

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“DESALINIZACIÓN DE AGUA MARINA SIMULANDO UN SISTEMA DE
OSMOSIS INVERSA CON EL SOFTWARE REVERSE OSMOSIS
SYSTEM ANALISYS (R.O.S.A)”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Para optar el Título Profesional de

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER

CALVO HUARI, ANTONIO JESÚS

Villa El Salvador
2016

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a mi madre Martha y Hermana Karla, porque pese a todo me empujan en mi camino para lograr ser mejor siempre.

A mis maestros quienes nunca desistieron al enseñarme, aun sin importar que muchas veces no ponía atención en clase, a ellos que continuaron depositando su esperanza en mí.

AGRADECIMIENTO

En breves líneas tengo el honor de agradecer a las personas que hicieron posible este proyecto de investigación.

A mis compañeros por apoyarme en este camino de mi vida, a mi asesora de tesis, MARÍA JENNY QUIJANO VARGAS, por su apoyo con los diferentes mecanismos para poder llevar a cabo este trabajo.

INDICE

INTRODUCCION	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.1 DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	8
1.2. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA	10
1.3. DELIMITACION DE LA INVESTIGACION	11
1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	12
1.5. OBJETIVOS	12
MARCO TEORICO	14
2.1 ANTECEDENTES	14
2.2 BASES TEORICAS	20
2.3 MARCO CONCEPTUAL	39
DESARROLLO DE LA METODOLOGIA	42
3.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA	42
3.2 DISEÑO DEL SISTEMA.....	42
3.3 REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS	58
CONCLUSIONES	62
RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFIA	65
ANEXOS	67

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1. POBLACIÓN TOTAL DE HABITANTES EN LIMA.	10
FIGURA 2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO (PLAYA GRANDE).	12
FIGURA 3. AGUA POTABLE UTILIZADA EN LIMA	26
FIGURA 4. PROCESO DE OSMOSIS	34
FIGURA 5. PROCESO DE OSMOSIS INVERSA	35
FIGURA 6. SOFTWARE R. O. S. A.	40
FIGURA 7. INTRODUCCIÓN DE DATOS EN EL SOFTWARE R. O. S. A.	44
FIGURA 8. INTRODUCCIÓN DE DATOS (1) EN EL SOFTWARE R. O. S. A. (DESARROLLO)	46
FIGURA 9. INTRODUCCIÓN DE DATOS (2) EN EL SOFTWARE R. O. S. A. (DESARROLLO)	47
FIGURA 10. INTRODUCCIÓN DE DATOS (3) EN EL SOFTWARE R. O. S. A. (DESARROLLO)	48
FIGURA 11. VENTANA ESCALA DE INFORMACIÓN (SCALING INFORMATION) INICIAL	49
FIGURA 12. VENTANA ESCALA DE INFORMACIÓN (SCALING INFORMATION) FINAL	50
FIGURA 13. VENTANA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA.	51
FIGURA 14. SELECCIÓN DEL TIPO DE MEMBRANA	53
FIGURA 15. CALCULADORA DE FLUJO	54
FIGURA 16. CONFIGURACIÓN FINAL DEL SISTEMA	55
FIGURA 17. REPORTE DEL SISTEMA DETALLADO	56
FIGURA 18. REPORTE OPERACIONAL DEL SISTEMA (1)	57
FIGURA 19. REPORTE OPERACIONAL DEL SISTEMA (2)	58
FIGURA 20. COSTO DEL SISTEMA	59
FIGURA 21. DIRECTRICES DE DISEÑO PARA ELEMENTOS FILMTEC INDUSTRIALES Y APLICACIONES EN AGUA DE MAR	67
FIGURA 22. ESPECIFICACIÓN DE PRODUCTOS.	68

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO (PLAYA GRANDE)	11
TABLA 2. CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA	23
TABLA 3. LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLES (LMP) AGUA	27
TABLA 4. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA DE AGUA	27
TABLA 5. CLASIFICACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE AGUA SEGÚN SU CONCENTRACIÓN EN MG/L	29
TABLA 6. DATOS	45
TABLA 7. DIRECTRICES DE DISEÑO	52
TABLA 8. MEMBRANAS PARA AGUA MARINA	52

INTRODUCCION

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo demostrar que el proceso de osmosis inversa controlado mediante el software Reverse Osmosis System Analysis (R.O.S.A.), permite un adecuado proceso de desalinización del agua de mar proveniente de la playa "Playa grande", Distrito de Santa María del Mar, para uso de agua potable.

Lo que es cierto es que se han generado nuevas tecnologías capaces de abastecer de agua potable a diferentes países y comunidades que en un pasado presentaban un gran déficit en el suministro de agua potable, estas fuentes de abastecimiento nos permiten generar agua para consumo humano de fuentes que anteriormente no se consideraban como una opción viable, tal es el caso del agua de mar y océanos, los cuales abarcan un 97% del total del agua de todo el planeta, y es ahora esa fuente a la que se están enfocando las tecnologías de desalación.

El método de desalinización por osmosis inversa permite la utilización de agua de mar y aguas residuales de gran salinidad, ya sea para la industria o para el consumo humano. Se está aplicando principalmente para la producción de agua potable, ya que esta tecnología, a pesar de su alto consumo de energía, permite obtener agua potable en grandes cantidades, lo que le permite tener el costo por metro cúbico producido más barato en el mercado de desalación (Piña C, 2010).

Esta investigación es el resultado del trabajo de campo realizados por el autor, el mismo que contiene tres capítulos, el primer capítulo comprende el planteamiento del problema, el segundo capítulo el desarrollo del marco teórico

y el tercer capítulo corresponde al desarrollo del proyecto de investigación.
Finalmente, se presenta las conclusiones, recomendaciones y referencias.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En un futuro no muy lejano el acceso al agua será limitado y se prevé grandes conflictos debido a que todos los países tratarán de satisfacer sus necesidades de agua. Perú es un país que ya está sufriendo la falta de agua.

Aproximadamente 1.100 millones de personas, es decir, el 18 por ciento de la población mundial, no tienen acceso a fuentes seguras de agua potable, y más de 2.400 millones de personas carecen de saneamiento adecuado (Cumbre de Johannesburgo, 2002).

En los países en desarrollo, más de 2.200 millones de personas, la mayoría de ellos niños, mueren cada año a causa de enfermedades asociadas con la falta de acceso al agua potable, saneamiento inadecuado e insalubridad. Además, gran parte de las personas que viven en los países en desarrollo sufren de enfermedades causadas directa o indirectamente por el consumo de agua o alimentos contaminados o por organismos portadores de enfermedades que se

reproducen en el agua. Con el suministro adecuado de agua potable y de saneamiento, la incidencia de contraer algunas enfermedades y consiguiente muerte podrían reducirse hasta en un 75 por ciento (Cumbre de Johannesburgo, 2002).

Debido a que los suministros de agua dulce son el elemento esencial que permite la supervivencia y el desarrollo, también han sido, a veces, motivo de conflictos y disputas, pero a la vez, son una fuente de cooperación entre personas que comparten los recursos del agua. A la par del aumento de la demanda del líquido vital, las negociaciones sobre la asignación y administración de los recursos del agua son cada vez más comunes y necesarias.

El caso se agrava porque en nuestro País no hay ningún sistema o programa de conservación de agua.

En el distrito de Santa María del Mar, existe una población de 1338 habitantes, dicho distrito no cuenta con un sistema de abastecimiento de agua, en cambio utilizan el agua traída de distritos aledaños por medio de cisternas (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2013).

No solo en el departamento de Lima existe escases de agua, en todos los rincones del Perú existe escases, debido a que el Perú es un país desértico y si no cuidamos y/o gestionamos de alguna forma el agua potable, esta se terminara un futuro no muy lejano.

En tal sentido la osmosis inversa puede ser una excelente alternativa para obtener agua potable a partir de la desalinización del agua de mar, este es justamente el tema al cual nos abocaremos.

Figura 1. Población total de habitantes en Lima.

POBLACION TOTAL AL 30 DE JUNIO, SEGÚN DISTRITO, 2013.		
UBIGUEO	DISTRITO	TOTAL DE HABITANTES
150130	SAN BORJA	111,668
150231	SAN ISIDRO	55,782
150332	SAN JUAN DE LURIGANCHO	1,047,726
150433	SAN JUAN DE MIRAFLORES	397,113
150534	SAN LUIS	57,454
150635	SAN MARTIN DE PORRES	673,149
150736	SAN MIGUEL	135,226
150837	SANTA ANITA	218,486
150938	SANTA MARIA DEL MAR	1,338
151039	SANTA ROSA	16,447
151140	SANTIAGO DE SURCO	332,725

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2013)

1.2. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

Este trabajo se justifica dado que se plantea la obtención de agua potable a partir de la principal fuente de agua que es el mar, mediante su proceso de desalinización con el método de osmosis inversa. Este método ha demostrado ser eficaz y eficiente para desalinizar el agua, el presente trabajo de investigación utilizara además el software R.O.S.A para el adecuado control del proceso.

La problemática del presente trabajo de investigación muestra la necesidad de obtener una forma para poder desalinizar el agua de mar de la playa "PLAYA GRANDE", debido a la falta de una determinada distribución y de la cantidad de agua para las viviendas del distrito de Santa María del Mar.

La expansión del distrito, ha producido que las nuevas áreas urbanizadas no cuenten con el elemento elemental para la vida que es el agua potable, dicha falta de agua se pretende reducir con la implementación de un sistema de Osmosis Inversa en la Playa la cual se encuentra ubicada al Sur del distrito de Santa María del Mar.

1.3. DELIMITACION DE LA INVESTIGACION

1.1.1 Espacial.-

Se obtendrá la muestra de agua de mar, procedente de la playa "PLAYA GRANDE", ubicada al Oeste del distrito de Santa María del Mar.

Tabla 1. *Ubicación geográfica de la zona de estudio (PLAYA GRANDE).*

COORDENADAS	
S	12°40'25"
N	76°77'74"

Fuente: Google Earth

Figura 2. Ubicación geográfica de la zona de estudio (PLAYA GRANDE).



Fuente: Google Earth

1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿El proceso de osmosis inversa controlado mediante el software R.O.S.A permite realizar un adecuado proceso de desalinización de agua de mar, para su uso como agua potable, específicamente para el distrito de Santa María del Mar?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1 Objetivos Generales

Aplicar un control óptimo del proceso de Osmosis Inversa para desalinizar el agua de mar, mediante el software Reverse Osmosis System Analysis (R.O.S.A.) para la playa “PLAYA GRANDE”.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar el costo promedio del sistema de Osmosis Inversa, teniendo como referencia los costos de los implementos del sistema en nuestro país.
- Determinar el porcentaje de desalación de los iones del agua de mar de la playa "PLAYA GRANDE" mediante el software R.O.S.A. para realizar el proceso de Osmosis Inversa en agua de mar.
- Obtener un sistema de filtros de membrana económico para la utilización del sistema de Osmosis Inversa en la playa "PLAYA GRANDE".

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

Se encontró el estudio realizado por Orellana H. (1987), titulado: *Diseño de una planta desalinizadora por osmosis inversa*, en el cual se trata sobre como poder desarrollar una teoría para el diseño del desalinizador de osmosis inversa, en el cual se incluyen tablas, gráficos y datos técnicos de información y referencia al diseño que se desea implementar, utilizo un programa de computador, para los cálculos del diseño del banco de módulos con membranas especiales, la planta desalinizadora proyectada producía un total de 1700 metros cúbicos de agua desalinizada por día.

El investigador concluye que se ha demostrado que es factible la construcción de partes de la planta en su país, lo que producirá la reducción en el costo del metro cubico de agua desalinizada, y que una posible ventaja de construir partes de la planta con diseño nacional, reducirá en un 50% el costo de la planta con respecto a las plantas completad importadas.

Para la presente investigación se toma como referencia la parte experimental, debido a que la extracción de la muestra de la alícuota se llevara a cabo de manera similar en nuestro proyecto.

Próximamente García C. (2002), en su trabajo: *Aplicación de la Osmosis Inversa y la nano filtración en el acondicionamiento de aguas para calderas*, describe la utilización de filtros tanto de ósmosis inversa como de nano filtración, para poder determinar cual posee un mayor porcentaje de retención de sales para el agua que alimenta las calderas de una industria.

Concluye que cuando las diferencias de concentración a través de la membrana no son muy grandes, el termino de gradiente de presión no es muy importante, de tal manera que la velocidad de permeación del soluto se puede expresar como equivalente al producto del coeficiente de permeabilidad del soluto, y el gradiente de concentraciones a través de la membrana, siendo esencialmente independiente de la velocidad de permeación del agua y de la presión.

Nos aporta lo referente a marco teórico para nuestro proyecto debido a lo bien explicado que se encuentra sobre las características de los filtros de osmosis inversa.

Otra investigación es la realizada por la Ingeniera Rosales R. (2004), titulada: *Desarrollo de prototipos para la potabilización de agua para comunidades rurales*. Su objetivo fue identificar diferentes técnicas de desalación, y la elección del proceso más óptimo según las características, salinidad del agua a tratar, precio de los implementos del sistema, disponibilidad de mano de obra cualificada para la operación de la planta, precio de la energía térmica y eléctrica, disponibilidad de calor residual a baja temperatura, que se necesiten para el

agua a tratar, entre las técnicas de desalación se encuentra la destilación, la compresión de vapor, la congelación, la electrodiálisis y la Osmosis inversa.

Dentro de sus resultados al analizar se llevó a cabo un análisis de los factores que afectan la eficiencia de la desalinización, Se destacan los siguientes factores:

En primer lugar, el volumen de agua que se desea desalinizar.

En segundo lugar, el tiempo que transcurre desde la puesta en operación.

Dando la relación que en el paso del tiempo los poros de la membrana se obstruyen y eso con lleva a un decaimiento de la eficiencia de la membrana.

Finalmente, concluye que se puede potabilizar el agua en sitios rurales donde se carece de líquido, según los métodos a utilizar, todos los métodos dan excelentes resultados y se recomiendan por si solos, esta postura coincide con las ideas que se aspiran a desarrollar al plantear un sistema de osmosis inversa para la playa "PLAYA GRANDE" que cuenta con gran cantidad de sales.

Delgado A. (2006), en su trabajo: *Diseño preliminar de un sistema de desalación de Osmosis Inversa mediante energía solar térmica*, describe el presente proyecto con la finalidad de producir un nuevo sistema de osmosis inversa, teniendo como fuente energética a la luz solar, e implementándolo a un sistema de cascada doble del ciclo de Rankine orgánico, alimentado solamente con Tolueno y Hexametildisolano como fluido de trabajo del ciclo superior (Ciclo de alta temperatura), y otra serie sustancias como posibles fluidos de trabajo del ciclo inferior (ciclo de baja temperatura).

Los resultados obtenidos indicaron que el isopentano es el fluido que proporciona el mejor rendimiento del ciclo inferior y que si toda la potencia mecánica desarrollada por el ciclo de media temperatura se emplea en la bomba

de alta presión del sistema de ósmosis inversa, con el ciclo inferior se puede producir la suficiente electricidad para cubrir el resto de consumo del sistema

Se llegó a la conclusión de que el aprovechamiento de la energía térmica descargada por el ciclo de potencia solar con una temperatura de condensación elevada (115°C) mediante un ciclo Rankine orgánico para producción de electricidad con isopentano como fluido de trabajo posibilita que el sistema de desalación por ósmosis inversa con energía solar térmica puede funcionar aislado de la red.

De esta investigación se toma la gran variedad de fundamento teórico, así como la definición más compleja y exacta de la metodología en la implementación de un sistema de osmosis Inversa.

Posteriormente el Ingeniero Correa F. (2007), en su trabajo *Evaluación de la sustentabilidad en la instalación de plantas desaladoras, de agua de mar, en la región noroeste de México*. Realizo un estudio sobre si es viable poder implementar un proyecto de una planta desaladora, teniendo en cuenta las zonas, identificadas, donde la demanda de agua va a superar la disponibilidad en los próximos años y propensas a sufrir crisis por escasez de agua, mediante la evaluación de los coeficientes de calidad; consumo de energía, emisiones, consumo de recursos hídricos, descarga de salmuera y costo del agua desalada, para las diferentes tecnologías de desalación, determinando que dentro de los ámbitos, tecnológicos, ambientales, económicos y sociales.

De esta investigación se toma la gran variedad de fundamento teórico, así como la definición más compleja y exacta de la metodología para poder escoger el lugar más adecuado para poder llevar a cabo el proyecto de desalación.

Posteriormente Trejo R. (2008), en su proyecto de investigación titulado: *Investigación sobre la eliminación de sales metálicas por procedimientos*

avanzados. Determino que mediante el tratamiento de filtración por arena se observaron modificaciones en el pH, la conductividad y la alcalinidad total de una manera descendente en 6,44%, 62,80% y 1,58% respecto a la de los valores medios, al pasar el efluente del filtro de arena por membranas de ultrafiltración, estos parámetros se vieron modificados descendentemente en 7,72%, 78,61% y 57,75%, por ósmosis inversa un 9,03% 94,90% y 90,11%, al emplear los procesos por membrana en línea la modificación es del 10,25%, 96,78% y 95,54%, respectivamente.

Con el tratamiento de filtración por arena, la eliminación de la turbidez mostró un valor del 61,50% respecto del valor medio, al pasar el efluente del filtro de arena por membranas de ultrafiltración la turbidez mostró un valor de 95,42%, mientras que por ósmosis inversa mostró un valor del 97,91%, y al emplear los procesos por membrana en línea la eliminación mostrada fue del 99,61%. Mediante el proceso de filtración por arena, la eliminación de la dureza total mostró un valor del 1,91% respecto a su valor medio, al pasar el efluente del filtro de arena por membranas de ultrafiltración la dureza total fue de 45,94%, por ósmosis inversa un 90,95%, y al emplear los procesos por membrana en línea la eliminación es del 94,99%.

Con el tratamiento de filtración por arena la eliminación de DQO fue de 12,87% respecto del valor medio, al pasar el efluente del filtro de arena por membranas de ultrafiltración la DQO fue de 70,34%.

Con el tratamiento de filtración por arena la eliminación de cloruros fue de 2,91% respecto del valor medio, al pasar el efluente del filtro de arena por membranas de ultrafiltración los cloruros fueron de 39,01%, por ósmosis inversa un 93,61%,

Con el tratamiento de filtración por arena la eliminación de sulfatos fue de 3,02% respecto del valor medio, al pasar el efluente del filtro de arena por membranas de ultrafiltración los sulfatos fueron de 46,31%, por ósmosis inversa un 97,93%, y al emplear los procesos por membrana en línea la eliminación es del 98,82%, al pasar el efluente del filtro de arena por membranas de ósmosis inversa los rendimientos obtenidos para los metales estudiados son los siguientes: Plomo 45,11%, níquel 72,53%, cadmio 58,83%, zinc 66,48%, cromo 35,60%, y manganeso 29,57%.

Concluyendo que, mediante el empleo de los procedimientos de filtración por membranas, específicamente, ultrafiltración y ósmosis inversa, es posible cumplir en su mayoría los requisitos establecidos en las diferentes normativas, en relación con la reutilización.

De esta investigación se tomó como dato la eficiencia que se obtiene por la utilización de filtros de Osmosis inversa, al pasar a través de ellos, el agua de mar el cual está lleno de Cloruros, Magnesio, Sodio y Calcio como mayor concentración en el fluido.

En Piura, Perú, la investigadora Caminati A. (2013), en su tesis titulada: *Análisis y diseño de sistemas de tratamiento de agua para consumo humano y su distribución en la universidad de Piura*. Describe su objetivo como diseñar dos alternativas de abastecimiento de agua para consumo humano en la Universidad de Piura y realizar una evaluación comparativa para la selección de la más conveniente para la universidad.

La primera, consiste en la construcción de una planta de tratamiento para purificar el agua del pozo y distribuirla mediante bidones.

La segunda también contempla la construcción de una planta de tratamiento, pero la distribución sería por medio de bebederos y se concluyó en que después

de los estudios realizados, se determinó que la planta de tratamiento, sea para bebederos,

Esta investigación aporta, bastante información sobre el marco legal y la normativa en nuestro país.

2.2 BASES TEORICAS

2.2.1. Marco Legal

Todo proyecto se desarrolla en un país que tiene unas leyes y normas que lo rigen, por lo que el proyecto debe ajustarse al marco jurídico y legal que esté vigente. Se debe tener en cuenta que sin importar qué tan rentable sea el proyecto, antes de iniciar sus operaciones debe cumplir con las disposiciones jurídicas vigentes de la empresa y del país en que se llevará a cabo.

Para poder realizar una buena evaluación, es necesario recolectar las leyes y reglamentos del gobierno que conciernen con el tema sobre el que va a tratar el proyecto.

El primer paso en el marco legal es la definición del tipo de sociedad mercantil que regirá el proyecto. Como el proyecto se llevará a cabo dentro de la Universidad de Nacional Tecnológica de Lima Sur, no tendrá un tipo de sociedad mercantil diferente al del centro de estudios.

De acuerdo a lo indicado por La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2008), el agua es esencial para la vida y todas las personas deben disponer de un suministro satisfactorio (suficiente, inocuo y accesible).

En el caso del consumo de agua el hombre se vale de fuentes naturales para su posterior tratamiento bajo ciertos estándares de calidad. Siendo este aspecto de vital importancia, ya que podrían generarse un sin fin de enfermedades a adultos y niños.

Es por ello que el siguiente paso se relaciona con la principal autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria en el sistema de las Naciones Unidas, la OMS (2008). Ésta desempeña una función de liderazgo en los asuntos ligados a la sanidad, investigación, establecimiento de normas internacionales, apoyo técnico (ligado a este rubro) a las naciones y vigilancia de las tendencias sanitarias mundiales. Así pues, la OMS (2008) participa de la regulación internacional de la calidad e inocuidad del agua para el consumo humano.

Por su estado de promotor, regulador y controlador de la sanidad del agua para consumo humano a nivel internacional, la OMS se hace presente a través de unas “Guías para la calidad de agua potable”. Esta información contiene un total de 11 capítulos que van desde los conceptos básicos hasta los aspectos relativos a la aceptabilidad del líquido vital.

A continuación se explica los puntos más relevantes de la norma internacional.

2.2.1.1 Guías para la calidad del agua potable

La OMS (2008) nos brinda información sobre las guías para la calidad del agua potable explican los requisitos necesarios para garantizar la inocuidad del agua, incluidos los procedimientos mínimos y valores de referencia específicos, y el modo en que deben aplicarse tales requisitos. Describe asimismo los métodos utilizados para calcular los valores de referencia, e incluye hojas de información sobre peligros microbianos y químicos significativos.

2.2.1.1.1 Las guías: Un marco para la seguridad del agua de consumo

La OMS (2008), establece que las Guías describen un marco para una gestión preventiva de la “seguridad del agua de consumo” que consta de cinco componentes clave:

- Metas de protección de la salud basadas en una evaluación de los peligros para la salud.
- Evaluación del sistema de abastecimiento de agua para determinar si puede, en su conjunto (del origen del agua al punto de consumo, incluido el tratamiento) suministrar agua que cumpla con las metas de protección de la salud.
- Monitoreo operativo de las medidas de control del sistema de abastecimiento de agua que tengan una importancia especial para garantizar su inocuidad.
- Planes de gestión que documenten la evaluación del sistema y los planes de monitoreo que describan las medidas que deban adoptarse durante el funcionamiento normal y cuando se produzcan accidentes, incluidas las aplicaciones, mejoras y la comunicación.
- Un sistema de vigilancia independiente que verifique el funcionamiento correcto de los componentes anteriores.

2.2.1.1.2 Aplicación de las guías en circunstancias concretas

Agua envasada

La OMS (2008), señala como punto crítico de la calidad del agua envasada:

El control de los recipientes y cierres del agua embotellada, debido al tipo del material del mismo, al reuso y al tiempo de almacenamiento del líquido vital, ya que es más probable la proliferación de microorganismos en los garrafones que en las tuberías de conducción del fluido. Algunos microorganismos cuya importancia para la salud pública es normalmente escasa o nula pueden alcanzar concentraciones más altas en el agua embotellada. Esta proliferación se

produce, al parecer, con menor frecuencia en el agua con gas y el agua embotellada en recipientes de vidrio que en el agua sin gas y el agua embotellada en recipientes de plástico. (Guías para la calidad del agua potable, Vol 1, año 2008)

Tabla 2. *Criterios Microbiológicos del agua.*

Parámetros	n	c	m	Plan de Clase	Método ⁽¹⁾
E. Coli ⁽³⁾	5	0	n.d en 250 ml	2a	ISO 9308-I
Total de Bacterias Coliformes ⁽³⁾	5	0	n.d en 250 ml	2a	ISO 9308-I
Enterococci ⁽³⁾	5	0	n.d en 250 ml	2a	ISO 7899/2
Bacterias Anaerobias formadoras de esporas y sulfito reductoras ⁽³⁾	5	0	n.d en 50 ml	2b	ISO 6461/2
Ps. Aeruginosa ⁽⁴⁾	5	0	n.d en 250 ml	2a	ISO 16266/2006
Recuento de Aerobios mesofilos/ recuento de Heterótrofos en placa ^(2,4)	5	0	100 ufc/ml	2c	ISO 6222-1999

Fuente: CAC/RCP 33-1985 (Codex Alimentarius, 2011)

Leyenda

(1) Pueden emplearse otros métodos que ofrezcan una sensibilidad, reproductibilidad y fiabilidad equivalentes si éstos han sido validados.

(2) Punto de aplicación: sólo en la fuente, durante la producción y dentro de 12 horas después del envasado.

(3) Indicador de contaminación fecal.

(4) Indicador de control del proceso.

Donde *n* = número de muestras que deben cumplir los criterios; *c* = el máximo número permitido de unidades de muestra defectuosas en un plan de clase 2; *m* = un límite microbiológico que, en un plan de clase 2, separa la buena calidad de la calidad defectuosa; *n.d* = no detectable.

2.2.1.2 Normas en el Perú

El 28 de julio de 2010, a través de la Resolución 64/292, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento, reafirmando que un agua potable limpia y el saneamiento son esenciales para la realización de todos los derechos humanos. En este contexto, la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA, 2011), asume la tarea de elaborar el “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano”.

A través de sus 10 títulos, 81 artículos, 12 disposiciones complementarias, transitorias y finales y 5 anexos; no solo establece límites máximos permisibles a parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y parámetros radiactivos; sino también le asigna nuevas y mayores responsabilidades a los Gobiernos Regionales, respecto a la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo humano; además de fortalecer a la DIGESA, en el posicionamiento como Autoridad Sanitaria frente a estos temas. (Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, año 2011)

2.2.1.3. Abastecimiento de agua, proveedor y consumidor

Sistema de abastecimiento de agua

Según la DIGESA (2011), el sistema de abastecimiento de agua atiende a los consumidores a través de los siguientes tipos de suministro:

- Conexiones domiciliarias
- Piletas públicas
- Camiones cisterna y mixtos.

Considera que en caso el abastecimiento sea directo mediante pozo, lluvia, río, manantial entre otros, se entenderá como recolección individual el tipo de suministro.

Asimismo la Autoridad Sanitaria Nacional normará los requisitos necesarios que los componentes del sistema deben cumplir para estar en concordancia con las normas de diseño del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, además se deberá considerar sistemas de protección, condiciones sanitarias internas y externas, sistemas de desinfección y otros requisitos de índole sanitario.

2.2.1.4 Cantidad de agua por persona en el distrito de Santa María del Mar.

Cincuenta litros de agua. Esa es la cifra que la ONU precisa como la cantidad mínima del líquido vital que cada persona debe usar por día. En Lima, segunda ciudad más grande ubicada sobre un desierto, después de El Cairo, hay distritos donde cada usuario llega a ocupar casi nueve veces esa cifra, mientras que en otros el consumo apenas supera la tercera parte.

La desigualdad en el consumo de agua es evidente al ver las cifras que Sedapal proporcionó a la Municipalidad de Lima en un estudio del año 2011. En San Isidro cada persona, en promedio, consume 447,5 litros de agua por día (l/h.día), mientras que en Lurigancho Chosica, apenas se llega a los 15,2 l/h.día.

El listado de los cinco distritos donde más agua se consume lo completan Miraflores (395,2 l/h.día), La Molina (258,8 l/h.día), San Borja (248,1 l/h.día) y Lince (240,1 l/h.día).

En tanto, los que menos consumen son Santa María del Mar (48,5 l/h.día) Chaclacayo (46,5 l/h.día), Cieneguilla (40,4 l/h.día), Pachacámac (36,1 l/h.día) y Lurigancho Chosica (15,2 l/h.día). (Pilares, A. 24 de Mayo del 2015 ¿Cuántos litros de agua consumes al día? El Comercio.)

Figura 3. Agua Potable utilizada en Lima

Agua Potable Utilizada en Lima	
Distrito	Litros de agua por Habitante
Villa EL Salvador	75.1
Puente Piedra	73.5
Santa Rosa	65.6
Ancón	64
Punta Negra	59.8
Lurín	59.4
Santa María del Mar	48.5
Chaclacayo	46.5
Cieneguilla	40.4
Pachacámac	36.1
Lurigancho Chosica	15.2

Fuente: Pílares, A. (24 de Mayo del 2015). ¿Cuántos litros de agua consumes al día? El Comercio. Recuperado de <http://elcomercio.pe/sociedad/lima/cuantos-litros-agua-consumes-al-dia-interactivo-noticia-1812638>.

2.2.1.5. Proveedor del agua para consumo humano

Según DIGESA (2011), el proveedor de agua para consumo humano está obligado a suministrar agua cumpliendo con los requisitos físicos, químicos y microbiológicos establecidos en la norma. En la tabla 3 y en la tabla 4 se muestran los Límites Máximos Permisibles de cada parámetro que determina la calidad del agua. (Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, año 2011).

Tabla 3. Límites máximo permisibles (LMP) agua.

Parámetros Microbiológicos	Unidad de Medida	LMP
Bacterias Coliformes totales	UFC/100ml a 35°C	0(*)
E. Coli	UFC/100ml a 44,5°C	0(*)
Bacterias Termo tolerantes o Fecales	UFC/100ml a 44,5°C	0(*)
Bacterias Heterotróficas	UFC/100ml a 35°C	500
Huevos o larvas de Helmintos, quistes y coquistes de protozoarios patógenos	N° org/L	0
Virus	UFC/ml	0
Organismos de vida libre.	N° orgL	0

Fuente: DIGESA (2011)

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica de NMP por tubos múltiples =< 1,8/100ml

Tabla 4. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica de agua.

Parámetros Organolépticos	Unidad de medida	LMP
Olor	-	Aceptable
Sabor	-	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
Conductividad (25°C)	microho/cm	1500
Solidos totales disueltos	mgL ⁻¹	1000
Cloruros	mgCl ⁻¹ L ⁻¹	250
Sulfatos	mgSO ₄ ⁻² L ⁻¹	250
Dureza total	mgCaCO ₃ L ⁻¹	500
Amoniaco	mgNH ₃ L ⁻¹	1,5

Hierro	mgFe L ⁻¹	0,3
Manganeso	mgMn L ⁻¹	0,4
Aluminio	mgAl L ⁻¹	0,2
Cobre	mgCu L ⁻¹	2,0
Zinc	mgZn L ⁻¹	3,0
Sodio	mgNa L ⁻¹	200

Fuente: DIGESA (2011)

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelometría de turbiedad

2.2.2 Características del agua a desalar

Nuestro planeta, el planeta azul, está cubierto en casi su totalidad por agua, presentando un 75% de la superficie terrestre, a pesar de esta abundancia actualmente nos presentamos a un problema de escases de agua. Del total del agua del planeta, el 97% es agua salada perteneciente a mares y océanos, solamente el 2.5% es agua fresca, de este 2.5% el 69% se encuentra congelado en capas de hielos y glaciares, dejando solamente un 0.75% de agua fresca que se obtiene de acuíferos.

Dado que el agua a tratar en una planta desaladora puede tener rangos variables de salinidad, suele caracterizarse el agua en cuatro puntos básicos.

- Conductividad eléctrica o salinidad
- Dureza
- pH
- Anhídrido carbónico libre

Aunque las cuatro características están relacionadas con la composición química del agua, la primera es una característica más general, mientras que las

otras tres son más concretas, más sin embargo deben ser consideradas para el diseño y operación de una planta desaladora. (Piña C, 2010).

2.2.2.1 Salinidad del agua

La salinidad de un agua es el contenido total de sales del mismo.

Es en base a este contenido de sales que se pueden clasificar las distintas aguas del planeta, ya que no es lo mismo un agua de mar con un contenido en sales promedio de 36,000 mg/l, que un agua salobre con un contenido de 4,000 mg/l.

Por esta razón se ha clasificado el agua en diferentes tipos según su salinidad, a continuación se muestra una tabla con los diferentes tipos de aguas y al rango de salinidad al que pertenecen. (Piña C, 2010).

Tabla 5. *Clasificación de los diferentes tipos de agua según su concentración en mg/l*

Salmuera	300,000	mg/l
Agua de mar	30,000	mg/l
Agua Salobre	3,000	mg/l
Agua potable	300	mg/l
Agua industrial	30	mg/l
Agua des ionizada	3	mg/l
Agua pura de calderas	0.30	mg/l
Agua ultra pura	0.03	mg/l

Fuente: Piña Carlos (2010); Desalación de agua de mar, efectos de la temperatura y concentración del agua de alimentación en el proceso de desalación por ósmosis inversa.

La salinidad se expresa en TDS (Sólidos Disueltos Totales) y se mide, comúnmente, en ppm o mg/l. En algunas ocasiones suele medirse en $\mu\text{S}/\text{cm}$ (micro siemens por centímetro) y es que según la salinidad del agua, puede hacerse circular una corriente a través de esta, es esta corriente la que determina la salinidad del agua, la desventaja de este método es la temperatura y composición del agua, ya que algunos elementos son mejores conductores de la electricidad que otros, la conductividad puede variar en un 2% por cada grado centígrado, se reporta un valor correcto a 25°C.

Para poder realizar el análisis y diseño de una planta desaladora, es conveniente conocer a fondo la composición química de esta, ya que algunos de los elementos presentes pueden formar compuestos los cuales a su vez pueden formar precipitados, reduciendo así la capacidad de permeabilidad de la membrana. A continuación se presenta la composición química típica del agua.

2.2.2.2 Composición química

El agua está compuesta por diferentes elementos, causantes de la salinidad, algunos en mayor proporción que otros, a continuación se muestran algunos de los elementos.

Sodio

Es el metal alcalino más frecuente en la composición de las aguas y además el único presente en cantidades significantes en las aguas naturales. En el agua de mar es el ion metálico más abundante, con concentraciones de alrededor de 10,000 mg/l. Su efecto en las membranas es que no precipita. Los efectos sobre la salud humana se ven relacionados a los problemas cardiovasculares.

Calcio y Magnesio

Se encuentra en todas las aguas y son especialmente abundantes en las aguas subterráneas, contribuyen conjuntamente al establecimiento de la dureza del agua, que es causada fundamentalmente por las sales que forman estos dos elementos con los bicarbonatos, sulfuros, cloruros y nitratos.

Cloro

Es el elemento más abundante en el agua de mar, alcanzando concentraciones de hasta 20,000 mg/l, en aguas subterráneas, especialmente en regiones húmedas, las concentraciones pueden ser inferiores a 5 mg/l, a menos que las aguas hayan sido contaminadas con agua de mar. La reglamentación sanitaria permite no más de 250 mg/l.

Sulfatos

Contribuyen a la salinidad del agua, en ocasiones suele alcanzar concentraciones de 2,000 mg/l, el contenido máximo permisible por la reglamentación sanitaria es de 250 mg/l. El problema de los sulfatos en el proceso de desalación por ósmosis inversa es que pueden formar precipitados de calcio y magnesio sobre las membranas.

Carbonatos y Bicarbonatos

Se encuentran en todas las aguas y en ocasiones en proporciones muy elevadas. Las membranas de osmosis inversa tienen un alto porcentaje de rechazo de estos iones, razón por la cual se concentran en el rechazo y pueden llegar a precipitar.

Nitratos

En concentraciones mayores a 45 mg/l en agua para consumo doméstico pueden ser indeseables, especialmente para los niños, ya que puede ocasionar

cianosis. Los nitratos no pueden ser eliminados por evaporación, se debe recurrir a la desmineralización o a la separación por membranas.

Hierro

Todas las aguas contienen hierro, en mayor o menor cantidad, el contenido de este puede ser problemático para ciertos usos, doméstico o industrial. Contenidos de 0.5 mg/l suelen ser perjudiciales, en la industria no se permiten contenidos mayores a 0.1 mg/l. Para alcanzar dicha concentración suele procederse a un proceso de aireación del agua.

Manganeso

Tiene un comportamiento similar al del hierro, incluso se presenta en las mismas condiciones que éste. Suele adicionarse anti incrustante para retardar la oxidación y en consecuencia la precipitación del hierro y manganeso.

Sílice

Es el elemento más abundante en la corteza terrestre, se puede encontrar en aguas subterráneas de cantidades de hasta 100 mg/l, contenidos de 20 mg/l son bastantes normales.

Flúor

Aparece solo en pequeñas concentraciones en el agua subterránea, el rechazo de éste por las membranas de ósmosis inversa está en función de la composición completa del agua. La reglamentación sanitaria permita como máximo 1.5 µg/l.

Bario y Estroncio

Principalmente se detecta en aguas subterráneas, como los otros sulfatos, estos también pueden llegar a precipitar en la membrana.

Aluminio

No se encuentra en aguas subterráneas ni de mar, a menos que se haya producido una contaminación industrial. (El océano y sus recursos, año: 1997)

2.2.3 Anti incrustante

Un anti incrustante es un compuesto químico que tiene la propiedad de evitar que las sales del agua se depositen (precipiten) en conducciones, depósitos, o cualquier superficie. Normalmente estas sales son carbonatos, silicatos y sulfatos de calcio. Las aguas con alta concentración de estas sales se denominan "aguas duras".

Los compuestos anti incrustantes suelen reaccionar con el calcio y el magnesio de manera que no puedan formar precipitados cristalinos que formen incrustaciones. (Nava. J, Tratamiento químico anti incrustante en los pozos productores de crudo del campo de Barua Motatan, año: 2012)

2.2.4 Introducción a la Osmosis Inversa.

Una vez conocida la composición química del agua a desalar se procede al diseño de la planta de ósmosis inversa. Para comprender los aspectos que deben tomarse en cuenta en el diseño es necesario conocer de dónde se deriva la desalación así como los parámetros que se deben tomar en cuenta en el diseño y operación de la desaladora.

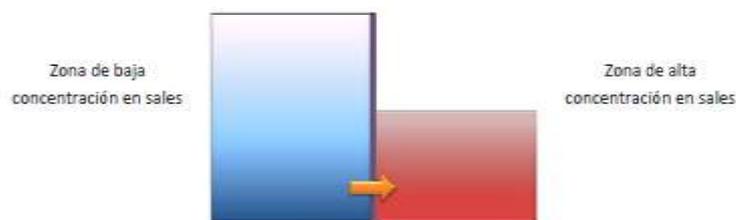
2.2.4.1. Ósmosis

La ósmosis inversa se deriva del proceso natural de la ósmosis, por esta razón, antes de abordar el tema de la ósmosis inversa abordaremos primero el tema de la ósmosis.

La ósmosis es un proceso natural, en el cual un fluido pasa a través de una membrana semipermeable, de una zona de baja concentración a una de alta

concentración hasta alcanzar el equilibrio, este fenómeno es debido al potencial químico de cada una de las sustancias, el cual está en función de la temperatura, presión y concentración de los sólidos disueltos, siendo menor para una solución con alto contenido en sales y mayor para una solución con poco contenido en sales, es esta diferencia en el potencial químico el que permite que el agua con baja concentración en sales fluya hacia la zona con alta concentración en sales, hasta que se alcance el equilibrio en el potencial químico o hasta que la presión hidráulica lo permita.

Figura 4. *Proceso de Osmosis*

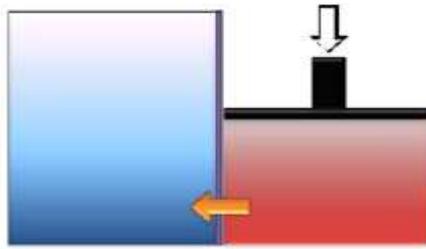


Fuente: Piña Carlos; Desalación de agua de mar, efectos de la temperatura y concentración del agua de alimentación en el proceso de desalación por ósmosis inversa, 2010

2.2.4.2. Ósmosis inversa

Aplicar una presión externa del lado de la solución salada, la cual es igual a la presión osmótica, ocasiona el equilibrio en ambas soluciones. Un incremento en la presión aplicada ocasionará que se eleve el potencial químico del agua salada, con lo cual se genera un flujo hacia el agua pura a través de la membrana semipermeable debido a que este tiene un menor potencial químico. A este fenómeno se le conoce como osmosis inversa.

Figura 5. *Proceso de Osmosis Inversa*



Fuente: Piña Carlos. Desalación de agua de mar, efectos de la temperatura y concentración del agua de alimentación en el proceso de desalación por ósmosis inversa.

2.2.4.3. Presión osmótica

Se habla del potencial químico y de la presión osmótica, pero el principal factor a vencer en la ósmosis inversa es la presión osmótica, ya que al vencerla estaremos asegurando que se comienza a desalar el agua a tratar.

La presión osmótica de una solución puede ser determinada indirectamente midiendo la concentración de las sales disueltas en la solución:

$$P_s = C * R * (T + 273.15) \quad [bar]$$

Siendo C la concentración total de los iones disueltos, R la constante universal de los gases (0.082 [lt*bar/mol*K]) y T la temperatura expresada en °C. Una aproximación de la presión osmótica puede ser que por cada 1,000 mg/l de concentración de TDS es igual 0.77 [bar] de presión osmótica.

La presión osmótica es un valor estático, es decir que el valor de presión osmótica cambiara al momento en que pase un poco de agua a través de la membrana, en el sentido del agua salada al agua pura, ya que tendremos un incremento en la concentración en el agua salada, lo que ocasionará que se incremente la presión osmótica, razón por la cual será necesario incrementar la presión en el agua a desalar. Una forma de calcular la presión máxima a

aplicar se puede obtener conociendo las características de la membrana, es decir, conocer el porcentaje de rechazo de sales de la membrana, así como el porcentaje de recuperación máximo que permite la membrana sin sufrir daño alguno, por lo general las membranas rechazan un 99.7% de sales y pueden recuperar hasta un 14% del agua de alimentación, variando según el agua de alimentación.

2.2.4.4. Recuperación

La recuperación o tasa de conversión de agua de alimentación a producto está definida por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{Q_P}{Q_F} * 100\%$$

$$\alpha = \frac{Q_P}{Q_P + Q_C} * 100\%$$

Q_p → Flujo permeado [V/t]

Q_f → Flujo de alimentación

Q_c → Flujo concentrado

La recuperación también puede expresarse en función de las concentraciones, es decir:

$$\alpha = \frac{C_C - C_F}{C_C + C_P} * 100\%$$

C_c → Concentración del concentrado

C_f → Concentración de alimentación

C_p → Concentración en el permeado

2.2.4.5. Índice de Sedimentos

El índice de densidad de sedimentos (Silt Density Index = SDI) o índice de "ensuciamiento" es un procedimiento sencillo desarrollado para estimar el grado de bloqueo o "ensuciamiento" de las membranas debido a la contaminación en forma de partículas coloidales, que comúnmente incluyen

bacterias, arcillas, hierro. Productos químicos utilizados en la clarificación/filtración tales como sulfato de aluminio, cloruro férrico, o poli electrolitos catiónicos pueden causar bloqueo coloidal. Este método es ampliamente aceptado en la industria, dado que principalmente mide la concentración coloidal.

El procedimiento de SDI determina la caída en el flujo a través de una membrana de 47 mm de diámetro y con un tamaño de poro de 0.45 μm . Este tamaño de poro es susceptible de ser obstruido por materia coloidal y no por arena o incrustantes.

La disminución en el flujo de agua es representado entre 1 a 100 unidades. Un rápido taponamiento indica niveles altos de contaminación coloidal por lo que el SDI será un número grande relativamente en comparación con el agua con bajas tendencias a ensuciarse.

2.2.4.5.1 El valor del SDI

La tendencia del agua de alimentación a ensuciar las membranas de los equipos de purificación, así como de las membranas de osmosis inversa, deberá ser mantenida a un nivel aceptable para asegurar una operación económica y eficiente. Un SDI menor o igual a 5 es aceptable. Todos los módulos en espiral, incluyendo los de acetato de celulosa (CA), Thin Film Composite (TFC) y polisulfona de alto flujo (PSRO) deberán ser alimentados con agua tratada cuando el SDI sea igual a 5 o menor. En membranas de fibra hueca (Hollow Fiber) es más recomendable un SDI de 3.

Un alto nivel de partículas puede tener un efecto indeseable en las membranas de osmosis inversa y generar problemas, tales como:

- Rápida disminución en el flujo del producto, debido a que la superficie de las membranas se ensucia y bloquea.
- Un incremento en la presión de alimentación y una disminución en el flujo de rechazo, debido a que los canales de rechazo se restringirán, reduciendo la acción de barrido a través de las membranas.
- Una pérdida en la retención de sales (por lo tanto disminución en la calidad del producto) ya que la superficie de las membranas cambia de acuerdo al grado de "ensuciamiento". (Fundación Centro Canario del Agua, Año: 2015)

2.2.4.5.2 Métodos de Reducción del SDI

Algunos métodos de pre tratamiento sugeridos para reducir el SDI

incluyen:

- Micro filtración (Filtros de cartucho)
- Ultrafiltración
- Suavización (No reduce el SDI, reduce el "ensuciamiento" al estabilizar los coloides).
- Filtros multimedia
- Filtros de arena
- Filtros de Fierro (Greensand)
- Floculación

2.3 MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Sistema de análisis de osmosis inversa (Reverse Osmosis System Analysis – R.O.S.A.)

R.O.S.A. es una programa de compilación de códigos abiertos, que puede leer y escribir sobre códigos fuentes en múltiples idiomas (C / C ++ / Fortran) y / o analizar comandos ejecutables binarios (usando las arquitecturas x86, Power-PC, y la instrucción ARM conjuntos).

R.O.S.A dicho programa nos da una visión de los tipos de componentes que un sistema de desalación por Osmosis Inversa necesita, teniendo en cuenta los diferentes datos de la salinidad del agua, así como la temperatura y el pH de esta.

R.O.S.A. también proporciona una biblioteca (libros) que se puede utilizar para apoyar las herramientas que posee, para realizar análisis y/o transformaciones, personalizar el código fuente y analizar las formas binarias del software.

R.O.S.A. es una aplicación portátil y le permite trabajar con una amplia gama de sistemas operativos así como con un número creciente de compiladores.

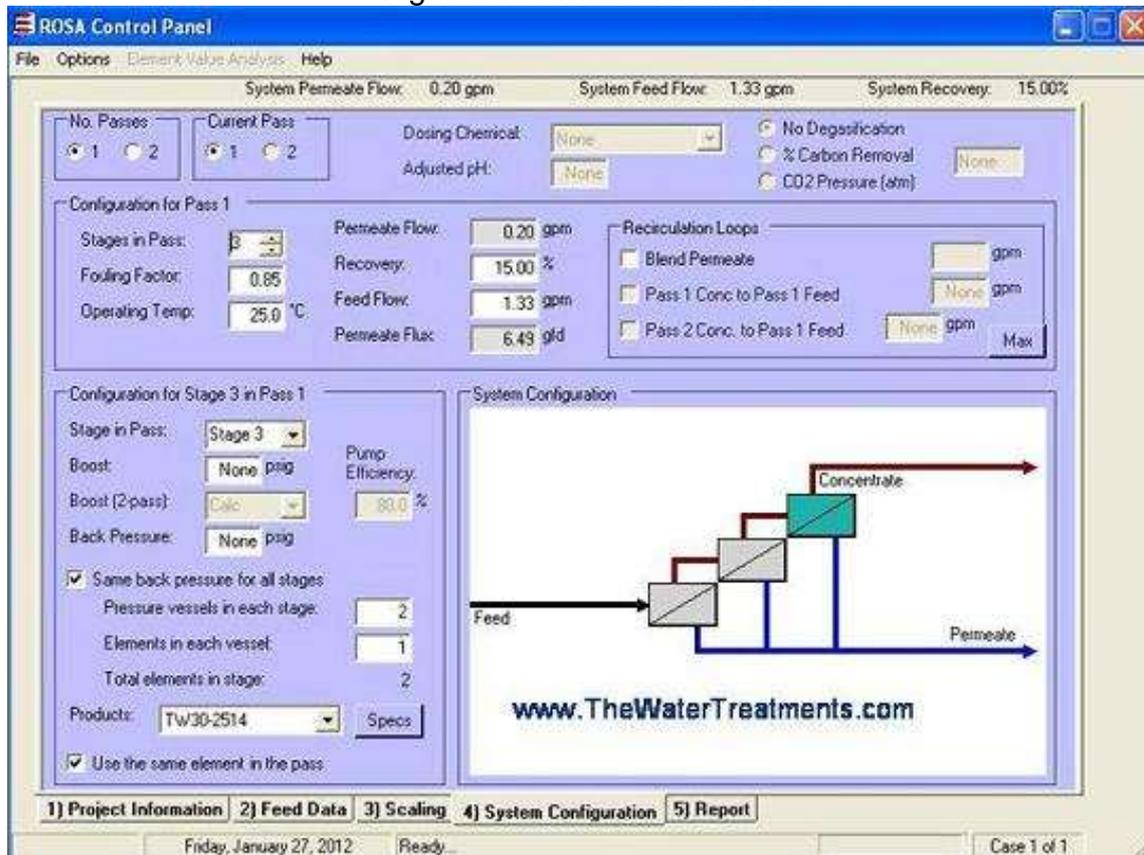
R.O.S.A. ofrece un nivel de apoyo para la infraestructura a realizar, debido a sus herramientas que son definidas por el usuario, por lo que no es necesario poner en práctica un apoyo complejo para operaciones de análisis de software y de transformación. Sus herramientas basadas en código fuente incluyen formas de análisis, compilación de análisis, transformaciones y generación de código.

R.O.S.A. funciona leyendo el código fuente y / o binario y la generación de un árbol de sintaxis abstracta (AST). Los AST forman un gráfico que representa la estructura del código fuente y / o binario ejecutable y se mantienen en la

memoria para proporcionar los más rápido posible un medio de funcionamiento en el gráfico. Los nodos utilizados para definir el gráfico de AST son una representación intermedia (IR) dentro de la investigación como una forma de representar la estructura de software y detalles de sintaxis ausentes (comas, punto y coma, espacio en blanco, etc.).

R.O.S.A. proporciona mecanismos para atravesar y manipular la AST. Por último, proporciona mecanismos para regenerar el código fuente de la AST. (Manual de utilización del software “R.O.S.A.” para Simulación de unidades de Ósmosis inversa, Año: 2011)

Figura 6. Software R.O.S.A.



Fuente: Software R.O.S.A.

2.3.2. Ventajas del Software

Las principales ventajas de utilizar el software R.O.S.A. son las siguientes:

- Podemos analizar los datos con diferentes tipos de membranas.
- Podemos escoger si se desea un sistema en paralelo o en serie.
- Otorga datos exactos dependiendo de la cantidad de sales y su concentración.
- Podemos utilizar anti incrustantes si lo deseamos.
- Nos brinda un precio aproximado con todos los requerimientos que tenemos. (Manual de utilización del software “R.O.S.A.” para Simulación de unidades de Ósmosis inversa, Año: 2011).

CAPITULO III

DESARROLLO DE LA METODOLOGIA

3.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

El presente proyecto, se trata de un diseño de una planta de Osmosis Inversa, teniendo como referencia al Software R.O.S.A. El cual nos brinda una visión sobre la mejor elección de los filtros de membrana, la estructura del sistema (serie o paralelo) y gastos de energía del sistema, teniendo como referencia el precio general que costaría implementar dicha planta en el distrito de Santa María del Mar, en la playa "PLAYA GRANDE".

Este proyecto consiste en 3 etapas.

- Extracción y Preservación de la Alícuota.
- Análisis de la Alícuota en el Laboratorio.
- Simulación de los datos obtenidos.

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA

3.2.1 Extracción y preservación de la Alícuota.

Para la extracción de la muestra, se procederá de la siguiente forma:

- Extracción de la muestra de agua de mar, aproximadamente a 50 metros mar adentro.
- Medir la cantidad de pH, Oxígeno Disuelto, temperatura y Conductividad eléctrica que posee la muestra In-situ.
- Colocar la muestra en 4 frascos de plástico de 500ml cada uno, tomando 2 frascos (1 muestra con su duplicado) con rotulado para la determinación de la cantidad de cloruros presentes en el agua de mar.
- En los últimos 2 frascos tomar la muestra de agua y preservarlas con 3 gotas de ácido nítrico 1N, para la determinación de metales totales.
- Colocar la muestra en los frascos debidamente rotulados, y colocarlas en un cooler con ice pack para mantenerlos a una temperaturas entre 6°C +/- 2°C y se enviara a laboratorio.
- Para la preservación de la muestra, se la tendrá en un cuarto frio a temperatura 4°C +/- 2°C, hasta que se analice en el laboratorio.
- Para el análisis de cloruros, el tiempo máximo de análisis será de 28 días.
- Para el análisis de metales totales, el tiempo máximo de análisis será de 28 días.

3.2.2 Análisis de la alícuota en laboratorio.

Para el análisis se tomara como valores más importantes las concentraciones de Cloruros, Magnesio, Calcio y Sodio en la alícuota a tomar de agua de mar.

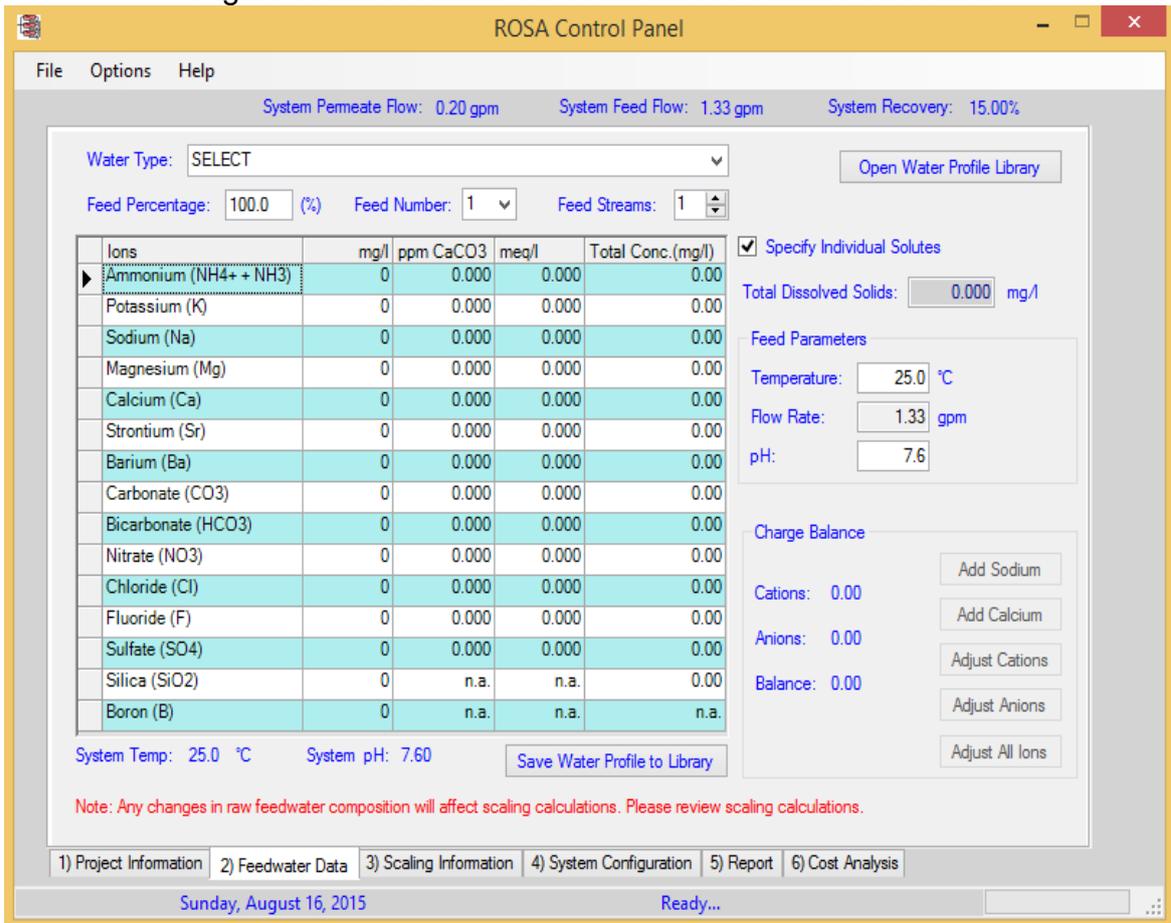
- Para la muestra de cloruros, se tendrá como referencia la norma SM 4500-CL- B.

- Para la muestra de metales totales, se tendrá como referencia la norma EPA 200.8.

3.2.3 Simulación de los datos obtenidos

Por último los datos obtenidos se pasaran al programa R.O.S.A. para la obtención de un adecuado sistema de Osmosis Inversa.

Figura 7. Introducción de datos en el Software R.O.S.A.



Fuente: Software R.O.S.A.

3.2.3.1 Valores de los parámetros del agua a analizar.

Los datos obtenidos en el monitoreo ambiental llevado a cabo en las aguas de la playa “Playa Grande” son los siguientes:

Tabla 6. DATOS

COMPUESTO	CONCENTRACION (MG/L)
Cl ⁻	17473
Na ⁺	11206
SO ₄ ²⁻	2149
Mg ²⁺	1342
Ca ²⁺	389
K ⁺	356
HCO ³⁻	167
Sr ²⁺	14
B	60
BO ₃ ³⁻	21
F ⁻	1
SiO ₃ ²⁻	1
I ⁻	<1
Otros	
TDS	33447

Fuente: Datos obtenidos en monitoreo ambiental, del laboratorio Enviromental Testing S.A.C

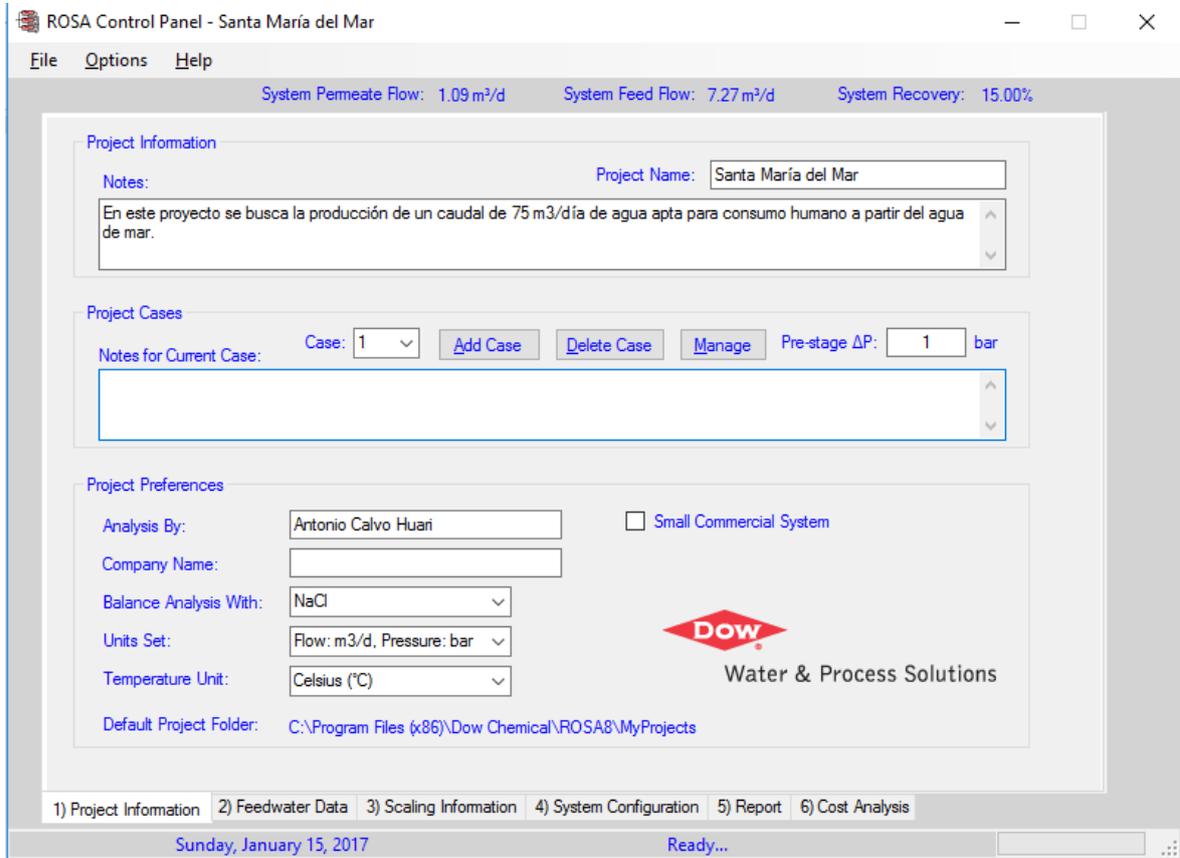
3.2.3.2 Implementación del Sistema.

Se desea un sistema para una muestra que abarca la población aproximada de 1400 personas para el distrito de Santa María del Mar, donde la utilización de agua potable equivale a 48,5 litros por habitante al día, y es igual a un caudal de 68 m³/día al total de habitantes, se proyectara al sistema a un caudal de 75m³/día, teniendo en cuenta posible aumento de población en temporada de playa. El sistema tendrá un valor de SDI (Índice de Sedimentos) menor a 3, pH de 7,8 y una temperatura de 23°C con una alimentación de 1 bar de presión.

Dicho resultado debe tener una composición menor a los 1000mg/l según El Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo humano (DIGESA).

Como siguiente paso se procedió a llevar los datos obtenidos al software R.O.S.A, dándonos la primera ventana.

Figura 8. *Introducción de datos (1) en el Software R.O.S.A. (Desarrollo)*



Fuente: Software R.O.S.A.

Como siguiente paso, se procedió a digitalizar las diferentes concentraciones de los elementos en el software.

Figura 9. Introducción de datos (2) en el Software R.O.S.A. (Desarrollo)

ROSA Control Panel - Santa María del Mar

File Options Help

System Permeate Flow: 1.09 m³/d System Feed Flow: 7.27 m³/d System Recovery: 15.00%

Water Type: Seawater with Generic membrane filtration, SDI < 3

Open Water Profile Library

Feed Percentage: 100.0 (%) Feed Number: 1 Feed Streams: 1

Ions	mg/l	ppm CaCO ₃	meq/l	Total Conc. (mg/l)
Ammonium (NH ₄ ⁺ + NH ₃)	0	0.000	0.000	0.00
Potassium (K)	356	455.220	9.104	356.00
Sodium (Na)	11206	24371.470	487.429	11206.00
Magnesium (Mg)	1342	5519.908	110.398	1342.00
Calcium (Ca)	389	970.559	19.411	389.00
Strontium (Sr)	14	15.978	0.320	14.00
Barium (Ba)	0	0.000	0.000	0.00
Carbonate (CO ₃)	12.201	20.332	0.407	12.20
Bicarbonate (HCO ₃)	167	136.874	2.737	167.00
Nitrate (NO ₃)	0	0.000	0.000	0.00
Chloride (Cl)	17473	24642.480	492.850	17473.00
Fluoride (F)	1	2.632	0.053	1.00
Sulfate (SO ₄)	2149	2238.542	44.771	2149.00
Silica (SiO ₂)	1	n.a.	n.a.	1.00
Boron (B)	60	n.a.	n.a.	n.a.

Specify Individual Solutes

Total Dissolved Solids: 33,453 mg/l

Feed Parameters

Temperature: 23.0 °C Max Temp

Flow Rate: 7.27 m³/d

pH: 7.8

Charge Balance

Cations: 626.66 Add Chloride

Anions: 541.24 Add Sulfate

Balance: 85.43 Adjust Cations

Adjust Anions

Adjust All Ions

System Temp: 23.0 °C System pH: 7.80 Save Water Profile to Library

Note: Any changes in raw feedwater composition will affect scaling calculations. Please review scaling calculations.

1) Project Information 2) Feedwater Data 3) Scaling Information 4) System Configuration 5) Report 6) Cost Analysis

Sunday, January 15, 2017 Ready...

Fuente: Software R.O.S.A.

Luego de haber digitado los diferentes aniones y cationes, la cantidad del pH que se desea para el agua desalinizada y la temperatura, se ajustan los iones por medio de la opción Ajustar todos los iones (Adjust All Ions), con lo cual los ajusta a lo más estable posible, también se selecciona el valor del SDI para el agua de mar a tratar, dicho valor es menor a 3.

Figura 10. Introducción de datos (3) en el Software R.O.S.A. (Desarrollo)

System Permeate Flow: 1.09 m³/d System Feed Flow: 7.27 m³/d System Recovery: 15.00%

Water Type: Seawater with Generic membrane filtration, SDI < 3 [Open Water Profile Library](#)

Feed Percentage: 100.0 (%) Feed Number: 1 Feed Streams: 1

Ions	mg/l	ppm CaCO ₃	meq/l	Total Conc.(mg/l)
Ammonium (NH ₄ ⁺ + NH ₃)	0	0.000	0.000	0.00
Potassium (K)	331.735	424.192	8.484	331.73
Sodium (Na)	10442.2	22710.300	454.206	10442.20
Magnesium (Mg)	1250.529	5143.669	102.873	1250.53
Calcium (Ca)	362.486	904.405	18.088	362.49
Strontium (Sr)	13.046	14.889	0.298	13.05
Barium (Ba)	0	0.000	0.000	0.00
Carbonate (CO ₃)	13.126	21.873	0.437	13.13
Bicarbonate (HCO ₃)	180.179	147.676	2.954	180.18
Nitrate (NO ₃)	0	0.000	0.000	0.00
Chloride (Cl)	18851.95	26587.240	531.745	18851.95
Fluoride (F)	1.079	2.839	0.057	1.08
Sulfate (SO ₄)	2318.596	2415.204	48.304	2318.60
Silica (SiO ₂)	0.932	n.a.	n.a.	0.93
Boron (B)	56.565	n.a.	n.a.	n.a.

Specify Individual Solutes

Total Dissolved Solids: 34,089 mg/l

Feed Parameters

Temperature: 23.0 °C [Max Temp](#)

Flow Rate: 7.27 m³/d

pH: 7.8

Charge Balance

Cations: 583.95 [Add Chloride](#)

Anions: 583.89 [Add Sulfate](#)

Balance: 0.06 [Adjust Cations](#)

[Adjust Anions](#)

[Adjust All Ions](#)

System Temp: 23.0 °C System pH: 7.80 [Save Water Profile to Library](#)

Note: Any changes in raw feedwater composition will affect scaling calculations. Please review scaling calculations.

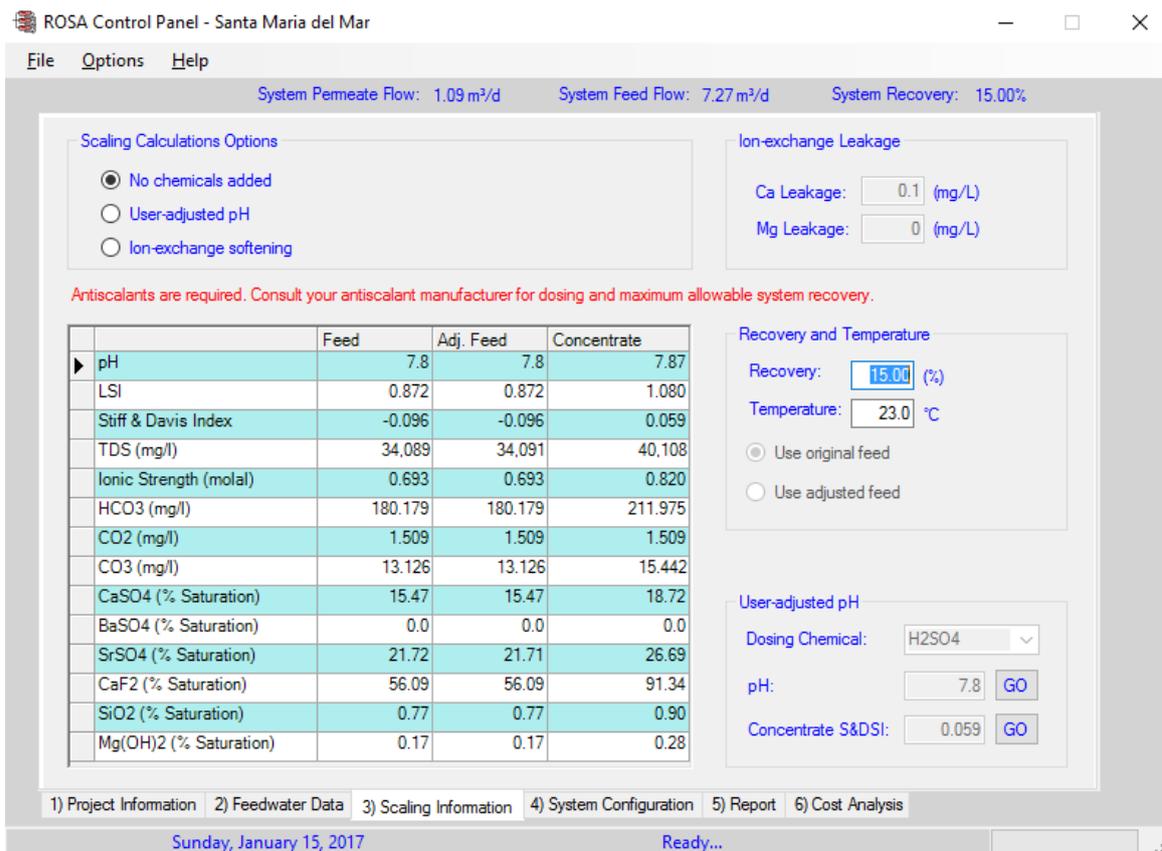
1) Project Information 2) Feedwater Data 3) Scaling Information 4) System Configuration 5) Report 6) Cost Analysis

Sunday, January 15, 2017 Ready...

Fuente: Software R.O.S.A.

A continuación se procede con la siguiente ventana, Escala de información (Scaling Information) donde se podrá corregir la alimentación a los filtros.

Figura 11. Ventana Escala de Información (Scaling Information) inicial



Fuente: Software R.O.S.A.

Como se observa en la figura N°11, el programa avisa que, en caso de utilizar un 15% de recuperación, será necesaria la adición de anti incrustantes.

Para la solución de este problema, se tuvo que comprobar dónde está el problema, este existía en la columna llamada Concentración (Concentrate) de la tabla de parámetros.

En esta tabla se observa que el problema puede deberse al CaCO₃, ya que el valor del SDI en la corriente de rechazo resulta positivo. Esto significa que será necesaria una reducción de pH para que el agua que circule por el concentrado no presente condiciones incrustantes. Así pues, una posible solución del problema sería ajustar el pH mediante la adición de un ácido.

No obstante, en la corriente de rechazo también se encuentran parámetros que indican la posible precipitación de otras sales a la menor variación del

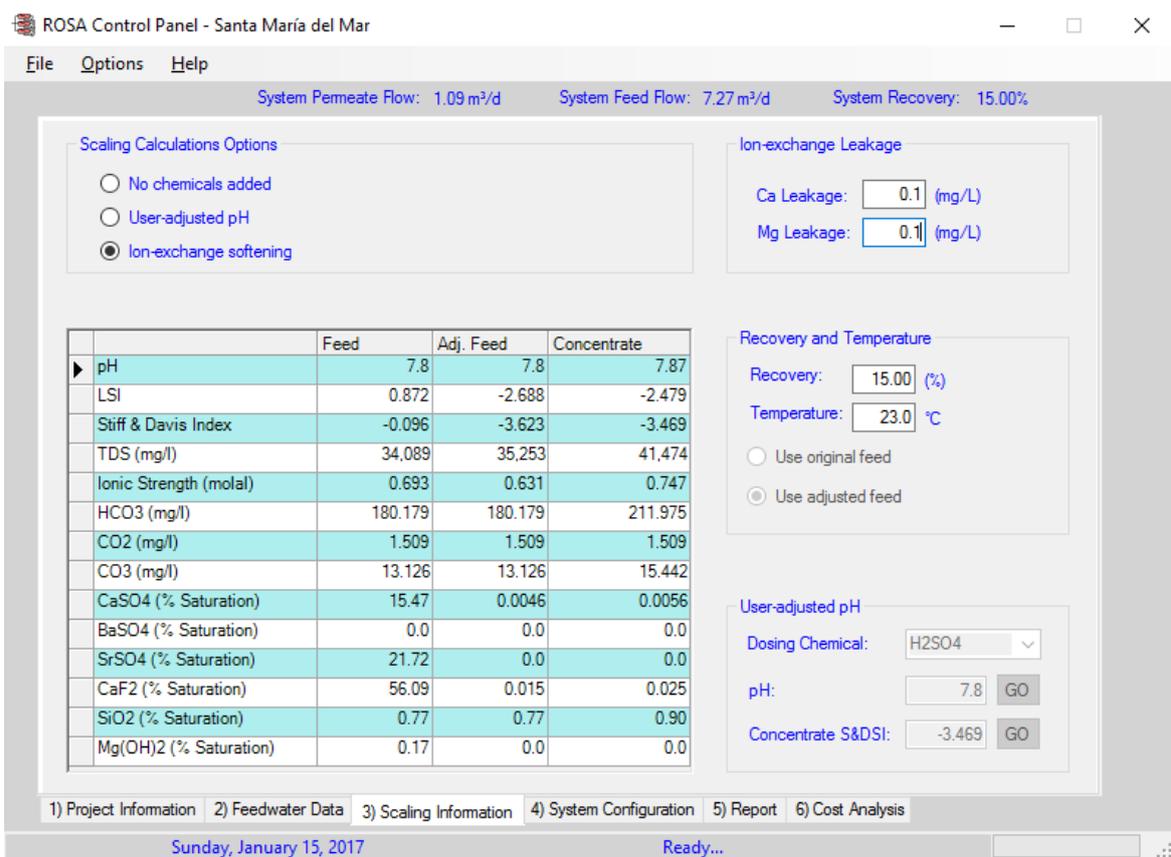
sistema, sales como CaF₂ (91,34% Saturación), SrSO₄ (26,69% Saturación) y CaSO₄ (18,72% Saturación).

Para reducir estos parámetros, se ha decidido someter al agua de alimentación a un tratamiento previo con resinas de intercambio iónico, con el fin de reducir su dureza y evita la posible precipitación de todo tipo de sales.

Para ello, se seleccionará la casilla Intercambio Iónico Suavizante (Ion-exchange softening), y se indicará al programa que reduzca las concentraciones de Ca²⁺ y Mg²⁺ a valores de 0,1mg/l.

Lo cual nos dará unos porcentajes reducidos y aceptables de las sales mencionadas.

Figura 12. Ventana Escala de Información (Scaling Information) final

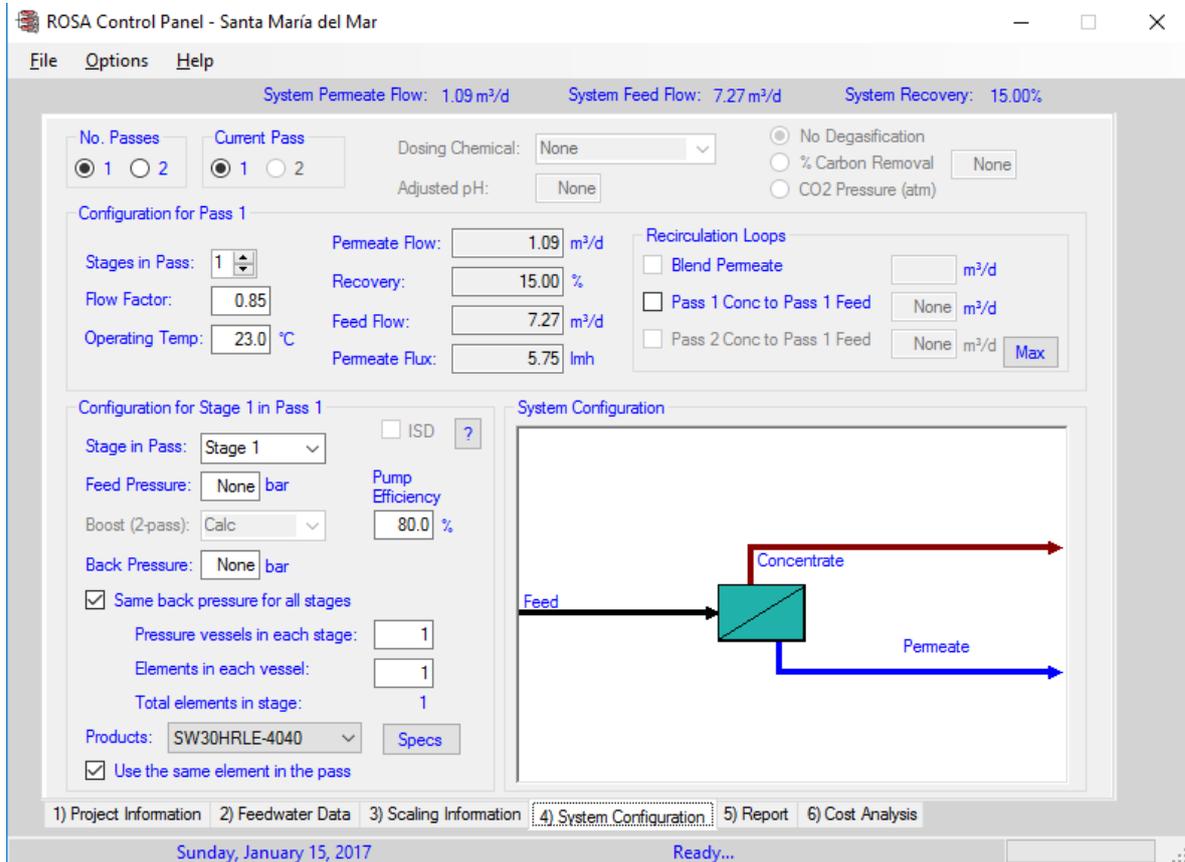


Fuente: Software R.O.S.A.

Como se observa en la figura N°12 tras realizar el ajuste mediante intercambio iónico, todos los parámetros referidos a la precipitación de sales

disminuyen sustancialmente, desapareciendo el aviso que indicaba condiciones incrustantes, luego vamos a la ventana de Configuración del sistema (System Configuration).

Figura 13. Ventana Configuración del sistema.



Fuente: Software R.O.S.A.

En este punto, primeramente identificaremos los valores del sistema, teniendo en cuenta el valor de su SDI, los cuales estará especificado en el Anexo 1 (pág. 68), y tomaremos como referencia la parte de la tabla que nos es de importancia, que se representan a continuación.

Tabla 7. *Directrices de Diseño*

Directrices de diseño para elementos FILMTEC en aplicaciones industriales de agua de mar		
Fuente de Alimentación	Agua de mar	
índice de densidad de sedimentos de alimentación	SDI ⁽³⁾ < 3	SDI < 5
Flujo de objetivo (lm/h) ⁽¹⁾	22	19
% Recuperación	15	13
Diámetro de elemento	Max caudal m ³ /d	
2.5-inch ⁽²⁾	2.6	2.3
4.0-inch	6	5.7
tipo de elemento	Min concentración m3/h	
2.5-inch	0.2	0.2
4.0-inch	0.7	0.9

Fuente: Dow CHEMICAL.

Leyenda

(1) *Flujo de Objetivo*: Este parámetro indica, en lmh (l/m²h) los litros de permeado que atraviesan cada hora 1 m² de membrana.

(2) *Inch = Pulgadas*

(3) *SDI = Índice de Sedimentos.*

Como nuestro SDI es menor a 3 debido a que el agua de mar proveniente del distrito de Santa María del Mar, no presenta un alto índice de ensuciamiento, tomaremos en cuenta el valor asignado para diseños de agua de mar bajo esa alternativa, con un máximo caudal de 6m³/d y 4 pulgadas de grosor de la tubería, teniendo dichos valores ya establecidos como base nos dedicaremos a identificar el tipo de membrana que cumpla con los requisitos mínimos y sea más económico para nuestro proyecto, todo ello según el anexo 2 (pág. 69), que se representan a continuación:

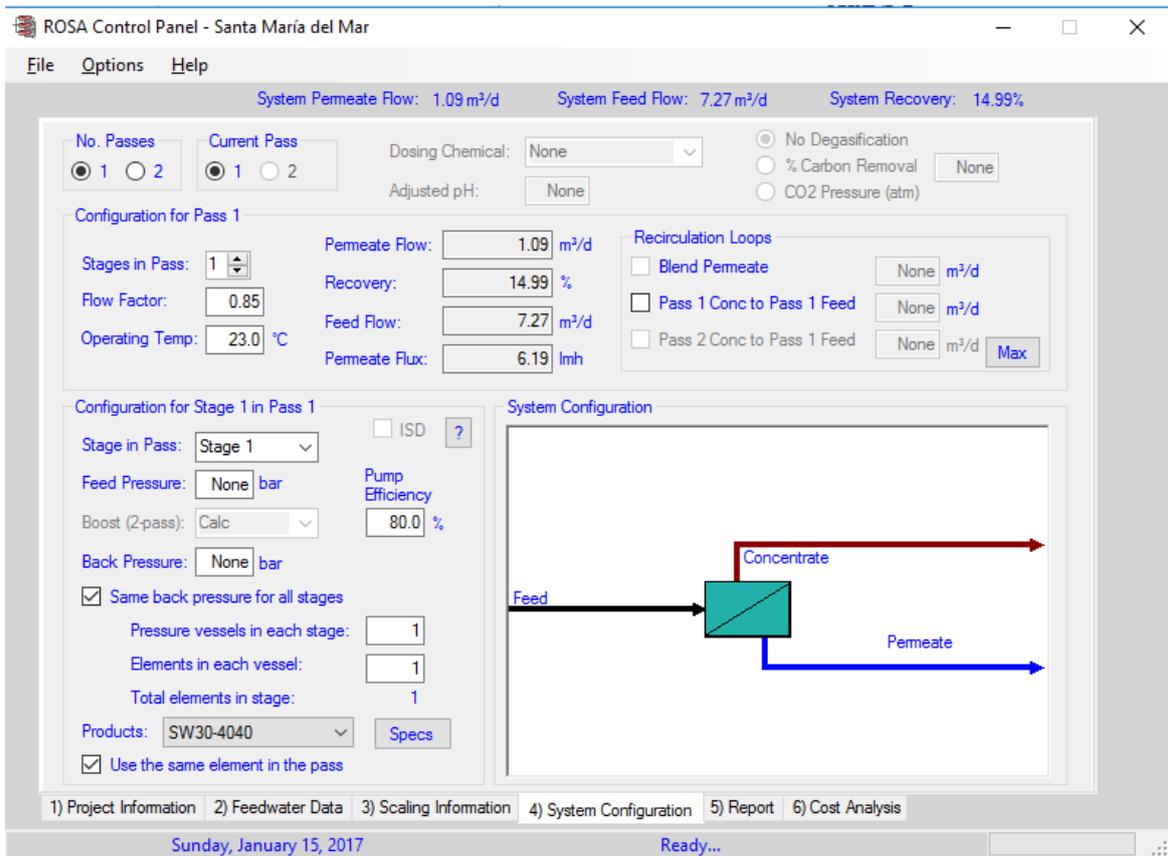
Tabla 8. *Membranas para agua marina*

PRODUCTO	Velocidad de Flujo m³/d
SW 30-2514	0.6
SW 30-2521	1.1
SW 30-2540	2.6
SW 30-4021	3
SW 30-4040	7.4

Fuente: Dow CHEMICAL

Teniendo como referencia el valor de la velocidad de flujo de un sistema para osmosis inversa con SDI menor a 3 y para un diámetro de 4 pulgadas, obtenemos el valor de $6 \text{ m}^3/\text{d}$, cuyo valor es más bajo que la velocidad de flujo de la membrana SW 30-4040 por ello dicha membrana será la seleccionada, como figura en la tabla 8.

Figura 14. Selección del tipo de membrana



Fuente: Software R.O.S.A.

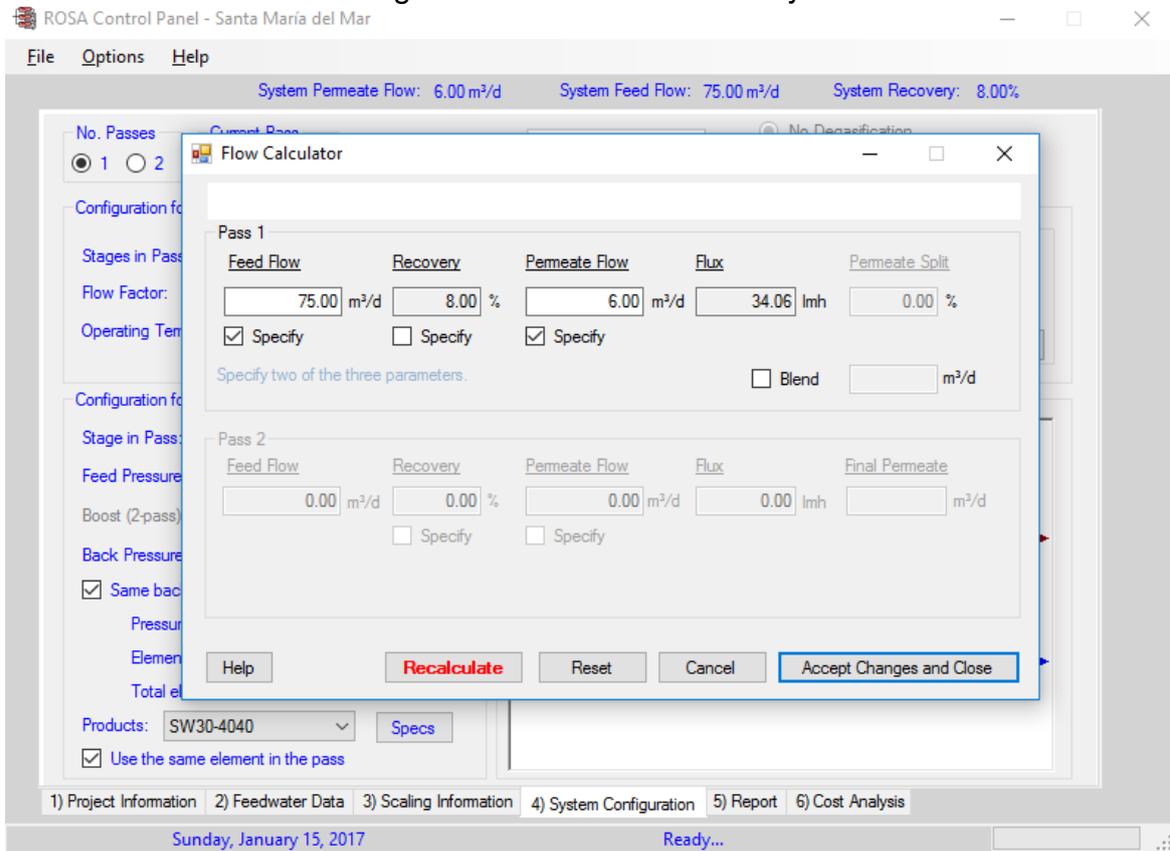
La siguiente operación, consiste en indicar los siguientes parámetros en el software:

El flujo de alimentación $75 \text{ m}^3/\text{día}$.

Flujo de permeado global por diseño de la membrana es de $6 \text{ m}^3/\text{día}$, así como figura en la tabla 7. Al aplicar este valor, la calculadora del software nos da

un valor de 8% de recuperación, y 34.06 lmh (l/m²h) como flujo de permeado, mientras que este valor no puede ser superior al 22 lmh del flujo objetivo.

Figura 15. *Calculadora de Flujo*

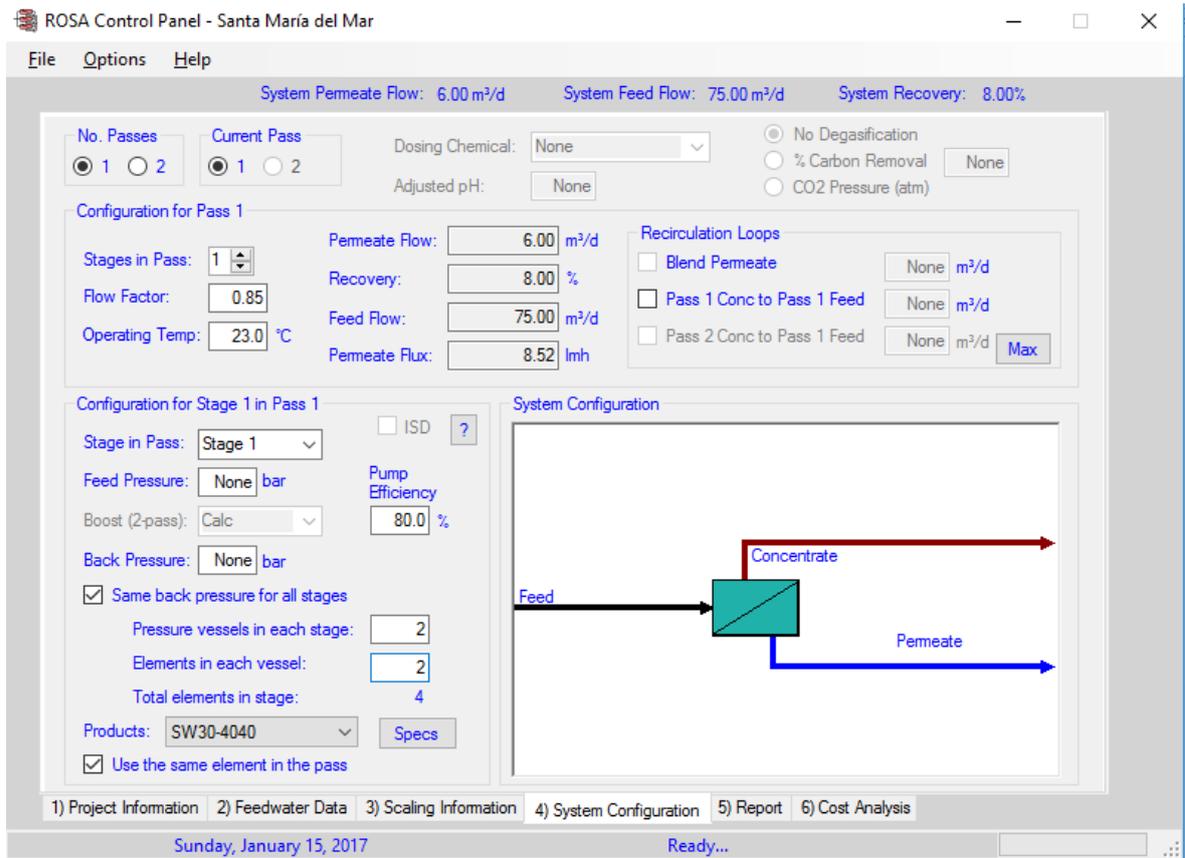


Fuente: Software R.O.S.A.

Para solucionar dicho problema, se procederá a utilizar 2 recipientes de presión (Pressure Vessels) no uno como estaba predeterminado y por ello se utilizarán 2 membranas.

Colocando el nuevo valor nos otorga el resultado de 8.52 lmh, el cual se encuentra dentro de las especificaciones de diseño.

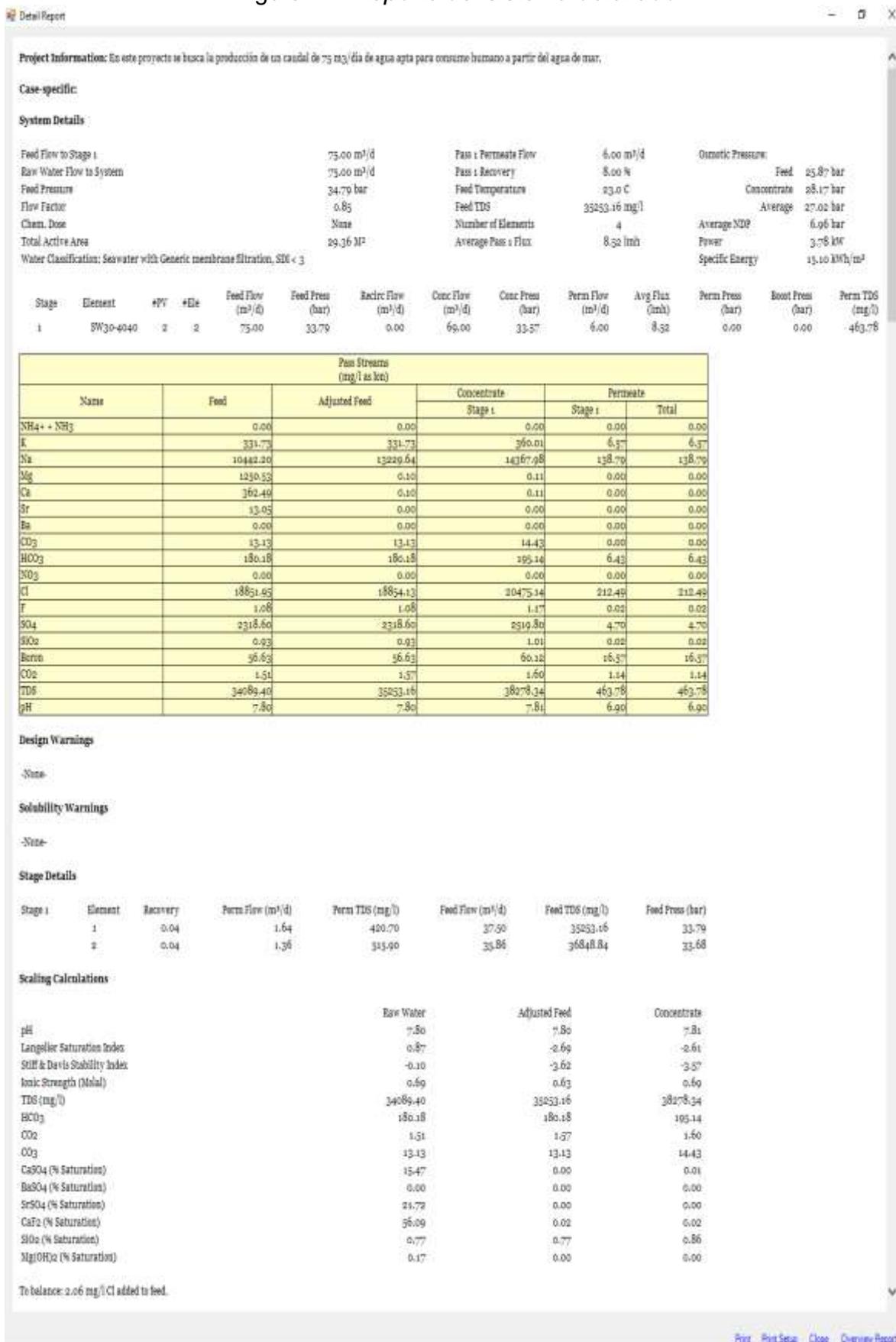
Figura 16. Configuración final del sistema



Fuente: Software R.O.S.A.

Al terminar con la configuración del sistema, nos vamos a la siguiente ventana de reporte de diagnóstico, el cual nos brinda la siguiente información:

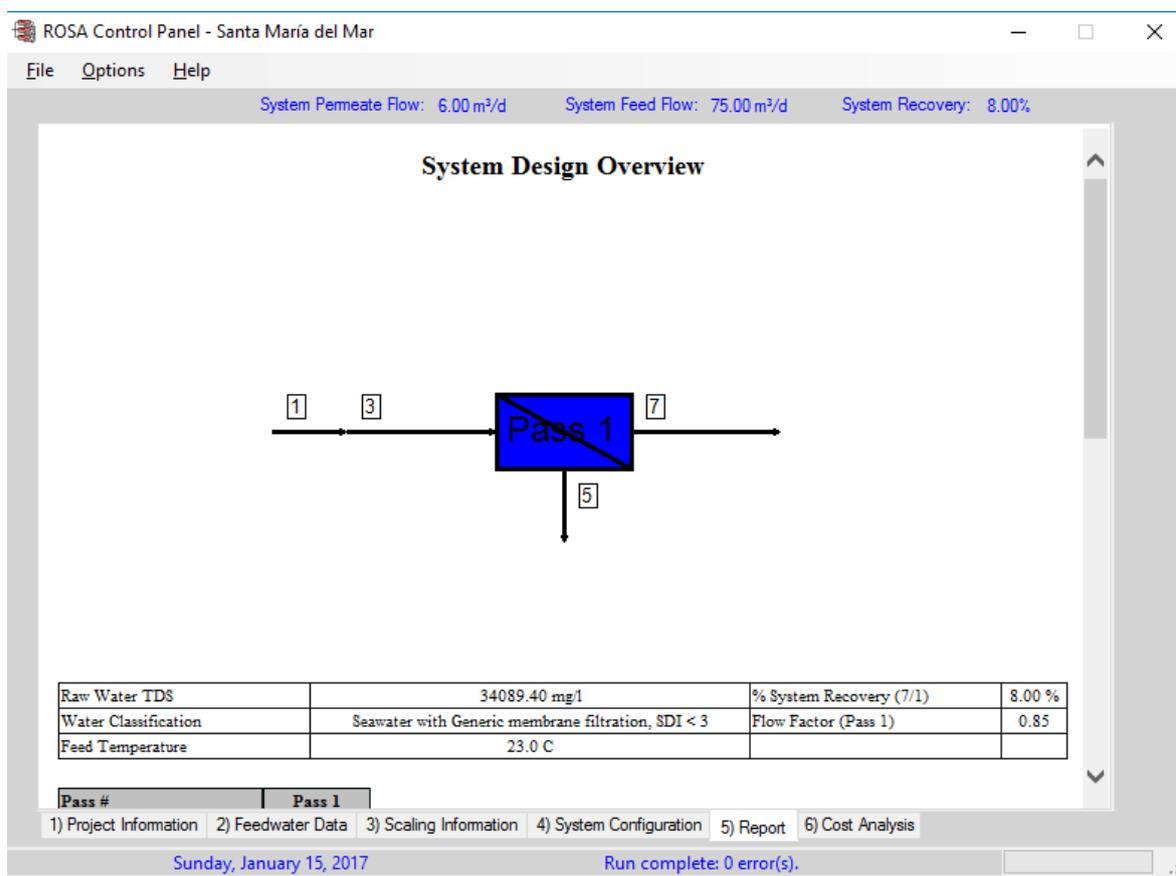
Figura 17. Reporte del sistema detallado



Fuente: Software R.O.S.A.

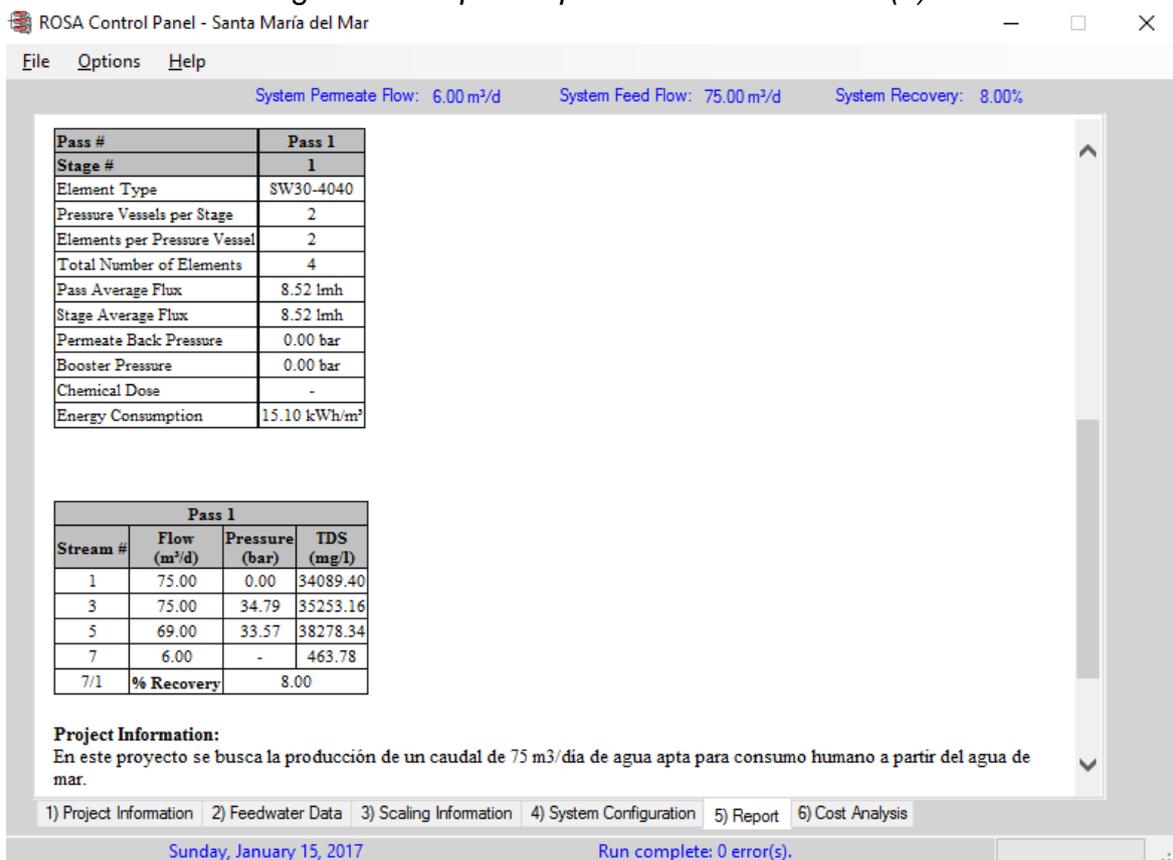
También, nos brinda un informe más operacional.

Figura 18. *Reporte operacional del sistema (1)*



Fuente: Software R.O.S.A.

Figura 19. Reporte operacional del sistema (2)



Fuente: Software R.O.S.A.

Dichos resultados nos indican el funcionamiento del sistema de osmosis inversa.

3.3 REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

Resultado 1

El costo del sistema, es el siguiente:

Figura 20. Costo del Sistema

	A	B
1	Project Identification	
2	Project Name	Santa Maria del Mar
3	Case #	1
4	Project Overview	
5	Unit set for economic evaluation	m ³ -m ³ /h-bar
6	System water production (m ³ /h)	0.25
7	System recovery (%)	8.00
8	Project Economic Variables	
9	Project Life (years)	10
10	Interest rate (%)	10
11	Power cost (\$/kWh)	6.1
12	Pass 1	
13	Projection Results	
14	Pass 1 permeate production (m ³ /h)	0.25
15	Pass 1 feed pressure (bar)	34.79
16	Pass 1 concentrate pressure (bar)	33.57
17	Pass 1 recovery (%)	8.00
18	Pass 1 energy recovery efficiency (%)	
19	Capital Expense	
20	Pass 1 pressure vessels	2
21	Pressure vessel cost (\$/vessel)	243
22	Pass 1 capital for pressure vessels	\$486.00
23	Product	SW30-4040 (2)
24	Pass 1 total elements	4
25	Element cost (\$/element)	\$400.00
26	Pass 1 capital for elements (\$)	\$1600.00
27	Pass 1 capital (\$)	\$2086.00
28	Pass 1 capital(\$/m ³)	\$0.10
29	Operating Expense	
30	Power	
31	Pass 1 pumping power (kW)	3.78
32	Pass 1 pump specific energy (kWh/m ³)	15.10
33	Brine energy recovery (kWh/m ³)	0.00
34	Pass 1 net energy consumption (KWh/m ³)	15.10
35	Pass 1 net energy cost (\$/year)	\$12105.96
36	Energy expense NPV (\$)	74385.91
37	Pass 1 energy expense (\$/m ³)	\$92.13
38	Membrane replacement cost	
39	Pass 1 replacement rate (%/year)	13
40	Replacement price (\$/element)	\$400.00
41	Pass 1 replacement cost for elements (\$/year)	\$208.00
42	Pass 1 replacement membrane NPV (\$)	\$1278.07
43	Pass 1 membrane replacement expense (\$/m ³)	\$0.09
44	Operating expense subtotal	
45	Pass 1 operating expense NPV (\$)	\$75663.98
46	Pass 1 operating expense per m ³	\$92.23
47	Pass 1 Total	
48	Pass 1 cost NPV (\$)	\$1600.00
49	Life Cycle Cost (\$/m ³)	\$0.07
50	Total System	
51	Capital	\$2086.00
52	Operating expense NPV (\$)	\$75663.98
53	Cost of water NPV (\$/m ³)	\$3.55

Fuente: Software R.O.S.A.

El software, nos brinda los precios promedios en dólares, para poder implementar el sistema de Osmosis Inversa en el distrito de Santa María del Mar, se tiene como costo por kWh un valor de \$6.1, lo que es lo mismo que S/ 20.50 Nuevos soles; se necesitara un capital de \$2086.00, equivalente a S/ 7013.13 Nuevos soles, el costo para el funcionamiento del sistema en 10 años, que será el tiempo de vida útil promedio del funcionamiento del sistema, será de \$64741.58, equivalente a S/ 217661.19 Nuevos soles, y dándonos la información de que para desalinizar un metro cubico de agua de mar, se gastaría \$3.61, equivalente a S/12.13 Nuevos soles, tomando como referencia el tipo de cambio de dólar de 3.362.

Resultado 2

Para la desalinización de los diferentes iones que existen en el agua de mar, se observa en el informe mostrado en la figura 17, mediante la instalación proyectada se obtiene un caudal de permeado de $6\text{m}^3/\text{d}$, con un TDS de 463.78 mg/l, mucho menor que los 1000 mg/l máximos fijados en el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (Digesa), y menor que los 500 mg/l recomendados por la EPA.

Además del TDS, hay que tener en cuenta la cantidad de iones para evaluar la calidad del agua. Según Digesa:

- La concentración de cloruros no debe exceder las 250 mg/l , por lo que los 212.49 mg/l del producto se encuentran dentro del límite legal.
- Los iones sodio no deben sobrepasar las 200 mg/l , por lo que el permeado con sus 138,79 mg/l también cumple este parámetro.

El resto de parámetros indicados (dureza total, concentración de sulfatos, etc.) quedan muy por encima de los que presenta el permeado, que cumple holgadamente con la citada normativa.

Así pues, la instalación proyectada cumplirá los objetivos de diseño a costa de un consumo de 15,10 kWh/m³.

Resultado 3

El tipo de membrana SW30-4040, es el tipo de membrana más económico y eficaz para nuestro proyecto de osmosis inversa, el cual a su vez, también cumple con las diferentes condiciones mostradas anteriormente en la elección del tipo de membrana.

CONCLUSIONES

- El proyecto formulado por medio del software R.O.S.A. nos brinda un sistema óptimo para poder desalinizar el agua de mar, teniendo como condiciones un precio accesible para el distrito, ligado a un tiempo de vida útil de 10 años teniendo como referencia que el proyecto trabaje las 24 horas del día sin descanso.
- El costo de operación e implementación del proyecto en el distrito de Santa María del Mar, está relacionado con el valor de la energía en nuestro país, lo cual nos produce un cálculo más exacto y real para la realización del proyecto, teniendo en cuenta la cantidad de dinero que costaría poder desalinizar un m³ de agua de mar.
- Al llevar a cabo el proceso de osmosis inversa, la concentración o proporción de los diferentes sales y/o iones disminuye considerablemente, los cuales se encuentran dentro de los límites máximos permisibles para agua de consumo humano, dicho valor se aprecia en la entrada de concentración de sales con un valor de 34089.39 mg/l , y luego a la salida del filtrado con un valor de 463.78 mg/l lo que equivale a un porcentaje de reducción del 98,63%, así como el valor del pH, que también se encuentra dentro de los límites máximos permisibles.
- El filtro de membrana SW30-4040, es el más indicado para el sistema, debido a que cuenta con los requisitos mínimos para poder desalar el agua de mar, para una alimentación de 75m³/día teniendo un índice de ensuciamiento menor a 3.
- El sistema tendrá una configuración en serie, de un solo filtro con dos recipientes de presión, debido a que no necesitamos reducir aún más los

valores de los iones, el filtro utilizado es indicado para poder desalar el agua para que pueda estar apta para el consumo humano.

- Se necesitara una energía de 15.10KWH/m³ para poder desalar un m³ de agua de mar.
- El porcentaje de recuperación es de 8.00% el cual será de la membrana elegida SW30-4040.

RECOMENDACIONES

- Para el diseño de cualquier sistema de osmosis inversa mediante la simulación del software R.O.S.A. se debe tener un informe sobre las sales presentes y la concentración de ellas en el agua a desalar.
- En la selección de un sistema eficaz, se debe tener como base los diferentes requisitos mínimos de cada una de los posibles filtros de membrana, para así poder seleccionar el que nos sea más útil y a su vez el que sea más económico.
- El software R.O.S.A. tiene una amplia gama de funciones, donde no solo sirve para desalar el agua, sino también para poder simular un sistema para purificar aguas residuales, donde también posee sus respectivas características las membranas correspondientes.
- Utilizar la presente investigación, como base para diferentes proyectos para poder desalar agua de mar y convertirla en agua para consumo humano, en diferentes localidades del país o del mundo.

BIBLIOGRAFIA

- Piña Carlos Alberto (2010). *Desalación de agua de mar, efectos de la temperatura y concentración del agua de alimentación en el proceso de desalación por osmosis inversa*. México.
- Medina José Antonio. (1999). *Desalación de aguas salobres y de mar. Osmosis inversa*. Guatemala.
- Gonzales Olabarría Pedro. (2012). *Desalación de aguas mediante osmosis inversa*. Recuperado de <http://www.casadellibro.com>
- Fariñas Iglesias Manuel. (1999). *Osmosis inversa*. España: McGraw-Hill.
- Ibáñez Mengual Berna. (Ed). (1997). *Desalación por membranas (desalinización. Osmosis inversa. Electrodialisis.)* España.
- International Atomic Energy Agency (2001). *Introduction of Nuclear Desalination Technical Reports*. Vienna-Italia.
- Soto Álvarez Guido & Soto Benavides Manuel. (2002). *Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo*. España: PHI-VII / Documento Técnico N° 33
- Colegio De Ingenieros De Caminos, Canales Y Puertos (1999). *Desalación de aguas*. España.
- DIGESA (2011). *Reglamento de la calidad de agua para consumo humano*. Perú.
- Juan Nava (2012). *Tratamiento químico anti incrustante en los pozos productores de crudo del campo de Barua Motatan*. Venezuela.
- Alvaro Muelas (2011). *Manual de utilización del software "R.O.S.A." para Simulación de unidades de Ósmosis inversa*. España.

- Fundación Centro Canario del Agua (2015), *Estándares de Calidad de Agua: Cálculos de índices de calidad*. España.
- Cumbre de la tierra de Johannesburgo (2002). República de Sudáfrica.
- Orellana Hernán Ríos (1987). *Diseño de una planta desalinizadora por osmosis inversa*. Ecuador.
- García Carlos (2002). *Aplicación de la Osmosis Inversa y la nanofiltración en el acondicionamiento de aguas para calderas*. España.
- Rosales Rosalía (2004). *Desarrollo de prototipos para la potabilización de agua para comunidades rurales*. México.
- Delgado Agustín (2006). *Diseño preliminar de un sistema de desalación de Osmosis Inversa mediante energía solar térmica*. España.
- Correa Felipe (2007). *Evaluación de la sustentabilidad en la instalación de plantas desaladoras, de agua de mar, en la región noroeste de México*. México.
- Trejo Radamés (2008). *Investigación sobre la eliminación de sales metálicas por procedimientos avanzados*. España.
- Caminati Alessandra (2013). *Análisis y diseño de sistemas de tratamiento de agua para consumo humano y su distribución en la universidad de Piura*. Perú.
- Organismo Mundial de la Salud (2008). *Guías para la calidad del agua potable*, Vol 1. Suiza.
- Pílares A. (24 de Mayo del 2015). *¿Cuántos litros de agua consumes al día?*, Diario El Comercio. Perú.
- Cifuentes J. (1997). *El océano y sus recursos*. México

ANEXOS

ANEXO 1 Directrices de Diseño – pág. 52

Figura 21. *Directrices de diseño para elementos FILMTEC industriales y aplicaciones en agua de mar*

Design guidelines for FILMTEC elements in light industrial and small seawater applications

Feed source	RO permeate	Well water	Softened Municipal	Surface	Wastewater (filtered tertiary effluent)		Seawater	
					MF ¹	Conventional	Well or MF ¹	Open intake
Feed silt density index	SDI < 1	SDI < 3	SDI < 3	SDI < 5	SDI < 3	SDI < 5	SDI < 3	SDI < 5
Typical target flux, gfd (l/m ² h)	22 (37)	18 (30)	16 (27)	14 (24)	13 (22)	11 (19)	13 (22)	11 (19)
Maximum element recovery %	30	19	17	15	14	12	15	13

Element diameter	Maximum permeate flow rate, gpd (m ³ /d)							
2.5-inch	800 (3.0)	700 (2.6)	600 (2.3)	500 (1.9)	500 (1.9)	400 (1.5)	700 (2.6)	600 (2.3)
4.0-inch (except full-fits and LC products)	2,200 (8.4)	1,800 (6.8)	1,600 (6.0)	1,400 (5.4)	1,300 (4.8)	1,100 (4.1)	1,600 (6.0)	1,500 (5.7)
4.0-inch diameter (LC products)	2,600 (10.1)	2,100 (8.2)	1,900 (7.2)	1,700 (6.5)	1,500 (5.7)	1,300 (5.0)	-	-
Full-fit 4040	2,500 (9.7)	2,000 (7.8)	1,800 (6.9)	1,600 (6.2)	1,400 (5.5)	1,300 (5.0)	-	-

Element type	Minimum concentrate flow rate, gpm (m ³ /h) ¹							
2.5-inch diameter	0.7 (0.16)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)
4.0-inch diameter (except full-fits)	2 (0.5)	3 (0.7)	3 (0.7)	3 (0.7)	4 (0.9)	5 (1.1)	3 (0.7)	4 (0.9)
Full-fit 4040	6 (1.4)	6 (1.4)	6 (1.4)	6 (1.4)	6 (1.4)	6 (1.4)	NA	NA

Element type	Maximum feed flow rate	Maximum pressure drop per element	Maximum feed pressure
	U.S. gpm (m ³ /h)	psig (bar)	psig (bar)
Tape-wrapped 2540	6 (1.4)	13 (0.9)	600 (41)
Fiberglassed 2540	6 (1.4)	15 (1.0)	600 (41)
Seawater 2540	6 (1.4)	13 (0.9)	1,000 (69)
Tape-wrapped 4040	14 (3.2)	13 (0.9)	600 (41)
Fiberglassed 4040	16 (3.6)	15 (1.0)	600 (41)
SW Fiberglassed 4040	16 (3.6)	15 (1.0)	1,000 (69)
Full-fit 4040	18 (4.1)	15 (1.0)	600 (41)

Fuente: DOW Chemical.

Figura 22. Especificación de Productos.

DOW FILMTEC™ Membranes

DOW FILMTEC Seawater RO Elements for Marine Systems

Features

Improved DOW FILMTEC™ seawater reverse osmosis elements offer the highest productivity while maintaining excellent salt rejection.

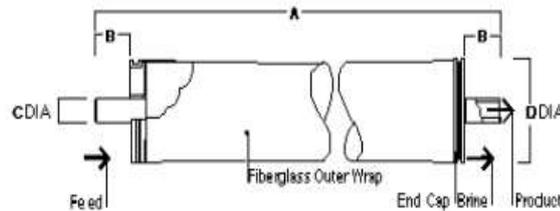
- DOW FILMTEC SW30 membrane elements have the highest flow rates available to meet the water demands of both sea-based and land-based desalinators.
- DOW FILMTEC SW30 elements may also be operated at lower pressure to reduce pump size, cost and operating expenses.
- Improved DOW FILMTEC seawater membrane combined with automated, precision element fabrication result in the most consistent product performance available.

Product Specifications

Product	Part Number	Applied Pressure psig (bar)	Permeate Flow Rate gpd (m ³ /d)	Stabilized Salt Rejection (%)
SW30-2514	80733	800 (55)	150 (0.6)	99.4
SW30-2521	80734	800 (55)	300 (1.1)	99.4
SW30-2540	80737	800 (55)	700 (2.6)	99.4
SW30-4021	80740	800 (55)	800 (3.0)	99.4
SW30-4040	80741	800 (55)	1,950 (7.4)	99.4

1. Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 32,000 ppm NaCl, pressure specified above, 77°F (25°C) and the following recovery rates: SW30-2514 – 2%, SW30-2521 & SW30-4021 – 5%, SW30-2540 & SW30-4040 – 8%.
2. Permeate flows for individual elements may vary +/-20%.
3. For the purpose of improvement, specifications may be updated periodically.

Figure 1



Product	Maximum Feed Flow Rate gpm (m ³ /h)	Dimensions – Inches (mm)			
		A	B	C	D
SW30-2514	6 (1.4)	14.0 (356)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)
SW30-2521	6 (1.4)	21.0 (533)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)
SW30-2540	6 (1.4)	40.0 (1,016)	1.19 (30.2)	0.75 (19)	2.4 (61)
SW30-4021	16 (3.6)	21.0 (533)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)
SW30-4040	16 (3.6)	40.0 (1,016)	1.05 (26.7)	0.75 (19)	3.9 (99)

1. Refer to DOW FILMTEC Design Guidelines for multiple-element systems.
 2. SW30-2514, SW30-2521 and SW30-2540 elements fit nominal 2.5-inch I.D. pressure vessels.
 - SW30-4021 and SW30-4040 elements fit nominal 4-inch I.D. pressure vessel.
- 1 inch = 25.4 mm

Fuente: DOW Chemical.