | 100 l                              | 55 l                 |
| Fishing vessel                     |                                            | Crew/bed                  | Minimum 150 l                      |                      |
| Offshore                           |                                            | Crew/bed                  | 350 l                              |                      |
| <sup>a</sup> No shipboard laundry. |                                            |                           |                                    |                      |

| Service point                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Consumption per use<br>l | Frequency of use<br>per day | Consumption                      |                     |                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------|---------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                          |                             | Total quantity of water<br>l/day | Cold water<br>l/day | Hot water <sup>a</sup><br>l/day |
| Wall-hung/pedestal wash basin                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2,5                      | 8 ×                         | 20                               | 8                   | 12                              |
| Shower base <sup>d</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 60                       | 2 ×                         | 120                              | 50                  | 70                              |
| Bath tub                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 150                      | 1 ×                         | 150                              | 60                  | 90                              |
| Flushing W.C. <sup>b</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 10                       | 6 ×                         | 60                               | 60                  | —                               |
| Vacuum W.C. <sup>b</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 1,2                      | 6 ×                         | 8                                | 8                   | —                               |
| Urinal <sup>b</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 3                        | 5 ×                         | 15 <sup>c</sup>                  | 15 <sup>c</sup>     | —                               |
| Galley dining rooms                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | —                        | —                           | 25                               | 10                  | 15                              |
| Laundry <sup>b</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | —                        | —                           | 75 to 100                        | 30 to 40            | 45 to 60                        |
| Cleaning                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | —                        | —                           | 20                               | 8                   | 12                              |
| Shower and swimming pool                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | —                        | —                           | 10 <sup>e</sup>                  | —                   | —                               |
| Fresh water for swimming pool                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | —                        | —                           | 10 <sup>e</sup>                  | —                   | —                               |
| Whirlpool                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | —                        | —                           | 60 <sup>e</sup>                  | —                   | —                               |
| Sauna                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 60                       | 1 ×                         | 60                               | —                   | —                               |
| <sup>a</sup> At a hot water inlet temperature of 60 °C.<br><sup>b</sup> If non-potable water is used the consumption of potable water decreases accordingly.<br><sup>c</sup> The use of the urinals reduces the use of the WCs.<br><sup>d</sup> If bath tubs and showers are provided, one use per day shall be anticipated.<br><sup>e</sup> Additional quantity of water per user and day. |                          |                             |                                  |                     |                                 |

