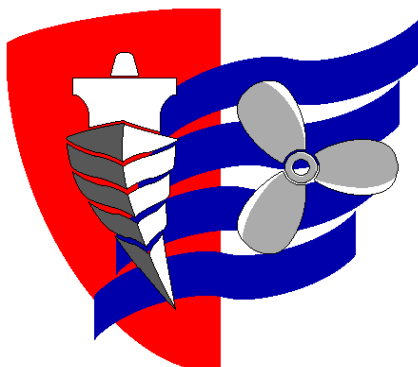


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE POR ÓSMOSIS INVERSA
PARA UN BUQUE DE PASAJE**

**DESIGN OF A REVERSE OSMOSIS PLANT
FOR A CRUISE SHIP**

Para acceder al Título de Grado en
INGENIERÍA MARÍTIMA

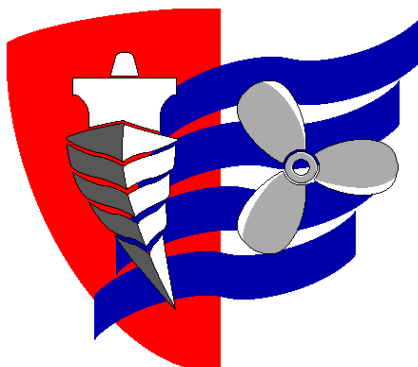
Autor: María José López Martín

Director: Jesús M. Oria Chaveli

Julio - 2015

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE
AGUA POTABLE POR ÓSMOSIS INVERSA
PARA UN BUQUE DE PASAJE**

**DESIGN OF A REVERSE OSMOSIS PLANT
FOR A CRUISE SHIP**

Para acceder al Título de Grado en
INGENIERÍA MARÍTIMA

Julio - 2015

A Luzbel y a Ignacio.

AGRADECIMIENTOS

A mi director del trabajo, por su gran ayuda y paciencia en la realización de este proyecto.

A Francisco Javier Filgueira Rodríguez por su colaboración.

A mi familia, en especial a mi marido, sin su apoyo no lo hubiera conseguido.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

DOCUMENTO N° 1 MEMORIA

1. Memoria descriptiva
2. Impacto ambiental y estudio económico
3. Anejos

DOCUMENTO N° 2 CÁLCULOS Y PLANOS

1. Cálculos
2. Planos

DOCUMENTO N° 3 PLIEGO DE CONDICIONES

1. Pliego de condiciones generales
2. Pliego de condiciones económicas
3. Pliego de condiciones técnicas

DOCUMENTO N° 4 PRESUPUESTO

1. Presupuesto

ANEJOS

BIBLIOGRAFÍA

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	3
DOCUMENTO N° 1 MEMORIA	
1. MEMORIA DESCRIPTIVA	
1.1. General.....	7
1.1.1. Título.....	7
1.1.2. Destinatario.....	7
1.1.3. Objeto del Proyecto	7
1.2. Antecedentes y estudios previos	8
1.2.1. El agua potable.....	8
1.2.2. La desalinización	8
1.2.3. Introducción histórica.....	9
1.2.4. Procesos de desalinización.....	11
1.2.5. Producción de agua dulce a bordo de un buque	12
1.2.6. Composición y calidad del agua de mar.....	15
1.2.6.1. Agua de mar	15
1.2.6.2. Contaminación de las aguas marinas	16
1.2.7. Calidad del agua desalinizada	17
1.3. Principales características del buque.....	22
1.4. Ósmosis inversa	23
1.4.1. Introducción	23
1.4.2. Proceso industrial de la ósmosis inversa	24
1.4.3. Ecuaciones	26
1.4.3.1. Coeficiente de permeabilidad de la membrana (A).....	26
1.4.3.2. Factor de recuperación (Y)	26
1.4.3.3. Factor de rechazo de sales (R) y de paso de sales (Ps)	27
1.4.3.4. Concentración de permeado (Cp) y concentración de rechazo (Cr) .	28
1.4.3.5. Flujo de disolvente (Ja) y flujo de soluto (Js).....	29
1.4.3.6. Balance de materia	30
1.4.4. Membranas de ósmosis inversa. Configuraciones existentes	30
1.4.4.1. Módulos de placas y tubulares.....	32
1.4.4.2. Módulos de fibra hueca.....	33
1.4.4.3. Módulos espirales	35
1.4.5. Principales componentes de un sistema de membranas de ósmosis inversa	36

1.4.5.1. Etapas	37
1.4.5.2. Pasos.....	38
1.4.6. Diseño de un sistema de ósmosis inversa	39
1.4.6.1. Estudio de la fuente y calidad de agua de aporte, flujo del aporte y permeado, y calidad requerida en el permeado	40
1.4.6.2. Selección de la agrupación de etapas y número de pasos.....	42
1.4.6.3. Selección de la membrana y tipo de elementos	44
1.4.6.4. Elección del flujo medio de permeado también conocido como "flujo de diseño"	46
1.4.6.5. Cálculo del número de elementos total necesarios	48
1.4.6.6. Cálculo del número de elementos por caja de presión	48
1.4.6.7. Selección del número de etapas	49
1.5. Descripción del sistema de agua potable.....	51
1.6. Descripción planta de tratamiento de agua potable por ósmosis inversa para un buque de pasaje	52
1.6.1. Introducción	52
1.6.2. Datos de partida	54
1.6.3. Toma de mar y bombeo	55
1.6.4. Pretratamiento	55
1.6.5. Proceso de ósmosis inversa	58
1.6.6. Postratamiento.....	62
1.7. Descripción de equipos.....	64
1.7.1. Toma de mar y bombeo	64
1.7.2. Filtro bicapa	65
1.7.3. Equipo de dosificación de reactivos	66
1.7.4. Microfiltración.....	66
1.7.5. Bomba de alta presión	67
1.7.6. Bastidor de ósmosis inversa	68
1.7.7. Bomba de alimentación de agua potable fría	68
1.7.8. Bomba de trasiego de agua potable	68
1.7.9. Equipo de limpieza química	69
1.7.10. Equipo de desplazamiento.....	69
1.7.11. Válvulas	69
1.7.12. Instrumentación	70
1.7.13. Unidad central de control CPU.....	70

2. IMPACTO AMBIENTAL Y ESTUDIO ECONÓMICO

1. Introducción	72
2. Resultados obtenidos.....	72

DOCUMENTO N° 2 CÁLCULOS Y PLANOS

1. CÁLCULOS

1.1. Producción de agua potable.....	75
1.1.1. Sistema de producción de agua potable	75
1.2. Capacidad tanques de agua potable.....	76
1.3. Consumo agua potable	76
1.3.1. Caudal punta (máximo consumo de agua)	76
1.3.2. Caudal instantáneo mínimo.....	77
1.3.3. Cálculo caudales	80
1.4. Dimensionamiento bombas agua potable	84
1.4.1. Caudal.....	85
1.4.2. Presión.....	85
1.5. Diseño sistema ósmosis inversa	86
1.5.1. Caudales de diseño.....	89
1.5.2. Concentración de rechazo y permeado	89
1.5.3. Presión osmótica agua alimentación	91
1.5.4. Cálculo del número de elementos total y cajas de presión necesarios ...	93
1.5.5. Verificación de cálculos mediante software de simulación.....	94
1.6. Cálculo potencia nominal bombas	96
1.6.1. Determinación de la potencia absorbida por las bombas.....	96
1.6.2. Determinación de la potencia del motor	97
1.7. Impacto ambiental y estudio económico	98
1.7.1. Potencia eléctrica.....	98
1.7.2. Energía eléctrica diaria consumida.....	99
1.7.3. Consumo eléctrico diario de los generadores.....	99
1.7.4. Consumo de combustible diario	100
1.7.5. Coste de combustible.....	100
1.7.6. Factor emisión CO ₂ (F.E)	100
1.7.7. Emisión diaria CO ₂	101
1.7.8. Emisión específica de CO ₂ por m ³ de agua producida	101
1.7.9. Energía eléctrica específica consumida por m ³ de agua producida..	101

1.7.10. Coste específico por m ³ de agua producida	101
---	-----

2. PLANOS

1. Pretratamiento y tratamiento del agua potable	101
2. Postratamiento del agua potable.....	101

DOCUMENTO Nº 3 PLIEGO DE CONDICIONES

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.1. Condiciones generales.....	103
1.2. Reglamentos y normas	104
1.3. Materiales	105
1.4. Recepción del material.....	105
1.4.1. Control de calidad	105
1.4.2. Muestras	106
1.5. Organización.....	106
1.6. Ejecución de las obras.....	107
1.7. Interpretación y desarrollo del proyecto	108
1.8. Variaciones del proyecto.....	108
1.9. Obras complementarias	108
1.10. Modificaciones	109
1.11. Obra defectuosa	109
1.12. Medios auxiliares	109
1.13. Conservación de las obras.....	109
1.14. Subcontratación de las obras.....	110
1.15. Recepción de las obras.....	110
1.16. Contratación del astillero.....	110
1.17. Contrato	110
1.18. Responsabilidades.....	111
1.19. Rescisión del contrato.....	111

2. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

2.1. Mediciones y valoraciones de las obras.....	112
2.2. Abono de las ofertas	112
2.3. Precios.....	112
2.4. Revisión de precios.....	113
2.5. Precios contradictorios.....	113

2.6. Penalizaciones por retrasos	113
2.7. Liquidación en caso de rescisión del contrato	113
2.8. Fianza.....	114
2.9. Gastos diversos por cuenta del astillero.....	114
2.10. Conservación de las obras durante el plazo de garantía.....	114
2.11. Medidas de seguridad.....	114
2.12. Responsabilidad por daños.....	115
2.13. Demoras	115

3. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

3.1. Requisitos técnicos	116
3.1.1. Reglamentos relacionados	116
3.1.2. Marcado de identificación.....	116
3.1.3. Presión y temperatura	116
3.2. Tuberías	117
3.2.1. Tuberías de aireación, de llenado y de rebose	117
3.2.2. Tuberías de sonda	117
3.3. Dimensiones de tubería	117
3.4. Materiales de tubería	117
3.5. Accesorios y juntas de tubería	117
3.5.1. Accesorios y juntas embridadas	117
3.5.2. Juntas de dilatación.....	118
3.5.3. Juntas de desmontaje	118
3.5.4. Juntas por soldeo, soldeo blando o adhesivos	118
3.6. Accesorios	119
3.6.1. Generalidades.....	119
3.6.2. Dispositivos para el ahorro de agua	119
3.6.3. Materiales	119
3.7. Accesorios de protección	119
3.8. Equipos mecánicos.....	120
3.9. Cierre y regulación de caudal en tuberías	120
3.10. Válvulas	120
3.10.1. Generalidades.....	120
3.10.2. Válvulas de mariposa	121
3.10.3. Válvulas de retención	121
3.10.4. Válvulas de bola.....	122
3.10.5. Válvulas de macho	122

3.11. Equipos de bombeo	122
3.11.1. Bombas autocebadas.....	122
3.11.2. Capacidad de la bomba.....	122
3.11.3. Filtros	122
3.11.4. Válvulas y manómetros de presión.....	123
3.11.5. Válvulas de antirretorno regulables	123
3.11.6. Bombas dosificadoras	123
3.11.7. Motores eléctricos de las bombas	123
3.12. Membranas	123
3.13. Electroagitadores	124
3.14. Depósitos de acero al carbono.....	124
3.15. Depósitos de PRFV	124
3.16. Tanques de agua.....	124
3.17. Filtros de arena	125
3.18. Instrumentación	126
3.19. Control	127
3.20. Válvulas de control.....	128
3.21. Disposición de las tuberías	128
3.21.1. Generalidades.....	128
3.21.2. Principios de diseño	129
3.21.3. Paso de tuberías	130
3.21.4. Soporte de tuberías.....	131
3.21.5. Aislamiento.....	131
3.21.6. Marcado de identificación de las tuberías.....	131
3.21.7. Instrucciones para instalaciones especiales	132
3.22. Ensayos de presión y circulación de las tuberías	132
3.22.1. Ensayos de presión.....	132
3.22.2. Circulación del sistema	133
3.23. Equipos de tratamiento	133
3.24. Vigilancia, pruebas y ensayos.....	133

DOCUMENTO N° 4 PRESUPUESTO

1.1. Precios descompuestos	135
1.2. Presupuesto.....	137
1.2.1. Presupuesto de ejecución material (PEM).....	137
1.2.2. Presupuesto general	137

ANEJOS.....	139
BIBLIOGRAFÍA	144

RESUMEN

El propósito de este trabajo es el diseño de una planta de tratamiento de agua potable por ósmosis inversa, para un buque de pasaje de 290 metros de eslora, con capacidad para transportar un número total de 4.890 personas (pasaje y tripulación).

Este trabajo está compuesto por los siguientes documentos:

- Documento nº 1 Memoria;
- Documento nº 2 Cálculos y Planos;
- Documento nº 3 Pliego de Condiciones;
- Documento nº 4 Presupuesto.

Documento nº 1 Memoria

En la Memoria se hace un breve repaso a los antecedentes de la desalación, así como una comparativa entre las actuales técnicas de desalación y la justificación de la utilización de la ósmosis inversa a bordo de determinado tipo de buques, entre los que se encuentran los grandes buques de crucero.

En este documento hay un apartado dedicado a la ósmosis inversa, en el que se desarrolla los principios de funcionamiento de esta técnica, así como las principales ecuaciones que se utilizarán para diseñar la planta. Asimismo se justifica la selección de la configuración de la planta, de acuerdo con diversos estudios sobre la materia y recomendaciones de los fabricantes de membranas de ósmosis inversa, para a continuación describir detalladamente el sistema y todos los equipos que intervienen en la planta de tratamiento.

Finalmente en la Memoria se incluye un apartado dedicado al impacto ambiental y un estudio económico, en el cual se muestran los resultados obtenidos del cálculo de las emisiones de CO₂ debidas a los equipos asociados a la planta de tratamiento, así como el coste por m³ de agua potable producida.

Documento nº 2 Cálculos y Planos

El documento nº 2 incluye los cálculos necesarios para poder realizar el dimensionamiento de la planta así como los planos. El punto de partida del diseño de la planta de tratamiento es establecer el tipo consumidores del agua potable, así como su número, con el fin de determinar cuál va a ser la demanda total de agua por día y, por tanto, cuantos metros cúbicos debe producir la planta de tratamiento de agua potable.

Para el cálculo del consumo de agua potable, se ha utilizado el Método del Factor de Simultaneidad, que es un método semiempírico, y que se basa en determinar cuál va a ser el máximo caudal instantáneo probable o caudal punta en un momento determinado. Este concepto responde a la pregunta de cuántos aparatos consumidores de agua potable pueden estar abiertos simultáneamente en un cierto momento. Calculados los caudales y, por tanto, el consumo máximo de agua, podemos dimensionar las bombas de agua potable, así como diseñar el sistema de ósmosis inversa que incluye, entre otros, los siguientes parámetros: caudales de diseño, concentración de los caudales y presión osmótica.

Los cálculos del sistema de ósmosis inversa han sido comprobados con el programa de diseño y simulación: Toray Design 2, V2.0.1.42, verificándose el correcto dimensionamiento de la planta.

En este documento también se incluyen los cálculos para la determinación de la potencia nominal de las bombas, así como los necesarios para la determinación del impacto ambiental y estudio económico.

Documento nº 3 Pliego de Condiciones

El pliego de condiciones se recoge en el documento nº 3 y se compone del pliego de condiciones generales, el de condiciones económicas y el de condiciones técnicas.

Documento nº 4 Presupuesto

En el documento nº 4 se muestra el presupuesto general de la planta, el cual se ha descompuesto en diferentes partidas, divididas a su vez en los distintos elementos que componen la instalación, el número de unidades y su precio.

ABSTRACT

The purpose of this project is the design of a reverse osmosis plant for a cruise vessel, 290 meter length, with capacity for 4.890 persons (passengers and crew).

This project is made of the following documents:

- Document no.1: Main report;
- Document no.2: Calculations and drawings;
- Document no.3: Terms and conditions;
- Document no.4: Budget.

Document no.1: Main report

In the main report I make a brief description about the backgrounds of the desalination processes, and a comparison between the different desalination techniques and, why the use of the reverse osmosis system on board some type of vessels, such as cruise ships.

In this document there is a paragraph for the description of the reverse osmosis process, and the main equations for the design of a reverse osmosis plant. Furthermore there is a justification about the design of the plant, in accordance with the studies in this area and the manufacturer's recommendations. I also make a detailed description of the plant and all its equipment.

Finally there is a paragraph dedicated to the environmental impact and an economic study, showing the results of the CO₂ emissions and the cost in euros per cubic meters produced.

Document no.2: Calculations and drawings

This document includes the calculations for the design of the plant and the specific drawings. For the calculations, the main and starting point is to establish the different type of fresh water consumers and their number, in order to set the total demand of water per day and therefore how many cubic meters per day are necessary to produce.

For the calculation of the fresh water consumption, the Method of Simultaneity Factors has been used. This is a semi-empirical method and it's based in the assessment of the maximum instantaneous flow rate. So, we need to know how many water consumers may be in operation at a certain operating point.

Once the maximum flow rate is calculated we can size the fresh water pumps as well as the design flow, the different flow rates in a specific moment, and the osmotic pressure.

All my calculations have been compared with a design and simulation computer based program called "Toray Design 2 V2.0.1.42", verifying the proper design of the reverse osmosis plant.

Also in this document I include the calculations to determine the rated power of the pumps, the calculations required to determine the environmental impact and the economic study.

Document no.3: Terms and conditions

In this document I describe the general terms and conditions for the execution of the reverse osmosis plant, including the technical specifications and the economic terms for the construction and delivery of the plant.

Document no.4: Budget

In this document is showed a general budget for the construction of the plant. The budget has been detailed in different headings, also divided in the different elements which make up the installation, the number of items and the price per unit.

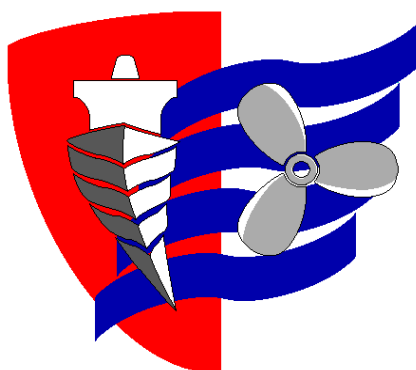
PALABRAS CLAVES DEL PROYECTO

Planta tratamiento, ósmosis inversa, buque de pasaje, agua potable, agua salada, membranas.

Treatment plant, reverse osmosis, cruise ship, fresh water, sea water, membranes.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



DOCUMENTO N° 1 MEMORIA

DOCUMENTO Nº 1 MEMORIA

1. MEMORIA DESCRIPTIVA

1.1. General

1.1.1. Título

Diseño de planta de tratamiento de agua potable para un buque de pasaje.

1.1.2. Destinatario

El destinatario del presente Proyecto es la Escuela Técnica Superior de Náutica de la Universidad de Cantabria, donde se presentará como Trabajo Fin de Grado (TFG) con el objeto de obtener el Grado en Ingeniería Marítima.

1.1.3. Objeto del Proyecto

El objeto de este trabajo es el diseño de una planta de tratamiento de agua potable por ósmosis inversa, para un buque de pasaje que transporta 4.890 personas.

En la producción de agua dulce a bordo de un buque influyen varios factores: el tipo de buque (carga o pasaje), los días de navegación, la calidad y coste del agua suministrada en puerto, coste de la producción del agua a bordo del buque, espacio disponible a bordo del buque, etc.

En los buques de pasaje que transportan un alto número de personas y que por tanto el consumo de agua potable es muy elevado, la instalación de plantas de tratamiento de agua potable por ósmosis inversa, se plantea como una óptima solución frente a los generadores de agua dulce por dos motivos: el primero es que la cantidad (m^3/h) de agua producida por ósmosis inversa, es superior a la producida por un generador de agua dulce, y el segundo es que no se depende de una fuente de calor (normalmente los motores principales) para generar agua potable por ósmosis inversa, al contrario que un generador de agua dulce.

1.2. Antecedentes y estudios previos

1.2.1. El agua potable

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), el término "agua potable" define toda agua para consumo humano. Es crucial tener en cuenta que esto incluye no solo el agua para beber o cocinar, sino también el agua para, por ejemplo, cepillarse los dientes, ducharse, lavarse las manos y lavar la ropa; para uso en zonas de aguas recreativas; para uso en el hospital del buque; para la manipulación, preparación o cocción de alimentos; y para la limpieza de las áreas de almacenamiento y preparación de alimentos, utensilios y equipo.

El agua potable, según lo definido por las Guías para la calidad del agua potable de la OMS (2008), no representará ningún riesgo significativo para la salud durante su consumo de por vida.

1.2.2. La desalinización

La desalinización, también conocida como desalación, es el proceso por el cual el agua de mar, que contiene 35.000 ppm (partes por millón) del total de sólidos disueltos (T.S.D.), y las aguas salobres, que contienen de 5.000 a 10.000 ppm del T.S.D., se convierten en agua apta para el consumo del hombre, uso doméstico y utilización industrial.

Los estándares para el agua dulce pueden variar en cada país; sin embargo, el estándar empleado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) la define como una solución acuosa que contiene menos de 500 ppm del T.S.D.

El grado de salinidad puede variar en los diferentes océanos, pero las proporciones relativas de los principales constituyentes son las mismas. En la tabla 1 se muestra la composición química del agua de mar, y en la tabla 2, la diferencia de salinidad en los distintos mares y océanos.

Sal	Cantidad de sales en 1 litro de agua	
	Gramos (g)	Total de sales (%)
Cloruro de sodio	27,213	77,758
Cloruro de magnesio	3,807	10,878
Sulfato de magnesio	1,658	4,737
Sulfato de calcio	1,26	3,6
Sulfato de potasio	0,863	2,465
Carbonato de calcio y trazas de otras sales	0,126	0,345
Bromuro de litio	0,076	0,217
Total	35,003	100,00

Tabla 1. Composición química promedio del agua de mar (www.cubasolar.cu).

Mar (océano)	Contenido de sales (%)
Océano Atlántico	3,6
Océano Pacífico	3,36
Océano Índico	3,38
Mar Mediterráneo	3,94
Mar Adriático	3,0
Mar de Japón	3,4
Mar del Norte	3,28
Mar Rojo	4,3
Mar Blanco	3,3
Mar de Mármara	2,5
Mar Negro	1,7
Mar Caspio	1,3
Mar Báltico	0,75

Tabla 2. Contenido de sales en los diferentes océanos y mares (www.cubasolar.cu).

1.2.3. Introducción histórica

Los océanos son las reservas de agua más grandes de la tierra, el problema es que contienen un promedio del 3.5 por ciento (en peso) de sales disueltas, situación que lo hace inservible para beber, y para su uso en la industria y la agricultura. El calor del sol evapora enormes cantidades de agua pero las sales no son volátiles y no se evaporan.

Quizá la más antigua referencia que existe sobre la desalación del agua de mar se encuentra en la Biblia. Esto es, por supuesto, cuestionable, pero relata que: "Al mando de Moisés, los hijos de Israel partieron del mar Rojo. Avanzaron hacia el desierto del Sur y marcharon por él tres días sin hallar agua. Llegaron a Mara, pero no podían beber el agua por ser amarga. El pueblo murmuraba contra Moisés, diciendo: ¿Qué vamos a beber? Moisés clamó a Yavé, que le indicó un madero que él echó en el agua, y esta se volvió dulce".

El interés temprano en la desalinización del agua provino del temor a morir de sed en alta mar. Desde épocas pretéritas los hombres se han preguntado cómo hacer que el agua de mar fuese potable, sobre todo los marinos que sufrían en sus navegaciones la contradicción de pasar penalidades por la falta de agua, estando rodeados de ella.

Son precisamente los barcos los primeros en utilizar la desalación del agua del mar para obtener agua potable durante las travesías, esto comportaba varias ventajas, por una parte la seguridad de suministro y, por otra, disponer de más espacio para el transporte de personas o mercancías, al no tener que ocuparlo con tanques de almacenamiento de agua.

Aristóteles describió un método para producir agua potable evaporando el agua del mar. San Basilio, un líder religioso griego, escribió: "los marinos hierven el agua del mar, colectan los vapores en esponjas para escurrirlos y saciar su sed". En el siglo VIII un químico de Irak escribe la conocida teoría de la destilación, pero es el gobierno británico quien hace uso del estudio árabe y lo patenta en 1869 construyendo la primera torre de destilación. En el nuevo mundo, es Thomas Jefferson, quien presenta en 1971 la primera torre de destilación de agua salina, un trabajo técnico sobre un proceso de destilación para desalar agua a bordo de buques.

Con la llegada de los buques de vapor transoceánicos, la desalación se hizo absolutamente necesaria para proporcionar el agua

relativamente pura que requieren las calderas, a través de evaporadores que se incorporaron a los buques.

1.2.4. Procesos de desalinización

Los sistemas de desalinización más empleados en la actualidad se pueden dividir en dos grandes grupos:

- Desalinización por destilación o evaporación.
- Desalinización mediante ósmosis inversa.

Los procesos de destilación o evaporación, lo que hacen es evaporar una cantidad de agua de agua de mar que posteriormente se condensa obteniendo agua destilada, a la que se le añaden las sales necesarias para hacerla apta para el consumo humano. De estos procesos existen muchas variantes, cada una intentando optimizar el consumo energético, los costos de instalación y, por tanto, los costos de producción de agua potable. Estos procesos fueron los que se utilizaron y aún se siguen utilizando en los buques.

Los más utilizados son Evaporación Instantánea Multietapa (M.S.F.), Evaporación Multiefecto (M.E.D.) y Compresión Mecánica de Vapor (C.M.V.)

El fenómeno natural de la ósmosis, era conocido desde hace muchos años, pero la aplicación práctica para desalinizar el agua de mar no fue posible hasta principios de la década de los 80 en que apareció la primera membrana capaz de trabajar con esas concentraciones, dando lugar al proceso conocido como Ósmosis Inversa (OI), ya que lo que hace es el proceso inverso a la ósmosis. Con el paso de los años la mejora en las membranas, el mayor conocimiento de los pretratamientos, la aparición de nuevos equipos con mayor rendimiento y capaces de ahorrar energía, ha conducido a la situación actual.

En la tabla 3 se muestra la energía (calorífica y eléctrica) que necesita cada proceso para obtener 1 m³ de agua.

PROCESO	TIPO	ENERGÍA NECESARIA	
		CALORÍFICA (Kcal/m ³)	ELÉCTRICA (KWh/m ³)
M.S.F.	Destilación	55.556	6,25
M.E.D	Destilación	55.556	1,64
C.M.V.	Destilación	-	8,66
O.I.	Membranas	-	3,5

Tabla 3. Energía necesaria procesos desalación (Consumo de energía en procesos de desalación, Juan María Sánchez).

Como puede observarse en la tabla 3, los procesos de destilación M.S.F. y M.E. necesitan dos tipos de energía, una calorífica para calentar el agua de mar y evaporarla, y otra eléctrica para mover las bombas involucradas en el proceso. El proceso C.M.V., aunque es de destilación, sólo requiere energía eléctrica para el accionamiento de las bombas que mueven el agua y el compresor que lleva a cabo el proceso. Y por último, la ósmosis inversa (O.I.), que únicamente utiliza energía eléctrica para accionar las bombas de agua.

De todos los procesos, el que menos energía consume es la ósmosis inversa con clara ventaja sobre los demás.

1.2.5. Producción de agua dulce a bordo de un buque

En la producción de agua dulce a bordo de un buque influyen varios factores: el tipo de buque (carga o pasaje), los días de navegación, la calidad y coste del agua suministrada en puerto, coste de la producción del agua a bordo del buque, espacio disponible a bordo del buque, etc.

La producción de agua dulce a bordo de un buque se puede realizar mediante el proceso de evaporación, a través de un generador de agua dulce, o mediante ósmosis inversa, a través de membranas.

El proceso de evaporación es adecuado para buques donde la necesidad de agua dulce, no es demasiado alta, como por ejemplo buques de carga. Al ser un sistema que aprovecha el calor residual del agua de refrigeración de los motores, casi todos los barcos llevan instalado a bordo un generador de agua dulce. En los casos en los que sea necesario una mayor producción de agua a bordo, por ejemplo, en buques de pasaje, o en los casos en los que los tiempos de fondeo o en puerto son altos, por ejemplo en buques sísmicos o de investigación, la ósmosis inversa es una óptima solución.

En la actualidad muchos buques llevan instalado a bordo ambos sistemas, de este modo el agua técnica (agua destilada), destinada a equipos de la máquina, es producida por el generador de agua dulce y el agua potable, destinada al sistema sanitario, es producida por bastidores de ósmosis inversa.

En este apartado se va a tratar solamente la producción de agua a bordo de un buque mediante la evaporación, ya que la ósmosis inversa va a ser tratada más profundamente en los siguientes apartados.

Generador de agua dulce

El fundamento del proceso de desalación mediante un generador de agua dulce, como todos los de destilación, es evaporar el agua de mar, condensar el vapor obtenido y recuperar el calor latente de condensación del vapor para calentar más agua de mar, que vuelve a ser evaporada.

Como se ha comentado anteriormente, el generador de agua dulce destila el agua de mar aprovechando como fuente de energía el calor residual del agua de refrigeración de los motores principales del buque.

Para evaporar agua salada a presión atmosférica, se necesita elevar su temperatura a 100°C. En el caso del generador no se dispone de tanta temperatura, por ello, para que pueda realizarse el cambio de estado, es necesario bajar la presión del interior de la carcasa y disminuir así la temperatura de evaporación.

En la fig. 1 se muestra el esquema de funcionamiento de un generador de agua dulce a bordo de un buque.

El recipiente con el evaporador (1) y el condensador (2) es situado bajo vacío por medio de una bomba de agua de mar eyectora (4). La presión absoluta debe permanecer aproximadamente a 0'1 bar. A esta presión, con aproximadamente 40° C el agua de mar se evaporará. La parte del evaporador abierta al tanque de vacío, es alimentada con agua de mar. En la otra parte del evaporador circula el agua dulce del circuito cerrado de refrigeración del motor principal (9) a una temperatura comprendida entre 60° y 80° C. Parte de este agua de mar hierve cuando entra en contacto con la zona caliente de las placas, y abandona el evaporador en forma de vapor, a través del lado abierto del paquete de placas. La cantidad remanente de agua de mar, ahora contiene una importante concentración de sal (salmuera), que es drenada y descargada al mar por el eyector (3).

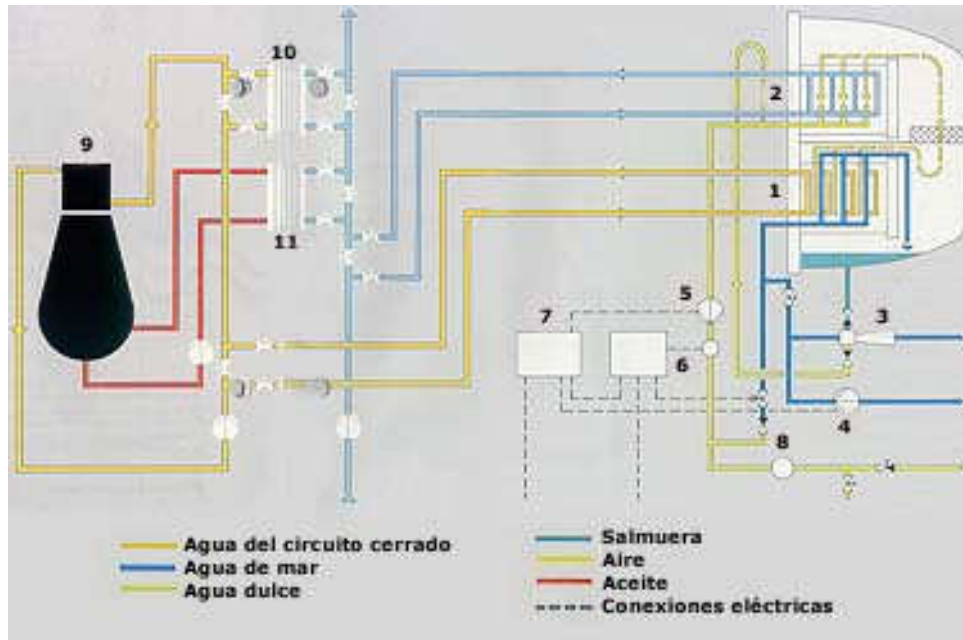


Fig. 1. Esquema generador agua dulce (www.akeringenieria.com).

El vapor producido en el evaporador pasa a través de un separador al condensador. Este condensador es construido igual que el evaporador con un lado abierto en la parte superior al tanque de vacío; el lado

opuesto está completamente cerrado. En el lado cerrado circula agua de mar fría del circuito de refrigeración del agua dulce (10) y del de aceite (11) del motor. Cuando el vapor hace contacto con las placas frías, se condensa el agua dulce.

Finalmente el agua dulce es bombeada (5) a los tanques de agua dulce del buque pasando por un sensor que se encuentra conectado al salinómetro (6). El salinómetro mide la salinidad del agua dulce. Cuando la salinidad es superior al valor establecido preseleccionado (normalmente 50 ppm), una válvula solenoide se abre y el agua producida retorna al evaporador.

Uno de los inconvenientes que tiene la producción de agua dulce mediante un generador, es que depende de la fuente de calor procedente del agua dulce del circuito de refrigeración del motor. Con lo cual mientras el buque esté en puerto o fondeado, el motor estará parado interrumpiéndose la producción de agua dulce. Algunos sistemas permiten utilizar como fuente de calor el vapor producido en las calderas del buque (buques tanque normalmente) pero para buques en los que las necesidades de agua dulce son muy altas, esta opción no es adecuada.

1.2.6. Composición y calidad del agua de mar

1.2.6.1. Agua de mar

La composición del agua del mar varía según su origen o según las características marinas, siendo de mayor concentración de sales en lugares cálidos con poca renovación como en el Mediterráneo, y menor en lugares semi-cerrados con abundantes aportes continentales como el mar Báltico. La variabilidad de las aguas salobres puede ser aún mayor en cuanto a salinidad y otros componentes. La tabla 4 resume las concentraciones medias de los constituyentes químicos mayoritarios del agua marina, comprobándose que se trata de una solución con una gran cantidad de sales disueltas, pero muy pobre en nutrientes (nitrógeno, fósforo y carbono).

El agua de mar es una solución concentrada de sales inorgánicas, y sirve de hábitat a infinidad de seres vivos. El volumen más importante de biomasa lo compone el plancton, constituido fundamentalmente por algas (fitoplancton) y animales microscópicos (zooplancton).

La biomasa de las aguas destinadas a la desalación debe ser completamente eliminada.

Parámetro	Intervalos de referencia
Temperatura, °C	15 – 35
pH	7,9 – 8,1
Sales disueltas, mg/L	30.000 – 45.000
Conductividad, $\mu\text{S}/\text{cm}$ (a 20 °C)	44.000 – 58.000
Bicarbonatos, mg/L	120 – 170
Sulfatos, mg/L	2.425 – 3.000
Cloruros, mg/L	17.500 – 21.000
Bromuros, mg/L	59 – 120
Nitratos, mg/L	0,001 – 4,0
Fluoruros, mg/L	1
Boro, mg/L	4 – 6
Amonio, mg/L	0,005 – 0,05
Sodio, mg/L	9.600 – 11.700
Potasio, mg/L	350 – 500
Calcio, mg/L	375 – 525
Magnesio, mg/L	1.025 – 1.400
Estroncio, mg/L	12 – 14
Sílice (SiO_2), mg/L	0,01 – 7,4
Carbono orgánico total, mg/L	1,2 – 3,0
Nitrógeno orgánico, mg/L	0,005 – 0,03

Tabla 4. Composición y características típicas del agua de mar (Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano, Ministerio de Sanidad y Política Social).

1.2.6.2. Contaminación de las aguas marinas

Los contaminantes que pueden acceder al medio marino con mayor facilidad son los siguientes:

- Hidrocarburos.

- Materia orgánica, sustancias tensoactivas (detergentes), elementos nutrientes y microorganismos aportados por las aguas residuales urbanas y ganaderas.
- Metales pesados.
- Compuestos organohalogenados.
- Sustancias sólidas.

Por tratarse de casos muy específicos, no se considera la contaminación radioactiva por vertido de radioisótopos, ni la contaminación térmica.

Las principales vías de entrada de la contaminación a la plataforma continental son los aportes fluviales y los emisarios submarinos, pero no debe desdeñarse la vía atmosférica y la procedente de la navegación, especialmente en la contaminación de aguas profundas.

La franja litoral o costera es con diferencia, la que soporta la mayor parte de la contaminación marina y contiene la mayor riqueza biológica. Con lo cual no es adecuado el tratamiento del agua a bordo del buque en esas zonas.

La contaminación de las aguas marinas puede incidir de manera muy importante en las diversas fases del proceso de desalación. En un buque es fundamental conocer previamente la calidad del agua y los riesgos de contaminación presentes en la zona. Normalmente la captación del agua se va a realizar en alta mar.

De los contaminantes citados anteriormente, la contaminación por hidrocarburos es la que más incidencia puede tener en el agua de mar que posteriormente va a ser tratada a bordo del buque, ya que el resto de contaminantes están más presentes en aguas costeras y continentales.

1.2.7. Calidad del agua desalinizada

La calidad del agua desalinizada depende del uso al que vaya a ser destinada (humano, industrial, agrícola). A bordo de un buque el uso es mayoritariamente consumo humano, ya que aunque se podría aceptar un agua de peor calidad para otros servicios tales como lavandería, cocina,

o piscinas, otro sistema de desalación adicional (aparte de los bastidores de ósmosis inversa y el generador de agua dulce) no sería viable en un buque.

Además la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda, siempre que sea posible, instalar un único sistema de agua para el suministro de agua potable para beber, higiene personal, con fines culinarios, lavavajillas, el hospital y la colada.

En España la calidad del agua para consumo humano está regulada en el *"Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano"*. En el Anexo I de dicho Real Decreto se fijan parámetros y valores paramétricos a cumplir en el punto donde se pone el agua de consumo humano a disposición del consumidor. Estos valores se basan principalmente en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (guía para la calidad del agua potable) y en motivos de salud pública aplicándose, en algunos casos, el principio de precaución para asegurar un alto nivel de protección de la salud de la población.

La *"Guía de la OMS para la calidad del agua potable"*, anteriormente citada, proporciona información sobre los aspectos microbiológicos, físicos y químicos de la calidad del agua potable y define los criterios mínimos de calidad del agua potable recomendados. Algunos de los criterios más comunes se enumeran a continuación.

Aspecto y color

La apariencia y el sabor del agua potable deben ser aceptables para el consumidor. El agua no debe presentar ningún olor perceptible. El agua potable idealmente no debe tener color visible.

pH

Para una desinfección eficaz con cloro, el pH debe ser inferior a 8. El pH óptimo depende del agua y los materiales utilizados en el sistema de distribución de agua potable, pero el rango por lo general es de 6,5 a 8 y

puede extenderse a 9,5. El pH es un parámetro importante para comprobar la eficacia del tratamiento del agua y del potencial corrosivo de las tuberías del sistema de distribución.

Temperatura

La temperatura del agua debe estar siempre por debajo de 25 °C o por encima de 50 °C. En el rango de temperatura de 25 °C - 50 °C existe un alto riesgo de proliferación de bacterias, especialmente de *Legionella* spp.¹, y debe realizarse un análisis de agua.

Conductividad

Es un parámetro operativo importante para evaluar la eficacia de la remineralización del agua desalinizada. Los valores normales (en $\mu\text{S/cm}$) para el agua desalinizada son muy bajos, mientras que el agua tratada de manera satisfactoria debe tener unos valores más altos. Una contaminación del destilado o filtrado de agua del mar se puede detectar fácilmente debido a la alta conductividad del agua de mar (por ejemplo: 50.000 $\mu\text{S/cm}$).

Cloro

El cloro libre y cloro total residual deben medirse cuando el tratamiento de desinfección se esté realizando o ya se haya realizado. Para una desinfección eficaz la concentración de cloro libre debe estar entre 0,5 y 1,0 mg Cl/litro en el punto de consumo.

Plomo

La concentración de plomo no debe exceder de los 10 $\mu\text{g/litro}$.

Cadmio

La concentración de cadmio no debe exceder de 3 $\mu\text{g/litro}$.

¹ El género *Legionella* incluye al menos 50 especies y 78 serotipos conocidos de bacterias gramnegativas aerobias que pueden producir graves afecciones pulmonares en las personas, entre las cuales destacan la legionelosis y las fiebres de Pontiac.

Hierro

El hierro no debe superar los 200 µg/litro. Niveles superiores a 300 µg/litro manchan la ropa lavada. Por lo general no hay sabor perceptible en las concentraciones de hierro por debajo de 300 µg/litro, a pesar de la turbidez y el color que puedan aparecer.

Cobre

El cobre no debe superar una concentración de 2,0 µg/litro. El cobre puede manchar la ropa lavada en concentraciones superiores a 1,0 µg/litro y puede cambiar el color del agua (tono anaranjado) y darle un sabor amargo en niveles superiores a 5,0 µg/litro. Una causa habitual de altas concentraciones de cobre es el proceso corrosivo de las tuberías.

Níquel

La contaminación por níquel puede surgir debido a la lixiviación del níquel de los grifos nuevos de níquel/cromados. También pueden aparecer bajas concentraciones de níquel como resultado del uso de tuberías y accesorios de acero inoxidable. La lixiviación de níquel se reduce con el tiempo.

El aumento de pH para controlar la corrosión de otros materiales también debe reducir la lixiviación de níquel. Las concentraciones de níquel no deben superar los 20 µg/litro.

Dureza

La dureza, medida en concentración de carbonato de calcio (CaCO_3), debe estar entre 100 mg/litro (1 mmol/l) y 200 mg/litro (2 mmol/l) para evitar la corrosión y la incrustación, respectivamente.

Turbidez

La turbidez media idealmente debería ser inferior a 0,1 NTU (unidades nefelométricas de turbidez) para una desinfección eficaz. Los valores normales para el agua potable se encuentran entre 0,05 y 0,5 NTU. La apariencia del agua con una turbidez inferior a 5 NTU es generalmente aceptable para los consumidores. Una turbidez alta puede provocar el

desprendimiento del material depositado en la superficie de las tuberías dentro del sistema de distribución del agua.

Microorganismos

Coliformes totales

Las bacterias coliformes totales incluyen organismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua. Por lo tanto, no son útiles como indicador de patógenos fecales, pero pueden utilizarse como indicador de la eficacia del tratamiento y para evaluar la limpieza e integridad de los sistemas de distribución y la posible presencia de biopelículas. El valor guía es de cero (0) coliformes/100 ml de agua.

Escherichia coli

E.coli es un tipo de coliforme y se considera el índice más fiable de contaminación fecal para el monitoreo, incluida la vigilancia, de la calidad del agua potable. El valor guía es de cero (0) E. coli /100 ml de agua.

Enterococos intestinales

El grupo de los enterococos intestinales puede utilizarse como un indicador de contaminación fecal. La mayoría de las especies no se multiplican en medios acuáticos. Las ventajas importantes de este grupo son que tienden a sobrevivir más tiempo en ambientes acuáticos que *Escherichia coli* (o que los coliformes termotolerantes), y son más resistentes a la desecación y a la cloración. El valor guía es de cero (0)/100 ml de agua.

Clostridium perfringens

La mayoría de estas bacterias son de origen fecal y producen esporas que son excepcionalmente resistentes a condiciones adversas en medios acuáticos, incluyendo la irradiación UV, temperatura y pH extremos y procesos de desinfección, tales como la cloración. Al igual que E. coli, C. perfringens no se multiplica en ambientes acuáticos y es un indicador altamente específico de contaminación fecal. C. perfringens no debe estar presente en muestras de agua potable.

Legionella

Las bacterias del género *Legionella* son la causa de la legionelosis, incluida la enfermedad del legionario. Son ubicuas en el medio ambiente y pueden proliferar a las temperaturas que se dan en los sistemas de distribución por tuberías. Por lo tanto se puede prevenir su contaminación mediante la aplicación de medidas básicas de gestión de la calidad del agua, incluido el mantenimiento de la temperatura del agua fuera del rango de 25 a 50 °C en el que prolifera la *Legionella*, y el mantenimiento de residuos desinfectantes en todo el sistema de distribución.

1.3. Principales características del buque

Las principales características del buque, para el cual se va a diseñar la planta de tratamiento por ósmosis inversa son:

Tipo de buque	Crucero
Eslora total	290,20 m
Eslora entre perpendiculares	247,70 m
Calado de diseño	8,20 m
Manga de trazado	35,50 m
Puntal a cubierta superior (cubierta nº 12)	48,03 m
Peso muerto	12.394 t
Toneladas de registro bruto	114.500 t
Toneladas de registro neto	77.300 t
Velocidad de crucero	19,60 nudos
Nº cubiertas	17 (13 para uso de los pasajeros)
Nº de pasajeros	3.800
Nº de tripulantes	1.090
Nº camarotes pasajeros	1508
Nº camarotes tripulantes	610

Tabla 5. Principales características crucero

1.4. Ósmosis inversa

1.4.1. Introducción

La tecnología de la ósmosis inversa se basa en el proceso de ósmosis, un fenómeno natural que ocurre cuando, a través de una membrana semipermeable, el agua fluye desde la solución de menor salinidad hasta otra de mayor concentración salina. Es un fenómeno que tiene lugar en diversos procesos naturales como, por ejemplo, en la entrada de agua a través de la membrana celular de los seres vivos.

Según una regla fundamental de la naturaleza, este sistema intentará alcanzar el equilibrio, es decir, intentará alcanzar la misma concentración a ambos lados de la membrana. El flujo de agua desde la solución más diluida hacia la más concentrada se detendrá cuando se alcance un equilibrio entre ambas concentraciones. La fuerza que provoca ese movimiento se conoce como presión osmótica y está relacionada con la concentración de sales en el interior de ambas soluciones.

En el caso del fenómeno de la ósmosis, si la solución diluida fuese de agua pura (concentración $C_1 = 0$), a la diferencia de alturas que existiría entre ambos lados de la membrana cuando se alcanzase el equilibrio, se le llamaría "presión osmótica" (π_2) de la solución concentrada.

Si C_1 fuese distinta de 0, la diferencia de alturas cuando se alcanzara el equilibrio sería igual a la diferencia de las presiones osmóticas de las dos soluciones ($\Delta\pi = \pi_2 - \pi_1$).

La presión osmótica del agua pura se considera nula por convenio.

Considerando el sistema anterior, pero suponiendo que se aplicara en la solución más concentrada (C_2) una presión (ΔP) superior a la diferencia de presiones osmóticas ($\Delta\pi$), se conseguiría que el flujo del líquido fuera de la solución más concentrada a la más diluida. A este fenómeno se le conoce con el nombre de "ósmosis inversa".

En la fig. 2 se muestran los esquemas de los fenómenos de ósmosis y ósmosis inversa.

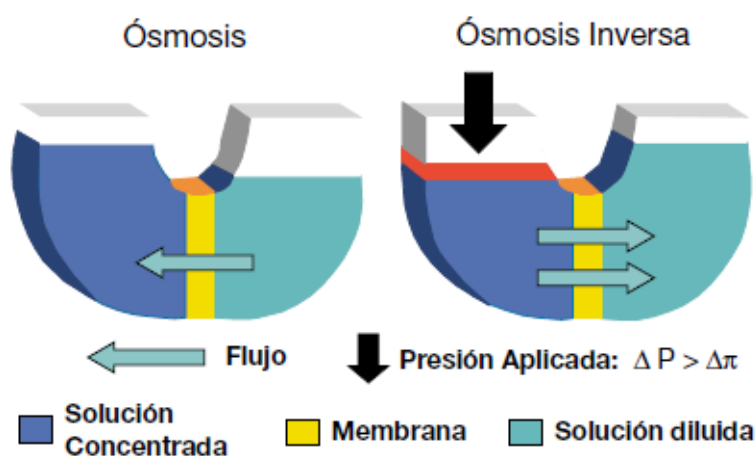


Fig. 2. Esquemas de los fenómenos de ósmosis y ósmosis inversa (Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano, Ministerio de Sanidad y Política Social).

1.4.2. Proceso industrial de la ósmosis inversa

Desde el punto de vista industrial, el proceso de ósmosis inversa se desarrolla como se muestra, de forma simplificada, en la fig. 3.

En el esquema se indica la configuración básica del diagrama de flujos de una membrana de ósmosis inversa, que consta de tres soluciones principales:

- Alimentación (a), es la solución de agua de mar que llega a las membranas de ósmosis inversa previamente presurizada por la bomba de alta presión. Al compartimento que contiene esta solución se le conoce con el nombre de "lado de alta".
- Permeado (p), es la solución que se obtiene al otro lado de la membrana, después de atravesarla. Al compartimento que contiene esta solución se le denomina de "baja presión".
- Rechazo (r), es la solución más concentrada que el aporte, que no puede atravesar la membrana.

El rechazo (salmuera) presentará una elevada concentración de sales, siendo la del permeado (agua dulce) baja en sólidos disueltos. Mientras que la planta está en el modo de producción se controla la presión de salida con una válvula de regulación.

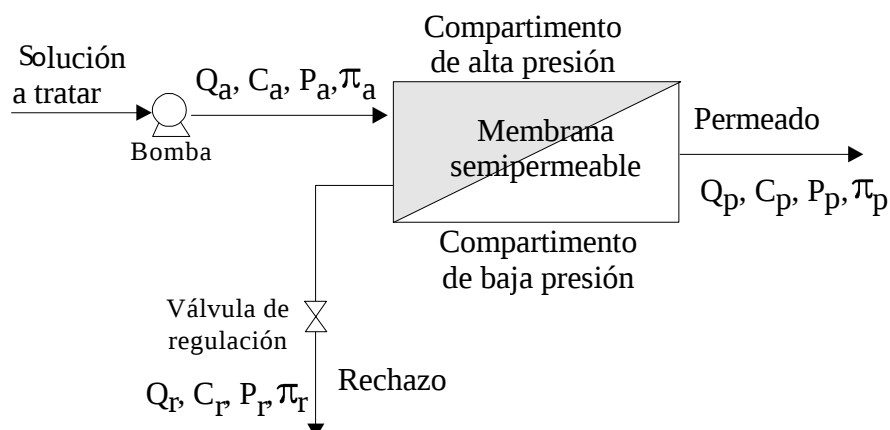


Fig. 3. Esquema proceso industrial ósmosis inversa: Caudal Q , Concentración C , Presión hidráulica P , Presión osmótica π (Fariñas, 1999).

La cantidad de permeado dependerá de la diferencia de presiones aplicada a la membrana, sus propiedades y la concentración del agua bruta; la calidad del agua permeada suele estar en torno a los 300-500 ppm de TDS (Total Sólidos Disueltos).

Una membrana para realizar ósmosis inversa debe resistir presiones mucho mayores a la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones. Por ejemplo un agua bruta de 35.000 ppm de TDS a 25°C tiene una presión osmótica de alrededor de 25 bar, pero son necesarios 70 bar para obtener permeado.

El proceso de ósmosis inversa es tan simple que a priori solo son necesarias las membranas que filtren el contenido salino y el equipo presurizador. Pero una planta de ósmosis inversa es mucho más compleja que una agrupación de módulos y una o varias bombas. Las membranas se ensucian rápidamente con la operación continuada y el

agua de mar necesita un pretatamiento intensivo (mucho mayor que en los procesos de destilación), que comprende entre otros:

- Clorado para reducir la carga orgánica y bacteriológica del agua bruta.
- Filtración con arena para reducir la turbidez.
- Acidificación para reducir el pH y limitar la formación de depósitos calcáreos.
- Inhibición con polifosfatos de la formación de sulfatos de calcio y bario.
- Declorado para eliminar el cloro residual.
- Cartuchos de filtrado de partículas requeridos por los fabricantes de membranas.

El postratamiento en una planta de este tipo sólo suele ser un tratamiento complementario para conseguir las condiciones de potabilidad requeridas.

1.4.3. Ecuaciones

Las siguientes ecuaciones ayudan a comprender los fenómenos relacionados con la ósmosis inversa.

1.4.3.1. Coeficiente de permeabilidad de la membrana (A)

Es el volumen de solvente (agua) que atraviesa la membrana por unidad de superficie, unidad de tiempo y unidad de presión a temperatura y salinidad, determinadas y constantes.

Suele medirse en $\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{bar})$.

1.4.3.2. Factor de recuperación (Y)

El factor de recuperación es el porcentaje de permeado que se obtiene a partir de determinado caudal de alimentación. Por tanto es el cociente, expresado en tanto por ciento, entre el caudal de permeado y el caudal de aportación que llega a las membranas.

$$Y = 100 \cdot \frac{Q_p}{Q_a} \text{ [Ec. 1]}$$

Donde:

Q_p es caudal de permeado.

Q_a es caudal de aporte.

Se llama conversión (y) al porcentaje de recuperación expresado en tanto por uno.

$$y = \frac{Q_p}{Q_a} \text{ [Ec. 2]}$$

La mayor conversión de un sistema implica, además, una mayor concentración en la salmuera. El factor de concentración (FC) de un sistema de ósmosis inversa está relacionado con el factor de conversión mediante la fórmula siguiente:

$$FC = \frac{1}{1 - y} \text{ [Ec. 3]}$$

Si una planta trabajase con un factor de recuperación (Y) del 75%, querría decir que de cada 100 m³/h de solución de aporte que llegase a las membranas, se obtendrían 75 m³/h de permeado y 25 m³/h de rechazo.

Dicha planta tendría un factor de concentración (FC) de 4, es decir, la salinidad del rechazo es cuatro veces mayor que la salinidad del aporte.

1.4.3.3. Factor de rechazo de sales (R) y de paso de sales (P_s)

El rechazo de sales de las membranas y de un sistema de membranas, es el factor que determina la calidad final del permeado de un sistema de ósmosis inversa. Con lo cual es el parámetro más importante de la membrana y se basa en el proceso de fabricación y en los polímeros que forman la membrana.

La fórmula que determina el factor de rechazo de sales (R) es:

$$R = 100 \cdot \frac{C_a - C_p}{C_a} \text{ [Ec. 4]}$$

Donde:

C_a es concentración de aporte.

C_p es concentración de permeado.

El rechazo de sales en tanto por uno (r) es:

$$r = 1 - \frac{C_p}{C_a} \text{ [Ec. 5]}$$

El factor de paso de sales (P_s), es el cociente, en tanto por ciento, entre la concentración de sales en el permeado y en la solución de aporte.

$$P_s = 100 \cdot \frac{C_p}{C_a} \text{ [Ec. 6]}$$

El paso de sales en tanto por uno (p) es:

$$p = \frac{C_p}{C_a} \text{ [Ec. 7]}$$

1.4.3.4. Concentración de permeado (C_p) y concentración de rechazo (C_r)

- Concentración de permeado:

$$C_p = (1 - R) \cdot \frac{C_a + C_r}{2} \text{ [Ec. 8]}$$

- Concentración de rechazo:

$$C_r = R \cdot \frac{C_a}{1 - Y} \text{ [Ec. 9]}$$

Es importante conocer la concentración de rechazo en el diseño de una planta de ósmosis inversa para establecer la forma de eliminación de un caudal, que según los casos puede ser importante y potencialmente contaminante.

A través de esta fórmula [Ec. 9] se ve también claramente cómo se puede influir en la calidad del rechazo para que no cree problemas en su eliminación, decidiendo desde el diseño de la instalación el tipo de membrana a elegir y la conversión del sistema.

1.4.3.5. Flujo de disolvente (J_a) y flujo de soluto (J_s)

Las fuerzas que intervienen en el paso del disolvente y del soluto (sales) a través de de membrana son:

- Disolvente: gradiente de presiones.
- Solute: gradiente de concentraciones.

Experimentalmente se comprueba que el flujo de disolvente (caudal por unidad de superficie) o flujo de agua (J_a), es proporcional a la presión neta de trabajo (net driving pressure NDP).

$$J_a = A \cdot NDP = A(\Delta P - \Delta \pi) [Ec. 10]$$

Donde:

J_a es el flujo de solvente o agua en $m^3 / (m^2 \cdot \text{día})$.

A es el coeficiente de permeabilidad de la membrana en $m^3 / (m^2 \cdot \text{día} \cdot \text{bar})$.

ΔP ($P_a - P_p$) es la diferencia de presiones a ambos lados de la membrana en bar.

$\Delta \pi$ ($\pi_a - \pi_p$) es la diferencia de presiones osmóticas a ambos lados de la membrana en bar.

El factor A es característico de cada membrana y depende de varios factores como son: el espesor y material de la membrana, la temperatura, la presión, el pH, el factor de conversión y la concentración salina de la solución.

De esta fórmula [Ec.10] se deduce que cuanto mayor sea la presión neta de trabajo, mayor será la productividad de la membrana. Por otro lado si, el coeficiente de permeabilidad aumenta, el flujo también lo haría sin, que fuera necesario aumentar la presión neta.

El flujo de soluto (sales) a través de la membrana de ósmosis inversa viene dado por la expresión:

$$J_s = J_a \cdot C_p = B(C_m - C_p) + M \cdot J_a \cdot C_m = B \cdot \Delta C + M \cdot J_a \cdot C_m \text{ [Ec. 11]}$$

Donde:

J_s es el flujo de soluto en $\text{kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$.

J_a es el flujo de solvente o agua en $\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{día})$.

B es el coeficiente de permeabilidad de la membrana al soluto $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{bar})$.

C_m es la concentración del soluto en la superficie de la membrana en kg/m^3 .

C_p es la concentración del soluto en el permeado en kg/m^3 .

M es el coeficiente de acoplamiento (adimensional), tiene un valor próximo a 0,005 para la mayoría de las membranas .

ΔC es el gradiente de concentraciones a través de la membrana en kg/m^3 .

El flujo de soluto es la suma de dos contribuciones, la primera $B \cdot \Delta C$ es debida a su difusión molecular y es proporcional al gradiente de concentraciones a través de la membrana. La segunda es convectiva debida al arrastre que produce el solvente.

1.4.3.6. Balance de materia

- Balance de disolvente (agua): $Q_a = Q_p + Q_r$ [Ec. 12]
- Balance de soluto (sal): $Q_a \cdot C_a = (Q_p \cdot C_p) + (Q_r \cdot C_r)$ [Ec. 13]

1.4.4. Membranas de ósmosis inversa. Configuraciones existentes

Las membranas pueden clasificarse en función de distintos parámetros, como muestra la tabla 6.

Para utilizar industrialmente las membranas con el fin de que puedan soportar las diferentes presiones de trabajo, deben colocarse de

una determinada manera adoptando distintas formas o configuraciones. Un "módulo" es una agrupación de membranas, con una configuración determinada, que forma la unidad elemental de producción.

PARÁMETROS	TIPOS	
Estructura	Simétricas Asimétricas	
Naturaleza	Integrales Compuestas de capa fina	
Forma	Planas Tubulares Fibra hueca	
Composición química	Orgánicas Inorgánicas	
Carga superficial	Neutras Catiónicas Aniónicas	
Morfología de la superficie	Lisas Rugosas	
Presión de trabajo	Muy baja Baja Media Alta	
Técnica de fabricación	De máquina	Inversión de fase Policondensación entre fases Polimerización plasma
	Dinámicas	

Tabla 6. Clasificación de las membranas de ósmosis inversa (Fariñas, 1999).

La membrana de ósmosis inversa está estructurada y empaquetada cuidadosamente para su integración en los módulos. Tanto el soporte como el empaquetado tienen como objetivo maximizar el flujo de agua a través de la membrana, minimizando el paso de sales.

Asimismo, el empaquetado debe reducir las pérdidas de carga, así como evitar en lo posible lo que se conoce como "polarización por concentración", que se deriva de la acumulación de sales sobre la superficie de la membrana. Otro factor que se tiene en cuenta en el diseño mecánico, es el paso con suficiente libertad de coloides o partículas, de modo que se reduzcan en lo posible los ensuciamientos de la membrana que a la postre podrían provocar bajos flujos y alto paso de sal.

Entre los objetivos que persiguen los distintos fabricantes de módulos de ósmosis inversa se encuentran:

- Obtener el máximo rendimiento de las membranas.
- Conseguir un sistema lo más compacto posible.
- Minimizar los fenómenos de polarización de las membranas.
- Facilitar la sustitución de las membranas deterioradas.
- Mejorar la limpieza de las membranas sucias.

Comercialmente se consideran cuatro configuraciones básicas de módulos:

- De placas (plato y marco).
- Tubular.
- De fibra hueca.
- Arrollamiento en espiral.

1.4.4.1. Módulos de placas y tubulares

Estas configuraciones corresponden a los inicios de la tecnología de la ósmosis inversa. Ambas presentan menor densidad de empaquetado de membrana, con el consiguiente mayor coste económico, en comparación con las más modernas configuraciones de arrollamiento en espiral y fibra hueca.

No obstante, este tipo de configuraciones tienen aplicación en la industria alimentaria, por ejemplo para la concentración de zumos de fruta o en tratamiento de aguas residuales.

La configuración plato-marco, que es la primera que se utilizó, usa una membrana plana que se coloca dentro de un marco, circular o rectangular, que actúa de soporte. Las membranas se disponen a ambos lados de un plato por el que se recoge el permeado producido (fig. 4).

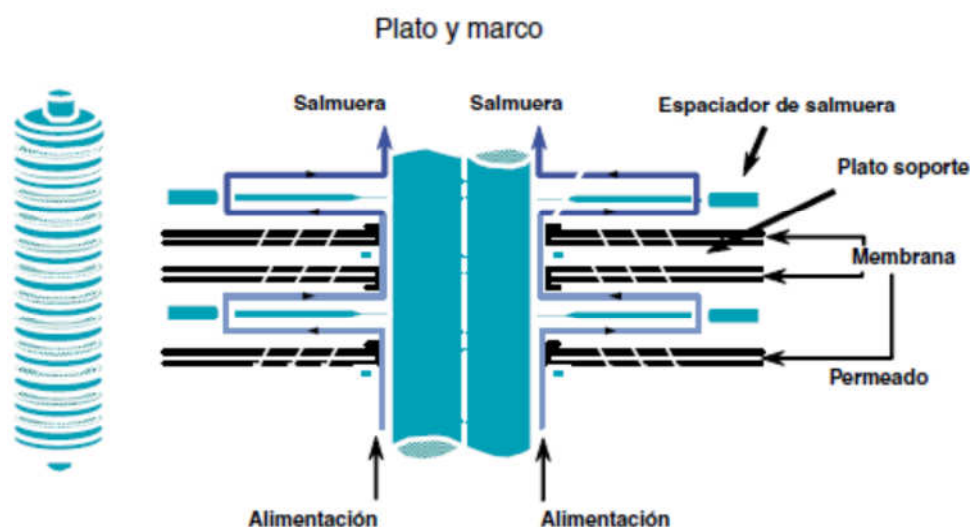


Fig. 4. Módulo de placas. Distribución de flujos (Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano, Ministerio de Sanidad y Política Social).

La configuración tubular representa una alternativa a la de plato y marco. La membrana va alojada dentro de un tubo, normalmente de PVC, que soporta la presión. El agua alimenta a la membrana por su interior y el permeado se obtiene por la parte exterior de la misma de manera que el tubo, así dispuesto, produce ("suda") el permeado por su exterior que se recoge en el fondo del recipiente en el que va dispuesto dicho tubo.

1.4.4.2. Módulos de fibra hueca

La fibra hueca se produce con su propia estructura soporte. Estas fibras son tan finas como el tamaño de un cabello humano (84 μm). Las fibras se agrupan como tubos en "U" con los extremos abiertos embebidos en una placa epoxy. El conjunto de fibras se encapsula dentro de un recipiente de presión con su punto de alimentación dispuesto en el centro de uno de los extremos.

El flujo dentro de la caja de presión se reparte de forma radial, a través del conjunto de fibras, de modo que el permeado penetra a través de las paredes de la fibra y fluye por el hueco reuniéndose a través del extremo opuesto de la caja de presión. El agua que no ha pasado a través de la membrana, arrastra las sales hacia la salida del concentrado dispuesto en el extremo opuesto.

Esta configuración representa la mayor densidad posible de empaquetado de membrana con la consiguiente mayor relación de producción de agua por volumen ocupado.

No obstante, esta alta densidad de empaquetado deja poco espacio entre las fibras, por ello en este caso las partículas o sólidos en suspensión fluyen con mayor dificultad a través de las fibras provocando problemas de ensuciamiento que son difíciles de solucionar y provocan la consiguiente disminución de rendimiento (fig. 5).

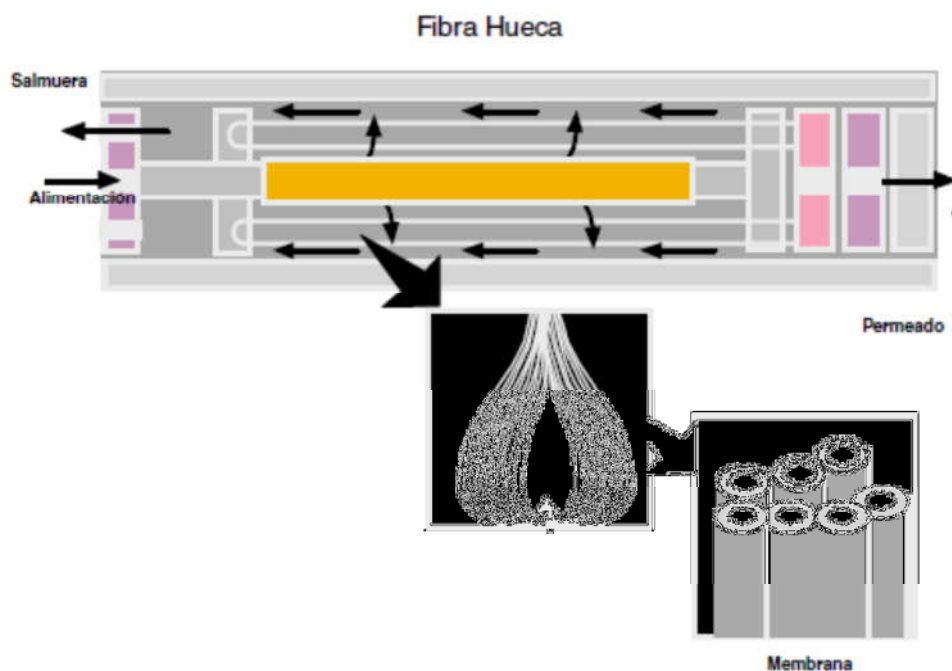


Fig. 5. Módulo de fibra hueca (Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano, Ministerio de Sanidad y Política Social).

1.4.4.3. Módulos espirales

En la actualidad, los elementos de ósmosis inversa que se están instalando son los de configuración en espiral. Se fabrican en forma de lámina sobre un material soporte, que en el caso de las actuales membranas de multicapa delgada, T.F.C. (Thin Film Composite), suele ser un poliéster tejido-no tejido. Dos de estas láminas u hojas se agrupan entre sí pero opuestas y separadas por un espaciador que actúa como canal para el flujo de permeado. Ambos lados y uno de los extremos de este conjunto, se sellan mediante unos cordones o líneas de pegamento para formar un conjunto de varias capas a modo de "sobre". El extremo abierto (no pegado) está conectado con el tubo encargado de recoger el permeado, alrededor del cual se arrolla el sobre para formar la espiral. Junto al sobre, se enrolla también una red plástica (espaciador), de modo que queden separadas las superficies de membrana y se mantenga de ese modo suficiente espacio libre para el flujo de agua de alimentación. El elemento así constituido se completa con unas piezas plásticas en los extremos para evitar un posible "efecto telescópico" y se cubre exteriormente con un recubrimiento a base de epoxy-fibra de vidrio que asegura el conjunto (fig. 6).

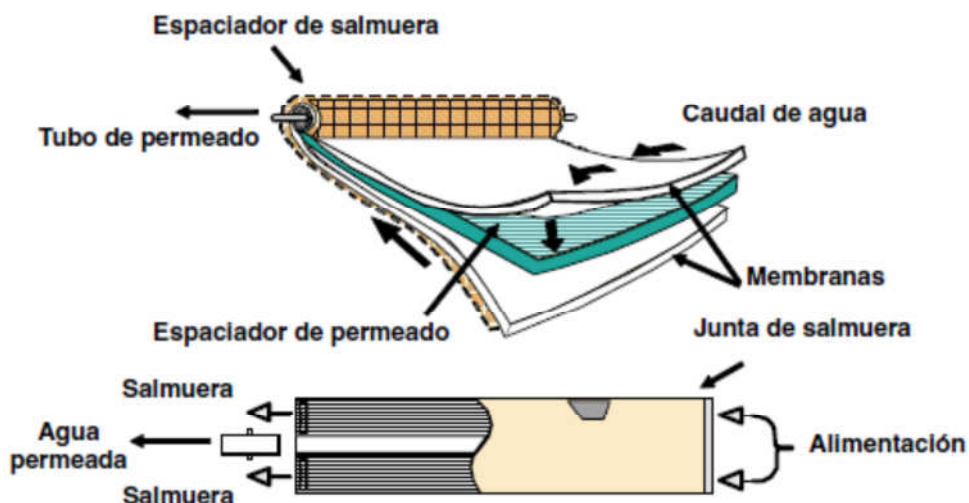


Fig. 6. Módulo espiral (Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano, Ministerio de Sanidad y Política Social).

Por último, estos elementos se disponen en recipientes cilíndricos conocidos como cajas de presión, capaces de soportar las elevadas presiones de operación. La alimentación se sitúa en un extremo y fluye en paralelo a la dirección del tubo que recoge el permeado. Parte del agua fluye a través de la membrana, recorre un camino espiral y es recogida en el tubo de permeado. El agua que no pasa a través de la membrana circula a lo largo del elemento paralelamente al tubo de permeado, arrastrando las sales hacia la salida de concentrado situada en el extremo opuesto de la caja de presión.

El permeado recogido en el tubo central puede extraerse por cualquiera de los extremos según necesidades del diseño.

En resumen, para esta configuración, los componentes de un elemento de ósmosis inversa son los siguientes:

- Membranas (capas).
- Espaciadores de salmuera.
- Espaciadores de permeado.
- Tubo de permeado.
- Tapas finales ("anti efecto telescópico")
- Envoltorio del elemento.
- Junta labiada de salmuera.

1.4.5. Principales componentes de un sistema de membranas de ósmosis inversa

Los módulos deben colocarse en una estructura que los mantenga inmóviles ante las presiones que se aplican, y su disposición debe ocupar el menor espacio posible.

La estructura junto con los módulos y las líneas de los flujos de alimentación, permeado y rechazo, que forman la unidad de producción característica de una planta de tratamiento, se conoce como el bastidor de ósmosis inversa.

Por tanto un sistema de ósmosis inversa simplificado (fig. 7), está formado por una o varias bombas que alimentan el agua procedente del

pretratamiento, al bastidor donde se encuentran las cajas de presión que alojan las membranas y un conjunto de tuberías que constituyen la línea de evacuación del concentrado y la línea de permeado para su postratamiento.

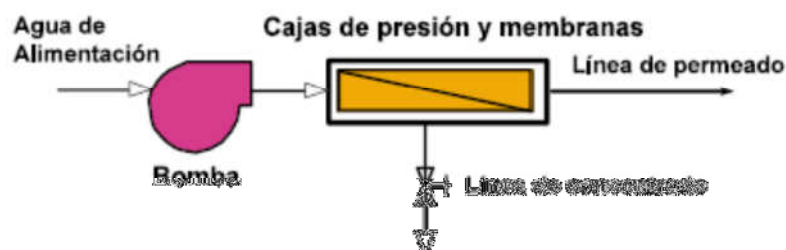


Fig. 7. Esquema básico sistema ósmosis inversa (Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano, Ministerio de Sanidad y Política Social).

1.4.5.1. Etapas

Los elementos de ósmosis inversa van instalados en el interior de las cajas de presión unidos entre sí mediante piezas o mecanismos de interconexión. El factor de conversión depende directamente de la longitud del sistema, de manera que los elementos son de longitud limitada (normalmente de 1 metro); para alcanzar unos valores aceptables de conversión, aproximadamente el 45% en agua de mar y alrededor del 75 % en diseños de agua salobre, se hace necesaria la instalación de 6, 7 u 8 elementos en serie por cada caja de presión.

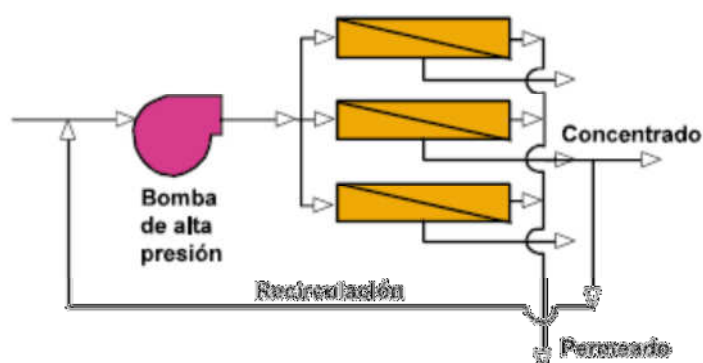


Fig. 8. Diseño de una etapa (Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano, Ministerio de Sanidad y Política Social).

La capacidad de una planta desalinizadora por ósmosis inversa viene determinada por la cantidad de cajas de presión instaladas en paralelo de acuerdo con el esquema de la fig. 8.

Es posible ampliar el factor de conversión de un sistema aumentando su longitud y volviendo hacer pasar a la salmuera (rechazo) por otro sistema de ósmosis inversa adicional al que se llama "segunda etapa" (fig. 9).

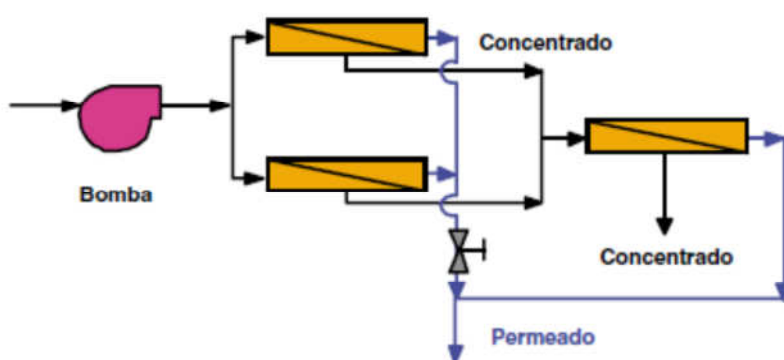


Fig. 9. Diseño en dos etapas (Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano, Ministerio de Sanidad y Política Social).

En los sistemas de dos etapas, frecuentemente se regula la presión de permeado entre la primera y la segunda etapa incrementando la presión en la primera etapa, de este modo también se aumenta, aunque de forma indirecta, la presión sobre la segunda etapa, pudiéndose equilibrar así la producción nominal de las membranas de ambas etapas.

Con esta actuación se evitan los frecuentes problemas de desequilibrio en la producción de agua por unidad de superficie de membrana instalada.

1.4.5.2. Pasos

El agua tratada (permeado) a la salida de las membranas contiene una cierta cantidad de sales, ya que el rechazo de las membranas de ósmosis inversa nunca es del 100%. Por tanto, el permeado tiene una

concentración diferente, dependiendo de la concentración del agua de aporte, del factor de concentración de la salmuera, de la temperatura del agua, del tipo de membrana y del diseño realizado. Si se trabaja con agua de mar, la concentración de sales del permeado suele estar entre 200 y 300 mg/L y, si se quiere reducir este contenido salino, es necesario aplicar otra etapa de ósmosis inversa dando lugar a un diseño de plantas de dos pasos.

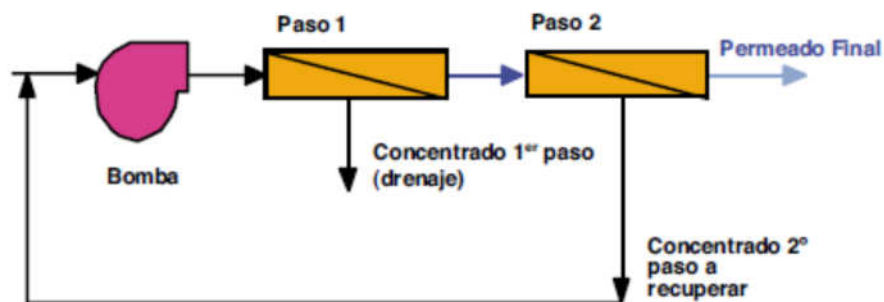


Fig. 10. Diseño de planta de 2 pasos (Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano, Ministerio de Sanidad y Política Social).

En la figura 10 se puede ver un diagrama simplificado de una planta de ósmosis inversa de dos pasos. El permeado procedente del primer paso normalmente es sometido a un aumento de la presión mediante una bomba, llegando hasta unos 6 u 8 bares, y se introduce en unas membranas de ósmosis inversa de las empleadas con agua salobre. El permeado de este segundo paso tendría un contenido en sales inferior a 10 mg/L. El factor de concentración de esta segunda etapa suele ser muy alto, del orden de ocho veces la inicial. El rechazo del segundo paso se une al agua de alimentación del primer paso.

1.4.6. Diseño de un sistema de ósmosis inversa

El diseño de un sistema de tratamiento de agua por ósmosis inversa, es crítico para obtener el máximo rendimiento de dicho sistema. Un elevado número de factores pueden influir en la productividad del sistema.

Una planta de tratamiento de agua por ósmosis inversa está formada por una sección de pretratamiento, el sistema de membranas

(bastidor de ósmosis inversa) y la sección de postratamiento. Los bastidores de ósmosis inversa constan de una línea de entrada de alimentación (agua de aporte) y líneas de salida para el permeado y el rechazo.

Un sistema de ósmosis inversa se caracteriza por dos parámetros: el flujo de permeado y el factor de rechazo de sales. Estos parámetros deben ser referenciados para un tipo de agua a tratar determinada (agua salobre, agua de mar, etc.), presión de alimentación, temperatura y factor de recuperación. El objetivo del diseñador de este tipo de plantas para un flujo de permeado determinado, es reducir la presión de alimentación y los costes de las membranas, mientras que se optimiza la calidad del permeado y el factor de recuperación.

Los pasos a seguir a la hora de diseñar el bastidor de ósmosis inversa son los siguientes:

1. Estudio de la fuente y calidad (análisis) de agua de aporte, flujo del aporte y permeado, y calidad requerida en el permeado.
2. Selección de la agrupación de etapas y número de pasos.
3. Selección de la membrana y tipo de elementos.
4. Elección del flujo medio de permeado también conocido como "flujo de diseño".
5. Cálculo del número de elementos total necesarios.
6. Cálculo del número de elementos por caja de presión.
7. Selección del número de etapas.

1.4.6.1. Estudio de la fuente y calidad (análisis) de agua de aporte, flujo del aporte y permeado, y calidad requerida en el permeado.

El diseño de un sistema de ósmosis inversa depende del agua de alimentación disponible y de cuál va a ser su uso o aplicación.

La mayoría de los tipos de agua tratadas por ósmosis inversa pueden ser aproximadamente caracterizadas por el contenido total de sólidos disueltos (TDS) y por la carga orgánica (carbono orgánico total, TOC).

La composición del agua de mar es bastante similar en todo el mundo, sin embargo el contenido de sales puede variar ampliamente de un mar a otro, como es el caso del Mar Báltico con un TDS de 7.000 mg/L y el Mar Rojo que tiene un contenido de sales superior a 45.000 mg/L. En la Tabla 2 del apartado 1.2.2 del Documento nº 1 se mostraba el contenido de sales en % estimado de los distintos mares y océanos del mundo.

En nuestro caso el agua de alimentación de la planta de tratamiento se va a considerar un agua de mar con un TDS aproximado de 35.000 mg/L.

Las características típicas del agua de mar deben ser consideradas en el diseño y en la operación del pretratamiento y del proceso de ósmosis inversa. Como consecuencia de la alta salinidad del agua de mar que implica una presión osmótica alta, el factor de recuperación del sistema está limitado a un 40 - 50% para no exceder los límites físicos de presión del elemento de membrana, para limitar el consumo de energía eléctrica asociada a sistemas de altas presiones y por tanto elevados factores de recuperación, y para limitar la salinidad y/o la concentración de boro en el permeado.

Otra característica o parámetro a tener en cuenta en el diseño son las partículas en suspensión que tiene el agua de mar y pueden provocar el atascamiento de las membranas al ser retenidas en su superficie por filtración mecánica. Para valorar el atascamiento que puede producir las sustancias coloidales del agua, se utiliza el SDI (Silt Density Index) o índice de fouling.

El valor máximo del SDI, generalmente admitido por los fabricantes de membranas es 5. No obstante, estará condicionado al diseño de la instalación y a las instrucciones concretas del fabricante. Es decir, para

que no haya problemas de atascamiento por coloides en las membranas, este índice ha de ser lo más bajo posible.

Lo normal es que el agua de mar tenga un SDI inferior a 5.

De todo lo anterior se establece que el agua de mar tratada tendrá las siguientes características:

- TDS = 35.000 ppm.
- SDI < 5.
- Factor de recuperación, $Y = 45\%$.
- Caudal de permeado requerido, $Q_p = 1500$ T/día.

1.4.6.2. Selección de la agrupación de etapas y número de pasos.

La configuración estándar para la agrupación de etapas en un sistema de membranas es la de rechazo en serie (Fig. 11), donde el agua de alimentación pasa sólo una vez por todo el sistema, es decir, el rechazo de la primera etapa alimentaría a la segunda y el rechazo de ésta a la tercera.

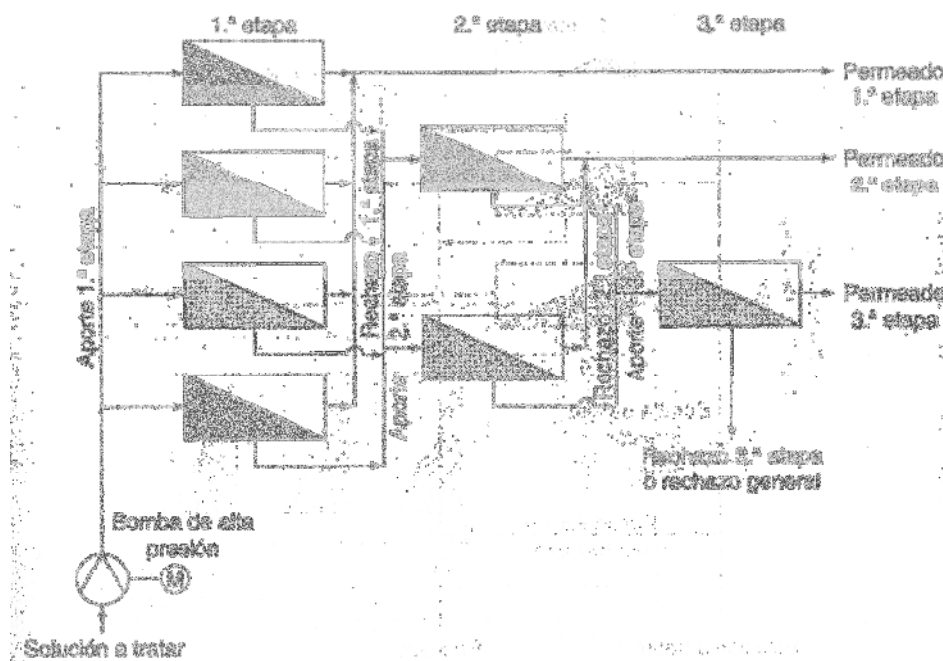


Fig. 11. Agrupación de etapas con rechazo en serie (Fariñas, 1999).

En el caso de la desalación de aguas salobres para obtener un porcentaje de recuperación (Y) del 87,5%, sería necesario instalar 3 etapas.

La configuración recirculación del rechazo (Fig.12) es común en sistemas pequeños presentes en aplicaciones comerciales, así como en sistemas más grandes donde el número de elementos por etapa es demasiado pequeño para conseguir un sistema con un factor de recuperación lo suficientemente alto como el que se conseguiría con el rechazo en serie.

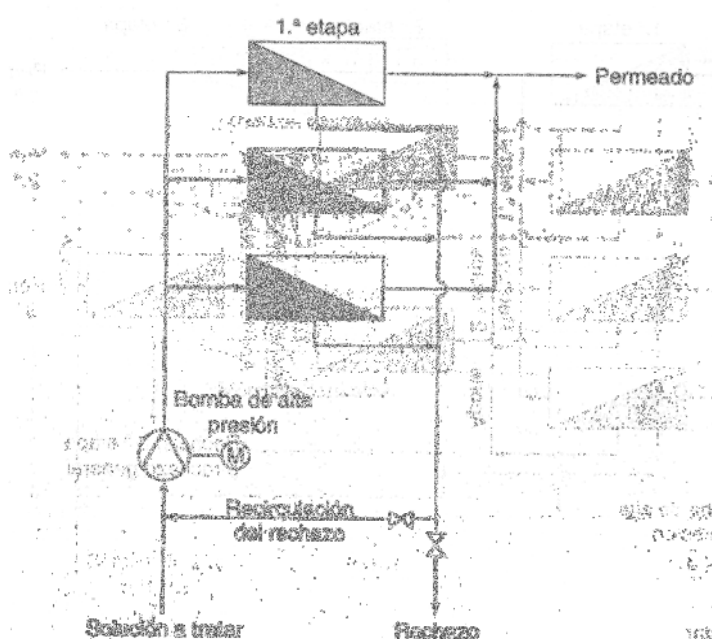


Fig. 12. Esquema de un montaje con recirculación del rechazo (Fariñas, 1999).

Con recirculación del rechazo, utilizando una única etapa se puede superar el porcentaje máximo de recuperación del 50% establecido para las misma. Con este procedimiento pueden alcanzarse conversiones de hasta el 75% y, por tanto, concentraciones en el rechazo cuatro veces superiores a las de la solución de aporte.

Según el modo de trabajar con la unidad de ósmosis inversa, se pueden considerar dos tipos de funcionamiento: por lotes y en continuo. Un sistema de ósmosis inversa es normalmente diseñado para funcionar en continuo, y las condiciones de operación de cada membrana en la planta son constantes en el tiempo.

Sin embargo el funcionamiento por lotes se utiliza en ciertas aplicaciones, como por ejemplo el tratamiento de aguas residuales, cuando el agua de alimentación se descarga en pequeños volúmenes ("lotes") discontinuamente. El agua a tratar se almacena en un tanque y es periódicamente tratada.

Un sistema de permeado en serie de dos pasos, es la combinación dos sistemas de ósmosis inversa convencionales, donde el permeado del primer paso se convierte en el agua de alimentación del segundo paso, utilizando para ello una segunda bomba (Fig. 13).

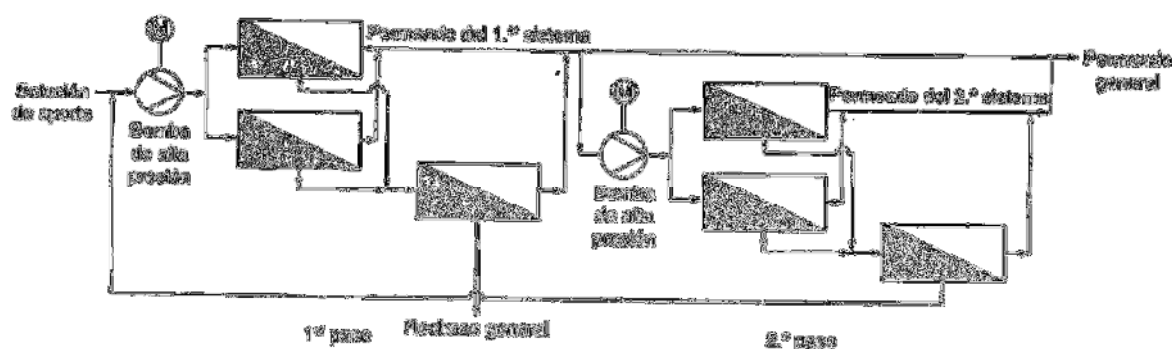


Fig.13. Esquema de un sistema de permeado en serie de dos pasos (Fariñas, 1999).

La utilización de este sistema es cada vez menor, inicialmente se empleaba en las instalaciones de agua de mar en las que era imposible conseguir un agua de suficiente calidad con un solo paso.

La posterior aparición de membranas que permiten obtener agua potable en un solo paso, ha hecho innecesario este tipo de sistemas. Hoy en día se siguen utilizando sin embargo en la industria, cuando se precisan aguas de calidad superior, como para la producción de agua para uso farmacéutico y médico.

En este proyecto se selecciona la configuración de rechazo en serie.

1.4.6.3. Selección de la membrana y tipo de elementos.

Los elementos se seleccionan de acuerdo con la salinidad del agua de aporte, la tendencia al atascamiento que pueden producir las

sustancias coloidales del agua de alimentación, rechazo requerido y requerimientos de energía.

En la tabla 7 se muestra la selección del tipo de membrana en función de la salinidad del agua de aporte.

Salinidad fuente de agua de aporte	Tipo de membrana
Agua salobre con baja concentración sal (hasta 500 mg/l)	BWRO (Brackish Water Reverse Osmosis)
Agua salobre (hasta 5.000 mg/l)	BWRO
Agua de mar (mayor de 5.000 mg/l)	SWRO (Sea Water Reverse Osmosis)

Tabla 7. Selección del tipo de membrana (Membranas Lewabrane, Lanxess Energizing Chemistry).

La primera parte del nombre indica la membrana y su uso típico:

- TW (Tap Water), agua corriente.
- BW (Brackish Water), agua salobre.
- SW (Seawater), agua de mar.
- SWHR (Seawater High Rejection), agua de mal alto rechazo.

Los elementos denominados de ocho-pulgadas, tienen siempre 8 pulgadas de diámetro y 40 de longitud. Se identifican de acuerdo con la superficie activa de la membrana en pies al cuadrado, por ejemplo un elemento BW30-400 tiene un área activa de membrana de 400 pies al cuadrado.

Para este proyecto el tipo de membrana seleccionada es del fabricante Toray membrana tipo TM820M-400. En la figura 14 se muestra un elemento de la serie TM de Toray.

● TM-SERIES ELEMENT

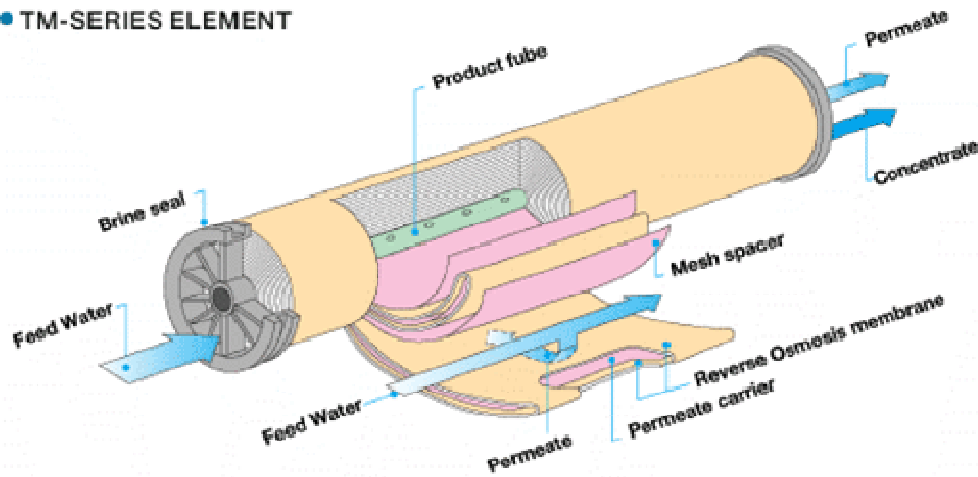


Fig. 14. Elemento de la serie TM, membranas Toray.

1.4.6.4. Elección del flujo medio de permeado también conocido como "flujo de diseño".

El flujo de diseño (J_V o GFD) de una membrana de ósmosis inversa es la cantidad de agua de permeado, que la membrana produce por pie cuadrado de superficie de membrana por día, expresada en GFD (galones por pie cuadrado y por día) o l/m^2h . Este flujo depende de las características de permeabilidad de la membrana y del tipo de membranas y es aquel que permite un funcionamiento regular de las mismas sin ensuciamiento anormal.

$$J_V(GFD) = \frac{Q_p(GPM_p) \cdot 1.440}{N_E \cdot M_A} \quad [Ec. 14]$$

Donde:

GFD, es el flujo de diseño.

GPM_p, galones por minuto del permeado.

1.440 factor de conversión de minutos a día.

N_E , número de elementos de ósmosis inversa del sistema.

M_A , el área de membrana de cada elemento .

La concentración de partículas en suspensión en la superficie de la membrana aumenta con el incremento del flujo de diseño y con el incremento del factor de recuperación. Un sistema con un valor alto de

flujo de diseño, también hace más frecuente la necesidad de limpieza química.

Un sistema de membranas debe diseñarse de tal modo que cada elemento del sistema opere dentro del marco recomendado de condiciones de operación para minimizar la concentración de partículas en las membranas y eliminar los daños mecánicos en éstas (tabla 8). Estas condiciones de operación de los elementos están limitadas por:

- El máximo factor de recuperación.
- El máximo flujo de permeado.
- El mínimo flujo de rechazo.
- Y el máximo flujo de alimentación por elemento.

Cuanta más alta sea la tendencia del agua de alimentación a obstruir las membranas más estrictos serán los límites de operación.

Design guidelines for FILMTEC elements in light industrial and small seawater applications								
Feed source	RO permeate	Well water	Softened Municipal	Surface	Wastewater (filtered tertiary effluent)		Seawater	
					MF ¹	Conventional	Well or MF ¹	Open intake
Feed silt density index	SDI < 1	SDI < 3	SDI < 3	SDI < 5	SDI < 3	SDI < 5	SDI < 3	SDI < 5
Typical target flux, gfd (l/m ² h)	22 (37)	18 (30)	16 (27)	14 (24)	13 (22)	11 (19)	13 (22)	11 (19)
Maximum element recovery %	30	19	17	15	14	12	15	13
Element diameter								
Maximum permeate flow rate, gpd (m ³ /d)								
2.5-inch	800 (3.0)	700 (2.6)	600 (2.3)	500 (1.9)	500 (1.9)	400 (1.5)	700 (2.6)	600 (2.3)
4.0-inch (except full-fits and LC products)	2,200 (8.4)	1,800 (6.8)	1,600 (6.0)	1,400 (5.4)	1,300 (4.8)	1,100 (4.1)	1,600 (6.0)	1,500 (5.7)
4.0-inch diameter (LC products)	2,600 (10.1)	2,100 (8.2)	1,900 (7.2)	1,700 (6.5)	1,500 (5.7)	1,300 (5.0)	-	-
Full-fit 4040	2,500 (9.7)	2,000 (7.8)	1,800 (6.9)	1,600 (6.2)	1,400 (5.5)	1,300 (5.0)	-	-
Element type								
Minimum concentrate flow rate, gpm (m ³ /h) ¹								
2.5-inch diameter	0.7 (0.16)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)	1 (0.2)
4.0-inch diameter (except full-fits)	2 (0.5)	3 (0.7)	3 (0.7)	3 (0.7)	4 (0.9)	5 (1.1)	3 (0.7)	4 (0.9)
Full-fit 4040	6 (1.4)	6 (1.4)	6 (1.4)	6 (1.4)	6 (1.4)	6 (1.4)	NA	NA
Element type								
Maximum feed flow rate			Maximum pressure drop per element		Maximum feed pressure			
	U.S. gpm (m ³ /h)		psig (bar)		psig (bar)			
Tape-wrapped 2540	6 (1.4)		13 (0.9)		600 (41)			
Fiberglassed 2540	6 (1.4)		15 (1.0)		600 (41)			
Seawater 2540	6 (1.4)		13 (0.9)		1,000 (69)			
Tape-wrapped 4040	14 (3.2)		13 (0.9)		600 (41)			
Fiberglassed 4040	16 (3.6)		15 (1.0)		600 (41)			
SW Fiberglassed 4040	16 (3.6)		15 (1.0)		1,000 (69)			
Full-fit 4040	18 (4.1)		15 (1.0)		600 (41)			

Tabla 8. Directrices de diseño para elementos FILMTEC en industria ligera y pequeñas aplicaciones desalinizadoras (Dow Water & Process Solutions)

El flujo de diseño es un valor útil para estimar rápidamente el número de elementos requeridos para un proyecto. Los sistemas que operan con agua de alimentación de alta calidad, normalmente han sido diseñados con valores de flujo de diseño elevados, y viceversa. Sin embargo, incluso dentro de la misma calidad del agua, algunos sistemas son diseñados con altos y bajos valores de flujo de diseño, dependiendo del objetivo ya sea minimizar los gastos de inversión o los gastos de mantenimiento a largo plazo.

1.4.6.5. Cálculo del número de elementos total necesarios

La relación entre el número total de elementos (N_E), el flujo de permeado (Q_p) y el flujo de diseño (J_v), se expresa en la siguiente fórmula:

$$N_E = \frac{Q_p}{J_v \cdot M_A} \quad [Ec. 15]$$

El número de elementos calculados, puede variarse ligeramente de acuerdo con el diseño elegido para la disposición del sistema, esto es el número de cajas de presión por etapa seleccionado y los elementos de ósmosis de inversa por caja de presión.

1.4.6.6. Cálculo del número de elementos por caja de presión

Los elementos de membrana pueden ser acoplados en serie en la caja de presión, normalmente de 1 a 8 elementos por cada caja de presión. A la hora de elegir el número de elementos por cada caja de presión es habitual considerar en primer lugar el tamaño de la planta. En plantas de gran escala con producciones de agua dulce, superiores a 40 m³/h como es el proyecto que nos ocupa, se adoptan habitualmente de 6 a 8 elementos por cada caja de presión. En cualquier caso, el espacio requerido para instalar o quitar los elementos de ósmosis inversa, es un aspecto importante a tener en consideración en el diseño de la planta.

Aumentando el número de elementos por caja de presión casi todos los parámetros de la ósmosis inversa cambiarán, unos mejorarán y otros empeorarán. En la tabla 9 se muestra el efecto de dicho aumento en

los distintos parámetros de diseño de un sistema de ósmosis inversa (Membranas Lewabrane, Lanxess Energizing Chemistry).

RO System Design Parameters	Effect of increasing number of Elements/Vessel	Judgement of the effect
Average Permeate Flux	Same	No change
Lead Element Flux	Larger	Undesirable
Concentrate Flow Rate per Vessel	Larger	Desirable
Feed Flow Rate per Vessel	Larger	Undesirable
Pressure Drop per Vessel	Larger	Undesirable
Pressure Drop per Element	Larger	Undesirable
Recovery Rate of Element	Smaller	Desirable
Recovery Rate of System	Same	No change
Number of Vessel	Smaller	Desirable

Tabla 9. Efecto de aumentar el número de elementos en los parámetros de diseño de un sistema de ósmosis inversa (Membranas Lewabrane, Lanxess Energizing Chemistry).

El número de cajas de presión necesarias es igual al número total de elementos dividido entre el número de elementos por caja de presión.

1.4.6.7. Selección del número de etapas

El número de etapas define cuantas cajas de presión, dispuestas en serie, atraviesa el agua de alimentación hasta que abandona el sistema y se descarga como permeado. Cada etapa está formada por un número determinado de cajas de presión en paralelo.

En un sistema de ósmosis inversa el número de etapas es función del factor de recuperación elegido, el número de elementos por caja de presión y la calidad del agua de alimentación. Cuanto más alto sea el factor de recuperación y más baja la calidad del agua de alimentación, más grande será el sistema y por tanto tendrá más elementos en serie.

Por ejemplo, un sistema de 2 etapas y 6 elementos de presión por caja de presión, teniendo 4 cajas de presión en la primera etapa y 2 cajas de presión en la segunda etapa, tiene 12 elementos en serie. Un sistema

de 3 etapas y 4 elementos por caja de presión, en la proporción 4:3:2, también tiene 12 elementos en serie.

Factor de recuperación (%)	Número de elementos en serie	Número de etapas (6-elementos/caja presión)	Número de etapas (7-elementos/caja presión)	Número de etapas (8-elementos/caja presión)
35 - 40	6	1	1	----
45	7 - 12	2	1	1
50	8 - 12	2	2	1
55 - 60	12 - 14	2	2	----

Tabla 10. Número de etapas en un sistema de tratamiento de agua de mar (Dow Water & Process Solutions).

Normalmente el número de elementos en serie está relacionado con el factor de recuperación y el número de etapas, tal y como se muestra en la tabla 10.

Como se ha comentado en el ejemplo anterior un sistema de 3 etapas con 4, 3, y 2 cajas de presión en la primera, segunda y tercera etapa respectivamente, tiene una proporción de etapas de 4:3:2. En sistemas de dos etapas de agua de mar con 6 elementos por caja de presión, la proporción de etapas habitual es 3:2.

Otro aspecto a tener en cuenta al seleccionar una determinada disposición de las cajas de presión, es el caudal de agua de alimentación por caja de la primera etapa y, el caudal de rechazo por caja en la última etapa. Ambos caudales son datos conocidos y determinados para un sistema, a partir del caudal de permeado y el factor de recuperación.

1.5. Descripción del sistema de agua potable

Los evaporadores y la planta de tratamiento por ósmosis inversa suministran agua destilada para el sistema de agua potable, el sistema de agua destilada técnica y el sistema de agua destilada de alimentación de calderas.

El sistema de agua potable consta de:

- 8 tomas de consumo de agua potable de tierra (4 en babor y 4 en estribor).
- 12 tanques de agua potable.
- 3 bombas centrífugas de alimentación de agua potable fría.
- 2 bombas de trasiego de agua potable.
- 1 planta de tratamiento de agua por ósmosis inversa que incluye:
 - 1 bomba de alimentación de agua de mar.
 - 1 filtro bicapa.
 - un equipo de dosificación de antiincrustante para la línea de agua de alimentación.
 - un equipo de dosificación de inhibidor de oxígeno para la línea de agua de alimentación.
 - 2 filtros de cartucho.
 - 1 bomba de alta presión de alimentación.
 - 1 bastidor de ósmosis inversa.
 - un equipo de limpieza química de membranas.
 - un equipo de desplazamiento de agua.
 - una planta de cloración y ajuste del pH para la línea procedente de las tomas de consumo de agua potable de tierra.
 - una planta de cloración y ajuste del pH para la línea procedente de la planta de tratamiento por ósmosis inversa.
- calentadores de vapor para el agua caliente.

Aunque el sistema de agua caliente forma parte del de agua potable, por no entrar dentro del ámbito de este proyecto no se describirán sus equipos asociados (calentadores, bombas, etc.)

La distribución del agua potable a la zona de acomodación se realizará a través de 10 líneas troncales para el agua fría y otras 10 líneas para el agua caliente.

Unas válvulas reguladoras de presión se encargan de la distribución de agua en los anillos. Estas válvulas son motorizadas.

Cada línea troncal suministra agua a una, dos o tres cubiertas, con un anillo principal o línea de distribución por cada cubierta, siendo la distribución a las cocinas independiente.

Cada anillo principal tiene su propia línea de recirculación.

El sistema de agua potable suministra agua para el llenado de las piscinas y para el llenado del sistema de contraincendios por alta presión de agua nebulizada.

Las tuberías del sistema de agua potable están provistas de válvulas telecomandadas para la selección del llenado, aspiración u operaciones de trasiego de los tanques de agua dulce.

Se han previsto en el sistema de agua potable las siguientes operaciones:

- Distribución.
- Trasiego.
- Llenado de piscinas .
- Llenado del sistema de contraincendios.
- Toma de agua dulce.

1.6. Descripción planta de tratamiento de agua potable por ósmosis inversa para un buque de pasaje

1.6.1. Introducción

El proceso se inicia con la entrada de agua de mar a través de una de las tomas de mar del buque, siendo bombeada por una bomba centrífuga hasta el filtro bicapa.

En dicho filtro se realiza la filtración del agua de mar, como pretratamiento físico previo a la entrada de ésta a las membranas de

ósmosis inversa, con el fin de eliminar los sólidos en suspensión que podrían dañar a dichas membranas.

Aunque tras la filtración el agua podría entrar directamente en las membranas (por debajo de un índice de ensuciamiento SDI de 5), es recomendable tener un agua de mar lo más limpia posible, con el fin de prolongar el tiempo entre lavados de membranas así como la vida útil de las mismas.

Tras el paso del agua de mar por el filtro bicapa y con el fin de garantizar las condiciones deseadas del agua de alimentación a los bastidores de ósmosis, se realizan los siguientes pretratamientos químicos del agua:

- Tratamiento antiincrustante: mediante la dosificación de antiincrustantes se mejora la solubilidad de algunas sales y se previene su precipitación, evitando la formación de precipitados que formarían incrustaciones en la membrana, produciendo el ensuciamiento de la misma.
- Eliminación de compuestos oxidantes: para evitar los efectos nocivos sobre las membranas de oxidantes como el oxígeno disuelto presente en el agua y el cloro libre procedente de la alimentación de agua.

Como se ha comentado anteriormente el agua de mar que llega a la planta tiene un índice SDI y una turbidez que pueden ensuciar y dañar prematuramente las membranas, por lo que es conveniente incluir además de la filtración grosera con lechos de arena (filtro bicapa) anteriormente citada, una micro-filtración.

Este tipo de filtración se realizará a través de cartuchos recambiables de 5 micras, cuya frecuencia de recambio dependerá del contenido de partículas en suspensión del agua, y su control se realizará mediante medida de la diferencia de presión a la entrada y salida del filtro.

El agua tras el paso por el pretratamiento físico y químico, se bombea a alta presión a la entrada de los módulos de ósmosis inversa.

La bomba de alta presión fuerza el paso del agua a través del bastidor de ósmosis inversa, el cual contendrá un total de 102 elementos. En total, la instalación consta de 17 cajas de presión, con 6 elementos cada una.

En la ósmosis inversa se producen dos corrientes: la de producto o permeado y la de rechazo o salmuera.

El permeado que sale de las membranas es sometido a postratamiento, consistente en:

- Remineralización: con el fin de ajustar la calidad del agua para el consumo humano, así como para regular el pH.
- Ajuste de pH: en las aguas de consumo humano, el valor mínimo del pH es de 6.5 y el valor máximo de 9.5. Tras el tratamiento, el agua no debería ser ni agresiva ni incrustante
- Cloración: con el fin de garantizar en el agua producida, la existencia de cloro residual y, asegurar con este postratamiento la eliminación de bacterias en el suministro de agua potable.

Tras el postratamiento el agua tratada es almacenada en los tanques de agua potable.

1.6.2. Datos de partida

El tratamiento del agua de mar se llevará a cabo mediante un proceso de ósmosis inversa. La producción de la planta será de 1.500 toneladas diarias.

El agua potable se destina a satisfacer la demanda en:

- Servicios sanitarios (lavabos, duchas, bañeras, retretes, urinarios).
- Limpieza.
- Cocinas, restaurantes, bares y comedores.
- Piscinas, jacuzzi y sauna.

Capacidad de la planta de tratamiento

- Producción de la instalación: 1.500 T/día
- Grado de conversión: 45 %
- Caudal de alimentación para 1500 T/día de producción: 3.333 T/día.

1.6.3. Toma de mar y bombeo

El agua de mar entra al circuito de la planta de tratamiento a través de una de las tomas de mar del buque, pasa por el filtro instalado en la caja de mar y es impulsada a la planta de tratamiento por una bomba de alimentación².

La bomba dispone de válvulas de aislamiento en la aspiración y descarga, así como un manómetro en dicha descarga.

1.6.4. Pretratamiento

Dentro del pretratamiento que se le realiza al agua para optimizar el proceso de ósmosis inversa se incluyen procesos físicos y procesos químicos.

La función del pretratamiento del agua de mar es la de garantizar, tanto desde el punto de vista de sus propiedades químicas como físicas, las condiciones óptimas del agua de alimentación al bastidor de ósmosis inversa, evitando que se produzca el ensuciamiento o deterioro de las membranas, alargando la vida media de éstas y por tanto reduciendo el coste del proceso.

En este proceso una vez que el agua es aspirada, se realizará el pretratamiento físico y químico consistente en:

1. Filtración grosera.
2. Pretratamiento químico
 - Tratamiento antiincrustante.
 - Eliminación de compuestos oxidantes.
3. Microfiltración.

² Los datos técnicos de los equipos se indican en el siguiente apartado de la memoria (1.6).

1. Filtración grosera

La filtración del agua de mar se realizará a través de un filtro bicapa que dispondrá de dos válvulas de aislamiento a la entrada y salida de éste, un drenaje a sentinas y, un medidor de presión diferencial para medir la pérdida de carga del filtro, parámetro indicativo del ensuciamiento o saturación del filtro.

El lavado del filtro bicapa se realizará automáticamente mediante aire y agua a contracorriente (permeado).

2. Pretratamiento químico

Tras la filtración el agua de mar es sometida a un pretratamiento químico consistente en:

- Dosificación de antiincrustante: uno de los factores a controlar en los procesos de ósmosis es la posibilidad de que se produzca un precipitado que se incruste en la membrana produciendo el ensuciamiento de la misma. La dosificación de antiincrustantes permite, en general, aumentar la conversión de trabajo de las instalaciones, ya que si no se dosificaran, se debería reducir la conversión para alargar la vida media de las membranas. Fundamentalmente los antiincrustantes se dosifican para evitar la precipitación de sulfatos (sulfato de bario, sulfato de calcio y sulfato de estroncio) y de carbonatos.

Lo más habitual es establecer el tipo de antiincrustante que se va a emplear en función del Índice de Langelier³ del agua de mar y el cálculo teórico de éste en el agua de rechazo a la conversión deseada. Los ácidos fosfónicos y sus sales, son las sustancias más empleadas como antiincrustantes.

- Dosificación de inhibidor de oxígeno: las membranas empleadas en ósmosis inversa son susceptibles de degradación por compuestos

³ El Índice de Langelier es un índice para calcular el carácter incrustante o agresivo del agua y tiene que ver con los diversos equilibrios en el agua del anhídrido carbónico, bicarbonato-carbonatos, el pH, la temperatura, la concentración de calcio y la salinidad total.

oxidantes, especialmente las de poliamida aromática, como es el caso. En estos casos, se añade un agente reductor al agua para eliminar la concentración de oxidante residual presente en la misma. Dentro de los sulfitos empleados, los más utilizados son el bisulfito sódico y el metabisulfito sódico.

Tanto para el pretratamiento como para el postratamiento el agua necesaria para la dosificación del tratamiento químico es tomada de la línea de permeado

3. Microfiltración

Esta etapa de filtración es imprescindible en las instalaciones de ósmosis inversa, pues el filtro bicapa, solo alcanza un nivel de filtración grosera, que es insuficiente para las membranas de ósmosis inversa.

Con la filtración de cartuchos se consigue la eliminación de partículas de pocas micras. El nivel de filtración al que hay que llegar es de 5 micras, pues este es el valor que imponen los fabricantes de membranas, como condición indispensable para garantizar el funcionamiento continuo de éstas.

Las partículas retenidas por los cartuchos incrementan las pérdidas de carga del mismo, por lo que cuando se alcanza un valor determinado se procede a su sustitución.

El filtro dispondrá de dos válvulas de aislamiento a la entrada y salida de éste, un drenaje a sentinas y, un medidor de presión diferencial para medir la pérdida de carga del filtro, parámetro indicativo del ensuciamiento o saturación del filtro.

A la salida del filtro se instala una línea de muestreo, así como medidores de conductividad, pH, redox, presión y temperatura.

1.6.5. Proceso de ósmosis inversa

El proceso de ósmosis inversa es la etapa de mayor importancia en la planta de tratamiento. Este proceso, consta de tres etapas:

- Bombeo de alta presión.
- Bastidores de ósmosis inversa.
- Limpieza química y desplazamiento.

En los bastidores de ósmosis inversa el agua de mar es impulsada, por una bomba de alta presión, a través de unas membranas que retienen las sales minerales disueltas en el agua, bacterias y otras partículas que puedan estar presentes en el agua. El agua que ha atravesado las membranas (permeado) se considera agua osmotizada y se envía a la siguiente fase del proceso, mientras que, las sales minerales disueltas (rechazo o salmuera) se descargan al mar.

El principio de funcionamiento de la ósmosis inversa es trabajar con valores de presión superiores a la presión osmótica. Por tanto la cantidad y calidad del agua procesada se verán incrementadas al aumentar la presión, siempre teniendo en cuenta el límite de resistencia de las membranas.

Las membranas no se regeneran pero se pueden lavar, para lo que se ha instalado un sistema de limpieza química.

Asimismo, durante la parada de la planta de tratamiento, es recomendable desplazar el agua de trabajo del interior de las membranas y sustituirla por agua osmotizada. A este proceso se le llama desplazamiento y también se han previsto los elementos necesarios para realizarlo.

Bombeo de alta presión

El proceso de ósmosis comienza con la bomba de alta presión. En la aspiración de la bomba se instala una válvula de aislamiento automática, que se utilizará para aislar todo el proceso de ósmosis y poder realizar el desplazamiento.

Tras la bomba se instalará una válvula de aislamiento y una de retención, así como un caudalímetro y un transmisor de presión.

Bastidores de ósmosis inversa

En los bastidores de ósmosis inversa, el agua de mar es impulsada por la bomba de alta presión a través de las membranas.

A la entrada de la línea de ósmosis inversa los parámetros conocidos son la presión y el caudal, con la presión se puede conocer la pérdida de carga que se va a producir en el rechazo, tras su paso por las membranas y, comprobar que se encuentra en el rango de presión de trabajo recomendado por el fabricante.

La línea de salida de los módulos de ósmosis inversa se dividirá en dos líneas: la de **permeado** que es el agua que ha atravesado la membrana y está libre de sales, y la de **rechazo**, donde se concentran las sales eliminadas del permeado.

- La línea de permeado llevará instalados una válvula de aislamiento y un rotámetro con una válvula de aguja manual, para regular manualmente el caudal en la fase de puesta en marcha. Con la válvula de control y, según las lecturas de los caudalímetros de entrada al bastidor y del permeado, se podrá variar el factor de conversión actuando, por tanto, sobre los caudales de permeado y rechazo.

Aparte del rotámetro, en esta línea se incluyen un caudalímetro y un medidor de conductividad que dará medida de la calidad del agua obtenida. Si la calidad es la esperada, se dirigirá al tanque de agua dulce. Si el agua no cumple con la calidad establecida o la planta se encuentra en la fase de desplazamiento, el permeado o agua de desplazamiento, en su caso, se mandarán a la línea de rechazo a través de una válvula automática.

- La línea de rechazo llevará un transmisor de presión y el valor medido por éste será comparado con la presión obtenida a la entrada del bastidor. También se instalará un manómetro, un caudalímetro, un transmisor de conductividad y un drenaje a sentinas.

El rechazo se descarga a través de una válvula de costado al mar. A la línea de rechazo se une la línea de descarga de limpieza (retrolavado) del filtro bicapa, y otra de las líneas conectadas a la tubería de rechazo, es la que permite la recirculación del agua al tanque de limpieza, cuando se está realizando la operación de limpieza química de las membranas.

Limpieza química y desplazamiento

- Limpieza química.

La limpieza de las membranas, se realiza cuando hay un descenso del caudal de permeado o un aumento de la presión diferencial en el bastidor de ósmosis inversa.

El sistema de limpieza química está constituido por un tanque en el que se añade el producto químico correspondiente al agua osmotizada, procedente de la línea de permeado, y una bomba para la recirculación del agua de limpieza.

La operación de limpieza de las membranas se realiza en manual y para ello habrá que operar las siguientes válvulas:

- cerrar la válvula de aislamiento de la línea de permeado,
- abrir la válvula de la línea de permeado que alimenta el tanque de limpieza y desplazamiento,
- abrir la válvula de entrada del agua de limpieza al bastidor de ósmosis inversa.

A continuación se añaden los productos químicos al agua del tanque, y se recirculará el agua de limpieza por las membranas de ósmosis inversa mediante la bomba instalada al efecto.

El producto químico a utilizar dependerá del tipo o naturaleza de las sustancias que constituyen los depósitos.

Consecuentemente, lo primero que se debe conocer es el origen y el tipo de ensuciamiento producido para, por un lado tratar de eliminarlo

de las membranas, y otro, evitar que se vuelva a producir en el futuro.

En la tabla 11 se muestran los tipos de reactivos químicos a utilizar para la limpieza según el objetivo perseguido.

SUSTANCIAS EN LA ETAPA DE LIMPIEZA DE MEMBRANAS			
Nombre	CAS	Función principal	Control analítico
Ácido clorhídrico	7647-01-0	Corrector de pH. Regenerador de resinas Precursor del dióxido de cloro	Índice de Langelier
Ácido fosfórico	7664-38-2	Inhibidor de la corrosión	Índice de Langelier
Amoníaco	1336-21-6	Precursor de la cloraminación	El amonio con niveles < VP
Fosfato trisódico	7601-54-9	Inhibidor de la corrosión	El sodio con niveles <VP e índice de Langelier
Hidróxido de sodio	1310-73-2	Corrector de pH y alcalinidad	El sodio con niveles <VP e índice de Langelier
Tiosulfato de sodio	7772-98-7 10102-17-7	Agente reductor	El sulfato y el sodio con niveles < VP e índice de Langelier
Tripolifosfato de sodio	7758-29-4	Desincrustante	El sodio con niveles < VP

Tabla 11.- Sustancias en la etapa de limpieza de membranas, "Sustancias empleadas en la potabilización del agua por ósmosis inversa" P. Varó Galvañ, M. Rodríguez Pastor, M^a.F. Chillón Arias y D. Prats Rico.

- Desplazamiento:

La operación de desplazamiento, consiste como su propio nombre indica en “desplazar” el agua a tratar (agua de mar) y la salmuera de los bastidores de ósmosis inversa, sustituyéndolas por agua osmotizada.

Esta operación se realiza durante las paradas prolongadas de la planta de tratamiento, con el objeto de:

- Desplazar totalmente el agua a tratar del interior de las tuberías y de los módulos del sistema, impidiendo así la corrosión de las partes metálicas y la precipitación de sales que provoquen incrustaciones en las membranas.
- Desplazar el agua de limpieza cuando se ha realizado una limpieza química.

El punto de aporte del agua de desplazamiento se realiza antes de la bomba de alta presión.

Al igual que la limpieza, la operación de desplazamiento se realiza en manual, operando las siguientes válvulas:

- cerrar la válvula de aislamiento de la línea de permeado,
- abrir la válvula de drenaje de sentinas de la línea de permeado,
- abrir la válvula de drenaje de sentinas de la línea de rechazo,
- abrir la válvula de la línea de permeado que alimenta el tanque de limpieza y desplazamiento,
- abrir la válvula de entrada de agua osmotizada al bastidor de ósmosis inversa.

1.6.6. Postratamiento

El agua producida por ósmosis inversa, debe ser tratada debido a que el pH y la concentración de determinadas sales no se ajustan a los criterios sanitarios de calidad del agua de consumo humano. En este caso, es necesario llevar a cabo una desinfección, ya que si bien el agua tratada por ósmosis inversa carece de cualquier tipo de microorganismos (que han sido eliminados por las membranas), es imprescindible garantizar su salubridad frente a cualquier tipo de contaminación durante su almacenamiento y distribución.

El postratamiento consistirá en:

- Remineralización: a base de carbonato cálcico (CaCO_3), también llamado calcita. Los lechos de calcita permiten aumentar la alcalinidad y la dureza del agua desalada y reducir su corrosividad.
- Ajuste de pH: mediante la adición de productos químicos. Normalmente se dosifica $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 , NaOH , Na_2CO_3 .
- Cloración: el agua procedente de la ósmosis inversa no contiene contaminación microbiológica. No obstante, si el agua va a ser empleada para el consumo humano, se debe aplicar una concentración de un desinfectante residual que garantice que no se contamina a lo largo del sistema sanitario. Normalmente se suele llevar a cabo una dosificación de cloro.

SUSTANCIAS EN LA ETAPA DE POSTRATAMIENTO			
Nombre	CAS	Función principal	Control analítico
CaI	1305-62-0 1305-78-8	Corrector de pH. Remineralización. Coprecipitación y ablandamiento del agua. Reducción de la agresividad	Índice de Langelier
Carbonato de calcio	1317-65-3	Corrector de pH. Remineralización. Reducción de la agresividad	Índice de Langelier
Carbonato de sodio	497-19-8	Corrector de pH y alcalinidad	El sodio con niveles < VP e Índice de Langelier
Dióxido de carbono	124-38-9	Corrector de pH. Remineralización. Reducción de la agresividad	Índice de Langelier
Cloro	7782-50-5	Desinfección	Cloro libre residual, cloro combinado residual y THMs, asegurando que los valores en el punto de entrega al consumidor son < VP, y control de otros subproductos de la cloración
Hidróxido de sodio	1310-73-2	Corrector de pH y alcalinidad	El sodio con niveles <VP e índice de Langelier
Hipoclorito de sodio	7681-52-9	Desinfección	Cloro libre residual, cloro combinado residual y THMs, asegurando que los valores en el punto de entrega al consumidor son < VP, y control de otros subproductos de la cloración
Hipoclorito de calcio	7778-54-3	Desinfección	Cloro libre residual, cloro combinado residual, THMs, asegurando que los valores en el punto de entrega al consumidor son < VP, y control de otros subproductos de la cloración

Tabla 12.- Sustancias en la etapa de postratamiento, "Sustancias empleadas en la potabilización del agua por ósmosis inversa" P. Varó Galvañ, M. Rodríguez Pastor, M^a.F. Chillón Arias y D. Prats Rico.

En la Tabla 12 se presentan las sustancias que con más frecuencia se emplean en la etapa de postratamiento.

Se dispondrá de una línea procedente de cubierta para abastecer, en caso de ser necesario, de agua dulce al buque en puerto cuando la planta de tratamiento esté parada. Este agua también será sometida a postratamiento químico consistente en el ajuste de pH y cloración, antes de dirigirla a los tanques de agua potable.

Asimismo, existirá una última poscloración posterior a las bombas de agua potable, en función de la calidad del agua potable.

1.7. Descripción de equipos

1.7.1. Toma de mar y bombeo

Datos conocidos:

- Al caudal de alimentación (Q_a), calculado en el apartado 1.5.1 del Documento nº 2, se le añade un 5% de pérdidas, resultando por tanto:

$$Q_a = 138,89 + 5\% Q_a = 146 \text{ m}^3/\text{h} \text{ [Ec. 16]}$$

- La altura de impulsión desde la toma de mar a la planta de tratamiento se estima en 2 metros:

$$H = 2 \text{ m}$$

- Frecuencia: 50 Hz.
- Fluido a bombear: agua salada.

- Tubería:

- Material: acero al carbono.
- Diámetro ($\emptyset$): suponiendo una velocidad del fluido de 1 m/s (para tuberías metálicas) y despejando el $\emptyset$:

$$Q_a = v \cdot s = v \times \frac{\pi \emptyset^2}{4} \text{ [Ec. 17]}$$

$$\emptyset = \sqrt{\frac{4 \cdot 146 \text{ m}^3/\text{h}}{\pi \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{3600\text{s}}{1\text{h}}}} = 0,227 \text{ m}$$

$$\emptyset = 227 \text{ mm}$$

Se selecciona un diámetro de tubería comercial de 250 mm.

- Bomba de alimentación de agua de mar:

- Unidades: 1
- Marca: Azcue.
- Modelo: VR Vertical in line.
- Tamaño: 125 - 20
- Tipo: centrifuga vertical.
- Accionamiento: motor eléctrico.
- Diámetro descarga: 125 mm.

- Diámetro nominal rodete: 200 mm.
- Caudal máximo: 260 m³/h
- Presión máxima: 1,2 bar
- Altura máxima de impulsión: 12 m
- Revoluciones: 1450 r.p.m.
- Potencia nominal ⁴: 1,2 kW
- Curvas características en Anejo II.

1.7.2. Filtro bicapa

- Datos conocidos:
 - Caudal de diseño (Caudal de alimentación): $Q_a = 146 \text{ m}^3/\text{h}$
 - Velocidad de filtración, $v = 17 \text{ l/s/m}^2$. Dato supuesto y tomado de la tabla 13.
 - Área de filtración (A):

$$A \geq Q_a/v \text{ [Ec. 18]} = \frac{146 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{17 \frac{\text{l}}{\text{s m}^2}}$$

$$= 2,38 \text{ m}^2 \cdot \frac{1 \text{ ft}^2}{0,3048^2 \text{ m}^2} = 25,61 \text{ ft}^2$$

$$A \geq 25,61 \text{ ft}^2$$

- Elección del filtro bicapa:
 - Unidades: 1
 - Material botella: PRFV
 - Marca: Flow-Guard, FRESNO Valves & Castings, Inc.
 - Modelo número: 345.
 - Área de filtración:

$$33,3 \text{ ft}^2 \cdot \frac{0,3048^2 \text{ m}^2}{1 \text{ ft}^2} = 3,09 \text{ m}^2$$

- Caudal nominal:

$$52,5 \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 189 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

- Diámetro filtro:

$$48'' \cdot \frac{0,0254 \text{ m}}{1''} = 1,2192 \text{ m}$$

⁴ La potencia nominal de las bombas se ha calculado en el apartado 1.6 del documento nº 2.

- Velocidad contralavado:

$$12,6 \frac{l}{s} \cdot \frac{1m^3}{1000l} \cdot \frac{3600 s}{1h} = 45,36 \frac{m^3}{h}$$

- Material filtrante: Grava-Arena de sílice.
- Kilos de grava: 648 Kg.
- Kilos de arena de sílice: 1620 Kg.

Número de Modelo	Rango de Flujo Estándar		Rango de Flujo Métrico		Área de Filtración Ft²	Peso de Embarque - Libras
	25 GPM/FT²	17 GPM/FT²	17 L/S/M²	11.5 L/S/M²		
215	62	42	3.9	2.6	2.5	136
218	88	60	5.6	3.8	3.5	160
318	132	90	8.4	5.7	5.3	240
224	157	107	9.9	6.7	6.3	220
324	235	160	14.8	10.1	9.5	330
230	244	167	15.4	10.5	9.8	315
330	368	250	23.2	15.8	14.7	430
236	353	240	22.3	15.1	14.1	525
336	530	360	33.4	22.7	21.2	770
245	555	377	35.0	23.8	22.2	690
345	832	566	52.5	35.7	33.3	1075
445	1110	754	70.0	47.6	44.4	1490
545	1387	943	87.5	59.5	55.5	1850
645	1665	1132	105.0	71.4	66.6	2200
248	625	425	39.4	26.8	25.0	720
348	937	637	59.1	40.2	37.5	1105
448	1250	850	78.9	53.6	50.0	1520
548	1562	1062	98.5	67.0	62.5	1880
648	1875	1275	118.3	80.4	75.0	2230

Tabla 13.- Especificación filtros bicapa fabricante " FRESNO Valves & Castings, Inc."

1.7.3. Equipos de dosificación de reactivos

- Material depósitos: polietileno de alta densidad.
- Material tuberías: PVC.
- Bombas:
 - Unidades: 2 por equipo dosificador.
 - Tipo: de membrana.

El cálculo de la dosificación de productos químicos, así como el dimensionamiento de estos equipos no son objeto de este proyecto.

1.7.4. Microfiltración

- Datos conocidos:
 - Caudal de diseño (Caudal de alimentación): $Q_a = 146 \text{ m}^3/\text{h}$

- Elección del filtro de cartucho:
 - Unidades: 2
 - Material cuerpos de filtro: PVC
 - Marca: Fluytec.
 - Modelo: 35 FTPV-4.
 - Caudal de diseño: 91 m³/h por unidad.
 - Número cartuchos: 35 por unidad.
 - Material cartuchos: polipropileno.
 - Grado de filtración: 5μ.

1.7.5. Bomba alta presión

- Datos conocidos:
 - Caudal de diseño (Caudal de alimentación): $Q_a = 146 \text{ m}^3/\text{h}$
 - Presión descarga: $P = 55,2 \text{ bar}$ (dato supuesto y tomado de las características técnicas de la membrana).
 - Frecuencia: 50 Hz.
 - Fluido a bombear: agua salada.
- Elección de la bomba:
 - Unidades: 1
 - Marca: KSB.
 - Modelo: Multitec.
 - Tamaño: 125 - 9.1
 - Tipo: centrifuga horizontal.
 - Accionamiento: motor eléctrico.
 - Diámetro descarga: 125 mm.
 - Diámetro nominal rodete: Valor adaptado por el fabricante al punto de servicio de la bomba.
 - Caudal máximo: 340 m³/h
 - Presión máxima: 65 bar
 - Altura máxima de impulsión: 650 m
 - Revoluciones: 2900 r.p.m.
 - Potencia nominal: 294,8 kW
 - Curvas características en Anejo II.

1.7.6. Bastidor de ósmosis inversa

- Material tuberías: acero al carbono.
- Caudal permeado: 62,50 m³/h.
- Unidades: 17 cajas de presión con 6 elementos cada una.
- Marca membranas: TORAY.
- Modelo: TM820M-400
- Presión máxima de trabajo: 83 bar.
- Temperatura máxima de trabajo: 45 °C.
- Pérdida máxima de carga por elemento: 1 bar.
- Pérdida máxima de carga por caja: 3,4 bar.
- Factor de conversión: 45 %.
- Porcentaje de rechazo de sales: 99,8 %.
- Dimensión membranas: diámetro 201 mm, longitud 1016 mm.

1.7.7. Bomba de alimentación de agua potable fría⁵

- Unidades: 3
- Marca: Hamworthy
- Modelo: C12BA 10-14
- Tipo: centrifuga vertical.
- Accionamiento: motor eléctrico.
- Diámetro descarga: 250 mm.
- Caudal máximo: 1100 m³/h
- Altura máxima de impulsión: 200 m
- Potencia nominal: 126,5 kW
- Curvas características en Anejo II.

1.7.8. Bomba de trasiego de agua potable⁶

- Unidades: 2
- Marca: Hamworthy
- Modelo: CGA50
- Tipo: centrifuga vertical.

⁵ Valor de caudal (Q=500 m³/h) y presión de descarga (p=6,9 bar) calculados en el apartado 1.4 del Documento nº 2.

⁶ Valor de caudal supuesto (Q=20 m³/h) y presión de descarga supuesta una altura máxima de 20 metros desde la descarga de las bombas a los tanques de agua potable (p=2 bar).

- Accionamiento: motor eléctrico.
- Diámetro descarga: 50 mm.
- Caudal máximo: 50 m³/h
- Altura máxima de impulsión: 125 m
- Potencia nominal: 1,92 kW
- Curvas características en Anejo II.

1.7.9. Equipo de limpieza química

- Material tanque: acero al carbono.
- Material tuberías: acero al carbono.
- Bomba:
 - Unidades: 1.
 - Tipo: centrífuga.

1.7.10. Equipo de desplazamiento

- Material tanque: acero al carbono.
- Material tuberías: acero al carbono.
- Bomba:
 - Unidades: 1.
 - Tipo: centrífuga.

1.7.11. Válvulas

No se detallan las válvulas que forman parte de la instalación de la planta.

Se da a continuación una relación general de éstas:

- Válvulas de aislamiento de equipos.
- Válvulas de vaciado y toma de muestras en los depósitos.
- Válvulas de toma de muestras en el permeado y el rechazo del bastidor de ósmosis inversa.
- Válvulas de regulación de flujo en la línea de rechazo del bastidor de ósmosis inversa para poder variar las condiciones de trabajo de los mismos.

1.7.12. Instrumentación

No se detallan los aparatos de medición y control de la planta. Se da a continuación una relación general de éstos:

- Transmisores de nivel máximo y mínimo de los depósitos y tanques.
- Indicadores de nivel de los depósitos y tanques.
- Manómetros y transmisores de presión.
- Medidores de presión diferencial.
- Termómetros y transmisores de temperatura.
- Rotámetros, caudalímetros y transmisores de caudal.
- Transmisores de pH.
- Transmisores de potencial redox.
- Transmisores de conductividad.
- Transmisores de turbidez.

1.7.13. Unidad central de control CPU

El control de todos los elementos de la planta de tratamiento se centralizará en una CPU de control, desde donde se podrán controlar todos los equipos que forman parte del proceso.

La CPU de control realizará, entre otras, las siguientes funciones:

1. Recepción de las señales enviadas por los transmisores de la planta.
2. Análisis de la señal y comparación con el punto de consigna predeterminado.
3. Transmisión de una respuesta a los elementos finales de control, que modifican su posición para disminuir la diferencia entre la señal de entrada y el punto de consigna.
4. Modificación de los correspondientes indicadores luminosos del panel de control (indicadores de posición, funcionamiento, capacidad) acorde con el estado de cada elemento.
5. Paro y puesta en funcionamiento automática y manual de todos los equipos de la planta.

6. Paro y puesta en funcionamiento manual de todos los equipos necesarios.
7. Puesta en funcionamiento automática de los ciclos de lavado del filtro bicapa.
8. Activación de alarmas acústicas y ópticas en el panel de control.

En el control de máquinas se instalará un panel de control, gracias al cual se podrá manejar y controlar el estado general de la planta y de cada equipo en particular. Este panel de control estará gobernado por la CPU.

El panel de control incorpora un esquema simplificado de la planta, donde se representan:

- Señales de alarma.
- Indicadores de paro/funcionamiento de todos los equipos de la planta (bombas, depósitos, válvulas).
- Indicadores de posición de los elementos.
- Indicadores de capacidad.
- Otros indicadores.

Gracias a los indicadores digitales, se podrá controlar la evolución de determinadas variables como:

- Caudales de alimentación, permeado y rechazo del bastidor de ósmosis inversa.
- Presiones de alimentación, permeado y rechazo del bastidor de ósmosis inversa.
- Conductividad del permeado.
- Temperatura del agua a la entrada del bastidor de ósmosis inversa.
- Turbidez del agua a la salida de los filtros.

2. IMPACTO AMBIENTAL Y ESTUDIO ECONÓMICO

1. Introducción

De acuerdo con el Convenio Internacional MARPOL, Anexo VI, capítulo 4, regla 22, todos los buques de arqueo bruto superior a 400 y que realicen viajes internacionales, deberán tener disponible a bordo un plan de gestión de eficiencia energética del buque (SEEMP). Este plan establece los mecanismos para que los buques mejoren la eficiencia de la energía durante sus operaciones.

Asimismo la regla 20 del citado capítulo, establece que se calculará el Índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI) para los buques nuevos.

El EEDI es una medida técnica que tiene como objetivo promover el uso de energía más eficiente (menos contaminantes) en equipos y motores.

La Resolución MEPC.212 (63) dicta unas directrices sobre el método de cálculo del Índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI) obtenido para los buques nuevos.

2. Resultados obtenidos

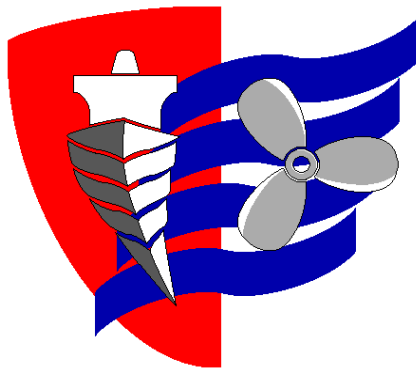
Basándose en las directrices de la Resolución MEPC.212 (63), en este Capítulo se muestra una tabla resumen con los resultados obtenidos en el Documento nº 2, del cálculo de las emisiones de CO₂ debidas a los equipos asociados a la planta de tratamiento (sólo se han tenido en cuenta las cargas de las bombas), así como el coste por m³ de agua potable producida.

Descripción	Resultado
Potencia de la carga (P_L)	495 kW
Energía eléctrica diaria consumida (E_{CD})	11.880 kWh/d
Consumo eléctrico diario de los generadores ($C_{aux_{elec}}$)	178,94 g/kWh _{elec}
Consumo de combustible diario (C_{CD})	2,126 T/d
Coste de combustible (C_c)	610,93 €/d
Factor emisión CO ₂ (FE)	3,114 T _{CO2} /T _{cble}
Emisión diaria CO ₂ (E_{DCO2})	6,62 T _{CO2} /d
Emisión específica de CO ₂ /m ³ agua producida (E_{ECO2})	4,41 · 10 ⁻³ T _{CO2} /m ³
Energía eléctrica específica consumida/m ³ agua producida (E_{EE})	7,92 kWh/d
Coste específico/m ³ agua producida (C_E)	0,40 €/m ³

Tabla 14.- Cuadro resumen

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



**DOCUMENTO N° 2 CÁLCULOS Y
PLANOS**

DOCUMENTO Nº 2 CÁLCULOS Y PLANOS

1. CÁLCULOS

1.1. Producción agua potable

El agua potable será producida por una planta de ósmosis inversa y se almacenará en los tanques de agua potable.

El agua destilada destinada a los equipos de la cámara de máquinas, tales como los motores principales y auxiliares, depuradoras, etc., será producida por los generadores de agua dulce (evaporadores) y se almacenará en los tanques de agua destilada.

1.1.1. Sistema de producción de agua potable

La planta de ósmosis inversa generará agua potable para los siguientes consumos:

- Servicios sanitarios (lavabos, duchas, bañeras, retretes, urinarios).
- Limpieza.
- Cocinas, restaurantes, bares y comedores.
- Piscinas, jacuzzi y sauna.

La planta de ósmosis inversa deberá ser capaz de suministrar agua potable suficiente para cubrir la demanda total del buque.

Teniendo en cuenta los valores guía para el consumo de agua potable en litros por persona/cama día reflejados en la Tabla A.1 de la Norma UNE-EN ISO 15748 – 2, para un crucero de lujo equipado con sistema de aseos de vacío, el consumo total de agua potable sería:

- Consumo humano: $\text{Personas} \cdot 275 = 4890 \text{ personas} \cdot 275 \text{ l/persona día} = 1.344.750 \text{ l/}.$

La capacidad de la planta de ósmosis debería ser: 1.344.750 litros/día, sin embargo, estimando las pérdidas (incluyendo el factor de ensuciamiento de las membranas) en un 10% del consumo total:

- Pérdidas: 10% capacidad total = 134.475 l/d.

Por tanto el caudal total de la planta de ósmosis inversa (Q_{OI}) debe ser:

- $Q_{OI} = 1.344.750 \text{ l/d} + 134.475 \text{ l/d} = 1.479.225 \text{ l/d}$.

La planta de tratamiento de agua potable de ósmosis inversa deberá producir al día 1.480.000 litros al día (1.500 T/d) de agua potable.

1.2. Capacidad tanques agua potable

La capacidad de los tanques de agua potable (V_{AP}) será la suficiente para suministrar agua potable para al menos 4 días.

Esta capacidad está basada en las necesidades de los diferentes consumidores. Se ha calculado un consumo humano de agua potable de 1.344.750 litros/día, por tanto el consumo de agua durante 4 días será:

- $1.344.750 \text{ l/d} \cdot 4 \text{ d} = 5.379.000 \text{ litros}$.

La combinación de la capacidad de bombeo y de almacenaje de cualquier tanque no será inferior al 95% de la capacidad máxima permitida. Por tanto la capacidad de los tanques de agua potable será:

- $V_{AP} = 5.379.000 / 0.95 = 5.662.105,3 \text{ litros} = 5.700 \text{ m}^3$.

1.3. Consumo agua potable

1.3.1. Caudal punta (máximo consumo de agua)

En este proyecto se va a emplear para el cálculo del máximo caudal instantáneo probable (Q_p) o caudal punta, el Método del Factor de Simultaneidad que es un método semiempírico.

El caudal punta (Q_p), expresado en litros por segundo, es el dato base para el cálculo del sistema de agua sanitaria, ya que éste debe estar dimensionado precisamente para esa circunstancia puntual.

Este concepto responde a la pregunta de cuantos aparatos consumidores de agua potable, pueden estar abiertos simultáneamente en un cierto momento.

Para la obtención del caudal punta (Q_p) se hace preciso establecer los caudales de los aparatos instalados, sumarlos y, posteriormente, multiplicar los resultados por un coeficiente de simultaneidad (K_p).

Entonces Q_p será:

$$Q_p = K_p \cdot Q_{min} \text{ [Ec. 1]}$$

Siendo Q_{min} el caudal instantáneo mínimo, que se define como el caudal que debe suministrarse a cada uno de los aparatos consumidores, con independencia del estado de funcionamiento.

1.3.2. Caudal instantáneo mínimo

El caudal instantáneo mínimo es un valor empírico, expresado normalmente en litros por segundo, establecido por la experiencia y reflejado en las recomendaciones de distintas normas y publicaciones especializadas.

Los valores guía para el caudal de cálculo de agua potable (caudal instantáneo mínimo) en los puntos de servicio estándar, se indican en la Tabla A.12 de la Norma UNE-EN ISO 15748 – 2, que se muestra en la Fig.1.

Asimismo la Sociedad de Clasificación de buques RINA, considera los consumos, indicados en la Fig.2, de los principales aparatos instalados a bordo de un buque de pasaje.

Tabla A.12
Valores guía para las presiones de flujo mínimo y caudal de cálculo
de agua potable en los puntos de servicio estándar

Presión de flujo mínimo <i>P_{min}</i> bar	Tipo de punto de servicio de agua potable	Caudal de cálculo para el consumo de		
		Agua mezclada ^a		Agua potable fría o caliente solamente
		<i>Q_R</i> fría l/s	<i>Q_R</i> caliente l/s	<i>Q_R</i> l/s
0,5	Válvulas de salida			
0,5	sin globo ^b DN 15	—	—	0,30
0,5	 DN 20	—	—	0,50
0,5	 DN 25	—	—	1,00
1,0	con globo DN 10	—	—	0,15
1,0	 DN 15	—	—	0,15
1,0	Boquillas de ducha para limpieza DN 15	0,10	0,10	0,20
1,2	Válvula para baldeo del retrete DN 15	—	—	0,70
1,2	Válvula para baldeo del retrete DN 20	—	—	1,00
0,4	Válvula para baldeo del retrete DN 25	—	—	1,00
1,0	Válvula para urinarios DN 15	—	—	0,30
1,0	Lavavajillas doméstico DN 15	—	—	0,15
1,0	Lavadora doméstica DN 15	—	—	0,25
—	Máquinas y aparatos de la zona de abastecimiento (datos de acuerdo con el fabricante) DN...	—	—	—
1,0	Llaves mezcladoras			
1,0	Platos de ducha DN 15	0,15	0,15	—
1,0	Bañeras DN 15	0,15	0,15	—
1,0	Fregaderos de cocina DN 15	0,07	0,07	—
1,0	Lavabos de pedestal DN 15	0,07	0,07	—
1,0	Bidets DN 15	0,07	0,07	—
1,0	Lavapiés DN 15	0,07	0,07	—
1,0	Llaves mezcladoras DN 20	0,30	0,30	—
0,5	Tanques para el baldeo de retretes DN 15	—	—	0,13
1,5	Aseo de vacío DN 15	—	—	0,30
1,0	Caldera eléctrica de agua DN 15	—	—	0,10
NOTA — Para los puntos de suministro y aparatos no incluidos en esta lista y que sean del mismo tipo de los que figuran pero con mayores flujos o presiones de flujo mínimo que los que se dan aquí, se deben tener en cuenta los datos suministrados por el fabricante al determinar el diámetro requerido de tuberías.				
^a Los caudales de cálculo para la salida de agua mezclada están basados en 15 °C para el agua potable fría y en 60 °C para la caliente.				
^b Para las válvulas de salida sin globo y con mangueras y dispositivos conectados, se ha incluido en la presión de flujo mínimo un valor estándar de la pérdida de presión en la línea de mangueras (hasta 10 m) y en los aparatos conectados (por ejemplo un limpiador de alta presión). En este caso, se incrementa la presión de flujo mínimo entre 1 bar y 1,5 bar.				

Fig.1.- Tabla A.12 Norma UNE-EN ISO 15748 – 2.

POTABLE WATER SYSTEM

MAIN ASSUMPTIONS FOR THE CALCULATION OF RISERS

THE CALCULATION OF RISERS AND RINGS ARE PERFORMED UTILIZING FOLLOWING FACTORS :

- washbasin	0.15	lt/sec
- shower	0.25	lt/sec
- bath's taps	0.35	lt/sec
- toilet flushing (c.w. only)	0.15	lt/sec
- toilet (1 w. basin + 1 shower + 1 W.C.)	0.20	lt/sec *
- toilet (1 w. basin + 1 shower + 1 W.C. + 1 b.t.)	0.25	lt/sec *
- pantries	0.75	lt/sec
- public toilets	0.75	lt/sec
- landromat	1.50	lt/sec
-CONTEMPORANEITY FACTOR : CF	50 %	
-COLD F.W. + HOT F.W. : RF	50 % + 50 %	
-SINGLE RETURN - COLD WATER	0.50	mc/h
-SINGLE RETURN - HOT WATER	0.50	mc/h

* AVERAGE VALUE FOR THE TOILET ROOM ASSUMED AS CONSUMPTION ONLY (NOT FOR PIPE SIZING)

Fig.2.- Consumos de agua estimados en un buque de pasaje por la Sociedad de Clasificación RINA.

Dado que hay otros equipos consumidores instalados a bordo que no aparecen reflejados en las tablas anteriores, para calcular el caudal punta se tendrá también en cuenta el Documento Básico de Salubridad sección HS-4, Suministro de Agua, donde según el punto 2.1.3. el caudal instantáneo mínimo para cada tipo de aparato será:

Tipo de Aparato	Caudal instantáneo mínimo de agua fría	Caudal instantáneo mínimo de ACS
	[dm ³ /s]	[dm ³ /s]
Lavamanos	0,05	0,03
Lavabo	0,10	0,065
Ducha	0,20	0,10
Bañera ≥ 1,40 m	0,30	0,20
Bañera < 1,40 m	0,20	0,15
Bidé	0,10	0,065
Inodoro con cisterna	0,10	-
Inodoro con fluxor	1,25	-
Urinarios con grifo temporizado	0,15	-
Urinarios con cisterna (c/u)	0,04	-
Fregadero doméstico	0,20	0,10
Fregadero no doméstico	0,30	0,20
Lavavajillas doméstico	0,15	0,10
Lavavajillas industrial (20 servicios)	0,25	0,20
Lavadero	0,20	0,10
Lavadora doméstica	0,20	0,15
Lavadora industrial (8 kg)	0,60	0,40
Grifo aislado	0,15	0,10
Grifo garaje	0,20	-
Vertedero	0,20	-

NOTA.- Para aparatos de consumo no incluidos en esta tabla (hidromasajes, etc.) el fabricante debe facilitar el caudal mínimo instantáneo, y en su caso, la presión mínima para su correcto funcionamiento.

Fig.3.- Documento Básico de Salubridad sección HS-4, Suministro de Agua.

Como se puede observar los valores de los caudales instantáneos aunque no son coincidentes son muy similares.

1.3.3. Cálculo caudales

Hipótesis de las que se parte para realizar el cálculo:

A. El consumo de agua potable depende, fundamentalmente, del número de camarotes y del tipo de servicio sanitario de cada camarote, en este caso:

- Camarotes pasajeros: 1508, de los cuales 1438 son sencillos y 70 de lujo.
- Camarotes tripulantes: 610, de los cuales 580 son sencillos y 30 de lujo.

Tipo y número de camarotes			
Tipo camarote	Ud. Lujo	Ud. Sencillo	Total
Pasajeros	70	1438	1508
Tripulantes	30	580	610

Tabla 1. Tipo y número de camarotes.

B. Para el cálculo del consumo de agua de las unidades de aseo, se tomarán los valores indicados por la Sociedad de Clasificación RINA:

- La unidad de aseo estándar (camarote sencillo): 0,20 l/s.
Incluirá: 1 lavabo, 1 plato de ducha y 1 retrete de vacío.
- La unidad de aseo con bañera (camarote lujo): 0,25 l/s.
Incluirá: 1 lavabo, 1 plato de ducha, 1 bañera y 1 retrete de vacío.
- El número de retretes, urinarios y aseos de los baños públicos para 5000 personas, calculándolos de acuerdo con las tablas D.1 y D.2 de la Norma UNE-EN ISO 15748 – 2, serán:
 - WC señoras: 60. Consumo por unidad: 0,15 l/s.
 - WC caballeros: 16. Consumo por unidad: 0,15 l/s.
 - Urinarios caballeros: 22. Consumo por unidad: 0,04 l/s.
 - Lavabos: 1 por cada 3 aparatos (retretes y urinarios): 32.
Consumo por unidad: 0,15 l/s.

Tipo consumidor	Consumo (l/s)	Ud. Instalados	Observaciones	Referencia
Camarotes				
Camarote sencillo	0,20		1 lavabo, 1 plato de ducha y 1 retrete de vacío.	RINA
Camarote lujo	0,25		1 lavabo, 1 plato de ducha, 1 bañera y 1 retrete de vacío	RINA
Aseos				
WC Señoras	0,15	60		UNE
WC Caballeros	0,15	16		UNE
Urinarios	0,04	22		UNE
Lavabos	0,15	32	1 por cada 3 aparatos (retretes y urinarios)	UNE
Lavandería				
Lavadoras tripulantes	0,6	37		Documento Básico de Salubridad
Lavandería pasaje	1,50	10		RINA
Cocinas				
Fregaderos	0,30	50		Documento Básico de Salubridad
Lavaplatos	0,25	50		Documento Básico de Salubridad

Tabla 2. Cálculo del consumo de agua.

C. Lavandería:

- Lavadoras para tripulantes (se ha considerado una lavadora por cada 30 tripulantes): 37. Consumo por unidad: 0,60 l/s.
- Lavandería pasaje: 10. Consumo por unidad: 1,50 l/s.
Contratación de lavado a una empresa externa.

D. Cocinas:

- Fregaderos: 50. Consumo por unidad: 0,30 l/s.
- Lavaplatos: 50. Consumo por unidad: 0,25 l/s.

E. Piscinas:

No se ha incluido el consumo de agua dulce de las piscinas, ya que la renovación del agua se realizará durante la noche coincidiendo con el valor más bajo de caudal punta. Asimismo en caso de déficit de agua dulce, se contempla en el sistema de llenado de las piscinas la posibilidad de llenarlas con agua salada, en cuyo caso el consumo de agua dulce sería cero.

F. Jacuzzi y saunas:

Por carecer de datos del caudal instantáneo mínimo de estos equipos no se han incluido en el cálculo.

Cálculo caudal máximo

La condición de pico máximo de consumo de agua, teniendo en cuenta los siguientes factores de simultaneidad, será:

a) Camarotes 50% de los siguientes consumidores:

Tabla 3. Cálculo consumo máximo agua camarotes			
Consumidor	Número Ud. Instaladas	Consumo instantáneo (l/s)	Caudal total i (l/s)
Aseo estándar	2018	0,20	403,6
Aseo con bañera	100	0,25	25
			428,6

$$428,6 \text{ (l/s)} \cdot 0,5 = 214,3 \text{ l/s.}$$

b) 50% de los siguientes consumidores:

Tabla 4. Cálculo consumo máximo agua varios consumidores			
Consumidor	Número Ud. Instaladas	Consumo instantáneo (l/s)	Caudal total i (l/s)
Lavadoras tripulantes	37	0,60	22,2
Lavandería pasaje	10	1,50	15
Fregaderos	50	0,30	15
Lavaplatos	50	0,25	12,5
			64,7

$$64,7 \text{ (l/s)} \cdot 0,5 = 32,35 \text{ l/s.}$$

c) 25% de los siguientes consumidores:

Tabla 5. Cálculo consumo máximo agua baños públicos			
Consumidor	Número Ud. Instaladas	Consumo instantáneo (l/s)	Caudal total i (l/s)
WC señoras	60	0,15	9
WC caballeros	16	0,15	2,4
Urinarios caballeros	22	0,04	0,88
Lavabos	32	0,15	4,8
			17,08

$$17,08 \text{ (l/s)} \cdot 0,25 = 4,27 \text{ l/s.}$$

$$\text{Consumo máximo de agua} = (214,3 + 32,35 + 4,27) \text{ l/s} = 250,92 \text{ l/s.}$$

1.4. Dimensionamiento bombas agua potable

El sistema de agua potable proporciona un suministro continuo de agua potable desde los tanques de agua potable al sistema de agua potable fría, sistema de agua potable caliente y, cuando es necesario, para la línea de llenado y trasiego de agua.

De acuerdo con las Normas UNE-EN ISO 15748 – 1 y 2:

- El suministro de agua potable será directo, es decir, mediante bombas centrífugas. Siendo este sistema el más adecuado si se consumen grandes cantidades de agua potable por hora.
- El dimensionamiento de la capacidad de la bomba debe ser tal que quede todavía suficiente caudal de flujo cuando el consumo de agua sea máximo.

- Para los proyectos de una alta proporción de puntas de consumo, como es el caso que nos ocupa se recomienda la instalación de dos o más bombas de suministro.
- La presión de flujo mínimo de suministro en el punto de distribución más alto será de 1,5 bar.

1.4.1. Caudal

El caudal de las bombas se determinará calculando la condición de pico máximo de consumo de agua obtenido en el apartado 1.3.3, teniendo en cuenta que las bombas de suministro se dimensionarán para el 110 % del pico máximo de consumo de agua.

Por tanto la capacidad de las bombas será:

$$Q = 250,92 \text{ (l/s)} \cdot 1,10 = 276 \text{ l/s}$$

$$Q = 276 \text{ (l/s)} \cdot 3.600 \text{ (s/h)} \cdot 1/1.000 \text{ (l/m}^3\text{)} = 993,64 \text{ m}^3/\text{h}.$$

El sistema de agua potable fría incluirá 3 bombas centrífugas y el caudal estimado de cada bomba será de 500 m³/h, de tal forma que una estará en servicio, la segunda bomba estará en stand-by (reserva) para asumir un pico de demanda de agua, y la tercera bomba entrará en servicio por muy baja presión en el sistema, debido a fallo de cualquiera de las otras dos bombas.

1.4.2. Presión

El cálculo de la presión de descarga de las bombas se obtiene aplicando la Ecuación de Bernoulli :

$$p + \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 = cte \text{ [Ec. 2]}$$

$$p_0 + \rho gh_0 + \frac{1}{2}\rho v_0^2 = p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2$$

Siendo:

p_0 , la presión de descarga de la bomba;

ρ , la densidad del agua (1.000 kg/m³);

g , la gravedad (9,81 m/s²);

h_0 , la altura en el punto 0; se considera que las bombas se encuentran en la misma cubierta que los tanques de agua potable.

h_1 , distancia vertical desde el fondo de los tanques de agua potable (punto 0) hasta el consumidor situado en la cubierta más alta (48 m).

v_0 y v_2 , la velocidad del agua que se considera constante.

p_1 , la presión mínima en el punto de distribución más alto (1,5 bar = $1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 1,5 \cdot 10^5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$).

Despejando p_0 :

$$p_0 = p_1 + \rho g h_1$$

$$p_0 = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Pa} + 1.000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 48 \text{ m}$$

$$p_0 = 620.880 \text{ Pa} = 6,2 \text{ bar.}$$

A la presión obtenida p_0 hay que añadir un término de pérdidas, es decir, las pérdidas de carga (P_c) del agua a su paso por las tuberías y accesorios (válvulas, codos).

Las pérdidas de carga P_c se pueden estimar en un 10-15% de h_1 .

Tomando un 15%, se obtiene:

$$P_c = 7,2 \text{ m} = 70.560 \text{ Pa} = 0,7 \text{ bar.}$$

Por tanto la presión de descarga de las bombas deberá ser al menos de:

$$p = p_0 + P_c = 6,2 + 0,7 = 6,9 \text{ bar.}$$

1.5. Diseño sistema ósmosis inversa

Los datos de partida para el diseño del sistema de ósmosis inversa son:

- Caudal de permeado requerido, $Q_p = 1.500 \text{ T/día} = 62,5 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Configuración rechazo en serie.
- Factor de recuperación, $Y = 45\%$.

- Tipo de membrana seleccionada fabricante Toray: TM820M-400 (tabla 2).
- Temperatura agua de mar, $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
- TDS = 35.000 ppm.
- SDI < 5.

Las características del agua de mar consideradas para los cálculos de ósmosis inversa se muestran en la siguiente tabla:

COMPOSICIÓN		CONCENTRACIÓN (mg/L)
IONES	Bario (Ba^{+2})	0,05
	Bicarbonato (HCO_3^{-1})	152
	Bromo (Br^{-1})	65
	Calcio (Ca^{+2})	410
	Cloro (Cl^{-1})	19.700
	Flúor (F^{-1})	1,4
	Hierro (Fe^{+2})	<0,02
	Magnesio (Mg^{+2})	1.310
	Manganeso (Mn^{+2})	<0,01
	Nitrato (NO_3^{-1})	<0,7
	Potasio (K^{+1})	390
	Sílice (SiO_2)	0,04 - 8
	Sodio (Na^{+1})	10.900
	Estroncio (Sr^{+2})	13
	Sulfato (SO_4^{-2})	2.740
TDS		35.681,4
pH		8,1

Tabla 6. Composición estándar agua de mar (Technical Manual Reverse Osmosis Membrane, CSM).

TORAY

Innovation by Chemistry

Standard SWRO

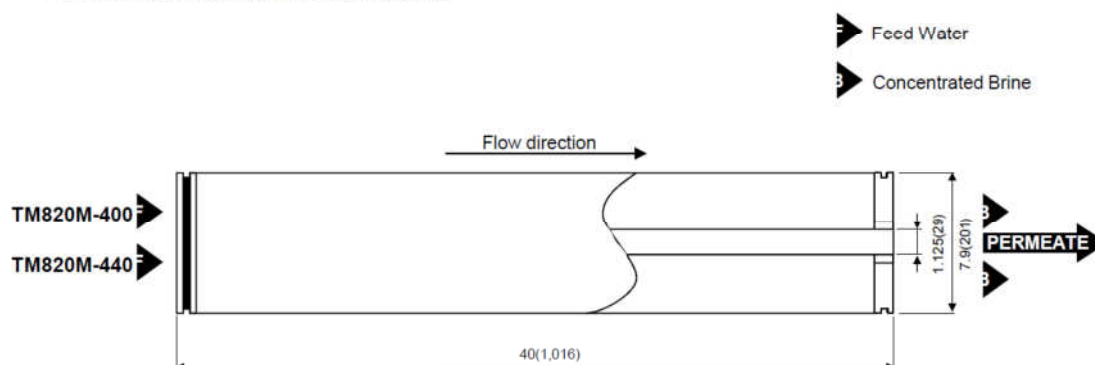
TM800M

Type	Diameter Inch	Membrane Area ft ² (m ²)	Salt Rejection %	Product Flow Rate gpd(m ³ / d)	Feed Spacer Thickness mil
TM820M-400	8"	400(37)	99.8	7,000(26.5)	34
TM820M-440	8"	440(41)	99.8	7,700(29.2)	28

1. Membrane Type		Cross Linked Fully Aromatic Polyamide Composite
2. Test Conditions	Feed Water Pressure Feed Water Temperature Feed Water Concentration Recovery Rate Feed Water pH	800 psi(5.52MPa) 77° F(25°C) 32,000 mg/l NaCl 8% 7
3. Minimum Salt Rejection		99.5%
4. Minimum Product Flow Rate		5,600gpd(21.0m ³ /d)(TM820M-400) 6,200gpd(23.5m ³ /d)(TM820M-440)
5. Boron Rejection (typical value)		95% at pH 8 (5mg/l Boron added to Feed water)

Dimensions

All dimensions shown in Inches (millimeter).



Operating Limits

Maximum Operating Pressure	1200psi (8.3 MPa)
Maximum Feed Water Temperature	113° F (45°C)
Maximum Feed Water SDI ₁₅	5
Feed Water Chlorine Concentration	Not detectable
Feed Water pH Range, Continuous Operation	2-11
Feed Water pH Range, Chemical Cleaning	1-12
Maximum Pressure Drop per Element	15 psi (0.10 MPa)
Maximum Pressure Drop per Vessel	50 psi (0.34 MPa)

Tabla 7. Características membrana Toray TM820M-400

1.5.1. Caudales de diseño

Balance de materia del sistema de ósmosis inversa:

- Balance de disolvente: $Q_a = Q_p + Q_r$ [Ec. 3]
- Balance de soluto: $Q_a \cdot C_a = (Q_p \cdot C_p) + (Q_r \cdot C_r)$ [Ec. 4]

Conversión :

$$y = \frac{Q_p}{Q_a} \text{ [Ec. 5]}$$

Por tanto el valor de Q_a es:

$$Q_a = \frac{1.500 \text{ T/día}}{0,45} = 3.333,33 \text{ T/día} = 138,89 \text{ m}^3/\text{h}$$

Y el de Q_r :

$$Q_r = Q_a - Q_p = 3.333,33 - 1.500 = 1.833,33 \text{ T/día} = 76,39 \text{ m}^3/\text{h}$$

CAUDALES	m ³ /h
Alimentación (Q_a)	138,89
Permeado (Q_p)	62,5
Rechazo (Q_r)	76,39

Tabla 8. Caudales de diseño.

1.5.2. Concentración de rechazo y permeado

Conocidos los caudales se puede determinar la concentración en sales del permeado, calculando previamente la concentración de rechazo.

Concentración de rechazo:

$$C_r = R \cdot \frac{C_a}{1 - Y} \text{ [Ec. 6]}$$

De la tabla 6 se obtienen los valores de concentración (C_a) de cada componente del agua de mar y en la tabla 7, se establece que el valor del factor de rechazo de sales (R) es del 99,8%.

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$C_r = 0,998 \cdot \frac{C_a}{1 - 0,45}$$

IONES	C _r (mg/L)
Bario (Ba ⁺²)	-
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻¹)	275,81
Bromo (Br ⁻¹)	117,94
Calcio (Ca ⁺²)	743,96
Cloro (Cl ⁻¹)	35.746,54
Flúor (F ⁻¹)	2,54
Hierro (Fe ⁺²)	-
Magnesio (Mg ⁺²)	2.377,05
Manganeso (Mn ⁺²)	-
Nitrato (NO ₃ ⁻¹)	1,27
Potasio (K ⁺¹)	707,67
Sílice (SiO ₂)	-
Sodio (Na ⁺¹)	19.778,54
Estroncio (Sr ⁺²)	23,59
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	4971,85
TDS	64.746,76

Tabla 9. Concentración rechazo

Concentración de permeado:

$$C_p = (1 - R) \cdot \frac{C_a + C_r}{2} [Ec. 7]$$

$$C_p = (1 - 0,998) \cdot \frac{C_a + C_r}{2}$$

IONES	C _r (mg/L)
Bario (Ba ⁺²)	-
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻¹)	0,428
Bromo (Br ⁻¹)	0,183
Calcio (Ca ⁺²)	1,154
Cloro (Cl ⁻¹)	55,45
Flúor (F ⁻¹)	-
Hierro (Fe ⁺²)	-
Magnesio (Mg ⁺²)	3,69
Manganeso (Mn ⁺²)	-
Nitrato (NO ₃ ⁻¹)	-
Potasio (K ⁺¹)	1,098
Sílice (SiO ₂)	-
Sodio (Na ⁺¹)	30,68
Estroncio (Sr ⁺²)	0,036
Sulfato (SO ₄ ⁻²)	7,71
TDS	100,43

Tabla 10. Concentración permeado.

1.5.3. Presión osmótica agua alimentación

Es importante conocer el valor de la presión osmótica (π) del agua de mar, ya que condiciona la presión de trabajo y, por tanto, el consumo de energía en el proceso.

$$\pi = 0,082 \phi (T + 273,16) \sum m_i \quad [Ec. 8]$$

Siendo:

π , presión osmótica en atm.;

ϕ , coeficiente osmótico; para agua de mar $\phi = 0,902$;

T, temperatura del agua en °C;

$\sum m_i$, suma de las molalidades de todos los componentes del agua de mar.

La molalidad de cada constituyente se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$mi = \frac{Ci}{1.000PMi \frac{10^6 - TDS}{10^6}} [Ec. 9]$$

Donde:

C_i , es la concentración del componente "i" del agua de mar expresada en mg/l (tabla 6);

PM_i , es el peso molecular del componente "i";

TDS, es el contenido en sales totales del agua de mar (alimentación), en mg/l (tabla 6).

Sustituyendo en la ecuación 9 se obtienen las molalidades de los distintos componentes del agua de mar:

COMPONENTES	MOLALIDAD (moles/1.000 g. agua)
Bario (PM=137,33)	-
Bicarbonato (PM=61,02)	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Bromo (PM=79,90)	$8,16 \cdot 10^{-4}$
Calcio (PM=40,08)	$10,2 \cdot 10^{-3}$
Cloro (PM=35,45)	0,5577
Flúor (PM=18,99)	-
Hierro (PM=55,85)	-
Magnesio (PM=24,30)	0,0541
Manganeso (PM=54,94)	-
Nitrato (PM=62)	-
Potasio (PM=39,10)	0,01
Sílice (PM=60,08)	-
Sodio (PM=22,99)	0,4758
Estroncio (PM=87,62)	$1,489 \cdot 10^{-3}$
Sulfato (PM=96,06)	0,0286
$\sum mi$	1,1412

Tabla 11.- Molalidad componentes agua alimentación.

Conocido el valor de $\sum m_i$ se puede calcular el valor de la presión osmótica del agua de mar [Ec. 8]:

$$\pi = 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 0,902(20 + 273,16)\text{K} \cdot 1,1412 \frac{\text{mol}}{\text{l}} = 24,74 \text{ atm}$$

$$\pi = 25,07 \text{ bar}$$

1.5.4. Cálculo del número de elementos total y cajas de presión necesarios

El flujo de diseño (J_V o GFD) de una membrana de ósmosis inversa es la cantidad de agua de permeado, que la membrana produce por pie cuadrado de superficie de membrana por día, expresada en GFD (galones por pie cuadrado y por día) o $\text{l/m}^2\text{h}$.

$$J_V(\text{GFD}) = \frac{Q_p}{N_E \cdot M_A} [\text{Ec. 10}]$$

Siendo:

J_V (GFD), flujo de diseño en $\text{l/m}^2\text{h}$;

Q_p , caudal de permeado en l/h ;

N_E , número de elementos de ósmosis inversa del sistema;

M_A , el área de membrana de cada elemento en m^2 .

De la tabla 12, se selecciona como flujo de diseño para el agua de mar 10 gfd.

Water Source	Recommended permeate flux
Waste water (SDI < 5)	8 ~ 12 gfd
Waste water pretreated by UF (SD < 3)	10 ~ 14 gfd
Seawater, open intake (SDI < 5)	7 ~ 10 gfd
High salinity well water (SDI < 3)	8 ~ 12 gfd
Surface water (SDI < 5)	12 ~ 16 gfd
Surface water (SDI < 3)	13 ~ 17 gfd
Well water (SDI < 3)	13 ~ 17 gfd
RO/UF permeate (SDI < 1)	21 ~ 30 gfd

Tabla 12.- Flujos de diseño recomendados para distintos tipos de agua, (Technical Manual Reverse Osmosis Membrane, CSM).

$$J_v = 10 \frac{gal}{ft^2 d} \cdot \frac{3,785 l}{1 gal} \cdot \frac{1 ft^2}{0,3048^2 m^2} \cdot \frac{1 d}{24 h} \approx 17 \frac{l}{m^2 h}$$

La membrana elegida TM820-400, tiene un área de 37 m² (tabla 7).

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación 10 y despejando N_E, se obtiene el número de elementos necesarios:

$$N_E = \frac{Q_p}{J_v \cdot M_A} = \frac{62,5 m^3/h \cdot 1.000 l/m^3}{17 \frac{l}{m^2 h} \cdot 37 m^2} = 99,36 \approx 100$$

$$N_E = 100$$

Las cajas de presión (N_v) contienen 6 elementos, por tanto el número de cajas de presión necesarias será:

$$N_v = \frac{N_E}{6} = \frac{100}{6} = 16,66 \approx 17$$

$$N_v = 17$$

1.5.5. Verificación de cálculos mediante software de simulación

Los cálculos del sistema de ósmosis inversa han sido comprobados con el programa de diseño y simulación: Toray Design 2, V2.0.1.42, verificándose el correcto dimensionamiento de la planta.

En el anejo I se realiza el análisis de los resultados y la verificación de los cálculos.

En los siguientes gráficos se muestran los resultados obtenidos.

Diseño de Sistemas de Toray 2.0

archivo Herramientas Configuración del proyecto Unidad Ayuda Guardar ahora

Inicio Proyecto Datos de alimentación: Diseño OI Informe

Sólidos Disueltos Totales:

Información sobre corriente:

Tipo de agua: Toma Abierta

Número de corrientes de ali... 1

Corriente de la alimentación... 1

Porcentaje de la corriente en... 100 %

Mostrar combinación

Parámetros de alimentación:

Temperatura: 20 deg C Caudal: 138,89m3/hr

pH: 8,10 TDS: 35777,909

Est nos 55,112 Establecer TDS como NaCl

Balance:

iones % Excess Anion: 0,000 %

Carga / Revisión Análisis Balance con NaCl

☒ AutoBalance Equilibrar con MgSO4

datos de solubilidad

Especies	% Saturación en Alimentación	Conc.
CaSO4	21,60	% of Max solubilidad
BaSO4	193,24	% of Max solubilidad
SrSO4	23	% of Max solubilidad
PO4	0	% of Max solubilidad
SiO2	0,0	% of Max solubilidad
CaF2	1,8	% of Max solubilidad

iones

Corriente actual: 1

iones	mg/l	mEq / L	ppm de CaCO3
Ca	410,00	20,4591	1023,87
Mg	1310,00	107,7968	5394,69
Na	10986,24	477,8744	23915,22
K	390,00	9,9749	499,20
Ba	0,0500	0,0007	0,04
Sr	13,0000	0,2967	14,85
NH4			
Fe			
Totales	13109,2859	616,4026	30847,8675

Aniones

iones	mg/l	mEq / L	ppm de CaCO3
HCO3	152,00	2,4911	124,67
CL	19705,54	555,8214	27816,08
SO4	2740,00	57,0467	2854,90
NO3			
F	1,40	0,0737	3,69
Br	65,00	0,8135	40,71
B			
SiO2			
PO4			
CO3	4,69	0,1562	7,82
CO2	1,38	0,0314	1,57
Totales	22668,6236	616,4026	30847,8686

Restablecer

Fig.4. Pantalla datos de alimentación.

Diseño de Sistemas de Toray 2.0

archivo Herramientas Configuración del proyecto Unidad Ayuda Guardar ahora

Inicio Proyecto Datos de alimentación: Diseño OI Informe

seleccionar

TM710, BWRO
TM720-370, BWRO
TM720-400, BWRO
TM720-430, BWRO
TM720-440, BWRO
TM720C-400, Low Press
TM720C-430, BWRO
TM720C-440, BWRO
D TM720DN-440, BWRO
D TM720DN-400, BWRO
TM720L-400, BWRO
TM720L-430, BWRO
TM720L-440, BWRO
TM720LN-400, BWRO
TM720N-400, BWRO
TM740-1760, BWRO
TM810, SWRO
D TM810C, SWRO
D TM810E, SWRO
TM810L, SWRO
D TM810S, SWRO
TM820-370, SWRO
TM820-400, SWRO
TM820A-370, SWRO
TM820A-400, SWRO
TM820A-440, SWRO
TM820C-370, SWRO
TM820C-400, SWRO

Pasar: 1 Total de etapas: 1 Etapa actual: 1 Elementos Totales en Et.: 102

Cajas de presión p... 17 Elementos por caj... 6 ☒ Todos los elementos ig ☒ Todas las etapas de la

Información del Elemento

High Boron Rej SWRO, high area, high flow

Elemento Edad: 0,00 Años Tipo de elemento: TM820R-400, SWRO

factor de ensucia... 0,978 aumento del paso de s... 7,00 % anual 0,00%

tipo	TM820R-400, SWRO	Presión bar	Cau... m3/hr
Diámetro, pul...	8,000	Recuperación...	37,16
	8,000	Rechazo sal...	99,8
		Caudal de Pe...	1,341
Presión m...	83,00	Presión de T...	55,20
		TDS de T...	32000

Factor de reajuste del FF y el SPT a los valores predeterminados según la edad y el tipo agua ☒ edad determina ensuciam ☐ ¿Edad misma? Ver Diagrama de Flujo Ver Etapa

Result: Diseño planta ósmosis inversa buque pasaje, Case 1, Rev. 2, Feed:138,9, Prod:62,5 m3/hr, TDS:144,6, 20,0 deg C, 10...

Item	4	10	14	30
Presión	0,0	56,38	1,000	55,77
Caudal	138,9	138,9	62,50	76,39
pH	8,100	8,100	5,967	8,255
TDS	35.777,91	35.777,91	144,6	64.930,26
CL	19.705,54	19.705,54	83,75	35.758,65
HCO3	152,0	152,0	0,824	274,6

Diagrama... Configu... selecci... Resultados Errores / Advertencias Diagrama de flujo Visión... Dosific... Desga... Presión

Presión

Marque la casilla junto a los pasos en los que desea especificar la presión. Para quitar, desactive la casilla.

☒ Paso 1 ☐ Paso 2

Contrapresión

Marque la casilla junto a las etapas en la que desea especificar la contrapresión de producto. Para quitar, desactive la casilla.

☐ Selecciona ☐ Deselecciona

☒ Etapa 1 ☐ Etapa 2

☐ Etapa 3 ☐ Etapa 4

☐ Etapa 5 ☐ Etapa 6

☐ Etapa 7 ☐ Etapa 8

☐ Etapa 9 ☐ Etapa 10

Presión booster

Marque la casilla junto a las etapas en la que desea especificar la presión de booster. Para quitar, desactive la casilla.

☐ Selecciona ☐ Deselecciona

☐ Etapa 1-2 ☐ Etapa 2-3

☐ Etapa 3-4 ☐ Etapa 4-5

☐ Etapa 5-6 ☐ Etapa 6-7

☐ Etapa 7-8 ☐ Etapa 8-9

☐ Etapa 9-10

Fig. 5. Datos membranas.

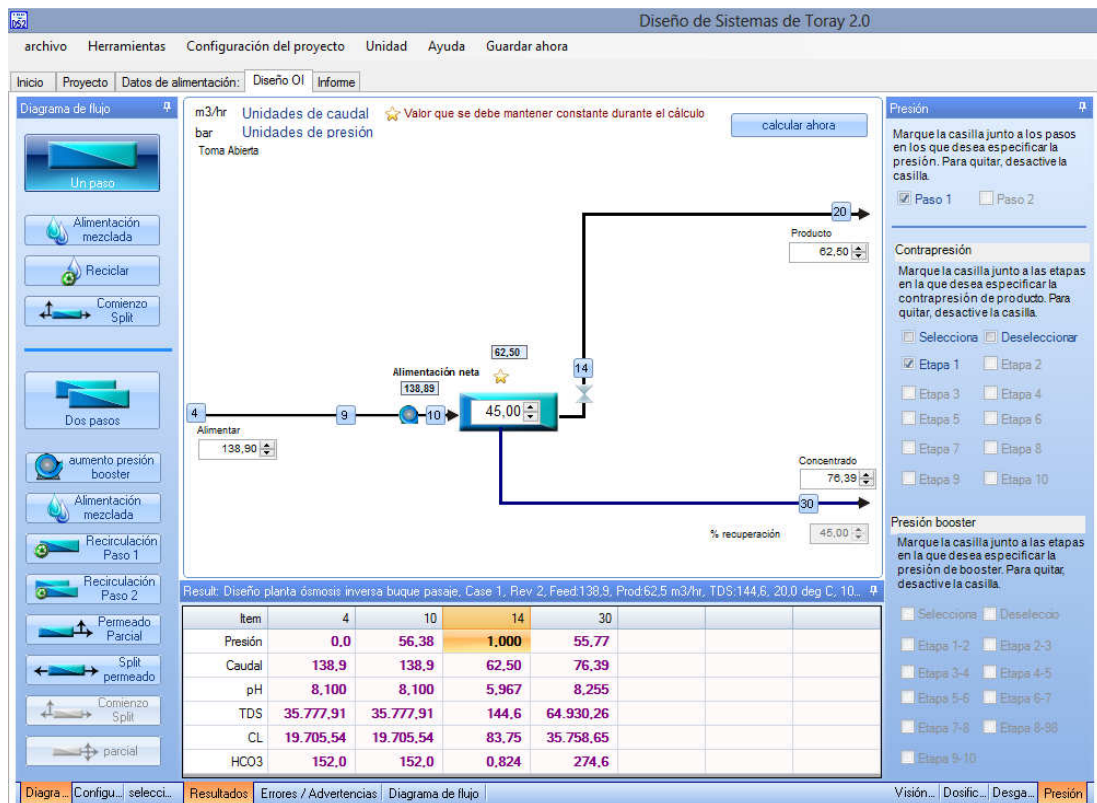


Fig. 6. Diagrama de flujo.

1.6. Cálculo potencia nominal bombas

1.6.1. Determinación de la potencia absorbida por las bombas

La potencia absorbida por una bomba centrífuga es la requerida por ésta en su acoplamiento o al eje de la máquina de accionamiento, potencia que se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{\rho \times Q \times H}{367 \times \eta_l} [Ec. 12]$$

Siendo:

- ρ , densidad del agua de mar en kg/dm^3 ;
- Q , caudal en m^3/h ;
- H , altura en metros;
- 367, constante;
- η_l , rendimiento de la bomba (dato estimado, ver tabla 13).
- Bomba alimentación agua de mar⁷

$$P = \frac{1,025 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 146 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot 2\text{m}}{367 \cdot 0,82} = 1 \text{ kW}$$

⁷ Los características de las bombas se han obtenido del apartado 1.6 del Documento nº 1.

- Bomba alta presión

$$P = \frac{1,025 \frac{kg}{dm^3} \cdot 146 \frac{m^3}{h} \cdot 552m}{367 \cdot 0,84} = 268 kW$$

- Bomba alimentación agua potable fría

$$P = \frac{1,025 \frac{kg}{dm^3} \cdot 500 \frac{m^3}{h} \cdot 70m}{367 \cdot 0,85} = 115 kW$$

- Bomba de trasiego de agua potable

$$P = \frac{1,025 \frac{kg}{dm^3} \cdot 20 \frac{m^3}{h} \cdot 20m}{367 \cdot 0,70} = 1,6 kW$$

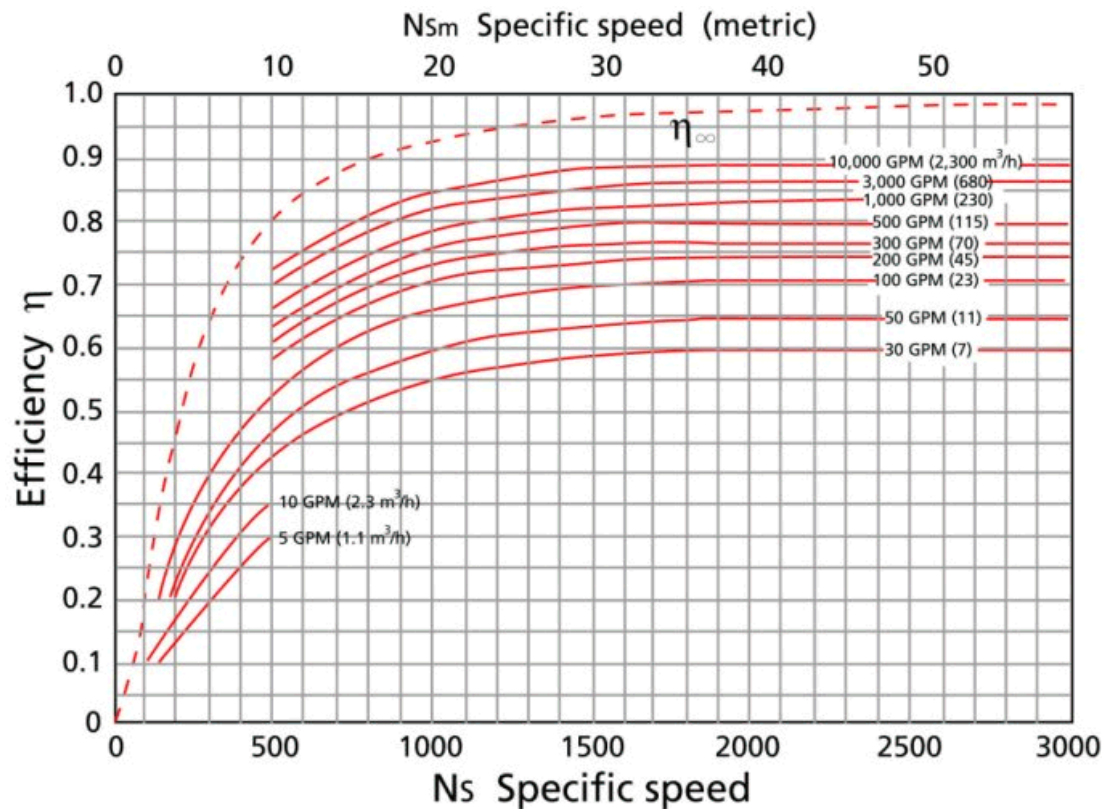


Tabla 13.- Valores de rendimiento para bombas centrífugas en función del caudal y r.p.m. (Pump Hanbook, McGraw Hill).

1.6.2. Determinación de la potencia del motor

Al seleccionar la potencia nominal del motor, se prevén los siguientes incrementos de la potencia absorbida por la bomba (*catálogo de bombas KSB: dimensionado de bombas centrífugas*):

- Hasta 7,5 kW, aproximadamente 20%.
- desde 7,5 hasta 40 kW, aproximadamente 15%.
- desde 40 kW, aproximadamente 10% .

Por tanto a la potencia absorbida por las bombas, determinada en el apartado anterior se le añadirán los siguientes incrementos de seguridad:

- Bomba alimentación agua de mar

$$P = 1 \text{ kW} \cdot 20\% = 1,2 \text{ kW}$$

- Bomba alta presión

$$P = 268 \text{ kW} \cdot 10\% = 294,8 \text{ kW}$$

- Bomba alimentación agua potable fría

$$P = 115 \text{ kW} \cdot 10\% = 126,5 \text{ kW}$$

- Bomba de trasiego de agua potable

$$P = 1,6 \text{ kW} \cdot 20\% = 1,92 \text{ kW}$$

1.7. Impacto ambiental y estudio económico

1.7.1. Potencia eléctrica

El Apéndice 2 de la Resolución MEPC.212 (63) contiene las directrices para crear el documento llamado "Cuadro de potencia eléctrica para el EEDI".

Siendo:

- P_r , potencia nominal de la carga.
- k_l , factor de servicio carga.
- k_d , factor de servicio trabajo.
- k_t , factor de servicio tiempo.
- k_v , factor de servicio uso ($k_v = k_l \cdot k_d \cdot k_t$).
- P_L , potencia de la carga ($P_L = k_v \cdot P_r$).

Id	Descripción	P _r (kW)	k _i ⁸	k _d ⁹	k _t ¹⁰	k _v	P _L (kW)
1	Bomba A.S.	1,2	0,8	1	1	0,8	0,96
2	Bomba alta presión	294,8	0,9	1	1	0,9	265,32
3	Bomba agua potable	126,2	0,9	2/3	1	0,6	75,72
4	Bomba agua potable	126,2	0,9	2/3	1	0,6	72,72
5	Bomba agua potable	126,2	0,9	2/3	1	0,6	72,72
6	Bomba trasiego	1,92	0,8	1/2	1	0,4	0,768
7	Bomba trasiego	1,92	0,8	1/2	1	0,4	0,768
							Σ=494.97

Tabla 13.- Cuadro de potencia eléctrica

1.7.2. Energía eléctrica diaria consumida (E_{CD})

$$E_{CD} = \sum P_L \cdot \text{Horas funcionamiento/día} \quad [\text{Ec. 13}]$$

$$E_{CD} = 495 \text{ kW} \cdot \frac{24\text{h}}{\text{día}} = 11.880 \text{ kWh/d}$$

1.7.3. Consumo eléctrico diario de los generadores (C_{aux_{elec}})

Se supone un régimen de funcionamiento del 85% de la potencia máxima continua (MCR). A este régimen, para el motor auxiliar se estima que el consumo de fuel es de 170g/kWh_{mec}.

$$C_{aux_{mec}} = 170 \text{ g/kWh}_{mec} \quad [\text{Ec. 14}]$$

Suponiendo un rendimiento del generador eléctrico igual al 95%, el consumo de fuel es:

$$C_{aux_{elec}} = \frac{C_{aux_{mec}}}{\eta} \text{ g/kWh}_{elec} \quad [\text{Ec. 15}]$$

$$C_{aux_{elec}} = \frac{170}{0,95} = 178,94 \text{ g/kWh}_{elec}$$

⁸ Se toma como reserva de potencia de las bombas el incremento de seguridad considerado en el apartado 1.6.2. del Documento nº 2.

⁹ Relación bombas en servicio/stand-by respecto al número total de bombas.

¹⁰ Régimen de funcionamiento (en navegación 24h/24h).

1.7.4. Consumo de combustible diario (C_{CD})

$$C_{CD} = C_{aux_{elec}} \cdot E_{CD} \text{ [Ec. 16]}$$

$$C_{CD} = 178,95 \text{ g/kWh}_{elec} \cdot 11.880 \text{ kWh/d} = 2,12 \cdot 10^6 \text{ g/d}$$

$$C_{CD} = 2,126 \text{ T/d}$$

1.7.5. Coste de combustible (C_C)

$$C_C = C_{CD} \cdot \text{precio}_{cble}^{11} \text{ [Ec. 17]}$$

$$C_C = 2,126 \text{ T/d} \cdot 287,364 \text{ €/T} = 610,93 \text{ €/d}$$

1.7.6. Factor emisión CO_2 (F.E)

De acuerdo con la tabla de valores de C_F de la Resolución MEPC.212 (63), se selecciona un valor de C_F para el IFO 380 (fuel oil pesado) que es el combustible consumido por los motores auxiliares con el buque en navegación.

Tipo de combustible	Referencia	Contenido de carbono	C_F (ton. de CO_2 /ton. de combustible)
1. Diésel/gasoil	ISO 8217 Grados DMX a DMB	0,8744	3,206
2. Fueloil ligero	ISO 8217 Grados RMA a RMD	0,8594	3,151
3. Fueloil pesado	ISO 8217 Grados RME a RMK	0,8493	3,114
4. Gas de petróleo licuado (GPL)	Propano	0,8182	3,000
	Butano	0,8264	3,030
5. Gas natural licuado (GNL)		0,7500	2,750

Tabla.14. Valor de C_F en función del tipo de combustible.

C_F es un factor de conversión adimensional entre el consumo de combustible (medido en g) y las emisiones de CO_2 (también medidas en g), basándose en el contenido de carbono.

$$F.E. = 3,114 \text{ } T_{CO_2} / T_{cble}$$

¹¹ De acuerdo con la página web: <http://www.bunkerindex.com/> a fecha 21/03/2015 se toma un precio aproximado de combustible FUEL IFO 380 de 311 \$/T (1 \$ equivale a 0,924 €).

1.7.7. Emisión diaria CO₂ (E_{DCO2})

$$E_{DCO2} = FE \cdot C_{CD} \text{ [Ec. 18]}$$

$$E_{DCO2} = 3,114 \frac{T_{CO2}}{T_{cble}} \cdot 2,126 \frac{T_{cble}}{d} = 6,62 \frac{T_{CO2}}{d}$$

1.7.8. Emisión específica de CO₂ por m³ de agua producida (E_{ECO2})

$$E_{ECO2} = \frac{E_{DCO2}}{Q} \text{ [Ec. 19]}$$

$$E_{ECO2} = \frac{6,62 \frac{T_{CO2}}{d}}{1500 \frac{T}{d}} = 4,41 \cdot 10^{-3} \frac{T_{CO2}}{T}$$

$$E_{ECO2} = \frac{6,62 \frac{T_{CO2}}{d}}{1500 \frac{T}{d}} = 4,41 \cdot 10^{-3} \frac{T_{CO2}}{T_{agua}}$$

$$E_{ECO2} = 4,41 \cdot 10^{-3} \frac{T_{CO2}}{m^3_{agua}}$$

1.7.9. Energía eléctrica específica consumida por m³ de agua producida (E_{EE})

$$E_{EE} = \frac{E_{CD}}{Q} \text{ [Ec. 20]}$$

$$E_{EE} = \frac{11.880 kWh/d}{1500 m^3/d} = 7,92 kWh/d$$

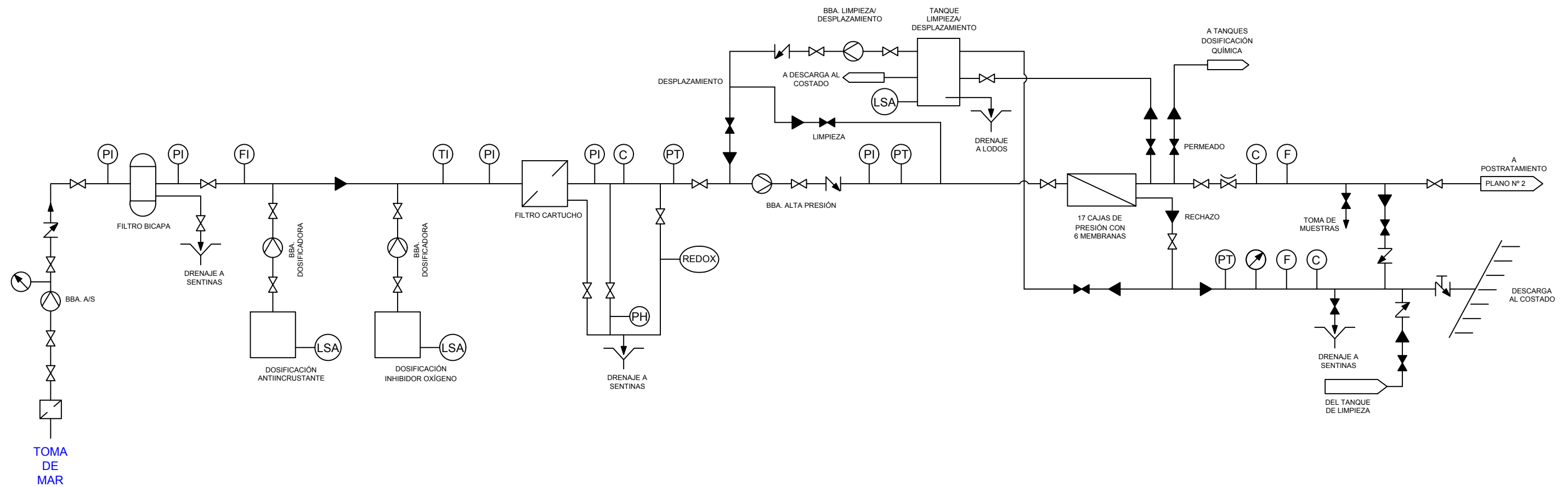
1.7.10. Coste específico por m³ de agua producida (C_E)

$$C_E = \frac{C_C}{Q} \text{ [Ec. 21]}$$

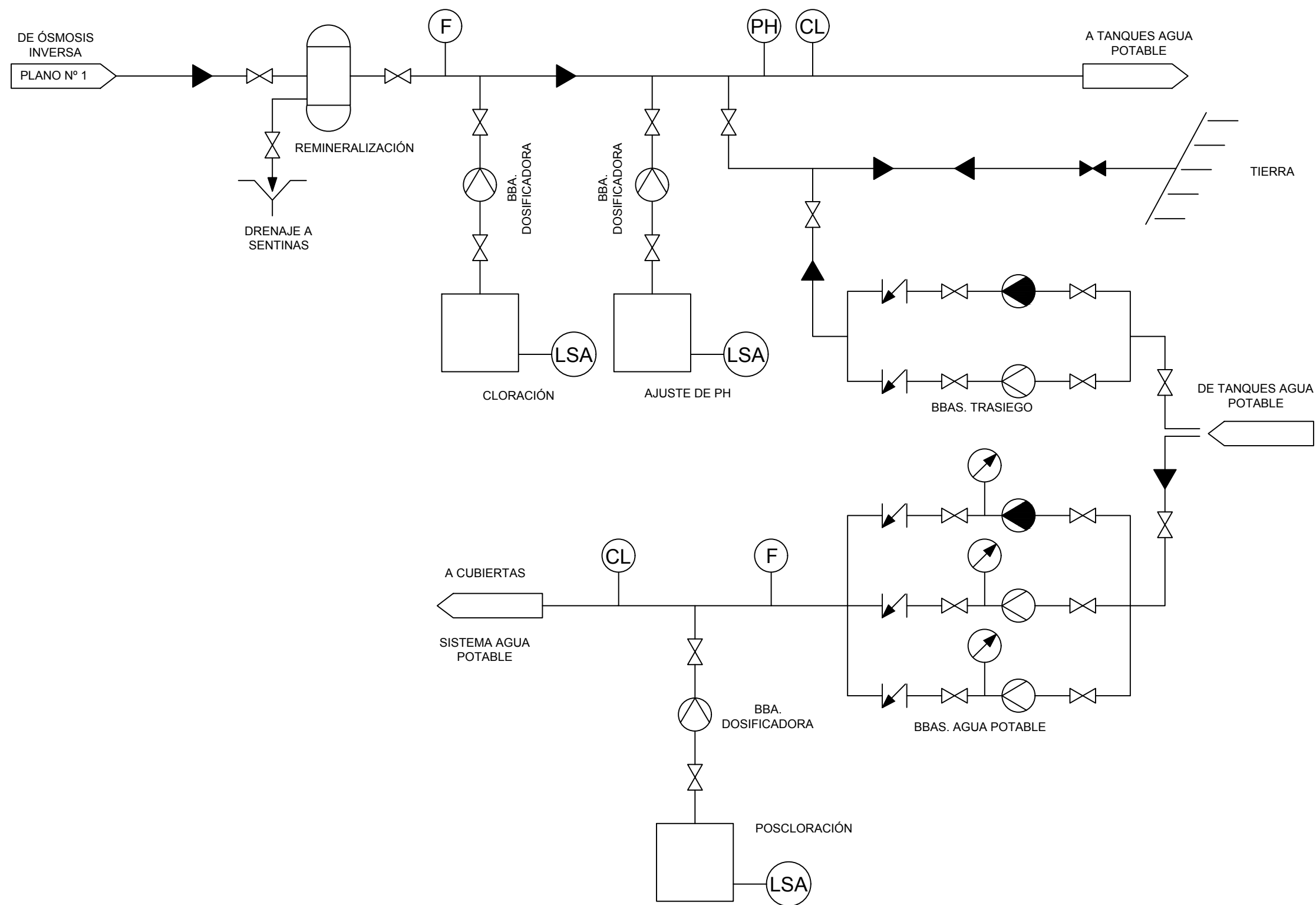
$$C_E = \frac{610,93 \text{ €/d}}{1500 m^3/d} = 0,40 \text{ €/m}^3$$

2. PLANOS

1. Pretratamiento y tratamiento del agua potable
2. Postratamiento del agua potable



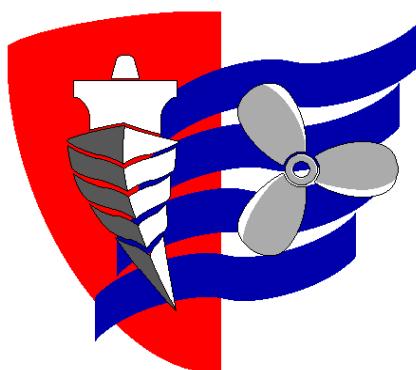
TITULO PROYECTO					
DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE POR ÓSMOSIS INVERSA PARA UN BUQUE DE PASAJE					
TITULO PLANO PRETRATAMIENTO Y TRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE		DIBUJADO:	REVISADO:	FECHA:	REV:
		SUSTITUYE:			
		Nº ARCHIVO:			
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA		ESCALA:	Nº PROYECTO:
				PLANO Nº: 1	



TITULO PROYECTO					
DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE POR ÓSMOSIS INVERSA PARA UN BUQUE DE PASAJE					
TITULO PLANO POSTRATAMIENTO DEL AGUA POTABLE		DIBUJADO:	REVISADO:	FECHA:	REV:
		SUSTITUYE:			
		Nº ARCHIVO:			
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA		ESCALA:	Nº PROYECTO:
				PLANO Nº: 2	

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



**DOCUMENTO N° 3 PLIEGO DE
CONDICIONES**

DOCUMENTO Nº 3 PLIEGO DE CONDICIONES

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

El presente pliego de condiciones tiene por objeto definir al astillero, el alcance de trabajo y la ejecución cualitativa del mismo.

Determina los requisitos a los que se debe ajustar el diseño y la ejecución de la planta de tratamiento de agua por ósmosis inversa referida en la memoria y en particular deberá cumplir lo dispuesto en la norma UNE 24042 “Contratación de Obras. Condiciones Generales”, siempre que no lo modifique el presente pliego.

1.1. Condiciones generales

El astillero está obligado al cumplimiento de la reglamentación del trabajo correspondiente, la contratación de un seguro obligatorio, seguro de enfermedad y todas aquellas reglamentaciones de carácter social vigentes o que en lo sucesivo se dicte.

Toda la equipación y elementos que se instalen deberán cumplir con la normativa vigente que les afecte.

A continuación se detallan los requisitos de los mandos y responsabilidades.

- Jefe de obra: el contratista dispondrá a pie de obra de un técnico cualificado, el cual ejercerá como jefe de obra, controlará y organizará los trabajos objeto del proyecto, siendo el interlocutor válido frente a la propiedad.
- Vigilancia: el contratista será el único responsable de la vigilancia de los trabajos que tenga contratados hasta su recepción provisional
- Limpieza: el contratista mantendrá en todo momento el recinto de la obra libre de la acumulación de materiales de desecho, desperdicios o escombros debiendo retirarlos a medida que estos se produzcan. El contratista estará obligado a eliminar adecuadamente y por su cuenta en un vertedero autorizado los desechos que se produzcan durante los trabajos a ejecutar.

Al abandonar el trabajo cada día deberá dejarse el puesto y las zonas de trabajo ordenadas.

Al finalizar la obra, esta se entregara completamente limpia, libre de herramientas andamiajes y materiales sobrantes.

Será por cuenta del contratista el suministro, la distribución y el consumo de todas las energías y fluidos provisionales que sean necesarios para el correcto y normal desarrollo de los trabajos objetos de su oferta.

- Subcontratación: el contratista podrá subcontratar parcialmente las obras contratadas, en todo caso el contratista responderá ante la dirección facultativa de la obra y la propiedad de la labor de sus subcontratistas como si fuese labor propia.

La propiedad podrá recusar antes la contratación, cualquiera de las subcontratas que el subcontratista tenga previsto utilizar, teniendo este la obligación de presentar nombres alternativos.

Durante la ejecución de las obras, la propiedad podrá recusar a cualquiera de los subcontratistas que no realice las obras adecuadamente, tanto en calidad como en plazo, lo que notificara por escrito al contratista. Éste deberá sustituir al subcontratista sin que dicho cambio pueda originar derecho a compensación alguna en cuanto a precio o plazo de obra.

1.2. Reglamentos y normas

Todas las unidades de obra se ejecutarán cumpliendo las prescripciones indicadas en los reglamentos de seguridad y normas técnicas de obligado cumplimiento para este tipo de instalación, así como todas las otras que se establezcan en la memoria descriptiva del mismo.

Se adaptarán, además, a las presentes condiciones particulares, que complementaran las indicaciones dictadas por los siguientes reglamentos y normas:

- Reglamentación General de Contratación (de las obras por ajuste o precio alzado) según Decreto 3410/75, del 25 de Noviembre.
- Ordenanzas Generales de Seguridad e Higiene en el Trabajo, aprobada por Orden del 9/3/71 del Ministerio de Trabajo.

- Ley 31/95 de Prevención de Riesgos laborales.
- Normas UNE.
- Normativa nacional e internacional marítima.
- Real Decreto 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- Recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud relativas al agua potable.
- Reglamento de la Sociedad de Clasificación.
- Real Decreto 2060/2008, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.
- Lo indicado en este Pliego de Condiciones con preferencia a todos los códigos

1.3. Materiales

Todos los materiales empleados serán de primera calidad. Cumplirán las especificaciones y tendrán las características indicadas en el proyecto y en las normas técnicas generales, así como las relativas a la conservación de los mismos atendiendo a las particularidades de un medio hostil como es el marino.

1.4. Recepción del material

El director de obra de acuerdo con el astillero dará a su debido tiempo su aprobación sobre el material suministrado y confirmará que permite una instalación correcta. La vigilancia y conservación del material suministrado será por cuenta del astillero.

1.4.1. Control de calidad

Correrá por cuenta del contratista el control de calidad de la obra de acuerdo a la legislación vigente. El control de la calidad comprenderá los siguientes aspectos:

- Control de materias primas.
- Control de equipos o materiales suministrados a obra.
- Calidad de ejecución de las obras (construcción y montaje).
- Calidad de la obra terminada (inspección y pruebas).

Todos los materiales deberán ser, como mínimo, de la calidad y características exigidas en los documentos del proyecto.

Si en cualquier momento durante la ejecución de las obras o durante el período de garantía, la dirección del proyecto detectase que algún material o unidad de obra no cumple con los requisitos de calidad exigidos, podrá exigir al contratista su demolición y posterior reconstrucción. Todos los costes derivados de estas tareas serán por cuenta del contratista, quien no tendrá derecho a presentar reclamación alguna por este concepto.

1.4.2. Muestras

El contratista deberá presentar para su aprobación, muestras de los materiales a utilizar con la antelación suficiente para no retrasar el comienzo de la actividad correspondiente, a la dirección del proyecto que tiene un plazo de tres días para dar su visto bueno o para exigir el cambio si la pieza presentada no cumpliera todos los requisitos. Si las muestras fueran rechazadas, el contratista deberá presentar nuevas muestras, de tal manera que el plazo de aprobación por parte de la dirección de obra no afecte al plazo de ejecución de la obra. Cualquier retraso que se origine por el rechazo de los materiales será considerado como imputable al contratista.

1.5. Organización

El astillero actuará de patrono legal, aceptando todas las responsabilidades que le correspondan y quedando obligado al pago de los salarios y cargas que legalmente están establecidas y en general, a todo cuanto se legisle en decretos u órdenes sobre el particular ante o durante la ejecución de la obra.

Dentro de lo estipulado en el pliego de condiciones, la organización de la obra así como la determinación de la procedencia de los materiales que se empleen, estará a cargo del astillero a quien le corresponderá la responsabilidad de la seguridad contra accidentes.

Para los contratos de trabajo, compra de material o alquiler de elementos auxiliares que el astillero considere oportuno llevar a cabo y que no estén reflejados en el presente, solicitará la aprobación previa del director de obra, corriendo a cuenta propia del astillero.

1.6. Ejecución de las obras

En el plazo máximo de 15 días hábiles a partir de la adjudicación definitiva al astillero, se comprobarán en presencia del director de obra, de un representante del astillero y del armador del barco, el replanteo de las obras efectuadas antes de la licitación, extendiéndose la correspondiente Acta de Comprobación del Reglamento.

Dicha Acta, reflejará la conformidad del replanteo a los documentos contractuales, refiriéndose a cualquier punto, que en caso de disconformidad, pueda afectar al cumplimiento del contrato. Cuando el Acta refleje alguna variación respecto a los documentos contractuales del proyecto, deberá ser acompañada de un nuevo presupuesto valorado a los precios del contrato.

El astillero presentará el programa de trabajo de la obra, ajustándose a lo que sobre el particular especifique el director de obra, siguiendo el orden de obra que considere oportuno para la correcta realización de la misma, previa notificación por escrito a lo mencionado anteriormente. Cuando en el programa de trabajo se deduzca la necesidad de modificar cualquier condición contractual, dicho programa deberá ser redactado contradictoriamente por el astillero y el director de obra, acompañándose la correspondiente modificación para su tramitación.

El director de proyecto está obligado a confirmar a los superiores del astillero el comienzo de los trabajos.

La obra se ejecutará en el plazo que se estipule en el presente proyecto y así se comunicará a la dirección del astillero.

Cuando el ritmo de trabajo establecido por el presente proyecto, no sea el normal, se podrán exigir responsabilidades al director de la obra.

1.7. Interpretación y desarrollo del proyecto

La interpretación técnica de los documentos del proyecto corresponde al técnico director de obra. El astillero está obligado a someter a éste a cualquier duda, aclaración o discrepancia que surja durante la ejecución de la obra por causa del proyecto, o circunstancias ajenas, siempre con la suficiente antelación en función de la importancia del asunto con el fin de dar la solución lo antes posible.

El astillero se hace responsable de cualquier error motivado por la omisión de esta obligación y consecuentemente deberá rehacer a su costa los trabajos que correspondan a la correcta interpretación del proyecto. El astillero está obligado a realizar todo cuanto sea necesario para la buena ejecución de la obra aún cuando no se halle explícitamente reflejado en el pliego de condiciones en los documentos del proyecto. El astillero notificará por escrito o en persona directamente al director de obra y con suficiente antelación las fechas en que quedarán preparadas para la inspección cada una de las partes de la obra para las que se ha indicado necesidad o conveniencia de las mismas o para aquellas que parcial o totalmente deban quedar ocultas.

1.8. Variaciones del proyecto

No se consideran como mejoras o variaciones del proyecto más que aquellas que hayan sido ordenadas expresamente por el director de obra sin verificación del importe contratado.

1.9. Obras complementarias

El astillero tiene obligación de realizar todas las obras complementarias que sean indispensables para ejecutar cualquiera de las unidades de obra específicas en cualquiera de los documentos del proyecto, aunque en el mismo no figuren explícitamente mencionadas dichas complementarias, todo ello son variación del importe contratado.

1.10. Modificaciones

El astillero está obligado a realizar las obras que se encarguen resultantes de las posibles modificaciones del proyecto, tanto en aumento como en disminución o simplemente en variación.

El director de obra está facultado para introducir las modificaciones que considere oportunas de acuerdo a su criterio, en cualquier unidad de obra, durante la construcción, siempre que cumpla las condiciones técnicas referidas al proyecto y de modo que no varíe el importe total de la obra.

El astillero no podrá, en ninguna circunstancia, hacer alteración alguna de las partes del proyecto sin autorización expresa del director de la obra. Tendrá obligación de deshacer toda clase de obra que no se ajuste a las condiciones expresadas en este documento.

1.11. Obra defectuosa

Cuando el astillero halle cualquier unidad de obra que no se ajuste a lo especificado en el proyecto o en este pliego de condiciones, el director de obra deberá tomar las decisiones que le correspondan para repararlo.

1.12. Medios auxiliares

Serán por cuenta del astillero todos los medios y maquinarias auxiliares que sean necesarias para la ejecución de la obra. En el uso de los mismos, estará obligado a cumplir todos los reglamentos de seguridad e higiene en el trabajo vigentes y a utilizar los medios de protección adecuados para sus operarios.

1.13. Conservación de las obras

Es obligación del astillero la conservación en perfecto estado de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de la recepción definitiva por la propiedad y corren a su cargo los gastos derivados de ello.

1.14. Subcontratación de obras

Salvo que el contrato disponga lo contrario o que, de su naturaleza y condiciones se deduzca que la obra ha de ser ejecutada directamente por el astillero, podrá éste concretar con terceros la realización de determinadas unidades de obra, previo conocimiento por escrito al director de obra.

1.15. Recepción de las obras

Una vez terminadas las obras, tendrá lugar la recepción provisional y para ello se practicará en ellas un detenido reconocimiento por el director de obra y la propiedad en presencia del astillero, levantando acta y empezando a correr desde ese día el plazo de garantía si se hallan en estado de ser admitidas.

De no ser admitidas, se hará constar en el acta y se darán instrucciones al astillero para subsanar los defectos observados, fijándose un plazo para ello, expirando el cual se procederá a un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional, sin que esto suponga gasto alguno para la propiedad.

El plazo de garantía será como mínimo de un año, contando de la fecha de la recepción provisional, o bien el que establezca el contrato también contado desde la misma fecha. Durante este periodo, queda a cargo del astillero la conservación de las obras y arreglos de desperfectos derivados de una mala construcción o ejecución de la instalación.

1.16. Contratación de astillero

El conjunto de las instalaciones que realizará el astillero se decidirá una vez estudiado el proyecto y comprobada su viabilidad.

1.17. Contrato

El contrato se formalizará mediante contrato privado, que podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes. Comprenderá la adquisición de todos los materiales, transporte, mano de obra, medios auxiliares para la ejecución de la obra proyectada en el

plazo estipulado así como la reconstrucción de las unidades defectuosas, la realización de las obras complementarias y las derivadas de las modificaciones que se introduzcan durante la ejecución, estas últimas en los términos previstos.

La totalidad de los documentos que componen el proyecto técnico de la obra serán incorporados al contrato y tanto el astillero como el director de obra deberán firmarlos en testimonio de que los conocen y aceptan.

1.18. Responsabilidades

El astillero será el responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el proyecto y en el contrato. Como consecuencia de ello, vendrá obligado a la desinstalación de las partes mal ejecutadas y a su reinstalación correcta, sin que sirva de excusa que el director de obra haya examinado y reconocido las obras.

El astillero es el único responsable de todas las contravenciones que se cometan (incluyendo su personal) durante la ejecución de las obras u operaciones relacionadas con las mismas. También es responsable de los accidentes o daños que, por errores, inexperiencia o empleo de los métodos inadecuados, se produzcan a la propiedad, a los vecinos o terceros en general.

El astillero es el único responsable del incumplimiento de las disposiciones vigentes en materia laboral respecto su personal y por lo tanto, de los accidentes que puedan sobrevenir y de los derechos que puedan derivarse de ellos.

1.19. Rescisión de contrato

Se consideran causas suficientes para la rescisión del contrato las siguientes:

1. Quiebra del astillero.
2. Modificación del Proyecto con una alteración de más de un 25% del mismo.
3. Modificación de las unidades de obra sin autorización previa.
4. Suspensión de las obras ya iniciadas.

5. Incumplimiento de las condiciones del contrato cuando fue de mala fe.
6. Terminación del plazo de ejecución de la obra sin haberse llegado a completar esta.
7. Actuación de mala fe en la ejecución de los trabajos.
8. Destajar o subcontratar la totalidad o parte de la obra a terceros sin autorización del director de obra y del propietario.

2. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

2.1. Mediciones y valoraciones de las obras

El astillero verificará los planos y efectuará las mediciones correspondientes. En caso de hallar anomalías reclamará al director de obra.

El astillero se pondrá de acuerdo con el director de obra, volviendo a verificar las anomalías y en su caso se tomarán las medidas oportunas. Tal fin pretende asegurar la continuidad de las obras, sin que falte material para su ejecución y evitando de esta forma posibles retrasos.

2.2. Abono de las ofertas

En el contrato se deberá fijar detalladamente la forma y plazos en que se abonarán las obras realizadas. Las liquidaciones parciales que puedan establecerse tendrán carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a las certificaciones que resulten de la liquidación final. No suponiendo, dichas liquidaciones, aprobación ni recepción de las obras que comprenden.

Terminadas las obras se procederá a la liquidación final que se efectuará de acuerdo con los criterios establecidos en el contrato.

2.3. Precios

El astillero presentará, la relación de los precios de las unidades de obra que integran el proyecto, los cuales de ser aceptados tendrán valor contractual y se aplicarán las posibles variaciones que pueda haber.

Estos precios unitarios, se entiende que comprenden la ejecución total de la unidad de obra, incluyendo todos los trabajos aun los complementarios

y los materiales, así como la parte proporcional de imposición fiscal, las cargas laborales y otros gastos repercutibles.

En caso de tener que realizarse unidades de obra no previstas en el proyecto se fijará su precio entre el director de obra y el astillero, antes de iniciar la obra.

2.4. Revisión de precios

En el contrato se establecerá si el astillero tiene derecho a revisión de precios y la fórmula a aplicar para calcularla. En defecto de esta última, se aplicará a juicio del director de obra alguno de los criterios oficiales aceptados.

2.5. Precios contradictorios

Si por cualquier circunstancia se hiciese necesaria la determinación de algún precio contradictorio, el director de obra lo formulará basándose en los que han servido para la formación del presupuesto de este proyecto.

2.6. Penalizaciones por retrasos

Por retrasos en los plazos de entrega de las obras, se podrán establecer tablas de señalización cuyas cuantías y demoras se fijarán en el contrato. Estas cuantías podrán, bien ser cobradas a la finalización de las obras, bien ser descontadas de la liquidación final.

2.7. Liquidación en caso de rescisión del contrato

Siempre que se rescinda el contrato por las causas anteriormente expuestas, o bien por el acuerdo de ambas partes, se abonarán al astillero las unidades de obra ejecutadas y los materiales acopiados a pie de obra y que reúnan las condiciones y sean necesarios para la misma. Cuando se rescinda el contrato, llevará implícito la retención de la fianza para obtener los posibles gastos de conservación, el periodo de garantía y los derivados del mantenimiento hasta la fecha de la nueva adjudicación.

2.8. Fianza

En el contrato se establecerá la fianza que el astillero deberá depositar en garantía del cumplimiento del mismo, o se convendrá una retención sobre los pagos realizados a cuenta de la obra realizada. De no estipularse la fianza en el contrato, se entiende que se adoptará como garantía una retención del 5% sobre los pagos a cuenta citados.

En el caso de que el astillero se negase a realizar por su cuenta los trabajos por ultimar la obra en las condiciones contratadas o atender la garantía, la propiedad podrá ordenar ejecutarlas a un tercero, abonando su importe con cargo a la retención o fianza, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho la propiedad si el importe de la fianza no bastase.

La fianza retenida se abonará al astillero en un plazo no superior a treinta días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra.

2.9. Gastos diversos por cuenta del astillero

El astillero tiene la obligación de montar y conservar por su cuenta el adecuado suministro de elementos básicos como agua, energía eléctrica y cuanto uso personal para las propias obras sea preciso.

Son gastos por cuenta del astillero, los correspondientes a los materiales, mano de obra y medios auxiliares que se requieren para la correcta ejecución de la obra.

2.10. Conservación de las obras durante el plazo de garantía

Correrán por cuenta del astillero los gastos derivados de la conservación de las obras durante el plazo de garantía. En este periodo, las obras deberán estar en perfectas condiciones, condición indispensable para la recepción definitiva de las mismas.

2.11. Medidas de seguridad

El astillero deberá cumplir en todo momento las leyes y regulaciones relativas a la seguridad e higiene en el trabajo. El incumplimiento de éstas, será objeto de sanción, siguiendo las

especificaciones redactadas en el contrato, donde vendrán reflejadas las distintas cuantías en función de la falta detectada.

2.12. Responsabilidad por daños

La propiedad tiene concertada una póliza de responsabilidad civil por daños causados a terceros, en el que figura el astillero como asegurado. Este seguro asegura la responsabilidad civil de los daños causados accidentalmente a terceros con motivo de las obras.

En dicha póliza queda garantizada la responsabilidad civil que pueda serle exigida al astillero por daños físicos y materiales causados a terceros por los empleados del mismo.

Queda no obstante excluida toda prestación que deba ser objeto de seguro obligatorio de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales de la seguridad social, a los cuales, en ningún caso, esta póliza podrá sustituir y complementar.

Igualmente quedan excluidas las sanciones de cualquier tipo tanto las multas, como los recargos en las indemnizaciones exigidas por la legislación laboral.

2.13. Demoras

Al encargarse el trabajo, se fijará por ambas partes, el programa con la fecha de inicio y de terminación.

El astillero pondrá los medios necesarios para ello, que deberán ser aceptados por la propiedad.

Solo se considerarán demoras excusables los retrasos o interrupciones imputables a causas de fuerza mayor, tales como huelgas generales, catástrofes naturales, etc.

En el caso de que el astillero incurra en demoras no excusables, le serán aplicadas las siguientes sanciones:

- Por retraso en la incorporación del personal y otros medios necesarios para la finalización del trabajo: desde un 1% hasta un máximo de 5% por día de retraso.
- Por retraso en la finalización de los trabajos o retrasos en los trabajos intermedios que expresamente se indiquen: desde un 1%

de la facturación de estos encargos con un tope de un 5% por cada día de retraso.

- Por incumplimiento en la limpieza y orden de las instalaciones: 300€ la primera vez, aumentando en otros 300€ las sucesivas hasta un máximo de tres veces, a partir de la cual se procederá a restituir por la propiedad las condiciones de limpieza y orden, cargando el coste al astillero.

3. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

3.1. Requisitos técnicos

3.1.1. Reglamentos relacionados

Al proyectar la instalación de los sistemas de suministro de agua potable, se deben observar los siguientes reglamentos y directivas:

- reglas para la clasificación y construcción de buques establecidas por la correspondiente sociedad de clasificación;
- requisitos nacionales e internacionales establecidos relativos a los sistemas de agua potable.

3.1.2. Marcado de identificación

Todos los aparatos y accesorios se deben marcar de una manera permanente y legible con la designación o el nombre del fabricante, con objeto de facilitar en cualquier momento la identificación del producto. El marcado debe cumplir los reglamentos que le sean aplicables.

3.1.3 Presión y temperatura

- Por razones de seguridad se deben diseñar todos los componentes para soportar las mismas presiones de trabajo; esta presión debe corresponder a la más alta presión de tarado de la válvula de seguridad dentro del sistema.
- Las subidas y bajadas de presión que puedan ocurrir durante la operación no deben exceder de los límites aplicables (véase la Norma ISO 15748-2). Se debe tener en cuenta tanto esto como las relaciones de flujo admisibles al seleccionar los accesorios.

- Se deben evitar los incrementos de temperatura en las tuberías de agua fría con medios adecuados.

3.2. Tuberías

3.2.1. Tuberías de aireación, de llenado y de rebose

Para las tuberías de aireación, de llenado y de rebose se deben observar los requisitos de la sociedad de clasificación correspondiente. Las conexiones de llenado de los tanques de agua potable deben estar de acuerdo con la Norma ISO 5620-1.

3.2.2. Tuberías de sonda

Por razones sanitarias no se permiten las tuberías de sonda para comprobar el nivel de los tanques de agua potable. Para conocer el nivel se deben instalar indicadores de nivel o aparatos para medir el contenido de los tanques.

3.3. Dimensiones de tubería

Para los sistemas de tuberías de agua potable se pueden utilizar las tuberías y las dimensiones de tubería que figuran en las tablas B.1 a la B.3 de la Norma ISO 15748-2, teniendo en cuenta su instalación, las instrucciones de funcionamiento y los respectivos reglamentos de las autoridades competentes en la materia.

3.4. Materiales de tubería

Las tuberías de agua de mar, permeado y rechazo de salmuera serán en todo su trazado de acero al carbono.

Las tuberías de productos químicos serán, siempre que lo permita la naturaleza del producto, de material plástico (PVC).

3.5. Accesorios y juntas de tubería

3.5.1. Accesorios y juntas embridadas

Se pueden utilizar sin ninguna prueba especial de aptitud, y teniendo en cuenta las instrucciones de instalación y funcionamiento, los

accesorios y las juntas embridadas que se hayan seleccionado para las tuberías que figuran en las tablas B.1 a la B.3 de la Norma ISO 15748-2 . Los accesorios empleados para las tuberías de acero cumplirán con la misma normativa que la propia tubería.

3.5.2. Juntas de dilatación

En las tuberías de acero se instalarán juntas de dilatación en todos los puntos donde se prevea que pueda existir algún efecto de dilatación, o bien en los puntos de conexión a máquinas que puedan transmitir alguna vibración a la propia tubería.

3.5.3. Juntas de desmontaje

Las juntas de desmontaje en las tuberías de acero son elementos que permiten un ligero desplazamiento de las tuberías facilitando el desmontaje de sus elementos. Se instalarán en todos los puntos donde se prevea que puede existir alguna necesidad de proceder al desmontaje de algún elemento, para su revisión o reparación.

El material de construcción será el mismo que el de la tubería donde esté instalado.

3.5.4. Juntas por soldeo, soldeo blando o adhesivos

- Las tuberías de acero sólo se pueden soldar si no se daña el recubrimiento interno de protección. Sólo se permiten juntas por soldeo fuerte en las tuberías de acero si las soldaduras se ejecutan de acuerdo con las instrucciones dadas por el fabricante del sistema de soldeo.
- Las tuberías de acero inoxidable se deben trabajar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- Para la fabricación de tuberías de Cunifer se deben seguir las normas nacionales disponibles o las recomendaciones del fabricante.
- Las tuberías de PVC se unirán mediante enchufe con junta de estanqueidad de goma, no admitiéndose la unión por pegado.

- Para las juntas soldadas de las tuberías de polietileno de alta y de baja densidad (PE-HD y PE-LD) se deben seguir las normas nacionales disponibles o las recomendaciones del fabricante.
- Los compuestos para soldeo blando o fuerte no deben contener plomo.

3.6. Accesorios

3.6.1 Generalidades

Los accesorios sanitarios para las líneas de suministro deben estar de acuerdo con los requisitos de la Administración española (en todo lo que sea aplicable).

3.6.2. Dispositivos para el ahorro de agua

Los dispositivos que se utilicen deben ser exclusivamente del tipo de ahorro de agua, y se deben instalar, cuando sea adecuado, limitadores de flujo.

3.6.3. Materiales

Los siguientes materiales se pueden considerar seguros con respecto a las consideraciones sanitarias y resistencia a la corrosión. Sólo se pueden utilizar otros materiales si son de una calidad idéntica o mejor que los de esta lista:

- aceros inoxidables forjados y moldeados;
- materiales tales como CuSn10, CuPb5Sn5Zn5 y GKCuZn40Pb;
- materiales especificados en la Norma ISO 426-2, a saber CuZn38Pb2.

3.7. Accesorios de protección

Los sistemas de suministro de agua potable deben disponer de válvulas antirretorno aprobadas aguas abajo de la bomba de suministro o del depósito de agua para evitar que el agua vuelva al tanque de agua potable.

Sólo se pueden utilizar dispositivos de protección que tengan la aprobación de la Administración española o Sociedad de Clasificación que deba aprobarlos (cuando sea aplicable).

3.8. Equipos mecánicos

Siempre que sea posible se instalarán equipos análogos cuyos componentes unitarios sean intercambiables, a fin de reducir al mínimo el número de repuestos.

Los equipos mecánicos deberán ser fácilmente revisables y accesibles, por lo cual se deberá prever espacio suficiente para su reparación o sustitución.

Cuando el peso de algún elemento lo requiera, se preverán sistemas para su izado y manejo.

3.9. Cierre y regulación de caudal en tuberías

Las válvulas de accionamiento automático, hidráulico, eléctrico o neumático, estarán equipadas con los siguientes elementos:

- Accionamiento manual suplementario para apertura y cierre.
- Dispositivo limitador de par.
- Finales de carrera en apertura y cierre de tipo inductivo.
- Señalización externa de posición.

Las válvulas de cierre todo-nada podrán ser de macho, mariposa, bola, membrana, globo o de cualquier otro tipo. Las de regulación serán necesariamente del tipo mariposa, globo o macho.

Las conexiones de las válvulas serán embridadas. Las de mariposa y de retención de clapeta partida podrán ser del tipo "wafer" (montaje entre dos bridas).

3.10. Válvulas

3.10.1. Generalidades

Todas las válvulas serán construidas en una sola pieza (cuerpo) y deberán ser probadas a una presión 1,5 veces de la de trabajo en la planta.

El material será resistente a la corrosión.

Todas las bridas de las válvulas, y en general, de todos los elementos, se ajustarán a una normalización, siempre que sea posible.

Se dispondrán las juntas de desmontaje necesarias para que cualquier válvula pueda ser sustituida sin necesidad de cortar tuberías.

Todas las válvulas de acceso dificultoso dispondrán de columna de maniobra para su accionamiento.

Las válvulas automáticas dispondrán de un volante de emergencia para accionamiento manual de éstas.

3.10.2. Válvulas de mariposa

Se podrán emplear válvulas de mariposa como reguladoras de caudal o como cierre total. Su montaje será tipo "wafer" (entre bridas) y con cierre estanco. En caso de que el accionamiento sea manual se realizará mediante palanca hasta un DN de 150 y mediante desmultiplicador para diámetros mayores de 150 mm. El eje deberá ser de una sola pieza y construido en acero inoxidable.

El cuerpo y el disco serán de calidad adecuada al fluido de la tubería a transportar. El cierre será de disco-elastómero en E.P.D.M.

3.10.3. Válvulas de retención

Se emplearán como válvulas no-retorno, utilizadas para asegurar el sentido del flujo en la tubería y llevarán estampado en el cuerpo la dirección de dicho fluido.

Serán de tipo clapeta batiente, clapeta partida o de bola, dependiendo de las condiciones de trabajo y de las características del fluido.

El cuerpo será de calidad adecuada al fluido de la tubería a transportar, así como los componentes de la válvula (clapeta, bola).

3.10.4. Válvulas de bola

Se emplearán como válvulas de cierre total. La bola irá montada entre dos anillos de elastómeros .

Los materiales serán los correspondientes a las condiciones de trabajo y a las características del fluido de la tubería a transportar.

3.10.5. Válvulas de macho

Se emplearán para regulación de caudal o para cierre total. Los materiales de construcción del cuerpo y macho serán del mismo material de la tubería.

Las válvulas de diámetros mayores de 4" serán accionadas por volante con desmultiplicador y las de menor diámetro serán accionadas por palanca.

3.11. Equipos de bombeo

Todos los grupos de bombeo de la instalación estarán debidamente equilibrados estática y dinámicamente.

3.11.1. Bombas autocebadas

Se deben instalar bombas autocebadas si el tanque de agua potable está situado por debajo del nivel de la instalación de la bomba de suministro.

3.11.2. Capacidad de la bomba

El dimensionamiento de la capacidad de la bomba debe ser tal que quede todavía suficiente caudal de flujo cuando el consumo de agua sea máximo.

3.11.3. Filtros

Para limpiar el agua potable de las materias no solubles se deben instalar filtros en la línea de aspiración de la bomba de suministro.

3.11.4. Válvulas y manómetros de presión

Se deben instalar válvulas y manómetros de presión aguas arriba de la toma, así como aguas abajo de la descarga de las bombas de suministro.

3.11.5. Válvulas de antirretorno regulables

Con las bombas puestas en paralelo, se deben instalar válvulas anti-retorno en el lado de la descarga.

3.11.6. Bombas dosificadoras

Serán preferentemente del tipo pistón o membrana, y de caudal variable, pudiéndose regular la dosificación.

3.11.7. Motores eléctricos de las bombas

- Grado de protección: los índices de protección (IP) de los motores eléctricos de cada bomba será de 65.
- Clase de aislamiento: será de clase F.

3.12. Membranas

Las membranas serán del tipo de arrollamiento en espiral. Deberán ser capaces de soportar las presiones diferenciales que garanticen la desalación del agua de mar de alimentación.

El diseño del bastidor de membranas debe garantizar un reparto hidráulico correcto dentro del sistema. Se construirá en acero inoxidable 316L así como todos los elementos de soporte previstos para el circuito de alta presión.

Las membranas irán colocadas en el interior de un recipiente adecuado (cajas de presión), resistente a la presión de las bombas (incluso a válvulas cerradas) y a la corrosión.

Cada caja de presión tendrá instalada una toma de muestra del producto, la cual será llevada a un panel de toma de muestra general. Este panel

será de acero inoxidable AISI 316L o de material plástico y estará instalado junto al bastidor de ósmosis inversa.

3.13. Electroagitadores

Todos los depósitos o tanques de la planta de tratamiento donde se instale un electroagitador, estarán provistos de una sonda de nivel mínimo que imposibilite el funcionamiento de dicho agitador.

Los materiales y características de los electroagitadores serán los adecuados para el fluido a agitar y para el tipo de trabajo a realizar.

3.14. Depósitos de acero al carbono

Se diseñarán de acuerdo al Reglamento de la Sociedad de Clasificación.

3.15. Depósitos de PRFV

El material de construcción estará formado en la barrera química por resina estervinilica con velo y fibra de vidrio. Como refuerzo mecánico se empleará resina ortoftálica con mats y tejido de vidrio.

3.16. Tanques de agua

Los tanques de agua potable formarán parte de la estructura del buque en las partes en las que exista un número mínimo de refuerzos (excepto los tanques de doble fondo y los de los piques de proa y popa). Los tanques que formen parte de la estructura del buque no deben tener mamparos comunes (techo, cubierta) con los tanques destinados a otros usos.

Los tanques deben ser de acero resistente a la corrosión o se les debe aplicar un recubrimiento anticorrosión. Los tanques de acero deben protegerse contra la corrosión mediante un galvanizado o capa de barniz. Los recubrimientos de cinc no deben tener defectos. Las superficies que estén en contacto con el agua no deben tener ni siquiera defectos reparados.

Los tanques de agua potable deben tener pasos de hombre para reparación y limpieza que se cierren herméticamente. Estos pasos de hombre se deben disponer preferentemente en las paredes laterales de los tanques. Para prevenir cualquier contaminación ocasional, los pasos de hombre situados en las cubiertas deben tener una brazola de al menos 200 mm de altura sobre la cubierta.

Las válvulas de drenaje necesarias para el achique de los residuos y depósitos del agua, se deberían instalar preferentemente en la parte baja de los tanques, con una disposición inclinada de los fondos de los tanques.

Los tanques deben equiparse con tuberías de aireación dispuestas sobre cubierta y terminadas con dispositivos que impidan la entrada del agua del mar. El final de la tubería de aireación dispuesta sobre cubierta, debe estar al menos a 400 mm sobre el nivel de la cubierta y situada en lugares donde no exista la posibilidad de contaminación o inundación por agua de mar. Todos los orificios de las tuberías de aireación deben de ser de al menos 32 mm.

Los tanques de acero se deben proteger contra la corrosión mediante galvanizado o un recubrimiento. Los recubrimientos de cinc no deben tener defectos en la parte de los recubrimientos que esté en contacto con el agua, ni siquiera defectos reparados. Además, estas superficies deben estar libres de cualquier residuo no metálico, tales como cenizas de cinc o fundentes para soldeo.

3.17. Filtros de arena

El recipiente se construirá en PRFV y dispondrá de tapas para carga e inspección. Deberá cumplir con el Reglamento de Recipientes a Presión.

La resina interior del depósito de PRFV tendrá la resistencia química adecuada para el agua de mar.

3.18. Instrumentación

- Transmisores de conductividad, de pH y potencial redox: estarán formados por la célula de medida y el transmisor. La célula podrá estar, situada en la línea de proceso o formando parte del propio transmisor. Los transmisores estarán montados a corta distancia de las células y contruidos con grado de protección IP65. Localmente incluirán indicador.

La señal de salida será de 4 a 20 mA, proporcional a la conductividad, el pH o el potencial redox. La precisión del transmisor deberá ser de $\pm 0,01\%$ pH para los analizadores de pH, $\pm 0,5\%$ del rango para los analizadores de conductividad y $\pm 1\%$ mV para los analizadores redox. Estarán provistos con compensación automática de temperatura y fuente de alimentación.

- Caudalímetros: serán del tipo electromagnético y contruidos con grado de protección IP65. Dichos elementos serán colocados en la línea de proceso. La señal de salida será de 4 a 20 mA. La precisión del medidor será de $\pm 0,5\%$ del rango. Tendrán indicación local y totalizador incorporado.
- Rotámetros: serán de área variable, tubo cónico y flotador con contactos de alarma y/o cabeza transmisora cuando sea necesario. El caudal normal estará entre el 50% y 80% del rango del instrumento. La precisión del medidor será de $\pm 1\%$ del rango.
- Transmisores de presión y de presión diferencial: serán de equilibrio de fuerzas. El grado de protección será IP65. La señal de salida será de 4 a 20 mA. La precisión del transmisor será de $\pm 1\%$ del rango.
- Manómetros: el diámetro de la esfera será de aproximadamente 100 mm., con caja metálica, conexión inferior, aptos para sujeción posterior y rellenos de glicerina. La precisión del manómetro será $\pm 1\%$ F.E.
- Presostatos: los interruptores de presión y presión diferencial serán de contactos de conmutación dobles (DPDT), de tipo membrana,

con punto de consigna y margen diferencial ajustables continua e independientemente. El grado de protección será IP65.

- Indicadores de nivel magnético: los indicadores de nivel llevarán una escala calibrada y contactos eléctricos, siendo la lectura por láminas magnéticas. El tubo indicador de nivel será de vidrio. Las válvulas inferior y superior de aislamiento será del tipo bola o similar.
- Interruptores de nivel: los interruptores de nivel de flotador serán de montaje sobre depósito. Los contactos serán siempre de conmutación con puntos de consigna independientes y ajuste continuo sobre el rango total. El grado de protección será IP65.
- Transmisores de nivel ultrasónicos: el tipo de sensor será ultrasónico y la señal de salida del transmisor será de 4 a 20 mA. El grado de protección será IP65. La precisión será de $\pm 0,5\%$ del rango.

3.19. Control

El control de la planta se realizará a través del cuadro de maniobra en el que se ubicarán los elementos eléctricos y electrónicos para llevar a cabo una correcta y segura automatización de la planta. Disponiendo de un selector Manual/Cero/Automático y botonera para el manejo en manual de cada uno de los elementos con las seguridades y protecciones necesarias ante una operación inadecuada.

El sistema de protección y de arranque de la planta tendrá una doble protección y control. Un circuito principal que controlará las protecciones generales de la misma, a través de relés de control e intensidad y presostatos, que irán asociados a un PLC, de tal forma que las órdenes de arranque y protecciones están condicionadas entre sí.

El cuadro contará con protección IP-55, con un pulsador de parada general para situaciones de emergencia y con las protecciones por contactos directos e indirectos, todo según el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y el Reglamento de la Sociedad de Clasificación.

El cuadro eléctrico dispondrá de todos los elementos necesarios para un correcto manejo de la planta de tratamiento tanto en modo manual como en modo automático, disponiendo de todas las protecciones diferenciales y magnetotérmicas necesarias.

Se instalará en el control de máquinas un sistema de monitorización y control que indicará el funcionamiento correcto de la planta, y en caso de avería informará el tipo de la misma.

En él se indicará el estado de los componentes del sistema, gráficamente y con señales indicadoras de funcionamiento.

3.20. Válvulas de control

Las válvulas de control serán adecuadas para el margen total de variación de las condiciones del proceso. Se utilizarán válvulas de globo, mariposa o macho, de acuerdo con las necesidades de servicio.

Cuando sea necesario, se incluirán posicionadores, convertidores electroneumáticos, transmisores de posición, válvulas solenoide, interruptores de posición, amplificadores neumáticos, volantes manuales y otros accesorios.

Asimismo y cuando el caso lo aconseje, las válvulas de control llevarán incorporado en su posicionador, el convertidor electroneumático para ser actuadas directamente con una señal analógica de 4 a 20 mA.

3.21. Disposición de las tuberías

3.21.1. Generalidades

- Se recomienda instalar las líneas de agua potable preferiblemente en los pasillos del pasaje y espacios públicos. Las líneas de agua potable se deben disponer de forma que se asegure un mantenimiento adecuado y la posibilidad de desmontaje de los mecanismos, tuberías y equipo. En la medida de lo posible deben tener libre acceso para examen, mantenimiento y reparación.
- Las líneas no pueden pasar por encima o cerca de ningún equipo eléctrico o electrónico esencial para la operación del buque. Si esto no se puede evitar, se habrá de tomar medidas para evitar daños a

estos equipos en el caso de una fuga. En estas zonas no se permiten conexiones separables.

- Las líneas que puedan verse afectadas por temperaturas por debajo del punto de congelación deberán estar equipadas con dispositivos de drenaje y aislamiento.
- Se recomienda dividir el sistema de suministro de agua potable en varias áreas de servicio para reducir al mínimo los problemas de suministro debidos a averías en el sistema.
- No se permite que las líneas de agua potable pasen a través de tanques que no contengan agua potable. Si esto no se puede evitar, estas líneas deben instalarse a través de túneles de tubería que deben tener una descarga efectiva a un punto de control.
- Se deben proyectar los sistemas de suministro de agua potable de forma que se puedan efectuar de manera adecuada los ensayos, mantenimiento y reparaciones.
- En las cabinas de alojamientos las tuberías deben disponer de una protección apantallada.
- Las tuberías y los dispositivos se deben sujetar a la estructura del buque o a bases soldadas. Si hay que cumplir requisitos acústicos especiales, se deben utilizar sujeciones especiales.
- Si las tuberías de agua caliente y fría se disponen juntas una al lado de la otra, se debe efectuar un aislamiento térmico apropiado.

3.21.2. Principios de diseño

- En la etapa de diseño, se debe dejar un margen para las deformaciones elásticas del casco del buque así como para las dilataciones causadas por el calor.
- Debe posibilitarse la ventilación y el drenaje del sistema completo así como de las secciones de tuberías individuales.
- Para prevenir la formación de concentraciones contaminantes, el recorrido de las tuberías se debe ejecutar de manera que no se produzcan estancamientos de agua o aire. Las líneas que no se utilicen se deben cerrar.

- Los cambios en las secciones transversales de las tuberías se deben ejecutar solamente por medio de piezas de conexión cónicas.
- Las admisiones de las tuberías de aspiración deben abrirse a una chimenea de sección 1,5 veces la sección transversal de la tubería de aspiración. Deben terminar al menos 50 mm por encima del fondo del tanque.
- Los componentes del sistema hechos de cobre o aleaciones de cobre no se deben instalar aguas arriba, con respecto a la dirección del flujo, de componentes de hierro galvanizado.
- Cuando sea necesario disponer las líneas de agua fría al lado de las líneas de agua caliente, las líneas de agua fría se deben colocar por debajo de las líneas de agua caliente, o se deben aislar, para prevenir el calentamiento del agua potable.
- Se debe evitar el tendido de las tuberías del suministro de agua y de aireación de los tanques de agua potable a través de cuartos de baño, cuartos de duchas y lavanderías. Se deben disponer tapas en las mangueras de agua potable del buque. Los extremos de las mangueras se deben disponer en una caja.
- Las líneas sin circulación de flujo deben ser lo más cortas posible y su longitud no debe exceder de 10 m.

3.21.3. Paso de tuberías

En los puntos en que las tuberías tengan que atravesar paredes, mamparos y cubiertas, se deben instalar pasa mamparos.

La resistencia al fuego de los pasos a través de las superficies de separación verticales u horizontales tipo “A” de acuerdo con el Reglamento SOLAS, deben cumplir los requisitos del “ Ensayo Estándar al Fuego” del Reglamento SOLAS 1974.

Los pasos a través de las superficies tipo “B” deben cumplir con los requisitos de las autoridades nacionales correspondientes.

Los pasos de tuberías a través de mamparos, paredes o cubiertas estancas deben asegurar una total estanquidad en esas partes.

3.21.4. Soportes de tuberías

Las tuberías se deben fijar mediante cartabones teniendo en cuenta las condiciones estructurales del buque (espaciado de cuadernas y refuerzos, etc.). Se recomienda el uso de cartabones de acero galvanizado que abracen totalmente la tubería. En el caso en que se utilicen diferentes materiales (tubería/cartabón) se deben utilizar inserciones anticorrosión para prevenir la corrosión por contacto.

El espaciado de los cartabones dependerá de:

- el diámetro de la tubería y el espesor de la pared;
- el peso del producto que se transporte.

Para las tuberías de un diámetro nominal de:

- DN 8 a DN 20 distancia entre cartabones, una cuaderna;
- DN 25 a DN 50 distancia entre cartabones; dos cuadernas;
- DN 70 a DN 100 distancia entre cartabones, tres cuadernas.

3.21.5. Aislamiento

Sólo se deben utilizar materiales de aislamiento de alta resistencia al fuego, aprobados por las autoridades competentes y las sociedades de clasificación.

Las líneas de agua caliente deben tener un aislamiento suficiente contra la pérdida de calor.

Las líneas de agua fría se deben aislar contra el agua de condensación en los lugares en que esto pueda causar algún daño.

3.21.6. Marcado de identificación de las tuberías

Las líneas de agua potable deben marcarse de forma adecuada a distancias de 5 m y, en las zonas de conexiones o bifurcaciones de manera que se puedan identificar sin error como líneas que transportan agua potable. Las mangueras de agua potable se deben marcar adecuadamente.

Los marcados de identificación deben cumplir las Normas ISO 14726-1 e ISO 14726-2.

Además se deben pintar las palabras “Agua Potable” en la tubería o se debe poner una etiqueta adicional en las partes en que razonablemente se pueda necesitar.

Cuando sea importante el sentido del flujo, se debe mostrar mediante una flecha que indique el sentido respectivo.

Cuando sea necesario se pueden agregar marcados adicionales para diferenciar el agua caliente del agua fría.

3.21.7. Instrucciones para instalaciones especiales

Para las tuberías de PVC y de acero inoxidable se deben observar los reglamentos de la Sociedad de Clasificación y de los fabricantes.

3.22. Ensayos de presión y circulación de las tuberías

3.22.1. Ensayo de presión

- Se deben realizar los ensayos de presión antes de instalar las cubiertas o encajonamientos de los componentes individuales del sistema. El sistema se debe rellenar de agua potable, ventilar, y posteriormente someterse a una presión de ensayo de 1,5 la presión de funcionamiento. La presión de ensayo se debe mantener en el sistema durante un tiempo mínimo de 10 min.

El manómetro se debe instalar en el punto más bajo del sistema. El alcance de la medición debe cubrir el doble de la presión de funcionamiento, y debe permitir lecturas diferenciales de 0,1 bar de presión.

- Las tuberías de plástico se deben someter a un ensayo de presión especialmente acordado. Debido a las propiedades de estos materiales los ensayos de presión pueden causar deformaciones, y además las diferencias de temperatura pueden influir en los resultados.

3.22.2. Circulación del sistema

Con posterioridad al ensayo de presión se debe hacer circular agua potable a través del sistema.

La circulación se debe realizar mediante las bombas de suministro. El caudal que debe circular a través de las secciones individuales no debe caer por debajo del caudal calculado.

Para evitar una contaminación prematura del sistema, se deben abrir en primer lugar los puntos de servicio más cercanos a la bomba, y seguir por los que se encuentran a continuación. El agua debe fluir por cada punto de servicio un tiempo mínimo de 2 min.

Durante el ensayo de circulación la presión de las bombas y los caudales de las secciones individuales deben ser aquellos que se habían pretendido.

3.23. Equipos de tratamiento

Todos los equipos de tratamiento incluidos en la instalación deberán tener su especificación técnica en la que se detallen todas sus características técnicas, dimensiones y calidad de materiales empleados en su construcción.

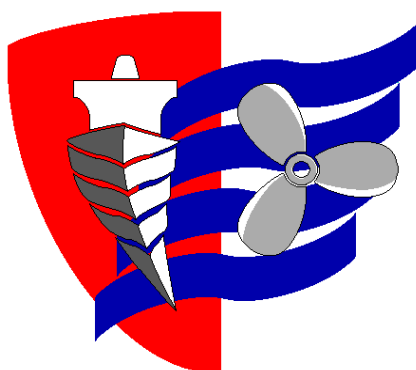
3.24. Vigilancia, pruebas y ensayos

Durante la obra, se inspeccionará la construcción y el montaje de las tuberías, bombas, bastidor de ósmosis inversa y accesorios para comprobar que la instalación cumple con las prescripciones y que se está construyendo conforme a los planos aprobados por la Administración española o la Sociedad de Clasificación.

Esta etapa comprenderá las operaciones necesarias para conseguir el funcionamiento estable de la instalación, que será aquel, en el cual, todos los elementos funcionen de la forma prevista en el Proyecto desarrollado y las diferentes fases que tratan el agua de mar.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



DOCUMENTO N° 4 PRESUPUESTO

DOCUMENTO N° 4 PRESUPUESTO**1. PRESUPUESTO****1.1. Precios descompuestos**

Toma de mar y bombeo				
Nº Unidades	Descripción	Unidad	Precio	Importe
1	Bomba de agua salada	U	46.119	46.119
1	Manómetro	U	102	102
Total de la partida				46.221

Tabla 1. Coste equipos toma de mar y bombeo

Pretratamiento				
Nº Unidades	Descripción	Unidad	Precio	Importe
1	Filtro bicapa	U	27.875	27.875
1,620	Arena	kg	3,5	5,67
2	Filtro de cartucho	U	19.423	38.846
35·2	Cartuchos	U	8,89	622,3
2	Bombas dosificadoras	U	2.801	5.602
2	Depósitos	U	1.274	2.548
5	Transmisores de presión	U	653,44	3.267,2
1	Transmisor de caudal	U	1.535	1.535
1	Transmisor de temperatura	U	1.082	1.082
1	Transmisor de conductividad	U	900	900
1	Transmisor de pH	U	1.043,84	1.043,84
1	Transmisor de potencial redox	U	1.159,29	1.159,29
2	Transmisores de nivel	U	682,13	1.364,26
2	Indicadores nivel	U	582,56	1165,12
Total de la partida				87.015,6

Tabla 2. Coste equipos pretratamiento

Ósmosis inversa				
Nº Unidades	Descripción	Unidad	Precio	Importe
1	Bomba de alta presión	U	54.592	54.592
17·6	Membranas	U	430,71	43.932,42
17	Cajas de presión	U	977,56	16.618,52
3	Transmisores de presión	U	653,44	1.960,32
2	Transmisor de caudal	U	1.535	3.070
2	Transmisor de conductividad	U	900	1.800
1	Manómetro	U	102	102
1	Rotámetro	U	123,86	123,86
Total de la partida				122.199,1

Tabla 3. Coste equipos ósmosis inversa

Sistema de limpieza y desplazamiento				
Nº Unidades	Descripción	Unidad	Precio	Importe
1	Bomba	U	22.530	22.530
1	Tanque	U	6.253	6.253
1	Transmisor de nivel	U	682,13	682,13
1	Indicador de nivel	U	582,56	582,56
2	Transmisor de caudal	U	1.535	3.070
Total de la partida				33.117,69

Tabla 4. Coste equipos sistema limpieza y desplazamiento

Postratamiento				
Nº Unidades	Descripción	Unidad	Precio	Importe
1	Remineralizador	U	6.277,63	6.277,63
3	Bombas dosificadoras	U	2.801	8.403
3	Depósitos	U	1.274	3.822
3	Transmisor de nivel	U	682,13	2.046,39
3	Indicador de nivel	U	582,56	1.747,68
2	Transmisor de caudal	U	1.535	3.070
1	Transmisor de pH	U	1.043,84	1.043,84
2	Transmisores de cloro	U	1.064,80	2.129,6
Total de la partida				28.540,14

Tabla 5. Coste equipos postratamiento

Tubería y válvulas				
Nº Unidades	Descripción	Unidad	Precio	Importe
53	Acero al carbono	m	95,97	5.086,41
18	PVC	m	7,63	137,34
50	Válvulas	U	-	41.664,25
Total de la partida				46.888

Tabla 6. Coste tuberías y válvulas

1.2. Presupuesto

1.2.1. Presupuesto de ejecución material (PEM)

CONCEPTO	IMPORTE
Toma de mar y bombeo	46.221
Pretratamiento	87.015,6
Ósmosis inversa	122.199,1
Sistema limpieza y desplazamiento	33.117,69
Postratamiento	28.540,14
Tuberías y válvulas	46.888
Total PEM	363.981,53

Tabla 7. Presupuesto de ejecución material

1.2.2. Presupuesto general

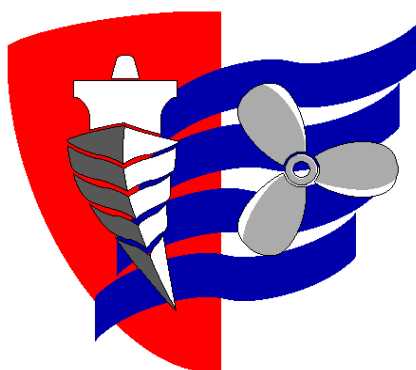
CONCEPTO	IMPORTE
Presupuesto de ejecución material (PEM)	363.981,53
Ingeniería de Proyecto y Dirección de obra (10% PEM)	36.398,15
IVA (21% PEM)	76.436,12
Total presupuesto general	476.815,8

Tabla 8. Presupuesto general

El presupuesto general asciende a la cantidad de CUATROCIENTOS SETENTA Y SEIS MIL OCHOCIENTOS QUINCE CON OCHO EUROS.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



ANEJOS

ANEJO I

DISEÑO SISTEMA ÓSMOSIS INVERSA MEDIANTE SOFTWARE DE SIMULACIÓN TORAY DESIGN 2, V2.0.1.42 .

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y VERIFICACIÓN DE CÁLCULOS

1. Pantalla datos de alimentación

En primer lugar se han introducido en el programa los datos sobre la corriente de alimentación (temperatura y pH) y los parámetros de ésta (concentración de iones), considerados en el diseño del sistema de ósmosis inversa y reflejados en el apartado 1.5 del Documento nº 2.

2. Pantalla diseño ósmosis inversa

- Diagrama de flujo: se introducen los caudales y el factor de recuperación, así como la configuración del sistema (rechazo en serie de una etapa y un paso).
- Configuración: en esta pantalla el valor de contrapresión considerado en el diseño (1 bar), es un dato supuesto en la condición más desfavorable, suponiendo que el tanque de agua desalinizada esté a una altura de 10 metros sobre la descarga de permeado.
- Seleccionar elementos: introduciendo el número de etapas, número de elementos por caja y cajas de presión por etapa. Asimismo se ha seleccionado el tipo de elemento o membrana (TM820M-400), considerando para este diseño, que los elementos son nuevos y por tanto no afecta a los cálculos, el factor de ensuciamiento por la edad.

En la siguiente tabla se muestra un resumen con los datos de partida considerados para el diseño del sistema:

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal de permeado	m ³ /h	62,50
Presión de alimentación ¹²	bar	55,2
Contrapresión (presión permeado)	bar	1
Temperatura agua mar	°C	20
pH		8,1
Recuperación	%	45
Flujo de diseño (GFD)	gal/ft ² d	10
Número de elementos por caja		6
Número de cajas de presión		17
Ensuciamiento Max	años	0
Aumento paso de sales (Max)	años	0

Tabla 1.- Datos de partida

3. Análisis de los resultados

En la siguiente tabla se muestra la comparativa entre los resultados calculados en el apartado 1.5 del Documento nº 2 y los obtenidos con el simulador.

Datos etapa	Resultados obtenidos	
	Calculados	Software
Caudal de alimentación (m ³ /h)	138,89	138,90
Caudal de rechazo (m ³ /h)	76,39	76,39
TDS alimentación	35.681,4	35.769
TDS rechazo	64.746,76	64.935
TDS permeado	100,43	117,8
Presión de alimentación (bar)	55,2	55,09
Presión osmótica (bar)	25,07	25,935 / 25,27 (DS1 / Pitzer)
Flujo de diseño (l/m ² h)	17	16,427
Número de elementos total	100	102

Tabla 2.- Análisis de los resultados

¹² La presión de alimentación es igual a 55,2 bar, es un dato supuesto y tomado de las características técnicas de la membrana. Se indica que es un valor inferior a la máxima presión de trabajo admisible (83 bares) para las membranas TM820M-400 indicada por el fabricante.

ANEJO II

CURVAS CARACTERÍSTICAS BOMBAS

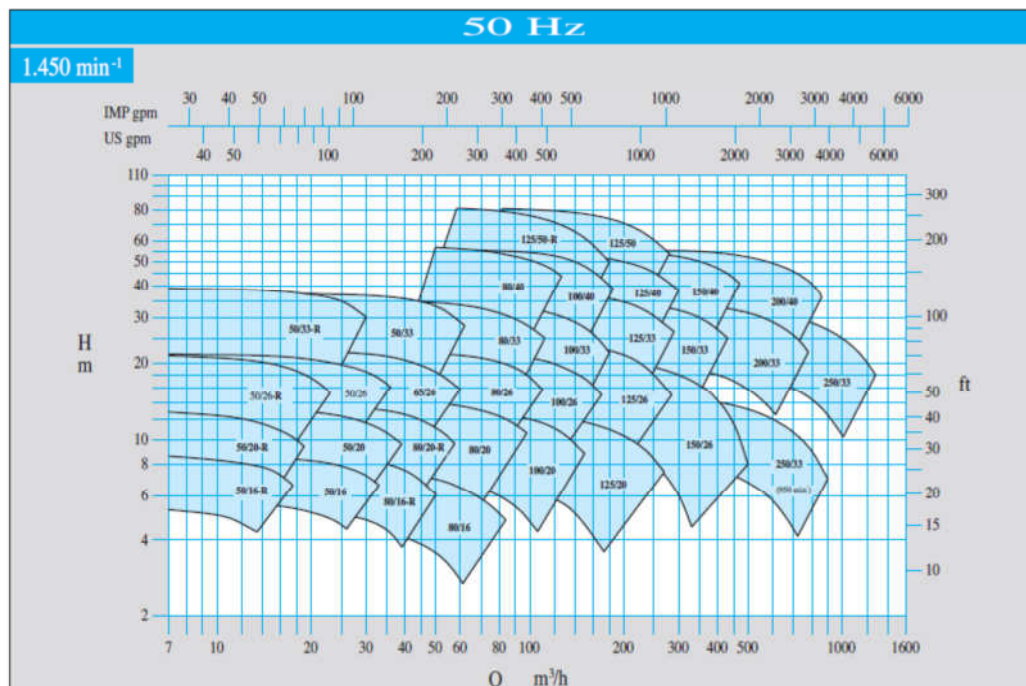


Fig. 1.- Bomba alimentación agua de mar Azcue VR Vertical in line.

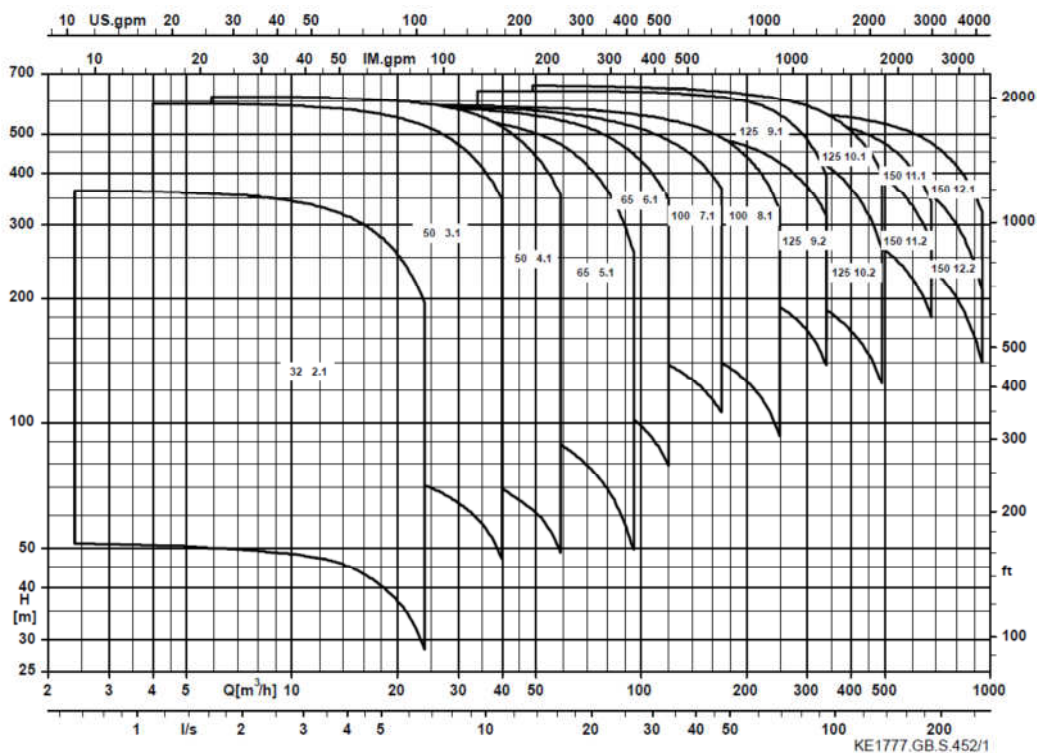


Fig. 2.- Bomba alta presión KSB Multitec.

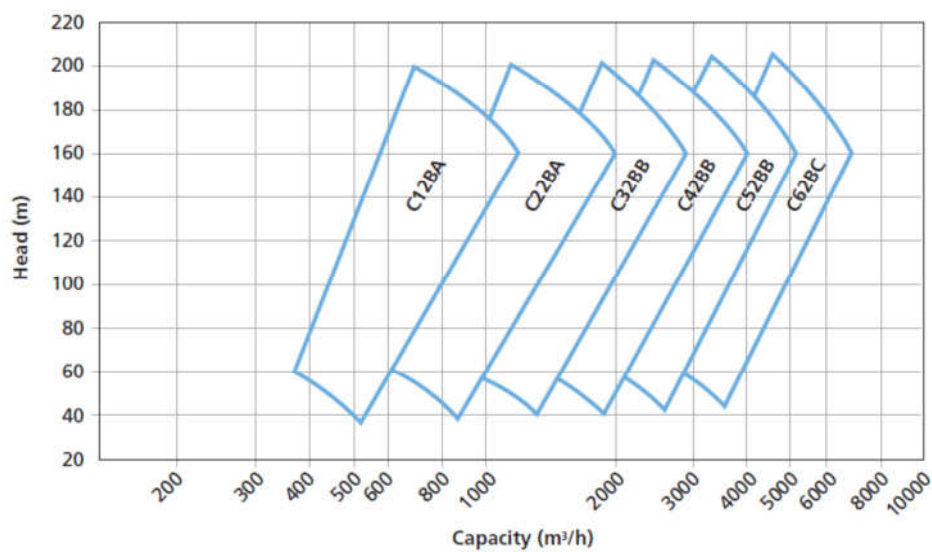


Fig. 3.- Bomba alimentación agua potable fría Hamworthy C12BA 10-14.

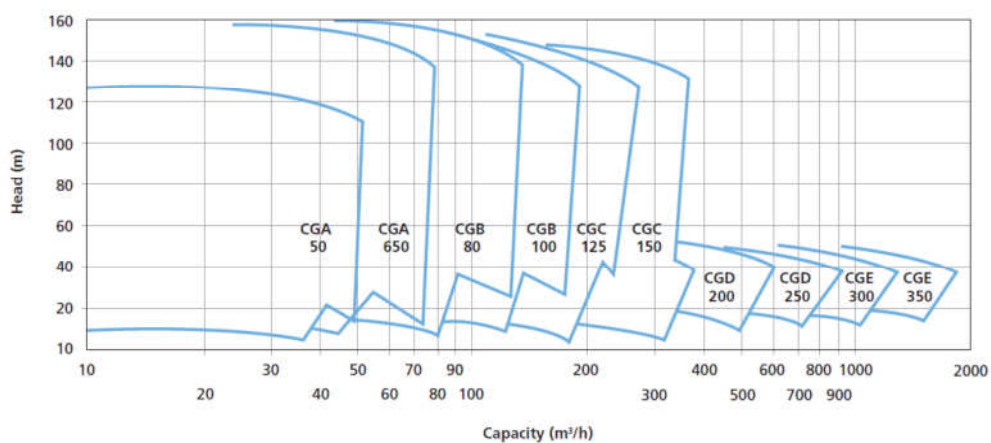
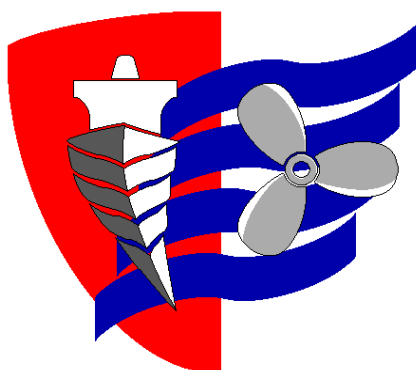


Fig. 4.- Bomba trasiego agua potable fría Hamworthy CGA50.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones. Manuel Fariñas Iglesias. Mc Graw Hill, 1999.

Publicaciones

- Consumo de energía en procesos de desalación, Juan María Sánchez.
- Guías para la calidad del agua potable de la OMS (2008).
- Manual para la inspección de buques y emisión de certificados de sanidad a bordo. Reglamento sanitario internacional (2005) OMS
- Guía de Desalación: aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano, Ministerio de Sanidad y Política Social)
- Sustancias empleadas en la potabilización del agua por ósmosis inversa P. Varó Galvañ, M. Rodríguez Pastor, M^a.F. Chillón Arias y D. Prats Rico.

Catálogos y Manuales

- Membranas Lewabrane. Guidelines for the design of reverse osmosis membrane systems, Lanxess Energizing Chemistry.
- Catálogo Membranas Toray.
- Dow Water Solutions FILMTEC™ Membranes Product Information Catalog.
- Catálogo Bombas Azcue.
- Catálogo Bombas KSB.
- Catálogo Bombas Hamworthy.

- Flow Guard, filtros de grava y arena verticales. Manual de Instalación y Operación.
- Catálogo Filtros de cartucho Fluytec.
- Documento Básico de Salubridad sección HS-4, Suministro de Agua.
- Technical Manual Reverse Osmosis Membrane, (CSM).
- Catálogo de bombas KSB: dimensionado de bombas centrífugas.
- Pump Handbook, McGraw Hill.

Normativa

- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- Convenio Internacional para prevenir la contaminación de los buques, Marpol. Anexo VI
- Resolución MEPC.212 (63) Directrices de 2012 sobre el método de cálculo del índice de eficiencia energética de proyecto (EEDI) obtenido para los buques nuevos.
- Norma UNE-EN ISO 15748 – 1. Embarcaciones y tecnología marina. Suministro de agua potable en buques y estructuras marinas. Parte 1: Planificación y diseño.
- Norma UNE-EN ISO 15748 – 2. Embarcaciones y tecnología marina. Suministro de agua potable en buques y estructuras marinas. Parte 2: Método de cálculo.

Páginas web

- <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia26/HTML/articulo04.htm>

- <http://www.akeringenieria.com/productos/generadores-de-agua-dulce>
- <http://www.lenntech.es/tabla-comparativa-estandares-oms-ue.htm>
- http://www.ecoagua.com/files/published.articles/desalacion_aguas_sam.pdf

AVISO

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado así como el director no son responsables del contenido último de este Trabajo.