

ESCUELA DE  
INGENIERÍA MECÁNICA



PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DE  
VALPARAÍSO

**PROPUESTA DE SISTEMA DE FILTRADO PARA AGUA DE  
MAR, PLANTA DE DESALINIZACIÓN.  
TERMOELÉCTRICA CAMPICHE, VENTANAS.**

**Rodrigo Alejandro Rojas Opazo**

**Para optar al Título Profesional de: INGENIERO MECÁNICO  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso**

**Profesor Guía: Sr. Cristóbal Galleguillos Ketterer**

**Profesor Co-Guía: Sra. María Josefina Torres**

**2020**

## **Agradecimientos**

Antes que todo agradecer a Dios por cada día de vida, por darnos salud a mi familia y a mí y por estar siempre con nosotros, acompañándonos y protegiéndonos.

A mi familia:

Mi esposa Bárbara por ser un pilar en mi vida y apoyarme en todos y cada uno de mis proyectos.

A mi hija Camila por alegrarme cada día con sus locuras, por darme energía y fuerzas con su amor incondicional.

A mi hijo Alonso porque a su corta edad, me motiva día a día a superarme y buscar la mejora continua.

Por ustedes y para ustedes.

## **Resumen**

En este trabajo se pretende otorgar una solución al problema de la unidad de desalinización de la central termoeléctrica Campiche ubicada en Ventanas, proponiendo la implementación de un sistema de filtrado de multimedios que mejore la disponibilidad, permita alcanzar los niveles de producción de diseño y disminuya los costos actuales de mantenimiento.

La estructura en que se presenta la información contempla en el segundo capítulo la descripción del sistema de captación de agua de mar de la central termoeléctrica Campiche, junto con sus equipos y componentes más relevantes.

En el tercer capítulo se da a conocer una descripción completa del proceso de desalinización, las etapas y componentes principales para comprender en profundidad la incidencia del proceso de filtrado en la producción de la unidad de desalinización.

En el cuarto capítulo procede a especificar el problema para luego encontrar la causa raíz, mediante el método "árbol de fallas", posteriormente procede a proponer distintas alternativas de solución, evaluar cada una de ellas para escoger y desarrollar la alternativa que aborda de mejor manera nuestro problema.

En el quinto capítulo se analizan las opciones disponibles en el mercado, que cumplan con los parámetros de operación de la unidad de desalinización, considerando los distintos criterios y aspectos relevantes de cada una de las tecnologías disponibles.

En el sexto y último capítulo se analizan los costos de la implementación del sistema de filtrado propuesto en este trabajo, comparando éste con los costos de mantención correctivos de los últimos proyectados a 13 años.

## **Abstract**

This work aims to provide a solution to the problem of the desalination unit of the Campiche thermoelectric plant located in Ventanas, proposing the implementation of a multimedia filtering system that improves availability, enables design production levels to be reached and reduces the current maintenance costs, both preventive and corrective.

The structure in which the information is presented includes in the second chapter the description of the seawater collection system of the Campiche thermoelectric power station, together with its most relevant equipment and components.

In the third chapter, a complete description of the desalination process, the stages and main components is presented to gain an in-depth understanding of the impact of the filtering process on the production of the desalination unit.

In the fourth chapter, he proceeds to specify the problem and then find the root cause, using the "fault tree" method, then he proceeds to propose different solution alternatives, evaluate each one to choose and develop the alternative that best addresses our problem.

In the fifth chapter, the options available in the market are analyzed, which comply with the operating parameters of the desalination unit, considering the different criteria and relevant aspects of each of the available technologies.

In the sixth and last chapter, the costs of implementing the filtering system proposed in this work are analyzed, comparing this with the maintenance costs of the projected ten-year.

## Índice de contenido

Índice de tablas.....	7
Índice de figuras y gráficos.....	8
1 Introducción.....	9
2 Captación de agua de mar Central Termoeléctrica Campiche.....	11
2.1 Sistema de captación agua de mar Central Termoeléctrica Campiche .....	11
2.2 Características agua de mar en bahía de Quintero .....	13
2.2.1 Parámetros de consideración del agua de mar, para el proceso de desalación. ..	15
2.2.2 Sistema común de retención de material en suspensión en el agua de mar .....	16
3 Descripción del proceso y componentes principales del sistema de desalación.....	18
3.1 Principio de operación de la unidad TVC .....	18
3.2 Descripción de la unidad de desalinización.....	21
3.2.1 Evaporador.....	21
3.2.2 Condensador de destilado.....	22
3.2.3 Celda 4° del precalentador.....	23
3.2.4 Celda 3°del precalentador.....	23
3.2.5 Celda 2° del precalentador.....	23
3.2.6 Termocompresor .....	24
3.2.7 Sistema de vacío .....	24
3.2.8 Bombas de producto.....	25
3.2.9 Bombas de purga de salmuera .....	26
3.2.10 Bomba de transferencia de agua de mar.....	27
3.2.11 Filtro de alimentación de agua de mar .....	27
4 Análisis causa raíz: Saturación del sistema de filtrado agua de mar hacia TVC.....	29
4.1 Análisis de las causas y alternativas de solución. ....	30
4.1.1 Sistema de limpieza operando deficientemente.....	30
4.1.2 Sistema de filtros diseñado para condiciones distintas. ....	31
4.1.3 Proliferación de biota marina al interior de los filtros. ....	31
4.2 Alternativas de solución y sus alcances .....	32

4.2.1	Reemplazar sistema de filtrado actual.....	32
4.2.2	Implementar un sistema de filtrado grueso.....	32
4.2.3	Actualizar plan de mantenimiento .....	33
4.2.4	Aumentar la efectividad del sistema anti-biota.....	33
4.3	Evaluación de alternativas de solución .....	33
4.3.1	Descripción de los criterios: .....	34
4.3.2	Matriz de evaluación de alternativas de solución. ....	35
5	Selección del sistema de filtrado multimedios .....	36
5.1	Tipos de filtro según principio de operación .....	36
5.2	Capacidad de retención de sólidos y manejo de picos de turbidez. ....	40
5.3	Identificar y abordar problemas operativos. ....	41
5.4	Comparación de costos distintos tipos de tecnologías de filtrado agua de mar.....	41
5.5	Determinación de las capas y dimensiones del filtro. ....	42
5.6	Sistema de filtrado seleccionado.....	43
6	Análisis de costos .....	49
	Conclusiones .....	52
	Glosario o nomenclatura.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
	Bibliografía .....	54
	Anexos .....	55

## Índice de tablas

Tabla 1. Características Bombas de Circulación Agua de Mar. ....	12
Tabla 2. Características Bomba Auxiliar de Enfriamiento.....	12
Tabla 3. Características Bomba de Transferencia Agua de Mar .....	12
Tabla 4. Parámetros de operación, Unidad desaladora .....	20
Tabla 5. Características Bombas de Producto .....	26
Tabla 6. Características Bombas de Salmuera.....	26
Tabla 7. Características Bombas de Transferencia Agua de Mar .....	27
Tabla 8. Criterios para evaluar alternativas de solución.....	33
Tabla 9. Resumen de criterios de evaluación .....	34
Tabla 10. Matriz de evaluación.....	35
Tabla 11. Gráfico comparativo de costos. ....	51

## Índice de figuras y gráficos

Figura 1. Esquema condensador Central Termoeléctrica Campiche .....	11
Figura 2. Esquema vasos comunicantes .....	12
Figura 3. Esquema distribución de bombas, sector Intake .....	13
Figura 4. Tipos de algas marinas bahía de Quintero .....	14
Figura 5. Gráfico de pH.....	15
Figura 6. Extracto Data sheet filtro agua de mar unidad desaladora TVC.....	17
Figura 7. Esquema Sistema de desalinización multiefecto.....	19
Figura 8. Representación unidad desaladora para control de operación. ....	21
Figura 9. Sistema de filtrado agua de mar unidad desaladora .....	28
Figura 10. Vista superior interior filtro agua de mar unidad desaladora.....	28
Figura 11. Árbol de falla: Saturación filtro agua de mar.....	29
Figura 12. Esquema sistema de filtrado por gravedad. ....	37
Figura 13. Sistema presurizado de filtrado .....	37
Figura 14. Propuesta sistema de filtrado SWS.....	45
Figura 15. Esquema propuesto sistema de filtrado SWS (Vista frontal).....	45
Figura 16. Plano sistema de filtrado SWS (Vista superior).....	46
Figura 17. Diagrama de flujo de proceso (P&ID conceptual) .....	46
Figura 18. Esquema comportamiento presión y flujo, agua de alimentación.....	47
Figura 19. Composición de las capas de filtro MMF.....	48
Figura 20. Esquema distribución de capas de medios.....	44



## 1 Introducción

La desalinización del agua de mar es una de las principales alternativas para enfrentar el problema del suministro de agua dulce. Existen varios tipos de sistemas de desalinización que están actualmente en uso y continuo desarrollo.

Típicamente, tales sistemas incluyen un sistema de tratamiento previo de agua, una unidad de desalinización y un sistema de tratamiento posterior. La desalinización del agua de mar en tales sistemas se logra mediante procesos térmicos o de membrana. Los procesos térmicos para la desalinización de agua de mar incluyen la destilación multietapa (MSF), la destilación multiefecto (MED) y la compresión de vapor (VC). Además, los principales sistemas de membrana son los procesos de ósmosis inversa (RO) y electrodiálisis (ED).

El producto de un sistema de compresión de vapor posee cualidades similares a los otros procesos de destilación. Su fuente de fuerza motriz es la energía mecánica giratoria, generalmente obtenida de un motor. Las unidades “VC” tienden a ser plantas pequeñas en lugares aislados, mientras que los otros procesos se usan generalmente para grandes producciones de agua dulce.

(Marcovecchio, Aguirrea, Scenna, & Mussatia, 2010)

El tratamiento previo del agua de mar es un componente clave de cada planta de desalinización. El objetivo principal del sistema de pretratamiento es eliminar partículas contaminantes, coloidales, orgánicas, minerales y microbiológicas contenidas en la fuente de agua de mar y prevenir su acumulación aguas abajo en el proceso. El contenido y la naturaleza de las sustancias contenidas en la fuente de agua de mar dependen del tipo y la ubicación de la toma de la planta de desalinización. Por lo general, las tomas subsuperficiales (pozos y galerías de infiltración) producen una fuente de agua de menor contenido de limo y partículas en comparación con las tomas en el océano abierto porque el agua de mar está naturalmente prefiltrada por los sedimentos del fondo oceánico. (Nikolay Voutchkov, 2010)

Las instalaciones de toma de agua deben estar equipadas con un filtro de malla para capturar algas flotantes. Si tiene una gran cantidad de algas, la ingesta de agua debe incluir el tratamiento de agua con agentes biocidas (cloro, sulfato de cobre, etc.) con vistas a su destrucción y posterior deposición. (Nichkova, 2019)

Toda el agua de mar en todo el mundo contiene prácticamente las mismas familias de componentes, pero su contenido varía según la marea, la estación, la temperatura, la región, las condiciones climáticas, etc. Esta variabilidad significa que los experimentos que utilizan agua de mar natural como primer recurso para las operaciones del proceso de desalinización no serían reproducibles ni repetibles.

El agua de mar natural contiene minerales y materias orgánicas naturales en estado disuelto o en suspensión. (Kennedy, 2008).

### **1.1 Objetivo general**

Proponer un sistema de filtrado para agua de mar, planta de desalinización TVC en central termoeléctrica Campiche, Ventanas.

### **1.2 Objetivos específicos**

1. Analizar el proceso de desalinización.
2. Analizar la causa raíz del problema de saturación del sistema de filtrado actual.
3. Determinar y seleccionar un sistema de filtrado adecuado.
4. Analizar los costos asociados a la implementación.

## 2 Captación de agua de mar Central Termoeléctrica Campiche

El sistema de captación de agua de mar de la Central Termoeléctrica Campiche tiene por finalidad suministrar toda el agua necesaria por el proceso, tanto para producir el cambio de estado en el condensador y disminuir la temperatura del condensado, aumentando la eficiencia del ciclo Rankine, como también alimentar los equipos y sistemas auxiliares de planta entre ellos las unidades desaladoras, enfriamiento del circuito cerrado de enfriamiento y otros.

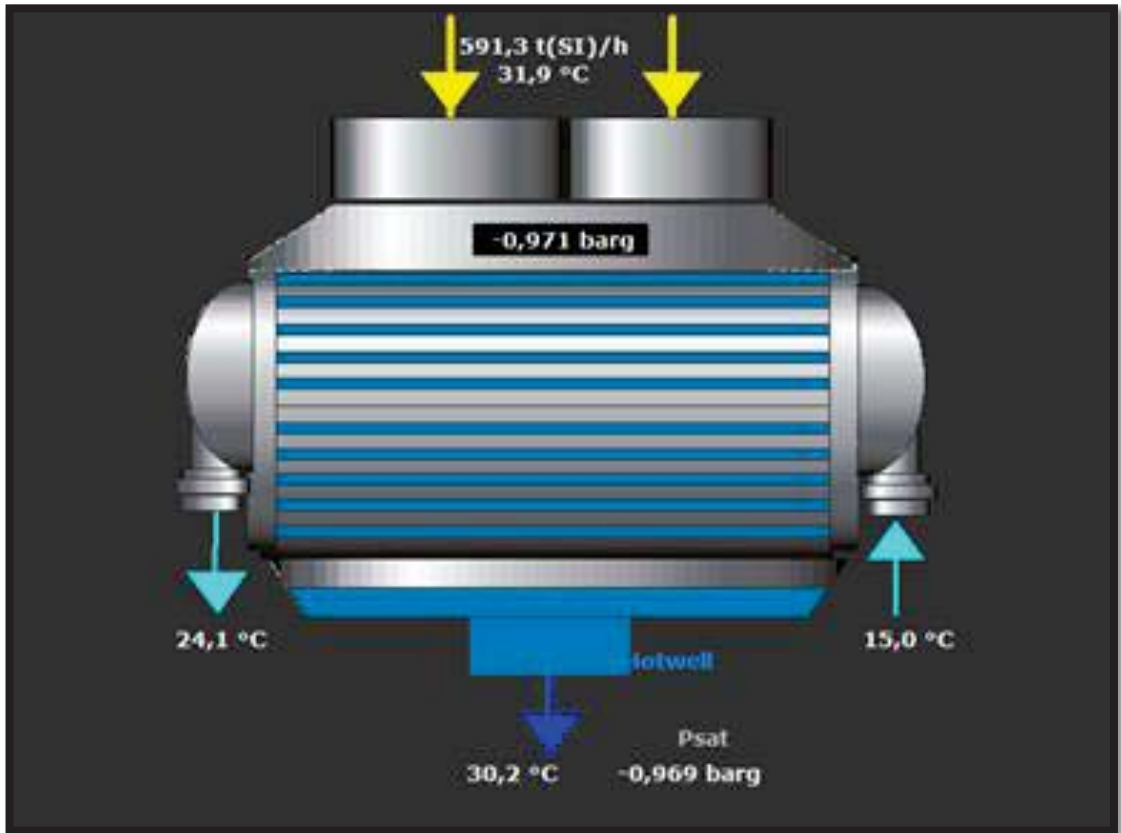


Figura 1. Esquema condensador Central Termoeléctrica Campiche

(gpstrategies ETAPRO)

### 2.1 Sistema de captación agua de mar Central Termoeléctrica Campiche

El sistema de captación de agua de mar utiliza el principio de vasos comunicantes que conectan el mar con el recipiente receptor llamado pozo intake.

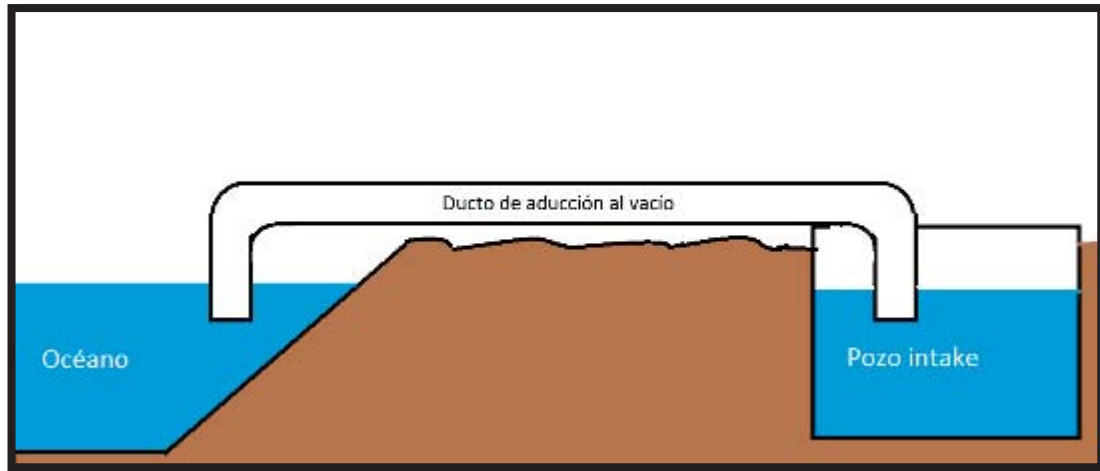


Figura 2. Esquema vasos comunicantes

(Creación propia Rodrigo Rojas Opazo, 2020)

Sobre el pozo intake se encuentran 3 bombas instaladas:

- Bomba de circulación principal (para el condensador).

Flujo de trabajo:	18.000 [m <sup>3</sup> /h]
Potencia del motor:	1.050 [kW]
Altura en condición de diseño:	15,6 [m]
RPM	370

Tabla 1. Características Bombas de Circulación Agua de Mar.

- Bomba auxiliar de enfriamiento (para el circuito cerrado de enfriamiento)

Flujo de trabajo:	1.450 [m <sup>3</sup> /h]
Potencia del motor:	130 [kW]
Altura en condición de diseño:	22 [m]
RPM	1.450

Tabla 2. Características Bomba Auxiliar de Enfriamiento

- Bomba de transferencia de agua de mar (para la unidad desaladora).

Flujo de trabajo:	550 [m <sup>3</sup> /h] en altura nominal.
Potencia del motor:	160 [kW].
Altura en condición de diseño:	60 [mWC]

Tabla 3. Características Bomba de Transferencia Agua de Mar

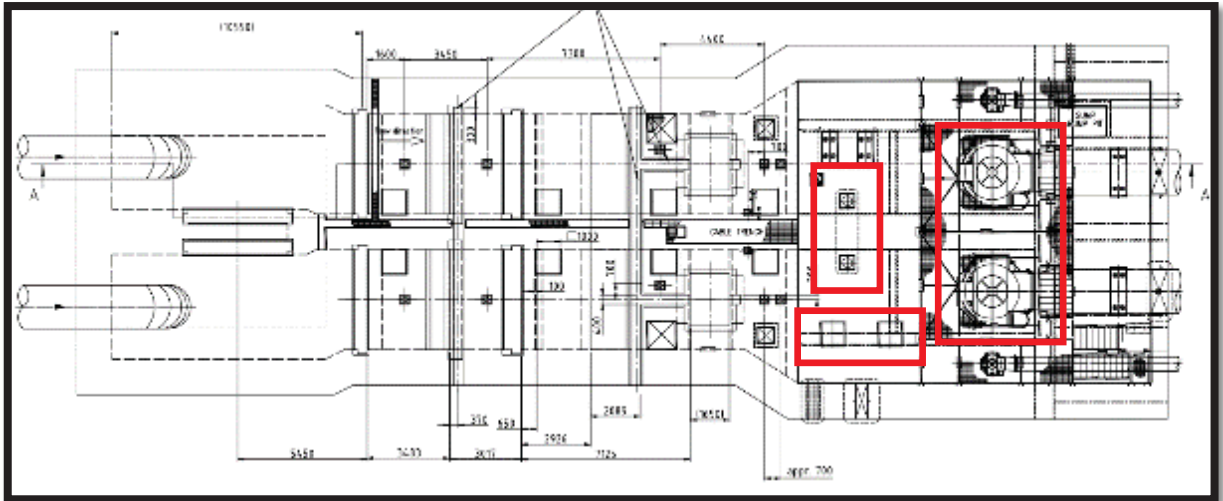


Figura 3. Esquema distribución de bombas, sector Intake

(POSCO E&C, 2008)

## 2.2 Características agua de mar en bahía de Quintero

El agua de mar de la bahía de Quintero contiene gran cantidad de material en suspensión, principalmente algas cuyos tipos se mencionan a continuación:





*Figura 4. Tipos de algas marinas bahía de Quintero*

(Centro Interdisciplinario de estudios oceánicos)

Estas se presentan de manera imprevista durante periodos cortos o muy extensos, y en cantidad que varía desde muy poca hasta “avalanchas”, lo anterior directamente relacionado con las estaciones del año, comportamiento y tipo de marea, temperatura del agua de mar, entre otros factores.

### 2.2.1 Parámetros de consideración del agua de mar, para el proceso de desalación.

Los parámetros ambientales son todas las variables ambientales (físicas, químicas y biológicas) que permiten la vida en el planeta. Estos parámetros son diferentes en cada tipo de ecosistema, lo que condiciona el desarrollo de ciertos organismos en los distintos ambientes (aire, tierra, mar, entre otros).

Entre estos parámetros podemos destacar los siguientes:

- a) Temperatura del mar: La temperatura del mar es un parámetro ambiental que se define como la medida de la magnitud de calor que posee un cuerpo de agua. Este parámetro depende directamente de la radiación solar y la latitud.
- b) pH: El pH es un coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa, es decir, la relación entre la concentración de iones hidrógeno ( $H^+$ ) e hidroxilos ( $OH^-$ ), los que le confieren las características de alcalinidad o de acidez a una solución. El agua oceánica es ligeramente alcalina, y el valor de su pH está entre 7,5 y 8,4 variando en función de la temperatura.

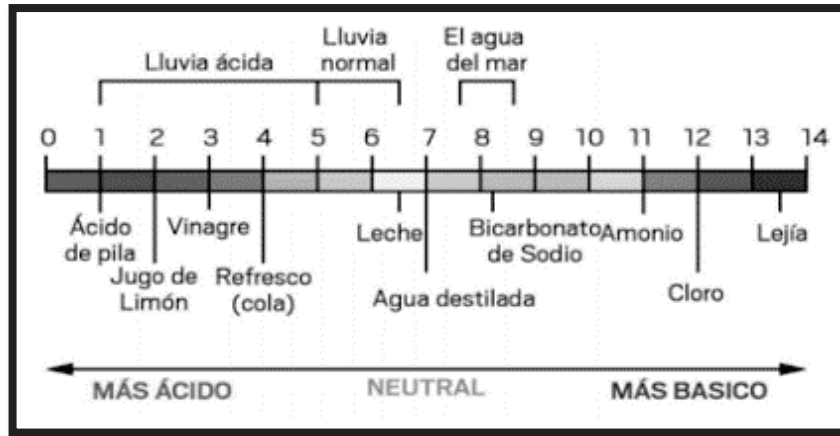


Figura 5. Gráfico de pH

(Centro Interdisciplinario de estudios oceánicos)

- c) TDS (Sólidos totales disueltos): Son sales inorgánicas y pequeñas cantidades de materia orgánica presente en la solución en el agua. Algunas de las principales fuentes que transportan partículas a los océanos son los ríos, que trasladan sales y minerales desde los continentes hacia el mar. Los componentes principales son por lo general de calcio, magnesio, sodio, potasio y cationes y carbonato, bicarbonato, cloruro, sulfato, nitrato y

aniones. TDS en el agua puede afectar a su gusto. Este parámetro se asocia comúnmente a la salinidad. La salinidad promedio del agua de mar es 35 [g/L].

- d) TSS (Sólidos totales en suspensión): Es un parámetro utilizado en la calificación de la calidad del agua y en el tratamiento de aguas residuales. Indica la cantidad de sólidos (medidos habitualmente en miligramos por litro [mg/L]), presentes, en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración en vacío, o la centrifugación del líquido. Algunas veces se asocia a la turbidez del agua.
- e) Densidad: La densidad es una magnitud que se refiere al peso contenido en un volumen determinado y se expresa en [Kg/m<sup>3</sup>]. La densidad promedio del agua de mar está en torno los 1.033 [Kg/m<sup>3</sup>].

### 2.2.2 Sistema común de retención de material en suspensión en el agua de mar

Una vez que el agua de mar se encuentra en el pozo intake, debe atravesar los sistemas de retención de material en suspensión antes de alcanzar la succión de las bombas antes mencionadas.

Dicho sistema se compone por:

- Reja fija: Permite el paso de material en suspensión que posean una medida inferior a 40 [mm] en alguna de sus dimensiones. Consiste en placas dispuesta horizontalmente cada 40 [mm] desde el nivel calle hasta el fondo del pozo intake (10 [m]). El sistema de limpieza de la reja fija consiste es una “rastra” que desciende y ataca el espacio entre planchas para luego ascender a la posición inicial arrastrando todo el material atrapado en la reja. El material retirado por la rastra es retirado de ella por medio de un raspador y devuelto al mar mediante el agua de limpieza.
- Reja móvil: Permite el paso de material en suspensión que posean una medida inferior a 5 x 5 [mm] en sus dimensiones. Consiste es un conjunto de rejillas dispuesta de forma ovalada desde el nivel calle hasta el fondo del pozo intake, que obstruye el paso de agua de mar, debiendo esta atravesarla para poder alcanzar la succión de las bombas. Un motor-reductor hace girar el conjunto de rejillas para llevar el material retenido hasta el nivel calle donde un grupo de toberas con agua a alta presión atacan cada rejilla, retirando todo el material atrapado, el cual es devuelto al mar mediante agua de limpieza.



El tamaño de filtración del filtro de agua de mar que alimenta la unidad desaladora, según las especificaciones técnicas, es de 0,050 [mm].

<b>ELEMENTO FILTRANTE/ Filtering element</b>	
<b>TIPO / Type</b>	<b>Candles</b>
<b>N° RICHIESTO/ Quantity</b>	<b>25</b>
<b>GRADO FILTRAZIONE / Filtration size (MICRON)</b>	<b>50</b>
<b>SUP. LORDA / Total area ( cm<sup>2</sup> )</b>	<b>44000</b>
<b>SUP. NETTA / Open area (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>2100</b>
<b>ΔP PULITO / ΔP Clean ( kg/cm<sup>2</sup> )</b>	<b>0,15</b>
<b>ΔP SPORCO / ΔP Dirty with 60% clogging (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>0,6</b>

Figura 6. Extracto Data sheet filtro agua de mar unidad desaladora TVC

(SWS Saline Water Specialists, 2008)

El agua de mar ya filtrada por las rejillas fijas y rejillas móviles es suministrada, como ya se mencionó anteriormente, por la Bomba de transferencia de agua de mar a la unidad desaladora, donde ataca en primera instancia al sistema de filtrado con las algas que han logrado atravesar ambas rejillas, sumado a lo anterior conchillas y biota marina que se adhiere y crece en los circuitos por donde fluye el agua de mar, desprendiéndose continuamente ya sea en forma individual o grupal, provocando severas obstrucciones en los filtros.

El tamaño de algas que atraviesan las rejillas de las rejillas móviles no siempre es menor a 5 x 5 [mm] debido a la flexibilidad y resistencia de las algas, por otra parte, el flujo de agua de mar estimula su avance a través de ellas.

Lo anterior, provoca que el sistema de limpieza trabaje prácticamente de manera continua para mantener el diferencial de presión del filtro dentro del valor determinado, sin resultados positivos. Los filtros se saturan con tanta rapidez que no es posible realizar la limpieza manual del que estaba en servicio, antes que el filtro de respaldo también se sature. El flujo de agua de alimentación hacia la unidad desaladora comienza a disminuir lentamente, provocando en primer lugar la disminución de la producción de agua desalada y luego la detención automática (trip) por alta temperatura de la primera etapa del evaporador.

El sistema de limpieza del filtro ha comenzado a fallar de manera prematura debido a que ha estado trabajando por sobre las condiciones de diseño. Las fallas más recurrentes que se han presentado hasta el momento son:

- Motor del sistema de limpieza quemado.
- Pérdida de ajuste de componentes móviles.
- Trabamiento interno del sistema de limpieza.
- Falla de componentes por sobreesfuerzos.

### **3 Descripción del proceso y componentes principales del sistema de desalación**

#### **3.1 Principio de operación de la unidad TVC**

El principio de los destiladores de efectos múltiples consiste en la utilización del calor latente liberado por la condensación del vapor producido en cada efecto para la evaporación del agua de mar en el siguiente efecto. Cada efecto está formado por un grupo de tubos dispuestos horizontalmente, una serie de boquillas para rociar agua de mar, cuatro cajas de destilado de vapor y un conducto de transferencia de vapor, que incluye la sección del separador.

En el primer efecto (temperatura más alta), se rocía agua de mar por el exterior del grupo de tubos formando una película delgada alrededor de cada tubo, evaporándose parcialmente. El calor necesario para el cambio de fase es suministrado por el vapor descargado desde el compresor térmico a los tubos de intercambio de calor, donde se produce la condensación. Al mismo tiempo, la cantidad de vapor producido por la evaporación del agua de mar rociada (que es aproximadamente de la misma cantidad que la velocidad de flujo del vapor de entrada) fluye a través de los separadores y luego a los tubos con el siguiente efecto.

El proceso de condensación de vapor: la evaporación del agua de mar se repite en cada efecto, a una temperatura y presión más bajas. El destilado recogido en la caja de destilado se descarga, a través de un conducto, en el siguiente efecto. En el cuarto efecto, parte del vapor producido se extrae desde el eyector de chorro vapor del compresor, se mezcla con vapor motriz y se descarga al primer efecto, como se describió anteriormente. La parte restante del vapor producido se conduce a un condensador externo de destilado, que consiste en un intercambiador de calor de grupo de tubos enfriado por agua de mar fresca que fluye al interior del tubo; todo el destilado se recoge en este condensador, luego se extrae con una bomba y se envía al estanque de almacenamiento.

La salmuera concentrada del primer efecto, de manera similar al destilado, avanza en cascada hasta el cuarto efecto y luego se devuelve al mar a través de la bomba de salmuera.

Desde el punto de vista del Balance de calor, observamos que la entrada de calor al sistema es dada por el vapor motriz al compresor térmico de vapor y se libera la misma cantidad de calor en el condensador de destilado, con el correspondiente aumento en la temperatura del agua de mar de enfriamiento en la salida del condensador. El agua de mar precalentada de esta manera se utiliza posteriormente como agua de alimentación para cada efecto. Para aumentar la eficiencia térmica del sistema, el flujo de agua de alimentación al primer efecto pasa también en el lado del tubo de los condensadores del Sistema de Vacío (Inter y Post condensador) y del 1° y 2° precalentador y, donde se precalienta aún más antes de ser rociado en el efecto.

Los gases no condensables liberados por el agua de mar de alimentación (aire disuelto y CO<sub>2</sub> formado por la descomposición de los carbonatos) fluyen por cada efecto al siguiente a través de un sistema de ventilación adecuado, son recolectados en el condensador de destilado y finalmente purgado a la atmósfera por el Sistema de vacío, formado por un sistema de eyectores de chorro de vapor de dos etapas que incluye un condensador interno y un condensador posterior.

Las principales ventajas de la tecnología TVC se derivan de la baja temperatura de funcionamiento, que reduce significativamente los fenómenos de formación de incrustaciones y contribuye a prevenir los principales riesgos de corrosión.

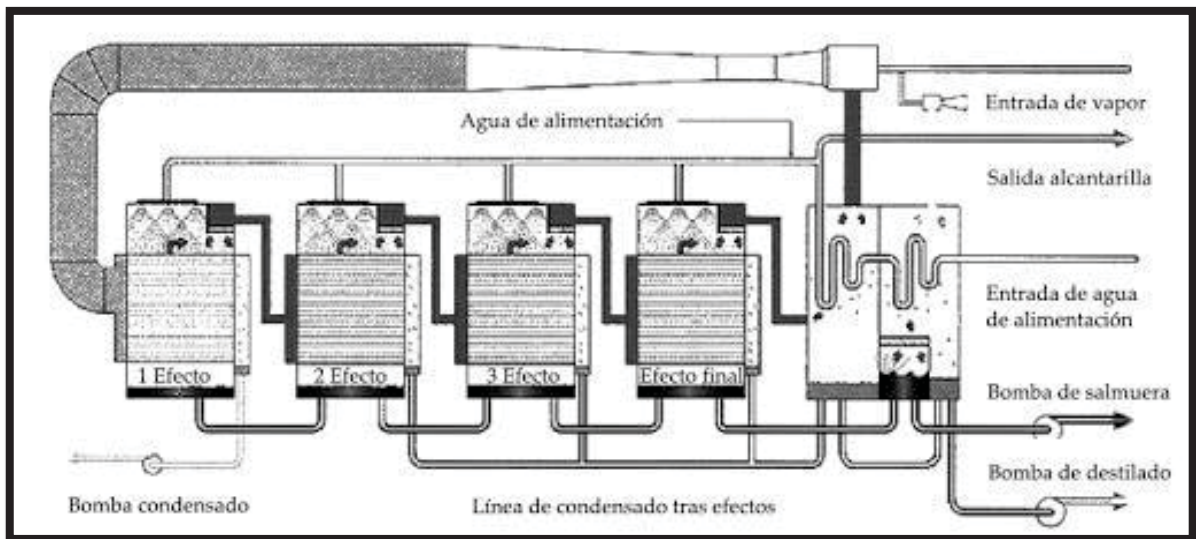


Figura 7. Esquema Sistema de desalinización multiefecto

(Researchgate)

<b>Producción de agua desalada</b>	
Producción total máxima bruta	112,5 [T/h]
Producción máxima neta	100 [T/h]
Temperatura límite del agua en la salida	40 [°C]
Presión límite del agua en la salida	4 [bar a]
Sólidos disueltos totales	< 4 [mg/L]
<b>Vapor de entrada, etapa baja presión</b>	
Presión máxima	3,5 [bar g]
Temperatura máxima	160 [°C]
Consumo máximo total	12,5 [T/h]
<b>Vapor de entrada, etapa media presión</b>	
Presión máxima	14 [bar g]
Temperatura máxima	260 [°C]
Consumo máximo total	1 [T/h]
<b>Alimentación agua de mar (parámetros esperados)</b>	
Rango de temperatura	12 a 21 [°C]
Flujo máximo	550 [T/h]
TDS (Sólidos disueltos totales)	38.555 [mg/L]
TSS (Sólidos en suspensión totales)	66,8 [mg/L]
<b>Agua efluente (salmuera)</b>	
Temperatura de salida	< 40 [°C]
Presión de salida	1,5 [bar a]

*Tabla 4. Parámetros de operación, Unidad desaladora*

(SWS Saline Water Specialists, 2008)

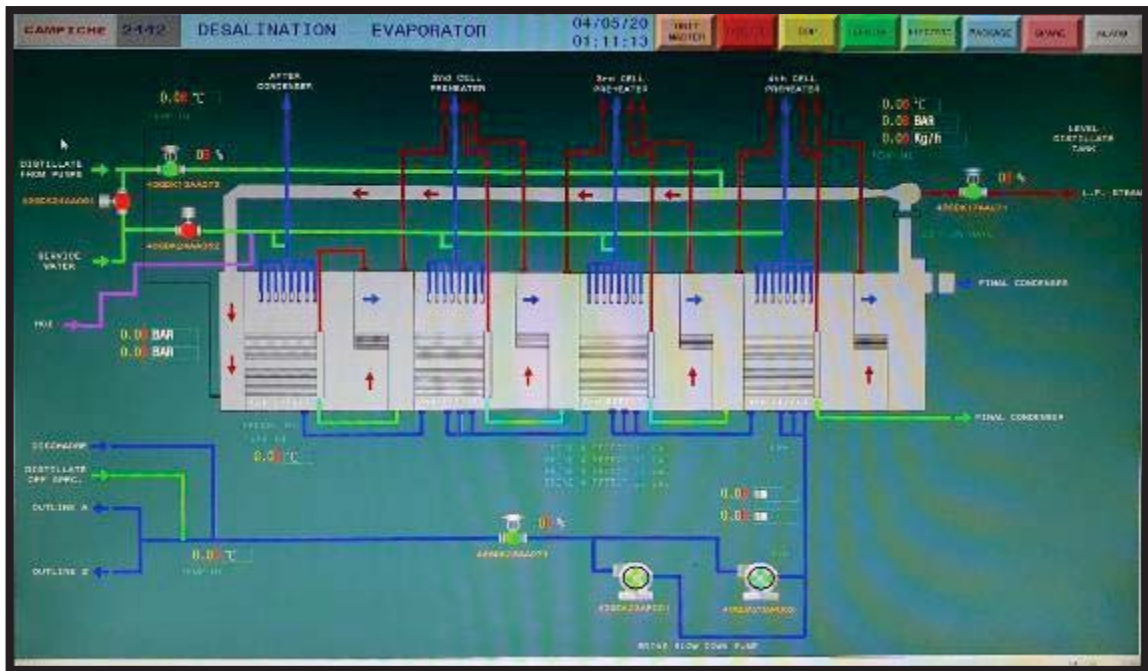


Figura 8. Representación unidad desaladora para control de operación.

(Sistema de control distribuido DCS, 2010)

## 3.2 Descripción de la unidad de desalinización

### 3.2.1 Evaporador

El proceso de condensación de vapor y evaporación de agua de mar descrito anteriormente se efectúa en el Evaporador de Efecto Múltiple, que es el equipo básico de la Planta de Desalinización. El evaporador está formado por uno vasos cilíndricos con eje horizontal y se divide en cuatro efectos. La carcasa del evaporador está fabricada con placas SA240 UNS32304 (acero inoxidable austenítico al cromo níquel 23-4), reforzadas externamente con anillos SA 240 304L (acero inoxidable austenítico al cromo níquel 18-8).

Cada efecto del evaporador está compuesto por un paquete de tubos de titanio rectos (tres filas superiores - SB 338 Gr. 2) y tubos de aleación (otras filas –Aleación de aluminio 5052), fijados con arandelas de goma entre dos placas circulares fabricadas en planchas de SA240 UNS31803 (acero inoxidable austenítico al cromo níquel 22-5). Cada tubo termina en una sección de destilado, que tiene el propósito de recoger el destilado formado al interior de los tubos.

Los receptáculos de destilado están equipados con compuertas de registro, para permitir un fácil acceso a cada placa de tubos para su inspección.

Sobre cada banco de tubos hay una fila de boquillas de pulverización, cada fila equipada con ocho boquillas, de tal manera que permita una humectación uniforme de todos los tubos. La instalación de las boquillas de pulverización se realiza mediante un acoplamiento con brida y es tal que pueden desmontarse fácilmente de la plataforma externa para inspección y limpieza. Los separadores instalados en el evaporador son del tipo horizontal de malla de alambre de acero inoxidable 316 (acero inoxidable austenítico al cromo níquel molibdeno 16-10-3). Están compuestos por grupos de rectángulos que se instalan en marcos horizontales dentro del evaporador, de manera que puedan ser accesibles y, si es necesario, extraíbles para su limpieza.

### 3.2.2 Condensador de destilado

Es un intercambiador de calor de carcasa y tubos con eje horizontal, cuya función es condensar parte del vapor producido en el último efecto del evaporador mediante el agua de mar refrigerante que fluye al interior de los tubos. El vapor se condensa en el lado de la carcasa del intercambiador formando así destilado, que se recoge en el fondo del recipiente, donde también se descarga el destilado producido en el evaporador a través de un sistema de sifón. El destilado se extrae del recipiente, donde se mantiene un nivel constante, mediante la bomba de destilado. Los gases no condensables liberados por el agua de mar rociada en el evaporador se conectan en cascada a través de los efectos y finalmente se recogen en una sección especialmente diseñada de subenfriamiento del condensador de destilado, desde donde son conducidos, mezclado con vapor, a la boquilla de succión del eyector de primera etapa.

El grupo de tubos del condensador de destilado se subdivide en cuatro pasadas y está formado por tubos rectos de Cu/Ni 90/10 expandidos en cada extremo en las placas circulares SA240 UNS31803. Las cajas de agua se cierran mediante tapas atornilladas, que se pueden abrir para acceder a las placas circulares.

### 3.2.3 Celda 4° del precalentador.

Es un intercambiador de calor de carcasa y tubo con eje horizontal cuya función es condensar tanto como sea posible el vapor mezclado con los gases no condensables (aire y CO<sub>2</sub>) provenientes del tercer efecto, calentando el agua de mar al interior de los tubos.

El vapor se condensa en el lado de la carcasa del intercambiador formando condensado.

El grupo de tubos del cuarto precalentador se subdivide en dos pasos y está formado por tubos de titanio rectos expandidos en cada extremo en las placas circulares SA240 UNS31803. Las cajas de agua son cerradas por tapas atornilladas, que se pueden abrir para acceder a las placas circulares.

### 3.2.4 Celda 3° del precalentador.

Es un intercambiador de calor de carcasa y tubo con eje horizontal cuya función es condensar tanto como sea posible el vapor mezclado con los gases no condensables (aire y CO<sub>2</sub>) provenientes del segundo efecto, calentando el agua de mar al interior de los tubos.

El vapor se condensa en el lado de la carcasa del intercambiador formando condensado.

El grupo de tubos del tercer precalentador se subdivide en dos pasadas y está formado por tubos de titanio rectos expandidos en cada extremo en las placas circulares SA240 UNS31803. Las cajas de agua son cerradas por tapas atornilladas, que se pueden abrir para acceder a las placas circulares.

### 3.2.5 Celda 2° del precalentador.

Es un intercambiador de calor de carcasa y tubo con eje horizontal cuya función es condensar tanto como sea posible el vapor mezclado con los gases no condensables (aire y CO<sub>2</sub>) descargados por el primer efecto, calentando el agua de mar al interior de los tubos.

El vapor se condensa en el lado de la carcasa del intercambiador formando condensado.

El grupo de tubos del segundo precalentador se subdivide en dos pasadas y está formado por tubos de titanio rectos expandidos en cada extremo en las placas circulares SA240 UNS31803. Las cajas de agua son cerradas por tapas atornilladas, que se pueden abrir para acceder a las placas circulares.

### 3.2.6 Termocompresor

El propósito del termocompresor es recircular parte del vapor formado en el último efecto del evaporador al primer efecto. El termocompresor es un gran eyector de vapor, que tiene vapor de agua como fluido motriz y como fluido de succión.

Al igual que un eyector, el termocompresor está compuesto por una caja de vapor, una boquilla, una cámara de mezcla y un difusor. El vapor motriz se expande a través de la boquilla interna para alcanzar una presión mínima en la cámara de succión. Aquí el vapor de succión es arrastrado por el vapor de alta velocidad. La mezcla de gases luego pasa a través de un difusor de forma divergente, donde la velocidad disminuye y, según la Ley de Bernoulli, la presión aumenta en consecuencia, hasta un valor mayor que la condición de succión y, por supuesto, menor que valor del vapor motriz.

En el caso considerado, el fluido de succión es el vapor en la última etapa, mientras que el fluido de descarga es el vapor que ingresa a los tubos del primer efecto.

El acceso al compartimiento de vapor para desmontar la boquilla durante el mantenimiento es posible desde la plataforma ubicada en la parte superior del evaporador.

### 3.2.7 Sistema de vacío

El sistema de vacío está formado por:

- Eyector de vapor de primera etapa.
- Intercondensador.
- Eyector de vapor de segunda etapa.
- Post condensador.
- Eyector expulsor con silenciador.

El eyector expulsor se utiliza solo en las puestas en servicio de la planta, para eliminar el aire del evaporador, del condensador de destilado y las tuberías y equipos conectados, ya que todos ellos funcionan en condiciones de vacío. El eyector expulsor está dimensionado para reducir la presión en el equipo anterior desde la condición atmosférica a 0.25 [bar a] en tres horas.

El grupo formado por los eyectores de primera y segunda etapa, intercondensador y postcondensador opera continuamente. Tiene el propósito de purgar a la atmósfera la mezcla



de gases no condensables y vapores extraídos del sistema, lo que permite mantener las condiciones de vacío necesarias para la operación de la planta. Los gases no condensables liberados en el primer efecto son conducidos directamente al condensador interno, mientras que los gases no condensables liberados en el cuarto efecto son conducidos al condensador de destilado.

El eyector de la primera etapa funciona a una presión de succión de diseño de 0.072 [bar a] (condensador de destilado) y una presión de descarga de 0.261 [bar a] (intercondensador). El eyector de la segunda etapa funciona a una presión de succión de diseño de 0.261 [bar a] (Intercondensador) y una presión de descarga de 1.127 [bar a] (post-condensador atmosférico).

El propósito del intercondensador es condensar tanto como sea posible el vapor mezclado con los gases no condensables (aire y CO<sub>2</sub>) descargados por el eyector de la primera etapa, para minimizar el consumo de vapor motriz del eyector de segunda etapa. El propósito del post-condensador, de manera análoga, es minimizar la cantidad de vapor descargado a la atmósfera. Al mismo tiempo, el calor latente del vapor de condensación se recupera aumentando la temperatura del agua de mar que fluye en el lado del tubo, que se rociará en el evaporador como agua de alimentación.

El intercondensador y el postcondensador son intercambiadores de calor de carcasa y tubos con eje horizontal, enfriados con agua de mar. De manera similar al condensador de destilado, sus grupos de tubos de múltiples pasadas están formados por tubos de titanio rectos expandidos en cada extremo en las placas circulares SA240 UNS S31803. Las cajas de agua son cerradas por tapas atornilladas, que se pueden abrir para acceder a las placas circulares.

### 3.2.8 Bombas de producto

Se instalan dos bombas horizontales centrífugas (2 x 100%). Uno está en funcionamiento y la otra está de respaldo, lista para entrar en servicio. La bomba en funcionamiento extrae continuamente el destilado del condensador de destilado.

Las características principales de las bombas de extracción de destilados son las siguientes:

Flujo de trabajo:	120 [m <sup>3</sup> /h] en altura nominal.
Potencia del motor:	37 [kW].
Altura en condición de diseño:	51,5 [mWC]

*Tabla 5. Características Bombas de Producto*

Dado que el destilado en la succión de la bomba está en condiciones de saturación (es decir, está en equilibrio con la fase de vapor), es importante mantener suficiente altura de succión para evitar la cavitación, con el consecuente daño del impulsor. Por esta razón, el nivel de succión del destilado se mantiene en un valor preestablecido por un circuito de control de nivel automático, que actúa sobre la válvula de control en la línea de descarga de la bomba.

### 3.2.9 Bombas de purga de salmuera

El propósito de la bomba de purga de salmuera es mantener el nivel de salmuera en el evaporador a un valor constante, descargando el agua de mar concentrada (salmuera) mientras se rocía agua de mar a través de las boquillas.

Se instalan dos bombas horizontales centrífugas (2 x 100%). Uno está en funcionamiento y la otra está de respaldo, lista para entrar en servicio. La bomba principal, en funcionamiento continuo, extrae salmuera del fondo del último efecto del evaporador.

Las características principales de las bombas de purga de salmuera son las siguientes:

Flujo de trabajo:	170 [m <sup>3</sup> /h] en altura nominal.
Potencia del motor:	30 [kW].
Altura en condición de diseño:	23,7 [mWC]

*Tabla 6. Características Bombas de Salmuera*

Dado que la salmuera en la succión de la bomba está en condiciones de saturación (es decir, está en equilibrio con la fase de vapor), es importante mantener suficiente altura de succión para evitar la cavitación, con el consiguiente daño del impulsor. Por esta razón, el nivel de succión de salmuera se mantiene en un valor preestablecido por un circuito de control de nivel automático, que actúa sobre la válvula de control en la línea de descarga de la bomba.

### 3.2.10 Bomba de transferencia de agua de mar

Se instalan dos bombas verticales (2 x 100%), una de las cuales está en funcionamiento y la otra está de respaldo.

La bomba en funcionamiento continuo permite que el agua de mar avance dentro de los tubos del condensador de destilado.

Las características principales de las bombas de transferencia de agua de mar son las siguientes:

Flujo de trabajo:	550 [m <sup>3</sup> /h] en altura nominal.
Potencia del motor:	160 [kW].
Altura en condición de diseño:	60 [mWC]

*Tabla 7. Características Bombas de Transferencia Agua de Mar*

### 3.2.11 Filtro de alimentación de agua de mar

Está compuesto de dos filtros verticales, con retrolavado automático. Una de las dos secciones de filtrado está en funcionamiento y la otra sección como respaldo y se utilizan durante toda la operación de la unidad de desalinización. Cada sección está dimensionada para filtrar el total el flujo máximo de agua de mar que ingresa al sistema (600 [m<sup>3</sup>/h]) y tiene un índice de filtración de 0.05 [mm].

Su función es filtrar y eliminar mediante lavado a contracorriente cualquier materia suspendida o residuos contenidos en el agua de mar de entrada antes de que entren en la unidad y provoquen la obstrucción de elementos tales como boquillas de pulverización del evaporador o tubos de intercambiadores de calor.

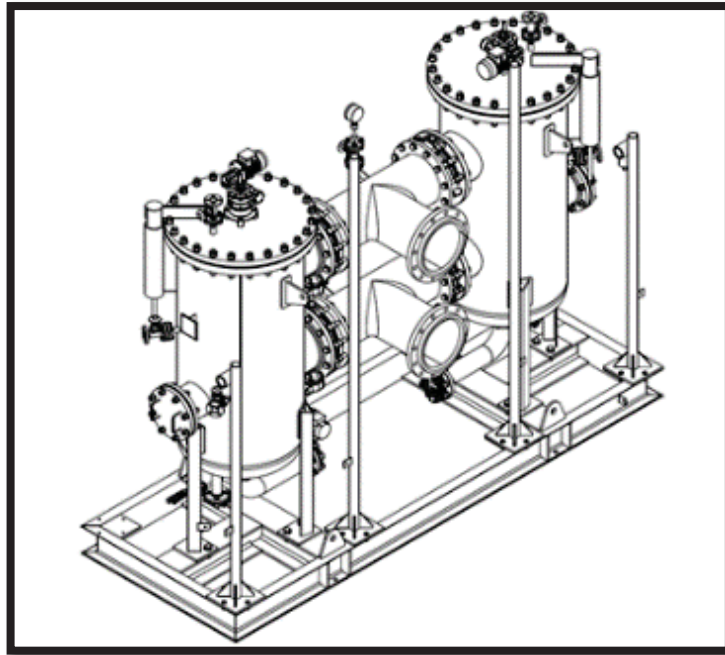


Figura 9. Sistema de filtrado agua de mar unidad desaladora

(SWS Saline Water Specialists, 2008)

Está compuesto por una carcasa dividida en dos secciones con elementos filtrantes. Esta operación se realiza manteniendo la caída de presión a través del filtro, en un valor máximo predeterminado.

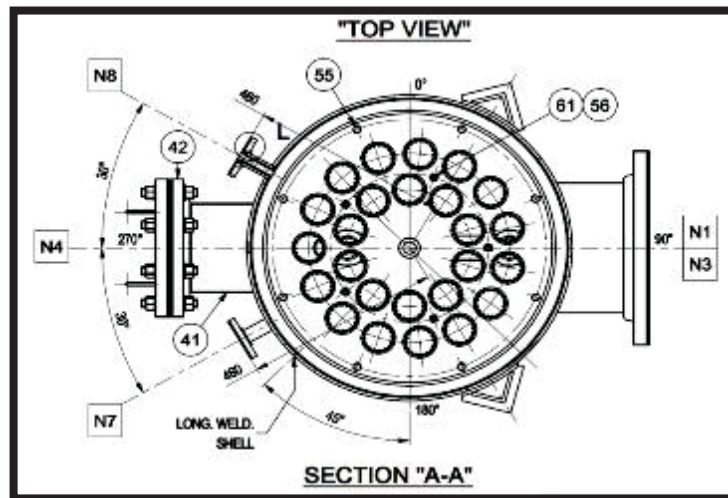


Figura 10. Vista superior interior filtro agua de mar unidad desaladora

(SWS Saline Water Specialists, 2008)

El presente trabajo aborda el estado de operación del sistema de filtrado de agua de mar, desde el punto de vista de fallas de componentes y de la saturación periódica, las cuales provocan daño al equipo y la consecuente indisponibilidad de este, produciendo disminución de la producción de la unidad desaladora y un incremento en los costos de mantenimiento tanto por repuestos como por HH.

#### 4 Análisis causa raíz: Saturación del sistema de filtrado agua de mar hacia TVC

El método utilizado para identificar la causa raíz fue el "Árbol de fallas" el cual es comúnmente utilizado para entender la lógica que conduce al estado de falla, además de funcionar como herramienta de diagnóstico para identificar y poder corregir las posibles causas. Es un sistema de análisis de falla deductivo en forma descendente, es decir que se conforma desde la parte superior (evento no deseado) hacia abajo donde se visualizan las posibles causas y sus componentes.

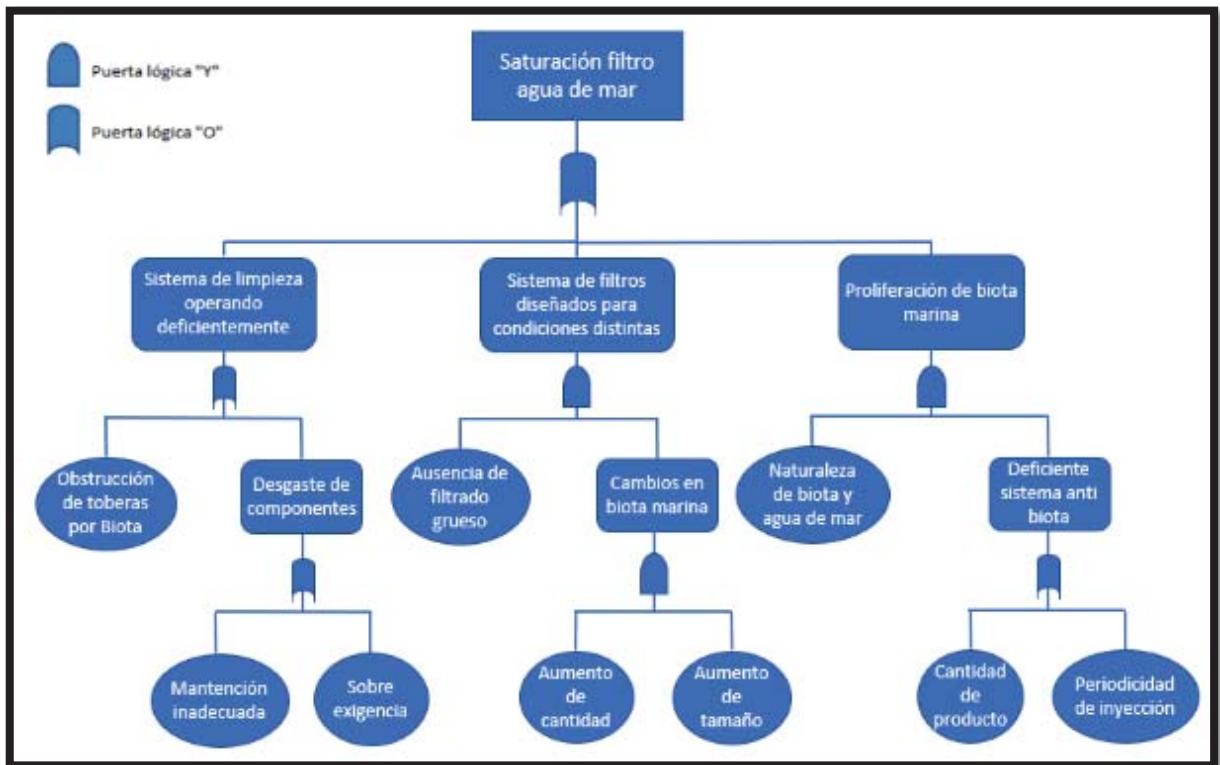


Figura 11. Árbol de falla: Saturación filtro agua de mar

(Creación propia Rodrigo Rojas Opazo, 2020)

Se han considerado básicamente 3 causas principales, por las cuales se produce la saturación de los filtros de agua de mar del sistema de desalinización:

1. Sistema de autolimpieza esté operando deficientemente.
2. Sistema de filtrado de agua de mar haya sido diseñado para condiciones distintas a las cuales está operando actualmente.
3. Exista una excesiva proliferación y permanencia de biota marina en los filtros de agua de mar.

#### **4.1 Análisis de las causas y alternativas de solución.**

Con el objetivo de comprender el o los factores que afectan el funcionamiento del sistema actual de filtrado agua mar, procede a analizar las componentes del árbol de fallas desde una perspectiva técnica y empírica para encontrar la causa raíz y poder ofrecer alternativas de solución que sean eficientes frente a la problemática.

##### **4.1.1 Sistema de limpieza operando deficientemente.**

Según el análisis realizado, el sistema de limpieza puede verse afectado, en cuanto a su eficiencia, por el desgaste de componentes y/o por la obstrucción de las toberas de limpieza.

- El desgaste de componentes puede deberse a una mantención inadecuada (para las condiciones actuales de operación) o a una sobre exigencia del sistema de limpieza (ciclos de operación del sistema de limpieza reales v/s diseño).
- La obstrucción de las toberas de limpieza puede deberse al crecimiento de biota (ya que utiliza agua de mar "filtrada" para la limpieza).

De la causa analizada y sus componentes, considera que los puntos que se deben atacar y que disminuyen en mayor medida el impacto de esta arista son:

- En cuanto al desgaste de componentes:

Actualizar el plan de mantenimiento para las condiciones actuales de operación.

Disminuir la exigencia del sistema de limpieza mediante la implementación de un filtrado grueso.

- En cuanto a la obstrucción de toberas:

Aumentar la efectividad del sistema anti-biota.

#### 4.1.2 Sistema de filtros diseñado para condiciones distintas.

Según el análisis realizado, el sistema de filtrado puede haber sido diseñado para condiciones distintas de operación. Por una parte, aprecia que la instalación existente carece de una etapa de filtrado "grosso" y por otra, puede que el sistema este sobrepasado debido a cambios en biota marina presentes en el agua de mar, en relación a las condiciones iniciales consideradas.

- La ausencia de filtrado grosso, puede que no se haya considerado por temas de costo o por no estimarse necesario para las condiciones analizadas.
- Los cambios en la biota marina presente en el agua de mar se refieren al aumento en la cantidad y/o en tamaño.

De la causa analizada y sus componentes, considera que los puntos que se deben atacar y que disminuyen en mayor medida el impacto de esta arista son:

- En cuanto a la ausencia de filtrado grosso:

Podemos considerar la instalación de un sistema de filtrado grosso para disminuir la carga del filtro fino actual, acercando las actuales condiciones de operación a las condiciones de diseño o reemplazar el sistema de filtrado actual por uno que abarque un filtrado grosso y un filtrado fino.

- En cuanto a la cantidad y tamaño de la biota marina actual:

Es una componente que no puede ser modificada, por lo que los equipos y sistemas deben adaptarse para evitar sus efectos.

#### 4.1.3 Proliferación de biota marina al interior de los filtros.

Según el análisis realizado, la proliferación de vida marina al interior de los filtros puede deberse a un deficiente sistema anti-biota y a la naturaleza de biota y agua de mar presente.

- Naturaleza de biota y agua de mar, se refiere a que, por las características presentes, en la zona de la toma de agua, se facilite la proliferación y multiplicación de ella en los circuitos y sistemas por los cuales fluyen.
- La deficiencia en el sistema anti-biota puede deberse a que la cantidad o la periodicidad de inyección del hipoclorito de sodio no es la adecuada para evitar la proliferación de biota marina.

De la causa analizada y sus componentes, considera que los puntos que se deben atacar y que disminuyen en mayor medida el impacto de esta arista son:

- En cuanto a la naturaleza de biota y agua de mar es una componente que no puede ser modificada, por lo que los equipos y sistemas deben adaptarse para evitar sus efectos.
- En cuanto a deficiencia del sistema anti-biota: Aumentar la eficacia del sistema anti-biota para disminuir la proliferación de vida marina al interior de los filtros, evitando así la obstrucción/saturación de ellos. Lo anterior, aumentando la cantidad inyectada y/o aumentando la periodicidad

## **4.2 Alternativas de solución y sus alcances**

En esta sección se analizan cada una de las alternativas de solución con su respectivo alcance o ámbito de aplicación y se detallan los pros y contras de cada una de ellas. Lo anterior, en busca de una solución eficiente que le haga frente a la problemática.

### **4.2.1 Reemplazar sistema de filtrado actual**

Reemplazar el sistema de filtrado actual contempla, eliminar por completo el actual sistema de filtrado junto con las instalaciones asociadas. Incrementa el trabajo y los costos, ya que el nuevo sistema de filtrado deberá contener una etapa de filtrado grueso y una etapa de filtrado fino. Si bien es cierto que reemplazar el sistema actual de filtrado por uno compuesto por ambas etapas (sistema integrado) reduciría el espacio requerido comparativamente a solo adicionar un sistema de filtrado grueso, esto no representa un problema debido al espacio disponible que tienen las instalaciones de la Central Termoeléctrica Campiche.

### **4.2.2 Implementar un sistema de filtrado grueso**

Implementar un sistema de filtrado grueso contempla mantener el actual sistema de filtrado y solo adicionar un sistema de filtrado grueso cuyas características y especificaciones técnicas los hagan compatibles. Por otra parte, disminuye los costos de adquisición e implementación, al solo comprar la etapa de filtrado grueso. Si bien es cierto que los costos son mucho mayores a los de actualizar el plan de mantenimiento, son menores a los de reemplazar el sistema de filtrado actual y se obtiene como resultado, un sistema más robusto.



#### 4.2.3 Actualizar plan de mantenimiento

Actualizar el plan de mantenimiento es la más económica, en el corto plazo, de las alternativas evaluadas, pero implica un costo mayor a las otras si proyectamos el MTBF actual con los repuestos, HH y pérdida de producción asociada, en el largo plazo. Esta alternativa no evita que el filtro se sature, solo mejora la disponibilidad del equipo y extiende el tiempo entre detenciones por saturación al mantener en mejores condiciones los elementos del sistema de limpieza.

#### 4.2.4 Aumentar la efectividad del sistema anti-biota

Para efectos de evaluación, no analiza la alternativa "Aumentar la efectividad del sistema anti-biota", debido a que esta fuera del alcance del proyecto, correspondiendo al Departamento Químico su análisis y estudio.

### 4.3 Evaluación de alternativas de solución

Para el proceso de evaluación de las alternativas de solución, se definieron los criterios en base a una encuesta realizada a las distintas áreas de la empresa, todas con relación directa con el sistema de desalinización de agua de mar.

Consultadas las distintas áreas, obtiene la siguiente tabla:

<b>Jefe de operaciones</b>	<b>Jefe área química</b>
Nivel de satisfacción	Nivel de satisfacción
Factibilidad técnica	Costo de implementación
Factibilidad operativa	Complejidad de implementación
Nivel de automatización	Nivel de automatización
<b>Supervisor mantención</b>	<b>Ingeniero de proyecto</b>
Nivel de satisfacción	Nivel de satisfacción
Costo de implementación	Costo de implementación
Complejidad de implementación	Complejidad de implementación
	Factibilidad técnica

Tabla 8. Criterios para evaluar alternativas de solución

Obtenidos los criterios importantes para cada una de las áreas, genera tabla resumen de los criterios.

<b>Resumen de criterios</b>
Factibilidad técnica
Costo de implementación
Factibilidad operativa
Nivel de automatización
Nivel de satisfacción
Complejidad de implementación

*Tabla 9. Resumen de criterios de evaluación*

#### 4.3.1 Descripción de los criterios:

- Factibilidad Técnica: Se refiere a que la alternativa de solución esté disponible y si tiene las capacidades técnicas mínimas necesarias.
- Costo de implementación: Se refiere a que la alternativa de solución tenga una buena relación costo/beneficio, es decir que su implementación es justificada con las ganancias o ahorro que generará.
- Factibilidad operativa: Se refiere a que la alternativa de solución funcione como se supone y se cuenten con los recursos adecuados.
- Nivel de automatización: Se refiere al grado en que la alternativa de solución trabaja sin requerir asistencia del operador para realizar su/sus funciones.
- Nivel de satisfacción: Se refiere al grado de cobertura de la alternativa de solución.
- Complejidad de implementación: Se refiere al grado de dificultad que representa la implementación de la alternativa de solución.

Con los criterios establecidos, se procede a realizar una matriz de evaluación de las alternativas de solución.

Las alternativas de solución a evaluar en la matriz son las siguientes:

1. Reemplazar sistema de filtrado actual
2. Implementar un sistema de filtrado grueso
3. Actualizar plan de mantenimiento

4.3.2 Matriz de evaluación de alternativas de solución.

A través de la matriz de evaluación le asignaremos un "peso" a cada uno de los criterios, un "valor" según el grado de cumplimiento del criterio en cuanto a la alternativa de solución evaluada. El producto de estos dos parámetros en cada criterio de evaluación se sumará al final para entregarnos una valorización de la alternativa de solución. El valor mayor indica que la alternativa de solución responde o incide en mayor grado a la problemática, tema del presente trabajo.

**Puntaje:** Indicador de cumplimiento de la alternativa en relación con el criterio de evaluación, siendo 3 el mayor cumplimiento y 1 el menor cumplimiento.

**Producto:** Resultado de la multiplicación entre “Peso del criterio” y “Valor”.

**Suma:** Sumatoria de todos los productos de los criterios evaluados por cada alternativa de solución.

Peso del criterio:

Muy importante	3
Importante	2
Menos importante	1

Criterio de evaluación	Peso del criterio	Alternativas de solución					
		Reemplazar sistema actual de filtrado		Implementar un sistema de filtrado grueso		Actualizar plan de mantenimiento	
		Valor	Producto	Valor	Producto	Valor	Producto
Factibilidad técnica	3	3	9	3	9	3	9
Nivel de satisfacción	3	2	6	3	9	1	3
Costo de implementación	2	1	2	1	2	2	4
Complejidad de implementación	2	1	2	1	2	3	6
Factibilidad operativa	1	2	2	2	2	1	1
Nivel de automatización	1	2	2	3	3	1	1
		Suma	<b>23</b>	Suma	<b>27</b>	Suma	<b>24</b>

Tabla 10. Matriz de evaluación

(Creación propia Rodrigo Rojas Opazo, 2020)

Al analizar la información entregada por la matriz de evaluación de alternativas de solución, determina que aquella que aborda de mejor manera el problema, cumpliendo en mayor medida los criterios establecidos, corresponda a **"Implementar un sistema de filtrado grueso"**.

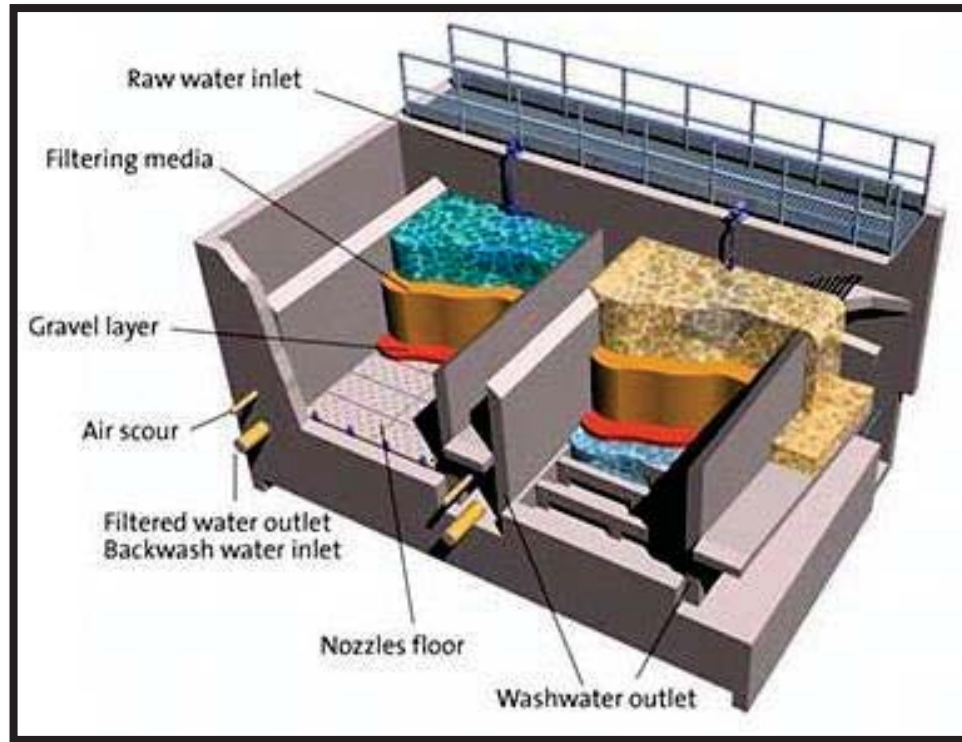
## **5 Selección del sistema de filtrado multimedios**

La mayoría de los sistemas de pretratamiento en funcionamiento hoy en día son filtros de medios granulares de etapa única o doble etapa y están diseñados para funcionar sin sedimentación o flotación por aire disuelto de la fuente de agua de mar antes de la filtración. Sin embargo, la fuente de agua de mar puede necesitar someterse a un pretratamiento adicional antes de la filtración (eliminación de arena, sedimentación o filtración inicial) dependiendo de su calidad.

En el caso del agua de mar de la Central Campiche, la arena contenida decanta en el pozo Intake o es succionada por la bomba de circulación principal antes de alcanzar la succión de las bombas de transferencia de agua de mar que alimenta la unidad desaladora.

### **5.1 Tipos de filtro según principio de operación**

Dependiendo de la fuerza impulsora para la filtración de agua de mar, los filtros de medios granulares se clasifican como filtros de gravedad y filtros de presión. Las principales diferencias entre los dos tipos de filtros son el cabezal requerido para transportar el agua a través del lecho de medios, la tasa de filtración y el tipo de recipiente utilizado para contener los medios para el filtrado.



*Figura 12. Esquema sistema de filtrado por gravedad.*

(Enciclopedia Británica)



*Figura 13. Sistema de filtrado presurizado*

(Filsonfilter)

Debido al alto costo de la construcción de grandes recipientes a presión con las superficies húmedas adecuadas para la resistencia a la corrosión, los filtros de presión se utilizan generalmente en plantas de pequeña y mediana capacidad, como es en nuestro caso.

Típicamente, los filtros de gravedad son estructuras de concreto reforzado que operan a la caída de presión del agua a través de los medios. Los filtros de gravedad de medios duales son un tipo predominante de tecnología de pretratamiento de filtración que se usa actualmente en plantas de desalinización de capacidad superior a 40.000 [m<sup>3</sup>/día]. Se prefieren los filtros de flujo descendente porque permiten retener la biomasa de algas contenida en el agua de mar de origen en la capa superior del medio filtrante y minimizar la ruptura de las células de algas que podría causar la liberación de compuestos orgánicos biodegradables solubles en el agua de mar filtrada que acelera la bio-incrustación.

Los filtros de presión tienen una configuración de lecho de filtro similar a la de los filtros de gravedad, excepto que el medio filtrante está contenido en un recipiente a presión de acero. Han encontrado aplicación principalmente para plantas de desalinización de agua de mar de tamaño pequeño y mediano, generalmente con una capacidad de producción de menos de 20,000 [m<sup>3</sup>/día].

En la mayoría de los casos, para filtros de presión de agua de mar de fuente relativamente buena (turbidez menor a 4 NTU) están diseñados como unidades de una sola etapa, medios dobles (antracita y arena).

Algunas plantas con una calidad de agua relativamente pobre utilizan sistemas de filtración a presión de dos etapas. Para plantas de desalinización pequeñas, los filtros de presión son muy competitivos en cuanto a costos, más eficientes en espacio, más fáciles y más rápidos de instalar y operar en comparación con los filtros de gravedad de medios granulares.

A menudo, cuando la fuente de agua de mar se recolecta a través de una toma abierta, se aplican filtros de presión del tipo "Wostage" de doble medio (arena y antracita).

La capa de antracita actúa eficazmente en la eliminación de materias orgánicas y biológicas que están contenidas en el flujo de agua de mar y que son muy perjudiciales para la operación de la unidad de desalinización.

Una de las desventajas de costo clave de estos filtros es que funcionan bajo presión y, por lo tanto, usan más energía que los filtros de gravedad.

El agua de mar siempre contiene cierta cantidad de algas, cuya concentración generalmente aumenta varias veces durante el período de verano y con varios órdenes de magnitud durante los períodos de floración de algas.

Las especies de algas en el agua de mar varían en tipo y tamaño, algunas especies de plancton que se producen durante los eventos de floración de algas, incluidos muchos dinoflagelados que causan la marea roja, tienen células que son relativamente fáciles de romper bajo presiones tan bajas como 0.4 a 0.6 [bar]. A medida que las células de algas se rompen bajo la presión (o vacío) aplicada por el sistema de pretratamiento de filtración, liberan su citoplasma celular en el agua de mar. Este citoplasma tiene un contenido muy alto de polisacáridos fácilmente biodegradables que sirven como fuente alimenticia de bacterias marinas. Cuando la cantidad de polisacáridos liberados por las células de algas rotas excede un cierto umbral en el agua de mar filtrada, típicamente desencadenarían un crecimiento microbiológico acelerado y la posterior incrustación biológica en los circuitos.

Debido a que los filtros de gravedad funcionan a presiones por debajo del umbral de ruptura de las células de algas y los filtros de presión funcionan a una presión varias veces mayor que este umbral, el uso de filtración por gravedad en las fuentes de agua de mar con frecuencia expuestas a grandes floraciones de algas es más ventajoso.

Es importante señalar que esta desventaja potencial de la filtración a presión y la bioincrustación acelerada asociada, se manifestará solo durante los períodos de floraciones de algas de magnitud medible (generalmente cuando el contenido total de algas en el agua de origen es superior a 2000 células / [mL] y los niveles de TOC en el agua de mar de origen exceden 2 [mg /L]).

A una profundidad de 10 [m] y más, la concentración de algas es significativamente más bajo que eso en la superficie del océano, y por lo tanto, siempre que la ingesta de la planta de desalinización sea bastante profunda, la bio-incrustación causada por la ruptura y la descomposición de la biomasa de algas puede no ser un problema tan significativo como lo sería para las ingestas poco profundas en alta mar o las ingestas ubicadas en la superficie del océano (es decir, la ingesta de océano abierto cerca de la costa).

## **5.2 Capacidad de retención de sólidos y manejo de picos de turbidez.**

Los filtros de medios de gravedad tienen un volumen de medios de filtración y tiempo de retención aproximadamente dos o tres veces mayor que los filtros de presión para la misma capacidad de producción de agua. Por lo tanto, este tipo de filtros puede retener proporcionalmente más sólidos y, como resultado, el rendimiento del filtro de pretratamiento se ve menos afectado por los "peaks" ocasionales y/o estacionales de turbidez del agua de origen.

Por lo general, los filtros de presión no tienen una muy buena respuesta a los "peaks" de sólidos/turbidez debido a su menor capacidad de retención de sólidos (es decir, un menor volumen de espacios entre los granos de los medios que pueden almacenar sólidos antes de que el filtro necesite ser lavado). Si es probable que el agua de mar de origen experimente "peaks" ocasionales de alta turbidez debido a eventos de lluvia; floraciones de algas; tráfico naval; operaciones de dragado del fondo del océano en las proximidades de la toma; cambios estacionales en la dirección de la corriente submarina; o manantiales de agua desde el fondo hasta la superficie; entonces los filtros de presión producirán efluentes de menor calidad durante tales eventos. Para evitar lo mencionado anteriormente, es común que las instalaciones cuenten con un sistema de filtrado cuya capacidad en [m<sup>3</sup>/h] duplique o triplique el flujo máximo de trabajo de la unidad de desalinización, esto, para responder de mejor forma a los "peaks" y no provocar disminución de producción durante el retrolavado.

Alternativamente, para manejar los "peaks" de sólidos/turbidez, los filtros de presión podrían diseñarse como sistemas de pretratamiento de dos etapas con dos grupos de filtros de presión que funcionan en serie. En condiciones similares de calidad de la fuente de agua, un sistema de pretratamiento de filtración por gravedad de una sola etapa de diseño conservador podría producir una calidad comparable de agua filtrada y confiabilidad de rendimiento. En el caso de la Central Campiche los sistemas de filtrado de reja fija y móvil, descritos anteriormente son los encargados de manejar los "peaks" de sólidos/turbidez, los cuales se dan principalmente durante la temporada invernal producto de las marejadas y la floración de algas.



### **5.3 Identificar y abordar problemas operativos.**

Los filtros de gravedad generalmente están cubiertos con cubiertas de luz que protegen las células del filtro de la luz solar directa. Sin embargo, estas cubiertas se pueden quitar fácilmente y las celdas del filtro se pueden inspeccionar visualmente para detectar irregularidades: mal funcionamiento de las boquillas de retrolavado del filtro, corrosión de los componentes, áreas mal lavadas del medio filtrante, formación de "bolas de lodo", etc. Los filtros de presión están completamente cerrados y son muy difícil de inspeccionar para detectar problemas. Como resultado, estos filtros deben diseñarse con un mayor factor de contingencia (capacidad de reserva). Se recomienda una capacidad de reserva del 15 al 20% si se utilizan filtros de presión para acomodar la distribución potencial del flujo. Por otra parte, la instrumentación asociada a este tipo de filtros es de vital importancia, ya que el estado operativo y los problemas que puedan originarse, pueden ser anticipados con la información y correcta interpretación de los valores entregados por la instrumentación presente.

### **5.4 Comparación de costos distintos tipos de tecnologías de filtrado agua de mar.**

Los filtros de presión son estructuras de acero prefabricadas y sus costos de producción por unidad de capacidad de filtración son 30 a 50% más bajos que estos de los filtros de gravedad de concreto. Dado que los filtros de presión están diseñados a velocidades de carga de superficie aproximadamente dos o tres veces más altas que los filtros de gravedad (25 a 45 [ $\text{m}^3/\text{m}^2$  hora] frente a 8 a 15 [ $\text{m}^3/\text{m}^2$  hora]), su volumen y tamaño son más pequeños y, por lo tanto, generalmente con menores costos de construir e instalar.

Debido a que los recipientes con filtro de presión están prefabricados, el tiempo de instalación de este sistema de pretratamiento es aproximadamente de 20% a 30% más corto que el de los filtros de gravedad con estructuras de concreto, lo que también tiene un impacto positivo en los costos generales de construcción del proyecto.

Por otro lado, los costos de operación y mantenimiento (O&M) asociados con los filtros de presión son generalmente más altos que los filtros de gravedad.

La vida útil de las estructuras metálicas de los filtros de presión está limitada a 20 a 25 años, mientras que las estructuras de concreto de los filtros de gravedad pueden usarse de 50 a 100 años.

Debido a que los filtros de presión generalmente funcionan a presiones de alimentación varias veces más altas que los filtros de gravedad, el uso de energía para la filtración a presión es proporcionalmente mayor, componente que claramente no tiene mayor incidencia en una central de generación eléctrica.

Cabe señalar que debido a las condiciones específicas del sitio y la prioridad de un proyecto dado a menudo tiene un peso significativo en la selección del tipo de sistema de filtración granular más adecuado, la experiencia mundial muestra que tanto los filtros accionados por gravedad como por presión han encontrado numerosas aplicaciones en todos los tamaños de proyectos.

### **5.5 Determinación de las capas y dimensiones del filtro.**

El tipo, la uniformidad, el tamaño y la profundidad del medio filtrante son de importancia clave para el rendimiento de los filtros de pretratamiento de agua de mar. Los filtros de medios duales tienen dos capas de medios de filtración: el diseño típico incluye 0,4 a 0,8 [m] de antracita sobre 1,0 a 2,0 [m] de arena. Los filtros profundos de medios duales a menudo se usan si el sistema de filtración de la planta de desalinización está diseñado para lograr una eliminación mejorada de los orgánicos solubles del agua de mar por bio-filtración y/o para manejar el agua de mar con alto contenido de pico-plancton. En este caso, la profundidad del nivel de antracita se mejora a entre 1,5 y 1,8 [m].

La profundidad del lecho filtrante es típicamente una función del tamaño del medio y sigue la regla general que establece la relación entre la profundidad del lecho filtrante ( $l$  - en metros) y el tamaño efectivo del medio filtrante ( $d$  - en metros),  $l/d$ , debe ser superior a 1,5.

Por ejemplo, si el tamaño efectivo de los medios de antracita se selecciona para ser 0,65 [m], la profundidad del lecho de antracita debe ser al menos  $(0,65 \text{ [m]} \times 1,5 = 0,975 \text{ [m]})$ , es decir, aproximadamente 1,0 [m].

Cuando cada una de las capas de medios de filtro se coloca por primera vez en las celdas de filtro, y se deben agregar de 3 a 5 [cm] adicionales de medios a la profundidad de diseño de la capa para tener en cuenta la eliminación / pérdida de partículas finas del lecho recién instalado después del lavado a contracorriente.

Si la fuente de agua de mar es relativamente fría (es decir, temperatura media anual por debajo de 15 [°C]), y al mismo tiempo es de alto contenido orgánico, se usa una capa de carbón activado granular (GAC) de la misma profundidad en lugar de una capa más profunda de antracita porque la eficiencia de eliminación de la bio-filtración se verá obstaculizada por la baja temperatura. Mientras que durante la bio-filtración, una parte de los orgánicos solubles en el agua de mar es metabolizada por los microorganismos que crecen en una delgada bio-película formada en los medios de filtro granular, los medios de GAC eliminan una parte de los orgánicos de agua de mar principalmente por adsorción.

## **5.6 Sistema de filtrado seleccionado**

Una vez determinados los requerimientos operacionales del sistema de filtrado y habiendo considerado todos los factores técnicos y económicos procede a buscar alternativas en el mercado que satisfagan cabalmente nuestras necesidades.

Dentro de las empresas contactadas, destaca la propuesta de “SWS Saline Water Specialists” quienes ofrecen un sistema de filtrado a presión consistente en 3x50% de filtros multimedia (MMF) en una configuración de 2 en operación + 1 de respaldo/retrolavado para reducir el contenido de TSS de entrada antes de la Unidad de Desalinización.

La operación MMF es de tipo “en grupo” y alterna períodos de operación y retrolavado.

El retrolavado es necesario para saturar periódicamente los granos de carbono y eliminar cualquier materia que se acumule en la cara superior de la capa.

Debido a la forma de trabajo “en grupo”, el flujo de entrada se requiere con un exceso para garantizar el flujo de alimentación a la unidad desaladora de forma continua, incluso estando un filtro en proceso de retrolavado.

El lecho de medios propuesto consiste en dos capas, una de ellas de arena y la otra de antracita para que también sea eficaz en la eliminación de materias orgánicas y biológicas contenidas en el agua de mar de la Bahía de Quintero. También se instala una tercera capa delgada de grava en la parte inferior del lecho donde están instaladas las boquillas de del sistema de retrolavado, para evitar la obstrucción de las boquillas.



*Figura 14. Esquema distribución de capas de medios.*

(YAMIT E. L. I.)

<b>Plant composition</b>		
<b>tag</b>	<b>description</b>	<b>Q.ty</b>
***	Multimedia filters	3x50%

<b>Design capacity</b>		
Net continuous outlet sea water flow	m <sup>3</sup> /h	<b>200</b>
Required inlet sea water flow	m <sup>3</sup> /h	<b>250 (note 1)</b>

Figura 15. Propuesta sistema de filtrado SWS.

(SWS Saline Water Specialists, 2020)

El esquema de la propuesta de SWS se muestra a continuación en la siguiente figura.

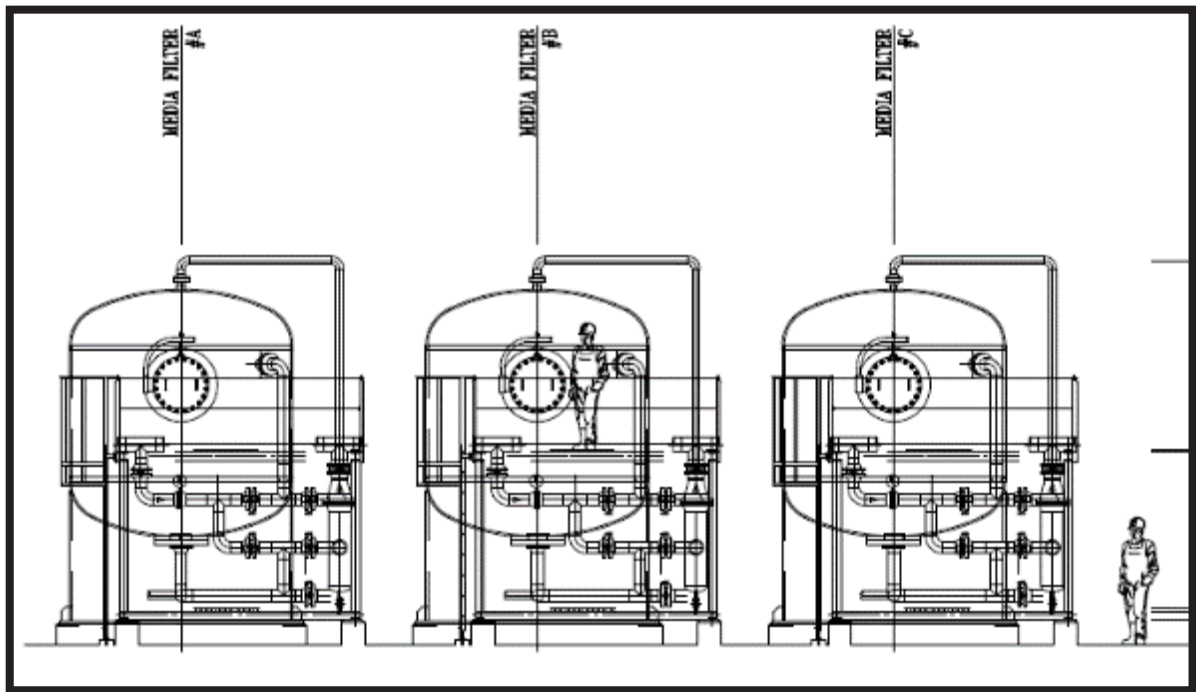


Figura 16. Esquema propuesto sistema de filtrado SWS (Vista frontal)

(SWS Saline Water Specialists, 2020)

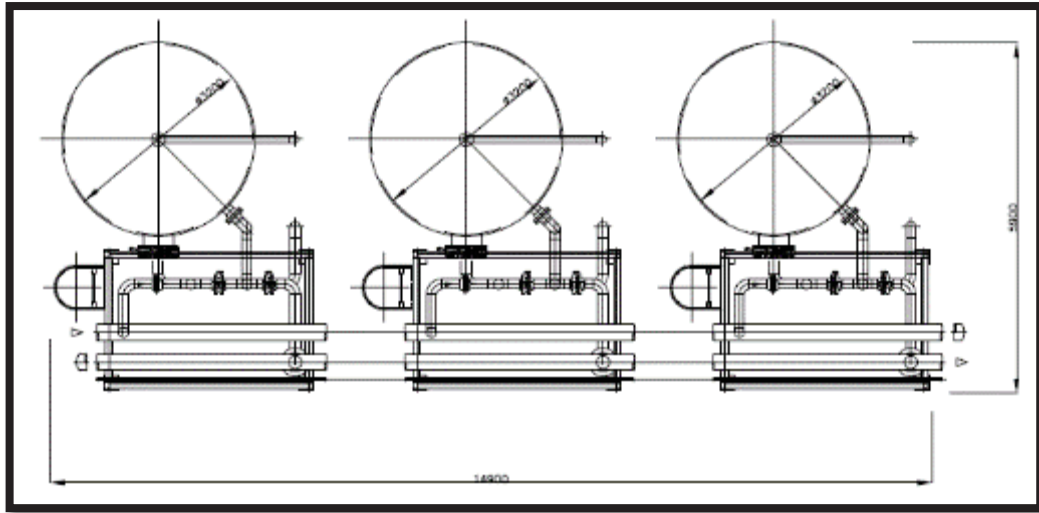


Figura 17. Plano sistema de filtrado SWS (Vista superior).

(SWS Saline Water Specialists, 2020)

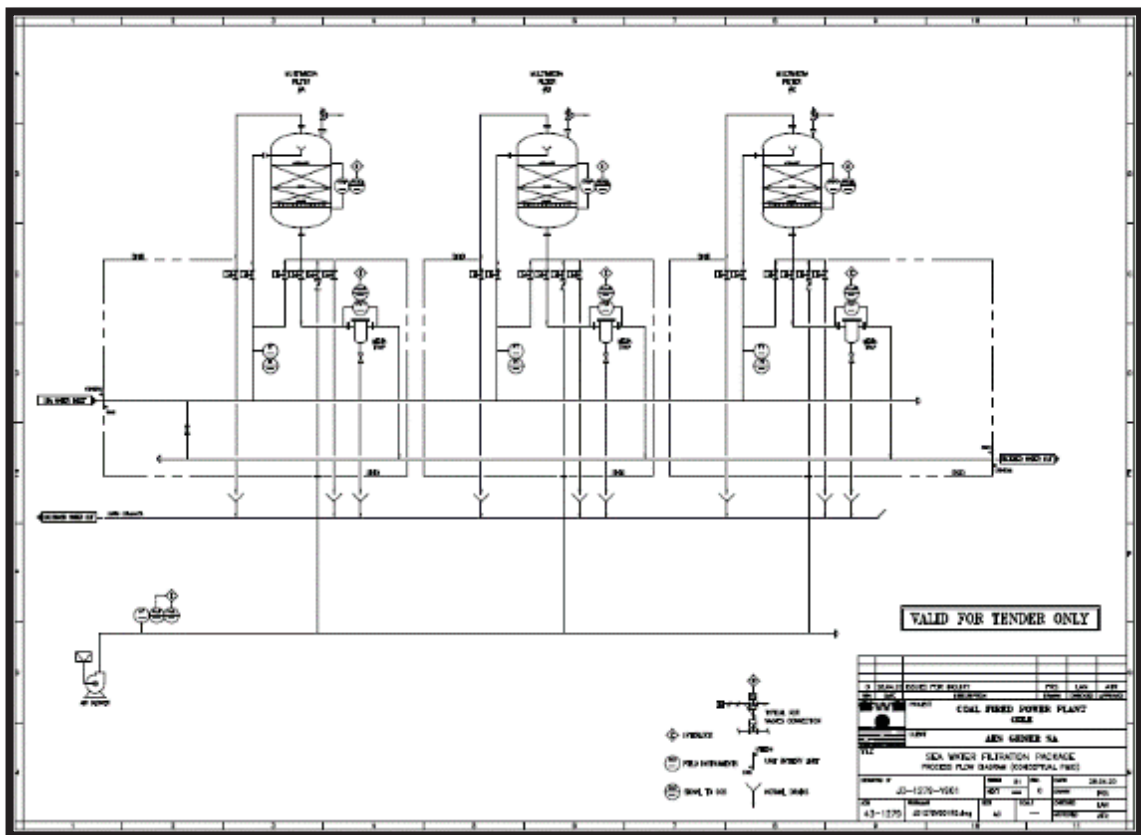


Figura 18. Diagrama de flujo de proceso (P&ID conceptual)

(SWS Saline Water Specialists, 2020)

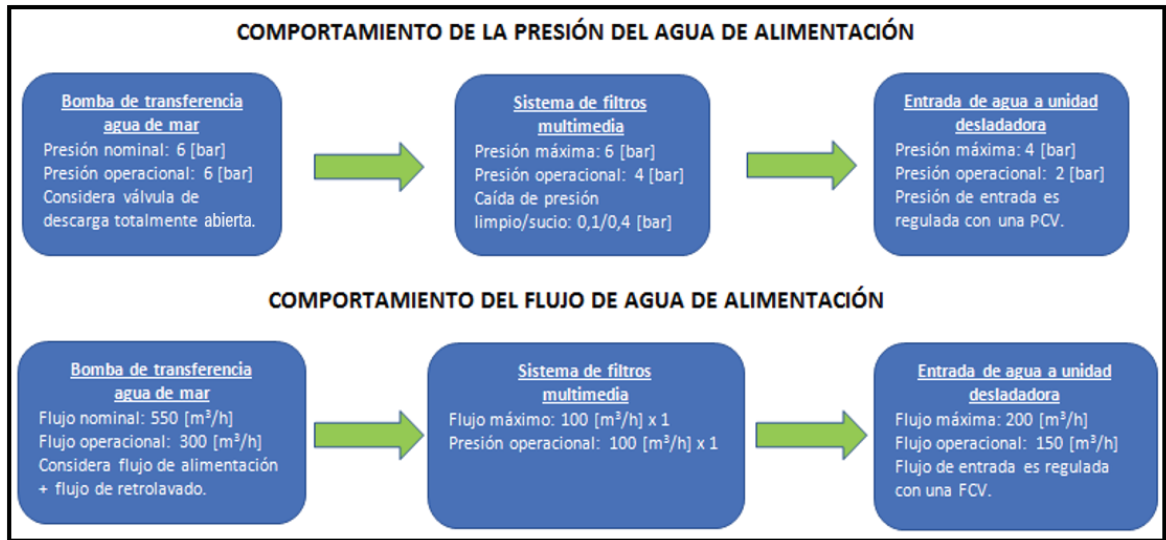


Figura 19. Esquema comportamiento presión y flujo, agua de alimentación.

(Creación propia Rodrigo Rojas Opazo, 2020)

De la propuesta de SWS destaca lo siguiente:

- El grado de filtración del sistema propuesto para TTS es menor a 0,5 [mg/L] siendo el requerido por la unidad desaladora, menor a 4 [mg/L].
- El comportamiento de la presión y del flujo de agua de alimentación, cumple con los requerimientos de la Unidad desaladora, manteniendo un factor de seguridad de 100% para el caso de la presión y de un 33% para el flujo (con los 3 filtros en operación el factor aumenta a 133%)
- La superficie requerida para la instalación del sistema de filtrado de agua de mar es de 150 [m<sup>2</sup>], la cual está disponible en la central Campiche.
- El sistema de control viene incluido y es compatible con sistema DCS, el cual es utilizado en planta a través de OVATION-Emerson (sistema de automatización). La descripción del control y los diagramas lógicos son suministrados por SWS, para realizar la programación en DCS por personal de planta-OVATION.
- El sistema de filtrado viene con un conjunto completo de instrumentos para fines de monitoreo / tendencia / alarma / grabación:
  - ✓ Transmisores/interruptores para control remoto del proceso en la sala de control.
  - ✓ Medidores de campo para la lectura local adecuada.
- La alimentación para los transmisores será de 24 [V] CC desde el sistema de control.

<b>Anthracite</b>		
quantity per filter	Liters	4800
size	mm	1,2-2,5
origin		Natural
aspect		Polyhedral
color		Bright black
physical data (typical):		
relative weight	Kg/m <sup>3</sup>	750 - 800
porosity	cc/gr	0,90
uniformity coefficient		1,4
carbon content	min %	84%
ash content	max %	7%.
<b>Sand</b>		
quantity per filter	Liters	3200
size	mm	0.6-1,2
origin		Alluvial
aspect		Spherical
color		Policrome
relative weight	kg/m <sup>3</sup>	1500 – 1600
chemical composition (typical):		
	SiO <sub>2</sub>	83 - 87%
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,35%
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,44%
	CaO	0,90%
	K <sub>2</sub> O	2,40%
	MgO	1%
	Na <sub>2</sub> O	1,80%
<b>Gravel</b>		
quantity per filter	Liters	650
size	mm	2.0-3.5
origin		Alluvial
aspect		Spherical
color		Polychrome
relative weight	kg/m <sup>3</sup>	1500 – 1600
chemical composition (typical)		
	SiO <sub>2</sub>	83 - 87%
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,35%
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,44%
	CaO	0,90%
	K <sub>2</sub> O	2,40%
	MgO	1%
	Na <sub>2</sub> O	1,80%

Figura 20. Composición de las capas de filtro MMF.

(SWS Saline Water Specialists, 2020)



## 6 Análisis de costos

En este breve capítulo se aborda los costos de inversión de la adquisición del nuevo sistema de filtrado y los costos por concepto de mantención correctiva anualizados, tanto repuestos como horas hombre (HH), en los que se ha debido incurrir para mantener el actual sistema de filtrado de agua de mar, operativo.

Cabe destacar que el objetivo del proyecto y la propuesta respecto al sistema de filtrado de agua de mar no es generar un ahorro o ganancia económica, sino que mejorar la confiabilidad de operación del sistema de desalinización (disminuyendo las salidas programadas y salidas forzadas) y evitar la disminución de producción de agua desalada producto de obstrucción en el filtro, sin embargo, se hace un uso eficiente de los recursos.

La detención de la unidad desaladora y/o la disminución de producción de agua desalada no afecta en lo inmediato la generación eléctrica de la central Campiche, debido a que esta cuenta con estanques de almacenamiento y otros sistemas de respaldo para evitar que la generación eléctrica sea afectada.

La inversión necesaria para la adquisición del sistema de filtrado propuesto asciende a € 587.000 (equivalente a 18.146 U.F. al día 17-06-2020) que incluye los siguiente:

- Ingeniería básica y de detalle del proyecto de acuerdo con los códigos y estándares aplicables del proyecto.
- Datos de diseño para la construcción civil (diseño civil y cargas de cimientos con definición de pernos de anclaje).
- Manuales de ingeniería, operación y mantenimiento (en idioma inglés).
- Certificación / Dossier de construcción
- Paquete MMF como se describe arriba según archivo anexo.
- Conjunto completo de medios iniciales, anteriormente descritos.
- Cajas de conexiones, cables de instrumentos con prensaestopas, bandejas de cables, tubos, accesorios, material de conexión dentro de los límites del paquete de suministros.
- Regulador / reductor de presión de aire del instrumento en los límites del paquete, cabezales de aire, válvulas de bloqueo, tuberías, válvulas solenoides dentro de los límites del paquete de suministro.

- Tuberías, válvulas, accesorios, pernos, juntas, soportes dentro de los límites del paquete de suministro.
- Estructuras de acero, plataformas, escaleras, rejas.
- Cables a tierra y cáncamos de elevación.
- Embalaje y envío adecuado para transporte marítimo.
- Comisionamiento y puesta en marcha.

El área contable de AESGener realizaría una depreciación normal del sistema de filtrado de agua de mar, en caso de concretarse la adquisición. El periodo de depreciación sería de 10 años. En cuanto a los costos asociados a mantenimiento del actual sistema de filtrado de agua de mar, para suministro de la unidad de desalinización, se evaluó el periodo 2018 y 2019. El monto anual por este concepto asciende a la suma de \$ 43.582.098 y 38.152.343 respectivamente, monto que incluye mano de obra (HH), materiales y repuestos empleados en los distintos trabajos realizados en ambos filtros, a causa de la obstrucción de ellos.

No se consideran "costos" por detención de la unidad desaladora ni tampoco por disminución de producción de agua desalada, debido a que el giro de la central Campiche es generación de energía eléctrica, no la venta de agua desalada, la cual se usa para consumo interno (producción de agua potable, producción de agua desmineralizada y alimentación de distintos sistemas como el de protección contra incendios).

Considerando un valor medio de \$ 40.867.220 (1.424 U. F.), solo por los conceptos antes mencionados, la inversión se recuperaría en 12 años y 10 meses. La vida útil esperada del sistema de filtrado propuesto es de 20 años (inyectando recursos para mantener equipo trabajando en condiciones que satisfagan las necesidades de la unidad desaladora).

De lo anterior y habiendo aclarado que el objetivo del proyecto y propuesta no tiene fines económicos, aun así, se espera que a partir del año 13 existirían ahorros hasta el final de la vida útil del sistema, obviamente parte del ahorro se deberá emplear en mantener la operatividad del sistema propuesto.



Tabla 11. Gráfico comparativo de costos.

(Creación propia Rodrigo Rojas Opazo, 2020)

Se estima que los costos asociados al mantenimiento del sistema propuesto, cuando ocurran, serán menores debido a la simpleza operativa del sistema y menor cantidad de componentes mecánicos.

## **Conclusiones**

Al analizar el agua de mar de la bahía de Quintero se obtuvo información relevante respecto a su composición y parámetros principales, así como también el tipo predominante de materia orgánica en suspensión. Lo anterior, es fundamental para comprender a que está expuesto el sistema de filtrado actual durante la operación de la unidad de desalinización y también los modos de falla que se producen en él.

La descripción del proceso de desalinización desarrollada en el capítulo 2 permitió comprender que el parámetro TSS (Sólidos en suspensión totales) del agua suministrada a la unidad de desalinización impacta directamente en la producción de agua desalada y afecta la disponibilidad de la unidad. Es en este aspecto donde el sistema de filtrado de agua de mar juega un rol fundamental para que el agua suministrada tenga un valor de TSS inferior al valor de diseño de la unidad de desalinización.

Con la ayuda de la metodología utilizada en el desarrollo del capítulo 3 se analizaron los distintos problemas asociados a la operación del actual sistema de filtrado de agua de mar y se pudo identificar las causas de cada uno de ellos. Lo anterior permitió plantear alternativas de solución para cada una de las causas, las cuales, posteriormente, fueron evaluadas de acuerdo a los criterios de interés desarrollados con todas las áreas de la empresa involucradas en el proceso de desalinización de agua de mar. De la evaluación se extrajo la alternativa de solución con mayor puntuación, que implica que esa alternativa da mayor cumplimiento tanto a los criterios de interés como a solucionar el problema, objeto del presente trabajo.

Una vez determinada la alternativa de solución a desarrollar, procede a analizar las tecnologías disponibles según los requerimientos de la unidad de desalinización y principios de operación de ellas, escogiendo el sistema de filtro multimedios debido a los caudales de trabajo, simplicidad de construcción/operación y la instalación/equipos existentes en planta.

Finalmente, se puede concluir que los objetivos de investigación y desarrollo se cumplieron a cabalidad y que la implementación de un sistema de filtros multimedios permite solucionar el problema de saturación y disminuir los eventos de falla del actual sistema de filtrado, así como las detenciones de producción de agua desalada. El desempeño del sistema de filtrado propuesto es tal, que incluso es posible retirar el sistema actual de filtrado o quitar el elemento filtrante,

ya que las características/parámetros del agua de mar a la salida del filtro multimédios cumple a cabalidad con los requeridos por la unidad de desaladora.

## **Bibliografía**

Centro Interdisciplinario de estudios oceánicos

Creación propia Rodrigo Rojas Opazo. (2020). Árbol de falla.

Enciclopedia Británica. (s.f.). *www.britannica.com*. Obtenido de <https://www.britannica.com/technology/water-supply-system/Coagulation-and-flocculation>

Filsonfilter. (s.f.). <https://www.filsonfilters.com/>. Obtenido de <https://www.filsonfilters.com/seawater-filter>

gpstrategies ETAPROSoftware ETAPRO

Huehmer, R. (2009). *MF/UF pretreatment in seawater desalination*. Dubai.

Kennedy, M. (2008). *Desalination 220*.

Marcovecchio, M., Aguirrea, P., Scenna, N., & Mussatia, S. (2010). *Global Optimal Design of Mechanical Vapor*.

Nichkova, L. A. (2019). Optimization of the seawater desalination method for a certain region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.

Nikolay Voutchkov. (2010). *Desalination 261*.

POSCO E&C. (2008). Planos "As built" Central Campiche.

Researchgate. (s.f.). <https://www.researchgate.net/>. Obtenido de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Procesos-de-destilacion-multiefecto-MED-Fuente-Cetenma-2008\\_fig1\\_273524036](https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Procesos-de-destilacion-multiefecto-MED-Fuente-Cetenma-2008_fig1_273524036)

Saline Water Solutions. (Abril de 2020). JD-1279-Y901\_R0 PID.

Sistema de control distribuido DCS. (2010). DSC.

SWS Saline Water Specialists. (Abril de 2020). 43-1279\_R0 Technical description.

SWS Saline Water Specialists. (2020). JD-1279-G901\_R0 GA.

SWS Saline Water Specialists. (Abril de 2020). JD-1279-Y901\_R0 PID.

SWS Saline Water Specialists. (2008). WD513-EZ460-00567\_AB1 Sea Water Filter Datasheet.

## Anexos



Offer no. 43-1279

AES GENER S.A.  
COAL FIRED POWER PLANT - CHILE

SEA WATER FILTRATION PACKAGE

### TECHNICAL DESCRIPTION

Issued for: quotation  
Revision: 0  
Date: 29/04/2020  
Prepared by: LAN  
Checked by: ATR

**SWS - Saline Water Specialists**  
A Division of **SOFINTER S.p.A.**  
Piazza F. Buffoni, 3  
21013 Gallarate (VA) ITALY

Tel. +39.0331.738204  
Fax +39.0331.738229  
E-mail: [sws@sofinterweb.com](mailto:sws@sofinterweb.com)





AES GENER SA  
COAL FIRED POWER PLANT - CHILE  
SEA WATER FILTRATION PACKAGE

RFQ No. (AES GENER MAIL 01/04/2020 )  
OFFER No. 43-1279 – TECHNICAL DESCRIPTION

REV.0

INDEX OF CONTENTS

1. DESIGN DATA .....	3
2. PROCESS DESCRIPTION .....	5
3. EQUIPMENT DESCRIPTION .....	6
4. INSTRUMENTATION & CONTROL .....	8
5. SCOPE OF SUPPLY .....	9





AES GENER SA  
COAL FIRED POWER PLANT - CHILE  
SEA WATER FILTRATION PACKAGE

RFQ No. (AES GENER MAIL 01/04/2020)  
OFFER No. 43-1279 – TECHNICAL DESCRIPTION

REV.0

1. DESIGN DATA

*Plant general data*

installation outdoor  
area classification not hazardous

*Plant composition*

tag	description	Q.ty
***	Multimedia filters	3x50%

*Design capacity*

Net continuous outlet sea water flow m<sup>3</sup>/h 200  
Required inlet sea water flow m<sup>3</sup>/h 250 (note 1)

*Sea Water inlet analysis*

Assumed as for Quintero Bay sea water - 2008

No.	Items	Units	Design Condition	Ranged Condition
1	pH at 25°C		8.32	7.8~8.5
2	Temperature	°C	12	12~20
3	Total Dissolved Solid (TDS)	mg/L	38,555	37,000~38,750
4	Total Suspended Solid	mg/L	66.8	23.5~66.8
5	BOD5	mgO <sub>2</sub> /L	17.8	0.1~18.9
6	Oil and grease	mg/L	2.53	1.51~2.53
7	Foam generating power	mm	1	0.5~1.5
8	SAAM	mg/L	6.68	1.51~7
9	Fecal Coliform	NMP/100mL	2	1.5~100
10	Solid Sediments	mL/L/h	< 0.1	0.1~1.0
11	Sodium	mg/L	11,610	10,100~12,610
12	Calcium	mg/L	362	337~364
13	Magnesium	mg/L	1,394	1,380~1,398
14	Potassium	mg/L	471	426~473
19	Total Copper(Total-Cu)	mg/L	0.0008	0.0003~0.001
24	Total Iron (Total-Fe)	mg/L	0.042	0.01~0.05
31	Sulphate	mg/L	3,096	2,833~3,096
32	Chloride	mg/L	20,292	19,853~20,380
37	Bicarbonate	mg/L	136	116~138
38	Boron ( or Boric Acid)	mg/L	19.33	9.8~25.2
40	Silica	mg/L	2.11	1.67~2.34
41	Hydro carbon (total-H/C)	µg/L	0.880	0.141~1.826



AES GENER SA  
COAL FIRED POWER PLANT - CHILE  
SEA WATER FILTRATION PACKAGE

RFQ No. (AES GENER MAIL 01/04/2020 )  
OFFER No. 43-1279 – TECHNICAL DESCRIPTION

REV.0

**Package design data**

Design pressure	barg	10
Max inlet pressure	barg	6.00
Design temperature	°C	60
Max working temperature	°C	21

**Requirement for filtered water**

Residual TSS	mg/Lt	< 0.5 (note 2)
--------------	-------	----------------

**Notes:**

1. The sea water inlet flow is including the water consumption for backwash under the case of two filters working with the third filter backwashing.
2. The requirement for filtered water is assumed as typical performance for multimedia filters.



AES GENER SA  
COAL FIRED POWER PLANT - CHILE  
SEA WATER FILTRATION PACKAGE

RFQ No. (AES GENER MAIL 01/04/2020 )

OFFER No. 43-1279 – TECHNICAL DESCRIPTION

REV.0

## 2. PROCESS DESCRIPTION

No. 3x50% Multimedia Filters (MMF) are proposed on a 2 duty + 1 standby/backwash configuration to reduce the inlet TSS content before approaching to the Desalination Unit. The MMF operation is batch type and alternating running periods to backwash. The backwash is necessary to periodically swell the carbon grains and remove any matter accumulating at the top face of the bed.

Because of the batch process, the inlet flow is required with an over-duty to ensure the design capacity on continuous basis even with one filter under backwash.

The media bed is proposed as a two-component bed made of sand and anthracite to be also effective on the removal of organic and biological matters as expected coming from the sea water intake. A third thin layer of gravel is also installed at the bottom of the bed where the filtering nozzles are installed, to prevent from the clogging of the nozzles.



AES GENER SA  
COAL FIRED POWER PLANT - CHILE  
SEA WATER FILTRATION PACKAGE

RFQ No. (AES GENER MAIL 01/04/2020)

OFFER NO. 43-1279 – TECHNICAL DESCRIPTION

REV.0

3. EQUIPMENT DESCRIPTION

Number of installed trains	N°	3 x 50% (2duty +1standby)
Throughput capacity (each filter)	m <sup>3</sup> /h	100
Backwash interval each train	hrs	48
Backwash water flow	m <sup>3</sup> /h	150
Water consumption for backwash	m <sup>3</sup>	50
Water backwash time	minutes	20'
Pressure drop across bed (clean/dirty)	bar	0,1÷0.4

*Filter sizing*

Vessel type		Cylindrical vertical
Diameter / cylindrical length	mm	3200 / 2000
Design pressure	barg	10
Body material		Carbon steel
Corrosion protection / thickness		Rubber lining / 3mm

*Filtering nozzles*

type		Slot
Installed no. per filter	No.	640
opening size	mm	0.15
material		PP

*Filling media*

<b>Anthracite</b>			
quantity per filter	Liters		4800
size	mm		1,2-2,5
origin			Natural
aspect			Polyhedral
color			Bright black
physical data (typical):			
relative weight	Kg/m <sup>3</sup>		750 - 800
porosity	cc/gr		0,90
uniformity coefficient			1,4
carbon content	min %		84%
ash content	max %		7%.
<b>Sand</b>			
quantity per filter	Liters		3200
size	mm		0.6-1,2
origin			Alluvial
aspect			Spherical
color			Policrome
relative weight	kg/m <sup>3</sup>		1500 – 1600



AES GENER SA  
COAL FIRED POWER PLANT - CHILE  
SEA WATER FILTRATION PACKAGE

RFQ No. (AES GENER MAIL 01/04/2020)

OFFER No. 43-1279 – TECHNICAL DESCRIPTION

REV.0

chemical composition (typical):		
	SiO <sub>2</sub>	83 - 87%
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,35%
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,44%
	CaO	0,90%
	K <sub>2</sub> O	2,40%
	MgO	1%
	Na <sub>2</sub> O	1,80%
Gravel		
quantity per filter	Liters	650
size	mm	2.0-3.5
origin		Alluvial
aspect		Spherical
color		Polychrome
relative weight	kg/m <sup>3</sup>	1500 – 1600
chemical composition (typical)		
	SiO <sub>2</sub>	83 - 87%
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,35%
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,44%
	CaO	0,90%
	K <sub>2</sub> O	2,40%
	MgO	1%
	Na <sub>2</sub> O	1,80%
<i>Air blower</i>		
Installed no.	N.	1
Type		root
Design capacity	Nm <sup>3</sup> /h	350
Design head	barg	0,45
Motor power	kW	15
Material		Cast iron
<i>Valves</i>		
Type of valves	ND > 2"	Butterfly lug bi-directional
	ND ≤ 2"	Diaphragm flanged
	end connection	ANSI 150# FF
	material	Rubber Lined Cast Iron
On-off valves actuators		Pneumatic fail close
<i>Piping</i>		
Sea water material class / rating		GRE/GRP / 150#
Air material class / rating		Galv. C.S. / 150#



AES GENER SA  
COAL FIRED POWER PLANT - CHILE  
SEA WATER FILTRATION PACKAGE

RFQ No. (AES GENER MAIL 01/04/2020)

OFFER No. 43-1279 – TECHNICAL DESCRIPTION

REV.0

#### 4. INSTRUMENTATION & CONTROL

##### *Instrumentation*

A complete set of instruments will be installed for monitoring / trending / alarming / recording purpose:

- transmitters / switches for a remote process control in control room
- field gauges for the adequate local reading

The proposed instrumentation is suited for not hazardous area.

The degree of protection of field instruments, solenoids, F&G devices, etc. shall be IP66 as minimum.

Power supply for transmitters will be 24 V dc from the control system (2-wire type).

##### *Control system*

The control panel is excluded, the package control will be at DCS. Control description and logic diagrams will be provided to enable the DCS programming.

##### *Power distribution board*

The power distribution panel is excluded.

##### *Junction Boxes and cable trays*

Junction box and cable tray material will be heavy duty GRP, UV resistant, in accordance to the requisition requirements



AES GENER SA  
COAL FIRED POWER PLANT - CHILE  
SEA WATER FILTRATION PACKAGE

RFQ No. (AES GENER MAIL 01/04/2020)

OFFER No. 43-1279 – TECHNICAL DESCRIPTION

REV.0

## 5. SCOPE OF SUPPLY

### *Inclusions*

- Project management.
- Project basic & detail engineering according to the applicable project codes and standards.
- Design data for civil design (civil layout & foundation loads with definition of anchor bolts).
- Engineering and Operation & Maintenance Manuals (in English language).
- Certification / Construction Dossier
- MMF package as above described
- full set of initial media
- Junction boxes, instrument cables with glands, cable trays, tubing, fittings, hook-up material within the supply battery limits.
- Instrument air pressure regulator/reducer at battery limits, air headers, block valves, piping, solenoid valves within the supply battery limits.
- Piping, valves, fittings, bolting, gaskets, supports within the supply battery limits.
- Steel structures, platforms, ladders, gratings.
- Earthing clips / lifting lugs.
- Sea worthy packing and shipping, FCA delivery.
- Commissioning and start up spare parts.

### *Extensions*

- Each front piping for filters will be supplied fully shop prefabricated and skid assembled with onboard valves and instruments wired to JB's
- Off skid interconnecting piping > 2" will be prefabricated as 2D spool with free end for site adjustment and joint. Piping ≤ 2" will be supplied as loose material
- Platforms and ladders will be supplied prefabricated and finished.
- Primary supports for piping (pipe-shoes, U-bolts, etc) will be supplied prefabricated and finished.
- Minor supports and minor steelworks are excluded to be fabricated at site based on relevant supplied drawings.



AES GENER SA  
COAL FIRED POWER PLANT - CHILE  
SEA WATER FILTRATION PACKAGE

RFQ No. (AES GENER MAIL 01/04/2020 )

OFFER NO. 43-1279 – TECHNICAL DESCRIPTION

REV.0

- The MMF filters and the blowers will be supplied loose for site installation on their own foundations (civil works by others).
- The piping battery limits orientation shall be agreed with client, but in any case not externally to the package area.
- Electrical battery limits are intended at the power terminals onboard motors. Instruments cables will be provided for complete wiring from instruments to junction boxes, location of the control boxes inside the package area to be agreed later.
- The package layout shall be defined later in accordance to the available area (plot plan to be given by Client).

**Exclusions**

The following items are excluded from the scope of supply:

- Sea water intake, screens and pumping system
- Any water external surge and storage tanks
- Foundation design and calculations
- Any civil work
- Anchor bolts (definition of anchor bolts included as engineering)
- Field erection activities
- Control panel
- Instruments cables and cable ways from JB's to DCS
- Power panel, power distribution system
- Off equipment grounding
- Bulk chemicals
- Any insulation and fire proofing
- Any lighting & lightning
- Safety tools, safety shower.
- Steel material for minor supports and minor steelworks in general
- Painting touch up at site, noise jacketing / insulation (as necessary)
- Electrodes for site welds.
- Third party inspectors for witnessing the shop tests
- Anything not expressly mentioned as included in this offer.





AES GENER SA  
COAL FIRED POWER PLANT - CHILE  
SEA WATER FILTRATION PACKAGE

RFQ No. (AES GENER MAIL 01/04/2020)  
OFFER No. 43-1279 – TECHNICAL DESCRIPTION

REV.0

**Options**

- Spare parts for 2 years operation (lump sum quotation)
- Site Supervision to erection / commissioning / startup (man-day rate)

Supervision to erection period may be estimated as 3-8 weeks depending on the site schedule and SV requested erection completion check rather than an extensive follow-up to the erection works.

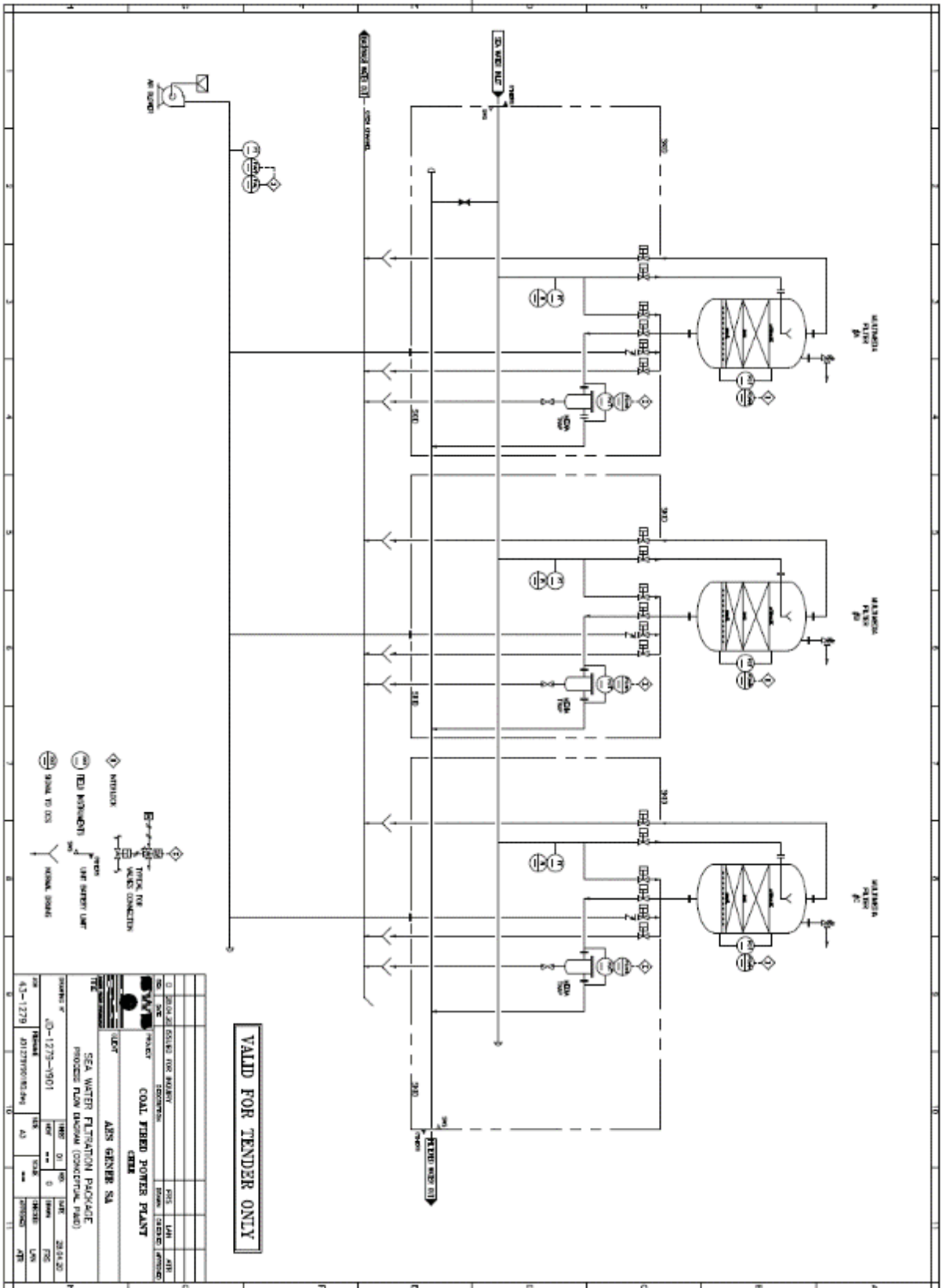
Supervision to commissioning / start-up period may be estimated 2-3 weeks depending on the site schedule and availability of the process fluids and utilities.

**Preliminary shipping List**

ITEM	PACKING	L mm	W mm	H mm	No.	TOT Volume m3	TOT Weight kg
Multimedia Filter	saddles	3600	4000	3800	3	164,16	24300
Anthracite	bags on EU pallets	1200	800	500	30	14,40	12000
Sand	bags on EU pallets	1200	800	560	18	9,68	13500
Gravel	bags on EU pallets	1200	800	680	3	1,96	3000
Air Blower	case	1400	1400	1500	1	2,94	600
Skid AC Filters	skid	4000	2400	2400	3	69,12	9000
Platforms & Ladders	case	6400	2200	2200	1	30,98	3200
Loose Material	container std 40'	12192	2438	2591	1	77,02	30000
TOT						370,25	95600

**Attachments**

- Process Flow Diagram JD-1279-Y901 Rev.0
- General arrangement JD-1279-G901 Rev.0



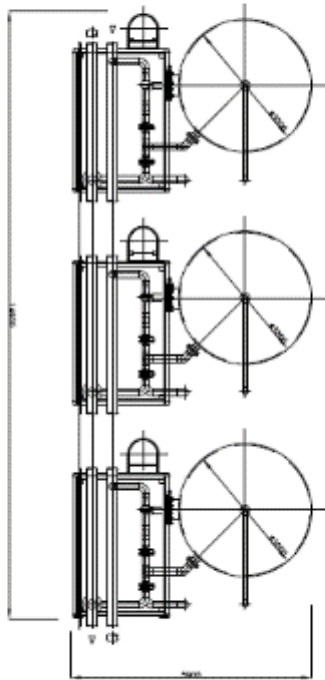
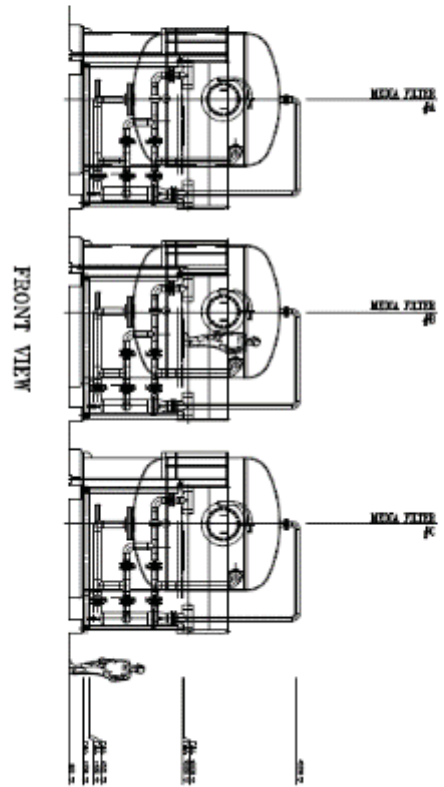
NO.	DESCRIPTION	DATE	BY	CHKD.	APP.
1	DESIGNED FOR				
2	DRAWN BY				
3	CHECKED BY				
4	APPROVED BY				
5	REVISIONS				

**SEA WATER FILTRATION PACKAGE**  
PROCESS FLOW DIAGRAM (CONCEPTUAL PLAN)

**COAL FIRED POWER PLANT**  
CIRCUIT

**ABS GENVER SA**

PROJECT NO: 43-1279  
DATE: 12/19/90  
SCALE: AS SHOWN  
SHEET NO: 23 OF 23



VALID FOR TENDER ONLY

2 BEARING HOIST FOR TENDER 2 BEARING HOIST FOR TENDER 2 BEARING HOIST FOR TENDER		2000	1000	1000	1000
2 CON. THIRD POWER PLANT 2 CON. THIRD POWER PLANT 2 CON. THIRD POWER PLANT		2000	1000	1000	1000
2 ABS GAZER SA 2 ABS GAZER SA 2 ABS GAZER SA		2000	1000	1000	1000
2 EA WATER FILTRATION PACKAGE 2 EA WATER FILTRATION PACKAGE 2 EA WATER FILTRATION PACKAGE		2000	1000	1000	1000
2 4.3-1275 2 4.3-1275 2 4.3-1275		2000	1000	1000	1000