



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Diseño de una planta desalinizadora con sistema de osmosis inversa para producir 20000 m³/día

MEMORIA PRESENTADA POR:

Jordi Colomina Montava

GRADO DE INGENIERÍA QUÍMICA

Convocatoria de defensa: Septiembre 2016

Tabla de contenido

Memoria	5
1. Introducción	6
1.1. Distribución mundial del agua.....	6
1.2. Recursos hídricos en Chile.....	6
1.2.1. Disponibilidad natural del agua.....	7
1.2.2. Disponibilidad por Regiones.....	8
1.2.3. Disponibilidad en Coliumo	8
2. Antecedentes	9
2.1. Situación global de la desalinización.....	9
2.2. Desalinización en Chile.....	10
3. Elección del método de desalinización	12
3.1. Evaporación súbita flash (MSF).....	12
3.2. Destilación multiefecto con tubos horizontales (MED)	13
3.3. Termocompresión de vapor y compresión mecánica.....	13
3.4. Osmosis inversa.....	13
3.5. Electrodialísis.....	15
3.6. Intercambio iónico	15
3.7. Justificación de la elección	16
4. Introducción al diseño.....	17
5. Ubicación de la planta.....	18
6. Proceso.....	19
6.1. Proceso general.....	19
6.2. Proceso detallado.....	20
6.2.1. Captación.....	20
7. Pretratamiento.....	26
7.1. Pretratamiento químico	26
7.1.1. Coagulación	26
7.1.2. Desinfección	28
7.1.3. Regulación del pH.....	30
7.1.4. Reducción de agentes oxidantes.....	31
7.1.5. Antiincrustante	33
7.2. Pretratamiento físico.....	34
7.2.1. Filtro de anillas	34
7.2.2. Ultrafiltración	35
7.2.3. Filtro de cartucho	43

8.	Osmosis inversa.....	46
8.1.	Descripción del proceso	46
8.2.	Parámetros del agua que afectan al proceso.....	46
8.2.1.	Salinidad	46
8.2.2.	pH	46
8.2.3.	Presión a la entrada.....	47
8.2.4.	Temperatura.....	47
8.3.	Diseño del sistema de osmosis inversa	47
8.3.1.	Consideraciones de diseño.....	47
8.3.2.	Simulación con ROSA.....	48
8.3.3.	Limpieza de las membranas	54
8.3.4.	Diseño del sistema SIP de recuperación de energía	54
9.	Posttratamiento	56
9.1.	Lecho de calcita	56
9.1.1.	Dosificación de CO ₂	57
9.1.2.	Diseño de los lechos de calcita	58
10.	Vertido de salmuera.....	59
11.	Bombas y conducciones.....	60
11.1.	Material	60
11.2.	Explicación del proceso de cálculo.....	60
11.3.	Cuadro resumen de las bombas de la planta	63
12.	Tanques	64
12.1.	Tanque de agua producto	64
12.2.	Tanque intermedio.....	64
12.3.	Tanque de neutralización.....	65
12.4.	Tanque de lavado CIP	65
13.	Conclusiones.....	67
14.	Bibliografía	68
15.	Índice de figuras	69
16.	Índice de Tablas.....	70
	Estudio económico	71
1.	Introducción	72
1.1.	Costes de inversión	72
1.2.	Costes de explotación	73
1.2.1.	Costes fijos	74
1.2.2.	Costes variables.....	76

2. Coste del agua	79
Anexos	80
Plano de la planta	81
Cálculo de bombas	82
Script en Matlab para el cálculo del factor de rozamiento “ f ” con el uso de la ecuación de Colebrook-White	96
Datos de las simulaciones realizadas con el software ROSA.....	98

Memoria

1. Introducción

Actualmente, raro es el día en el que no hay noticias sobre problemas sociales, crisis económicas, terrorismo, desastres ambientales... Sin embargo, hay ciertos problemas a los que no se presta demasiada atención, se piensa que no son inmediatos y no obstante, ya se están viviendo sus primeros efectos: cambio climático, falta de recursos naturales, entre los que destaca la escasez de combustibles fósiles, contaminación del aire y la escasez de agua.

Todos estos problemas han sido provocados por el hombre, ha aumentado la población mundial, donde una parte reducida de la población disfruta de la mayoría de los recursos, mientras que la otra sufre escasez de alimentos, agua y recursos.

Se está llevando el planeta al límite, se debe pensar en el futuro y por tanto, en cuidar el medioambiente e incentivar el desarrollo de alternativas energéticas. Empezar a reducir el consumo de recursos, entre los que destaca el agua, con alternativas medioambiental y energéticamente viables.

1.1. Distribución mundial del agua

De los 1,300 trillones de litros de agua que hay en la tierra, un 97.23% se encuentra en los océanos, en los casquetes polares un 2.15% y en mares un 0.008%. Es decir, un 99.38% del agua terrestre no es apta para el consumo humano o no es accesible.

El agua dulce se encuentra dividida entre acuíferos, lagos, en la humedad del suelo y en la atmósfera, por tanto el ser humano sólo puede acceder al 1% del total de agua del planeta.

Por lo cual, el agua juega un papel fundamental en el desarrollo, tanto para la agricultura, como para la industria, sin olvidar lo importante que es para la población. Actualmente los recursos hídricos naturales de los que disponga un país, no son un factor determinante en cuanto a su capacidad de desarrollo económico, ya que la tecnología para obtener agua potable se haya en un estado muy avanzado.

1.2. Recursos hídricos en Chile

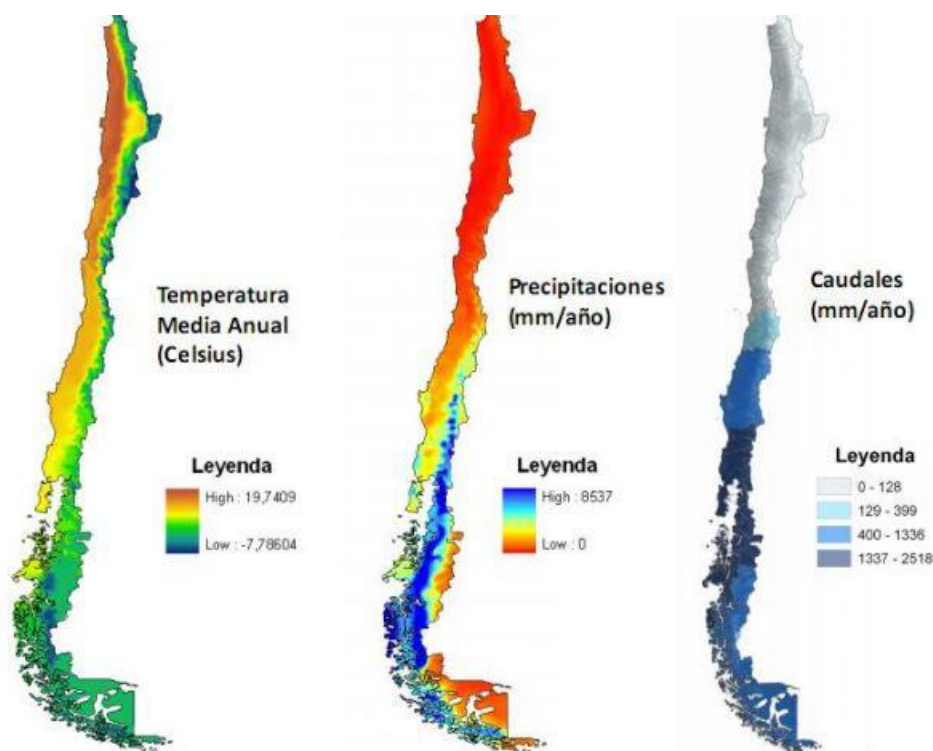
Chile es un país privilegiado en cuanto a la disponibilidad de recursos hídricos de superficie, además, cuenta con una de las mayores reservas de agua en campos de hielo, en la zona austral.

No obstante, el agua no está distribuida de igual forma en el territorio, encontrándose zonas de gran abundancia en la zona sur y otras de escasa disponibilidad en las regiones del norte, debido a las distintas condiciones físicas y climáticas. Debida a esta irregularidad en el reparto de los recursos hídricos, han existido diversos conflictos entre las empresas mineras y los indígenas a lo largo del tiempo.

Al mismo tiempo que dichos conflictos se han intensificado, durante las últimas décadas también se han acrecentado los problemas relacionados con el acceso, gestión y gobernabilidad

del recurso, debido principalmente a diversos problemas sociales y ambientales, la contaminación y los megaproyectos.

Chile ha sido uno de los primeros países en implementar un régimen de libre mercado en el manejo de recursos hídricos, reconociendo su carácter de bien público y bien económico. Teniendo esto en cuenta, el agua ha pasado a ser un recurso regido por las normas de la propiedad privada, a estar por tanto, regida bajo la ley del comercio libre. El Estado concede los derechos del agua al sector privado gratuitamente, provocando esto que el agua no se reparta igualitariamente, además de provocar un uso ineficiente de este recurso. Esto perjudica la disponibilidad del agua en el ámbito local, dificulta la conservación de ecosistemas y la utilización para turismo, agricultura, generación eléctrica y salud.



Figura

Figura 1: Temperatura, Precipitaciones y Caudales anuales en Chile

1.2.1. Disponibilidad natural del agua

Según el Balance Hídrico de Chile, el caudal medio anual de los ríos es de 928 Km³/año, siendo éste el 2.1% del caudal mundial, o el 7.9% de América del Sur. Por otra parte, el informe "Estado del Medio Ambiente 2002", por universidad de Chile, concluye que la disponibilidad media del país es de 5475 m³/año y habitante, mientras que el valor promedio de disponibilidad de agua para el consumo humano mundial es de 9500 m³/año y habitante. Si se incluyeran los glaciales del sur de Chile, esta disponibilidad aumentaría hasta los 70000 m³/año y habitante, sin embargo dichas reservas no están disponibles.

Estos valores no reflejan el desigual reparto de recursos hídricos en el país, la precipitación media anual es de 1522 mm, sin embargo la precipitación varía sustancialmente de unas

regiones a otras, dada la diversidad geoclimática del territorio. Por ejemplo, el extremo norte es uno de los lugares más áridos del planeta, no llegando a los 0.5 mm de precipitación anual, mientras que en la región de Los Lagos y la región del Aysén del General Carlos Ibáñez, situadas al sur, la precipitación supera los 3000 mm anuales.

1.2.2. Disponibilidad por Regiones

Entre las regiones de Tarapacá y Metropolitana (norte), la disponibilidad natural del agua es inferior a 1000 m³/año y habitante, llegando a ser de 500 m³/año y habitante en algunos sectores, cifra considerada como altamente restrictiva.

No sólo esto, sino que además en dichas zonas, habita el 51.9% de la población de Chile, según el Censo de habitantes. En estas regiones también se desarrolla una de las actividades económicas más importantes, a la par que demandante de agua, del país como es la minería de cobre.

Las demandas de agua ejercen una fuerte presión sobre los recursos hídricos. Entre las regiones I y Metropolitana las demandas superan el caudal disponible, debido al uso reiterado de los recursos hídricos de los valles. Consecuentemente, en periodos de sequía, el agua sobrante que llega al océano es prácticamente nula. Entre las regiones del Libertador General Bernardo O'Higgins y la región de Araucanía, situadas en el centro del país, la relación demanda/disponibilidad esta equilibrada, mientras que desde la región de Los Lagos hasta el sur del país la disponibilidad supera ampliamente las demandas.

En cuanto al consumo de agua, el promedio de Chile es superior a los 1000 m³/año y habitante, sin embargo, en ciudades como Santiago de Chile, la disponibilidad no supera los 800 m³/año y habitante. Por ejemplo, en España el consumo de agua es de 1200 m³/año y habitante, con una disponibilidad que supera los 2000 m³/año y habitante.

1.2.3. Disponibilidad en Coliumo

La localidad de Coliumo, que es donde se va a instalar la planta desalinizadora, forma parte de la región del Bío Bío, y es una de las más castigadas por la sequía. Actualmente un 20% de los habitantes se encuentra sin acceso a agua corriente, teniendo que recurrir al reparto de agua en camión cisterna, un sistema poco efectivo. La otra alternativa que valoran los habitantes de la región es la compra de agua embotellada, una opción que se antoja imposible de mantener económicamente durante un período de tiempo elevado.

La localidad ha recibido una fuerte inversión en el sector pesquero por parte del gobierno chileno, del que se nutre la población. Sin embargo la falta de agua corriente supone un grave problema para dicho sector: por muy bueno que sea el día de pesca, si no se dispone de hielo para conservar el pescado fresco, no se va a poder proceder a su exportación.

Los representantes de la localidad ya han pedido al gobierno chileno soluciones, entre las que se contempla la construcción de una planta desalinizadora.

2. Antecedentes

2.1. Situación global de la desalinización

En estos momentos unos 260 millones de personas beben agua procedente de una planta de desalinización en el mundo. Sin embargo, este número irá en aumento debido al previsible aumento de la población mundial y la no menos previsible falta de agua potable.

Actualmente el principal problema de este tipo de producción de agua es el alto coste económico debido fundamentalmente a la gran cantidad de energía que es necesaria para llevarlo a cabo. Sin embargo, a medida que la tecnología avanza, el consumo disminuirá.

Las primeras instalaciones desalinizadoras construidas en los 70 eran de tipo térmico con evaporadores de etapa flash múltiples (MSF) o de destilación de efecto múltiple (MED), con unos consumos superiores a 40 Kwh/m³.

En los 80 surgieron las plantas desalinizadoras de compresión de vapor, con consumos de 15 Kwh/m³. Y también las primeras plantas de osmosis inversa, con un consumo de 10 Kwh/m³. Actualmente el campo de la osmosis inversa se ha visto ampliamente mejorado con pequeñas innovaciones tecnológicas en los sistemas de recuperación de energía, disminuyendo el consumo hasta los 3 Kwh/m³.

Según datos del IDA (International Desalination Association), actualmente alrededor de 150 países dependen de la desalinización para satisfacer sus necesidades de agua. A nivel mundial, se producen 80 millones de metros cúbicos al día en las 17000 plantas de desalinización, de las cuales la mitad utilizan agua de mar.

Un ejemplo claro de países que dependen de este proceso para cubrir sus necesidades de agua son los países de oriente medio. Dichos países son ricos en recursos energéticos fósiles, pero no disponen de una gran cantidad de agua.

En cuanto al método de desalación, a nivel mundial el 70% de las plantas de desalinización térmica se han pasado a la osmosis inversa. Aunque dicho sistema tiene problemas en lugares donde la temperatura es muy alta, sin embargo, las investigaciones actuales están dirigidas a la creación de nuevas membranas capaces de operar a baja presión y alta temperatura.

El futuro de la desalinización se centra en el desarrollo de varias tecnologías nuevas con el objetivo de reducir el consumo de las plantas. También el desarrollo de procesos que utilicen energías renovables. Unos ejemplos de tecnologías en desarrollo son:

La desalinización por adsorción es uno de los procesos con mayor eficiencia de los que se encuentran en desarrollo. Este proceso puede utilizar la energía solar para desalinizar el agua, sin embargo todavía existen problemas relacionados con el gran coste de inversión inicial.

Otro ejemplo es la desalinización por membrana. Un proceso de baja energía impulsada térmicamente que utiliza una membrana hidrófoba para separar el agua por equilibrio líquido-vapor. Sin embargo, es necesario seguir desarrollando este proceso, ya que actualmente el proceso tiene muy poca eficiencia energética.

2.2. Desalinización en Chile

En la zona sur de Chile las precipitaciones son 10 veces mayores a las de la zona sur, por lo tanto el agua se encuentra repartida de forma poco homogénea en el país, y éste sufre un problema grave de disponibilidad.

El Gobierno del país mediante la Dirección General de Aguas, destina un derecho de aprovechamiento de agua a aquellos ciudadanos que lo requieran para la realización de una actividad económica. Este sistema se conoce como “mercado de aguas”.

El particular debe informar del objeto en el que se empleará el agua, cuánta requiere y el tipo de uso que se le va a dar. Esta concesión es perpetua, ilimitada y gratuita. Pero ha aparecido un mercado de aguas en el país, debido a que los particulares negocian con otros ciudadanos la cantidad de agua que no necesitan y les sobra. La Dirección General de Aguas establece multas cuando no se utiliza toda el agua solicitada.

La ley por la que se rige este sistema, de tendencia mercantilista, es el Código de Aguas de 1981, y reformada en 2005. Se espera una nueva modificación próxima para paliar la escasez de agua.

Existen más de 40 instituciones, tanto públicas como privadas, relacionadas con el agua en el país. Las gubernamentales dependen de ministerios como el de Medio Ambiente, del que dependen el Servicio Agrícola y la Comisión Nacional del Riesgo. También del Ministerio de Obras Públicas, del que dependen la Dirección de Obras Hidráulicas, la Superintendencia de Servicios Sanitarios y la Dirección General de Aguas. Además, también existe la Comisión Nacional del Medio Ambiente que promueve la sostenibilidad.

Cuando dos o más particulares tienen derecho de aprovechamiento sobre el mismo caudal, aparecen las Organizaciones de Usuarios de Aguas, estas en el ámbito privado.

Desde el Banco Mundial se ha propuesto la creación de una entidad única, la Subsecretaría Hídrica, que supervise todo lo relacionado con los derechos y adquisición del agua, la calidad y las multas; así como de la protección de los recursos. Esto se debe a que existe un exceso de actores competentes en esta materia, que obstaculizan y generan deficiencias en el sector.

En el norte del país las fuentes tradicionales de agua se están agotando, por este motivo son cada vez más caras y más peligrosas para el consumidor. El estado del agua potable es todavía peor, por ello se buscan alternativas para producir agua potable.

La primera planta desalinizadora de Chile se construyó en 1857 en Antofagasta. Dicha planta depuraba el agua de forma artesanal y se producía muy poca cantidad. Sin embargo esta planta sirvió para paliar la sed en uno de los desiertos más áridos del mundo. Actualmente hay plantas desalinizadoras en Antofagasta, Caldera o Isla de Pascua, de las cuales la mayoría utiliza agua de mar para la producción de agua. Los usos del agua producto pueden ser para consumo humano o industrial.

La primera planta moderna se construyó en Antofagasta por la empresa “*Aguas de Antofagasta*” para abastecer a la capital de la minería chilena. Al año siguiente se construyó otra en Taltal. La desalinizadora de Antofagasta abastece al 60% de los residentes de la ciudad, mientras que la de Taltal al 20%.

Actualmente se encuentra en proceso de construcción una de las plantas desalinizadoras más grandes de Sudamérica en Puerto Coloso, al sur de Antofagasta. La construcción se lleva a cabo por la empresa "*Minera Escondida*". Dicha desalinizadora producirá 216 millones de litros al día. La instalación tiene un coste de 3430 millones de dólares y se espera que empiece a funcionar en 2017.

El metro cúbico de agua desalinizada en Chile tiene un precio de 1 dólar, alrededor de 0.80 €. Sin embargo, debido a la conducción hasta el interior del país, el coste puede aumentar hasta los 8 dólares por metro cúbico.

3. Elección del método de desalinización

En una planta de desalinización el proceso más importante es el que elimina las sales del agua. Por esta razón es importante elegir correctamente el método que se va a emplear en función de las características de la planta, del caudal a tratar, la disponibilidad de energía, las características del agua, etc.

En la desalinización se puede separar el agua de las sales o las sales del agua. Se va a clasificar los métodos de desalinización en función de ello:

Los métodos en los cuales se separa el agua de las sales, utilizando como energía vapor y como proceso la evaporación, son la destilación solar, la destilación súbita múltiple, la destilación con tubos sumergidos, la destilación multiefecto con tubos horizontales o verticales y la compresión mecánica o térmica de vapor. También se puede separar el agua de las sales usando frío, con un proceso por cristalización, con un sistema de formación de hidratos o de congelación. Por último, si se utiliza la presión como energía y se usan membranas en el proceso, el sistema será de osmosis inversa.

Los métodos en los cuales se separan las sales del agua, utilizando energía eléctrica y membranas son electrodiálisis u osmosis directa. Si se utilizan procesos químicos y resinas, serán sistemas de intercambio iónico. Y por último si se utilizan disoluciones y disolventes el sistema será de extracción con disolventes.

Hoy en día se encuentran obsoletos el sistema de destilación por tubos sumergidos y la destilación multiefecto, aunque fueron los primeros en desarrollarse. Otro sistema no viable es el de congelación, ya que todavía se encuentra en desarrollo.

Los sistemas que son viables para su aplicación industrial son la evaporación súbita flash (MSF), la destilación múltiple efecto (MED), la termocompresión de vapor (TVC), la compresión de vapor mecánica (CV), la electrodiálisis (ED) y la osmosis inversa (OI).

3.1. Evaporación súbita flash (MSF)

El proceso consiste en la destilación de agua de mar y la condensación posterior del vapor obtenido, recuperando el calor latente para calentar más agua de mar y repetir el proceso.

Como la transmisión de calor no es con área infinita y no tiene un infinito número de etapas, el proceso debe disponer de una fuente externa que aporte calor y aumente la temperatura para que el proceso no se detenga.

Este es el sistema más utilizado globalmente porque los resultados son buenos independientemente de la calidad del agua bruta y que, debido a la gran facilidad para encadenar varios de estos procesos en cascada, la capacidad de producción es muy alta.

El gran inconveniente de la destilación súbita es el gran consumo de energía que necesita para producir un metro cúbico de agua producto.

3.2. Destilación multiefecto con tubos horizontales (MED)

Este proceso también consiste en evaporar el agua de mar, condensar el vapor obtenido y recuperar el calor latente de condensación del vapor para calentar más agua de mar.

El coste de inversión es mayor que en el sistema de MSF, pero es más sencilla de operar y tiene un coste de operación menor. Este sistema se ha utilizado en plantas de tamaño medio, y es muy aconsejable cuando se aprovechan los calores residuales procedentes del vapor de escape de las turbinas, motores diésel, turbinas de gas, etc., en las instalaciones de cogeneración y cuando no se pueden aplicar otros procesos.

3.3. Termocompresión de vapor y compresión mecánica

Los procesos de destilación que utilizan la compresión de vapor se utilizan para plantas de pequeña dimensión. La energía que se va a utilizar para evaporar el agua proviene de la compresión del vapor, en lugar de por contacto directo.

La compresión mecánica utiliza energía eléctrica. Es el más utilizado, y su funcionamiento se basa en la utilización de un compresor mecánico para transmitirle al agua la energía necesaria para que se evapore.

El sistema de compresión térmica se basa en la creación de un chorro de vapor a través de un orificio tipo Venturi y extrae el vapor de agua creando un vacío.

3.4. Osmosis inversa

La osmosis directa es un proceso que ocurre en la naturaleza cuando 2 soluciones, con diferentes concentraciones, se ponen en contacto una con otra separadas por una membrana semipermeable, existe una circulación natural de la solución menos concentrada a la solución más concentrada para igualar las concentraciones finales. A la diferencia de altura que se genera entre las dos soluciones se le llama presión osmótica.

El proceso de osmosis inversa consiste en aplicar una presión externa mayor que la presión osmótica entre las dos soluciones para conseguir la inversión del proceso, es decir, que exista circulación de la solución con menos sales a la solución con más sales.

El sistema es recomendable para plantas desalinizadoras porque aunque el agua no es tan pura como la obtenida con los procesos de destilación, sí es lo suficientemente pura para cumplir con los requisitos necesarios para su consumo.

Este proceso de desalinización es uno de los más utilizados ya que el consumo eléctrico es menor que el de los procesos de destilación. Además, la energía utilizada depende de la concentración del agua bruta. Se adapta fácilmente a las necesidades de agua producto de la zona y los costes de inversión son significativamente menores que en los procesos de destilación.

Algunas ventajas de este proceso son:

- Es un proceso muy efectivo

En la creación de agua apta para el consumo humano, el método de la osmosis inversa ha demostrado ser efectiva. Las plantas desalinizadoras, cuando son diseñadas correctamente, son capaces de crear agua de buena calidad.

- La fuente de alimentación es el océano

El agua de mar puede servir como fuente de recursos ilimitados, incluso suponiendo que toda el agua que se consumiera en la tierra proviniera de la desalinización. Esto permitiría que, incluso en épocas de sequía, la población mundial tuviera acceso al agua para consumo y para agricultura.

- Puede eliminar las crisis derivadas de la falta de agua

En muchas partes del mundo se producen crisis debido a la sequía y, como esta agua es de fácil acceso y en cantidad prácticamente ilimitada, la tecnología podría utilizarse para paliar estas crisis.

- Puede preservar los actuales recursos

Se debe hacer hincapié en preservar al máximo los recursos de agua dulce disponibles en el planeta, ya que estos son limitados. De esta forma se podría reservar estos recursos para situaciones de escasez.

- Las plantas se construyen en lugares adecuados

Las plantas desalinizadoras se construyen lejos de zonas residenciales, se sitúan en emplazamientos industriales para no exponer a la población a ningún tipo de riesgo. Además, una única planta puede producir más de 500 millones de litros apta para el consumo humano, simplemente cambiando los métodos de obtención actuales.

También tiene algunos inconvenientes:

- El proceso es caro

Actualmente, la media de energía utilizada por las plantas desalinizadoras es de 2kWh para producir 1 metro cubico de agua. Esto se traduce aproximadamente en un coste de 2USD, aunque en realidad el coste se deriva del uso de combustibles fósiles utilizados para generar la electricidad que requiere la planta.

- Altos costes de construcción

El coste de construcción de una de estas plantas no es siempre asumible por parte de ciertos países. Es tal el coste, que en ciertas ocasiones han sido las autoridades quienes han tenido que paralizar el desarrollo tecnológico debido a que no son capaces de asumir el coste inicial de construcción.

- Elevados costes energéticos

Uno de los principales problemas de esta técnica es la gran cantidad de energía que consume. Puesto que la osmosis es un proceso natural, el proceso de invertirlo requiere gran

cantidad de energía. Aquellos que se oponen a esta técnica explican que este tipo de instalaciones requieren gran cantidad de energía como para poderse mantener a largo plazo.

- El impacto ecológico de la salmuera

La salmuera, producto de desecho que se genera a partir del proceso de desalinización es altamente contaminante. Consiste en un líquido con elevada cantidad de sales, y esto puede provocar la muerte a fauna y flora del medio donde se vierte. Además otros agentes contaminantes que intervienen en el proceso son los productos químicos utilizados en la limpieza, como el cloro o los antiincrustantes.

- Gases de efecto invernadero

Debido al proceso de desalinización, se pueden producir gran cantidad de gases que contribuyen al efecto invernadero, lo cual puede empeorar la calidad del aire respirado.

3.5. Electrodialisis

Este proceso consiste en la desmineralización del agua de mar haciendo que los iones de distinto signo se muevan hacia otras zonas, aplicando campos eléctricos con diferencias de potencial aplicados sobre electrodos. Para ello se utilizan membranas selectivas que permitan el paso de los iones en el agua salada.

Es un proceso que únicamente puede separar sustancias que estén ionizadas, por lo que se reduce mucho su utilidad y rentabilidad para otro tipo de aguas no salobres. Aun así es un proceso que tiene un consumo eléctrico semejante al de la osmosis inversa.

3.6. Intercambio iónico

Las resinas de intercambio iónico son sustancias insolubles y tienen la habilidad de intercambiar iones con una sal disuelta al ponerse en contacto con ella. Si la resina intercambia los aniones del agua por iones OH^- es una resina aniónica. Si por el contrario intercambia cationes por iones H^+ , la resina es catiónica.

Este sistema produce agua de gran calidad si la concentración de sales es menor de 1 g/l. Las resinas necesitan regenerarse con productos químicos cada poco tiempo, y terminan por agotarse al cabo de varias regeneraciones. Su reemplazo implicaría un coste no asumible para una planta de desalinización de agua de mar.

3.7. Justificación de la elección

Las mejores técnicas de desalinización del agua son la MSF y la osmosis inversa, ya que son las únicas que permiten una producción suficientemente elevada.

En la planta desalinizadora que se va a diseñar, se va a optar por un sistema de osmosis inversa, ya que permite la desalación de agua de mar. Además, su capacidad de producción es alta y el consumo energético es bajo, lo que ayudará a obtener un precio competitivo del metro cúbico.

4. Introducción al diseño

El objetivo es alcanzar una producción de 20000 m³ al día de agua desalada, para ello se va a diseñar una planta desalinizadora de agua con régimen continuo, ya que las membranas que se van a utilizar, tanto para el proceso de ultrafiltración como para la osmosis inversa, necesitan estar constantemente húmedas. La planta desalinizadora se va a diseñar con el objetivo de producir 20000 m³, sin embargo, nada impedirá disminuir la producción en función de las necesidades de agua producto.

El dato de la producción de agua requerida se ha estimado teniendo en cuenta el consumo medio de agua por persona y día, y la población total de Coliumo:

$$Q_{CH} = 0.16 \text{ m}^3/\text{día por habitante} \cdot 55000 \text{ habitantes} = 8800 \text{ m}^3/\text{día}$$

Además, la localidad de Coliumo basa gran parte de su economía en el sector pesquero, tanto es así que recientemente se hizo una fuerte inversión en el sector pesquero, pero se tiene problemas con las infraestructuras construidas por falta de agua. Por ejemplo, no se tiene hielo para conservar el pescado. Se debe tener en cuenta que parte de la producción de agua se va a utilizar en dicho sector.

Se estima que las necesidades de agua en dichas infraestructuras serán de 8000 m³/día, así que la producción objetivo será:

$$Q_P = 8800 \text{ m}^3/\text{día} + 8000 \text{ m}^3/\text{día} = 16800 \text{ m}^3/\text{día}$$

Sobredimensionando este dato, se concluye que la planta debe alcanzar una producción de 20000 m³/día.

Por otra parte, el objetivo personal que ha tenido el autor al realizar este documento ha sido el de aprender los entresijos del diseño de una planta desalinizadora. También se tenía el objetivo de poner en práctica en un caso “real” todos los conocimientos adquiridos durante la carrera, como por ejemplo el cálculo de bombas y la utilización de diferentes softwares para llegar a un fin.

5. Ubicación de la planta

La planta desalinizadora se va a construir a las afueras de la localidad chilena de Coliumo, en la región de Bío Bío.

La instalación de una planta de desalinización de estas características es necesaria ya que el sistema de abastecimiento de la red rural no tiene el agua suficiente para abastecer a todos los vecinos de la zona, por lo que una gran cantidad de familias no disponen de agua para el uso diario. El número de personas afectadas se incrementará a medida que pase el tiempo, ya que la localidad está agotando todas las fuentes de agua potable.

La planta se va a construir en un acantilado de la costa a las afueras de la localidad, se supone que es terreno público no protegido:



Figura 2: Ubicación de la planta desalinizadora (Fuente google maps©)

En la imagen anterior se puede observar la ubicación exacta de la planta, así como el área estimada que va a ocupar, unos 8000 m².

6. Proceso

6.1. Proceso general

Antes de analizar los elementos de la planta, es adecuado detallar el camino que va a seguir cada metro cúbico de agua desde que entra en la planta, hasta que es vertido a la red de abastecimiento de agua potable de Coliumo.

En primer lugar el agua del mar es captada por una torre de toma situada a unos 600 m de la planta, y a una profundidad de 10 m. El agua entonces es conducida hacia una cántara de captación, dónde se bombeará hacia la planta mediante las bombas de captación. Dichas bombas de captación tendrán que tener potencia suficiente para salvar los 10 m de profundidad, y los prácticamente 20 m de desnivel sobre el nivel del mar, hasta donde se sitúa la planta.

Una vez en la planta desalinizadora, el agua de mar será sometida a un pretratamiento, tanto físico como químico. En primer lugar se desinfecta el agua con hipoclorito sódico (NaClO), se le añade anticoagulante, en este caso cloruro férrico (FeCl_3) y por último se regula el pH con ácido sulfúrico (H_2SO_4). El agua entonces se hace pasar por un filtro de anillas para evitar que partículas mayores de 200 μm sigan en el proceso.

Sin embargo este filtrado con filtro de anillas no es suficiente, ya que las membranas del sistema de osmosis inversa son muy frágiles, así que el agua se hace pasar por un sistema de ultrafiltrado de 5 μm antes de llegar al tanque intermedio. Dicho tanque tiene la función de proporcionar siempre la cantidad de agua necesaria para el sistema de osmosis inversa.

A la salida del tanque el agua es bombeada hacia un filtro de seguridad, en este caso, de cartucho, en la misma tubería al agua se le añade bisulfito sódico (NaHSO_3) para reducir oxidantes y un antiincrustante para proteger el sistema de osmosis inversa. Una vez pasado el filtro de seguridad el agua no tiene ninguna partícula mayor que 5 μm y está lista para ser desalada.

El agua es desalada en el sistema de osmosis inversa, y como resultado se obtienen dos corrientes, por un lugar el agua sin sal, y por otro una salmuera rica en sal. La salmuera será devuelta al mar, no sin antes pasar por un tanque de neutralización. Mientras que el agua desalada se almacena en un tanque de agua producto una vez remineralizada, mediante un lecho de calcita, a la espera de ser vertida a la red de abastecimiento local.

6.2. Proceso detallado

6.2.1. Captación

La planta desalinizadora se va a diseñar para un rendimiento del proceso de osmosis inversa del 45% por tanto, para cumplir con el objetivo de producir 20000 m³ de agua producto, se deben captar:

$$Q_C = \frac{Q_P}{r}$$

Siendo:

Q_C : Caudal captado, m³/día

Q_P : Caudal de agua producto, m³/día

r : Rendimiento del proceso, %

$$Q_C = \frac{20000 \text{ m}^3}{0.45} = 44444.44 \text{ m}^3/\text{día}$$

6.2.1.1. Torre de toma

Teniendo en cuenta estos datos y, que se va a optar por la captación por toma abierta, la torre de toma se va a diseñar con las siguientes características:

La torre de toma es una estructura de hormigón, situada a 10 m de profundidad y a 600 m de la costa en la que se colocan las rejillas de captación. Éstas se situarán lejos del fondo marino para evitar la entrada de arena, algas y otras sustancias. Además, se debe evitar instalar la torre sobre arena fina, se recomienda instalarla sobre fondo rocoso.

La torre debe captar agua, pero sin interferir en la flora y fauna de su entorno, por ello se sitúan las rejillas en los laterales de la torre, nunca en la parte superior. Además, la velocidad de aproximación a las rejillas de captación del agua no debe superar en ningún caso los 0.15 m/s, para asegurar un flujo laminar y horizontal, a esta velocidad se minimiza el arrastre de algas que puedan taponar las rejillas, esto también ayuda a que peces pequeños, que entren en la zona de arrastre, puedan escapar sin esfuerzo.

Para conseguir dicha velocidad de aproximación, las rejillas de captación contarán con una distancia entre barrotes de 0.035 m, sirviendo también para evitar que cuerpos grandes entren dentro del inmisario.



Figura 3: Torre de toma (fuente www.desalchile.cl)

6.2.1.2. Inmisario submarino

El transporte del agua de mar, desde la torre de toma hasta la cámara de captación, se llevará a cabo mediante un inmisario submarino:

El inmisario se construirá en polietileno de alta densidad (PEAD), se elige este material porque que es resistente a la corrosión y es poco propenso a ser colonizado por la fauna marina. Para su diseño hay que tener en cuenta que el nivel de agua en la cámara de captación debe mantenerse constante.

Para una producción de 20000 m³ de agua, la cámara de captación debe bombear un caudal de 2036.65 m³, y la tubería se va a diseñar con un diámetro de 1 m.



Figura 4: Longitud del inmisario submarino (fuente google maps©)

Ahora se va a comprobar si es factible instalar una tubería de estas características y a que altura se debería instalar.

Desarrollando la ecuación de Bernuilli:

$$h_1 + \left(\frac{v_1^2}{2 \cdot g} \right) + \left(\frac{P_1}{\rho \cdot g} \right) = h_2 + \left(\frac{v_2^2}{2 \cdot g} \right) + \left(\frac{P_2}{\rho \cdot g} \right) + \sum H$$

$$h_1 = h_2 + \sum H$$

$$h_2 = - \sum H$$

Se observa que la cámara de captación deberá estar por debajo del nivel del mar, y la altura viene dada por las pérdidas de carga que se produzcan en el inmisario. Se procede entonces a calcular dichas pérdidas de carga.

En primer lugar se calcula el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

Donde:

$$\begin{aligned} Re &= \text{Número de Reynolds} \\ \rho &= \text{Densidad del agua, Kg/m}^3 \\ v &= \text{Velocidad máxima, m/s} \\ D &= \text{Diámetro, m} \\ \mu &= \text{Viscosidad, Kg/m} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

Sustituyendo:

$$Re = \frac{1020 \cdot 1.8 \cdot 1}{0.001} = 1836000$$

Se introduce el número de Reynolds en la ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Donde:

$$\begin{aligned} f &= \text{Coeficiente de rozamiento} \\ K &= \text{Rugosidad del material, m} \\ D &= \text{Diámetro, m} \\ Re &= \text{Número de Reynolds} \end{aligned}$$

Dado que la incógnita, el coeficiente de rozamiento, se encuentra a ambos lados de la ecuación, se ha escrito un pequeño script para resolver la ecuación con el software Matlab que devuelve un resultado de:

$$f = 0.010753$$

Se procede ahora al cálculo de las pérdidas de carga con la siguiente ecuación, conocida como la ecuación de Fanning:

$$\sum F = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot D \cdot g}$$

Donde:

$\sum F =$ Pérdidas de carga, m

$f =$ Coeficiente de rozamiento

$L =$ Longitud, m

$v =$ Velocidad, m/s

$D =$ Diámetro, m

$g =$ Gravedad, m/s²

Sustituyendo:

$$\sum F = \frac{0.010753 \cdot 600 \cdot 1.8^2}{2 \cdot 1000 \cdot 9.8} = 1.07 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Con el diámetro de 1 m y una velocidad máxima de 1.8 m/s, la cámara se deberá situar a $1.07 \cdot 10^{-3}$ m por debajo del nivel del mar, siendo completamente viable. Sin embargo, se va a sobredimensionar a 1 m por debajo del nivel del mar, para compensar posibles fallos en la velocidad de entrada del agua al inmisario.

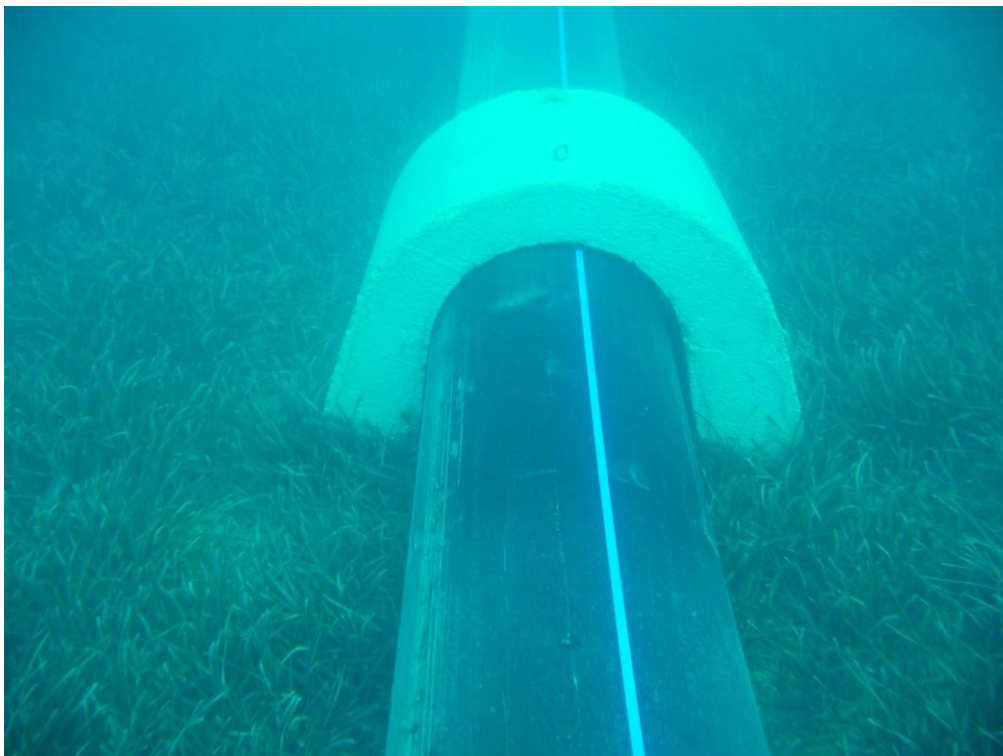


Figura 5: Inmisario submarino (fuente www.iagua.es)

6.2.1.3. *Cámara de captación*

La cámara de captación es el lugar donde se almacenara el agua de mar para ser posteriormente bombeada a la planta. Esta cámara estará construida en hormigón y estará compuesta por 2 secciones.

La primera sección servirá para que la entrada del agua procedente del inmisario submarino no se produzca de forma brusca. En la siguiente sección se situarán las bombas de captación, que serán las encargadas de bombear el agua hacia la planta desalinizadora. A modo de separación, se colocarán unas rejillas para evitar el paso de partículas más grandes.

7. Pretratamiento

El agua todavía no está en las condiciones necesarias para no dañar las membranas de ultrafiltración y, sobretodo de osmosis inversa. Por esto es necesario tratarla con productos químicos además, este tratamiento también servirá para prolongar la vida de la planta, disminuir la cantidad de lavados necesarios y obtener un agua producto con mejores resultados.

7.1. Pretratamiento químico

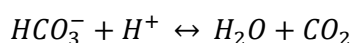
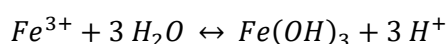
Para el diseño de los tratamientos se ha tenido en cuenta tanto la composición del agua: salinidad, origen y composición, como del caudal de agua a tratar. El objetivo va a ser eliminar los principales agentes perjudiciales para las membranas, entre los que destacan el hierro y el aluminio, ya que tienen facilidad para formar óxidos y precipitar, además de la materia orgánica.

7.1.1. Coagulación

La coagulación consiste en desestabilizar los coloides y las partículas pequeñas existentes en el agua y reagruparlos para facilitar su extracción. El proceso consiste en añadir cargas positivas a los coloides, con el objetivo de desestabilizarlos eléctricamente, creando así fuerzas de atracción entre ellos, facilitando su agrupación formando grupos de partículas más grandes.

El coagulante que se va a utilizar es el cloruro férrico ($FeCl_3$) y el tratamiento se realizará en continuo con una bomba dosificadora. El cloruro férrico también genera acidez, lo cual beneficia la acción del desinfectante con el que se va a tratar el agua a continuación.

La reacción que va a tener lugar es la siguiente:



Para calcular la correcta dosificación del reactivo y el tamaño de depósito para 15 días, así como las necesidades anuales de reactivo, se van a tener en cuenta los siguientes datos:

$$\text{Densidad de la disolución de } FeCl_3 = 1.40 \text{ Kg/l}$$

$$\text{Densidad del } FeCl_3 \text{ puro} = 2.80 \text{ Kg/l}$$

$$\text{Riqueza} = 40\%$$

$$\text{Dosis máxima} = 2 \text{ mg/l} \approx 2 \text{ g/m}^3 \approx 2 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Caudal a tratar (Q)} = 2036.65 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cálculo de la carga dosificadora:

$$C_D = Q \cdot D_M$$

Donde:

C_D : Carga dosificadora, Kg/h

Q : Caudal de agua a tratar, m³

D_M : Dosis máxima, Kg/m³

Sustituyendo:

$$C_D = 2036.65 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 4.073 \text{ Kg/h}$$

Para el cálculo de la dosificación comercial se va a utilizar un factor de conversión, teniendo en cuenta la densidad del producto puro y la riqueza del mismo:

$$\begin{aligned} \text{Dosificación comercial} &= C_D \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right) \cdot \frac{1 \text{ l de reactivo puro}}{2.80 \text{ kg de reactivo puro}} \cdot \frac{100 \text{ l de disolución}}{40 \text{ l puro}} \\ &= 3.64 \text{ l/h de disolución} \end{aligned}$$

Cálculo de la cantidad de producto comercial:

$$\dot{m} = D_C \cdot \rho$$

Donde:

\dot{m} : Cantidad de producto, Kg/h

D_C : Dosificación comercial, l/h

ρ : Densidad disolución, Kg/l

Sustituyendo:

$$\dot{m} = 3.64 \cdot 1.40 = 5.096 \text{ Kg/h}$$

Cálculo del tamaño del tanque, suficiente para abastecer 15 días de tratamiento:

$$\text{Tanque} = D_C \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot 15 \text{ días}$$

Sustituyendo:

$$\text{Tanque} = 3.64 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot 15 \text{ días} = 1310 \text{ l}$$

Por último, la cantidad anual que se va a utilizar de este reactivo:

$$m \text{ anual} = \dot{m} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot 365 \text{ días}$$

Sustituyendo:

$$m_{\text{anual}} = 5.096 \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot 365 \text{ días} = 44640.96 \text{ Kg}$$

Con estos datos se puede decidir qué tipo de bomba dosificadora se instalará en la planta para satisfacer las demandas del tratamiento. Para este y todos los tratamientos con productos químicos en los que sea necesaria la utilización de bombas dosificadoras, se va a recurrir a la empresa "ITC Dosing Pumps". Esta es una empresa española líder en la fabricación de bombas para la dosificación y control de fluidos, concretamente el modelo "Dostec 40". Los motivos de la elección de este modelo, el número de unidades, así como de materiales de fabricación, se discutirán en el apartado de bombas.

7.1.2. Desinfección

El siguiente tratamiento al que será sometida el agua es la desinfección. El objetivo de este tratamiento es reducir los microorganismos presentes en el agua para evitar ensuciamiento en las membranas, lo que supondría un menor rendimiento de la planta y un mayor coste económico en última instancia. El tratamiento con desinfectante, sin embargo, conlleva un peligro para instalaciones con membranas de osmosis inversa, ya que genera oxidantes que pueden alterar la estructura química al entrar en contacto con ellas. Por este motivo se debe de acompañar este tratamiento con uno de reducción de oxidantes.

Para este propósito, el desinfectante a utilizar será el hipoclorito sódico (NaClO). Es un compuesto químico oxidante, barato y que se encuentra en disolución acuosa, aunque solo es estable a pH ácidos. Al entrar el NaClO en contacto con el agua, el cloro se disocia y se forma ácido hipocloroso (HClO), siendo esta la sustancia que realmente servirá de desinfectante.

Para calcular la correcta dosificación del reactivo y el tamaño de depósito para 15 días, así como las necesidades anuales de reactivo, se van a tener en cuenta los siguientes datos:

$$\text{Densidad de la disolución de NaClO} = 1.25 \text{ Kg/l}$$

$$\text{Riqueza} = 120 \text{ g/l}$$

$$\text{Dosis máxima} = 5 \text{ mg/l} \approx 5 \text{ g/m}^3 \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Caudal a tratar (Q)} = 2036.65 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cálculo de la carga dosificadora:

$$C_D = Q \cdot D_M$$

Donde:

$$C_D: \text{Carga dosificadora, Kg/h}$$

$$Q: \text{Caudal de agua a tratar, m}^3$$

$$D_M: \text{Dosis máxima, Kg/m}^3$$

Sustituyendo:

$$C_D = 2036.65 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 10.19 \text{ Kg/h}$$

Para el cálculo de la dosificación comercial se va a utilizar un factor de conversión teniendo en cuenta la riqueza dada en kg/l :

$$\begin{aligned} \text{Dosificación comercial} &= C_D \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right) \cdot \frac{1 \text{ l de reactivo puro}}{120 \cdot 10^{-3} \text{ kg de reactivo puro}} \\ &= 84.86 \text{ l/h de disolución} \end{aligned}$$

Cálculo de la cantidad de producto comercial:

$$\dot{m} = D_C \cdot \rho$$

Donde:

\dot{m} : Cantidad de producto, Kg/h

D_C : Dosificación comercial, l/h

ρ : Densidad, Kg/l

Sustituyendo:

$$\dot{m} = 84.86 \cdot 1.25 = 105.23 \text{ Kg/h}$$

Cálculo del tamaño del tanque, suficiente para abastecer 15 días de tratamiento:

$$\text{Tanque} = D_C \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot 15 \text{ días}$$

Sustituyendo:

$$\text{Tanque} = 84.86 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot 15 \text{ días} = 7637.4 \text{ l}$$

Por último, la cantidad anual que se va a utilizar de este reactivo:

$$m \text{ anual} = \dot{m} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot 365 \text{ días}$$

Sustituyendo:

$$m \text{ anual} = 105.23 \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot 365 \text{ días} = 230445.8 \text{ Kg}$$

7.1.3. Regulación del pH

El objetivo de este tratamiento es evitar la precipitación del carbonato de calcio (CaCO_3) en las membranas, y esto se produce al aumentar el pH. Por tanto el tratamiento consisten en añadir ácido sulfúrico (H_2SO_4) con el objetivo de disminuir el pH, y de mejorar la actividad del reactivo utilizado en el tratamiento de coagulación, además puede ayudar en la eliminación de boro en caso de ser necesario.

Sin embargo, el agua de mar a tratar tiene un pH de 7.9, y generalmente no será necesario este tratamiento. No obstante, en ocasiones puede producirse una variación inesperada del pH que puede provocar daños en las membranas, por tanto este tratamiento debe estar presente en la planta, aunque no se utilice por defecto.

Para calcular la correcta dosificación del reactivo y el tamaño de depósito para 15 días, así como las necesidades anuales de reactivo, se van a tener en cuenta los siguientes datos:

$$\text{Densidad de la disolución de } \text{H}_2\text{SO}_4 = 1.85 \text{ Kg/l}$$

$$\text{Densidad del } \text{H}_2\text{SO}_4 = 1.85 \text{ Kg/l}$$

$$\text{Riqueza} = 98\%$$

$$\text{Dosis máxima} = 20 \text{ mg/l} \approx 20 \text{ g/m}^3 \approx 20 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Caudal a tratar (Q)} = 2036.65 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cálculo de la carga dosificadora:

$$C_D = Q \cdot D_M$$

Donde:

$$C_D: \text{Carga dosificadora, Kg/h}$$

$$Q: \text{Caudal de agua a tratar, m}^3$$

$$D_M: \text{Dosis máxima, Kg/m}^3$$

Sustituyendo:

$$C_D = 2036.65 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 40.73 \text{ Kg/h}$$

Para el cálculo de la dosificación comercial se va a utilizar un factor de conversión, teniendo en cuenta la densidad del producto puro y la riqueza del mismo:

$$\begin{aligned} \text{Dosificación comercial} &= C_D \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right) \cdot \frac{1 \text{ l de reactivo}}{1.85 \text{ kg de reactivo}} \cdot \frac{100 \text{ l de disolución}}{98 \text{ l puro}} \\ &= 22.59 \text{ l/h de disolución} \end{aligned}$$

Cálculo de la cantidad de producto comercial:

$$\dot{m} = D_C \cdot \rho$$

Donde:

\dot{m} : Cantidad de producto, Kg/h

D_C : Dosificación comercial, l/h

ρ : Densidad, Kg/l

Sustituyendo:

$$\dot{m} = 22.59 \cdot 1.85 = 41.57 \text{ Kg/h}$$

Cálculo del tamaño del tanque, suficiente para abastecer 15 días de tratamiento:

$$\text{Tanque} = D_C \cdot \frac{6 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot 15 \text{ días}$$

Sustituyendo:

$$\text{Tanque} = 22.59 \frac{\text{l}}{\text{h}} \cdot \frac{6 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot 15 \text{ días} = 2033.1 \text{ l}$$

Por último, la cantidad anual que se va a utilizar de este reactivo:

$$m \text{ anual} = \dot{m} \cdot \frac{6 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot 365 \text{ días}$$

Sustituyendo:

$$m \text{ anual} = 5.096 \cdot \frac{6 \text{ h}}{1 \text{ día}} \cdot 365 \text{ días} = 91038.3 \text{ Kg}$$

7.1.4. Reducción de agentes oxidantes

En primer lugar es importante remarcar que este tratamiento se realiza a la salida del tanque intermedio, justo antes de pasar por el filtro de seguridad y por tanto, antes del tratamiento de osmosis inversa, esto es debido a que durante el tratamiento de desinfección se utilizan sustancias oxidantes.

El tratamiento tiene como objetivo proteger las membranas de osmosis inversa ya que la presencia de agentes oxidantes pueden provocar la alteración de la estructura química de las mismas, lo cual las dejaría inutilizadas, provocando su prematuro cambio. El producto químico elegido en este caso es el bisulfito sódico (NaHSO_3).

Para calcular la correcta dosificación del reactivo y el tamaño de depósito para 15 días, así como las necesidades anuales de reactivo, se van a tener en cuenta los siguientes datos:

Densidad de la disolución de NaHSO₃ = 1.36 Kg/l

Riqueza = 40%

Dosis máxima = 15 mg/l ≈ 15 g/m³ ≈ 15 · 10⁻³ Kg/m³

Caudal a tratar (Q) = 1851.85 m³/h

Cálculo de la carga dosificadora:

$$C_D = Q \cdot D_M$$

Donde:

C_D: Carga dosificadora, Kg/h

Q: Caudal de agua a tratar, m₃

D_M: Dosis máxima, Kg/m³

Sustituyendo:

$$C_D = 1851.85 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 27.78 \text{ Kg/h}$$

Para el cálculo de la dosificación comercial se va a utilizar un factor de conversión, teniendo en cuenta la densidad del producto puro y la riqueza del mismo:

$$\begin{aligned} \text{Dosificación comercial} &= C_D \left(\frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right) \cdot \frac{1 \text{ l de reactivo}}{1.36 \text{ kg de reactivo}} \cdot \frac{100 \text{ l de disolución}}{40 \text{ l puro}} \\ &= 51.06 \text{ l/h de disolución} \end{aligned}$$

Cálculo de la cantidad de producto comercial:

$$\dot{m} = D_C \cdot \rho$$

Donde:

ṁ: Cantidad de producto, Kg/h

D_C: Dosificación comercial, l/h

ρ: Densidad, Kg/l

Sustituyendo:

$$\dot{m} = 51.06 \cdot 1.36 = 69.44 \text{ Kg/h}$$

Cálculo del tamaño del tanque, suficiente para abastecer 15 días de tratamiento:

$$Tanque = D_c \cdot \frac{6 h}{1 día} \cdot 15 días$$

Sustituyendo:

$$Tanque = 51.06 \frac{l}{h} \cdot \frac{6 h}{1 día} \cdot 15 días = 4595.4 l$$

Por último, la cantidad anual que se va a utilizar de este reactivo:

$$m_{anual} = m \cdot \frac{6 h}{1 día} \cdot 365 días$$

Sustituyendo:

$$m_{anual} = 69.94 \cdot \frac{6 h}{1 día} \cdot 365 días = 152073.6 Kg$$

7.1.5. Antiincrustante

El software utilizado para el diseño de la planta desalinizadora recomienda la utilización de un tratamiento antiincrustante, a pesar de que con un rendimiento del 45% y una temperatura que oscila entre 15 y 25 °C es difícil que las sales del agua precipiten. Sin embargo, se debe preparar siempre para las peores circunstancias y estas serían la precipitación de algo de sal, formando cristales que podrían estropear la membrana de ósmosis inversa.

El tratamiento consiste en la adición de un antiincrustante que impida la formación de dichos cristales y previniendo la atracción de más iones desde la solución sobresaturada hacia el cristal, con esto se evita que los cristales alcancen un tamaño suficiente como para precipitar.

Tanto para la elección del antiincrustante, como para determinar la dosis adecuada, es necesaria la ayuda de una de las muchas empresas dedicadas a la fabricación y distribución de este tipo de productos. Un ejemplo sería la empresa "NALCO", propietaria del software "3D TRASAR" y de una amplia gama de antiincrustantes.

7.2. Pretratamiento físico

Con el objetivo de evitar que partículas mayores de 5 μm lleguen al proceso de osmosis inversa se filtra el agua varias veces. Primero con unos filtros de anillas con un tamaño de poro de 100 a 200 μm , y a continuación el agua será conducida por un sistema de ultrafiltración, con membranas con un tamaño de poro de 5 μm . Además, se colocará un filtro de cartuchos como última medida de protección.

7.2.1. Filtro de anillas

Para eliminar los sólidos en suspensión mayores de 200 μm se ha decidido instalar unos filtros de anillas con un tamaño de poro de 100 a 200 μm , ya que estas partículas tan grandes podrían dañar las membranas de los siguientes sistemas de filtrado.

Los filtros de anillas tienen en su interior anillas con las cuales se realiza el filtrado, estas anillas son de un material plástico y están colocadas en un cilindro que a su vez se coloca dentro del filtro. Las diferentes anillas se colocan compactas en la misma orientación, de forma que el agua pase a través de ellas desde el exterior hacia el interior, quedándose retenidas las posibles partículas en suspensión.

El filtro que se va a instalar lo fabrica la empresa "STF Filtros", se ha elegido esta empresa porque tiene en su catálogo varios filtros de anillas que se pueden ensamblar entre ellos, permitiendo el amolde perfecto al caudal a filtrar, lo que se traduce en un ahorro económico.

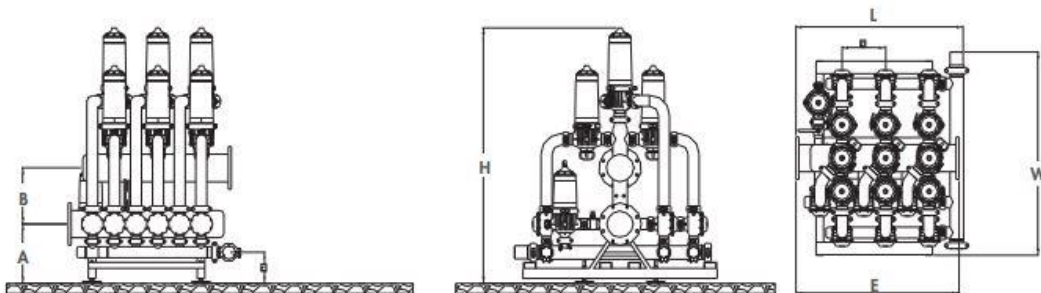


Figura 6. Filtro de anillas (fuente: Manual de usuario de STF Filters)

La ventaja principal de dichos filtros es que son autolimpiables, y cuentan con un dispositivo retardador que se traduce en una disminución del número de limpiezas. También es importante destacar la larga vida útil de estos filtros al no tener ninguna pieza móvil.

7.2.1.1. Diseño

Se va a optar por instalar un modelo preensamblado que presenta 9x3 filtros, concretamente el modelo "9x3C", la carcasa del cual está construida en poliamida de alta resistencia, y las anillas son discos ranurados de polipropileno. Mientras que el sistema de cierre es de acero inoxidable AISI-316.

Con un caudal de trabajo entre 90 y 270 m³/h, y teniendo en cuenta que el caudal de agua sobredimensionado es de 2037.035 m³/h, la cantidad de filtros así como la superficie filtrante de éstos se calcula de la siguiente forma:

En primer lugar se calcula el caudal medio de trabajo:

$$Q_{Tm} = \frac{270 \text{ m}^3/\text{h} - 90 \text{ m}^3/\text{h}}{2} = 180 \text{ m}^3/\text{h}$$

Con este dato se calcula el número de filtros necesarios:

$$N^{\circ} \text{ de Filtros} = \frac{Q_f}{Q_{Tm}} = \frac{2037.035 \text{ m}^3/\text{h}}{180 \text{ m}^3/\text{h}} = 11.32 \approx 12 \text{ filtros}$$

Sin embargo, con el objetivo de facilitar la limpieza de filtros y evitar parar la planta, se van a colocar 13 filtros de estas características en rotación, esto es, nunca funcionaran los 13 a la vez, el que se quede parado será el que se pueda limpiar.

Como cada módulo de filtros tiene una superficie filtrante de 13428 cm², la superficie filtrante total será:

$$S_{FT} = S_F \cdot 12 = 161136 \text{ cm}^2$$

Los filtros elegidos trabajan a una presión máxima de 10 bar y la presión mínima de limpieza será de 3 bar. Hay que tener en cuenta que los filtros, como todos los elementos de la planta, aportarán cierta pérdida de carga. En este caso la pérdida de carga máxima será de 5 m, en el momento las pérdidas de carga superen ese número se tendrá que proceder a la limpieza del módulo.

La limpieza de los módulos se realizará con agua de lavado procedente del agua de rechazo de la osmosis inversa, por ello el caudal de entrada a los filtros y salida es prácticamente el mismo.

7.2.2. Ultrafiltración

La ultrafiltración es el proceso más importante del pretratamiento al utilizar unas membranas entre 0.1 y 0.001 µm de diámetro, va a asegurar que no pase ninguna partícula mayor de 5 µm hacia el sistema de osmosis inversa. Aunque este tratamiento no es capaz de eliminar iones polivalentes, sales o solutos de bajo peso molecular, es excelente como pretratamiento en una planta con posterior sistema de osmosis inversa.

Existen diversos tipos de membranas que se pueden usar en un sistema de ultrafiltración: orgánicas como membranas de polisulfona, fluoruro de polivilideno, poliamida con configuraciones en fibra capilar, plana, espiral, tubular o fibra hueca. También inorgánicas con base de óxido de zirconio, aunque estas últimas son de uso en aguas industriales. La membrana por la que se va a optar es de tipo orgánica con configuración de fibra hueca, ya que es fácil de lavar.

Las membranas de ultrafiltración requieren una limpieza periódica con productos químicos que se debe tener en cuenta a la hora de diseñar el proceso.

Tanto para el módulo de ultrafiltración, como para el módulo de osmosis inversa, se va a optar por la empresa "DOW", en este caso se ha elegido el módulo de ultrafiltración "SFX-2860", cuya tecnología está basada en fibras huecas de fluoruro de polivinilideno hidrofílico (H-PVDF) de doble pared. Al ser este material hidrofílico se reduce la tendencia al ensuciamiento orgánico, mientras que la doble pared otorga a la fibra mayor robustez y menor tendencia a la rotura. El PVDF tiene resistencia térmica, mecánica y química siendo especialmente resistente a los productos químicos utilizados en procesos de limpieza, convirtiéndolo en un material ideal para tratamientos de agua.

Las fibras huecas tienen un diámetro interior de 0.70 mm y exterior de 1.30 mm y se disponen en haces de fibras colocados en el interior de cilindros de U-PVC en vertical, obteniendo un módulo compacto. En el caso del modelo "SFX-2860" se obtiene una superficie filtrante de 51 m² con un volumen de 35 litros y un peso de 48 kg.

La membrana tiene un tamaño de poro de 0.030 µm, con lo que se consigue eliminar gran parte de los contaminantes como microorganismos, partículas, sólidos en suspensión o turbidez. Esto proporciona un filtrado de calidad para mayor protección del sistema de osmosis inversa situado aguas abajo.

Las membranas funcionan de fuera hacia dentro: el agua filtrada se recoge en el interior de las fibras y la suciedad queda retenida en el exterior. Este sistema se utiliza para evitar la obstrucción de las fibras por los contaminantes presentes en el agua de alimentación, y permite una mayor carga contaminante que los sistemas que funcionan de dentro hacia fuera.

El módulo de ultrafiltración "SFX-2860" tiene que operar a una presión máxima de 3 bar, con una temperatura comprendida entre 1 y 40 °C, en un rango de pH entre 2 y 11. En estas condiciones se puede trabajar con un flujo comprendido entre 120 y 40 m³/h.

7.2.2.1. *Proceso de filtrado*

Para desarrollar de una forma más fácil cómo funciona el proceso de ultrafiltración se va a utilizar un diagrama de flujo de la instalación, y se van a seguir las instrucciones y los datos que proporciona la empresa:

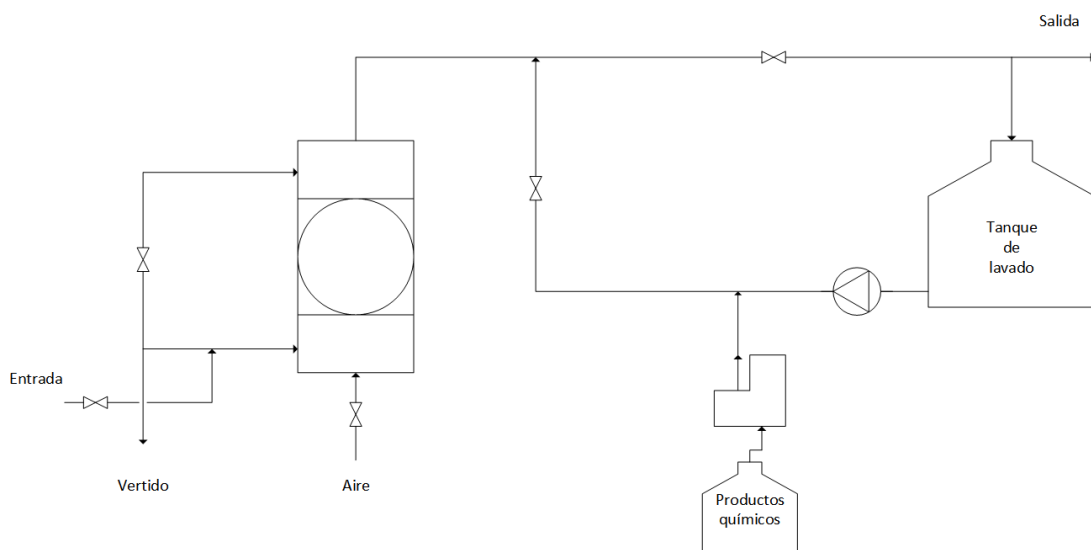


Figura 7: Diagrama de flujo de UF (autor: Jordi Colomina)

Antes de empezar con la filtración, la empresa recomienda enjuagar los módulos para eliminar los productos químicos residuales. Este proceso se realiza por la cara externa de las fibras y dura de 2 a 3 minutos. Durante este enjuague no hay producción.

La etapa de filtración comenzará a continuación, y como se ha explicado previamente, el agua circulará de dentro de las membranas hacia fuera, acumulándose el agua producto en el interior de las fibras y siendo evacuada del módulo a través de un colector. En esta etapa la válvula del concentrado permanecerá cerrada, por tanto el total de la alimentación se convertirá en filtrado. Esta etapa tiene una duración de 20 a 60 minutos.

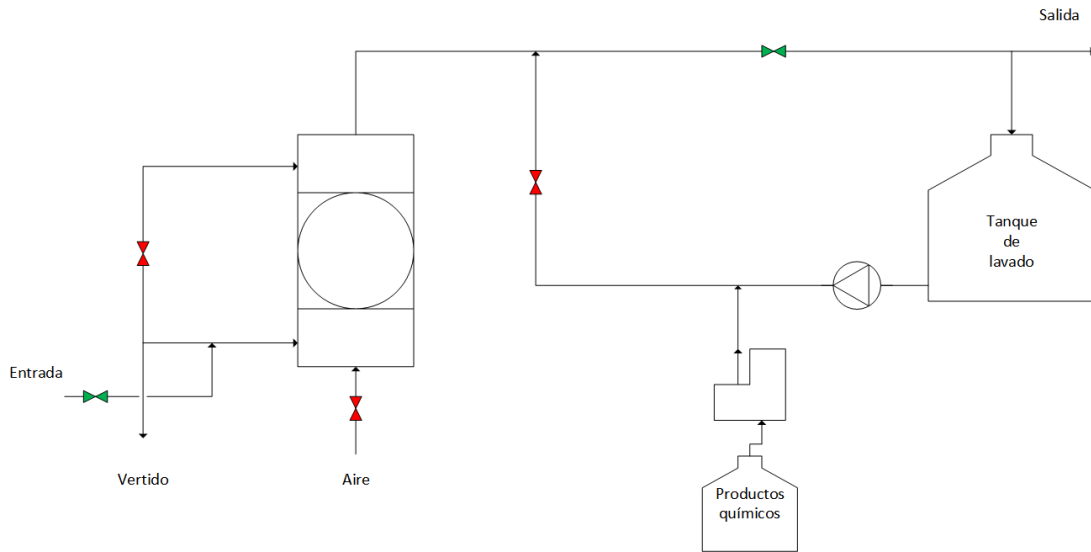


Figura 8: Diagrama de flujo de UF etapa de filtrado (autor: Jordi Colomina)

A medida que realiza el filtrado de agua, las fibras se ensucian debido a la presencia de contaminantes en el agua de entrada, en este momento se inicia la fase de lavado automático de los módulos. Sin embargo, será necesaria una etapa de aireación previa para eliminar partículas depositadas sobre la membrana, en la cual aire a baja presión será introducido por la parte inferior del módulo. Esta etapa tendrá una duración de 20 a 30 segundos.

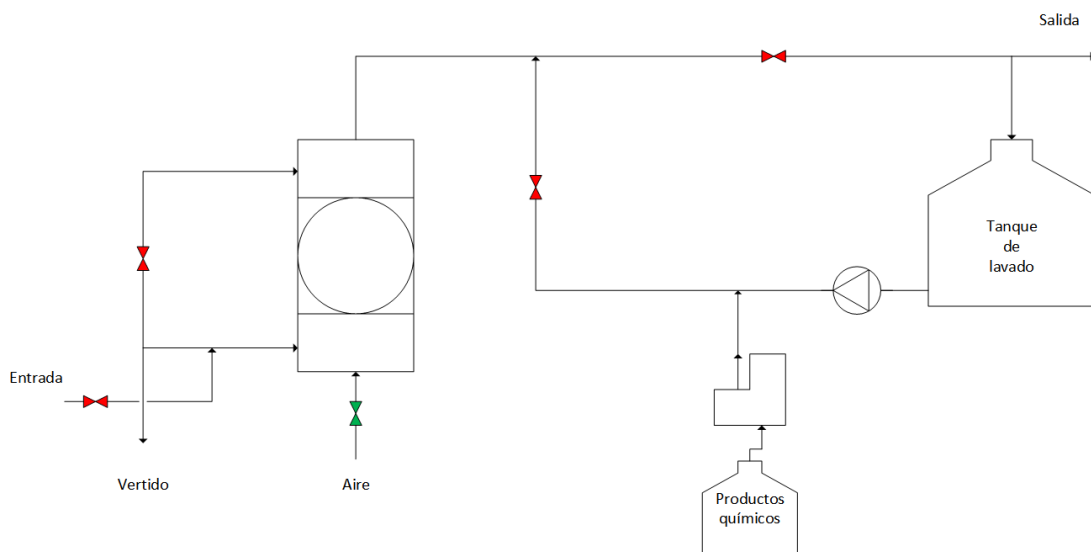


Figura 9: Diagrama de flujo de UF etapa de aireación (autor: Jordi Colomina)

A continuación se realiza la etapa de drenado, en la cual se vacían los módulos con el objetivo de evacuar los contaminantes eliminados en la etapa anterior.

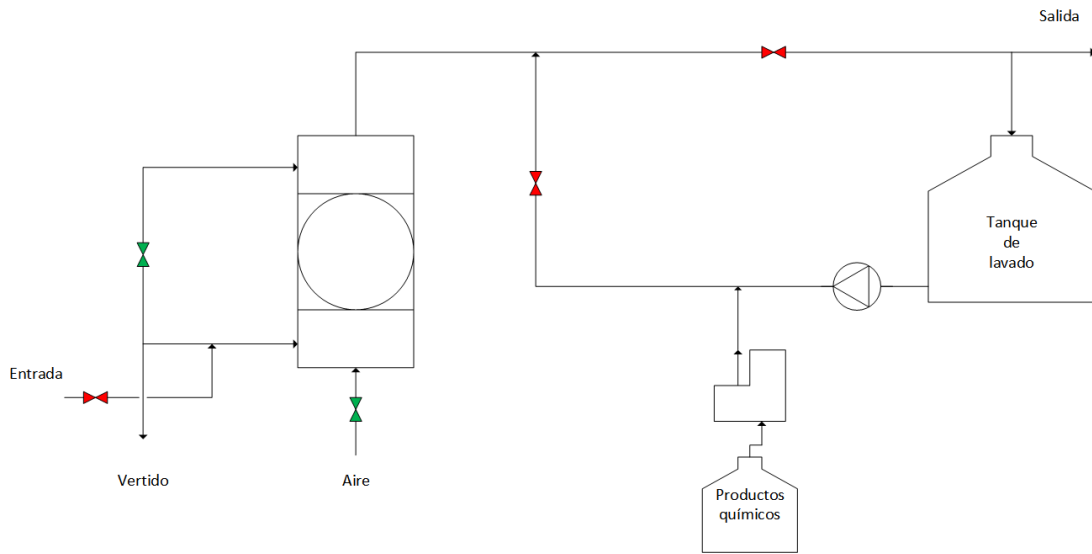


Figura 10: Diagrama de flujo de UF etapa de drenado (autor: Jordi Colomina)

Una vez concluida la etapa de drenado empezará la etapa de limpieza por contralavado, la cual consiste en el bombeo de agua procedente del tanque de regulación en sentido contrario, expulsando de este modo los contaminantes hacia el exterior de las membranas. Esta etapa consta de dos fases consecutivas, en la primera el agua sale por la parte superior del módulo, mientras que en la segunda el agua saldrá por la inferior. La duración será de 20 a 30 segundos por fase.

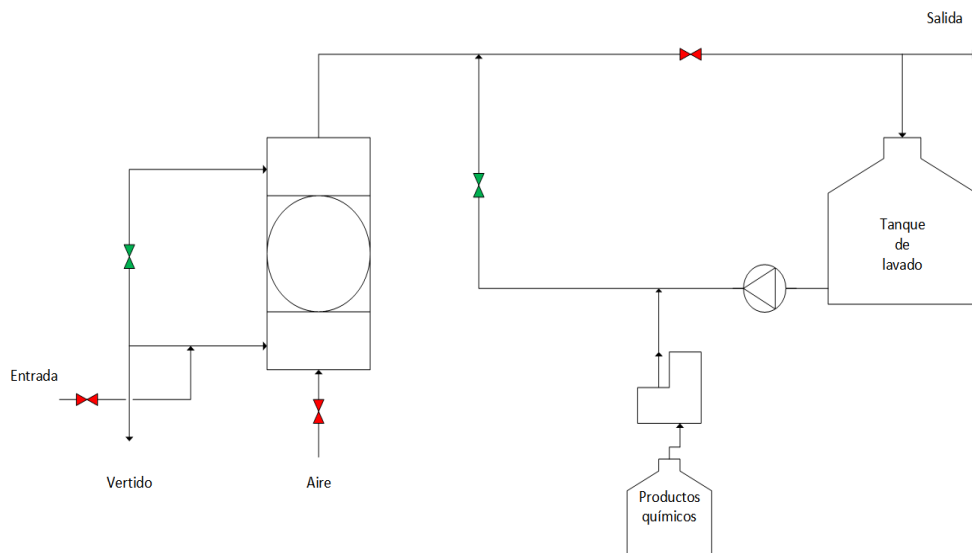


Figura 11: Diagrama de flujo de UF etapa de contralavado (autor: Jordi Colomina)

Además de este tipo de lavado, una vez al día o cuando el rendimiento del módulo disminuya, se realizará un lavado CEB (*Chemically Enhanced Backwash*) que consistirá en inyectar a la corriente de contralavado NaOCl para desinfectar, y HCl para eliminar los residuos orgánicos.

De la misma forma, en el intervalo de 1 a 3 meses, se realizará un lavado intenso CIP (*Clean In Place*) con el objetivo de regenerar las membranas. Este proceso es idéntico al de limpieza CEB, aumentando las concentraciones de productos químicos y el tiempo de lavado.

Al acabar cualquier tipo de limpieza se realizará una etapa de drenado antes de volver a iniciar la etapa de filtrado.

7.2.2.2. Diseño del proceso de ultrafiltración

El proceso de ultrafiltración se llevará a cabo por módulos de la empresa *DOW*, concretamente el modelo *SFX-2860*. Según el manual proporcionado por la empresa, cada módulo de este modelo tiene un área efectiva de filtrado de 51 m^2 , los cuales se pueden agrupar en bastidores. En cada bastidor se pueden disponer 86 módulos situados en paralelo, es decir, 43 a la derecha y 43 a la izquierda.

El flujo de filtrado de este modelo está comprendido entre 120 y $40 \text{ m}^2/\text{h}$, por tanto el flujo de filtrado medio será:

$$F_m = \frac{120 + 40}{2} = 80 \text{ m}^2/\text{h} \approx 0.08 \text{ m}/\text{h}$$

Como el proceso de ultrafiltración requiere un proceso de limpieza por contralavado, el caudal de agua de entrada se va a sobredimensionar, teniendo en cuenta que el caudal a la salida del tanque intermedio debe ser de $1851.85 \text{ m}^3/\text{h}$ y que se va a suponer que para el contralavado se utiliza un 10% del caudal, el caudal a la entrada debe ser de:

$$Q_E = Q_S + Q_S \cdot 0.1$$

$$Q_E = 1851.85 + 1851.85 \cdot 0.1 = 2037.035 \text{ m}^3/\text{h}$$

Con los datos anteriores se puede calcular el área de filtrado que será necesaria:

$$A_{FT} = \frac{Q_E}{F_m}$$

Donde:

A_{FT} : Área de filtrado total, m^2

Q_E : Caudal de entrada, m^3/h

F_m = Flujo de filtrado, m/h

Sustituyendo:

$$A_{FT} = \frac{2037.035}{0.08} = 25462.94 \text{ m}^2$$

Como el área de cada módulo es 51 m², el número de módulos será:

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{A_{FT}}{A_{Fu}}$$

Donde:

A_{FT} : Área de filtrado total, m²

A_{Fu} : Área de filtrado unitaria, m²

Sustituyendo:

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{25462.94}{51} = 499.27 \approx 500 \text{ módulos}$$

Como cada bastidor contiene 86 módulos, el número de bastidores se calcula:

$$N^{\circ} \text{ de bastidores} = \frac{N^{\circ} \text{ de módulos}}{N^{\circ} \text{ de módulos por bastidor}}$$

Sustituyendo:

$$N^{\circ} \text{ de bastidores} = \frac{500}{86} = 5.81 \approx 6 \text{ bastidores}$$

Sin embargo, se instalarán 7 bastidores, 6 principales y uno de reserva para que la planta no se paralice en etapas de limpieza.

7.2.2.3. Diseño del proceso de contralavado

El flujo de contralavado será entre 150 y 100 m²/h, es decir:

$$F_L = \frac{150 + 100}{2} = 125 \text{ m}^2/h \approx 0.125 \text{ m}^3/h$$

Se limpiará un bastidor cada vez, por tanto el área a lavar será:

$$A_L = N^{\circ} \text{ de módulos por bastidor} \cdot A_{Fu}$$

Sustituyendo:

$$A_L = 86 \cdot 51 = 4386 \text{ m}^2$$

Por tanto, el caudal de contralavado será:

$$Q_L = F_L \cdot A_L$$

Sustituyendo:

$$Q_L = 0.125 \cdot 4386 = 548.25 \text{ m}^3/h$$

Este proceso tiene una duración máxima de 60 segundos, por tanto el volumen de agua para cada lavado es:

$$V_L = 548.25 \text{ m}^3/h \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 9.14 \text{ m}^3$$

Como se producen 2 lavados de estas características cada hora en cada bastidor:

$$6 \text{ bastidores} \cdot 2 \text{ lavados} = 12 \text{ lavados/hora}$$

Por tanto el caudal de contralavado real por hora será:

$$Q_{L \text{ real}} = 9.14 \cdot 12 = 184.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Si la suposición hecha anteriormente es correcta, la suma del caudal a la salida y el caudal de contralavado tiene que ser menor que el caudal a la salida sobredimensionado:

$$Q_S + Q_{L \text{ real}} < Q_{L \text{ sobredimensionado}}$$

Sustituyendo:

$$1851.83 + 184.8 = 2036.63 \text{ m}^3/\text{h} < 2037.035 \text{ m}^3/\text{h}$$

Por lo tanto la suposición es correcta.

7.2.2.4. Diseño del proceso de contralavado CEB

El proceso de contralavado CEB se realiza 1 vez al día por bastidor, y se limpiará un bastidor a la vez, por lo que se producirán un total de 6 lavados CEB al día. Mientras que el área de lavado será la misma que para el proceso de contralavado anterior. La única diferencia será el flujo de lavado, que en esta ocasión es de 60 m²/h.

Se puede calcular el caudal de lavado CEB:

$$Q_{L \text{ CEB}} = F_L \cdot A_{Fu}$$

Sustituyendo:

$$Q_{L \text{ CEB}} = 0.60 \cdot 4386 = 263.16 \text{ m}^3/\text{h}$$

Los reactivos a utilizar en este lavado van a ser ácido clorhídrico (HCl) en una proporción de 0.1% en disolución, hidróxido de sodio (NaOH) en 0.05% e hipoclorito de sodio (NaClO) en 0.1%.

Los datos de dichos productos químicos comerciales son los siguientes:

- HCl 35% de riqueza, densidad de 1.18 Kg/l
- NaOH 32% de riqueza, densidad de 1.30 Kg/l
- NaClO 12% de riqueza, densidad de 1.22 Kg/l

Para el cálculo de los flujos máscicos de cada producto se utilizará el siguiente procedimiento:

$$M_{\text{producto}} = [\text{Concentración}] \cdot Q_{L \text{ CEB}}$$

Y teniendo en cuenta los datos comerciales de dichos productos:

$$Q_{\text{producto}} = \frac{M_{\text{producto}}}{r \cdot \rho}$$

Donde:

Q_{producto} : Caudal de producto, m^3/h

M_{producto} : Flujo másico del producto, Kg/h

[Concentración]: Concentración, Kg/m^3

$Q_{L\text{ CEB}}$: Caudal de lavado CEB, m^3/h

r : Riqueza

ρ : Densidad, Kg/m^3

Sustituyendo para el HCl:

$$M_{HCl} = 1 \cdot 263.16 = 263.16 \text{ Kg/h}$$

$$Q_{HCl} = \frac{263.16}{0.35 \cdot 1180} = 0.637 \text{ m}^3/h$$

Sustituyendo para el NaOH:

$$M_{NaOH} = 0.5 \cdot 263.16 = 131.58 \text{ Kg/h}$$

$$Q_{NaOH} = \frac{131.58}{0.32 \cdot 1300} = 0.316 \text{ m}^3/h$$

Sustituyendo para el NaClO:

$$M_{NaClO} = 1 \cdot 263.16 = 263.16 \text{ Kg/h}$$

$$Q_{NaClO} = \frac{263.16}{0.12 \cdot 1220} = 1.80 \text{ m}^3/h$$

7.2.2.5. Diseño del proceso de contralavado CIP

El lavado CIP es igual que el lavado CEB, con la diferencia de que se realiza una vez cada 1 a 3 meses, el caudal de lavado es de $1.5 \text{ m}^3/h$ por módulo y se utilizan las mismas sustancias al doble de concentración.

Por tanto el caudal de contralavado CIP será:

$$Q_{L\text{ CIP}} = Q_{L\text{ CIP } u} \cdot N^{\circ} \text{ de módulos por bastidor}$$

$$Q_{L\text{ CIP}} = 1.5 \cdot 86 = 129 \text{ m}^3/h$$

7.2.3. Filtro de cartucho

Este tipo de pretratamiento está colocado como última medida de protección para las membranas de ósmosis inversa, ya que cualquier partícula mayor de 5 μm podría dañarlas. Aunque después del proceso de ultrafiltración es muy difícil que queden partículas de un tamaño tan grande, con la instalación aguas arriba de un tanque intermedio es posible que se genere alguna.

Los filtros de cartucho consisten en unos tubos de PRFV (plástico reforzado con fibra de vidrio) dentro de los cuales están los filtros. Para esta planta se ha elegido unos tubos de la empresa "FLYGT" diseñados para una presión de trabajo de 6 bar y supondrán unas pérdidas de carga de 10 m. Además, los cartuchos filtrantes serán de polipropileno plisado, con un diámetro exterior de 60 mm, una longitud de 1.524 m y una superficie filtrante de 0.24 m^2 .



Figura 12: Filtro de cartucho (fuente:FLYGT©)

Los filtros de cartucho no precisan de un lavado periódico, se deben sustituir en el momento en que la suciedad no permita su correcto funcionamiento. Sin embargo esto no supondrá un desembolso económico muy elevado, ya que estos filtros solo son una medida de protección, por tanto el agua que será filtrada no los ensuciará en exceso.

Además de los filtros de cartucho que se van a colocar aguas arriba del sistema de ósmosis inversa, también se va a colocar otro sistema de filtros de cartucho en la línea del sistema CIP, para evitar la entrada de partículas procedentes de esta línea al sistema de ósmosis inversa.

7.2.3.1. Diseño del sistema de filtros de cartucho en la línea de agua

Los cálculos para el diseño se basan en el flujo de filtrado, en este caso el fabricante ofrece unos datos de 10 m^3/h . A partir de ese dato, y conociendo el caudal a tratar se puede calcular el área de filtrado:

$$A_{FT} = \frac{Q_E}{F_m}$$

Donde:

A_{FT} : Área de filtrado total, m^2

Q_E : Caudal de entrada, m^3/h

F_m = Flujo de filtrado, m/h

Sustituyendo:

$$A_{FT} = \frac{1851.83}{10} = 185.183 \text{ m}^2$$

Como se van a utilizar cartuchos con un área filtrante de 0.24 m^2 , se calcula el número de cartuchos necesarios:

$$N^{\circ} \text{ de cartuchos} = \frac{A_{FT}}{A_{Fu}}$$

Donde:

A_{FT} : Área de filtrado total, m^2

A_{Fu} : Área de filtrado unitaria, m^2

Sustituyendo:

$$N^{\circ} \text{ de cartuchos} = \frac{185.183}{0.24} = 771.59 \approx 772 \text{ cartuchos}$$

Como cada tubo contiene 100 cartuchos, el número de tubos se calcula:

$$N^{\circ} \text{ de filtros} = \frac{N^{\circ} \text{ de cartuchos}}{N^{\circ} \text{ de cartuchos por filtro}}$$

Sustituyendo:

$$N^{\circ} \text{ de filtros} = \frac{772}{100} = 7.72 \approx 8 \text{ filtros}$$

Por tanto se instalarán 8 filtros con 100 cartuchos cada uno.

7.2.3.2. Diseño del sistema de filtros de cartucho en la línea de limpieza CIP

Los cálculos son iguales que los realizados anteriormente para la línea de agua:

$$A_{FT} = \frac{Q_E}{F_m}$$

Donde:

A_{FT} : Área de filtrado total, m^2

Q_E : Caudal de entrada, m^3/h

F_m = Flujo de filtrado, m/h

Sustituyendo:

$$A_{FT} = \frac{129}{10} = 12.9 \text{ m}^2$$

Como se van a utilizar cartuchos con un área filtrante de 0.24 m^2 , se calcula el número de cartuchos necesarios:

$$N^{\circ} \text{ de cartuchos} = \frac{A_{FT}}{A_{Fu}}$$

Donde:

A_{FT} : Área de filtrado total, m^2

A_{Fu} : Área de filtrado unitaria, m^2

Sustituyendo:

$$N^{\circ} \text{ de cartuchos} = \frac{12.9}{0.24} = 53.75 \approx 54 \text{ cartuchos}$$

Como cada tubo contiene 100 cartuchos, el número de tubos se calcula:

$$N^{\circ} \text{ de filtros} = \frac{N^{\circ} \text{ de cartuchos}}{N^{\circ} \text{ de cartuchos por filtro}}$$

Sustituyendo:

$$N^{\circ} \text{ de filtros} = \frac{54}{100} = 0.54 \approx 1 \text{ filtro}$$

Por tanto se instalará 1 filtro con 100 cartuchos en su interior.

8. Osmosis inversa

8.1. Descripción del proceso

El proceso de osmosis inversa consiste en hacer pasar un flujo de agua a alta presión a través de una membrana semipermeable, de forma que se obtenga una corriente libre de sales y otra corriente rica en ellas. La corriente de entrada es conocida como “aporte”, la corriente de salida libre de sales es el “permeado”, y por último la corriente con mayor concentración de sales es el “rechazo”. Este proceso se consigue elevando la presión del corriente aporte, y así las sales pasen de la corriente pobre en sales a la corriente rica, y no al revés como pasaría de forma espontánea. La conversión que se obtiene utilizando este proceso es del 45%.

El proceso se puede encadenar, es decir a continuación se puede volver a realizar el mismo, tomando esta vez la corriente de rechazo como aporte, lo que sería conocido como osmosis inversa de 2 pasos, y así sucesivamente.

Para esta planta se ha optado por diseñar una osmosis inversa con un paso, sin embargo antes de devolver el agua de rechazo al mar, se utilizará un sistema de recuperación de energía, para no desaprovechar la presión que tendrá dicha corriente de rechazo. El sistema de recuperación que se va a instalar se conoce como SIP o Sistema de Intercambio de Presión, y su objetivo será el de aprovechar la presión del agua de rechazo mediante una cámara isobárica para impulsar el agua de mar, proporcionando un ahorro económico.

Sin embargo existe un problema, la presión de llegada del agua de mar a las membranas es mayor que la que tiene el agua de rechazo, debido a las pérdidas de carga producidas durante el transporte y tratamientos filtrantes. Este problema se soluciona con la instalación de una bomba booster a la salida del sistema de intercambio de presión que consiga elevar la presión del corriente rechazo.

8.2. Parámetros del agua que afectan al proceso

8.2.1. Salinidad

Cuanto mayor sea la salinidad del corriente aporte, menor será el rendimiento del proceso, sin embargo no es un factor que se pueda controlar ya que viene regido por el lugar de construcción de la planta y de donde se recoge el agua objetivo.

8.2.2. pH

Al aumentar el pH, el rechazo de sales aumenta, por lo que la concentración de éstas en el agua de rechazo aumentará. Con un pH menor que 5 el rechazo de sales se reduce, dificultando el proceso. Sin embargo el agua de mar es generalmente básica.

8.2.3. Presión a la entrada

A mayor presión de entrada, mayor será la cantidad de permeado, ya que se conseguirá que pasen más sales de la corriente pobre en sales a la rica. La presión es un factor muy determinante, ya que de ello va a depender directamente el rendimiento de la planta.

8.2.4. Temperatura

Un aumento de la temperatura provoca una disminución en la viscosidad del corriente aporte, aumentando el permeado, sin embargo no favorece el intercambio de sales. Se estima que por cada grado el flujo de permeado aumenta un 3% mientras que la disminución de rechazo de sales es de un 6%. La temperatura es el otro factor clave en el diseño, ya que tiene un papel muy importante en el rendimiento.

8.3. Diseño del sistema de osmosis inversa

El diseño del sistema de osmosis inversa está realizado con el programa "ROSA 9.1", siglas que significan "Reverse Osmosis System Analysis", de la empresa "The DOW chemical Company", dedicada a la fabricación de varios tipos de sistemas de membrana.

Gracias a la simulación del proceso con el software anteriormente comentado se ha podido escoger el tipo de membrana más adecuado para la planta, diseñando así una planta lo más eficiente posible asegurando una conversión mínima del 45% en todos los casos.

8.3.1. Consideraciones de diseño

Para un caudal de permeado objetivo de 20000 m³/día, y determinando una conversión del 45%, el caudal de entrada al sistema de osmosis inversa será de 44444.44 m³/día. Al ser este caudal tan elevado, se ha decidido instalar 3 líneas con un sistema de osmosis inversa en cada una de ellas, dichos sistemas de osmosis inversa serán iguales entre sí, por lo que se detallará el diseño una de ellas únicamente.

Cada línea producirá un caudal permeado de 6666.67 m³/día, por lo tanto el caudal de entrada será de 14814.80 m³/día.

Los datos del agua que se van a utilizar son los siguientes:

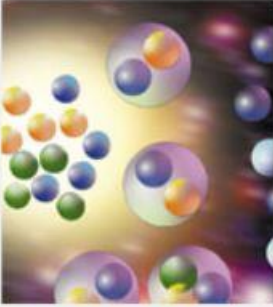
Profile Name:	Coliumo def	
Ammonium (NH4)	0.00 mg/l	pH: 7.90
Potassium (K)	380.12 mg/l	Temperature: 15.00 °C
Sodium (Na)	10559.47 mg/l	59.00 °F
Magnesium (Mg)	1262.42 mg/l	Add to Library
Calcium (Ca)	400.13 mg/l	
Strontium (Sr)	13.00 mg/l	Delete from Library
Barium (Ba)	0.15 mg/l	
Carbonate (CO3)	9.43 mg/l	
Bicarbonate (HCO3)	139.95 mg/l	
Nitrate (NO3)	0.50 mg/l	
Chloride (Cl)	18973.77 mg/l	
Fluoride (F)	1.00 mg/l	
Sulfate (SO4)	2648.13 mg/l	
Silica (SiO2)	1.00 mg/l	
Boron (H3BO3)	25.84 mg/l	
		Close

Figura 13: Datos del agua de entrada (fuente: ROSA©)

8.3.2. Simulación con ROSA

ROSA Control Panel - Coliumo

File Options Help

System Permeate Flow: 6668.06 m³/d System Feed Flow: 14815.56 m³/d System Recovery: 45.01%

Case:

Project Information

Notes: Project Name: Coliumo

Project Cases

Notes for Current Case: Case: 1 Add Case Delete Case Manage Pre-stage ΔP: 0.345 bar

t= 0 años; T=15 °C

Project Preferences

Analysis By: Jordi Colomina Montava Small Commercial System


Company Name: EPSA

Balance Analysis With: NaCl

Units Set: Flow: m³/d, Pressure: bar

Temperature Unit: Celsius (°C)

Default Project Folder: C:\Program Files (x86)\Dow Chemical\ROSA9\MyProjects



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

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Figura 14: Pantalla de información de ROSA (fuente: ROSA©)

Al ejecutar el software ROSA la pantalla de la figura anterior se presenta, en ella se puede observar el nombre del proyecto, "Coliumo" en este caso. A continuación se pueden añadir los casos que se van a simular presionando el botón "Add case", en este caso se han añadido 9 casos variando la temperatura y el tiempo en funcionamiento de la planta. En el cuadro blanco se pueden añadir comentarios o notas para diferenciar los diferentes casos añadidos.

En la parte de inferior lo más destacable es que el software permite cambiar las unidades de entrada y salida, así como la escala de temperatura a utilizar.

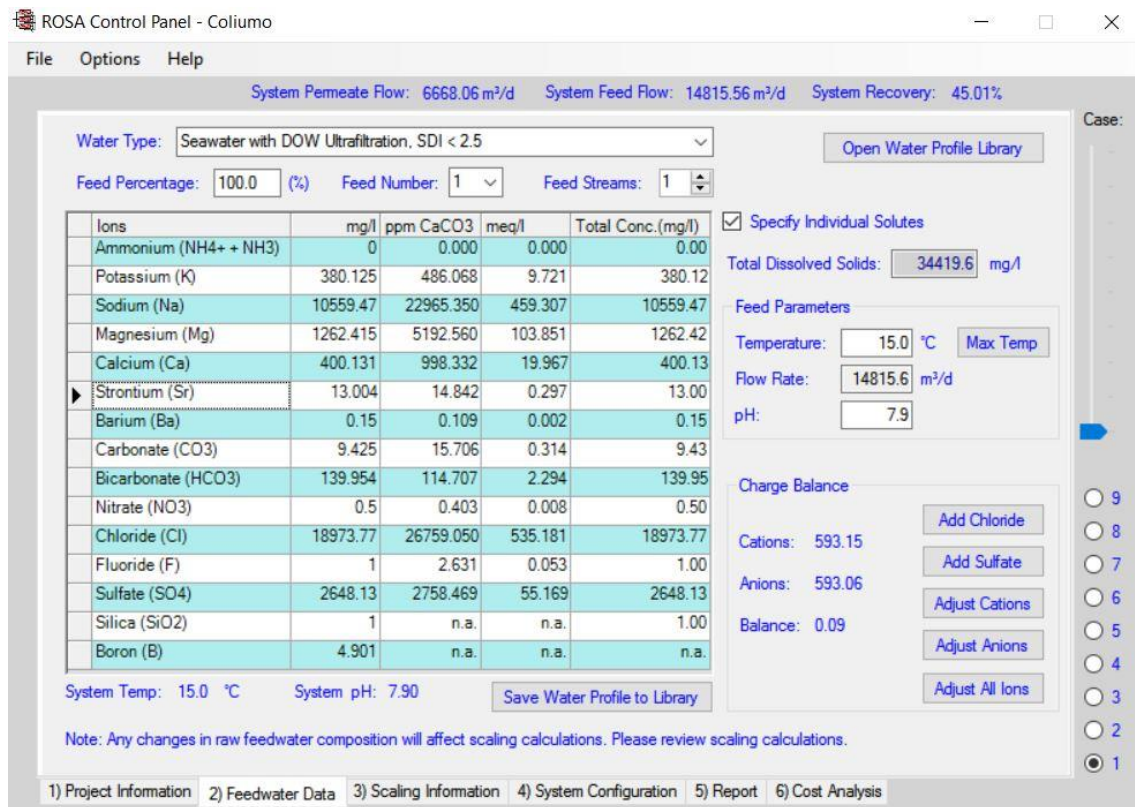


Figura 15: Pantalla de agua de alimentación ROSA (fuente: ROSA®)

El siguiente paso será añadir los datos del agua que se van a utilizar para la simulación, el software permite la entrada manual en una tabla. Una vez introducidos todos los datos es recomendable guardarlos en la biblioteca que incorpora el software para su posterior utilización. Una vez se han introducidos los datos, el software calcula automáticamente los sólidos disueltos totales.

En esta pestaña también se deben introducir los datos que hacen referencia al caudal de entrada, como son el porcentaje que llega, 100% en este caso, y el número de caudales de entrada, en caso de existir varios. En la parte derecha debe introducir la temperatura, 15 °C y el pH, 7.9 para esta simulación. El software también permite ajustar el balance de cargas.

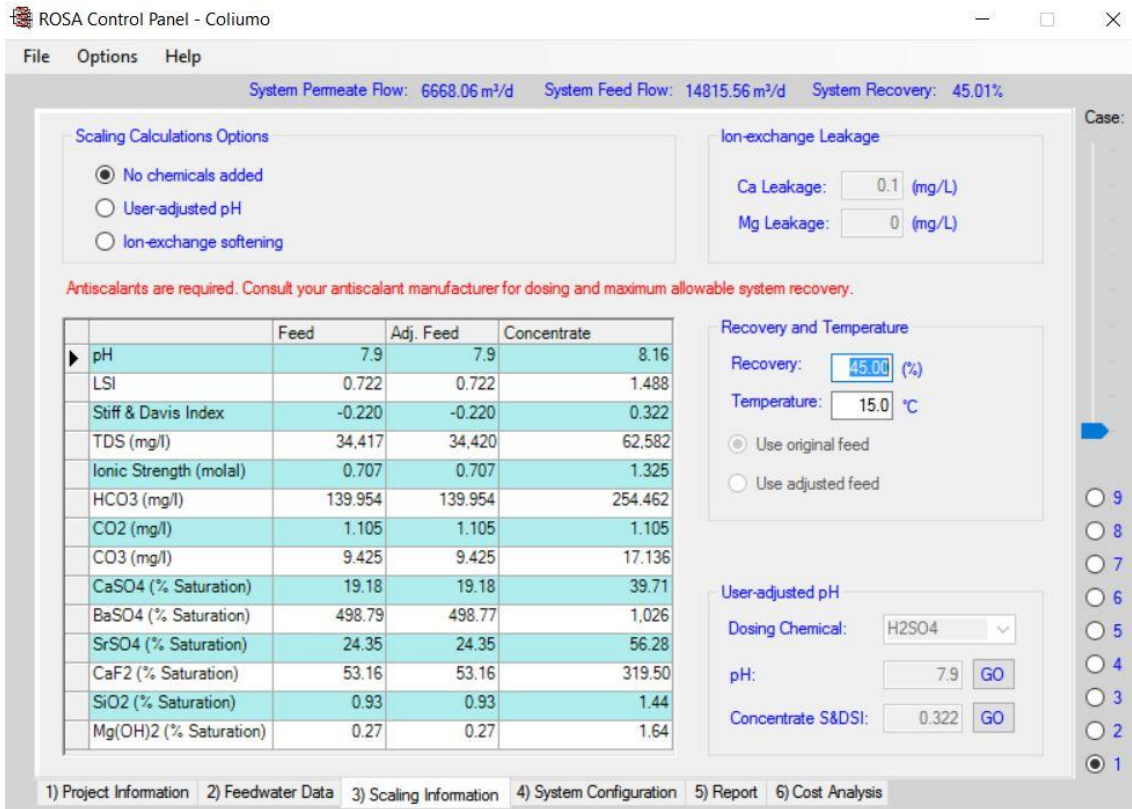


Figura 16: Pantalla de información ROSA (fuente: ROSA©)

La siguiente pestaña es la pestaña de información de escalado, en la parte derecha se introduce la conversión mínima para la cual se va a simular el sistema de osmosis inversa, en este caso 45%. Además, el software recomienda la utilización de antiincrustantes como se puede observar en la parte superior con letras rojas. Esta advertencia se ha tenido en cuenta a la hora de diseñar la planta desalinizadora como ya se ha visto en el apartado de pretratamientos químicos.

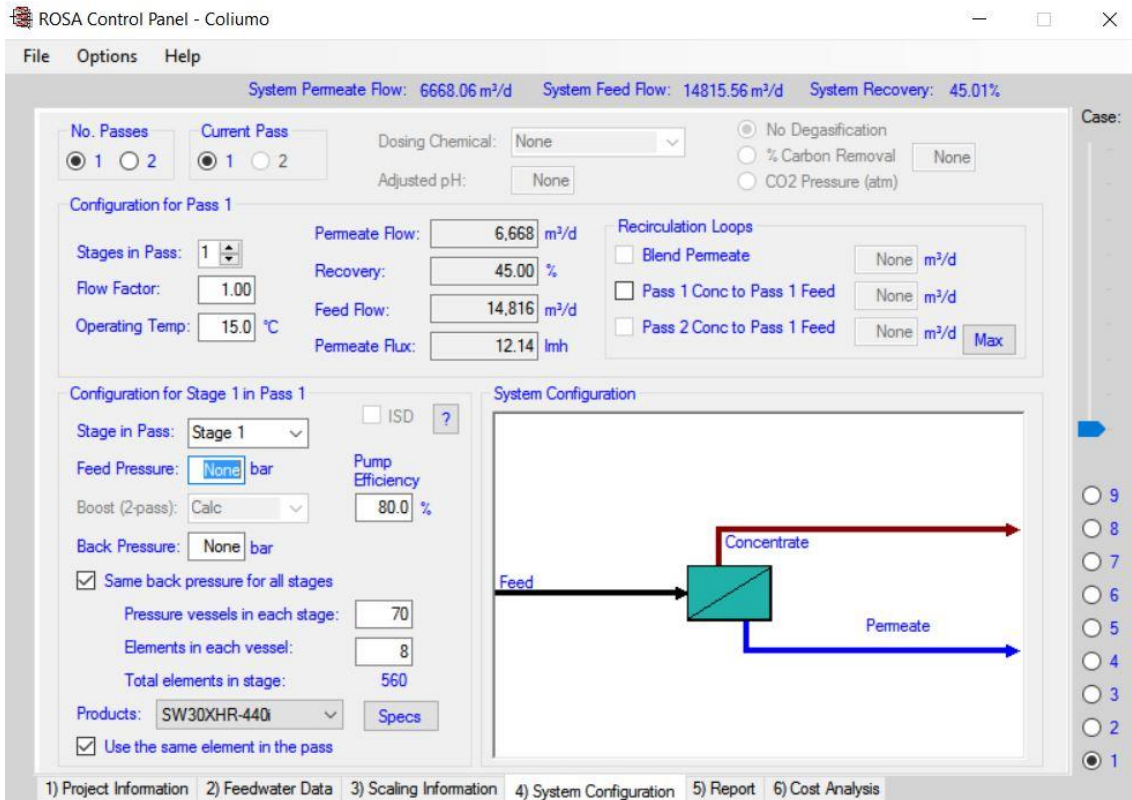


Figura 17: Pantalla de configuración del sistema ROSA (fuente: ROSA©)

Esta pantalla es la más importante, ya que se van a introducir los datos de los flujos de permeado objetivo, alimentación y flujo de permeado; gracias a la siguiente calculadora que permite calcular unos en función de otros:

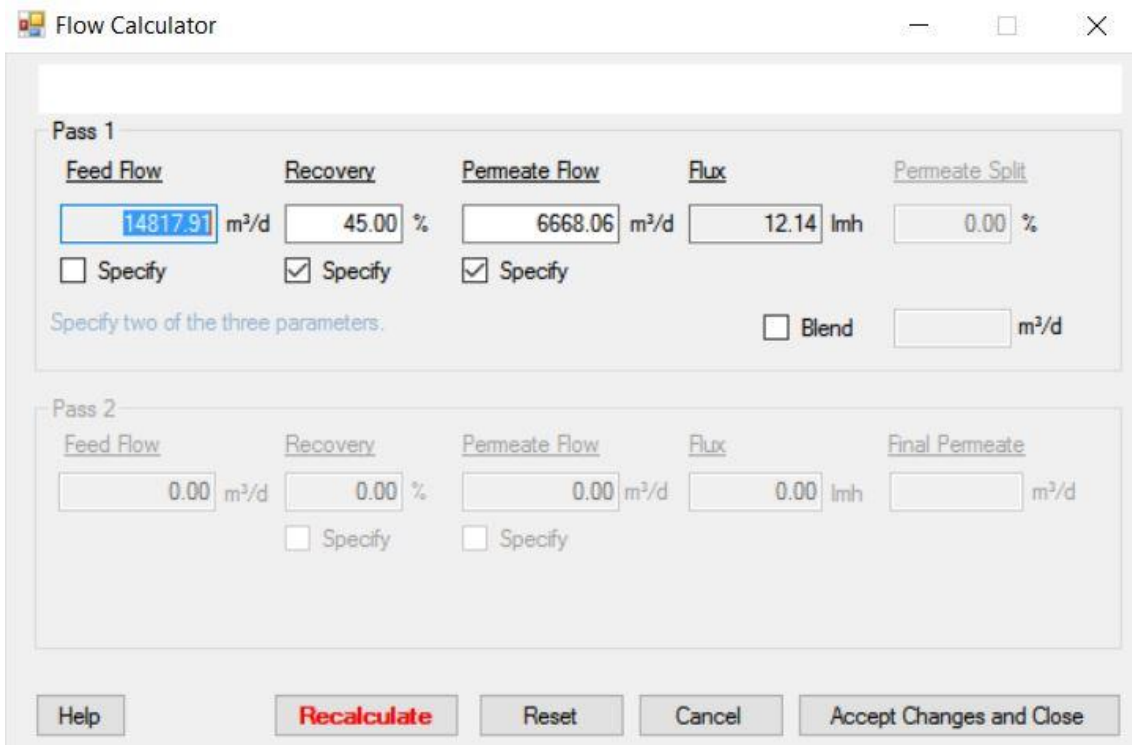


Figura 18: Calculadora interna de caudales ROSA (fuente: ROSA©)

También permite modificar la configuración de pasos a simular, en este caso como ya se ha comentado se ha optado por un diseño de 1 paso.

Un dato importante a la hora de realizar la simulación es el dato del llamado factor de flujo, en una planta nueva el factor es 1, pero a medida que pasa el tiempo, las membranas pierden eficacia y va disminuyendo. Se han simulado los casos para 0, 1 y 3 años, siendo los valores de factor de flujo 1, 0.90 y 0.80 respectivamente.

El rendimiento de las bombas se va a suponer del 80%, mientras que los valores de la presión de entrada y salida se recomienda dejarlos en blanco.

El siguiente paso consiste en seleccionar la membrana a utilizar entre todas las que fabrica la empresa, así como el número de bastidores y el número de membranas en cada bastidor, después de varias simulaciones con errores se ha llegado a los siguientes valores:

Tipo de membrana	SW30XHR-440i
Conversión	0.45%
Nº de líneas de OI	3
Nº de pasos por línea	1
Caudal de Permeado total (m3/día)	20000
Caudal de Permeado por línea (m3/día)	6666.67
Caudal de Aporte total (m3/día)	14814.8
Caudal de Aporte por línea (m3/día)	44444.44
Caudal de Rechazo total (m3/día)	24444.44
Caudal de Rechazo por línea (m3/día)	8148.13
Flujo específico (lmh)	12.13
Nº de membranas por bastidor	8
Nº de bastidores por línea	70
Nº de membranas por línea	560
Nº de membranas total	1680

Tabla 1: Características del sistema de osmosis inversa

Una vez determinadas las características de la planta de osmosis inversa se realiza la simulación y el software devuelve un informe detallado de todos los componentes, presiones y caudales, así como de los errores en caso de haberlos. En la siguiente figura se muestra el resultado de una de las simulaciones, en concreto para una situación con una temperatura de 25 °C y un factor de flujo de 0.8, correspondiente a un estado de envejecimiento de las membranas aproximado de 3 años:

Información del Proyecto:

Detalles del Sistema

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	14814.82 m³/d	Caudal de Permeado Paso 1	6666.52 m³/d	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	14814.82 m³/d	Conversión Paso 1	45.00 %	Alimentación	24.31 bar
Presión de Alimentación	54.62 bar	Temperatura de Alimentación	25.0 C	Concentrado	45.35 bar
Factor de flujo	0.80	STD Alimentación	34423.58 mg/l	Media	34.83 bar
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	560	NDP media	18.87 bar
Área Activa Total	22890.56 M²	Flujo específico medio Paso 1	12.13 lmh	Potencia	1170.87 kW
Clasificación del Agua: Seawater with DOW Ultrafiltration, SDI < 2.5				Energía Específica	4.22 kWh/m³

Etapa	Elemento	Nº Cajas de Elementos	Nº de Elementos	Caudal de Alimentación (m³/d)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/d)	Caudal de concentrado (m³/d)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m³/d)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión de Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30XHR-440i	70	8	14814.82	54.27	0.00	8148.31	52.89	6666.52	12.13	0.00	0.00	147.66

Nombre	Corrientes Paso (mg/l como ión)				
	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado		Permeado Total
			Etapa 1	Etapa 1	
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	380.12	380.12	689.35	2.15	2.15
Na	10559.47	10561.15	19159.49	51.63	51.63
Mg	1262.42	1262.42	2294.12	1.40	1.40
Ca	400.13	400.13	727.14	0.44	0.44
Sr	13.00	13.00	23.62	0.01	0.01
Ba	0.15	0.15	0.27	0.00	0.00
CO3	14.09	14.09	28.14	0.00	0.00
HCO3	139.95	139.95	249.43	0.98	0.98
NO3	0.50	0.50	0.89	0.03	0.03
Cl	18973.77	18973.77	34427.54	85.04	85.04
F	1.00	1.00	1.81	0.01	0.01
SO4	2648.13	2648.13	4813.74	1.17	1.17
SiO2	1.00	1.00	1.81	0.01	0.01
Boro	4.93	4.93	8.28	0.84	0.84
CO2	0.89	0.89	1.89	1.11	1.11
STD	34421.89	34423.58	62464.64	147.66	147.66
pH	7.90	7.90	7.85	6.11	6.11

Figura 19: Resumen de datos de simulación (fuente: ROSA©)

A continuación se puede observar un cuadro resumen de los parámetros obtenidos en los 9 casos simulados:

T (°C)	Flow factor	Presión de alimentación (bar)	SDT (mg/l)
15	1	55.16	84.33
	0.9	56.98	83.92
	0.8	59.36	83.46
20	1	53.26	112.84
	0.9	54.7	112.2
	0.8	56.59	111.52
25	1	52	149.51
	0.9	53.12	148.63
	0.8	54.62	147.66

Tabla 2: Tabla resumen simulaciones

Los parámetros elegidos en la tabla resumen son la temperatura, el factor de flujo, la presión del caudal de alimentación y los sólidos totales disueltos.

En cuanto a la temperatura, se puede observar que sucede como se había supuesto, un aumento de esta provoca una disminución en la presión de alimentación aunque también aumentan las sales totales disueltas, esto no supone un problema ya que los valores máximos alcanzados entran dentro del máximo que la legislación chilena exige.

Por otra parte, el envejecimiento de las membranas no se verá reflejado en el total de sólidos disueltos, ya que el software utilizado solamente tiene en cuenta el dato del factor de flujo para determinar la presión necesaria para mantener el flujo deseado, y no para determinar el paso de sales. Sin embargo, como se ha dicho anteriormente, es lógico pensar que una membrana vieja dejará pasar menos sales que una membrana a estrenar.

8.3.3. Limpieza de las membranas

Como se ha comentado, las membranas utilizadas en el proceso de osmosis inversa son muy frágiles, así que en caso de ensuciamiento se ha de actuar con rapidez para poder recuperar la membrana. Será necesario realizar una limpieza siempre que se detecte un cambio importante en las sales disueltas del permeado, si la producción, el caudal de rechazo, la pérdida de carga o la presión de alimentación varían notablemente y antes de periodos de parada de la planta. Como se ha tenido la precaución de pretratar el agua con varios tratamientos físicos y químicos, este procedimiento de limpieza no será utilizado con demasiada frecuencia.

Sin embargo, por precaución una vez al año se activará el proceso de limpieza, que consiste en un lavado CIP, como el sistema de ultrafiltración en sentido contrario, que limpia las membranas. Cabe destacar la presencia de un filtro de cartuchos a la salida del tanque para evitar que partículas con un tamaño superior a 5 μm puedan dañar las membranas.

8.3.4. Diseño del sistema SIP de recuperación de energía

Dados los altos requerimientos energéticos que presenta una planta desalinizadora por osmosis inversa, se hace indispensable la instalación de un recuperador de energía. Como ya se ha dicho anteriormente se instalará un sistema de intercambio de presión con cámaras isobáricas para aprovechar la presión de salida del agua de rechazo y se utilizará para bombear agua bruta al sistema de osmosis inversa.

Para la planta se va instalar un recuperador de tipo rotativo, la elección de la empresa viene marcada por una peculiaridad, solamente hay una empresa que los fabrica: "*Energy recovery Inc.*" O "*ERI*". Dichos recuperadores consisten en un cuerpo cilíndrico en cuyo interior hay pequeñas cámaras, gracias a la presión de la salmuera, el cilindro gira llegando a alcanzar 1200 revoluciones por minuto, realizando la secuencia de trabajo del recuperador. En todo momento la mitad de las cámaras están sometidas al flujo de alta presión y la otra mitad restante al flujo de baja presión.

Para seleccionar el modelo de cilindro intercambiador de presión y diseñar el recuperador de energía, la empresa "*ERI*" proporciona un cómodo software en formato de hoja de cálculo. Mediante el cual es muy sencillo saber qué producto se ajusta mejor al sistema de osmosis diseñado, y además aporta todos los datos necesarios para el diseño de dicho recuperador.

En la siguiente imagen se puede observar el software, además se han colocado ya los datos que se han obtenido anteriormente en la simulación a 15 °C de temperatura y un factor de flujo de 0.80:

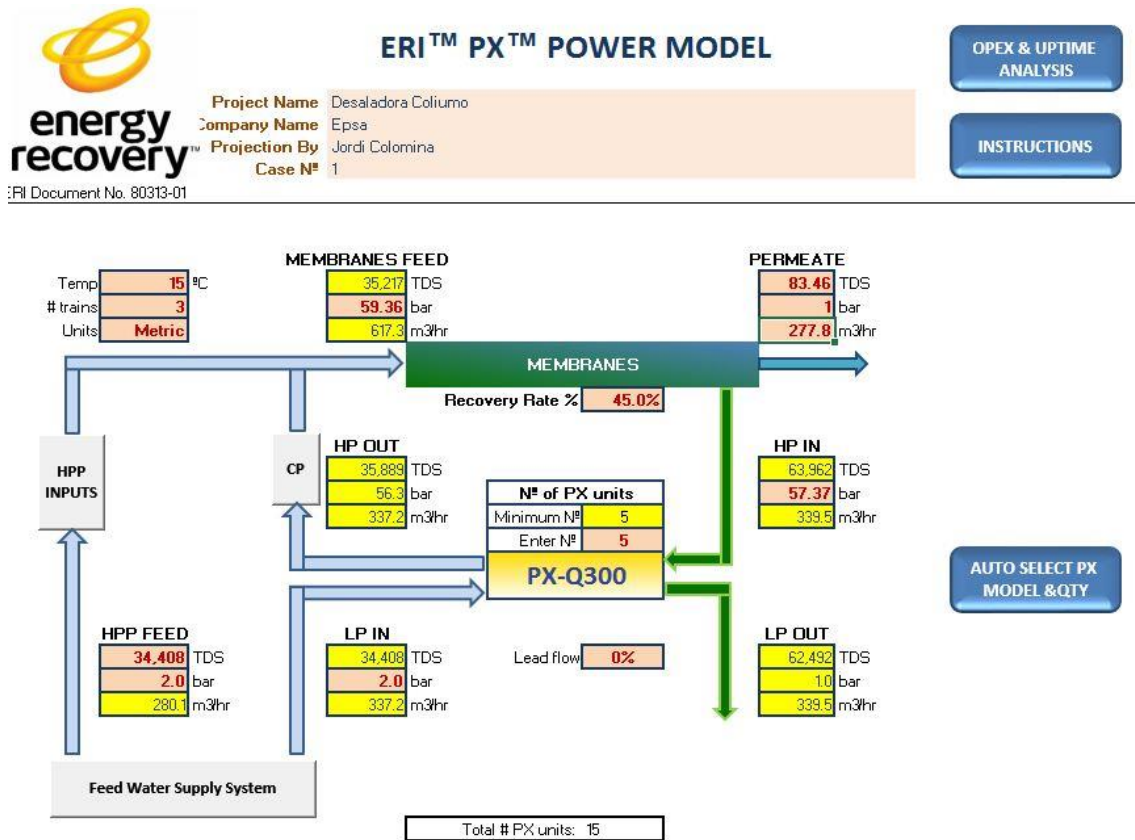


Figura 20: Sistema de recuperación de energía SIP (fuente: ERI©)

El software permite editar los campos que se encuentran en rojo, calculando los cuadros amarillos, además permite la elección automática del cilindro intercambiador de presión en función de los datos introducidos.

En este caso, se ha optado por un cilindro intercambiador de presión modelo "PX-Q300" y como el software indica, se instalarán 5 unidades por cada línea de trabajo, haciendo un total de 15 en las 3 líneas en las que se ha dividido el proceso.

9. Posttratamiento

Dado que el sistema de osmosis inversa tiene gran capacidad de eliminación, el agua producto no es apta para el consumo humano, ya que sólo queda un poco de cloruro sódico disuelto. Por este motivo es necesario añadir al agua determinadas sustancias mediante un proceso de remineralización.

Los requisitos a cumplir para que un agua sea considerada apta para el consumo humano en Chile vienen en la conocida como “Norma NCH 409/1” también llamada “Norma de calidad del agua potable”, esta norma se comenzó a aplicar en el 2006 y sigue vigente.

Los parámetros que se deben tener en cuenta para una correcta remineralización en una instalación desalinizadora son:

- Boro < 1.0 mg/l
- Trihalometanos \leq 1 mg/l
- Sólidos disueltos (STD) \leq 1500 mg/l
- pH comprendido entre 6.5 y 8.5
- Sodio < 200 mg/l
- Conductividad < 2500 μ S/cm
- Cloruros \leq 400
- Índice de Langelier (LSI) o carácter incrustante del agua \pm 0.5

Para remineralizar el agua de salida de la osmosis inversa se va a instalar un lecho de calcita con dosificación de dióxido de carbono (CO₂), siendo un sistema que asegura buenos resultados y es económico.

9.1. Lecho de calcita

El lecho de calcita consta de una celda que contiene un lecho de carbonato cálcico, por la cual se hace pasar el agua a tratar. Dicha agua entra por la parte inferior de la celda, atraviesa el lecho, y por último sale de la celda por la parte superior. Además, el proceso incluye alimentadores de carbonato cálcico para que el lecho se rellene automáticamente a medida que se vaya consumiendo. Este sistema funciona con la presión residual del agua de salida de la osmosis inversa.



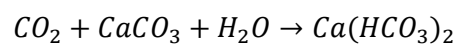
Figura 21: Lecho de calcita (fuente: www.inima.es)

Este proceso produce una serie de cambios en el agua, permitiendo cumplir con la normativa de aguas para el consumo humano. Entre los cambios destacan el incremento de pH de 6.11 a 8, la concentración de calcio pasa de 0.44 mg/l a 4.5 mg/l y la concentración de HCO_3 pasa de 0.95 mg/l a 8 mg/l.

Aguas arriba de este proceso se debe dosificar CO_2 , directamente en la tubería.

9.1.1. Dosificación de CO_2

La reacción que se va a producir en este proceso es:



En la cual el agua disuelve solamente el reactivo necesario para equilibrar su índice de Langelier, por lo tanto no existe riesgo de sobredosificación.

El cálculo de los reactivos necesarios se realizará teniendo en cuenta el caudal de permeado y una dosis de CaCO_3 consumida entre 60 y 100 mg/l.

$$Q_p = 20000 \text{ m}^3/\text{día} = 833.33 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Dosis media} = \frac{100 + 60}{2} = 80 \text{ mg/l} = 80 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/m}^3$$

El cálculo del flujo másico de CaCO_3 se calcula:

$$\text{Flujo másico de CaCO}_3 = \text{Dosis} \cdot Q_p$$

Donde:

Flujo másico, Kg/h

Dosis, Kg/m³

Q_p: Caudal permeado, m³/h

Sustituyendo:

$$\text{Flujo másico de CaCO}_3 = 80 \cdot 10^{-3} \cdot 833.33 = 66.67 \text{ Kg/h}$$

Como por cada mol de CaCO_3 hay un mol de CO_2 , y teniendo en cuenta que los pesos moleculares son 100 g/mol y 44 g/mol respectivamente, se puede calcular la cantidad necesaria de CO_2 del dosificador:

$$\text{Flujo másico de CO}_2 = \text{Flujo másico de CaCO}_3 \cdot \text{Factor estequiométrico}$$

Sustituyendo:

$$\text{Flujo másico de CO}_2 = 66.67 \cdot 0.44 = 29.37 \text{ Kg/h}$$

9.1.2. Diseño de los lechos de calcita

Para calcular el número de lechos, así como la altura de los mismos, se consideran los siguientes datos:

$$Q_p = 20000 \text{ m}^3/\text{día} = 833.33 \text{ m}^3/\text{h}$$

Velocidad de filtrado (v_f) = 8 – 30 m/h (se va a utilizar la más limitante)

Superficie unitaria de cada lecho (S_u) = 3m² para unos filtros 7x1

Tiempo de contacto = 8 – 12 min (se va a utilizar el más limitante)

La situación más limitante se va a dar con el caudal máximo, una velocidad de filtrado de 30 m/h y un tiempo de contacto de 12min (0.2 horas). Por tanto la superficie filtrante necesaria será:

$$S_F = \frac{Q_p}{v_f}$$

Sustituyendo:

$$S_F = \frac{833.33}{30} = 27.78 \text{ m}^2$$

Por tanto el número de lechos se calcula:

$$N^\circ \text{ de lechos} = \frac{S_F}{S_u} = 3.96 \approx 4 \text{ lechos}$$

Y la altura de cada lecho será:

$$H = v_f \cdot \text{tiempo de contacto}$$

Sustituyendo:

$$H = 30 \cdot 0.2 = 6 \text{ m}$$

10. Vertido de salmuera

Dada la ubicación de la planta, situada cerca de un acantilado con una caída aproximada de 17 m sobre el nivel del mar, se va a producir el vertido de salmuera desde una tubería situada en lo alto del acantilado. De esta forma se aprovechará tanto la caída, como la turbulencia producida por el oleaje rompiendo contra la costa, para la difusión de la salmuera en el mar consiguiendo de esta forma minimizar el impacto ambiental sobre la costa de la forma más económica. La tubería tendrá las mismas características que el inmisario de agua de mar, es decir, será de polietileno de alta densidad (PEAD) y tendrá un diámetro de 1 m.

11. Bombas y conducciones

11.1. Material

El material que se va a usar para todas las conducciones de la planta es el plástico reforzado con vidrio (PRFV), debido a su elevada resistencia a la corrosión y a su alta resistencia al desgaste, además es ligero. Por otra parte, la conducción desde la torre de toma hasta la planta se construirá con polietileno de alta densidad (PEAD), ya que este material soporta mejor la corrosión.

11.2. Explicación del proceso de cálculo

En primer lugar va a ser necesario el cálculo de la sección y el diámetro de las tuberías:

$$Sección = \frac{Q}{v}$$

Donde:

$$Sección, m^2$$

$$Q: \text{Caudal a tratar, } m^3/h$$

$$v: \text{Velocidad del agua, } m/h$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Sección}{\pi}}$$

$$D: \text{Diámetro, } m$$

$$Sección, m^2$$

Para el cálculo de la potencia de la bomba se va a emplear la ecuación:

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{367 \cdot \eta_b}$$

Además, se considerará un rendimiento de los motores del 95%:

$$P_R = \frac{P}{\eta_m}$$

Donde:

$$P: \text{Potencia de la bomba, } Kw$$

$$P_R: \text{Potencia a suministrar a la bomba, } Kw$$

$$Q: \text{Caudal de agua a bombear, } m^3/h$$

H : Altura manométrica, m

ρ : Densidad, Kg/l ; para el agua de mar $\rho = 1.02 \text{ Kg/l}$

η_b : Rendimiento de la bomba

η_m : Rendimiento del motor

De esta fórmula falta conocer la altura manométrica, ya que la densidad del agua de mar es conocida, y para las bombas se va a suponer un rendimiento del 85%. Por lo tanto se procede a calcular la altura manométrica con la siguiente ecuación:

$$H = \Delta Z + \sum F \cdot \Delta P$$

Donde:

H : Altura manométrica, m

ΔZ : Diferencia de cotas, m

$\sum F$: Sumatorio de pérdidas de carga, m

ΔP : Diferencia de presión, m

El sumatorio de las pérdidas de carga se calculará sumando todas las pérdidas de carga debidas a equipos y a la circulación por las conducciones.

Para el cálculo de las pérdidas de carga debidas a la circulación por las conducciones se utilizará la conocida como ecuación de Fanning:

$$\sum F = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot D \cdot g}$$

Donde:

$\sum F$ = Pérdidas de carga por circulación, m

f = Coeficiente de rozamiento

L = Longitud, m

v = Velocidad, m/s

D = Diámetro, m

g = Gravedad, m/s^2

El único dato que es desconocido es el coeficiente de rozamiento, el cual se calculará con la ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

Donde:

f = Coeficiente de rozamiento

K = Rugosidad del material, m

D = Diámetro, m

Re = Número de Reynolds

Esta ecuación tiene la peculiaridad de que la incógnita, el coeficiente de rozamiento, se encuentra a ambos lados de la ecuación, se ha escrito un pequeño script para resolver la ecuación con el software Matlab que se añadirá al documento en forma de anexo.

Además, para resolver esta ecuación, se tiene que calcular el número de Reynolds, cuya fórmula es:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

Donde:

Re = Número de Reynolds

ρ = Densidad del agua, Kg/m^3 , para el agua de mar $1020 Kg/m^3$

v = Velocidad máxima, m/s

D = Diámetro, m

μ = Viscosidad, $Kg/m \cdot s$, para el agua de mar $0.001 Kg/m \cdot s$

Así pues, el camino a recorrer para calcular la potencia de la bomba es el siguiente:

- Cálculo de la sección y diámetro de la tubería
- Cálculo del número de Reynolds
- Cálculo del factor de rozamiento con la ecuación de Colebrook-White
- Cálculo de las pérdidas de carga por conducción con la ecuación de Fanning
- Cálculo de la altura manométrica teniendo en cuenta las pérdidas de carga por conducción y equipos, así como la diferencia de cotas
- Cálculo de la potencia de la bomba
- Cálculo del consumo de la bomba

11.3. Cuadro resumen de las bombas de la planta

Tipo de bomba	Caudal m ³ /h	Nº de bombas	Consumo (Kw)
Bomba de captación	2036.65	1+1	345.78
Bombas de baja presión	1851.8	1+1	208.42
Bombas de alta presión	420.15	2+2	1735.4
Bombas Booster	337.2	3+3	57.54
Bombas de contralavado FA	180	1+1	21.01
Bombas de contralavado UF	548.25	1+1	40.78
Bombas de contralavado CIP	129	1+1	19.58
Bombas de agua producto	833.33	1+1	78.9

Tabla 3: Tabla resumen de las bombas de la planta

12. Tanques

12.1. Tanque de agua producto

Este tanque servirá para el almacenamiento del agua ya tratada, hacia su posterior bombea hacia el sistema de abastecimiento público. El tanque debe disponer de un filtro de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA), con el objetivo de evitar que las partículas presentes en el aire contaminen el agua de su interior.

Se instalará un tanque, y su volumen se calculará como un 10% de la producción total diaria de la planta:

$$V = Q_p \cdot 0.10$$

Donde:

V: Volumen del tanque, m³

Q_p: Caudal de agua producto, m³/día

Sustituyendo:

$$V = 20000 \cdot 0.10 = 2000 \text{ m}^3$$

12.2. Tanque intermedio

Este tanque se instalará aguas arriba del sistema de osmosis inversa. Recibirá el agua procedente del sistema de ultrafiltración y servirá para abastecer tanto al sistema de osmosis inversa como el proceso de lavado de ultrafiltración. El tanque debe disponer de un filtro de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA), con el objetivo de evitar que las partículas presentes en el aire contaminen el agua de su interior.

Se instalará un tanque, y su volumen se calculará como un 10% del caudal que tiene que abastecer:

$$V = Q \cdot 0.10$$

Donde:

V: Volumen del tanque, m³

Q: Caudal de salida del tanque, m³/h

$$Q = 548.25 \text{ (limpieza UF)} + 1851.85 \text{ (OI)} = 2400.1 \text{ m}^3/\text{h}$$

Sustituyendo:

$$V = 2400.1 \cdot 0.10 = 240.01 \text{ m}^3$$

El volumen del tanque se sobredimensionará, y se instalará un tanque con un volumen de 250 m³.

12.3. Tanque de neutralización

La corriente de rechazo de la osmosis inversa atravesará este tanque antes de ser vertida al mar. En este tanque se contrarrestan los productos químicos utilizados para minimizar el impacto sobre el fondo marino. El tanque deberá tener un volumen suficiente para almacenar toda el agua de lavado químico utilizada en la planta. El tanque debe disponer de un filtro de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA), con el objetivo de evitar que las partículas presentes en el aire contaminen el agua de su interior.

Se instalará un tanque, y su volumen se calculará como un 10% del caudal que tiene que abastecer:

$$V = Q \cdot 0.10$$

Donde:

V: Volumen del tanque, m³

Q: Caudal de agua de lavado químico, m³/h

$$Q = 548.25 \text{ (limpieza UF)} + 180 \text{ (limpieza filtros de anillas)} + 1018.5 \text{ (salmuera)} \\ = 1746.75 \text{ m}^3/\text{h}$$

Sustituyendo:

$$V = 1746.75 \cdot 0.10 = 174.66 \text{ m}^3$$

El volumen del tanque se sobredimensionará, y se instalará un tanque con un volumen de 250 m³.

12.4. Tanque de lavado CIP

En este tanque se almacenará el agua que se va a utilizar en las limpiezas CIP. Este tanque se abastecerá de agua producto del sistema de osmosis inversa. El tanque debe disponer de un filtro de aire de partículas de alta eficiencia (HEPA), con el objetivo de evitar que las partículas presentes en el aire contaminen el agua de su interior.

Se instalará un tanque, y su volumen se calculará como un 10% del caudal que tiene que abastecer:

$$V = Q \cdot 0.10$$

Donde:

V: Volumen del tanque, m³

Q: Caudal de agua de limpieza CIP, m³/h

$$Q = 129 \text{ (UF)} + 129 \cdot 3 \text{ (OI)} = 516 \text{ m}^3/\text{h}$$

Sustituyendo:

$$V = 516 \cdot 0.10 = 51.6 \text{ m}^3$$

El volumen del tanque se sobredimensionará, y se instalará un tanque con un volumen de 100 m³.

13. Conclusiones

Se empezó este trabajo de fin de grado con el objetivo de diseñar una planta desalinizadora por osmosis inversa. En primer lugar se buscó un buen emplazamiento, el cual resultó ser Coliumo, una pequeña ciudad de Chile. En segundo lugar se estimó el caudal de agua necesario para abastecer las necesidades de la población elegida. Así pues, el objetivo final ha sido el diseño de una planta desalinizadora de osmosis inversa con un producción de 20000 m³/día en Coliumo.

Se han cumplido los objetivos con el diseño de esta planta desalinizadora, obteniendo un precio por metro cúbico de 0.78 €. Este precio no es del todo económico, pero en caso de construirse la planta, ayudaría a solventar por completo el problema de falta de agua que sufre la ciudad. Al fin y al cabo, este es el objetivo real de la realización del diseño.

En el plano personal, tengo la opinión de que se ha cumplido con los objetivos personales que se tenían al inicio del trabajo de fin de grado. Se han aprendido muchas cosas, se ha trabajado con diversos softwares matemáticos, de simulación, etc., para llevar a buen puerto el proyecto.

Sin embargo cabe decir que enfrentarse al diseño de la planta parece más fácil de lo que realmente es, ya que un diseño tiene muchas particularidades que hay que tener en cuenta y no hay ningún dato menos importante que otro, todos influyen.

No obstante, se debe de decir que si el proyecto hubiese sido un camino de rosas, el autor no se hubiese sentido tan realizado al terminarlo satisfactoriamente.

14. Bibliografía

- Mohsen salehi, T-Gemba. *Water suply scarcity: A global perspective*
- Toufic Mezher, Hassan Fath, Zeina Abbas, Arslan Khaled. (2011). *Techno-economic asesment and environmental impacts of desalination technologies*. ScienzieDirect
- P. Palomar, I.J. Losada (2010). *Desalination in Spain:Recent developments and recommendations*. ScienzieDirect
- Sección de “Frequently Asked Questions” de www.aedyr.com
- Miguel Hernández-Suárez. *Guía para la remineralización de las aguas desaladas*
- *Natural composition of fresh wáter*. Water Encyclopedia
- *Seawater composition*. Marine Science. www.marinebio.net
- Datos sobre el consumo de agua potable en Chile. Programa Explora Conicyt.
- Norma chilena oficial chilena nCh1333. *Requisitos de calidad del agua para diferentes usos*
- *Recursos hñidrico en Chile: Desafíos para la sustentabilidad*. Chile sustentable
- *Agua: ¿Dónde está y de quién es?: Para entender lo que ocurre con las aguas en Chile*. Chile sustentable
- *Desaladora de Melilla: Plant report*.infoenviro.
- STF Filtros. *Manual de producto de filtros de anillas*
- DOW (2009). *Manual de producto UF*
- DOW. *DOW FILMTEC SW30XHR-440i Seawater RO Element manual*.
- Energy Recovery. *Energy’s Recovery Power Model for SIP*
- *Manual y catálogo de bombas dosificadoras*. www.pump-guide.com
- *Requisitos de agua potable en Chile*. Norma Chilena oficial 409. Instituto nacional de normalización de Chile.
- Lenntech. *Proceso de post-tratamiento*. www.lenntech.com
- Lenntech. *Remineralisation Filters Limestone contactors*. www.lenntech.com

15. Índice de figuras

Figura 1: Temperatura, Precipitaciones y Caudales anuales en Chile.....	7
Figura 2: Ubicación de la planta desalinizadora (Fuente google maps©)	18
Figura 3: Torre de toma (fuente www.desalchile.cl)	21
Figura 4: Longitud del inmisario submarino (fuente google maps©).....	22
Figura 5: Inmisario submarino (fuente www.iagua.es).....	24
Figura 6. Filtro de anillas (fuente: Manual de usuario de STF Filters).....	34
Figura 7: Diagrama de flujo de UF (autor: Jordi Colomina).....	37
Figura 8: Diagrama de flujo de UF etapa de filtrado (autor: Jordi Colomina).....	37
Figura 9: Diagrama de flujo de UF etapa de aireación (autor: Jordi Colomina).....	37
Figura 10: Diagrama de flujo de UF etapa de drenado (autor: Jordi Colomina).....	38
Figura 11: Diagrama de flujo de UF etapa de contralavado (autor: Jordi Colomina)	38
Figura 12: Filtro de cartucho (fuente:FLYGT©).....	43
Figura 13: Datos del agua de entrada (fuente: ROSA©).....	48
Figura 14: Pantalla de información de ROSA (fuente: ROSA©)	48
Figura 15: Pantalla de agua de alimentación ROSA (fuente: ROSA©)	49
Figura 16: Pantalla de información ROSA (fuente: ROSA©)	50
Figura 17: Pantalla de configuración del sistema ROSA (fuente: ROSA©)	51
Figura 18: Calculadora interna de caudales ROSA (fuente: ROSA©).....	51
Figura 19: Resumen de datos de simulación (fuente: ROSA©)	53
Figura 20: Sistema de recuperación de energía SIP (fuente: ERI©).....	55
Figura 21: Lecho de calcita (fuente: www.inima.es).....	57
Figura 22: Gráfico de costes de explotación total.....	73
Figura 23: Total de costes fijos.....	74

16. Índice de Tablas

Tabla 1: Características del sistema de osmosis inversa.....	52
Tabla 2: Tabla resumen simulaciones	53
Tabla 3: Tabla resumen de las bombas de la planta	63
Tabla 4: Costes de inversión.....	72
Tabla 5: Cantidad anual amortizada.....	72
Tabla 6: Costes de explotación total	73
Tabla 7: Total de costes fijos	74
Tabla 8: Costes de personal	75
Tabla 9: Costes de mantenimiento de la planta.....	75
Tabla 10: Otros costes de mantenimiento.....	76
Tabla 11: Total de costes variables	76
Tabla 12: Total de costes variables	76
Tabla 13: Costes de energía	77
Tabla 14: Costes de productos químicos.....	77
Tabla 15: Costes de recambios.....	78
Tabla 16: Coste por metro cúbico de agua	79

Estudio económico

1. Introducción

Para determinar los costes de explotación de la planta se deben considerar los costes en fase de construcción, así como los costes anuales fijos y variables. Una vez obtenido el coste anual, obtendremos el precio del metro cúbico.

A continuación, se realizará un análisis de la inversión, cuyo objetivo va a ser el de determinar la viabilidad de la planta, es decir, en cuántos años se recuperará el dinero invertido en su construcción y explotación.

1.1. Costes de inversión

En la fase de inversión se tienen en cuenta los costes de obra civil y el coste de los equipos e instalaciones. Según los datos consultados, los costes de inversión suponen un total de 800 €/m³ y día, si se tiene en cuenta que la producción de la planta es de 20000 m³/día, se obtienen unos gastos aproximados de inversión de:

Costes de inversión (€/m³ día)	800.00
Caudal objetivo (m³/día)	20,000.00
Costes totales de inversión (€)	16,000,000.00

Tabla 4: Costes de inversión

Los costes de la construcción de la planta supondrán el 20% del coste de inversión, mientras que los costes para equipos e instalaciones serán del 80%.

La amortización se va a calcular para un tiempo de 15 años, a un interés del 6%:

Variables Económicas de Proyecto	
Tiempo de vida (años)	15
Interés (%)	0.06
$(1+i)^n$	2.3966
CRF (factor de capital de recuperación): $[(1+i)^n - 1] / [i \cdot (1+i)^n]$	9.7122
Cantidad anual amortizada	1,647,404.22

Tabla 5: Cantidad anual amortizada

1.2. Costes de explotación

Concepto	Coste (€/año)
Personal	335,462.40
Mantenimiento	96,000.00
Otros	33,000.00
Total costes fijos	464,462.40
Energía	2,437,299.65
Productos químicos	112,398.56
Recambios	163,200.00
Total costes variables	2,712,898.22
Costes de amortización	1,647,404.22
Gasto de explotación	4,824,764.84

Tabla 6: Costes de explotación total

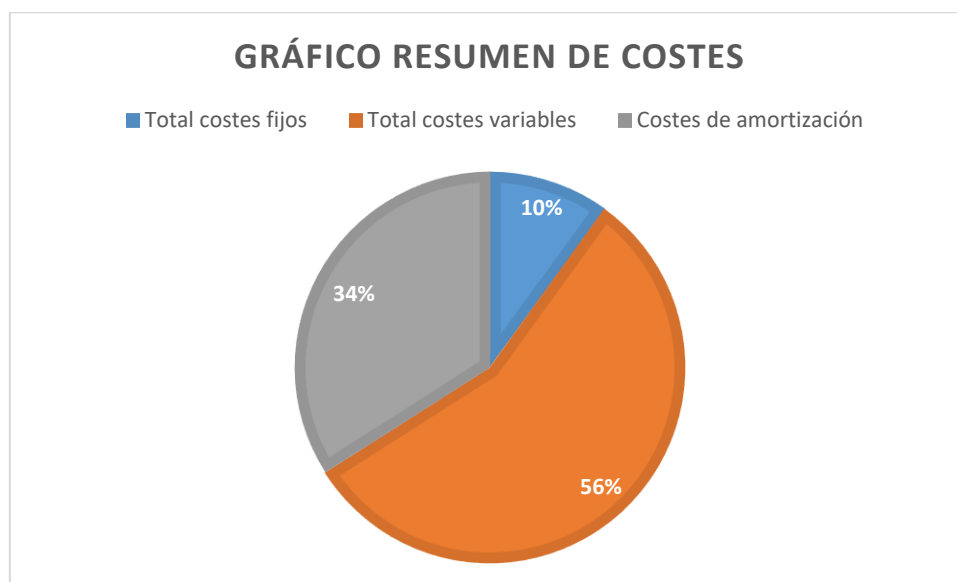


Figura 22: Gráfico de costes de explotación total

1.2.1. Costes fijos

Los costes fijos son los gastos que se van producir todos los años. Es decir, los costes del salario de los empleados, de mantenimiento y otros.

Concepto	Coste (€/año)
Personal	335,462.40
Mantenimiento	96,000.00
Otros	33,000.00
Total costes fijos	464,462.40

Tabla 7: Total de costes fijos

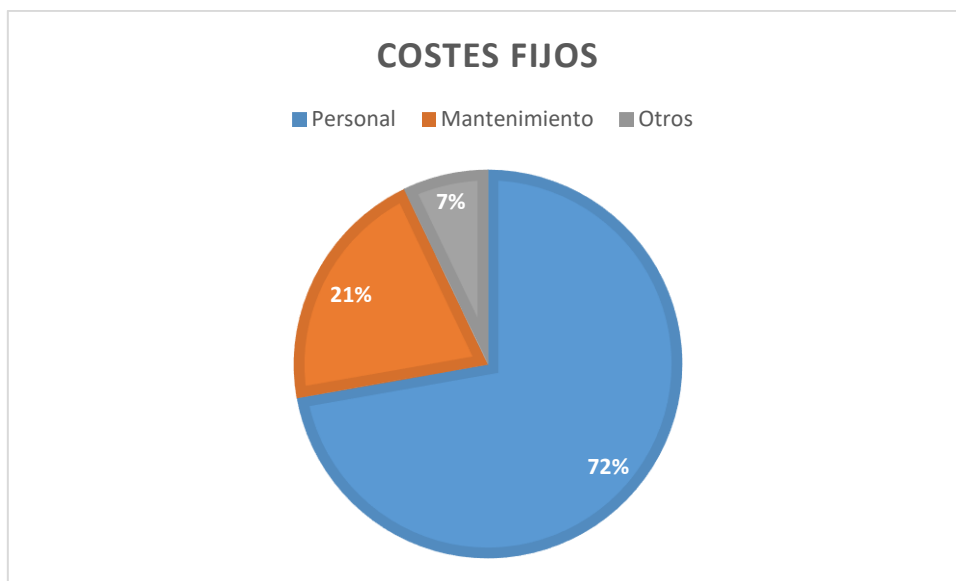


Figura 23: Total de costes fijos

1.2.1.1. Personal

Se tiene en cuenta una estimación del salario de cada empleado, así como del número de empleados a contratar.

Categoría profesional	Salario bruto/hora trabajada (€)	Salario bruto anual (€)	Número de empleados	Coste total (€)
Profesionales	25.63	73,814.40	1	73,814.40
Técnicos	10.50	30,240.00	2	60,480.00
Operadores	6.75	19,440.00	7	136,080.00
Auxiliares	5.30	15,264.00	2	30,528.00
Empleados de oficina	6.00	17,280.00	2	34,560.00
			Total	335,462.40

Tabla 8: Costes de personal

1.2.1.2. Mantenimiento

Los costes de mantenimiento engloban tanto los costes de mantenimiento de la planta y equipos, así como los costes en la reposición de membranas de osmosis inversa.

Los primeros se calculan como un porcentaje del coste de inversión:

Concepto	Inversión (€)	Porcentaje mantenimiento (%)	Coste total (€/año)
Obra civil	3,200,000.00	1	32,000.00
Equipos	12,800,000.00	0.5	64,000.00
Costes totales (€/año)			96,000.00

Tabla 9: Costes de mantenimiento de la planta

1.2.1.3. Otros

En otros se encuentran los gastos que no son englobables en ningún apartado anterior:

Concepto	Coste (€/año)
Gastos de oficina	2,000.00
Seguro	6,000.00
Seguridad	4,000.00
Transporte	4,000.00
Asesoría	2,000.00
Medioambiente	15,000.00
TOTAL	33,000.00

Tabla 10: Otros costes de mantenimiento

1.2.2. Costes variables

Los costos variables son los gastos que dependen del agua a tratar. Entre los costes variables se incluyen los costes en energía, en productos químicos y en recambios para los filtros.

Concepto	Coste (€/año)
Energía	2,437,299.65
Productos químicos	112,398.56
Recambios	163,200.00
Total costes variables	2,712,898.22

Tabla 11: Total de costes variables

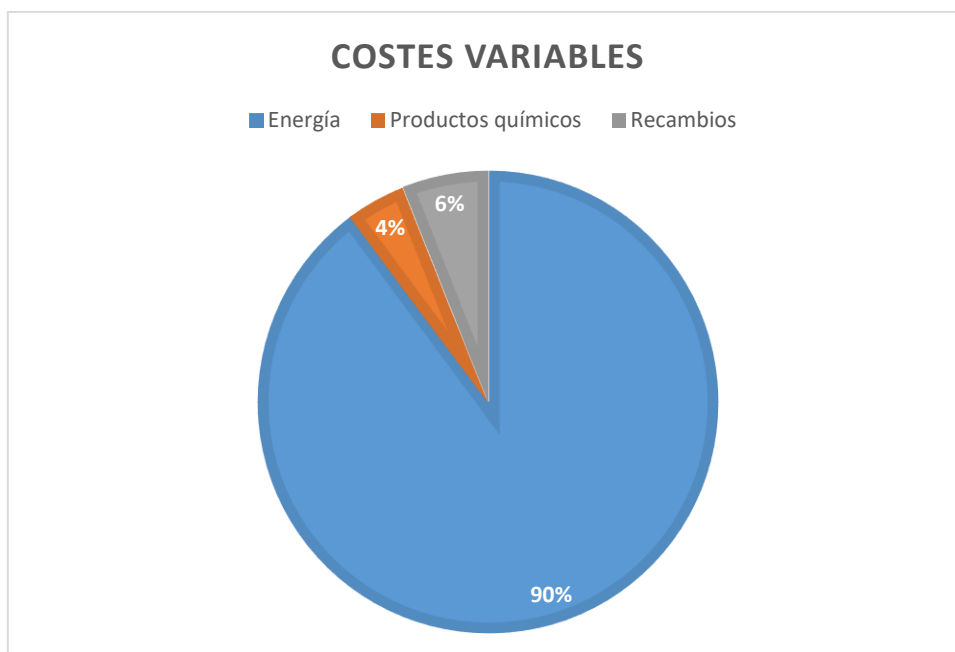


Tabla 12: Total de costes variables

1.2.2.1. Energía

Los costes de energía se deben principalmente a la energía utilizada por las diferentes bombas, siendo despreciable el resto de componentes eléctricos.

Concepto	Nº de Unidades	Consumo (Kw)	tiempo (h)	Consumo diario (Kw/h)	Coste Kw/h (€)	Coste total anual (€/año)
Bomba de Captación	1	342.78	24	8226.72	0.12	346,517.67
Bomba de Alta presión	2	867.7	24	41649.6		1,754,322.80
Bomba Booster	3	57.54	24	4142.88		174,502.25
Bomba Contralavado FA	1	21.01	24	504.24		21,239.09
Bomba Contralavado UF	1	40.78	24	978.72		41,224.67
Bomba de Contralavado CIP	1	19.52	24	468.48		19,732.85
Bomba Agua producto	1	78.9	24	1893.6		79,760.33
Total						

Tabla 13: Costes de energía

1.2.2.2. Productos químicos

Los costes de productos químicos se deben a los diferentes productos químicos utilizados y al precio que el proveedor estime.

Producto químico	Consumo (Kg/año)	Coste (€/Kg)	Coste total (€/año)
FeCl ₃	44640.96	0.01	446.41
NaClO	236761.64	0.13	30,779.01
H ₂ SO ₄	91038.30	0.18	16,386.89
NaHSO ₄	152073.60	0.35	53,225.76
Antiincrustante (supuesto)	-	-	10,000.00
HCl	6315.84	0.08	505.27
NaOH	3157.92	0.25	789.48
CO ₂	1600.08	0.10	160.01
CaCO ₃	704.88	0.15	105.73
Total			112,398.56

Tabla 14: Costes de productos químicos

1.2.2.3. Recambios

Los costes de recambios se deben a los recambios en filtros de anillas, filtros de ultrafiltración, filtros de cartucho y sobre todo a los recambios en las membranas de osmosis inversa.

Concepto	Número de unidades	Recambio	Coste (€)	Coste total (€/año)
Membranas OI	1680	12	600.00	120,960.00
Filtro de anillas	324	1 vez al año	10.00	3,240.00
Módulo UF	500	5%	1,500.00	37,500.00
Filtro de cartucho	100	1 vez al año	15.00	1,500.00

Tabla 15: Costes de recambios

2. Coste del agua

El coste que cuesta la producción de agua por metro cuadro se calcula teniendo en cuenta la producción anual y los costes totales de explotación. Además, a esta cantidad se le ha de sumar el beneficio económico, estimado en el 10% de los costes, y los impuestos que se van a aplicar, 8%.

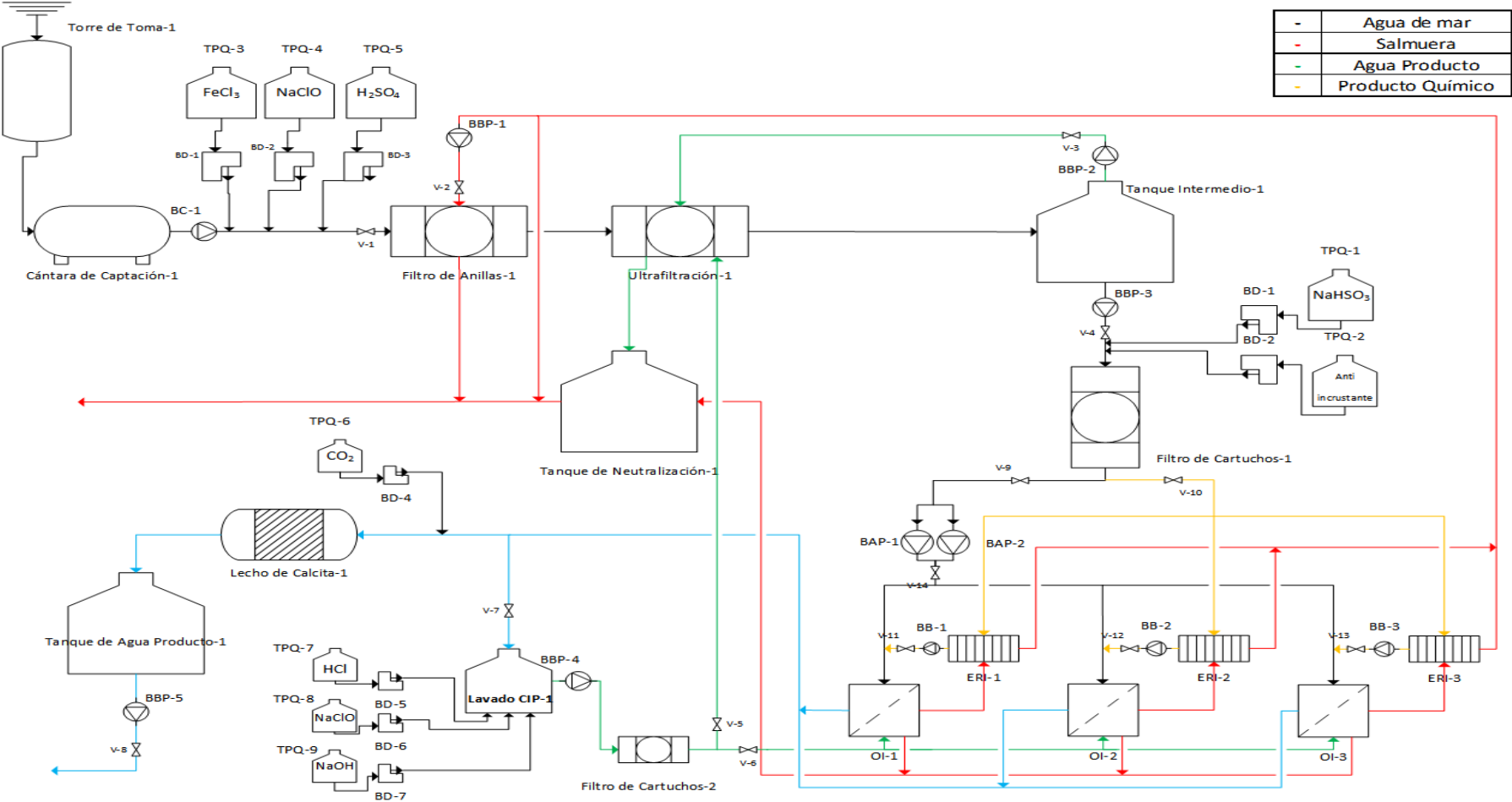
El coste del metro cúbico será de 0.78 € para un tiempo de amortización estimado de 15 años:

Producción anual (m3)	7300000
Costes totales (€/año)	4,824,764.84
Beneficio industrial (10%)	482,476.48
Impuestos (8%)	385,981.19
Coste del m3 (€/m3)	0.78

Tabla 16: Coste por metro cúbico de agua

Anexos

Plano de la planta



-	Agua de mar
-	Salmuera
-	Agua Producto
-	Producto Químico

Cálculo de bombas

1. Cálculos

1.1. Bomba de captación

Las bombas de captación son las encargadas de impulsar el agua de mar desde la cámara de captación hasta el tanque intermedio. Para el cálculo de la potencia de estas bombas se van a emplear los siguientes datos:

$$\text{Longitud} = 564.65 \text{ m} \approx 600 \text{ m}$$

$$\text{Altura sobre el nivel del mar} = 17 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad de la cámara} = 10 \text{ m sobredimensionado}$$

$$\text{Altura total} = 17 + 10 = 27 \text{ m}$$

$$\text{Caudal} = 2036.65 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Rugosidad} = 0.000021$$

$$\text{Velocidad máxima} = 1.8 \text{ m/s} = 6480 \text{ m/h}$$

Con estos datos se siguen las instrucciones del apartado anterior para calcular la potencia real de las bombas:

1.1.1. Cálculo de la sección y diámetro de la tubería

$$\text{Sección} = \frac{2036.63}{6480} = 0.314 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.314}{\pi}} = 0.632 \text{ m}$$

1.1.2. Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{1020 \cdot 1.8 \cdot 0.632}{0.001} = 1160352$$

1.1.3. Cálculo del factor de rozamiento con la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$
$$f = 0.0121113$$

1.1.4. Cálculo de las pérdidas de carga por conducción con la ecuación de Fanning

$$\sum F = \frac{0.0121113 \cdot 600 \cdot 1.8^2}{2 \cdot 0.632 \cdot 9.8} = 1.90 \text{ m}$$

A continuación se suman las pérdidas de carga por el sistema de ultrafiltración (15 m) y las pérdidas de carga producidas en el sistema de filtro de anillas (5 m).

$$\sum F = 1.90 + 15 + 5 = 21.90 \text{ m}$$

1.1.5. Cálculo de la altura manométrica teniendo en cuenta las pérdidas de carga por conducción y equipos, así como la diferencia de cotas.

$$H = 27 + 21.90 = 48.90 \text{ m}$$

La diferencia de presión entre cotas es despreciable.

1.1.6. Cálculo de la potencia de la bomba

$$P = \frac{2036.63 \cdot 48.90 \cdot 1.02}{367 \cdot 0.85} = 325.64 \text{ Kw}$$

1.1.7. Cálculo del consumo de la bomba

$$P_R = \frac{325.64}{0.95} = 342.78 \text{ Kw}$$

Será necesaria una bomba de estas características, además de otra de reserva, para no comprometer el funcionamiento de la planta en caso de fallo.

1.2. Bombas de baja presión

Las bombas de baja presión son las encargadas de impulsar el agua desde el tanque intermedio hasta el sistema de osmosis inversa, pasando por los filtros de cartucho. Para el cálculo de la potencia de estas bombas se van a emplear los siguientes datos:

$$\text{Longitud} \approx 30 \text{ m}$$

$$\text{Caudal} = 1851.85 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Rugosidad} = 0.000021$$

$$\text{Velocidad máxima} = 1.8 \text{ m/s} = 6480 \text{ m/h}$$

$$\Delta P = 2 \text{ bar}; 2 \cdot 10.3 = 20.6 \text{ m}$$

$$\Delta Z = 2 \text{ m (supuesto)}$$

Con estos datos se siguen las instrucciones del apartado anterior para calcular la potencia real de las bombas:

1.2.1. Cálculo de la sección y diámetro de la tubería

$$\text{Sección} = \frac{1851.85}{6480} = 0.29 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.29}{\pi}} = 0.60 \text{ m}$$

1.2.2. Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{1020 \cdot 1.8 \cdot 0.60}{0.001} = 1101600$$

1.2.3. Cálculo del factor de rozamiento con la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$
$$f = 0.012226$$

1.2.4. Cálculo de las pérdidas de carga por conducción con la ecuación de Fanning

$$\sum F = \frac{0.012226 \cdot 30 \cdot 1.8^2}{2 \cdot 0.60 \cdot 9.8} = 0.101 \text{ m}$$

A continuación se suman las pérdidas de carga producidas en el sistema de filtro de cartucho (10 m).

$$\sum F = 0.101 + 10 = 10.101 \text{ m}$$

1.2.5. Cálculo de la altura manométrica teniendo en cuenta las pérdidas de carga por conducción y equipos, así como la diferencia de cotas.

A continuación se suman el diferencial de altura y el diferencial de presión deseado:

$$H = 2 + 10.101 + 20.6 = 32.70 \text{ m}$$

1.2.6. Cálculo de la potencia de la bomba

$$P = \frac{1851.85 \cdot 32.70 \cdot 1.02}{367 \cdot 0.85} = 198 \text{ Kw}$$

1.2.7. Cálculo del consumo de la bomba

$$P_R = \frac{198}{0.95} = 208.42 \text{ Kw}$$

Será necesaria una bomba de estas características, además de otra de reserva, para no comprometer el funcionamiento de la planta en caso de fallo.

1.3. Bombas de alta presión

Las bombas de alta presión son las encargadas de impulsar el agua desde el filtro de cartucho hasta el sistema de osmosis inversa. Para el cálculo de la potencia de estas bombas se van a emplear los siguientes datos, obtenidos al realizar una simulación con el software "ROSA" con una temperatura de 15 °C y un factor de flujo de 0.8, es decir, con una membranas de osmosis muy deterioradas:

$$\text{Longitud} \approx 10 \text{ m}$$

$$\text{Caudal} = 280.1 \cdot 3 = 840.3 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Si se quieren instalar 2 bombas} \rightarrow \frac{839.7}{2} = 420.15 \text{ m}^3 \text{ por cada una}$$

$$\text{Rugosidad} = 0.000021$$

$$\text{Velocidad máxima} = 1.8 \text{ m/s} = 6480 \text{ m/h}$$

La presión que debe alcanzar el agua es de 59.36 bar, sin embargo el agua llega a este punto a una presión de 2 bar:

$$\Delta P = 59.36 - 2 = 57.36 \text{ bar}; 57.36 \cdot 10.3 = 590.81 \text{ m}$$

$$\Delta Z = 10 \text{ m (supuesto)}$$

Con estos datos se siguen las instrucciones del apartado anterior para calcular la potencia real de las bombas:

1.3.1. Cálculo de la sección y diámetro de la tubería

$$Sección = \frac{420.15}{6480} = 0.064 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.13}{\pi}} = 0.29 \text{ m}$$

1.3.2. Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{1020 \cdot 1.8 \cdot 0.29}{0.001} = 532440$$

1.3.3. Cálculo del factor de rozamiento con la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$
$$f = 0.013998$$

1.3.4. Cálculo de las pérdidas de carga por conducción con la ecuación de Fanning

$$\sum F = \frac{0.013998 \cdot 10 \cdot 1.8^2}{2 \cdot 0.29 \cdot 9.8} = 0.080 \text{ m}$$

1.3.5. Cálculo de la altura manométrica teniendo en cuenta las pérdidas de carga por conducción y equipos, así como la diferencia de cotas.

A continuación se suman el diferencial de altura y el diferencial de presión deseado:

$$H = 10 + 0.080 + 590.81 = 600.89 \text{ m}$$

1.3.6. Cálculo de la potencia de la bomba

$$P = \frac{419.55 \cdot 600.89 \cdot 1.02}{367 \cdot 0.85} = 824.32 \text{ Kw}$$

1.3.7. Cálculo del consumo de la bomba

$$P_R = \frac{824.32}{0.95} = 867.70 \text{ Kw}$$

Se instalarán 2 bombas de estas características, además de otra de reserva, para no comprometer el funcionamiento de la planta en caso de fallo, por tanto la potencia real consumida por las dos bombas es:

$$P_R = 867.70 \cdot 2 = 1735.40 \text{ Kw}$$

1.4. Bombas booster

Las bombas booster son las encargadas de impulsar el agua de salida del sistema de intercambio de presiones. Para el cálculo de la potencia de estas bombas se van a emplear los siguientes datos extraídos del software de diseño del sistema de intercambio de presiones:

$$\text{Longitud} \approx 10 \text{ m}$$

$$\text{Caudal} = 337.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Rugosidad} = 0.000021$$

$$\text{Velocidad máxima} = 1.8 \text{ m/s} = 6480 \text{ m/h}$$

La presión que debe alcanzar el agua es de 59.36 bar, sin embargo el agua llega a este punto a una presión de 56.3 bar:

$$\Delta P = 59.36 - 56.3 = 3.3 \text{ bar}; 3.3 \cdot 10.3 = 33.99 \text{ m}$$

$$\Delta Z = 10 \text{ m (supuesto)}$$

Con estos datos se siguen las instrucciones del apartado anterior para calcular la potencia real de las bombas:

1.4.1. Cálculo de la sección y diámetro de la tubería

$$\text{Sección} = \frac{337.2}{6480} = 0.052 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.052}{\pi}} = 0.26 \text{ m}$$

1.4.2. Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{1020 \cdot 1.8 \cdot 0.26}{0.001} = 477360$$

1.4.3. Cálculo del factor de rozamiento con la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.014296$$

1.4.4. Cálculo de las pérdidas de carga por conducción con la ecuación de Fanning

$$\sum F = \frac{0.014296 \cdot 10 \cdot 1.8^2}{2 \cdot 0.26 \cdot 9.8} = 0.91 \text{ m}$$

1.4.5. Cálculo de la altura manométrica teniendo en cuenta las pérdidas de carga por conducción y equipos, así como la diferencia de cotas.

A continuación se suman el diferencial de altura y el diferencial de presión deseado:

$$H = 10 + 10.91 + 33.99 = 54.90 \text{ m}$$

1.4.6. Cálculo de la potencia de la bomba

$$P = \frac{337.2 \cdot 54.90 \cdot 1.02}{367 \cdot 0.85} = 60.57 \text{ Kw}$$

1.4.7. Cálculo del consumo de la bomba

$$P_R = \frac{60.57}{0.95} = 57.54 \text{ Kw}$$

Será necesaria una bomba de estas características por cada una de las 3 líneas, además de las de reserva, por tanto el consumo de energía total será:

$$P_R = 57.54 \cdot 3 = 172.62 \text{ Kw}$$

1.5. Bombas de contralavado del sistema de filtro de anillas

Estas bombas de contralavado son las encargadas de impulsar el agua a través de las canalizaciones implicadas en el lavado del sistema de filtros de anillas. Para el cálculo de la potencia de estas bombas se van a emplear los siguientes datos:

$$\text{Longitud} \approx 100 \text{ m}$$

$$Q_{Tm} = \frac{270 \text{ m}^3/\text{h} - 90 \text{ m}^3/\text{h}}{2} = 180 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Rugosidad} = 0.000021$$

$$\text{Velocidad máxima} = 1.8 \text{ m/s} = 6480 \text{ m/h}$$

$$\Delta P = 3 \text{ bar}; 3 \cdot 10.3 = 30.6 \text{ m}$$

$$\Delta Z = 2 \text{ m (supuesto)}$$

Con estos datos se siguen las instrucciones del apartado anterior para calcular la potencia real de las bombas:

1.5.1. Cálculo de la sección y diámetro de la tubería

$$\text{Sección} = \frac{180}{6480} = 0.0278 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0278}{\pi}} = 0.19 \text{ m}$$

1.5.2. Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{1020 \cdot 1.8 \cdot 0.19}{0.001} = 348840$$

1.5.2.1. Cálculo del factor de rozamiento con la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.015208$$

1.5.3. Cálculo de las pérdidas de carga por conducción con la ecuación de Fanning

$$\sum F = \frac{0.015208 \cdot 100 \cdot 1.8^2}{2 \cdot 0.19 \cdot 9.8} = 1.32 \text{ m}$$

1.5.4. Cálculo de la altura manométrica teniendo en cuenta las pérdidas de carga por conducción y equipos, así como la diferencia de cotas.

A continuación se suman el diferencial de altura y el diferencial de presión deseado:

$$H = 2 + 1.32 + 30.6 = 33.92 \text{ m}$$

1.5.5. Cálculo de la potencia de la bomba

$$P = \frac{180 \cdot 33.92 \cdot 1.02}{367 \cdot 0.85} = 19.96 \text{ Kw}$$

1.5.6. Cálculo del consumo de la bomba

$$P_R = \frac{19.96}{0.95} = 21.01 \text{ Kw}$$

Será necesaria una bomba de estas características, además de otra de reserva, para no comprometer el funcionamiento de la planta en caso de fallo.

1.6. Bombas de contralavado del sistema de ultrafiltración

Estas bombas de contralavado son las encargadas de impulsar el agua a través de las canalizaciones implicadas en el lavado del sistema de ultrafiltración. Para el cálculo de la potencia de estas bombas se van a emplear los siguientes datos:

$$\text{Longitud} \approx 30 \text{ m}$$

$$Q = 548.25 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Rugosidad} = 0.000021$$

$$\text{Velocidad máxima} = 1.8 \text{ m/s} = 6480 \text{ m/h}$$

$$\Delta P = 2 \text{ bar}; 2 \cdot 10.3 = 20.6 \text{ m}$$

$$\Delta Z = 1 \text{ m (supuesto)}$$

Con estos datos se siguen las instrucciones del apartado anterior para calcular la potencia real de las bombas:

1.6.1. Cálculo de la sección y diámetro de la tubería

$$\text{Sección} = \frac{548.25}{6480} = 0.085 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.085}{\pi}} = 0.33 \text{ m}$$

1.6.2. Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{1020 \cdot 1.8 \cdot 0.33}{0.001} = 605880$$

1.6.3. Cálculo del factor de rozamiento con la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.013656$$

1.6.4. Cálculo de las pérdidas de carga por conducción con la ecuación de Fanning

$$\sum F = \frac{0.013656 \cdot 20 \cdot 1.8^2}{2 \cdot 0.33 \cdot 9.8} = 0.21 \text{ m}$$

1.6.5. Cálculo de la altura manométrica teniendo en cuenta las pérdidas de carga por conducción y equipos, así como la diferencia de cotas.

A continuación se suman el diferencial de altura y el diferencial de presión deseado:

$$H = 1 + 0.21 + 20.6 = 21.61 \text{ m}$$

1.6.6. Cálculo de la potencia de la bomba

$$P = \frac{548.25 \cdot 21.61 \cdot 1.02}{367 \cdot 0.85} = 38.74 \text{ Kw}$$

1.6.7. Cálculo del consumo de la bomba

$$P_R = \frac{38.74}{0.95} = 40.78 \text{ Kw}$$

Será necesaria una bomba de estas características, además de otra de reserva, para no comprometer el funcionamiento de la planta en caso de fallo.

1.7. Bombas de contralavado del sistema de limpieza CIP

Estas bombas de contralavado son las encargadas de impulsar el agua a través de las canalizaciones implicadas en el lavado del sistema de ultrafiltración. Para el cálculo de la potencia de estas bombas se van a emplear los siguientes datos:

$$\text{Longitud} \approx 30 \text{ m}$$

$$Q = 129 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Rugosidad} = 0.000021$$

$$\text{Velocidad máxima} = 1.8 \text{ m/s} = 6480 \text{ m/h}$$

$$\Delta P = 3 \text{ bar}; 3 \cdot 10.3 = 30.6 \text{ m}$$

$$\Delta Z = 2 \text{ m (supuesto)}$$

Con estos datos se siguen las instrucciones del apartado anterior para calcular la potencia real de las bombas:

1.7.1. Cálculo de la sección y diámetro de la tubería

$$\text{Sección} = \frac{129}{6480} = 0.02 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.02}{\pi}} = 0.16 \text{ m}$$

1.7.2. Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{1020 \cdot 1.8 \cdot 0.16}{0.001} = 293760$$

1.7.3. Cálculo del factor de rozamiento con la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.014521$$

1.7.4. Cálculo de las pérdidas de carga por conducción con la ecuación de Fanning

$$\sum F = \frac{0.014521 \cdot 30 \cdot 1.8^2}{2 \cdot 0.16 \cdot 9.8} = 1.5 \text{ m}$$

A continuación se suman las pérdidas de carga producidas en el sistema de filtro de cartucho (10 m).

$$\sum F = 1.5 + 10 = 11.5 \text{ m}$$

1.7.5. Cálculo de la altura manométrica teniendo en cuenta las pérdidas de carga por conducción y equipos, así como la diferencia de cotas.

A continuación se suman el diferencial de altura y el diferencial de presión deseado:

$$H = 2 + 11.5 + 30.6 = 44.1 \text{ m}$$

1.7.6. Cálculo de la potencia de la bomba

$$P = \frac{129 \cdot 44.1 \cdot 1.02}{367 \cdot 0.85} = 18.60 \text{ Kw}$$

1.7.7. Cálculo del consumo de la bomba

$$P_R = \frac{18.60}{0.95} = 19.58 \text{ Kw}$$

Será necesaria una bomba de estas características, además de otra de reserva, para no comprometer el funcionamiento de la planta en caso de fallo.

1.8. Bomba Agua producto

Las bombas de agua producto son las encargadas de impulsar el agua desde el tanque de agua producto hasta la red de abastecimiento. Para el cálculo de la potencia de estas bombas se van a emplear los siguientes datos:

$$\text{Longitud} \approx 400 \text{ m}$$

$$\text{Caudal} = 833.33 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Rugosidad} = 0.000021$$

$$\text{Velocidad máxima} = 1.8 \text{ m/s} = 6480 \text{ m/h}$$

$$\Delta P = 2 \text{ bar}; 2 \cdot 10.3 = 20.6 \text{ m}$$

$$\Delta Z = 5 \text{ m (supuesto)}$$

Con estos datos se siguen las instrucciones del apartado anterior para calcular la potencia real de las bombas:

1.8.1. Cálculo de la sección y diámetro de la tubería

$$\text{Sección} = \frac{833.33}{6480} = 0.13 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.13}{\pi}} = 0.41 \text{ m}$$

1.8.2. Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{1020 \cdot 1.8 \cdot 0.41}{0.001} = 752760$$

1.8.3. Cálculo del factor de rozamiento con la ecuación de Colebrook-White

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{K/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0.013110$$

1.8.4. Cálculo de las pérdidas de carga por conducción con la ecuación de Fanning

$$\sum F = \frac{0.013110 \cdot 400 \cdot 1.8^2}{2 \cdot 0.41 \cdot 9.8} = 2.11 \text{ m}$$

1.8.4.1. Cálculo de la altura manométrica teniendo en cuenta las pérdidas de carga por conducción y equipos, así como la diferencia de cotas.

A continuación se suman el diferencial de altura y el diferencial de presión deseado:

$$H = 5 + 2.11 + 20.6 = 27.51 \text{ m}$$

1.8.5. Cálculo de la potencia de la bomba

$$P = \frac{833.33 \cdot 27.51 \cdot 1.02}{367 \cdot 0.85} = 74.96 \text{ Kw}$$

1.8.6. Cálculo del consumo de la bomba

$$P_R = \frac{74.96}{0.95} = 78.90 \text{ Kw}$$

Será necesaria una bomba de estas características, además de otra de reserva, para no comprometer el funcionamiento de la planta en caso de fallo.

Script en Matlab para el cálculo del factor de rozamiento "f" con el uso de la ecuación de Colebrook-White

```
%Programa para el cálculo del Coeficiente de Rozamiento "f" con el uso de la
%ecuación de Colebrook-White

clear all

clc

close

disp('*****');
disp('Cálculo de f con Colebrook White');
disp('*****');

e=input('Rugosidad del material= ');
D=input('Diametro tubería (m)= ');
R=input('Número de Reynols= ');

K=e/D;

% Inicio.
X1 = K .* R * 0.123968186335417556;      % X1 <- K * R * log(10) / 18.574.
X2 = log(R) - 0.779397488455682028;    % X2 <- log( R * log(10) / 5.02 );

% Suposición.
F = X2 - 0.2;

% Iteración.
E = ( log(X1+F) - 0.2 ) ./ ( 1 + X1 + F );
F = F - (1+X1+F+0.5*E) .* E ./ (1+X1+F+E.*(1+E/3));
```



```

% Segunda iteración

E = ( log(X1+F) + F - X2 ) ./ ( 1 + X1 + F );
F = F - (1+X1+F+0.5*E) .* E ./ (1+X1+F+E.*(1+E/3));

% Solución.
F = 1.151292546497022842 ./ F;          % F <- 0.5 * log(10) / F;
F = F .* F;                            % F <- Friction factor.

%Resultado.
str=sprintf('Factor de fricción f = %f',F);
disp(str);

```

Datos de las simulaciones realizadas con el software ROSA

1. Simulación para factor de flujo de 1 y temperatura de 25°C

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™
 Proyecto: Coliumo
 Jordi Colomina Montava, EPSA

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282
 Caso:3
 7/28/2016

Información del Proyecto:

Detalles del Sistema

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	14815.56 m³/d	Caudal de Permeado Paso 1	6667.55 m³/d	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	14815.56 m³/d	Conversión Paso 1	45.00 %	Alimentación	24.31 bar
Presión de Alimentación	52.00 bar	Temperatura	de 25.0 C	Concentrado	45.36 bar
Factor de flujo	1.00	Alimentación		Media	34.83 bar
Dosificación Química	Ninguno	STD Alimentación	34423.58 mg/l	NDP media	16.26 bar
Área Activa Total	22890.56 M²	Número de Elementos	560	Potencia	1114.70 kW
Clasificación del Agua: Seawater with DOW Ultrafiltration, SDI < 2.5		Flujo específico medio Paso	112.14 l/mh	Energía Específica	4.01 kWh/m³

Etapa	Elemento	Nº Cajas de Elementos	Nº	Caudal de Alimentación (m³/d)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/d)	Caudal de concentrado (m³/d)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m³/d)	Flujo específico medio Permeado (l/mh)	Presión de Permeado (bar)	Presión de Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30XHR-440i	70	8	14815.56	51.65	0.00	8148.01	50.29	6667.55	12.14	0.00	0.00	149.51

Nombre	Corrientes Paso (mg/l como ión)				
	Alimentación	Alimentación ajustada	Permeado		
			Concentrado Etapa 1	Permeado Etapa 1	Permeado Total
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	380.12	380.12	689.39	2.18	2.18
Na	10559.47	10561.15	19160.59	52.30	52.30
Mg	1262.42	1262.42	2294.30	1.42	1.42
Ca	400.13	400.13	727.19	0.45	0.45
Sr	13.00	13.00	23.63	0.01	0.01
Ba	0.15	0.15	0.27	0.00	0.00
CO3	14.09	14.09	28.14	0.00	0.00
HCO3	139.95	139.95	249.45	0.99	0.99
NO3	0.50	0.50	0.89	0.03	0.03
Cl	18973.77	18973.77	34429.59	86.14	86.14
F	1.00	1.00	1.81	0.01	0.01
SO4	2648.13	2648.13	4814.14	1.18	1.18
SiO2	1.00	1.00	1.81	0.01	0.01
Boro	4.93	4.93	8.28	0.84	0.84
CO2	0.89	0.89	1.89	1.11	1.11
STD	34421.89	34423.58	62468.50	149.51	149.51
pH	7.90	7.90	7.85	6.11	6.11

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCTICA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Proyecto: Coliumo

Caso:3

Advertencias de Diseño

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad

Índice de Saturación Langelier > 0

Índice de estabilidad Stiff & Davis > 0

BaSO4(%)

Saturación) >

100% CaF2(%)

Saturación) >

100%

Se puede requerir anti-incrustantes. Consulte con su fabricante para la dosificación y máxima conversión permitida.

Detalles Etapa

Etapa	Elemento	Conversión	Caudal de STD Permeado		Caudal de STD Alimentación		Presión de Alimentación (bar)
			Permeado (m³/d)	(mg/l)	Alimentación (m³/d)	(mg/l)	
1	0.10	22.01	63.31	211.65	34423.58	51.65	
2	0.10	18.66	81.69	189.64	38411.99	51.40	
3	0.09	15.39	107.26	170.98	42595.49	51.18	
4	0.08	12.35	143.08	155.58	46798.67	50.99	
5	0.07	9.67	193.26	143.23	50821.57	50.83	
6	0.06	7.41	263.59	133.56	54486.24	50.68	
7	0.04	5.58	361.41	126.16	57669.47	50.54	
8	0.03	4.17	495.19	120.57	60323.26	50.41	

El Flujo Especifico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Cálculo de Precipitaciones

	Agua Bruta	Alimentación ajustada	Concentrado
pH	7.90	7.90	7.85
Índice de Saturación Langelier	0.95	0.95	1.40
Índice de estabilidad Stiff & Davis	-0.03	-0.03	0.19
Fuerza Iónica (Molal)	0.71	0.71	1.32
STD (mg/l)	34421.89	34423.58	62468.50
HCO3	139.95	139.95	249.45
CO2	0.89	0.89	1.89
CO3	14.09	14.09	28.14
CaSO4 (% Saturación)	19.18	19.18	39.73
BaSO4 (% Saturación)	498.53	498.53	1026.41
SrSO4 (% Saturación)	24.33	24.33	56.26
CaF2 (% Saturación)	53.19	53.19	317.76
SiO2 (% Saturación)	0.78	0.78	1.45
Mg(OH)2 (% Saturación)	0.27	0.27	0.40

Para hacer el balance: 1.68 mg/l Naañadido a la alimentación

2. Simulación para factor de flujo de 1 y temperatura de 20°C

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Proyecto:Coliumo

Caso:2

Jordi Colomina Montava, EPSA

7/28/2016

Información del Proyecto:

Detalles del Sistema

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	14815.56 m³/d	Caudal de Permeado Paso 1	6666.78 m³/d	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	14815.56 m³/d	Conversión Paso 1	45.00 %	Alimentación	23.85 bar
Presión de Alimentación	53.26 bar	Temperatura de Alimentación	20.0 C	Concentrado	44.45 bar
Factor de flujo	1.00	STD Alimentación	34419.90 mg/l	Media	34.15 bar
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	560	NDP media	18.11 bar
Área Activa Total	22890.56 M²	Flujo específico medio Paso 1	12.14 lmh	Potencia	1141.72 kW
Clasificación del Agua:Seawater with DOW Ultrafiltration, SDI < 2.5				Energía Específica	4.11 kWh/m³

Etapa	Elemento	Nº Cajas de Elementos	Nº de Elementos	Caudal de Alimentación (m³/d)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/d)	Caudal de concentrado (m³/d)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m³/d)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión de Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30XHR-440i	70	8	14815.56	52.91	0.00	8148.78	51.43	6666.78	12.14	0.00	0.00	112.84

Corrientes Paso (mg/l como ión)						
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado		Permeado	
			Etapa 1	Etapa 1	Permeado Total	
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K	380.12	380.12	689.76	1.64	1.64	
Na	10559.47	10559.47	19166.25	39.44	39.44	
Mg	1262.42	1262.42	2294.37	1.07	1.07	
Ca	400.13	400.13	727.21	0.34	0.34	
Sr	13.00	13.00	23.63	0.01	0.01	
Ba	0.15	0.15	0.27	0.00	0.00	
CO3	11.56	11.56	23.48	0.00	0.00	
HCO3	139.95	139.95	249.53	0.78	0.78	
NO3	0.50	0.50	0.89	0.02	0.02	
Cl	18973.77	18974.30	34444.64	64.96	64.96	
F	1.00	1.00	1.81	0.00	0.00	
SO4	2648.13	2648.13	4813.92	0.89	0.89	
SiO2	1.00	1.00	1.81	0.01	0.01	
Boro	4.93	4.93	8.44	0.64	0.64	
CO2	0.99	0.99	2.06	1.24	1.24	
STD	34419.36	34419.90	62485.79	112.84	112.84	
pH	7.90	7.90	7.86	6.00	6.00	

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Proyecto:Coliumo

Caso:2

Jordi Colomina Montava, EPSA

7/28/2016

Advertencias de Diseño

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad

Índice de Saturación Langelier > 0

Índice de estabilidad Stiff & Davis > 0

BaSO₄(%)

Saturación >

100% CaF₂(%)

Saturación >

100%

Se puede requerir anti-incrustantes. Consulte con su fabricante para la dosificación y máxima conversión permitida.

Detalles Etapa

Etapa	Elemento	Conversión	Caudal de STD Permeado		Caudal de STD Alimentación		Presión de Alimentación (bar)
			Permeado (m ³ /d)	(mg/l)	Alimentación (m ³ /d)	(mg/l)	
1		0.10	20.33	51.41	211.65	34419.90	52.91
2		0.09	17.70	64.35	191.32	38072.38	52.64
3		0.09	15.08	81.77	173.61	41948.04	52.40
4		0.08	12.55	105.44	158.53	45930.20	52.20
5		0.07	10.20	137.71	145.99	49867.96	52.01
6		0.06	8.12	181.92	135.78	53604.75	51.85
7		0.05	6.35	242.16	127.66	57002.90	51.70
8		0.04	4.90	323.73	121.31	59974.34	51.56

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Cálculo de Precipitaciones

	Agua Bruta	Alimentación ajustada	Concentrado
pH	7.90	7.90	7.86
Índice de Saturación Langelier	0.84	0.84	1.30
Índice de estabilidad Stiff & Davis	-0.13	-0.13	0.11
Fuerza Iónica (Molal)	0.71	0.71	1.32
STD (mg/l)	34419.36	34419.90	62485.79
HCO ₃	139.95	139.95	249.53
CO ₂	0.99	0.99	2.06
CO ₃	11.56	11.56	23.48
CaSO ₄ (% Saturación)	19.18	19.18	39.73
BaSO ₄ (% Saturación)	498.58	498.58	1026.29
SrSO ₄ (% Saturación)	24.34	24.34	56.26
CaF ₂ (% Saturación)	53.19	53.19	318.16
SiO ₂ (% Saturación)	0.84	0.84	1.57
Mg(OH) ₂ (% Saturación)	0.27	0.27	0.42

Para hacer el balance:0.53 mg/l Clañadido a la alimentación

3. Simulación para factor de flujo de 1 y temperatura de 15°C

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™
 Proyecto: Coliumo
 Jordi Colomina Montava, EPSA

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282
 Caso:1
 7/27/2016

Información del Proyecto:

Detalles del Sistema

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	14815.56 m³/d	Caudal de Permeado Paso 1	6668.06 m³/d	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	14815.56 m³/d	Conversión Paso 1	45.01 %	Alimentación	23.40 bar
Presión de Alimentación	55.16 bar	Temperatura de Alimentación	15.0 C	Concentrado	43.56 bar
Factor de flujo	1.00	STD Alimentación	34420.31 mg/l	Media	33.48 bar
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	560	NDP media	20.59 bar
Área Activa Total	22890.56 M²	Flujo específico medio Paso 1	12.14 lmh	Potencia	1182.49 kW
Clasificación del Agua: Seawater with DOW Ultrafiltration, SDI < 2.5				Energía Específica	4.26 kWh/m³

Etapa	Elemento	Nº Cajas de Elementos	Nº de Elementos	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Alimentación (m³/d)	Presión de Recirculación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/d)	Presión de Concentrado (bar)	Caudal de Concentrado (m³/d)	Presión de Permeado (bar)	Caudal de Permeado (m³/d)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión de Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30XHR-440i	70	8	54.81	14815.56	0.00	0.00	53.19	8147.50	12.14	6668.06	12.14	0.00	0.00	84.33

Corrientes Paso (mg/l como ión)						
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado		Permeado	
			Etapa 1	Etapa 1	Permeado Total	
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K	380.12	380.12	690.22	1.23	1.23	
Na	10559.47	10559.47	19177.41	29.47	29.47	
Mg	1262.42	1262.42	2294.94	0.80	0.80	
Ca	400.13	400.13	727.40	0.25	0.25	
Sr	13.00	13.00	23.64	0.01	0.01	
Ba	0.15	0.15	0.27	0.00	0.00	
CO3	9.43	9.43	19.56	0.00	0.00	
HCO3	139.95	139.95	249.63	0.62	0.62	
NO3	0.50	0.50	0.90	0.01	0.01	
Cl	18973.77	18976.96	34468.32	48.54	48.54	
F	1.00	1.00	1.81	0.00	0.00	
SO4	2648.13	2648.13	4814.86	0.67	0.67	
SiO2	1.00	1.00	1.82	0.00	0.00	
Boro	4.91	4.91	8.53	0.48	0.48	
CO2	1.10	1.10	2.25	1.38	1.38	
STD	34417.12	34420.31	62519.55	84.33	84.33	
pH	7.90	7.90	7.87	5.90	5.90	

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™
 Proyecto: Coliumo
 Jordi Colomina Montava, EPSA

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282
 Caso:1
 7/27/2016

Advertencias de Diseño

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad

Índice de Saturación Langelier > 0

Índice de estabilidad Stiff & Davis > 0

BaSO₄(%)

Saturación >

100% CaF₂(%)

Saturación >

100%

Se puede requerir anti-incrustantes. Consulte con su fabricante para la dosificación y máxima conversión permitida.

Detalles Etapa

Etapa	Elemento	Conversión	Caudal de STD Permeado		Caudal de STD Alimentación		Presión de Alimentación (bar)
			Permeado (m ³ /d)	(mg/l)	Alimentación (m ³ /d)	(mg/l)	
1		0.09	18.85	41.26	211.65	34420.31	54.81
2		0.09	16.81	50.26	192.80	37782.03	54.52
3		0.08	14.72	62.04	175.99	41386.12	54.26
4		0.08	12.64	77.60	161.27	45158.20	54.03
5		0.07	10.65	98.27	148.62	48993.21	53.83
6		0.06	8.78	125.90	137.98	52765.61	53.65
7		0.06	7.12	162.83	129.19	56344.78	53.48
8		0.05	5.68	212.19	122.07	59621.39	53.33

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Cálculo de Precipitaciones

	Agua Bruta	Alimentación ajustada	Concentrado
pH	7.90	7.90	7.87
Índice de Saturación Langelier	0.72	0.72	1.19
Índice de estabilidad Stiff & Davis	-0.22	-0.22	0.03
Fuerza Iónica (Molal)	0.71	0.71	1.32
STD (mg/l)	34417.12	34420.31	62519.55
HCO ₃	139.95	139.95	249.63
CO ₂	1.10	1.10	2.25
CO ₃	9.43	9.43	19.56
CaSO ₄ (% Saturación)	19.18	19.18	39.73
BaSO ₄ (% Saturación)	498.79	498.79	1026.78
SrSO ₄ (% Saturación)	24.35	24.35	56.29
CaF ₂ (% Saturación)	53.16	53.16	318.49
SiO ₂ (% Saturación)	0.93	0.93	1.71
Mg(OH) ₂ (% Saturación)	0.27	0.27	0.44

Para hacer el balance: 3.19 mg/l Clañido a la alimentación

4. Simulación para factor de flujo de 0.9 y temperatura de 25°C

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Proyecto:Coliumo

Caso:6

Jordi Colomina Montava, EPSA

7/28/2016

Información del Proyecto:

Detalles del Sistema

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	14815.56 m³/d	Caudal de Permeado Paso 1	6666.13 m³/d	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	14815.56 m³/d	Conversión Paso 1	44.99 %	Alimentación	24.31 bar
Presión de Alimentación	53.12 bar	Temperatura de Alimentación	25.0 C	Concentrado	45.35 bar
Factor de flujo	0.90	STD Alimentación	34423.58 mg/l	Media	34.83 bar
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	560	NDP media	17.38 bar
Área Activa Total	22890.56 M²	Flujo específico medio Paso 1	12.13 lmh	Potencia	1138.89 kW
Clasificación del Agua:Seawater with DOW Ultrafiltration, SDI < 2.5				Energía Específica	4.10 kWh/m³

Etapa	Elemento	Nº Cajas de Elementos	Nº de Elementos	Caudal de Alimentación (m³/d)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/d)	Caudal de concentrado (m³/d)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m³/d)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión de Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30XHR-440i	70	8	14815.56	52.78	0.00	8149.42	51.41	6666.13	12.13	0.00	0.00	148.63

Corrientes Paso (mg/l como ión)						
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado		Permeado	
			Etapa 1	Etapa 1	Permeado Total	
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K	380.12	380.12	689.28	2.17	2.17	
Na	10559.47	10561.15	19157.54	51.98	51.98	
Mg	1262.42	1262.42	2293.91	1.41	1.41	
Ca	400.13	400.13	727.07	0.44	0.44	
Sr	13.00	13.00	23.62	0.01	0.01	
Ba	0.15	0.15	0.27	0.00	0.00	
CO3	14.09	14.09	28.14	0.00	0.00	
HCO3	139.95	139.95	249.41	0.99	0.99	
NO3	0.50	0.50	0.89	0.03	0.03	
Cl	18973.77	18973.77	34424.06	85.61	85.61	
F	1.00	1.00	1.81	0.01	0.01	
SO4	2648.13	2648.13	4813.31	1.18	1.18	
SiO2	1.00	1.00	1.81	0.01	0.01	
Boro	4.93	4.93	8.28	0.84	0.84	
CO2	0.89	0.89	1.89	1.11	1.11	
STD	34421.89	34423.58	62458.40	148.63	148.63	
pH	7.90	7.90	7.85	6.11	6.11	

El Flujo Especifico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Proyecto:Coliumo

Caso:6

Jordi Colomina Montava, EPSA

7/28/2016

Advertencias de Diseño

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad

Índice de Saturación Langelier > 0

Índice de estabilidad Stiff & Davis > 0

BaSO₄(%)

Saturación >

100% CaF₂(%)

Saturación >

100%

Se puede requerir anti-incrustantes. Consulte con su fabricante para la dosificación y máxima conversión permitida.

Detalles Etapa

Etapa	Elemento	Conversión	Caudal de STD Permeado		Caudal de STD Alimentación		Presión de Alimentación (bar)
			Permeado (m ³ /d)	(mg/l)	Alimentación (m ³ /d)	(mg/l)	
1		0.10	21.01	65.68	211.65	34423.58	52.78
2		0.09	18.10	83.24	190.64	38210.68	52.53
3		0.09	15.22	107.18	172.54	42210.01	52.31
4		0.08	12.48	140.14	157.32	46283.08	52.12
5		0.07	9.98	185.67	144.84	50257.84	51.95
6		0.06	7.82	248.48	134.86	53964.52	51.80
7		0.05	6.03	334.71	127.04	57271.80	51.66
8		0.04	4.59	451.80	121.01	60106.73	51.53

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Cálculo de Precipitaciones

	Agua Bruta	Alimentación ajustada	Concentrado
pH	7.90	7.90	7.85
Índice de Saturación Langelier	0.95	0.95	1.40
Índice de estabilidad Stiff & Davis	-0.03	-0.03	0.19
Fuerza Iónica (Molal)	0.71	0.71	1.32
STD (mg/l)	34421.89	34423.58	62458.40
HCO ₃	139.95	139.95	249.41
CO ₂	0.89	0.89	1.89
CO ₃	14.09	14.09	28.14
CaSO ₄ (% Saturación)	19.18	19.18	39.72
BaSO ₄ (% Saturación)	498.53	498.53	1026.18
SrSO ₄ (% Saturación)	24.33	24.33	56.24
CaF ₂ (% Saturación)	53.19	53.19	317.61
SiO ₂ (% Saturación)	0.78	0.78	1.45
Mg(OH) ₂ (% Saturación)	0.27	0.27	0.40

Para hacer el balance: 1.68 mg/l Naañadido a la alimentación

5. Simulación para factor de flujo de 0.9 y temperatura de 20°C

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Proyecto:Coliumo

Caso:5

Jordi Colomina Montava, EPSA

7/28/2016

Información del Proyecto:

Detalles del Sistema

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	14815.56 m³/d	Caudal de Permeado Paso 1	6667.51 m³/d	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	14815.56 m³/d	Conversión Paso 1	45.00 %	Alimentación	23.85 bar
Presión de Alimentación	54.70 bar	Temperatura de Alimentación	20.0 C	Concentrado	44.45 bar
Factor de flujo	0.90	STD Alimentación	34419.90 mg/l	Media	34.15 bar
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	560	NDP media	19.54 bar
Área Activa Total	22890.56 M²	Flujo específico medio Paso 1	12.14 lmh	Potencia	1172.67 kW
Clasificación del Agua:Seawater with DOW Ultrafiltration, SDI < 2.5				Energía Específica	4.22 kWh/m³

Etapa	Elemento	Nº Cajas de Elementos	Nº de Elementos	Caudal de Alimentación (m³/d)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/d)	Caudal de concentrado (m³/d)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m³/d)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión de Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30XHR-440i	70	8	14815.56	54.35	0.00	8148.04	52.86	6667.51	12.14	0.00	0.00	112.20

Corrientes Paso (mg/l como ión)					
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado		Permeado
			Etapa 1	Etapa 1	Permeado Total
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	380.12	380.12	689.83	1.63	1.63
Na	10559.47	10559.47	19168.17	39.21	39.21
Mg	1262.42	1262.42	2294.58	1.07	1.07
Ca	400.13	400.13	727.28	0.33	0.33
Sr	13.00	13.00	23.63	0.01	0.01
Ba	0.15	0.15	0.27	0.00	0.00
CO3	11.56	11.56	23.48	0.00	0.00
HCO3	139.95	139.95	249.55	0.78	0.78
NO3	0.50	0.50	0.89	0.02	0.02
Cl	18973.77	18974.30	34448.06	64.58	64.58
F	1.00	1.00	1.81	0.00	0.00
SO4	2648.13	2648.13	4814.36	0.89	0.89
SiO2	1.00	1.00	1.81	0.01	0.01
Boro	4.93	4.93	8.44	0.64	0.64
CO2	0.99	0.99	2.06	1.24	1.24
STD	34419.36	34419.90	62491.96	112.20	112.20
pH	7.90	7.90	7.86	6.00	6.00

El Flujo Especifico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Proyecto:Coliumo

Caso:5

Jordi Colomina Montava, EPSA

7/28/2016

Advertencias de Diseño

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad

Índice de Saturación Langelier > 0

Índice de estabilidad Stiff & Davis > 0

BaSO₄(%)

Saturación >

100% CaF₂(%)

Saturación >

100%

Se puede requerir anti-incrustantes. Consulte con su fabricante para la dosificación y máxima conversión permitida.

Detalles Etapa

Etapa	Elemento	Conversión	Caudal de STD Permeado		Caudal de STD Alimentación		Presión de Alimentación (bar)
			Permeado (m ³ /d)	(mg/l)	Alimentación (m ³ /d)	(mg/l)	
1	0.09	19.48	53.21	211.65	34419.90	54.35	
2	0.09	17.20	65.57	192.17	37903.50	54.08	
3	0.09	14.89	81.95	174.97	41622.95	53.84	
4	0.08	12.62	103.83	160.08	45485.45	53.63	
5	0.07	10.46	133.31	147.47	49367.40	53.45	
6	0.06	8.50	173.04	137.01	53126.10	53.28	
7	0.05	6.78	226.69	128.51	56628.17	53.13	
8	0.04	5.33	298.61	121.73	59768.88	52.99	

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Cálculo de Precipitaciones

	Agua Bruta	Alimentación ajustada	Concentrado
pH	7.90	7.90	7.86
Índice de Saturación Langelier	0.84	0.84	1.30
Índice de estabilidad Stiff & Davis	-0.13	-0.13	0.11
Fuerza Iónica (Molal)	0.71	0.71	1.32
STD (mg/l)	34419.36	34419.90	62491.96
HCO ₃	139.95	139.95	249.55
CO ₂	0.99	0.99	2.06
CO ₃	11.56	11.56	23.48
CaSO ₄ (% Saturación)	19.18	19.18	39.73
BaSO ₄ (% Saturación)	498.58	498.58	1026.41
SrSO ₄ (% Saturación)	24.34	24.34	56.26
CaF ₂ (% Saturación)	53.19	53.19	318.26
SiO ₂ (% Saturación)	0.84	0.84	1.57
Mg(OH) ₂ (% Saturación)	0.27	0.27	0.42

Para hacer el balance:0.53 mg/l Clañadido a la alimentación

6. Simulación para factor de flujo de 0.9 y temperatura de 15°C

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Proyecto: Coliumo

Caso:4

Jordi Colomina Montava, EPSA

7/28/2016

Información del Proyecto:

Detalles del Sistema

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	14815.56 m³/d	Caudal de Permeado Paso 1	6667.09 m³/d	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	14815.56 m³/d	Conversión Paso 1	45.00 %	Alimentación	23.40 bar
Presión de Alimentación	56.98 bar	Temperatura de Alimentación	15.0 C	Concentrado	43.55 bar
Factor de flujo	0.90	STD Alimentación	34420.42 mg/l	Media	33.48 bar
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	560	NDP media	22.40 bar
Área Activa Total	22890.56 M²	Flujo específico medio Paso 1	12.14 lmh	Potencia	1221.47 kW
Clasificación del Agua: Seawater with DOW Ultrafiltration, SDI < 2.5				Energía Específica	4.40 kWh/m³

Etapa	Elemento	Nº Cajas de Elementos	Nº de Elementos	Caudal de Alimentación (m³/d)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/d)	Caudal de concentrado (m³/d)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m³/d)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión de Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30XHR-440i	70	8	14815.56	56.63	0.00	8148.46	54.99	6667.09	12.14	0.00	0.00	83.92

Corrientes Paso (mg/l como ión)						
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado		Permeado	
			Etapa 1	Etapa 1	Permeado Total	
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K	380.12	380.12	690.14	1.22	1.22	
Na	10559.47	10559.47	19175.27	29.31	29.31	
Mg	1262.42	1262.42	2294.68	0.80	0.80	
Ca	400.13	400.13	727.31	0.25	0.25	
Sr	13.00	13.00	23.63	0.01	0.01	
Ba	0.15	0.15	0.27	0.00	0.00	
CO3	9.42	9.42	19.55	0.00	0.00	
HCO3	139.95	139.95	249.59	0.62	0.62	
NO3	0.50	0.50	0.90	0.01	0.01	
Cl	18973.77	18976.96	34464.45	48.29	48.29	
F	1.00	1.00	1.82	0.00	0.00	
SO4	2648.13	2648.13	4814.29	0.66	0.66	
SiO2	1.00	1.00	1.81	0.00	0.00	
Boro	4.93	4.93	8.57	0.48	0.48	
CO2	1.10	1.10	2.25	1.38	1.38	
STD	34417.23	34420.42	62512.70	83.92	83.92	
pH	7.90	7.90	7.87	5.90	5.90	

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Proyecto: Coliumo

Caso:4

Jordi Colomina Montava, EPSA

7/28/2016

Advertencias de Diseño

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad

Índice de Saturación Langelier > 0

Índice de estabilidad Stiff & Davis > 0

BaSO₄(%)

Saturación) >

100% CaF₂(%)

Saturación) >

100%

Se puede requerir anti-incrustantes. Consulte con su fabricante para la dosificación y máxima conversión permitida.

Detalles Etapa

Etapa	Elemento	Conversión	Caudal de STD Permeado		Caudal de STD Alimentación		Presión de Alimentación (bar)
			Permeado (m ³ /d)	(mg/l)	Alimentación (m ³ /d)	(mg/l)	
1	0.09		18.13	42.60	211.65	34420.42	56.63
2	0.08		16.35	51.21	193.52	37641.30	56.34
3	0.08		14.52	62.31	177.17	41110.94	56.08
4	0.08		12.66	76.78	162.65	44775.20	55.84
5	0.07		10.84	95.78	149.98	48549.32	55.64
6	0.07		9.11	120.84	139.14	52325.02	55.45
7	0.06		7.52	154.04	130.03	55983.06	55.29
8	0.05		6.10	197.96	122.51	59408.67	55.13

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Cálculo de Precipitaciones

	Agua Bruta	Alimentación ajustada	Concentrado
pH	7.90	7.90	7.87
Índice de Saturación Langelier	0.72	0.72	1.19
Índice de estabilidad Stiff & Davis	-0.22	-0.22	0.03
Fuerza Iónica (Molal)	0.71	0.71	1.32
STD (mg/l)	34417.23	34420.42	62512.70
HCO ₃	139.95	139.95	249.59
CO ₂	1.10	1.10	2.25
CO ₃	9.42	9.42	19.55
CaSO ₄ (% Saturación)	19.18	19.18	39.72
BaSO ₄ (% Saturación)	498.63	498.63	1026.28
SrSO ₄ (% Saturación)	24.34	24.34	56.26
CaF ₂ (% Saturación)	53.19	53.19	318.59
SiO ₂ (% Saturación)	0.93	0.93	1.71
Mg(OH) ₂ (% Saturación)	0.27	0.27	0.44

Para hacer el balance: 3.19 mg/l Clañido a la alimentación

7. Simulación para factor de flujo de 0.8 y temperatura de 25°C

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Proyecto:Coliumo

Caso:9

Jordi Colomina Montava, EPSA

7/28/2016

Información del Proyecto:

Detalles del Sistema

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	14814.82 m³/d	Caudal de Permeado Paso 1	6666.52 m³/d	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	14814.82 m³/d	Conversión Paso 1	45.00 %	Alimentación	24.31 bar
Presión de Alimentación	54.62 bar	Temperatura de Alimentación	25.0 C	Concentrado	45.35 bar
Factor de flujo	0.80	STD Alimentación	34423.58 mg/l	Media	34.83 bar
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	560	NDP media	18.87 bar
Área Activa Total	22890.56 M²	Flujo específico medio Paso 1	12.13 lmh	Potencia	1170.87 kW
Clasificación del Agua:Seawater with DOW Ultrafiltration, SDI < 2.5				Energía Específica	4.22 kWh/m³

Etapa	Elemento	Nº Cajas de Elementos	Nº de Elementos	Caudal de Alimentación (m³/d)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/d)	Caudal de concentrado (m³/d)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m³/d)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión de Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30XHR-440i	70	8	14814.82	54.27	0.00	8148.31	52.89	6666.52	12.13	0.00	0.00	147.66

Corrientes Paso (mg/l como ión)						
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado		Permeado	
			Etapa 1	Etapa 1	Permeado Total	
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K	380.12	380.12	689.35	2.15	2.15	
Na	10559.47	10561.15	19159.49	51.63	51.63	
Mg	1262.42	1262.42	2294.12	1.40	1.40	
Ca	400.13	400.13	727.14	0.44	0.44	
Sr	13.00	13.00	23.62	0.01	0.01	
Ba	0.15	0.15	0.27	0.00	0.00	
CO3	14.09	14.09	28.14	0.00	0.00	
HCO3	139.95	139.95	249.43	0.98	0.98	
NO3	0.50	0.50	0.89	0.03	0.03	
Cl	18973.77	18973.77	34427.54	85.04	85.04	
F	1.00	1.00	1.81	0.01	0.01	
SO4	2648.13	2648.13	4813.74	1.17	1.17	
SiO2	1.00	1.00	1.81	0.01	0.01	
Boro	4.93	4.93	8.28	0.84	0.84	
CO2	0.89	0.89	1.89	1.11	1.11	
STD	34421.89	34423.58	62464.64	147.66	147.66	
pH	7.90	7.90	7.85	6.11	6.11	

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Proyecto:Coliumo

Caso:9

Jordi Colomina Montava, EPSA

7/28/2016

Advertencias de Diseño

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad

Índice de Saturación Langelier > 0

Índice de estabilidad Stiff & Davis > 0

BaSO₄(%)

Saturación >

100% CaF₂(%)

Saturación >

100%

Se puede requerir anti-incrustantes. Consulte con su fabricante para la dosificación y máxima conversión permitida.

Detalles Etapa

Etapa	Elemento	Conversión	Caudal de STD Permeado		Caudal de STD Alimentación		Presión de Alimentación (bar)
			Permeado (m ³ /d)	(mg/l)	Alimentación (m ³ /d)	(mg/l)	
1	0.09	19.99	68.35	211.64	34423.58	54.27	
2	0.09	17.51	85.01	191.65	38007.39	54.02	
3	0.09	15.01	107.33	174.14	41820.34	53.80	
4	0.08	12.58	137.44	159.13	45754.29	53.61	
5	0.07	10.30	178.39	146.55	49669.56	53.43	
6	0.06	8.26	234.01	136.25	53411.43	53.28	
7	0.05	6.51	309.38	127.98	56845.31	53.14	
8	0.04	5.06	410.94	121.47	59877.31	53.01	

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Cálculo de Precipitaciones

	Agua Bruta	Alimentación ajustada	Concentrado
pH	7.90	7.90	7.85
Índice de Saturación Langelier	0.95	0.95	1.40
Índice de estabilidad Stiff & Davis	-0.03	-0.03	0.19
Fuerza Iónica (Molal)	0.71	0.71	1.32
STD (mg/l)	34421.89	34423.58	62464.64
HCO ₃	139.95	139.95	249.43
CO ₂	0.89	0.89	1.89
CO ₃	14.09	14.09	28.14
CaSO ₄ (% Saturación)	19.18	19.18	39.73
BaSO ₄ (% Saturación)	498.54	498.54	1026.29
SrSO ₄ (% Saturación)	24.33	24.33	56.25
CaF ₂ (% Saturación)	53.19	53.19	317.70
SiO ₂ (% Saturación)	0.78	0.78	1.45
Mg(OH) ₂ (% Saturación)	0.27	0.27	0.40

Para hacer el balance: 1.68 mg/l Naañadido a la alimentación

8. Simulación para factor de flujo de 0.8 y temperatura de 20°C

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™
 Proyecto: Coliumo
 Jordi Colomina Montava, EPSA

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282
 Caso:8
 7/28/2016

Información del Proyecto:

Detalles del Sistema

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	14815.56 m³/d	Caudal de Permeado Paso 1	6668.25 m³/d	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	14815.56 m³/d	Conversión Paso 1	45.01 %	Alimentación	23.85 bar
Presión de Alimentación	56.59 bar	Temperatura de Alimentación	20.0 C	Concentrado	44.46 bar
Factor de flujo	0.80	STD Alimentación	34419.90 mg/l	Media	34.16 bar
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	560	NDP media	21.42 bar
Área Activa Total	22890.56 M²	Flujo específico medio Paso 1	12.14 lmh	Potencia	1213.11 kW
Clasificación del Agua: Seawater with DOW Ultrafiltration, SDI < 2.5				Energía Específica	4.37 kWh/m³

Etapa	Elemento	Nº Cajas de Elementos	Nº de Elementos	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Alimentación (m³/d)	Presión de Recirculación (bar)	Caudal de Concentrado (m³/d)	Caudal de Permeado (m³/d)	Presión del Concentrado (bar)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión de Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30XHR-440i	70	8	56.24	14815.56	0.00	8147.31	6668.25	54.73	12.14	0.00	0.00	111.52

Corrientes Paso (mg/l como ión)						
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado		Permeado	
			Etapa 1	Etapa 1	Permeado Total	
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
K	380.12	380.12	689.90	1.62	1.62	
Na	10559.47	10559.47	19170.08	38.97	38.97	
Mg	1262.42	1262.42	2294.79	1.06	1.06	
Ca	400.13	400.13	727.35	0.33	0.33	
Sr	13.00	13.00	23.63	0.01	0.01	
Ba	0.15	0.15	0.27	0.00	0.00	
CO3	11.56	11.56	23.49	0.00	0.00	
HCO3	139.95	139.95	249.58	0.77	0.77	
NO3	0.50	0.50	0.89	0.02	0.02	
Cl	18973.77	18974.30	34451.47	64.18	64.18	
F	1.00	1.00	1.81	0.00	0.00	
SO4	2648.13	2648.13	4814.80	0.88	0.88	
SiO2	1.00	1.00	1.81	0.01	0.01	
Boro	4.93	4.93	8.44	0.64	0.64	
CO2	0.99	0.99	2.06	1.24	1.24	
STD	34419.36	34419.90	62498.10	111.52	111.52	
pH	7.90	7.90	7.86	5.99	5.99	

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™
 Proyecto: Coliumo
 Jordi Colomina Montava, EPSA

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282
 Caso:8
 7/28/2016

Advertencias de Diseño

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad

Índice de Saturación Langelier > 0

Índice de estabilidad Stiff & Davis > 0

BaSO₄(%)

Saturación >

100% CaF₂(%)

Saturación >

100%

Se puede requerir anti-incrustantes. Consulte con su fabricante para la dosificación y máxima conversión permitida.

Detalles Etapa

Etapa	Elemento	Conversión	Caudal de STD Permeado		Caudal de STD Alimentación		Presión de Alimentación (bar)
			Permeado (m ³ /d)	(mg/l)	Alimentación (m ³ /d)	(mg/l)	
1	0.09	18.61	55.23	211.65	34419.90	56.24	
2	0.09	16.67	66.96	193.04	37732.78	55.97	
3	0.08	14.66	82.25	176.37	41291.57	55.73	
4	0.08	12.66	102.40	161.71	45028.45	55.52	
5	0.07	10.71	129.06	149.05	48843.73	55.33	
6	0.06	8.89	164.56	138.34	52616.70	55.16	
7	0.06	7.24	211.93	129.44	56219.68	55.00	
8	0.05	5.81	274.79	122.20	59539.22	54.86	

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Cálculo de Precipitaciones

	Agua Bruta	Alimentación ajustada	Concentrado
pH	7.90	7.90	7.86
Índice de Saturación Langelier	0.84	0.84	1.30
Índice de estabilidad Stiff & Davis	-0.13	-0.13	0.11
Fuerza Iónica (Molal)	0.71	0.71	1.32
STD (mg/l)	34419.36	34419.90	62498.10
HCO ₃	139.95	139.95	249.58
CO ₂	0.99	0.99	2.06
CO ₃	11.56	11.56	23.49
CaSO ₄ (% Saturación)	19.18	19.18	39.73
BaSO ₄ (% Saturación)	498.58	498.58	1026.52
SrSO ₄ (% Saturación)	24.34	24.34	56.27
CaF ₂ (% Saturación)	53.19	53.19	318.35
SiO ₂ (% Saturación)	0.84	0.84	1.57
Mg(OH) ₂ (% Saturación)	0.27	0.27	0.42

Para hacer el balance:0.53 mg/l Clañadido a la alimentación

9. Simulación para factor de flujo de 0.8 y temperatura de 15°C

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Proyecto:Coliumo

Caso:7

Jordi Colomina Montava, EPSA

7/28/2016

Información del Proyecto:

Detalles del Sistema

Caudal de Alimentación a la 1ª Etapa	14815.56 m³/d	Caudal de Permeado Paso 1	6668.22 m³/d	Presión Osmótica:	
Caudal de Agua Bruta al Sistema	14815.56 m³/d	Conversión Paso 1	45.01 %	Alimentación	23.40 bar
Presión de Alimentación	59.36 bar	Temperatura de Alimentación	15.0 C	Concentrado	43.56 bar
Factor de flujo	0.80	STD Alimentación	34420.42 mg/l	Media	33.48 bar
Dosificación Química	Ninguno	Número de Elementos	560	NDP media	24.78 bar
Área Activa Total	22890.56 M²	Flujo específico medio Paso 1	12.14 lmh	Potencia	1272.65 kW
Clasificación del Agua:Seawater with DOW Ultrafiltration, SDI < 2.5				Energía Específica	4.58 kWh/m³

Etapa	Elemento	Nº Cajas de Elementos	Nº de Elementos	Caudal de Alimentación (m³/d)	Presión de Alimentación (bar)	Caudal de Recirculación (m³/d)	Caudal de concentrado (m³/d)	Presión del concentrado (bar)	Caudal de Permeado (m³/d)	Flujo específico medio (lmh)	Presión de Permeado (bar)	Presión de Booster (bar)	STD Permeado (mg/l)
1	SW30XHR-440i	70	8	14815.56	59.02	0.00	8147.34	57.37	6668.22	12.14	0.00	0.00	83.46

Corrientes Paso (mg/l como ión)					
Nombre	Alimentación	Alimentación ajustada	Concentrado		Permeado
			Etapa 1	Etapa 1	Permeado Total
NH4+ + NH3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	380.12	380.12	690.24	1.21	1.21
Na	10559.47	10559.47	19178.04	29.15	29.15
Mg	1262.42	1262.42	2295.00	0.79	0.79
Ca	400.13	400.13	727.41	0.25	0.25
Sr	13.00	13.00	23.63	0.01	0.01
Ba	0.15	0.15	0.27	0.00	0.00
CO3	9.42	9.42	19.56	0.00	0.00
HCO3	139.95	139.95	249.63	0.62	0.62
NO3	0.50	0.50	0.90	0.01	0.01
Cl	18973.77	18976.96	34469.41	48.02	48.02
F	1.00	1.00	1.82	0.00	0.00
SO4	2648.13	2648.13	4814.96	0.66	0.66
SiO2	1.00	1.00	1.81	0.00	0.00
Boro	4.93	4.93	8.57	0.48	0.48
CO2	1.10	1.10	2.25	1.38	1.38
STD	34417.23	34420.42	62521.67	83.46	83.46
pH	7.90	7.90	7.87	5.90	5.90

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Reverse Osmosis System Analysis para Membranas FILMTEC™

ROSA 9.1 ConfigDB u399339_282

Proyecto:Coliumo

Caso:7

Jordi Colomina Montava, EPSA

7/28/2016

Advertencias de Diseño

-Ninguno-

Advertencias de Solubilidad

Índice de Saturación Langelier > 0

Índice de estabilidad Stiff & Davis > 0

BaSO₄(%)

Saturación >

100% CaF₂(%)

Saturación >

100%

Se puede requerir anti-incrustantes. Consulte con su fabricante para la dosificación y máxima conversión permitida.

Detalles Etapa

Etapa	Elemento	Conversión	Caudal de STD Permeado		Caudal de STD Alimentación		Presión de Alimentación (bar)
			Permeado (m ³ /d)	(mg/l)	Alimentación (m ³ /d)	(mg/l)	
1		0.08	17.41	44.06	211.65	34420.42	59.02
2		0.08	15.89	52.24	194.24	37500.96	58.72
3		0.08	14.30	62.66	178.36	40836.38	58.46
4		0.08	12.67	76.03	164.06	44389.57	58.23
5		0.07	11.04	93.37	151.39	48098.11	58.02
6		0.07	9.45	115.99	140.35	51873.40	57.83
7		0.06	7.94	145.59	130.91	55607.82	57.66
8		0.05	6.57	184.42	122.96	59190.72	57.51

El Flujo Específico de Permeado dado por ROSA está calculado en base al área ACTIVA de la membrana. EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDAD: NO SE FORMULA NINGUNA

GARANTÍA, TÁCITA O EXPRESA, YA SEA DE POSIBILIDADES DE COMERCIALIZACIÓN O DE IDONEIDAD PARA UN FIN DETERMINADO. Ni FilmTec Corporation ni

The Dow Chemical Company asumen responsabilidad alguna por los resultados obtenidos o los daños y perjuicios sufridos en relación con la aplicación de esta información. Dado que las condiciones de uso así como la legislación a aplicar puede diferir entre ubicaciones y pueden estar sujetas a cambios con el tiempo, es responsabilidad del cliente determinar la adecuación del producto para cada uso. FilmTec Corporation y The Dow Chemical Company declinan toda responsabilidad si, como resultado del uso por el cliente del programa informático de diseño de membranas ROSA, el cliente es objeto de una demanda por presunta violación de cualquier patente que no sea propiedad o no esté bajo el control de FilmTec Corporation o The Dow Chemical Company."

Cálculo de Precipitaciones

	Agua Bruta	Alimentación ajustada	Concentrado
pH	7.90	7.90	7.87
Índice de Saturación Langelier	0.72	0.72	1.19
Índice de estabilidad Stiff & Davis	-0.22	-0.22	0.03
Fuerza Iónica (Molal)	0.71	0.71	1.32
STD (mg/l)	34417.23	34420.42	62521.67
HCO ₃	139.95	139.95	249.63
CO ₂	1.10	1.10	2.25
CO ₃	9.42	9.42	19.56
CaSO ₄ (% Saturación)	19.18	19.18	39.73
BaSO ₄ (% Saturación)	498.63	498.63	1026.46
SrSO ₄ (% Saturación)	24.34	24.34	56.27
CaF ₂ (% Saturación)	53.19	53.19	318.72
SiO ₂ (% Saturación)	0.93	0.93	1.71
Mg(OH) ₂ (% Saturación)	0.27	0.27	0.44

Para hacer el balance: 3.19 mg/l Clañado a la alimentación