

**INGENIERÍA BÁSICA DE UNA PLANTA DE
DESALACIÓN DE AGUA DE MAR
MEDIANTE OSMOSIS INVERSA**

MEMORIA DESCRIPTIVA

Índice

| | |
|--|-----------|
| Índice | 13 |
| Índice de Tablas | 16 |
| Índice de Figuras | 17 |
| 1 Introducción y antecedentes | 19 |
| 1.1 <i>La problemática del agua en barbados</i> | 19 |
| 1.1.1 Historia del suministro público de agua | 20 |
| 1.1.2 Suministro de agua en la actualidad | 20 |
| 1.2 <i>Necesidad de desalación del agua</i> | 21 |
| 1.2.1 Aplicaciones del agua desalada | 22 |
| 1.2.2 Técnicas de desalación | 23 |
| 1.3 <i>Aspectos ambientales asociados a la desalación</i> | 30 |
| 1.3.1 Estudio de impacto ambiental | 30 |
| 1.3.2 Estudio de alternativas para el rechazo de la planta | 31 |
| 2 Objetivo | 33 |
| 3 Desalación mediante osmosis inversa | 34 |
| 3.1 <i>Definición del proceso de osmosis inversa</i> | 34 |
| 3.2 <i>Membranas de osmosis inversa</i> | 36 |
| 3.2.1 Tipos de membranas | 36 |
| 3.2.2 Colocación de las membranas | 39 |
| 3.3 <i>Principio de funcionamiento</i> | 42 |
| 3.3.1 Ecuaciones de transporte | 42 |
| 3.3.2 Variables que afectan al proceso | 43 |
| 3.4 <i>Ensuciamiento de las membranas</i> | 45 |
| 4 Descripción de la solución | 46 |
| 4.1 <i>Datos de partida</i> | 46 |
| 4.2 <i>Calidad del agua producto</i> | 47 |
| 4.3 <i>Descripción del proceso</i> | 48 |
| 4.3.1 Toma de agua de mar | 48 |
| 4.3.2 Pretratamiento | 50 |
| 4.3.3 Osmosis inversa | 54 |
| 4.3.4 Post-Tratamiento | 54 |
| 4.3.5 Almacenamiento de agua potable | 56 |
| 4.3.6 Tratamiento de aguas rechazadas y de limpieza | 56 |
| 4.3.7 Emisario submarino | 57 |
| 4.4 <i>Listado de equipos</i> | 59 |
| 4.4.1 Depósitos | 59 |
| 4.4.2 Bombas | 60 |
| 4.4.3 Agitadores | 60 |
| 4.4.4 Otros equipos | 61 |
| 4.5 <i>Utilities</i> | 62 |
| 4.5.1 Instalación de aire comprimido | 62 |

| | | |
|--------------------|--|-----------|
| 4.6 | <i>Planta de embotellamiento de agua</i> | 63 |
| 4.7 | <i>Instrumentación y control</i> | 66 |
| 4.7.1 | Descripción de los instrumentos | 66 |
| 5 | Descripción de la planta | 69 |
| 5.1 | <i>Edificación</i> | 70 |
| 5.1.1 | Edificio de cántara de captación | 70 |
| 5.1.2 | Edificio de pozo de bombeo | 70 |
| 5.1.3 | Edificio de osmosis | 71 |
| 5.1.4 | Edificio de control y oficinas | 72 |
| 5.1.5 | Edificio almacén y taller | 74 |
| 5.1.6 | Edificio de envasado y almacenamiento | 75 |
| 5.1.7 | Edificio de post-tratamiento | 76 |
| 5.1.8 | Características generales de todas las naves | 77 |
| 5.2 | <i>Urbanización y obras civiles</i> | 79 |
| 5.2.1 | Muros | 79 |
| 5.2.2 | Jardinería | 79 |
| 5.2.3 | Infraestructuras | 79 |
| 5.3 | <i>Instalación eléctrica</i> | 80 |
| 5.4 | <i>Sistema de protección contra incendios</i> | 84 |
| 5.4.1 | Criterios de diseño según RD2267/2004 | 84 |
| 5.4.2 | Caracterización del establecimiento industrial | 84 |
| 5.4.3 | Sectorización y Cálculo del Nivel de Riesgo | 85 |
| 5.4.4 | Instalaciones de protección contra incendios | 86 |
| 6 | Conclusiones | 92 |
| 7 | Normativa aplicable | 93 |
| Referencias | | 95 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Calidad del agua de alimentación a planta. | 46 |
| Tabla 2. Criterio de calidad del agua de consumo humano según la BWA. | 47 |
| Tabla 3. Tipo de captaciones para desalación. | 48 |
| Tabla 4. Listado de Depósitos. | 59 |
| Tabla 5. Listado de bombas. | 60 |
| Tabla 6. Listado de agitadores. | 60 |
| Tabla 7. Listado de equipos de proceso. | 61 |
| Tabla 8. Calidad del aire comprimido. | 62 |
| Tabla 9. Capacidad de sistema de embotellado. | 64 |
| Tabla 10. Lista de consumidores. | 83 |
| Tabla 11. Densidad de carga de fuego en cada área o sector de incendio. | 86 |
| Tabla 12. Sistemas automáticos de detección de incendios para actividades de producción. | 87 |
| Tabla 13. Sistemas automáticos de detección de incendios para actividades de almacenamiento. | 87 |
| Tabla 14. Sistema de hidrantes exteriores. | 88 |
| Tabla 15. Sistema de bocas de incendio equipadas. | 89 |
| Tabla 16. Sistemas de rociadores automáticos para sistemas de producción. | 89 |
| Tabla 17. Sistemas de rociadores automáticos para sistemas de almacenamiento. | 89 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Isla de Barbados. | 19 |
| Ilustración 2. Distribución de Aguas en la Tierra | 21 |
| Ilustración 3. Formas de Desalación | 23 |
| Ilustración 4. Distribución de Técnicas de Desalación | 23 |
| Ilustración 5. Procesos de Desalación Térmico y de Membranas | 24 |
| Ilustración 6. Diferentes configuraciones de Evaporación de Múltiple Efecto | 25 |
| Ilustración 7. Proceso de Destilación Flash Multietapa | 26 |
| Ilustración 8. Diagrama de Flujo del Proceso de Compresión de Vapor | 27 |
| Ilustración 9. Diagrama de Electrodiálisis Reversible | 28 |
| Ilustración 10. Diagrama de Osmosis | 29 |
| Ilustración 11. Diagrama de Osmosis Inversa | 29 |
| Ilustración 12. Diagrama de flujo de una planta de desalinización por Osmosis Inversa | 35 |
| Ilustración 13. Membrana de módulo en espiral | 37 |
| Ilustración 14. Membrana de fibra hueca | 38 |
| Ilustración 15. Tubo de presión de 3 membranas | 39 |
| Ilustración 16. Bastidores de Osmosis Inversa | 40 |
| Ilustración 17. Etapas de salmuera | 41 |
| Ilustración 18. Etapa de producto | 41 |
| Ilustración 19. Captación de agua de mar mediante Torre de Toma. | 48 |
| Ilustración 20. Torre de toma de agua de Mar. | 49 |
| Ilustración 21. Inmisario submarino. | 49 |
| Ilustración 22. Filtros de Arena-Antracita de la firma Degremont. | 52 |
| Ilustración 23. Filtros de cartucho de la marca PANTSCH. | 53 |
| Ilustración 24. Disolvedores de CO₂ a baja presión (Fabricante Drintec). | 55 |
| Ilustración 25. Lechos de calcita. | 55 |
| Ilustración 26. Depósitos de agua potable. | 56 |
| Ilustración 27. Decantador de agua residual. | 57 |
| Ilustración 28. Emisario submarino. | 57 |
| Ilustración 29. Difusores de emisario sumarino. | 58 |
| Ilustración 30. Compresor KAESER modelo SX 3. | 62 |
| Ilustración 31. Formatos de embotellado de 5L (izquierda) y 1,5L (derecha). | 63 |
| Ilustración 32. Sistemas de embotellado de agua. | 64 |
| Ilustración 33. Sistema de paletizado automático. | 65 |

| | |
|---|----|
| Ilustración 34. Indicador y transmisor de presión. | 66 |
| Ilustración 35. Caudalímetro electromagnético. | 67 |
| Ilustración 36. Emplazamiento. | 69 |
| Ilustración 37. Cántara de captación. | 70 |
| Ilustración 38. Pozo de bombeo. | 71 |
| Ilustración 39. Edificio de osmosis. | 72 |
| Ilustración 40. Edificio de oficinas. | 72 |
| Ilustración 41. Edificio almacén y taller. | 75 |
| Ilustración 42. Edificio de envasado y almacenamiento. | 76 |
| Ilustración 43. Edificio de post-tratamiento. | 77 |

1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

1.1 La problemática del agua en barbados

Barbados es el país más oriental del Caribe. Es una isla de coral que tiene una superficie terrestre de 430 km², con 34 km de largo y 23 km de ancho. Su terreno es generalmente llano y su población se encuentra cerca de los 290.000 habitantes.

Al igual que otras islas del Caribe, Barbados enfrenta un problema de escasez de agua, debido a la escasez de agua superficial, ya que el consumo de agua del país procede casi completamente de agua de lluvia, la cual es filtrada hacia los acuíferos subterráneos, de donde se extrae.

Barbados está clasificado por la Comisión de las Naciones Unidas sobre el Agua como un país con "escasez de agua", poniéndolo sólo ligeramente por delante de las naciones del desierto de Oriente Medio en términos de disponibilidad per cápita. Esto lo hace particularmente vulnerable a los efectos de las sequías cíclicas, tales como la ocurrido en 1994-95. Se dice que es un evento que ocurre uno de cada 150 años.

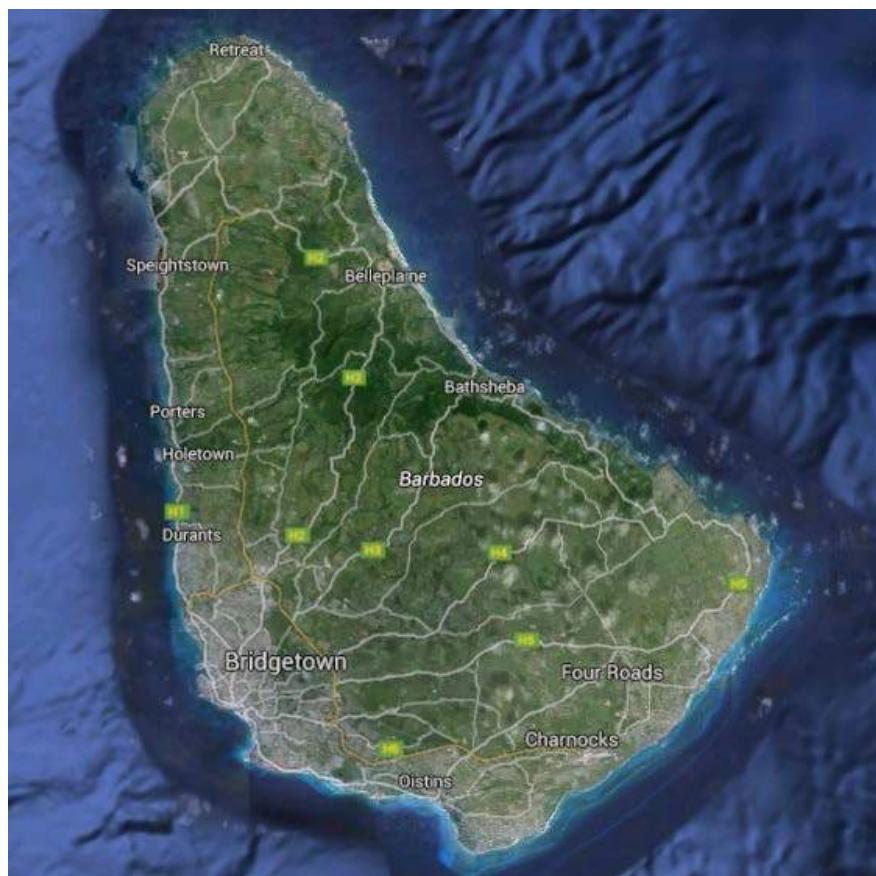


Ilustración 1. Isla de Barbados.

Uno de los parámetros por los que un país se juzga por la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO), es su disponibilidad per cápita de los recursos hídricos. Si un país tiene menos de 1.000 metros cúbicos de agua por habitante y año, se considera un país con escasez de agua. En este caso, Barbados dispone de unos 390 m³ de agua por persona y por año. Estas cifras incluyen a Barbados como uno de los 15 países con mayor escasez de agua en el mundo.

1.1.1 Historia del suministro público de agua

En los inicios de la población en Barbados el agua potable se obtenía principalmente de lagunas, manantiales, pozos de agua y tanques de agua de lluvia. Los pozos fueron la única fuente de agua segura para la población durante periodos de larga sequía.

Cuando Bridgetown se estableció como una ciudad, no existían redes de distribución que abastecieran de igual modo a toda la población. Un informe oficial publicado en 1858, publica que los dueños de las propiedades que poseían manantiales vendían el agua a personas que la transportaban en barricas hasta puntos de venta.

El suministro de agua de la isla ha mejorado sin duda en los siglos XIX y XX. Uno de los primeros puntos a destacar fue el diseño y la construcción de la Estación de Bombeo de Belle entre 1926 y 1944, que ha sido y sigue siendo el mayor proveedor de agua de la isla. En 1944, la primera bomba de agua accionada eléctricamente se instaló en Belle. Antes de esto, las bombas eran impulsadas con máquinas de vapor.

1.1.2 Suministro de agua en la actualidad

Actualmente, Barbados se abastece de dos manantiales (Codrington Spring College y Benn Printer), 22 pozos, 8 perforaciones (con profundidades desde 35 hasta 100 metros de profundidad) y una planta de desalación de agua subterránea mediante osmosis inversa (con un caudal de producción de agua potable de 30.000 m³/día).

La red de agua en toda la isla está conectada por más de 3.200 km de tuberías de transmisión y distribución. El agua llega a la población a través de la red de distribución con la ayuda de 22 estaciones de bombeo a partir de 27 embalses.

El consumo de agua en Barbados ha ascendido desde 38 litros/día/persona residente en 1978, hasta los 235 litros/día/persona residente y 678 litros/día/visitantes residentes en hoteles en 2004, con una cantidad estimada de 500.000 visitantes/año. El consumo anual de agua en el sector municipal e industrial supuso 26 millones de m³ al año en el año 2000. En total, actualmente se estima un consumo de 250.000 m³/día.

Se prevé que el impacto del cambio climático en las fuentes de abastecimiento de agua potable dará como resultado una disminución del agua disponible como consecuencia de un incremento en la frecuencia de sequías, disminución de lluvia e incluso incremento de la temperatura. Además, el aumento del nivel del mar podría afectar los acuíferos costeros.

Por estos motivos, el gobierno de Barbados lleva tiempo especulando sobre la viabilidad de la instalación de una planta de desalación de agua de mar (fuente inagotable), que pueda abastecer de agua a gran parte de la población, e incluso pueda almacenar agua para abastecer el consumo en momentos de sequía.

En Enero de 2016, la “Barbados Water Authority” ofertó la realización de un proyecto de construcción de dos plantas desaladoras de agua de mar, con una capacidad de producción de 30.000 m³/día de agua potable cada una, siendo la fecha de cierre del plazo de solicitud el 5 de Febrero de 2016.

1.2 Necesidad de desalación del agua

La tierra contiene cerca 1400 millones km³ de agua, que cubren aproximadamente el 70% de la superficie del planeta. El 97% del agua se encuentra en forma de agua salada, con un contenido en sal mayor de 35.000 ppm. Mientras que el 2% del agua del planeta se encuentra congelada en regiones polares y cadenas montañosas, un 0,3 % en la atmósfera y un 0,6% se encuentra en acuíferos subacuáticos, las cuales son zonas de difícil acceso. Solo un 0,1% del agua en la tierra se encuentra en ríos y lagos, zonas de fácil acceso.

De este modo, la alternativa más viable para la producción de agua potable es la desalación de agua de mar.

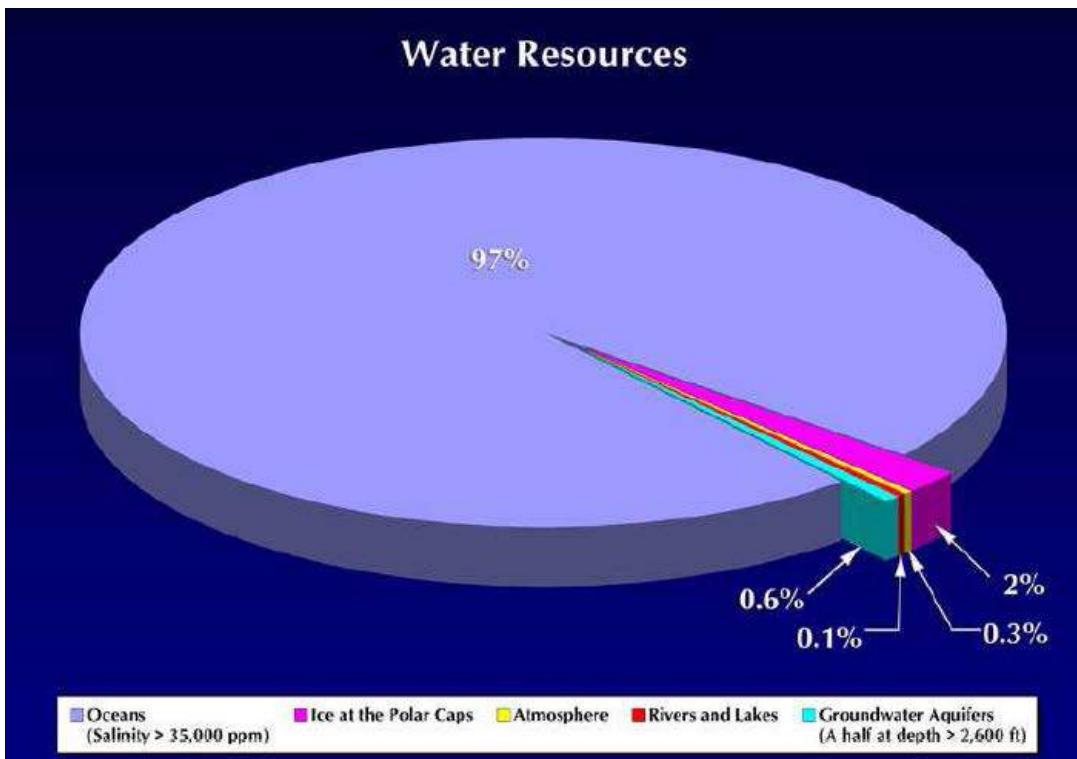


Ilustración 2. Distribución de Aguas en la Tierra

La energía solar es el principal motor de formación de agua dulce a partir del agua del océano. La energía térmica absorbida por la superficie de la tierra genera suficiente gradiente térmico para evaporar agua a partir de la gran superficie de los océanos. El agua evaporada genera nubes en el ambiente a gran altura. Las nubes son transportadas sobre la tierra, donde el agua cae en forma de precipitaciones.

Las precipitaciones se ven afectadas por las condiciones geográficas, temperatura humedad. El patrón de viento, las formas geográficas, y las condiciones ambientales generan zonas de precipitación constante de agua, estaciones de monzones y áreas de muy baja precipitación, como las zonas desérticas y tropicales.

La desalación se ha convertido en una solución asequible de obtener agua potable en áreas costeras y tropicales, que carecen de otro tipo de fuentes para la obtención de agua de consumo humano, para abastecer a esas poblaciones de sus necesidades diarias de agua. Siendo el consumo de agua per cápita estimado en propósitos caseros de entre 200-400 L/día, los cuales son usados para cocinar, limpieza, riego del jardín y otros usos. Aunque también existen otros usos para el agua desalada, como se explica en el siguiente subapartado.

A continuación se van a aportar ciertos datos referidos a la desalación de agua en el mundo, a fecha de 30 de Junio de 2015:

- Número total de plantas de desalación en el mundo: 18.426
- Capacidad global de las plantas de desalación: 86,8 Millones m³/día
- Número de países donde se practica la desalación: 150
- Número de personas en todo el mundo que dependen del agua desalada para algunas o todas sus

necesidades diarias: más de 300 Millones

1.2.1 Aplicaciones del agua desalada

En primer lugar, se van a clasificar los tipos de agua según su el propósito para el cual vaya a ser utilizada. Las tablas de las características de cada tipo de agua pueden observarse en el Anexo V.

- **Agua potable**

Se puede producir agua potable a partir de cualquier fuente de agua natural como por ejemplo lagos, ríos, aguas subterráneas o agua de mar.

Los parámetros que rigen la calidad del agua potable están definidos por la OMS o por la Unión Europea. Por lo general, la calidad exigida por la UE (1998) es más restrictiva que la exigida por la OMS (1993).

El agua destinada al consumo no puede contener sólidos suspendidos, microorganismos ni compuestos químicos tóxicos. Su composición en minerales puede depender según la zona, y con ello también variará su sabor, pero nunca excederán la cantidad máxima permitida de ciertos minerales que asegure un agua equilibrada, agradable para el consumo y segura.

- **Agua de proceso**

Con agua de proceso nos referimos agua de calderas, agua de refrigeración, disolución de productos químicos, etc. Las fuentes más utilizadas para obtener agua de proceso son del grifo o subterráneas.

Los requerimientos de la calidad del agua dependerán según el uso concreto que se le dé. Normalmente tiene una conductividad de entre 0,1 u 50 uS/cm, y suele ser de muy baja dureza para evitar la formación de incrustaciones en los equipos de intercambio de calor.

- **Agua de riego**

La agricultura es con diferencia la mayor consumidora de agua a nivel global. El 70% del consumo de agua en el mundo es para el riego de cultivos. Los países que tienen mayor porcentaje en consumo de agua de riego son los países en vías de desarrollo, que puede llegar a representar incluso el 95% del agua consumida.

El agua utilizada para la agricultura procede tanto de fuentes naturales como de recursos alternativos. Los recursos Naturales incluyen el agua de lluvia, agua de superficie (ríos y lagos). El uso de estos recursos debe realizarse de una forma sostenible.

Otra alternativa es la reutilización de aguas procedentes de las estaciones de tratamiento de aguas residuales. Esto implica que el tratamiento de las aguas residuales debe ser bien gestionado, ya que la utilización de un agua no apta para riego puede perjudicar gravemente las cosechas. Es por ello que, la calidad del agua empleada en regadío es fundamental para el rendimiento y cantidad de cultivos, mantenimiento de la tierra y protección del medio ambiente. Por ejemplo, las propiedades físicas y mecánicas de la tierra, la permeabilidad, son muy sensibles a los diferentes tipos de iones presentes en el agua de riego.

- **Agua ultrapura**

El agua ultrapura es empleada en la industria de los semiconductores y en la industria farmacéutica, principalmente. Las especificaciones de este tipo de agua se están volviendo cada vez más estrictas.

El agua ultrapura solo contiene H₂O, iones H⁺ y OH⁻ en equilibrio. Esto significa que al no tener iones una cantidad importante de iones disueltos su conductividad (0.054 uS/cm a 25°C) se va a ver reducida considerablemente en comparación con cualquier otro tipo de agua.

1.2.2 Técnicas de desalación

Los procesos de desalación industriales implican la separación de la sal del agua de mar o salobre, donde las sales se extraen concentradas con la corriente de salmuera rechazada, mientras que por otro lado se obtiene agua dulce, Ilustración 3.

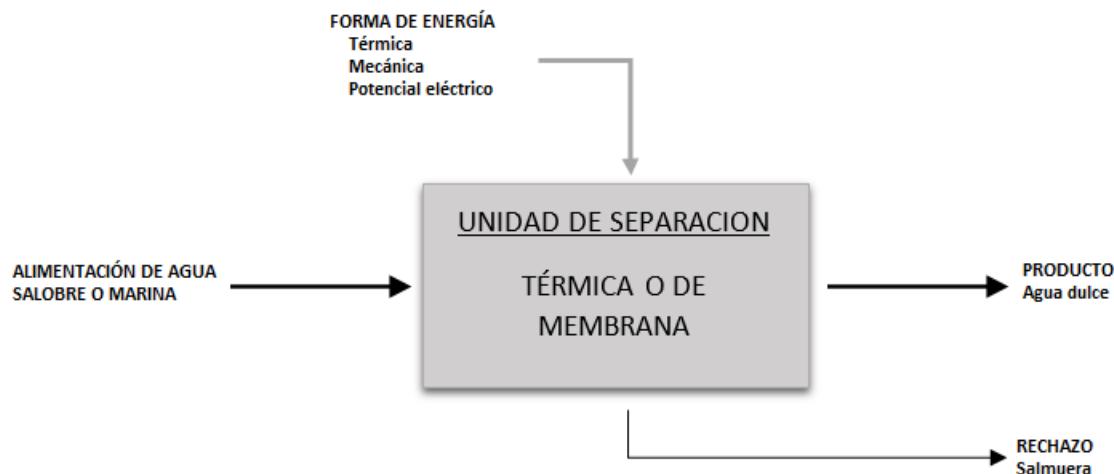


Ilustración 3. Formas de Desalación

Los procesos de separación industriales pueden estar basados en métodos de separación térmicos o a través de membranas. Las técnicas de separación térmica incluyen dos categorías principales; la primera es evaporación seguida de condensación del agua evaporada y la segunda es mediante enfriamiento seguido de una cristalización de cristales de hielo.

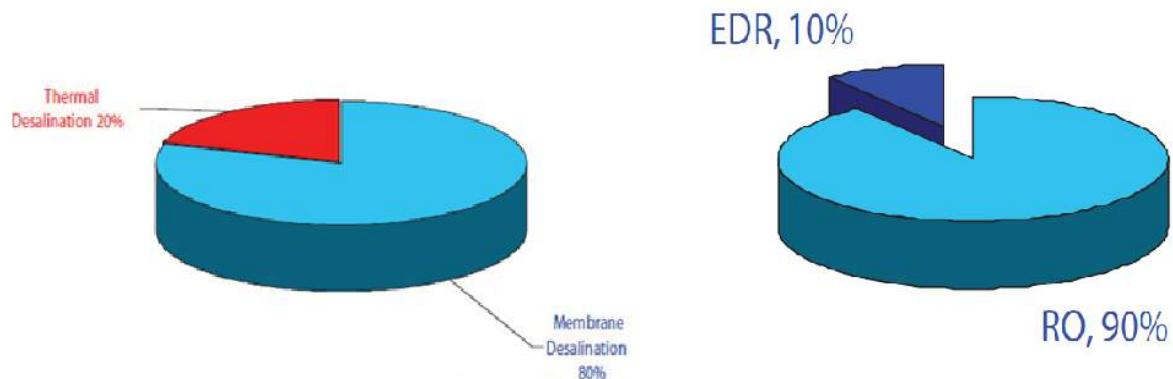


Ilustración 4. Distribución de Técnicas de Desalación

Como se observa en la ilustración 4, las técnicas de desalación térmicas están quedando obsoletas en su mayoría, siendo las técnicas de membrana las más usadas en la actualidad (80%). Además, la tendencia es que siga aumentando.

Dentro de las técnicas de membrana, la más instalada con diferencia es la osmosis inversa en un 90% (RO, reverse osmosis), frente a la electrodiálisis en un 10%.

A continuación se muestra una clasificación más detallada de todos los procesos de separación que derivan de cada método (térmico o de membrana), Ilustración 5.

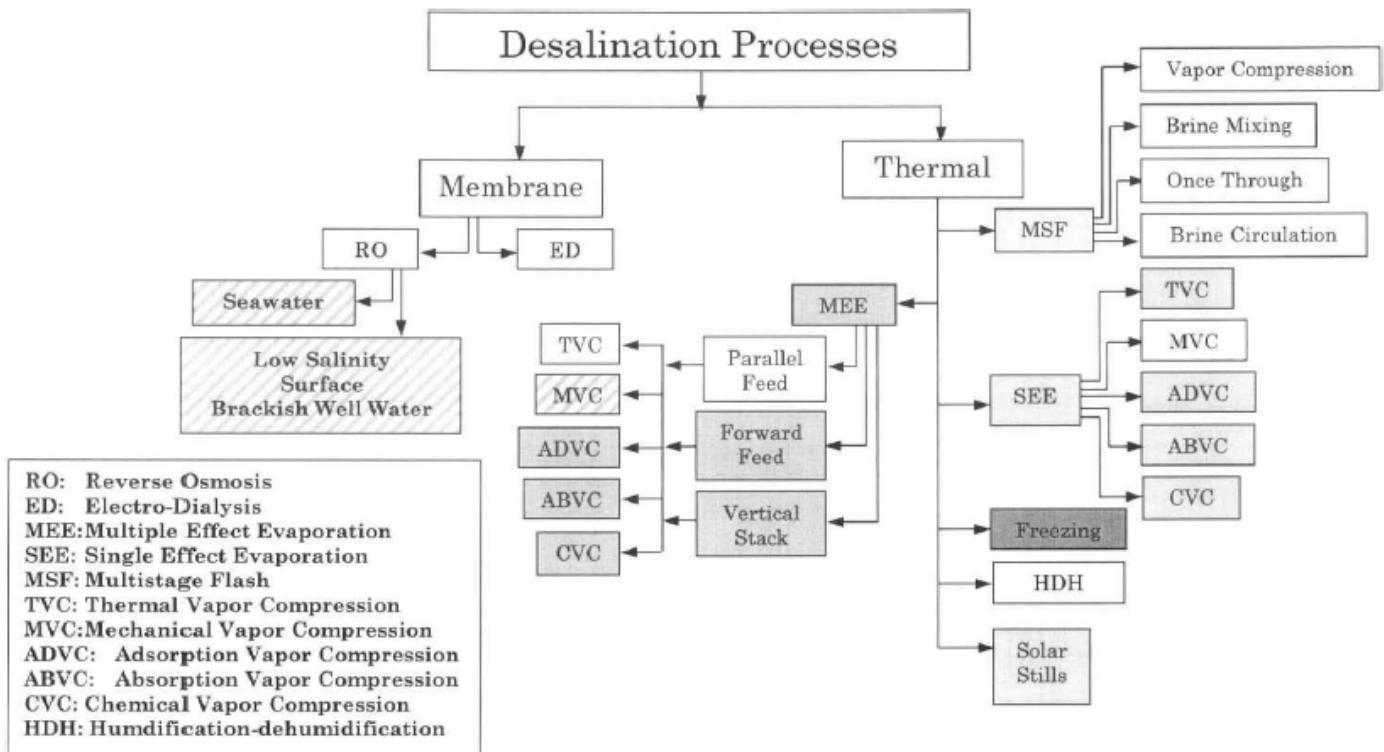


Ilustración 5. Procesos de Desalación Térmico y de Membranas

De todas esas técnicas de desalación, se procede a explicar con mayor detalle las más comúnmente utilizadas:

- Evaporación Múlti-Efecto (MEE)
- Destilación Flash Multietapa (MSF)
- Compresión de vapor (VC)
- Electrodialisis (ED)
- Osmosis inversa (OI) ó (RO)

EVAPORACIÓN MÚLTI-EFECTO (MEE)

La evaporación de múltiple efecto está formada por una secuencia de evaporadores de simple efecto, donde el vapor formado en un efecto es usado en el siguiente efecto. De este modo se consigue un ahorro importante de vapor en comparación con la evaporación de simple efecto, pero la inversión inicial es mayor, ya que los evaporadores de la evaporación múlti-efecto son prácticamente del mismo tamaño que el evaporador de simple efecto.

Además de la industria de desalación, el grueso de los múltiples procesos de efecto de evaporación se encuentra en la industria petroquímica, alimentos, pulpa y papel y del petróleo.

Los procesos de evaporación de múltiple efecto se pueden configurar el paralelo (Ilustración 6 (c)), en contracorriente (Ilustración 6 (b)) y en equicorriente (Ilustración 6 (a)).

Con la configuración en equicorriente, la alimentación y el vapor son introducidos en el evaporador (1), y las dos corrientes de salida (vapor producido y concentrado) son alimentadas al evaporador (2), mientras que los condensados se van uniendo en una misma corriente como producto destilado. De este modo ambas corrientes se siguen de manera sucesiva, siendo el vapor producido en el primer efecto el que aporta la energía suficiente para que se produzca vapor en el segundo efecto, mientras que éste se condensa.

Con la configuración en contracorriente, el vapor se introduce en el evaporador (1) y va avanzando el vapor producido desde (1) hasta (n), mientras que la alimentación se introduce en último evaporador (n) y avanza desde el evaporador (n) hasta (1).

Con la configuración en paralelo, la alimentación se reparte entre todos los evaporadores, mientras que el vapor producido avanza como anteriormente en ambos casos, desde (1) hasta (n), reuniéndose los concentrados en una misma corriente de producto de destilados.

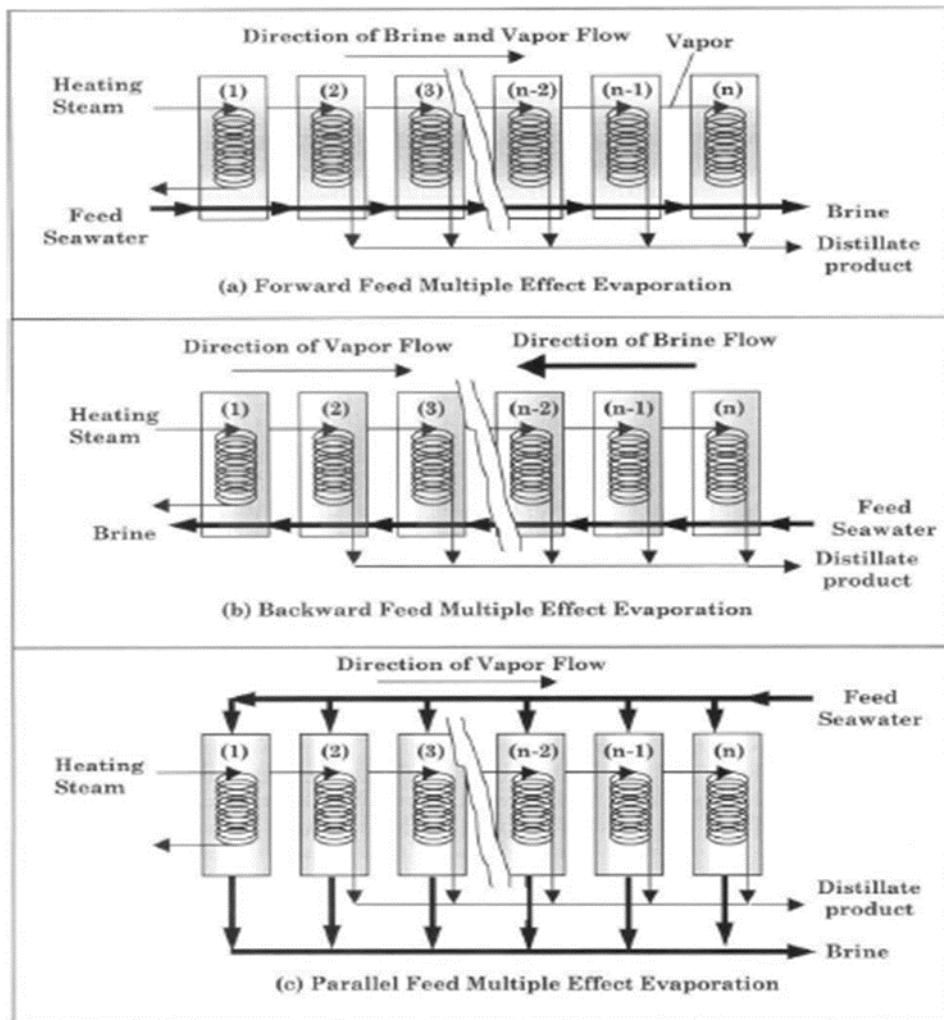


Ilustración 6. Diferentes configuraciones de Evaporación de Múltiple Efecto

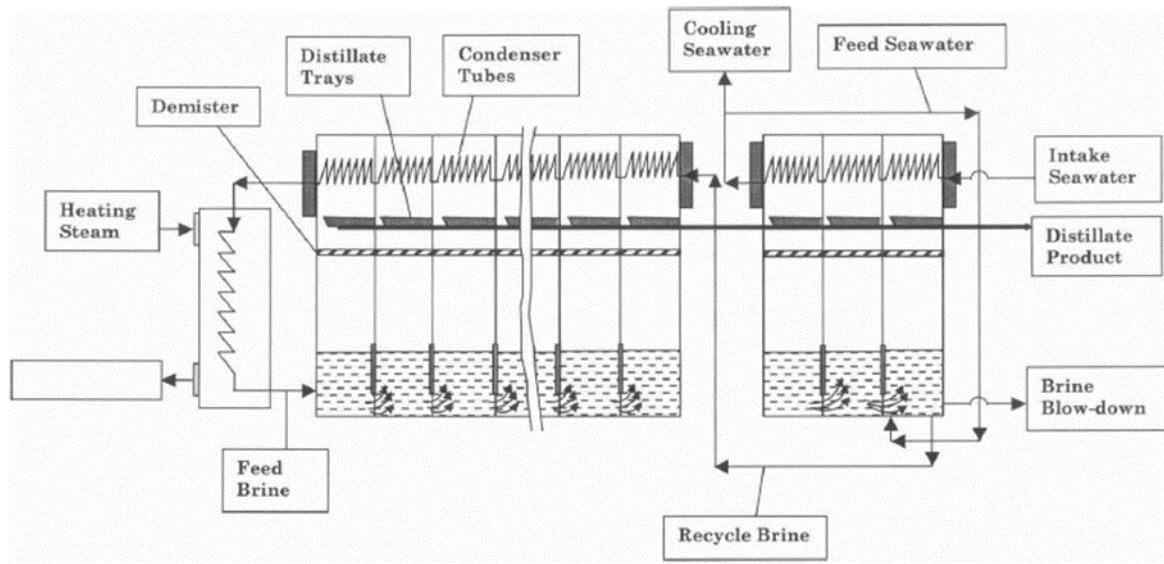


Ilustración 7. Proceso de Destilación Flash Multietapa

DESTILACIÓN FLASH MULTIETAPA (MSF)

La Destilación Flash Multietapa se basa en el principio de evaporación a partir de la reducción súbita de la presión, por debajo de su presión de vapor de equilibrio, produciéndose una ebullición “explosiva”. El agua salina, se precalienta con las corrientes de vapor formado en las etapas posteriores. A continuación se calienta aún más con vapor y se introduce en la primera etapa flash, donde su presión disminuye por debajo de la de saturación a esa temperatura produciéndose la evaporación de una pequeña parte del agua salada. En las siguientes etapas se produce el mismo efecto, reduciendo la presión progresivamente. El vapor formado en cada etapa pasa a través de unos atrapadores de gotas (“demisters”) donde se atrapan las gotas de salmuera que arrastra y posteriormente es condensado mientras precalienta la corriente de entrada de salmuera. A este condensado es al que se llama agua producto o desalada.

COMPRESIÓN DE VAPOR (CV)

La desalación de agua por compresión de vapor se puede realizar por dos procedimientos. Uno de ellos comprime el vapor mediante la acción de un compresor mecánico accionado por un motor, conocido como compresión mecánica de vapor (M.V.C.). El otro procedimiento se realiza mediante un eyecto compresor, se denomina compresión térmica de vapor (T.V.C.).

A continuación se explican ambos métodos:

Compresión mecánica de vapor

Siguiendo el flujo de agua y vapor en la ilustración 8, se procede a explicar el proceso de compresión mecánica de vapor.

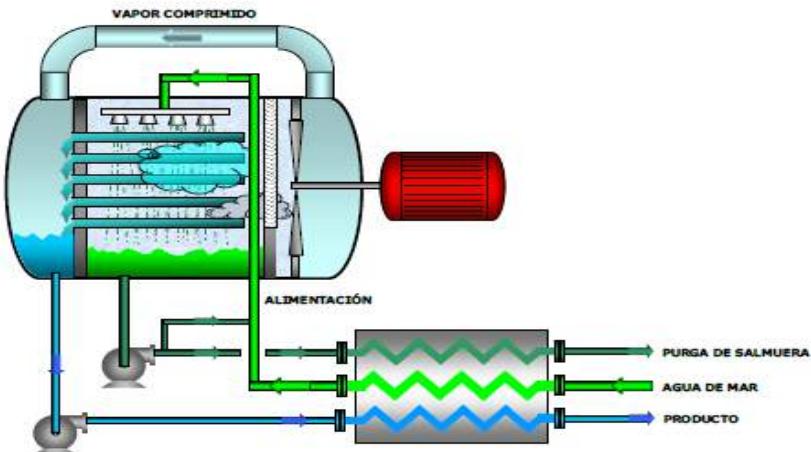


Ilustración 8. Diagrama de Flujo del Proceso de Compresión de Vapor

En la ilustración se diferencian tres partes importantes: un compresor accionado por un motor, un evaporador y un intercambiador de calor líquido/líquido.

El agua de mar se introduce por el intercambiador de calor, para precalentarse y ser añadida al ciclo (antes de ser introducida en el ciclo es desgasificada y tratada químicamente, para evitar incrustaciones y corrosión). Se mezcla con parte de la salmuera y forma la alimentación. La alimentación se rocía al interior de evaporador sobre los tubos del condensador. Esta alimentación se calienta hasta alcanzar la temperatura de saturación correspondiente a la presión en el interior del evaporador, y una parte se evapora. El vapor formador se libera de las gotas que arrastra pasando a través de unos demisters y entra en la aspiración del compresor, lo cual lo comprime, formando vapor recalentado. Este vapor es introducido en los tubos del evaporador, donde condensa cediendo calor sensible a la alimentación. Posteriormente, el agua producto es enfriada a través de un intercambiador de placas que intercambia calor con el agua bruta de alimentación. La aportación al evaporador que no se ha evaporado es dividida en dos corrientes; una que se mezcla con el agua bruta de alimentación y otra que es purgada para mantener el equilibrio salino en el evaporador, que se enfriá intercambiando calor con la corriente de agua bruta de alimentación mediante un intercambiador de placas.

- **Efecto compresión de vapor**

El proceso de desalación mediante efecto compresión de vapor, es igual que el proceso de compresión mecánica de vapor, sustituyendo el compresor por un eyector que funciona con vapor motriz externo. La diferencia más importante entre los dos procesos es que en el eyector de vapor se mezclan el vapor motriz externo y el vapor producido en el interior de la cámara, por ello, el agua de producto obtenida debe ser dividida en dos corrientes, la primera que es el agua producto obtenida y la otra, que tiene el mismo caudal en peso que el vapor motriz utilizado, que se devuelve a la caldera productora de vapor motriz y que se conoce como condensado.

ELECTRODIÁLISIS (ED)

La electrodiálisis es una tecnología que permite extraer sustancias orgánicas e inorgánicas ionizadas disueltas en una disolución acuosa bajo la influencia de un campo eléctrico continuo, a través de membranas selectivas de intercambio iónico.

Cuando se establece un campo eléctrico en un electrodializador, los iones positivos migran hacia el cátodo (-) mientras que los iones negativos lo hacen hacia el ánodo (+), ya que las cargas opuestas se atraen. Debido a la disposición de las membranas, aparecen compartimentos donde la disolución del electrolito se empobrece en éste y otros, donde el electrolito se concentra. Los cationes que están en un compartimento de diluidos migran por efecto del campo eléctrico hacia el cátodo, encontrándose en primer lugar con una membrana catiónica, que permite el transporte, pasando al compartimento adyacente donde se encuentra con una membrana aniónica que no puede atravesar, quedando atrapados en este compartimento.

Los aniones que están en un compartimento de diluidos migran por efecto del campo eléctrico hacia el ánodo,

encontrándose en primer lugar con una membrana aniónica, que permite el transporte, pasando al compartimento adyacente donde se encuentra con una membrana catiónica que no puede atravesar, quedando retenidos en este compartimento. Para que ocurra lo descrito anteriormente, el módulo de electrodiálisis debe estar formado por dos electrodos metálicos que establecen el campo eléctrico, cátodo y ánodo, entre los cuales están colocadas las membranas como se muestran en la ilustración 9.

Para el sistema de la ilustración 9, se puede observar que parte del agua de alimentación se introduce mezclándose con la disolución concentrada, para disminuir su concentración y que no llegue a saturar (alcanzando la precipitación de las sales) en el interior del equipo al aumentar la concentración. De esta forma se puede obtener mucho más producto (Producto/Alimentación=70%) que en la siguiente disposición, más clásica, que solo se obtenía como producto un 50% del agua de alimentación.

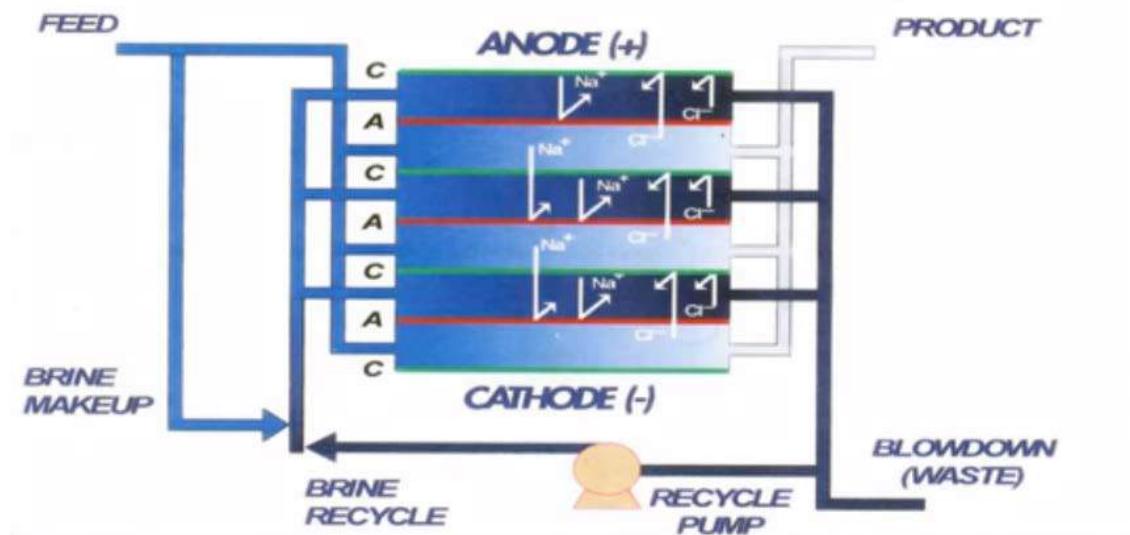


Ilustración 9. Diagrama de Electrodiálisis Reversible

Siguiendo la ilustración 9, se observa que:

$$Q_A \cdot C_A = \text{cte} = Q_C \cdot C_C$$

De modo que si aumenta el caudal de extracción de concentrado (Q_C), disminuye la concentración del concentrado (C_C) y viceversa. Ya que el caudal y la concentración de alimentación son constantes. Así que habría que conocer cuál es el límite de concentrado que permite introducir menos agua de alimentación al reciclo, para obtener mayor agua producto sin que el concentrado precipite, creando incrustaciones.

El sistema de electrodiálisis suele estar compuesto por más de 600 pares de membranas, que se encuentran separados por unos espaciadores que permiten el flujo de iones entre ellos.

OSMOSIS INVERSA (RO)

El fenómeno de Ósmosis se basa en la búsqueda del equilibrio. Cuando se ponen en contacto dos fluidos con diferentes concentraciones de sólidos disueltos, estos se mezclarán hasta que la concentración sea uniforme. Pero, si estos fluidos están separados por una membrana semipermeable, que no permite el paso de uno de los fluidos, el fluido que se moverá a través de la membrana será el de menor concentración de tal forma que disminuye la concentración del fluido más concentrado inicialmente. Como se observa en la ilustración 10, al cabo de un tiempo, el contenido en agua será mayor en uno de los lados de la membrana. La diferencia de altura entre ambos fluidos se conoce como presión osmótica.

Si se aplica una presión superior a la presión osmótica en la solución concentrada, se produce el efecto contrario.

Los fluidos se pasan a través de la membrana hacia el lado del fluido menos concentrado, mientras que los sólidos disueltos quedan retenidos. A esto proceso se le denomina osmosis inversa y se puede observar en la Ilustración 11.

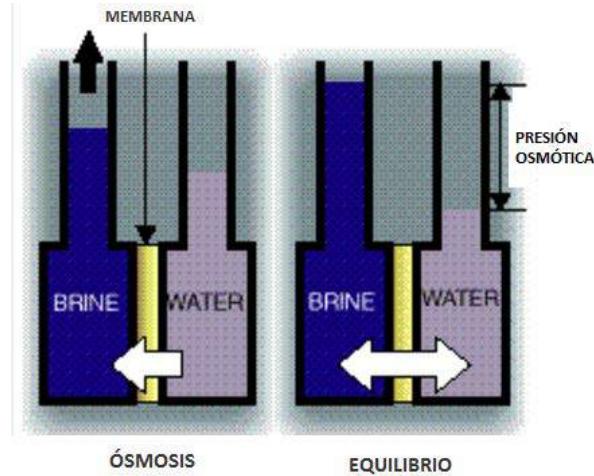


Ilustración 10. Diagrama de Osmosis

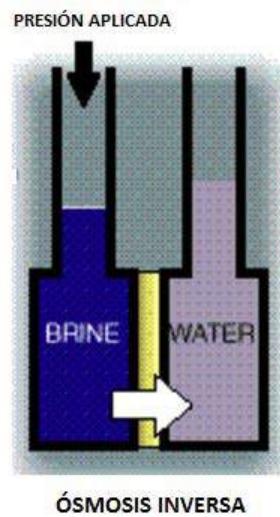


Ilustración 11. Diagrama de Osmosis Inversa

Esta tecnología es la que se va a utilizar para la desalinización del agua de mar de éste proyecto. En el apartado 3 se profundiza mucho más en el desarrollo de ésta tecnología.

1.3 Aspectos ambientales asociados a la desalación

Según el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, sólo deberán someterse a una evaluación de impacto ambiental en la forma prevista en esta ley, cuando así lo decida el órgano ambiental en cada caso, los siguientes proyectos:

1. Los proyectos públicos o privados consistentes en la realización de las obras, instalaciones o de cualquier otra actividad comprendida en el anexo II.
2. Los proyectos públicos o privados no incluidos en el anexo I que pueda afectar directa o indirectamente a los espacios de la Red Natura 2000.

Este proyecto se encuentra del grupo 8, apartado e, donde se ven afectadas instalaciones de desalación o desalobración de agua con un volumen nuevo o adicional superior a 3.000 m³/día. Por tanto según esta ley, este proyecto deberá someterse a un Estudio de Impacto Ambiental.

La Evaluación del Impacto Ambiental identificará, describirá y evaluará de forma apropiada, en función de cada caso particular y de conformidad con esta ley, los efectos directos e indirectos de un proyecto sobre los siguientes factores:

- a) El ser humano, la fauna y la flora.
- b) El suelo, el agua, el aire, el clima y el paisaje.
- c) Los bienes materiales y el patrimonio cultural.
- d) La interacción entre los factores mencionados anteriormente.

1.3.1 Estudio de impacto ambiental

Los principales aspectos ambientales a considerar son:

- Localización de la planta: La nueva planta se ubica en un área de 30.000 m² en la zona noreste de la isla de Barbados, en la zona de Pie Corner, al norte de Saint Andrew. Este lugar se caracteriza por ser una zona poco poblada, poco frondosa, llana y muy cercana al mar, de modo que al situar la planta en este emplazamiento estamos asegurando la minimización de Impacto Ambiental referente a áreas edificadas o de interés medioambiental. También se asegura que al estar cerca de la fuente de alimentación no se afecte a otras zonas de la isla, al no haber necesidad de trasladar el agua de mar (alimentación de la planta) hasta zonas más alejadas, pudiendo complicar las tareas de Obra Civil y Transporte, disminuyendo también los coste asociados de energía para transportar el agua cuando la planta se encuentre en funcionamiento.
- Disposición final de salmuera: Existen diversas opciones en cuanto a la disposición final del rechazo de la planta, entre las que se encuentran:
 - Vertido al mar
 - Vertido a las redes de Saneamiento o Cauces
 - Obtención de sal
 - Riego de plantas de alta tolerancia salina y cultivos energéticos
 - Inyección en pozos profundos
- Fuentes energéticas: Aunque el consumo de energía depende de la combinación del proceso, entre un 25-40% del cote total de agua desalada corresponde al consumo energético de la planta.

Las soluciones energéticas más usadas comúnmente suelen ser la instalación de recuperadores de energía como Turbina pelton, intercambiadores de presión o bombas invertidas, que recuperan la energía del agua rechazada a la salida de las membranas de osmosis para generar energía o comprimir parte del caudal de alimentación a las membranas.

1.3.2 Estudio de alternativas para el rechazo de la planta

Como rechazo de la desalación se obtiene una salmuera con una alta concentración de sales disueltas. La disposición final del rechazo de la planta desaladora tiene gran importancia, ya que el impacto ambiental que puede producir si no se controla la emisión de esta salmuera puede perjudicar gravemente a la flora y la fauna de la zona de vertido.

Dada la importancia, se analizarán las distintas opciones que se están empleando hoy día.

Los principales factores que afectan a la selección del destino final de la salmuera son: el caudal de concentrado y su concentración, la localización geográfica del punto de vertido, la disponibilidad del medio receptor, la permisibilidad de la opción, los costes capital, la posibilidad para la expansión y la aceptación social.

Estudiando las posibles alternativas para el rechazo de la planta, expuestas en el apartado anterior, se descartan:

- Inyección en pozos profundos: Dado que lo que se pretende con este proyecto es evitar que se sobreexploten los pozos de agua dulce y con ello eliminar la posibilidad de que el agua de mar con alta concentración salina se introduzca en los pozos.
- Obtención de sal: Ya que no se dispone del espacio suficiente para realizar la desalación por evaporación natural, sin afectar al paisaje de la zona.
- Riego de plantas de alta tolerancia salina y cultivos energéticos: Dado que no se disponen de dichas plantas y el caudal de rechazo es muy elevado.
- Vertido a redes de saneamiento: Ya que el caudal de rechazo generado es excesivamente alto.

De modo que la única opción viable para la disposición final de la salmuera para este proyecto es el vertido controlado al mar.

En esta opción, la salmuera se vierte controladamente al mar, ya sea de forma directa o mediante emisarios submarinos. Cabe destacar que la salmuera estará compuesta, además de por las sales concentradas, por los diferentes productos químicos que se han ido añadiendo en el pretratamiento. En ocasiones también se añaden al rechazo los productos de limpieza química de las membranas, aunque lo conveniente sería su vertido por separado hasta una Estación de Tratamiento de Aguas Residuales. El efecto sobre el medio Marino sería de forma local, en las zonas próximas donde se produzca el vertido.

Dichos compuestos químicos no tienen por qué considerarse tóxicos para el medio Marino puesto que:

- Las dosis usadas son del orden de 1 a 25 ppm, por lo que resultan despreciables respecto al resto de las sales.
- El cloro libre de los biocidas debe pasar a cloruros antes de entrar en la membrana (por su baja tolerancia al Cl) siendo despreciable frente al contenido de este ión en la salmuera.
- El reductor se oxida a sulfato, siendo también despreciable frente al contenido de este ión en la salmuera.
- Los ácidos modifican el pH del agua de aporte, pero luego se estabiliza con los reductores, y únicamente tiende a incrementar la salinidad de la salmuera de forma despreciable.
- La biodegradabilidad de los antiincrustantes es total aunque varía la velocidad con que lo hagan.

Como posibles efectos ambientales hay que considerar tanto la construcción del emisario submarino, como la correcta dilución de la salmuera tras ser impulsada a través de los difusores.

La clave del vertido controlado es diseñar el emisario y la localización de éste de forma que se produzca la dilución rápida de las sales contenidas en el rechazo, de tal forma que no afecte a la biota del medio marino, homogeneizando la salinidad de manera que se mantenga por debajo de los límites de tolerancia salina de las diversas especies.

Para la dilución de la salmuera destacan dos procesos físicos, los cuales son:

- **Dilución primaria:** El ratio de dilución del proceso depende de la diferencia de densidades entre la salmuera y el agua de mar (función de la concentración de las sales y la temperatura), del

momento, del flujo de salida y su velocidad, así como del radio del emisario y la profundidad a la que éste se encuentre. Para mejorar el proceso debe diseñarse correctamente el emisario y añadir difusores.

- **Dilución natural:** es debida a un proceso de difusión y mezcla propiciado por el oleaje y las corrientes marinas y que varía en función de las condiciones marinas. El uso de difusores mejora dicho proceso, ya que elevan la presión del agua entrante y ponen en contacto con la masa de agua de mar un mayor volumen de rechazo, mejorando la mezcla. El éxito de esta tecnología depende del número y el espaciado de los difusores, aunque es posible mejorar su eficacia con un tipo de difusores especiales o bien con el uso de difusores directos en ángulo de 30-90° respecto del fondo del mar, que lanzan la salmuera en dirección a la superficie.
- **Posibles efectos sobre la biota marina:** Los principales efectos sobre la biota marina se deben a la construcción del emisario y al incremento en la concentración de sales provocada por el rechazo. La salinidad marina varía normalmente entre 32-38%, que es el rango en el cual están adaptados a vivir la mayoría de las criaturas marinas. Los organismos marinos viven en un equilibrio osmótico con el medio ambiente, y un incremento en la concentración de sales de su entorno causa la deshidratación de las células, un descenso en su presión interior y por tanto la muerte. La tolerancia al aumento de la salinidad varía de una especie a otra, por lo que deben realizarse estudios que delimiten dicho límite.

Por último, para reducir el impacto ambiental sobre el medio marino deben tenerse en cuenta una serie de recomendaciones:

- Evitar bahías cerradas y sistemas de importancia ecológica.
- Vertidos de salmueras en zonas con hidrodinamismo medio o elevado y de carácter constante para evitar que afecte a procesos de sedimentación.
- Procurar que el agua de alimentación sea de la mayor calidad posible a fin de reducir los tratamientos químicos necesarios.
- Investigar distintos aspectos del impacto de salmueras en el litoral.
- Realizar estudios de impacto de cada elemento del vertido por separado y sus posibles interacciones, estableciendo límites de tolerancia.
- Añadir difusores al emisario y realizar un monitoreo del vertido en un radio amplio donde se crea puede haber afección al hábitat marino.
- Uso de emisarios de depuradoras cercanas para reducir el impacto.

2 OBJETIVO

El objetivo del presente proyecto es el diseño de una (1) planta desinizadora para la producción de, al menos, unos 30.000 m³/día de agua potable para poder abastecer las necesidades de agua dulce de la isla de Barbados, ya que:

- Barbados está extrayendo cerca del límite sostenible de sus recursos de agua dulce.
- Los acuíferos subterráneos pueden verse afectados en el futuro por la intrusión de agua de mar, ya que debido a los impactos del cambio climático proyectados sobre los recursos hídricos en el Caribe, se producirían sequías más frecuentes y reduciría los niveles de recarga de los acuíferos.
- La solución preferida es la instalación de dos (2), plantas de 30.000 m³ / día de desalinización de agua de mar para aumentar los recursos de agua dulce convencional disponible. En este caso se estudiará solo la instalación de una planta, ya que la otra tendría exactamente las mismas dimensiones y características, sólo que habría que estudiar el emplazamiento, la toma de agua y el rechazo de la 2^a planta.

La capacidad de producción adicional de la planta podría ser utilizada para servicios de valor añadido tales como una planta embotelladora de agua.

3 DESALACIÓN MEDIANTE OSMOSIS INVERSA

3.1 Definición del proceso de osmosis inversa

La desalación por osmosis inversa consiste en la separación de una corriente agua con cierta concentración de iones disueltos en dos corrientes, haciéndola pasar por una membrana semipermeable a una presión mayor a la presión osmótica del agua de alimentación. Dicha membrana permite el paso de líquido, pero no el de las sales disueltas, de modo que se obtiene una corriente de alta concentración de sales disueltas, denominada rechazo, y otra corriente de muy baja concentración de sales disueltas, denominada permeado.

Pero para poder realizar la desalación de cualquier agua de mar o salobre, es necesario tratar el agua de alimentación antes de que llegue a las membranas, ya que éstas son fácilmente ensuciables y necesita un pretratamiento intensivo. Además, según la utilidad que vaya a darse al agua permeada, será necesario algún post-tratamiento de modo que alcance la calidad suficiente para la aplicación a la cual está destinada.

En la Ilustración 12, se puede observar qué etapas abarcan cada una de éstas fases del proceso de desalación, para la obtención de agua potable.

En este caso, la mayor parte del consumo energético de la planta se destina a presurizar el agua de mar, siendo la eficiencia del procesos dependiente de las bombas de alta presión y de los equipos de recuperación que aprovechan la presión del rechazo de salida para generar presión sobre parte del caudal de alimentación, disminuyendo así la variación de presión a aportar por las bombas.

Una instalación desaladora puede ser más o menos compleja según el caudal o el tipo de agua a tratar y debe contemplar todos los elementos desde la toma de agua hasta el depósito final para el almacenamiento de agua potable.

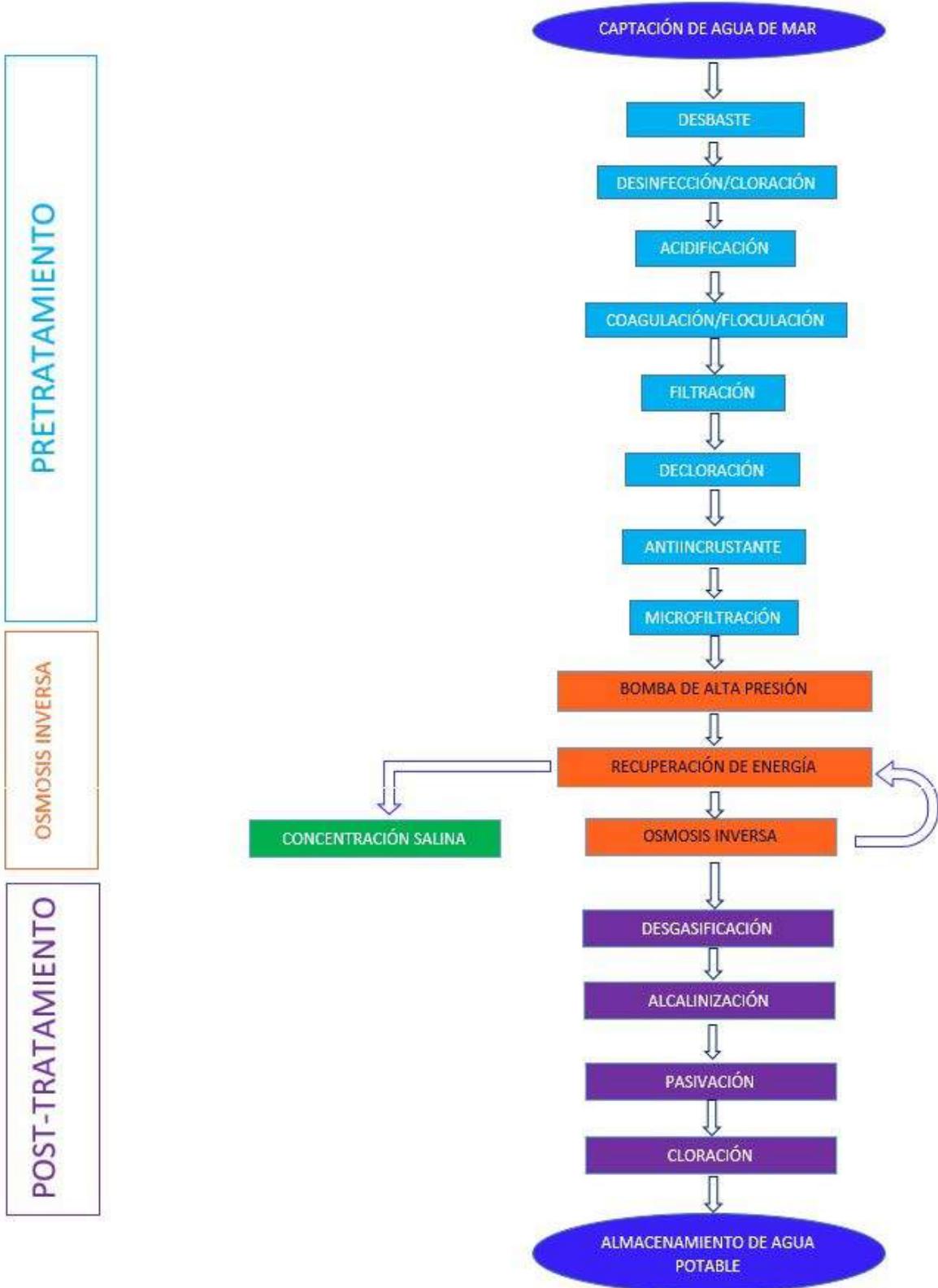


Ilustración 12. Diagrama de flujo de una planta de desalinización por Osmosis Inversa

3.2 Membranas de osmosis inversa

3.2.1 Tipos de membranas

La osmosis inversa se produce gracias a una membrana denominada semipermeable que permite el paso de líquido, pero no el de las sales que lleva disueltas.

A continuación se hace una clasificación de membranas según el material de las membranas:

- **Poliamida aromática (PA)**

- Material plástico no bidegradable
- Muy sensible a oxidantes
- Superficie relativamente ásperas (más propensa a ensuciamiento)
- Carga superficial negativa
- Incremento del paso de sales progresivo y limitado con el tiempo
- Muy baja o ausente compactación
- Amplio espectro de pH
- Límite de temperatura hasta 45°C

- **Acetato de Celulosa (CA)**

- Biodegradables
- Moderada tolerancia a oxidantes, incluyendo cloro libre
- Superficie lisa (menos propensa a ensuciamiento)
- Carga superficial neutra
- Media presión, rechazo de sales máximo de 99,0%
- Rápido incremento del paso de sales
- Tendencia a compactación y pérdida de flujo permeado
- Sensible a hidrólisis por pH
- Límite de temperatura a 35°C

Comparativamente podemos decir que:

- La poliamida es químicamente más resistente que el acetato de celulosa.
- El acetato de celulosa es degradable por bacterias, mientras que la poliamida no.
- La poliamida no resiste en cloro. El acetato de celulosa si lo resiste hasta una concentración de 1 ppm, incluso es conveniente que trabaje con algo de cloro para garantizar que no hay presencia de bacterias.
- La poliamida puede trabajar en un intervalo de pH más amplio.
- La poliamida puede trabajar a presiones inferiores.
- El coste económico de las membranas de poliamida es superior al de las membranas de celulosa.

Se define el “módulo” en la osmosis inversa como aquel elemento en el que se dispone la membrana para su utilización industrial.

A continuación se definen los dos tipos de módulos más utilizados en la actualidad:

- **Módulos de arrollamiento en espiral**

Están formados por dos membranas unidas entre sí formando una larga bolsa enrollada alrededor de un tubo perforado que recoge en su interior el agua permeada y que dispone de un espaciador para evitar el contacto entre las membranas y para permitir la circulación del agua a tratar.

Para el enrollamiento de las membranas desaladoras se disponen de éstas alternadas con un separador impermeable y una malla, de forma que en una membrana enrollada en espiral existen tantas láminas como separadores y mallas.

La malla plástica determina los canales hidráulicos por los que circula el agua a tratar y por su forma cuadriculada garantiza un régimen de funcionamiento turbulento lo que reduce las posibilidades de obstrucción por elementos extraños.

El separador impermeable permite aislar el caudal que pasa por cada una de las láminas o membranas y separarlo de la salmuera.

El enrollamiento permite introducir una gran superficie de membrana en un espacio reducido.



Ilustración 13. Membrana de módulo en espiral

- **Módulos de fibra hueca**

Estos módulos están formados por una gran cantidad de membranas de muy pequeño tamaño, dispuestas en su interior de tal forma que una de ellas trabaja independiente de las demás. Están constituidas por un haz de millones de tubos capilares de un material plástico de alta resistencia para evitar la corrosión del tamaño de un cabello humano, y huecos interiores.

Las fibras se colocan paralelas alrededor de un tubo central, doblándose en uno de los extremos y retornando al otro. En ambos extremos del tubo las fibras quedan incrustadas en uno de los discos de la resina epoxi, para darles rigidez.

El agua a tratar llega al módulo por un distribuidor central pasando a la zona del paquete de membranas. El agua pasa a través del interior de ellas hasta llegar al disco soporte que actúa como recolector de permeado. El agua de rechazo saldrá por la parte opuesta al tubo de entrada, siendo recogida mediante un colector para su evacuación.

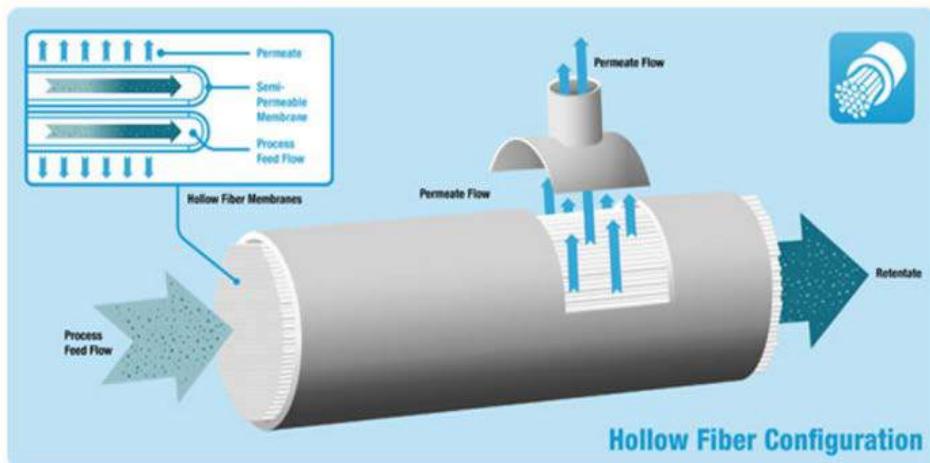


Ilustración 14. Membrana de fibra hueca

Las membranas que se fabrican en la actualidad están normalizadas, con objeto no sólo de poder ser comparadas entre sí entorno a unas condiciones tipo, sino también y en el caso de las membranas de arrollamiento en espiral, poder sustituir unas por otras.

Esta normalización se basa fundamentalmente en el diámetro exterior de la membrana que suele ser de 4" u 8". En cuanto a su longitud, las membranas espirales más comerciales suelen ser de 1 metro, aunque las de 8" también se fabrican de 1,5 metros. Precisamente esta última longitud se está introduciendo cada vez más con objeto de aumentar el caudal, ya que se aprovecha mejor el espacio disponible.

Las membranas de fibra hueca, por su mayor capacidad unitaria, se consideran módulos individuales y sus diámetros comerciales son variables y específicos de cada fabricante, lo que impide con carácter general la sustitución de unas membranas por otras de distintos fabricantes.

En conjunto puede afirmarse que las principales diferencias comparativas entre las membranas espirales y las de fibra hueca son:

- **Capacidad**

Las membranas espirales son más permeables, por lo que producen mayor caudal unitario (L/m^2) que las de fibra hueca, sin embargo, éstas últimas al tener más superficie por módulo, son finalmente de mayor capacidad. En consecuencia, en una instalación de una determinada capacidad de producción, las membranas de fibra hueca son menos y por tanto ocupan menos espacio que las membranas espirales.

- **Presión de funcionamiento**

Al ser menos permeables las membranas de fibra hueca exige mayores presiones para vencer la presión osmótica. Por tanto las presiones de funcionamiento suelen ser mayores, y por tanto mayor es el consumo energético.

- **Ensuciamiento**

La fibra hueca tiene espacios muy pequeños entre las fibras (inferiores a 20 ppm). En las membranas de arrollamiento en espiral en cambio los canales hidráulicos determinados por las mallas separadoras son bastante superiores, por lo que, éstas son menos propensas a ensuciarse u obstruirse que las de fibra hueca.

Además los módulos de fibra hueca tienen en su interior muchas zonas muertas y se ensucian con facilidad. Pueden por tanto ser necesarios sistemas de pretratamiento más caros en instalaciones de este tipo.

- **Rechazo de sales**

Las membranas de fibra hueca suelen tener rechazos inferiores a las de arrollamiento en espiral, con

valores de menos de 99,4% y 99,5% respectivamente, con lo que la calidad del agua obtenida por módulo en el caso de fibra hueca es ligeramente inferior, aunque a este respecto debe tenerse en cuenta la mayor superficie membrana que tienen las instalaciones de fibra hueca y la mayor recuperación por elemento, 35-50% frente al 10-15%. De esta forma las sales que atraviesan la membrana se disuelven en un volumen mayor desde la primera membrana, por lo que la concentración de éste es menor y en consecuencia, en conjunto, el producto de menor salinidad.

- **Por último:**

La sustitución de módulos es más fácil en el caso de membranas de arrollamiento en espiral que en el de fibra hueca en los que debe sustituirse todo el conjunto con su contenedor.

El coste económico de los módulos de fibra hueca es superior a los de espiral.

3.2.2 Colocación de las membranas

En el caso de membranas de arrollamiento en espiral, cada unidad formada por un conjunto de láminas va recubierta exteriormente de una película de poliéster reforzado con fibra de vidrio y alojadas en un tubo de presión, generalmente también de este material, con capacidad para alojar 6 o 7 elementos, aunque también se construyen para aplicaciones específicas, de 2, 3 o 4 membranas.

Las membranas en el interior del tubo de presión se conectan unas con otras, para que formen un conjunto estanco y resistente a los movimientos longitudinales y transversales, mediante los correspondientes interconectores, también de material plástico y alta resistencia. De esta forma se evitan fugas de salmuera que contaminarían el producto y deformaciones como consecuencia de los sucesivos golpes de ariete que se producen cada vez que arranca la instalación.

Los tubos de presión están cerrados por ambos extremos con sendas tapas que disponen de orificios para la conexión de las tuberías de alimentación, producto y rechazo.

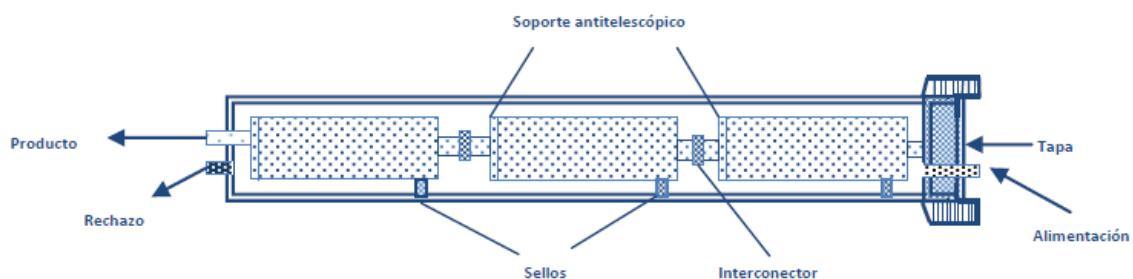


Ilustración 15. Tubo de presión de 3 membranas

Todos estos tubos se colocan en una estructura que los soporta, con todas las conexiones necesarias entre ellos, así como los colectores de alimentación, producto y rechazo del conjunto.

Esta estructura con el conjunto de tubos y colectores, que forman la unidad de producción típica de cada instalación, y que se alimentan desde una bomba, constituye el bastidor o tren de osmosis inversa.



Ilustración 16. Bastidores de Osmosis Inversa

El objeto de estas estructuras es mejorar la eficiencia de la desalación ya que como el porcentaje de recuperación por módulo es relativamente pequeño (10-50%), si se colocara un solo elemento en la instalación, una gran parte del caudal de agua a tratar sería desperdiciado como salmuera, con la consiguiente ineficiencia del sistema.

Para aprovechar mejor el caudal de salmuera y mejorar el rendimiento los módulos se colocan en serie, para que el rechazo de una membrana sea utilizado como alimentación da la siguiente.

Por otra parte, para adaptarse a la producción deseada deben colocarse por tanto los distintos módulos en paralelo.

Existen varios tipos de configuraciones, de acuerdo a los conceptos siguientes:

- **Etapa**

Es cada una de las unidades de producción que son alimentadas desde una fuente única (bomba de presión). Es decir, un conjunto de tubos de presión colocadas en paralelo y alimentadas por una bomba constituye una etapa. Si para aumentar la eficiencia de la instalación, el rechazo de una etapa que sale a determinada presión, se introduce en otro tubo de presión se tiene otra etapa.

Obviamente al aumentar el número de etapas de una instalación, se eleva el caudal recuperado como producto, pero como al pasar de una membrana a otra, se va incrementando su salinidad y el rechazo de sales de la membrana no varía, aumenta el flujo de sales y por tanto empeora la calidad del agua producto.

- **Paso**

Es el conjunto de tubos de presión o membranas que siendo alimentadas con los caudales de agua producto que salen de las membranas de la primera etapa de la ósmosis precisan de otra fuente de energía distinta a la anterior para recuperar un nuevo caudal.

- **Etapas de salmuera**

Es la estructura más frecuente de producción y consiste en una serie de tubos colocados en paralelo y otros en serie, de forma que la salmuera de los primeros es usada como alimentación de los segundos.

Como puede verse, dado que en cada etapa se recupera una parte del producto, el caudal de salmuera que llega a la segunda etapa es menor que el inicial y así sucesivamente, por lo que en cada etapa disminuye el número de tubos.

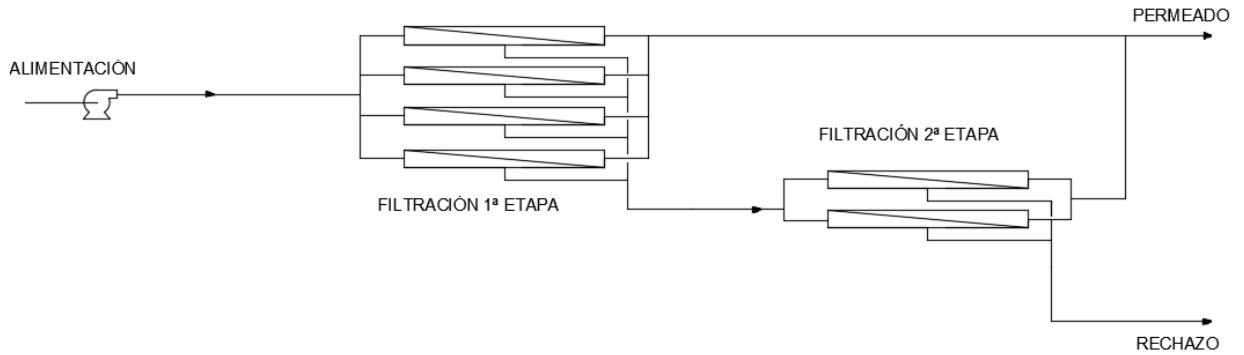


Ilustración 17. Etapas de salmuera

Así por ejemplo ejemplo, el porcentaje máximo de recuperación por tubo de presión de 6 elementos es 50%, y el máximo de etapas que se suelen colocar son tres.

El diseñar una instalación con dos o tres etapas depende en gran medida de la composición química del agua y de la necesidad de recuperación de gran porcentaje del agua tratada.

- **Etapas de producto**

Este tipo de instalación se emplea cuando se quiere mejorar la calidad del agua producto y para ello el permeado pasa de nuevo por otro conjunto de membranas, utilizando para ello una bomba independiente.

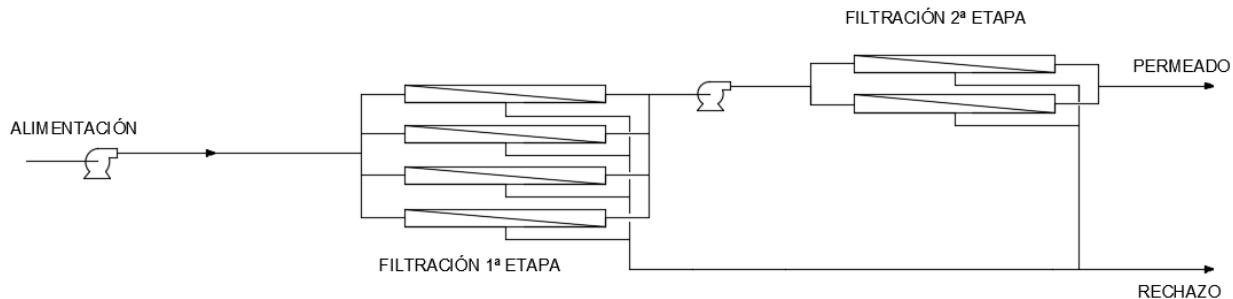


Ilustración 18. Etapa de producto

El permeado de la primera etapa se introduce como alimentación de la segunda etapa; para ello es necesario el empleo de una bomba inter-etapas, ya que el permeado saldrá normalmente a presión atmosférica. Como resultado de esta última configuración, se disminuye el caudal de permeado producido, pero se aumenta la calidad del mismo.

Su utilización cada vez es menor debido a la aparición de membranas de rechazos muy altos, que permiten obtener agua potable en un solo paso. Hoy día se utiliza en la industria, cuando se precisan aguas de calidad superior o para prolongar la vida de las membranas de primera etapa.

3.3 Principio de funcionamiento

3.3.1 Ecuaciones de transporte

A continuación se muestran las ecuaciones principales que representan la transferencia de agua y de sales a través de las membranas:

- **Ecuación del transporte de agua**

$$Q_a = K_w \cdot A \cdot (P_m - \Delta\varphi_m)$$

Donde:

- Q_a : Caudal de agua que atraviesa la membrana (m^3/s)
- K_w : Coeficiente de permeabilidad del agua ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{kPa}$)
- A : Área de la membrana (m^2)
- P_m : Presión diferencial a través de la membrana (kPa)
- $\Delta\varphi_m$: Presión osmótica diferencial a ambos lados de la membrana (kPa)

De esta ecuación se deduce que el caudal es directamente proporcional a la presión neta aplicada y al coeficiente de transporte.

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.

- **Ecuación del transporte de sales**

$$F_s = K_s \cdot A \cdot (C_a - C_p)$$

Siendo:

- F_s : Flujo de sales (kg/s)
- K_s : Coeficiente de permeabilidad de sales ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)
- C_a : Concentración de sales en agua de alimentación (kg/m^3)
- C_p : Concentración de sales en agua permeada (kg/m^3)

El coeficiente de transferencia de sales es una característica de cada membrana. La polarización aumenta la concentración de sales del agua de alimentación C_a , a medida que el caudal avanza a lo largo de la membrana. Por tanto aumenta el flujo de sales F_s y provoca la disminución de la calidad del producto.

En esta ecuación se comprueba que no existe dependencia directa entre la presión y el flujo de sales; es decir al aumentar la presión no mejora el transporte de sales, ni por tanto tampoco el rechazo de sales.

Si mejora en cambio el caudal de permeado, por lo que el efecto resultante es una mejora de la calidad dado que la misma cantidad de sales se disuelven en un volumen mayor.

3.3.2 Variables que afectan al proceso

- **Temperatura**

Hay unas temperaturas máximas y mínimas de operación impuestas por la propia membrana. El límite inferior para todas las membranas es, obviamente, 0°C, en cuanto al límite superior depende de la membrana y también de la presión.

Los límites superiores son establecidos por los fabricantes en torno a los 35-45°C, con objeto de prevenir ciertos problemas: como la hidrólisis en las membranas de acetato de celulosa, fallos de adherencia en membranas espirales y una compactación excesiva en todas las membranas.

Normalmente el punto de funcionamiento óptimo se produce a una temperatura de 24 a 27°C, aunque estas temperaturas pueden ser perjudiciales en caso de contaminación biológica, dado que favorecen el desarrollo de ésta.

Al aumentar la temperatura tambien lo hace el caudal, debido a la menor viscosidad del agua al aumentar la temperatura, y por tanto su mayor difusión a través de la membrana, pero también diminuye el rechazo de sales, que se debe a un efecto dilatador del agua en la membrana, a un incremento de solubilidad de la sal en la membrana, o ambos, con lo que se compensan los posibles efectos positivos del aumento de temperatura.

Por otra parte, en la práctica no es rentable calentar el agua, ya que la energía necesaria para el aumento de la temperatura 1 °C es superior al ahorro que se consigue a dicha temperatura.

Por otro lado, la disminución de la temperatura provoca que aumente el consumo energético de compresión, pero se mejora la calidad de agua producto.

- **Presión**

La productividad es siempre mayor operando a alta presión que a baja presión, pero a lo largo del tiempo el aumento de la presión de operación produce una compactación de la membrana que a su vez reduce el caudal.

Por otra parte, al aumentar el flujo de la membrana, el ensuciamiento se acelera por efecto de la polarización de la concentración en la superficie de la membrana.

El descenso de caudal por estos efectos puede alcanzar hasta el 25%. Pero la presión también influye sobre la conductividad del agua osmotizada, pues al aumentar el flujo a través de la membrana, disminuye aquella al reducirse la salinidad.

Por otra parte, las fuerte pérdida de carga afecta a la estabilidad mecánica del sistema, por lo que si ésta es elevada, pueden producirse daños en la membrana.

Para conseguir caudales de permeado razonables es normal trabajar a presiones entre 20 y 30 atm por encima de la presión osmótica.

- **pH**

El rechazo de sales de las membranas depende en cierta medida del pH, pues cada material tiene un pH al que el rechazo es máximo.

Las membranas de acetato de celulosa son muy sensibles a estas variaciones, de forma que solo pueden actuar entre valores de pH de 4 a 7 durante períodos reducidos, como ocurre durante el lavado. Fuera de esos valores recomendados de pH las membranas se hidrolizan.

Las membranas de poliamida son menos sensibles, pudiendo funcionar sin mayores problemas entre valores de pH de 4 a 11.

Normalmente hay un valor óptimo de pH al que la membrana tiene el mayor rechazo de sales, y por tanto conviene trabajar lo más cerca posible de este valor, a medida que nos sepáramos de este valor el rechazo de sales se deteriora y, por tanto, en igualdad de las restantes condiciones de temperatura o presión la calidad del agua producto es inferior.

Sin embargo, en determinadas circunstancias puede interesar trabajar a un pH distinto del óptimo de la membrana, todo dependerá de la evaluación económica de los costes que supone.

3.4 Ensuciamiento de las membranas

El agua de mar posee en su composición química una serie de componentes orgánicos y no orgánicos que deben de ser controlados mediante unos tramamientos físicos y químicos (pretratamiento) antes de poder acceder a las membranas de osmosis inversa, ya que estas membranas son unos elementos altamente sensibles a ciertos compuestos.

Mediante esos tratamientos previos se pretende la prevención de incrustaciones, ensuciamiento y el ataque químico sobre las membranas.

- Incrustaciones: Las incrustaciones se pueden producir como efecto de la precipitación de las sales disueltas en el agua de alimentación. Para evitarlo se debe tener especial cuidado en no sobrepasar los límites de solubilidad de las sales.

Este hecho repercute directamente en la conversión de la planta ya que, a medida que se aumenta la conversión, se aumenta la concentración de sales en las membranas, aumentando así el riesgo de precipitación formando incrustaciones.

Si esto se produce, se empezarían a notar los efectos producidos al observar un incremento en la presión de operación, debido a la gran resistencia al paso de agua producto a través de las membranas generado por las incrustaciones.

- Ensuciamiento: El ensuciamiento de las membranas se produce cuando quedan atrapadas ciertas sustancias en el interior. El ensuciamiento puede ser de tres tipos:

- Coloidal: Producido por la deposición sobre la superficie de la membrana de partículas de gran tamaño y de partículas coloidales que floculan, obstruyendo los canales hidráulicos de las mismas.
- Biológico: Puede producirse bien porque la solución de aporte contenga suficientes elementos nutritivos como para favorecer el rápido desarrollo de microorganismos dentro de las membranas. Otra posible causa es que se haya eliminado la cloración del agua de alimentación.
- Orgánico: Se produce por la adsorción de componentes orgánicos solubles sobre la superficie de la membrana. Se controla con una selección de los productos químicos a aditivar, el tipo de membrana y realizando limpiezas químicas de las membranas.

4 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

4.1 Datos de partida

La planta diseñada tendrá la capacidad de producir hasta 40.000 m³/día de agua potable a partir de agua de mar Caribe. Este sobredimensionamiento se justifica teniendo en cuenta que de éste modo no es necesario disminuir la producción por debajo de los 30.000 m³/día mientras se limpian el resto de bastidores de osmosis o se reparan posibles fallos de equipos.

La planta se encuentra situada en el Noreste de la isla, en Pie Corner, a pocos metros del mar, como se muestra en el plano de emplazamiento, que se encuentra en el Anexo III: Planos. Esta zona se caracteriza por tener menos densidad de arrecifes de coral que en otras zonas que rodean la isla, de éste modo se reducen los posibles daños producidos al Medio Marino en la realización de las obras de instalación de emisario e inmisario submarino e incluso en la operación diaria de la planta.

Las características de agua de alimentación a planta se recogen en la siguiente tabla:

| Parámetros | Valores | Unidad |
|--|----------|--------|
| Conductividad | 53900 | µS/cm |
| Turbidez | <1 | NTU |
| TDS | 36537 | mg/L |
| Temperatura | 27,1 | °C |
| pH | 7,3 | |
| CATIONES | | |
| Amonio (NH4 ⁺) | 0,03 | mg/L |
| Potasio (K ⁺) | 446,93 | mg/L |
| Sodio (Na ⁺) | 10312,48 | mg/L |
| Magnesio (Mg ²⁺) | 1511,60 | mg/L |
| Calcio (Ca ²⁺) | 616,68 | mg/L |
| Estroncio (Sr ²⁺) | 10,42 | mg/L |
| Bario (Ba ²⁺) | 0,00 | mg/L |
| Boro (B ²⁺) | 3,00 | mg/L |
| ANIONES | | |
| Carbonato (CO ₃ ²⁻) | 70,93 | mg/L |
| Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) | 2481,03 | mg/L |
| Nitrato (NO ₃ ⁻) | 2,61 | mg/L |
| Bromo (Br ⁻) | 70,50 | mg/L |
| Cloro (Cl ⁻) | 18171,62 | mg/L |
| Flúor (F ⁻) | 1,59 | mg/L |
| Sulfato (SO ₄ ²⁻) | 2862,37 | mg/L |
| Sílice (SiO ₂ ⁻) | 31,98 | mg/L |

Tabla 1. Calidad del agua de alimentación a planta.

4.2 Calidad del agua producto

El agua potable producida debe tener las siguientes características, para cumplir los criterios de agua de para consumo humano según la Barbados Water Authority.

| Table 1 Treated Water Quality Guidelines and the Target Water Qualities | | | |
|---|-------------|-----------|----------------|
| Parameter | Unit | Target* | WHO Guidelines |
| Turbidity | NTU | < 0.1 | 0.1 |
| Nitrate | mg/l (as N) | < 8 | < 10 |
| pH | | 6.5 – 8.5 | 6.5 – 8.5 |
| Treated Water Free Chlorine Residual (after 30 min. contact time at pH < 8.0) | mg/l | ≥ 0.1 | ≥ 0.5 |
| Total Dissolved Solids | mg/l | <500 | 500 |
| Chlorides | mg/l | <250 | 250 |

* The WHO guidelines for nitrate concentration shall be achievable for up to 25-30 mg/l of NO₃ (as N) in the raw water.

Tabla 2. Criterio de calidad del agua de consumo humano según la BWA.

Además de estos criterios, se deberá cumplir también el RD 140/2003, del 17 de febrero, por el que se establecen los criterios de la calidad del agua de consumo humano, para aquellos elementos que no vengan especificados según la especificaciones de la Barbados Water Authority.

4.3 Descripción del proceso

4.3.1 Toma de agua de mar

La toma de agua de mar se puede realizar mediante dos procedimientos básicos de captación:

- Captación cerrada: Mediante pozos profundos, pozos playeros, drenes horizontales, cántaras, etc.
- Captación abierta: Mediante captación superficial, torres sumergidas, escolleras, etc.

En la tabla 3, se resumen las características de ambos procedimientos de captación.

| Captación cerrada | Captación abierta |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Agua limpia como consecuencia de la acción filtrante del terreno.• Mínima actividad orgánica o biológica.• Baja concentración de oxígeno disuelto.• Temperaturas estables.• Posible presencia de importantes concentraciones de hierro, manganeso, silice y aluminio.• Posible contaminación por nitratos y plaguicidas.• Composición química bastante estable aunque sujeta a variaciones temporales o estacionales por contacto con otros acuíferos. | <ul style="list-style-type: none">• Contenido en sólidos en suspensión importante y variable.• Importante actividad biológica y presencia de materia orgánica.• Mayor exposición a la contaminación.• Importante concentración de oxígeno disuelto.• Composición química muy variable.• Posible presencia de gran variedad de contaminantes.• Temperaturas más variables. |

Tabla 3. Tipo de captaciones para desalación.

Analizando la tabla, es fácil llegar a la conclusión de que las captaciones cerradas son preferibles a las abiertas, debido a la estabilidad de la composición del agua y la limpieza por filtración del terreno, que es esencial para no dañar las membranas de ósmosis inversa. Aunque, desde el punto de vista de la garantía de caudal, las ventajas son para la toma abierta, ya que la experiencia demuestra las dificultades de asegurar el caudal de producción mediante la captación cerrada.

Para esta planta, se ha elegido captación abierta mediante torre de toma, debido a que debe asegurarse el caudal a tratar. La torre de toma se ha diseñado de forma que produzca las mínimas variaciones posibles en la calidad del agua bruta, de modo que afecte lo menos posible tanto al proceso, como a la calidad del agua producida.

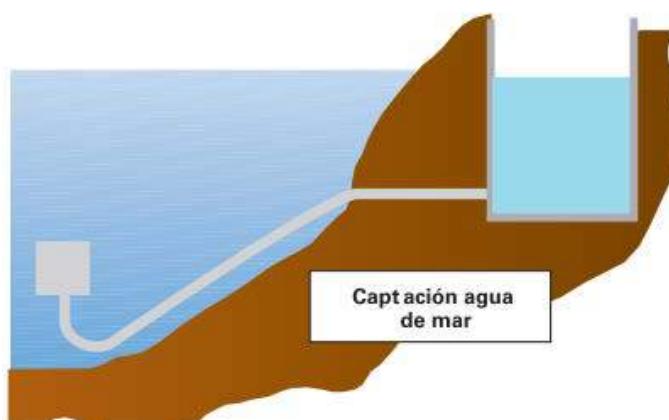


Ilustración 19. Captación de agua de mar mediante Torre de Toma.

La torre de toma, de aproximadamente 5 metros de altura total, descansa a una profundidad de aproximadamente 25 metros y a una distancia de 1.500 metros de la costa. El agua entra a la torre por la parte superior de forma horizontal, a través de unas rejillas fabricadas de PRFV que sirven de filtro, para evitar la inmovilización y reducir el arrastre de peces y otros objetos. Para ello la velocidad de aproximación a las rejas debe ser inferior a 0,15 m/s, tratándose de un flujo completamente laminar.



Ilustración 20. Torre de toma de agua de Mar.

La altura de dichos puntos de toma sobre el lecho marino asegura la ausencia de cantidades importantes de sólidos en suspensión y su distancia sobre la superficie asegura la ausencia de luz solar que pudiera fomentar un crecimiento biológico, dañino para el proceso de osmosis inversa.

En la base de la torre se encuentra conectada la tubería del inmisario submarino, de 1,2 metros de diámetro fabricada en polietileno de alta densidad (PEAD) con lastres de hormigón, debido a su mayor resistencia a la corrosión, que conduce el agua de mar hasta la costa.



Ilustración 21. Inmisario submarino.

Una vez en la costa, el agua llegará a la cántara de captación, un depósito pulmón con capacidad de abastecer una hora el caudal de alimentación de la planta fabricado en hormigón, desde donde será enviada hacia la planta desaladora. El volumen de dicha cántara será de 3726 m³.

La planta desaladora se encuentra a unos 400 metros de la costa, de modo que desde la cántara de captación el agua se envía al pozo de bombeo, un depósito pulmón también fabricado en hormigón que se encuentra a la entrada de la planta y tiene un volumen de 1260 m³. Para ello se disponen de 5 bombas sumergibles Sulzer ABS XFP en disposición 4+1R. Estas bombas están equipadas con motores Premium Efficiency con categoría de eficiencia IE3. El conducto por el que circula el agua hasta el pozo de bombeo tiene 1,1m de diámetro interior y está fabricado en polietileno de alta densidad.

4.3.2 Pretratamiento

Como se comentó anteriormente las membranas de osmosis inversa pueden encontrar serios problemas que pueden dañar las membranas como ensuciamiento, incrustaciones y ataque a las membranas. Para evitar que se produzcan estos fenómenos se hace necesario pretratar el agua de alimentación con objeto de proteger las membranas, prevenir posibles problemas futuros durante la explotación de la planta, disminuir los lavados y con ello las paradas de la instalación, aumentar la calidad del agua producto, aumentar la eficiencia y aumentar la vida útil de las membranas.

El diseño de este pretratamiento dependerá en gran medida de la salinidad del agua de alimentación, el origen (toma abierta o toma cerrada), la composición química, la variabilidad en el tiempo y la conversión del proceso.

El pretratamiento necesario para esta planta consistirá en:

- Desinfección
- Acidificación
- Coagulación
- Filtración de arena y antracita
- Decloración
- Antiincrustante
- Filtración de cartuchos

4.3.2.1 Desinfección

La desinfección tiene como objetivo eliminar o reducir la carga biológica del agua, disminuyendo los riesgos derivados de la presencia de microorganismos que pueden generar ensuciamiento de las membranas y como consecuencia una disminución del rendimiento de la instalación. El hipoclorito de sodio (NaClO) es el producto más empleado en desinfección ya que es un compuesto fuertemente oxidante, económico y de fácil adquisición.

Se empleará una solución de hipoclorito de sodio al 13% (160 mg/L). Para la dosificación será necesario instalar un depósito con un volumen útil de 40 m³ fabricado en PRFV, ya que debe cubrir las necesidades de la instalación durante al menos 15 días, teniendo en cuenta que también hay que clorar el agua permeada en el post-tratamiento, como se verá más adelante.

La dosificación se realizará a la salida del pozo de bombeo, que se encuentra en el edificio de bombeo

Se instalarán dos bombas dosificadoras de diafragma en disposición 1+1R, siendo una en reserva. Estas bombas son capaces de dosificar un caudal de hasta 110L/h. Estas bombas son de la marca JESCO modelo MEMDOS E/DX 160. Las líneas de dosificación serán DN10 de polietileno de alta densidad.

La adición de hipoclorito se regulará con un variador de frecuencia que actuará en función del caudal de la entrada a la planta.

El cálculo justificativo de la dosificación de hipoclorito sódico se realiza en el apartado 4 del Anexo I: Memoria de Cálculo.

4.3.2.2 Acidificación

La acidificación tiene como principal objetivo corregir el pH para evitar la precipitación de carbonato cálcico en las membranas de osmosis, ya que la solubilidad de esta sal disminuye al aumentar el pH, mejorar la actividad de los coagulantes y favorecer la eliminación de boro. El ácido sulfúrico (H_2SO_4) es el ácido más comúnmente usado debido a su fácil adquisición.

Se empleará ácido sulfúrico al 98% y la instalación necesaria para su dosificación consiste en: bombas y sus dispositivos de seguridad y filtración, depósito con capacidad para 15 días de funcionamiento y provisto de un deshumectador de gel de sílice. El volumen del depósito será de 15 m³ fabricado en Polipropileno de alta densidad y las bombas dosificadoras serán de diafragma de la firma JESCO modelo MEMDOS E/DX 50, ya que el caudal a aportar se estima en 41 L/h. Las líneas de dosificación serán DN10 de polietileno de alta densidad.

En este caso, dada la peligrosidad del producto, el depósito deberá ir colocado en el interior de un cubo, recubierto interiormente de baldosa antiácido y de capacidad de al menos igual que la del mismo. Su ubicación será en lugar abierto para impedir la acumulación de gases tóxicos.

La adición del ácido se regulará con un variador de frecuencia que actuará en función del pH y el caudal de entrada a la planta.

La dosificación se realizará entre el pozo de bombeo y los filtros de arena-antracita.

El cálculo justificativo de la dosificación de ácido se realiza en el apartado 4 del Anexo I: Memoria de Cálculo.

4.3.2.3 Coagulación

La coagulación es la operación en que las partículas en suspensión aumentan su superficie de contacto debido a la adición de un coagulante. Debido a la floculación, las partículas se agrupan en partículas mayores (coagulación) y alcanzan la masa suficiente para sedimentar. Esta agrupación se debe a que el coagulante desestabiliza eléctricamente a los coloides creando unas fuerzas de atracción que genera una aglomeración de las partículas.

Se empleará cloruro férrico ($FeCl_3$) al 40% de riqueza. El volumen del depósito será de 25 m³ fabricado en PRFV y las bombas dosificadoras en disposición 1+1R serán de diafragma de la firma JESCO modelo MEMDOS E/DX 75/76, ya que el caudal a aportar se estima en 64 L/h. Las líneas de dosificación serán DN10 de polietileno de alta densidad.

La adición de coagulante se regulará con un variador de frecuencia que actuará en función del caudal de la entrada a la planta.

La dosificación se realizará entre el pozo de bombeo y los filtros de arena-antracita.

El cálculo justificativo de la dosificación de coagulante se realiza en el apartado 4 del Anexo I: Memoria de Cálculo.

4.3.2.4 Filtración de arena-antracita

A fin de reducir la cantidad de coloides y materia en suspensión del agua de alimentación se instala una etapa de filtración mediante lechos de arena-antracita, disminuyendo el potencial ensuciamiento que se produciría en las membranas.

Esta filtración se encarga de reducir el SDI por debajo de 5. Esta operación se realiza de forma continua, llegando a producirse una colmatación del lecho filtrante lo que provocará el aumento de la pérdida de carga de la instalación.

Los filtros de arena que se utilizan en las instalaciones son generalmente a presión, y se colocan en paralelo, con un filtro de reserva para realizar el lavado de forma individual, sin tener que detener la instalación. En este caso se instalarán 6 filtros horizontales de 51m² de superficie filtrante por unidad en disposición 5+1R, de la firma Degremont (filtros Seaclean), fabricados en acero galvanizado y recubiertos interiormente por una película plástica para aislar el hierro del agua.

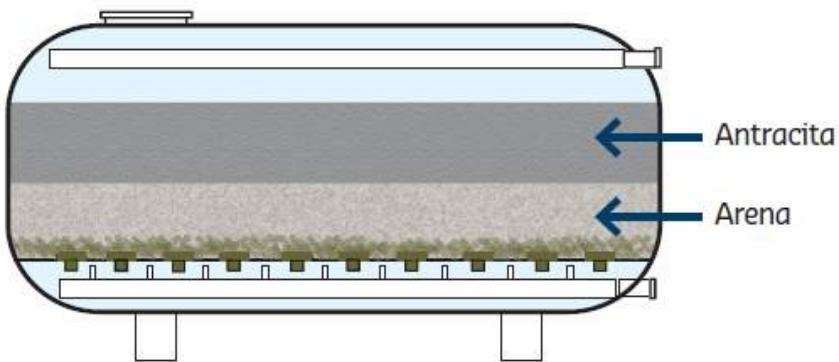


Ilustración 22. Filtros de Arena-Antracita de la firma Degremont.

El movimiento del agua en estos filtros siempre es en sentido vertical, penetrando por la parte superior del filtro y descendiendo el agua a través de las capas filtrantes, que retienen los materiales sólidos y algas que transporta. En su parte inferior llevan un colector provisto de boquillas que recogen el agua filtrada.

Los filtros estarán dotados de las conexiones necesarias así como de bocas de hombre para su revisión y acceso al interior. La operación de los mismos se realizará de forma automática, disponiéndose de los equipos de control y accionamiento necesarios como se muestran en el P&ID 001.

La limpieza de los filtros se realiza con aire y agua, por lo que es necesario equipos para este cometido. Tanto el aire como el agua de lavado se introducen al filtro desde su parte inferior, por debajo del material filtrante, de forma que el agua en su movimiento ascendente arrastra los materiales que obstruyen el filtro y es eliminada por la parte superior del mismo.

Para la limpieza con agua se instalará una bomba se instalará una bomba de la firma SULZER modelo AHLSTAR W RANGE TYPE WPP/T, capaz de impulsar un caudal de $918 \text{ m}^3/\text{h}$ a una presión de 4 bar. Para la limpieza con aire se instalará una soplante capaz de impulsar un caudal de $2550 \text{ m}^3/\text{h}$ de aire.

El cálculo justificativo de los equipos de filtración y lavado de los filtros se realiza en el apartado 5 del Anexo I: Memoria de Cálculo.

4.3.2.5 Declaración

La función principal de la declaración es eliminar el cloro y las cloraminas, ya que son extremadamente agresivas para las membranas semipermeables.

El declarante más utilizado es el Bisulfito Sódico (NaHSO_3). Es un excelente agente reductor y la dosificación correcta funciona como reemplazo de los filtros de carbón activado en la adsorción de muchos compuestos clorados.

La aplicación se puede efectuar tanto entre los filtros de arena-antracita y filtros de cartucho, como a la salida de estos últimos, antes de la aspiración de las bombas de alta presión.

La aplicación entre los filtros ofrece unas mayores garantías de eficacia, pero tiene el inconveniente de que el circuito hidráulico y los filtros de cartuchos quedan desprotegidos del desinfectante, por lo que según el tipo de contaminante, puede volver a reproducirse en estos filtros.

En este caso se instalará la dosificación entre ambos filtros, buscando incrementar la eficacia de declaración.

Para la dosificación se instalarán dos depósitos agitados en paralelo de 10 m^3 cada uno fabricados en PRFV, que permitan la preparación del producto en uno de ellos cuando el otro comienza a agotarse, dos bombas dosificadoras de diafragma de la firma JESCO modelo MEMDOS E/DX 160 en disposición 1+1R. Los agitadores son de tipo turbina de 3 palas de acero inoxidable AISI 316L.

La adición se regulará con un variador de frecuencia que actuará en función del caudal de entrada a la planta.

El cálculo justificativo de la dosificación de bisulfito se realiza en el apartado 4 del Anexo I: Memoria de Cálculo.

4.3.2.6 Antiincrustante

La aplicación de antiincrustantes se realizará después de los filtros de arena-antracita y antes de los filtros de cartuchos. De esta forma se evita que los primeros retengan parte del producto y los segundos impiden que, si una parte del producto no se ha disuelto bien, pueda pasar a las membranas.

El antiincrustante más utilizado es el Hexametafosfato Sódico (HMP).

Para la dosificación se instalarán dos depósitos agitados en paralelo de 2,5 m³ cada uno fabricados en PRFV, que permitan la preparación del producto en uno de ellos cuando el otro comienza a agotarse, dos bombas dosificadoras de diafragma de la firma JESCO modelo MEMDOS E/DX 50 en disposición 1+1R. Los agitadores son de tipo turbina de 3 palas de acero inoxidable AISI 316L.

La adición se regulará con un variador de frecuencia que actuará en función del caudal de entrada a la planta.

El cálculo justificativo de la dosificación de bisulfito se realiza en el apartado 4 del Anexo I: Memoria de Cálculo.

4.3.2.7 Filtración de cartuchos

La filtración de cartuchos es el último de los pretratamientos físicos a los que se ve sometido al agua de alimentación antes de llegar a los bastidores de osmosis inversa.

Se utilizan en las instalaciones para poder garantizar un nivel de filtración mínimo de 5 micras, que es el requerido por los fabricantes de membranas.

Son depósitos metálicos con interior recubierto como los filtro de arena, y utilizan como medio filtrante unos cartuchos de polipropileno o plástico. Los filtros se colmatan periódicamente por lo que se sustituyen cuando la pérdida de carga supera 1bar de presión.

El flujo del agua en los cartuchos se realiza desde la parte exterior inferior hacia el eje en el que se recoge el agua filtrada y sale por su parte superior.

Se instalarán 8 filtros de cartucho en disposición 7+1R de la firma PUTSCH fabricados acero inoxidable 316L.



Ilustración 23. Filtros de cartucho de la marca PUTSCH.

El cálculo justificativo de los equipos de filtración se realiza en el apartado 4 del Anexo I: Memoria de Cálculo.

El resto de características técnicas de todos los equipos de pretratamiento, tanto físicos como químicos, se encuentran en el Anexo IV: Hojas de datos de equipos.

4.3.3 Osmosis inversa

El proceso de osmosis inversa, como se ha explicado en apartados anteriores, consiste en la separación del agua de alimentación en dos corrientes mediante la utilización de una membrana semipermeable, que permite el paso del líquido pero no de las sales. De este modo se obtienen dos corrientes, un denominada permeado (con baja concentración de sales) y otra denominada rechazo (con alta concentración de sales).

Para que se produzca este efecto con el rendimiento deseado (45%) es necesario que el agua de alimentación sea bombeada a alta presión hacia las membranas semipermeables.

Para la realización de este proceso se ha diseñado una instalación que comprende 8 bastidores de osmosis inversa, cada uno de estos bastidores contiene 44 tubos de presión, y cada tubo de presión contiene 7 membranas semipermeables.

Cada tubo de presión está formado por 2 membranas SW30HRLE-440i a la entrada y 5 membranas SW30ULE-440i del fabricante DOW FILMTEC. Para un caudal de entrada de $3704 \text{ m}^3/\text{h}$ se obtiene un caudal de permeado de $1666,67 \text{ m}^3/\text{h}$ y un caudal de rechazo de $2036,71 \text{ m}^3/\text{h}$. Para ello es necesario que la alimentación sea bombeada a 59,04 bar de presión a la entrada de las membranas. Para ello se instalan 5 bombas de alta presión multietapa de cámara partida en disposición 4+1R de la firma SULZER modelo MSD-RO de acero superduplex, con alta resistencia a la corrosión.

Para reducir el consumo energético de la planta, se prevé la instalación de una Turbina Pelton que aprovechará la presión del agua rechazada para recuperar toda la energía posible a fin de disminuir la energía a aportar al motor de las bombas de alta presión.

Los cálculos justificativos de la instalación de osmosis se realiza en el apartado 7 del Anexo I: Memoria de Cálculo.

4.3.4 Post-Tratamiento

El post-tratamiento tiene como objetivo la remineralización del agua desalada. Para ello es necesario aumentar la dureza cálcica y la alcalinidad del agua desalada hasta valores que permitan alcanzar un LSI próximo a cero ($-0,5 < \text{LSI} < +0,5$). En algunos casos también se busca que el agua sea estable en contacto con la atmósfera.

Las diferentes técnicas disponibles para la remineralización son:

1. Adición de Carbonato cálcico y dióxido de carbono.
2. Adición de Hidróxido cálcico y dióxido de carbono.
3. Adición de Dolomita y Dióxido de carbono.
4. Adición de Carbonato cálcico y Ácido sulfúrico
5. Adición de Cloruro cálcico y Bicarbonato sódico.

Las más utilizadas en la práctica son las técnicas 1 y 2. Para el diseño de esta planta se ha elegido la técnica 1.

Para realizar la remineralización en primer lugar se realiza la dosificación del CO₂. Para ello el agua permeada deberá atravesar los disolvedores de CO₂ de baja presión.

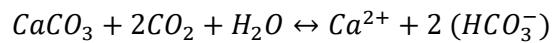
Los dosificadores de CO₂ están compuestos de los siguientes elementos:

- Se instalarán 6 disolvedores en disposición 5+1R, en el cual el CO₂ se dosifica a contracorriente. La velocidad del agua en el disolvedor debe mantenerse en $0,07 + 0,02 \text{ m/s}$ para evitar así el arrastre de burbujas. La presión diferencial del agua y la del gas debe ser del orden de 0,25bar. Debe disponer de un número suficiente de difusores de CO₂ de baja presión para garantizar una dosificación correcta aún a dosis elevadas. Dispondrá de dispositivos interiores que faciliten la mezcla de las burbujas de CO₂.
- Difusores de CO₂, con tamaño de poros que permiten la dosificación con una pérdida de carga mínima.
- Visor de burbujas: Está situado a lo largo de la pared del tanque como una franja semitransparente que permite visualizar el CO₂ no disuelto.



Ilustración 24. Disolvedores de CO₂ a baja presión (Fabricante Drintec).

Posteriormente, se encuentra una etapa de filtración en lecho de calcita, produciéndose la siguiente reacción:



Esta reacción aumenta el pH y la dureza del agua hasta alcanzar un equilibrio químico. Una vez que ha fluido a través del lecho, el agua carbonatada ahora re-entra en una zona de no-flujo y luego sale de la célula a través de un rebosadero perimetral. El desbordamiento es entonces canalizado a una salida en un lado del tanque.

El material filtrante es calcita granulada con pureza del 99% y tamaño de partículas entre 1 y 4 mm.



Ilustración 25. Lechos de calcita.

Se instalarán 7 lechos de calcita en disposición 6+1R con las siguientes dimensiones 2,5mx8mx3m (AnchoxLargoxAlto) y con un caudal unitario por lecho de 277,78 m³/h, a una velocidad máxima de 15 m/h.

Finalmente el agua permeada requiere la adición de cloro con el fin de eliminar elementos patógenos y perjudiciales para la salud. Para ello se dosifica hipoclorito sódico (NaClO).

De este modo se consigue que el agua permeada cumpla con las calidades requeridas como agua apta para consumo humano.

4.3.5 Almacenamiento de agua potable

El agua potable producida en la planta deberá ser almacenada en depósitos de agua pulmón previos a la red de distribución de la isla. Estos depósitos deberán ser capaces de almacenar al menos el agua necesaria para el abastecimiento de la isla durante un día. De modo que se instalarán dos depósitos de 15.000 m³ cada uno, fabricados en hormigón con 26 metros de diámetro y 30 metros de alto.



Ilustración 26. Depósitos de agua potable.

4.3.6 Tratamiento de aguas rechazadas y de limpieza

Para el almacenamiento del agua rechazada y residual producida en la planta por limpieza de membranas y filtros se prevé la instalación de un depósito decantador. Este depósito tiene el objetivo de servir de depósito pulmón de agua rechazada, neutralizar y de recoger los posibles fangos producidos por la deposición de las incrustaciones retiradas de las membranas y los filtros tras la limpieza.

Este depósito será de hormigón y tendrá el fondo cónico. El volumen útil del depósito será de 1000 m³, lo suficiente para almacenar el agua rechazada durante 30 minutos a pleno rendimiento de la planta.

Los posibles elementos flotantes serán recogidos mediante un skimmer y los fangos producidos por el fondo cónico siendo enviados por gravedad hasta un equipo de centrifugación que separará los fangos/sólidos del agua. Los fangos serán enviados mediante un tornillo sin fin a una cuba de recogida de fangos, mientras que el agua líquida se recircula hasta el decantador.

Por la zona intermedia del decantador se captará el agua líquida de rechazo, exenta de fangos y neutralizada para ser enviada al mar mediante emisario submarino.

La neutralización se realiza mediante la adición de HCl o NaOH, con los depósitos y equipos de dosificación disponibles para tal fin.

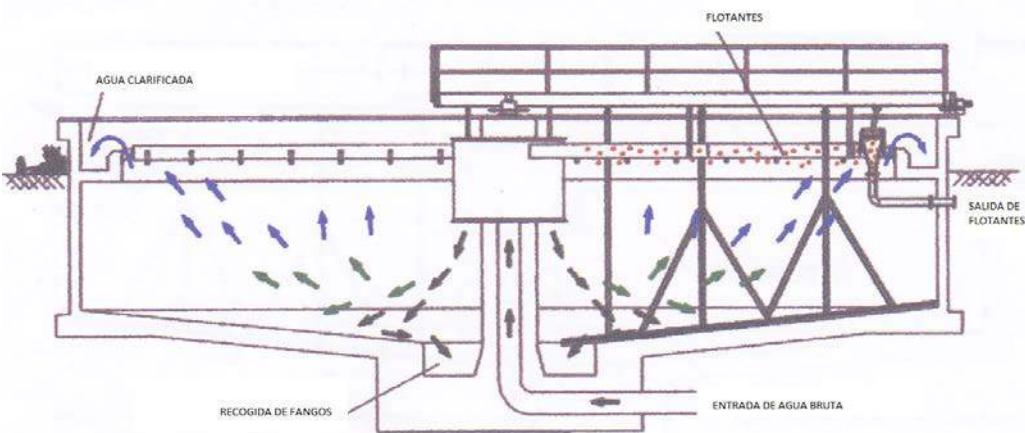


Ilustración 27. Decantador de agua residual.

4.3.7 Emisario submarino

El agua rechazada y de limpieza obtenida en la planta se ha planteado emitirla al mar mediante un emisario submarino.

Para la emisión del agua rechazada y de limpieza neutralizada se usará un emisario submarino fabricado en polipropileno de alta densidad. Para la implantación del emisario, con el fin de minimizar el impacto ambiental, hay que tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Evitar las curvas.
- Mantener una pendiente razonable, para evitar acumulaciones de suciedad o sólidos.
- Asegurar la estabilidad del emisario.
- Proteger al emisario contra los impactos.
- Prestar especial atención en la zona de rompientes.

Además de estas recomendaciones, se recirculará parte del agua captada desde la cántara de captación con el fin de reducir la concentración salina de emisión al mar con el fin de reducir las posibles repercusiones sobre la biota marina.

La longitud del emisario será de 1.500m, tendrá un diámetro de 1,1m, siendo la velocidad máxima de circulación por el emisario de 1m/s y estará alejado de la torre de toma y de los arrecifes de coral que rodean la isla.



Ilustración 28. Emisario submarino.

Este emisario dispondrá de 14 difusores, repartidos en dos conductos en forma de Y, con una separación entre ellos de 3m. Los difusores tendrán una inclinación de 45° respecto a la línea de costa y se han diseñado para que la velocidad máxima de descarga por los orificios sea de 5 m/s, de modo que los diámetros de los orificios serán de 0,13m.



Ilustración 29. Difusores de emisario submarino.

4.4 Listado de equipos

A continuación se muestran los listados de equipos de procesos con algunas de sus características. Las listas están divididas en:

- Depósitos
- Bombas y soplantes
- Agitadores
- Otros equipos

Para mayor detalle observar las hojas de datos que se encuentran en el Anexo IV: Hojas de datos.

4.4.1 Depósitos

| DESIGNACIÓN | FLUIDO | VOLUMEN (m ³) | MATERIAL | Notas |
|-------------|--------------------------------------|---------------------------|----------|-----------------------------|
| D-001 | Agua bruta | 3726 | Hormigón | Cantara de captación |
| D-002 | Agua bruta | 1260 | Hormigón | Pozo de bombeo |
| D-003 | Agua pretratada | 1260 | Hormigón | Depósito de agua pretratada |
| D-004 | Agua permeada | 1260 | Hormigón | Depósito de agua permeada |
| D-005 A/B | Agua producto | 15000 | Hormigón | Depósito de agua producto |
| D-006 | Agua permeada | 90 | PRFV | Desplazamiento |
| D-007 | Agua permeada | 12 | PRFV | Limpieza química |
| D-008 | Agua rechazada | 1000 | Hormigón | Tanque decantador |
| D-009 | NaClO (13%) | 40 | PRFV | |
| D-010 | H ₂ SO ₄ (98%) | 15 | PPAD | Polipropileno alta densidad |
| D-011 | Cl ₃ Fe (40%) | 25 | PRFV | |
| D-012 A/B | NaHSO ₃ (40%) | 10 | PRFV | |
| D-013 A/B | HMP (5,5%) | 2,5 | PRFV | |
| D-014 | CO ₂ (99,9%) | 13 | PRFV | |
| D-015A/B | HCl (37%) | 3 | PRFV | Lavado ácido |
| D-016A/B | NaOH (50%) | 3 | PRFV | Lavado alcalino |
| D-17 | Aire | 5 | Aluminio | Calderín aire comprimido |

Tabla 4. Listado de Depósitos.

4.4.2 Bombas

| DESIGNACIÓN | Tipo | Nº | FLUIDO | ESTADO | CAUDAL (m ³ /h) | ALTURA (mca) | POTENCIA CALCULADA (kW) | MATERIAL |
|-------------|--------------------|----|--------------------------------------|---------|----------------------------|--------------|-------------------------|-------------|
| B-001 A-E | Sumergible | 5 | Agua bruta | Líquido | 1242 | 50 | 168,1 | SUPERDUPLEX |
| B-002 A-F | Sumergible | 6 | Agua bruta | Líquido | 720 | 50 | 134,4 | SUPERDUPLEX |
| B-003 A-E | Bomba alta presión | 5 | Agua pretratada | Líquido | 926 | 588,23 | 1904,6 | SUPERDUPLEX |
| B-004 | Turbina Pelton | 1 | Agua rechazada | Líquido | 2036,4 | 555,3 | -2445,2 | SUPERDUPLEX |
| B-005 | Centrifuga | 1 | Agua rechazada | Líquido | 918 | 40 | 101,9 | SUPERDUPLEX |
| B-006 A-D | Centrífuga | 5 | Agua rechazada | Líquido | 509,25 | 50 | 62,8 | SUPERDUPLEX |
| B-007 A/B | Dosificadora | 2 | NaClO (13%) | Líquido | 0,11 | 100 | 0,370 | Teflón |
| B-008 A/B | Dosificadora | 2 | H ₂ SO ₄ (98%) | Líquido | 0,041 | 100 | 0,05 | Teflón |
| B-009 A/B | Dosificadora | 2 | Cl ₃ Fe (40%) | Líquido | 0,064 | 100 | 0,25 | Teflón |
| B-010 A/B | Dosificadora | 2 | NaHSO ₃ (40%) | Líquido | 0,1185 | 100 | 0,12 | Teflón |
| B-011 A/B | Dosificadora | 2 | HMP (5,5%) | Líquido | 0,0273 | 100 | 0,05 | Teflón |
| B-012 A-D | Dosificadora | 4 | HCl (37%) | Líquido | 0,02 | 20 | 0,05 | Teflón |
| B-013 A-D | Dosificadora | 4 | NaOH (50%) | Líquido | 0,02 | 20 | 0,05 | Teflón |
| B-014 | Centrifuga | 1 | Agua permeada | Líquido | 10 | 40 | 1,1 | AISI 304L |
| B-015 | Centrifuga | 1 | Agua de lavado | Líquido | 10 | 40 | 1,1 | AISI 304L |
| B-016A/B | Centrifuga | 2 | Agua permeada | Líquido | 1691,1 | 30 | 180,5 | SUPERDUPLEX |
| B-017A/B | Centrifuga | 2 | Agua permeada | Líquido | 1691,1 | 30 | 240,7 | SUPERDUPLEX |
| S-001 | Soplante | 1 | Aire | Gas | 2550 | 10 | 84,0 | PPAD |

Tabla 5. Listado de bombas.

4.4.3 Agitadores

| DESIGNACIÓN | Tipo | FLUIDO | ESTADO | POTENCIA CALCULADA (kW) | T ^a Operación (°C) | MATERIAL | CORRESPONDE A |
|-------------|--------|--------------------------|---------|-------------------------|-------------------------------|-----------|---------------|
| A-001 | Hélice | Agua permeada | Líquido | 2,62 | 25 | AISI 316L | D-007 |
| A-002A/B | Hélice | NaHSO ₃ (40%) | Líquido | 2,51 | 25 | AISI 316L | D-012 A/B |
| A-003A/B | Hélice | HMP (5,5%) | Líquido | 0,18 | 25 | AISI 316L | D-013 A/B |

Tabla 6. Listado de agitadores.

4.4.4 Otros equipos

| DESIGNACIÓN | DESCRIPCIÓN | Nº | FLUIDO | ESTADO | POTENCIA CALCULADA (kW) | T ^a Operación (°C) | MATERIAL | AISLAMIENTO | Notas |
|-------------|----------------------------|----|------------------------|-------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------|--|
| F-001 A-F | Filtro Arena-Antracita | 6 | Agua pretratada | Líquido | --- | 27,1 | Acero galvanizado | NO | Con interior recubierto de material plástico |
| F-002 A-H | Filtro | 8 | Agua pretratada | Líquido | --- | 27,1 | AISI 316L | NO | |
| LC-001 A-G | Lecho calcita | 7 | Agua permeada | Líquido | --- | 27,1 | Hormigón | NO | |
| T-001 | Tornillo | 1 | Fangos | Sólido | 10 | 27,1 | Acero inoxidable | NO | |
| CF-001 | Centrifuga | 1 | Fangos | Líquido | 20 | 27,1 | Acero inoxidable | NO | |
| C-001A/B | Compresor | 2 | Aire | Gas | 2,2 | 25 | --- | NO | |
| DF-001 A-F | Difusor de CO ₂ | 6 | CO ₂ Y Agua | Gas-Líquido | --- | 25 | --- | NO | |

Tabla 7. Listado de equipos de proceso.

4.5 Utilities

4.5.1 Instalación de aire comprimido

Como servicios de utilities se considera la instalación de aire comprimido. Esta instalación se diseña especialmente para abastecer a las líneas de aire de instrumentación y aire de servicio.

La instalación está formada por dos compresores los cuales en condiciones normales de trabajo uno estará en funcionamiento y el otro en reserva. La instalación dispone de un calderín pulmón de aire y una red de tuberías de distribución.

Tras la compresión del aire éste será filtrado por 1^a vez para reducir el número de partículas de aceite en el aire, posteriormente será secado mediante un equipo de absorción para eliminar la condensación producida y por último será filtrado una 2^a vez para reducir las partículas que pueda transportar el aire.

La red de aire de instrumentos abastece a todos los instrumentos de la planta, principalmente válvulas automáticas on/off y válvulas de control.

La red de aire de servicio abastece sistemas de limpieza u otros sistemas auxiliares.

A continuación se indican cuáles son las calidades que deben tener las redes de aire comprimido.

| Tipo de aire | Partículas | Agua | Aceite |
|-------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| Proceso/servicios | Clase 1 (0,1 mg/L) | Clase 2 (-40 °C) | Clase 1 (0,1 mg/L) |
| Instrumentación | Clase 1 (0,1 mg/L) | Clase 2 (-40 °C) | Clase 1 (0,1 mg/L) |

Tabla 8. Calidad del aire comprimido.

Los consumos de aire (en condiciones normales) para cada servicio son los siguientes:

- Aire de servicio: 20 Nm³/h
- Aire de instrumento: 25,6 Nm³/h

Estimando un sobredimensionamiento del 15% para consumo de aire de regeneración del secador, resulta un caudal total de 52,44 Nm³/h. A una presión de suministro de 8,5bar, el caudal real será de 10,68 m³/h.

Los materiales de las líneas de distribución de aire y del calderín serán construidos en aluminio.

Los compresores seleccionados serán de tornillos de la marca Kaeser de la serie SX3-ASK. La potencia nominal del motor será de 2,2 kW.

El calderín será de 5 m³ capaz de abastecer el consumo de la planta durante al menos 30 minutos.



Ilustración 30. Compresor KAESER modelo SX 3.

4.6 Planta de embotellamiento de agua

Como una posible solución a la excedente producción de agua en ciertas épocas del año y como apoyo económico, dado que la planta se ha sobredimensionado por este motivo entre otros, se ha propuesto instalar una planta de embotellamiento de agua potable para su posterior distribución y venta en la isla.

Esta planta de embotellamiento se encuentra en el edificio de envasado, y será alimentada desde los depósitos de agua potable.

Los formatos de embotellado serán los formatos clásicos de 5L y 1,5L.



Ilustración 31. Formatos de embotellado de 5L (izquierda) y 1,5L (derecha).

El embasado se realizará de forma automática del modo en que se describe a continuación:

1. Alimentación de botellas/garrafas y llenado.
2. Taponado y etiquetado.
3. Encajado.
4. Paletizado.
5. Enfardado.

Se instalará un sistema de envasado automático para cada formato de embotellado, siendo compartido el sistema de paletizado y enfardado automático.

La alimentación de las botellas al sistema de envasado se realiza de forma manual. Tras el enfardado de los palets, un operario recoge los palets con una carretilla y los deposita en las estanterías de almacenamiento dentro de dicho edificio, hasta que llegue el camión encargado recoger los palets para proceder a sus distribución por la isla.

La producción máxima de agua embotellada se ha estimado para la capacidad máxima del sistema de envasado. De esta forma la producción máxima de embotellamiento de la planta se estima en 15 palets de cada formato por cada turno de 8 horas.

En la siguiente tabla se muestran las capacidades máximas de producción de la planta de embotellado.

| Tipo envase | Pale/Turno | Turnos/Día | Envase/Caja | Cajas/Pale | Envases/Pale | Litros/Pale | Litros/Día | Días/Año | m3/Año |
|--------------|------------|------------|-------------|------------|--------------|-------------|------------|----------|--------|
| Garrafa 5L | 15 | 3 | 4 | 72 | 288 | 1440 | 64800 | 315 | 20412 |
| Botella 1,5L | 15 | 3 | 6 | 150 | 900 | 1350 | 60750 | 315 | 19136 |
| Total | | | | | | | 125550 | 315 | 39548 |

Tabla 9. Capacidad de sistema de embotellado.

Como se puede observar, si la planta trabajara 315 días al año a tres turnos por día, se producirían casi 40.000 m³ de agua embotellada al año, siendo la capacidad diaria total de 125,55m³/día de agua embotellada, lo que son 5231,25 litros por hora entre ambos formatos.

Teniendo en cuenta que barbados dispone de una población de 290.000 habitantes, la planta estaría produciendo (a máxima capacidad) 0,43 litros de agua embotellada por habitante. Lo que sería suficiente para abastecer la demanda de agua embotellada de toda la isla.



Ilustración 32. Sistemas de embotellado de agua.

Los sistemas de embotellado dispondrán de la siguiente tecnología:

- PLC de control del sistema de embotellado
- Sistema de cintas transportadoras para el transporte de los envases.
- Sistemas de detección de botellas.
- Sistema de dosificación automática.
- Sistema de etiquetado y taponado automático.
- Sistema de encajado automático.

A medida que se va completando en llenado de las cajas, éstas son enviadas mediante un sistema de cintas transportadoras hasta el sistema de paletizado automático. La unidad paletizadora y enfardadora robotizada RPW-520/525 combina las dos tecnologías esenciales para el final de línea: una celda robotizada de paletizado

y una enfardadora con plataforma giratoria. Esta solución minimiza el espacio mediante el paletizado y enfardado.



Ilustración 33. Sistema de paletizado automático.

Se incluye:

- Robot FANUC R-2000iB/100H
- Base inferior del robot
- Herramienta de vacío del extremo del brazo
- Transportador de alimentación motorizado
- Enfardadora con plataforma giratoria
- Controlador lógico programable
- Vista de panel
- Cortinas de luz
- Cercas de seguridad
- Cables y bandejas para cables
- Panel eléctrico principal y cajas de conexiones

Para el almacenamiento se dispone de seis estanterías para palets. Dichas estanterías tienen una capacidad total de 432 palets, lo que indica una capacidad de almacenamiento de 4-5 días de producción máxima de la planta de embotellado.

4.7 Instrumentación y control

Para el correcto funcionamiento de la planta se instalan dispositivos de medida, que son capaces de transmitir en tiempo real las distintas señales generadas al centro de control.

4.7.1 Descripción de los instrumentos

A continuación se explica de forma resumida los distintos instrumentos utilizados en la planta:

- PIT: Indicador y transmisor de presión. Este instrumento transforma una señal de presión a una señal eléctrica de entre 4 y 20 mA. Además hace de manómetro mostrando la presión en campo.
- FIT: Indicador y transmisor de caudal. Este instrumento transforma una señal de caudal a una señal eléctrica de entre 4 y 20 mA. Además muestra el caudal en campo.
- PIDT: Indicador y transmisor de presión diferencial. Este instrumento mide la caída de presión de paso de fluido a través de un equipo, midiendo la presión a la entrada y a la salida del equipo y calculando la diferencia de presión, que puede ser observada en campo y a la vez ser transformada a una señal eléctrica de entre 4 y 20 mA.
- LS: Sensor de nivel. Sensor que envía una alarma de nivel alto o nivel bajo de líquido en un depósito.
- LT: Transmisor de nivel. Este instrumento indica el nivel de líquido que posee un tanque, enviando una señal transformada de entre 4 y 20 mA.
- PHIT: Transmisor e indicador de pH. Este instrumento transforma una señal de medida de pH a una señal eléctrica de 4-20 mA, siendo además posible observarla en campo.
- CIT: Indicador y transmisor de conductividad. Este instrumento mide la conductividad de una solución pudiendo ser observada en campo y a la vez ser transformada a una señal eléctrica de entre 4 y 20 mA.
- TIT: Transmisor e indicador de temperatura. Este instrumento mide la temperatura en un punto, y transforma la señal de temperatura a una señal eléctrica de 4-20 mA.
- ORPI: Indicador de potencial Redox.

4.7.1.1 Indicador y transmisor de presión

Los transmisores de presión miden la presión en una línea o un punto concreto y transforma la señal recibida a una señal eléctrica de 4-20 mA. Esta señal analógica es conducida mediante dos cables, llegando hasta la sala de control, donde los operadores de la planta reciben la información. Además esa señal puede estar conectada a un bucle de control de presión, de modo que si la presión deseada se sale del rango dado puede provocar la parada o la variación de la frecuencia de trabajo del equipo de bombeo, si es el caso, para evitar sobrepresión en la impulsión o cavitación en la aspiración.

Este instrumento también muestra la información en campo, como se observa en la siguiente imagen.

El tipo de material del transmisor en contacto con el fluido a medir dependerá de la resistencia a la corrosión que precise, de modo que se usará un material más resistente para el agua de alimentación y rechazada y un material menos resistente a la corrosión para los casos de agua permeada.



Ilustración 34. Indicador y transmisor de presión.

4.7.1.2 Indicador y transmisor de presión diferencial

Este instrumento mide la presión en dos puntos distintos de tal modo que la señal emitida por el instrumento es la diferencia de presión entre dichos puntos. Esto es útil cuando se necesita saber la caída de presión en algún punto de la planta o en algún equipo en concreto.

En este caso, los equipos en lo que se ha instalado este tipo de instrumento son:

- Filtros de arena-antracita.
- Filtros de cartucho.

En estos equipos es necesario saber cuándo se alcanza una determinada pérdida de carga para proceder a la limpieza, en caso de los filtro de arena-antracita, o al cambio de los cartuchos, en caso de los filtros de cartucho.

Este instrumento podría haberse instalado también en las membranas de osmosis, pero se ha optado por la instalación de transmisores a la entrada y a la salida, de modo que la diferencia de presión se obtiene mediante el software de control en el panel de la sala de control.

4.7.1.3 Indicador y transmisor de caudal

Los caudalímetros usados en éste tipo de plantas son electromagnéticos, empleados para fluidos conductivos y en tubería cerrada. Este instrumento genera un voltaje por inducción en un campo electromagnético, siendo el voltaje inducido proporcional a la velocidad del fluido.

Se utilizan caudalímetros en los siguientes puntos de la planta:

- En la línea de impulsión de las bombas del pozo de bombeo, previo a la entrada de los filtros de arena-antracita.
- En las líneas de alimentación a las membranas de osmosis.
- En las líneas de agua permeada, tras las membranas de osmosis, para el control del flujo de permeado.
- En la línea de agua rechazada, previo a la turbina pelton, para controlar la energía generada por la turbina y controlar las dosificaciones químicas de neutralización, también en función del pH.



Ilustración 35. Caudalímetro electromagnético.

4.7.1.4 Sensor de nivel

Los sensores de nivel se emplean para controlar el nivel de líquido de todos los depósitos de la instalación. Se han instalado dos sensores por depósito; el primero indica el nivel mínimo de líquido en el depósito y el segundo indica el nivel máximo. Llevan asociados una alarma de nivel bajo y nivel alto respectivamente que indican el estado de los depósitos en la sala de control: “Lleno completamente” ó “Vacío completamente”.

4.7.1.5 Transmisor de nivel

Estos instrumentos indican el nivel exacto de líquido en los depósitos de la instalación, indicando el nivel de líquido transformando la señal de nivel a una señal de entre 4 y 20 mA, que es enviada al panel de control.

4.7.1.6 Transmisor e indicador de pH

Este instrumento se instala para indicar y transmitir el pH de una solución. Poseen un diafragma de PTFE para así evitar el ensuciamiento y las obstrucciones, asegurando una medición precisa durante un largo periodo.

Este instrumento puede encontrarse instalado en:

- Cántara de captación y pozo de bombeo. Para controlar la adición de reductor de pH (H_2SO_4).
- Alimentación de los filtros de cartucho.
- A la entrada de las membranas de osmosis.
- Línea de agua permeada, previa al post-tratamiento.
- Línea de agua potable.
- Depósito de neutralización.

4.7.1.7 Transmisor e indicador de conductividad

Este instrumento se encarga de medir la cantidad de sales disueltas en el agua, de forma que cuanto mayor es la cantidad de sales disueltas, mayor es la conductividad. Este instrumento es de diseño sencillo y realiza mediciones precisas sin necesidad de calibración.

Este instrumento se encuentra instalado en los siguientes puntos de la planta:

- Cántara de captación y pozo de bombeo.
- Alimentación de los filtros de cartucho.
- A la entrada de las membranas de osmosis.
- Línea de agua permeada, previa al post-tratamiento.
- Línea de agua rechazada, previa a la turbina pelton.
- Línea de agua potable.
- Depósito de neutralización.
- Línea a emisario submarino.

4.7.1.8 Transmisor e indicador de temperatura

Como se comentó anteriormente, éste instrumento se encarga de medir la temperatura en ciertos puntos de la planta. Estos puntos son:

- Cántara de captación. Para la medición de temperatura de agua bruta.
- Línea de alimentación a las membranas de osmosis. Dado que debido a la adición de adición de ácido sulfúrico en el pretratamiento la temperatura de agua de alimentación puede verse levemente incrementada.

4.7.1.9 Indicador de potencial redox

Este instrumento se instala a la entrada de los filtros de cartucho, transmitiendo una señal al sistema de control de adición de reactivos químicos.

5 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

La nueva planta se ubica en un área de 30.000 m² en la zona noreste de la isla de Barbados, en la zona de Pie Corner, al norte de Saint Andrew. Se trata de una parcela de 175x125m aproximadamente, a la cual se accede por la carretera de Cove Bay Road, a una distancia de 500m de la costa, aproximadamente. La planta presenta dos entradas/salidas. La entrada principal, que se encuentra en la esquina noroeste de la planta, justo al lado de los aparcamientos y el edificio de control y oficinas. La salida de emergencia se encuentra en la esquina sureste de la planta, junto a la zona de tratamiento de efluentes.



Ilustración 36. Emplazamiento.

La ordenación dentro de la parcela, se conforma en torno a un vial perimetral, desde el que se distribuye la circulación dando acceso a las distintas áreas de la planta. El conjunto de edificios e instalaciones, quedará circunscrito en este vial situado a la misma cota, siendo prácticamente horizontal en la parcela.

Por otro lado, a unos 70 metros de la costa se encuentra la cántara de captación, que básicamente contiene el edificio de bombeo de agua de mar hasta la planta.

5.1 Edificación

5.1.1 Edificio de cántara de captación

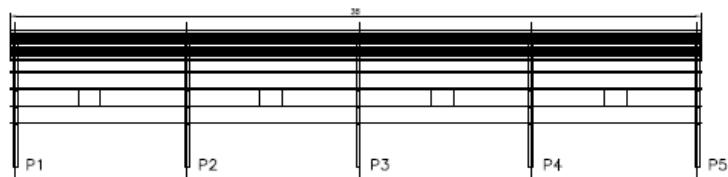
El edificio de la cántara de captación se ha previsto para contener la cántara de captación, que no es más que un depósito de agua bruta de alimentación que proviene de la torre de toma y sus respectivas bombas para impulsión del agua hasta el pozo de bombeo. Este edificio se encuentra a 70 metros de la orilla y a 430 metros de la planta.

Se construirá una nave cubierta de estructura metálica cerrada perimetralmente y formada por 5 pórticos (4 vanos) separados a 7 m. Las fachadas se completan a base de paneles prefabricados de hormigón liso de 20 cm de espesor con aislamiento interior incorporado. El conjunto del edificio ocupa un espacio de 1050 m², con las siguientes medidas 35x30m.

La cubierta será metálica de acero galvanizado, S-275-JR en perfiles de diversas secciones para formalizar la estructura de pilares y cubierta, instalada mediante uniones atornilladas en obra. Como elementos de arriostrado en cubierta, se colocan cruces de San Andrés entre los pórticos así como vigas de atado en toda la longitud del edificio. La cubierta se diseña a dos aguas con una inclinación del 10 %.

La cimentación se realiza a base de zapatas aisladas de hormigón armado.

SECCIÓN B-B



SECCIÓN A-A

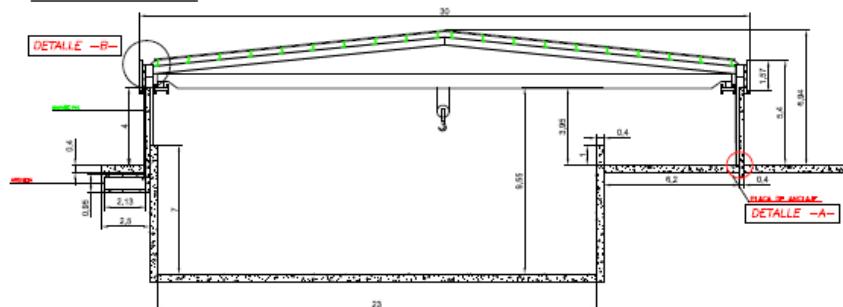


Ilustración 37. Cántara de captación.

5.1.2 Edificio de pozo de bombeo

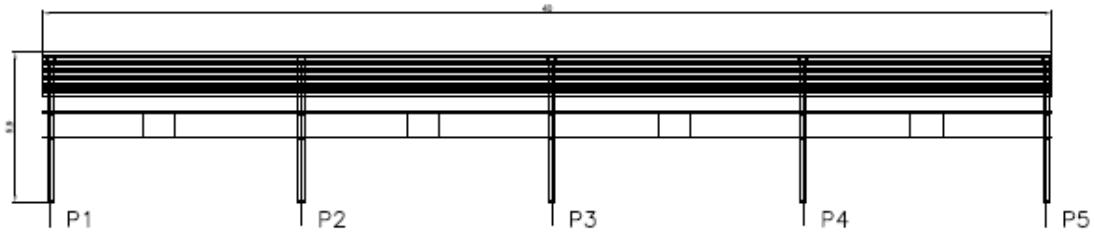
El edificio de bombeo se ha previsto para contener el pozo de bombeo, que no es más que un depósito de agua bruta de alimentación que proviene de la cántara de captación y sus respectivas bombas para impulsión del agua al proceso. Este edificio se encuentra en la esquina noreste de la planta, junto a los filtros de arena-antracita y los depósitos de reactivos de pretratamiento.

Se construirá una nave cubierta de estructura metálica cerrada perimetralmente y formada por 5 pórticos (4 vanos) separados a 10 m. Las fachadas se completan a base de paneles prefabricados de hormigón liso de 20 cm de espesor con aislamiento interior incorporado. El conjunto del edificio ocupa un espacio de 400 m², con las siguientes medidas 40x10m.

La cubierta será metálica de acero galvanizado, S-275-JR en perfiles de diversas secciones para formalizar la estructura de pilares y cubierta, instalada mediante uniones atornilladas en obra. La cubierta se diseña a dos aguas con una inclinación del 10 %.

La cimentación se realiza a base de zapatas aisladas de hormigón armado.

SECCIÓN B-B



SECCIÓN A-A

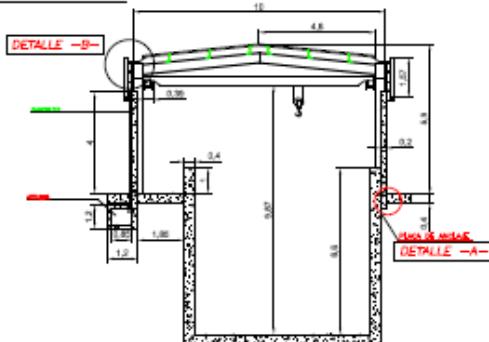


Ilustración 38. Pozo de bombeo.

5.1.3 Edificio de osmosis

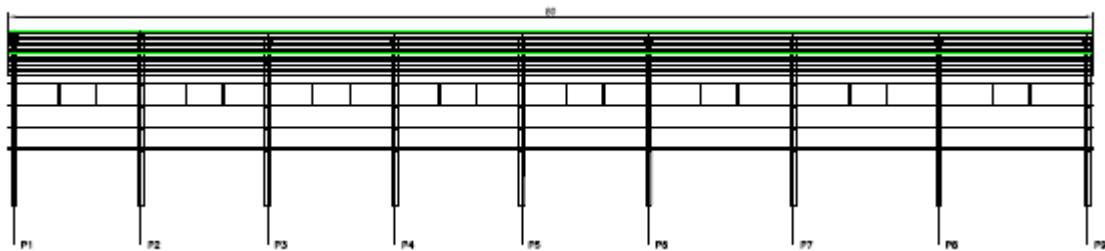
El edificio de osmosis contiene los bastidores de osmosis, los depósitos de agua pretratada y permeada, las bombas de alta presión, la sala de control de motores, sala de compresores, bombas de alta presión, turbina pelton con alternador, depósitos de limpieza química, desplazamiento, ácido y sosa. Para el mantenimiento de los motores, la turbina y demás elementos se prevé la instalación de un puente grúa con un polipasto.

Se construirá una nave cubierta de estructura metálica cerrada perimetralmente y formada por 9 pórticos (8 vanos) separados a 10 m. Las fachadas se completan a base de paneles prefabricados de hormigón liso de 20 cm de espesor con aislamiento interior incorporado. El conjunto del edificio ocupa un espacio de 3200 m², con las siguientes medidas 80x40m.

La cubierta será metálica de acero galvanizado, S-275-JR en perfiles de diversas secciones para formalizar la estructura de pilares y cubierta, instalada mediante uniones atornilladas en obra. La cubierta se diseña a dos aguas con una inclinación del 10 %.

La cimentación se realiza a base de zapatas aisladas de hormigón armado.

SECCIÓN B-B



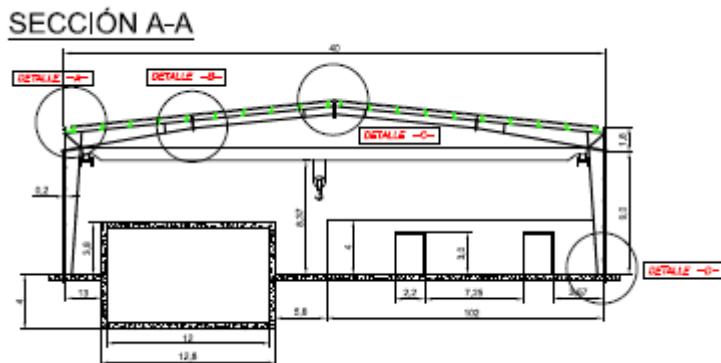


Ilustración 39. Edificio de osmosis.

5.1.4 Edificio de control y oficinas

El edificio de control y oficinas está organizado interiormente en dos plantas. En la planta inferior se encuentra el vestíbulo con un puesto de recepción, dos cuartos de baños diferenciados por sexos, una oficina desde donde se realiza el pesaje de camiones en las básculas, un cuartillo con elementos de limpieza y una sala de administración. En la planta superior se encuentra la sala de control, dos vestuarios con taquillas y cuartos de baño diferenciados por sexos, una sala de descanso con microondas, máquinas de bebida y comida y una sala de reuniones.

La cimentación se resuelve mediante losa de hormigón HA-25 sobre capa de hormigón de limpieza HM-10 de 10 cm de espesor. Las dimensiones y especificaciones se encuentran en los planos correspondientes.

La estructura se resuelve mediante muro de carga formada por fábrica de bloques de termoarcilla de 29 cm de espesor arriostrado superiormente mediante zuncho de coronación construido en hormigón armado HA-25 y armadura de acero corrugado B 400S.

Los forjados serán de canto de 22+4cm y se realizarán con viguetas semirresistentes de celosia, capa de compresión de 4cm de hormigón HA-25 con mallazo de retracción en acero B-400S de 6 mm de diámetro dispuestos en cuadrícula de 30 x 30 cm.

El edificio cuenta con una cubierta plana no transitable de hormigón y gravilla. La formación de pendientes se realizará mediante hormigón aligerado. El conjunto se impermeabilizará convenientemente mediante membranas de asfálticas.

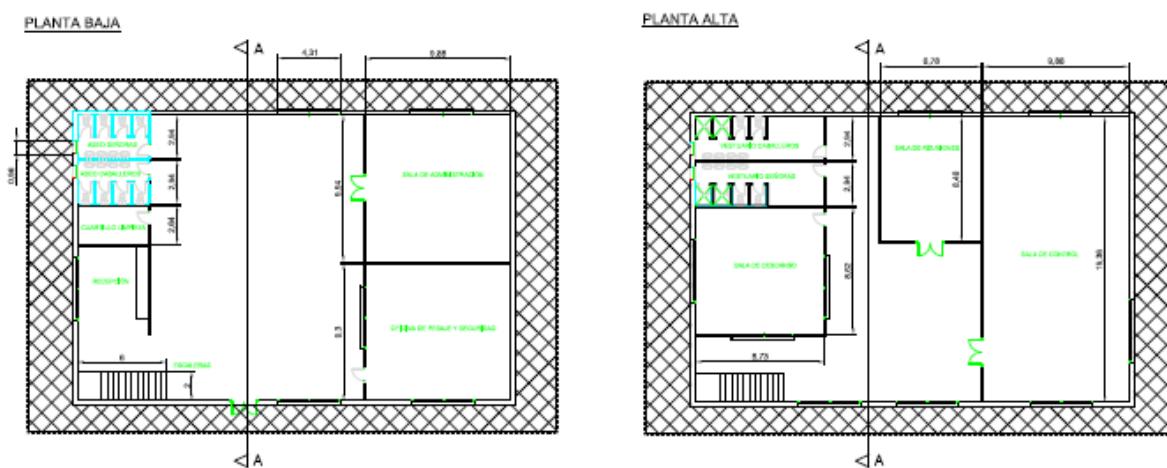


Ilustración 40. Edificio de oficinas.

- **Albañilería, solados y revestidos**

El cerramiento exterior, como ya se ha indicado se resuelve el propio muro de carga de termoarcilla de 29 cm de espesor. El acabado exterior se realizará a base de enfoscado, maestreado y fratasado de mortero de cemento 1:3 de 1,5 cm de espesor, y pintado con pintura pétrea rugosa, en tanto que interiormente irá acabado mediante guarnecido y enlucido con pasta de yeso de 1,2 cm de espesor, y pintado a base de lijado y limpieza del soporte, mano de fondo, plastecido, nueva mano de fondo, y dos manos de acabado con pintura plástica lisa.

En los aseos, se sustituirá el guarnecido, enlucido y pintado, por enfoscado rayado con mortero de cemento 1:3 y alicatado de azulejo blanco sanitario de 15 x 15 cm tomado con mortero de cemento-cola.

Las divisiones interiores se ejecutarán en ladrillo hueco sencillo o doble, según zonas, con acabados similares a los indicados para el interior del cerramiento exterior.

Los forjados de cubierta irán enfoscados y fratasados interiormente con mortero de cemento 1/3 de 1 cm de espesor.

Los techos en general se realizarán con placas de escayola lisa, sobre perfilería metálica suspendida, en tanto que en la zona de aseos y vestuarios de personal se emplearán placas de aglomerado con acabado superficial plastificado.

La solería en general realizará en baldosa de terrazo de 40 x 40 cm, de grano grueso, pulida en obra, con rodapié del mismo material, sobre mortero de agarre, dispuesto sobre una lámina impermeabilizante de polietileno de 0,5 mm de espesor, todo ello sobre la solera anteriormente descrita. En aseos y vestuarios, la solería se ejecutará en baldosa de semigrés, con rodapié del mismo material.

Todos los paramentos interiores excepto los de los cuartos de baño llevarán un rodapié a todo lo largo de su base de terrazo de 40x7cm.

El acerado perimetral se realizará en baldosa hidráulica, rematado con bordillo prefabricado de hormigón de 15 x 25 cm sobre la propia solera de hormigón, con un mortero de agarre, y baldosas de cemento comprimido de 20 x 20 cm.

Los alfizares de ventanas se realizarán a base de baldosín catalán vidriado en color verde oscuro.

- **Carpintería y vidrios**

La puerta de acceso desde el exterior serán de tipo de cuarterones, realizadas en madera de pino macizo de 60 mm de espesor, con cercos del mismo material, cerraduras de seguridad, placas y tiradores de latón pulido de primera calidad, y acabado a base de una mano de pintura de fondo y dos de esmalte color verde.

Las puertas interiores se realizarán a base de cerco y tapajuntas de madera de pino y hoja prefabricada normalizada chapada en sapelly, pintadas al esmalte sintético a base de limpieza del soporte, sellado de nudos, mano de imprimación, plastecido, lijado, mano de fondo y mano de acabado, con terminación en color verde, a excepción de las interiores de aseos que irán pintadas en color blanco. Todas las puertas dispondrán de placas y tiradores de latón de 1^a calidad.

Las ventanas serán corredizas, de aluminio anodizado en color verde, con luna incolora de 6mm de espesor, y translúcida en las ventanas de los aseos.

- **Fontanería**

La red de fontanería partirá de una arqueta con llave de paso, realizándose la instalación interior en tubería de cobre homologada.

La entrada al edificio se realizará mediante un pasamuros, y una vez en el interior, la canalización se ejecutará en instalación aérea o empotrada según tramos. En la zona en que discurre por falso techo la instalación podrá ejecutarse en forma aérea, con soportes de tipo abrazadera con junta de goma, de modo que nunca habrá contacto cobre-acero. En todos los tramos donde vaya empotrada, la tubería irá protegida, pudiéndose usar una tubería con vaina de PVC o bien proteger dicha tubería con otro tubo concéntrico de PVC. En cualquier caso, se prohíbe el contacto de la tubería con elementos de agarre de la construcción y en especial, con yeso.

Los sanitarios serán de porcelana blanca vitrificada, de calidad media, con grifería y accesorios roscados, en latón cromado de calidad media, instalándose grifería temporizada de análogas características en urinarios.

- **Saneamiento**

La instalación de saneamiento se proyecta mediante tubería de PVC.

La pendiente mínima de las tuberías será del 1%.

Cada uno de los aparatos dispondrá de sifón individual.

Se dispondrán arquetas de paso registrables en el exterior y no registrables en el interior del edificio.

Se dispondrá una arqueta sifónica en la salida de la instalación, la cual se conectará con la red general de saneamiento.

- **Climatización**

Para permitir el uso sectorizado del edificio, se ha optado por un sistema frío-calor centralizado con distribuidores en cada sala.

Se prevé la instalación de una bomba de calor aire-agua que mediante la correspondiente red de distribución de agua fría/caliente alimentará a unidades terminales de tipo fan-coil a instalar en la zona de falso techo. La impulsión de aire a los despachos se realizará conducida por conductos y el retorno por falso techo.

La distribución de aire se realizará en conductos de fibra de vidrio con rejillas de impulsión y retorno de aluminio lacado, las primeras con control de volumen y las segundas de lamas fijas.

La red de distribución de agua a fan-coils se realizará en tubería de cobre homologada aislada con coquilla de espuma elastomérica y espesores de acuerdo con la ITIC, y ejecución similar a la instalación de la fontanería.

- **Instalación eléctrica**

Para diseñar la iluminación interior en el edificio de oficinas se ha usado el programa gratuito Dialux. En el Anexo V, se muestran los resultados de la simulación.

Para este edificio se ha propuesto la utilización de luminarias tipo PHILIPS FBS296 2xPL-C/4P26W HFP C en los vestuarios, servicios y en la sala de limpieza, y luminarias tipo PHILIPS BBS560 1xLED35S/840 AC-MLO en el resto de las instalaciones.

La distribución interior de las luminarias se puede observar en el Anexo III: Planos.

5.1.5 Edificio almacén y taller

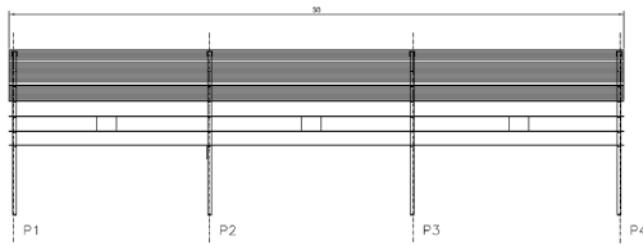
El edificio de almacén y taller almacenará las herramientas necesarias para la reparación, limpieza de cualquier elemento de la planta, además de palets, cajas de cartón y botellas de plástico, necesarias para el envasado y almacenamiento de las botellas de agua que genera la planta.

Se construirá una nave cubierta de estructura metálica cerrada perimetralmente y formada por 4 pórticos (3 vanos) separados a 10 m. Las fachadas se completan a base de paneles prefabricados de hormigón liso de 20 cm de espesor con aislamiento interior incorporado. El conjunto del edificio ocupa un espacio de 450 m², con las siguientes medidas 30x15m.

La cubierta será metálica de acero galvanizado, S-275-JR en perfiles de diversas secciones para formalizar la estructura de pilares y cubierta, instalada mediante uniones atornilladas en obra. La cubierta se diseña a dos aguas con una inclinación del 10 %.

La cimentación se realiza a base de zapatas aisladas de hormigón armado.

SECCIÓN B-B



SECCIÓN A-A

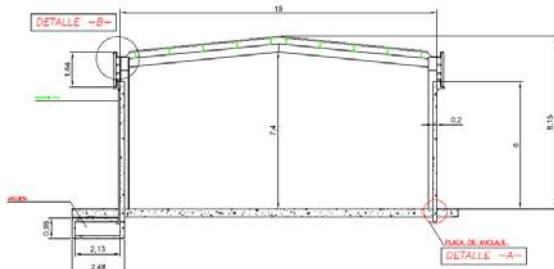


Ilustración 41. Edificio almacén y taller.

5.1.6 Edificio de envasado y almacenamiento

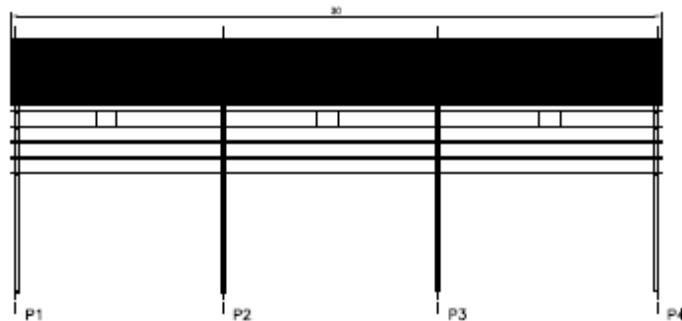
El edificio de envasado y almacenamiento contiene la maquinaria de envasado, paletizado y enfardado automático de agua en botellas de 1,5L y garrafas de 5L.

Se construirá una nave cubierta de estructura metálica cerrada perimetralmente y formada por 4 pórticos (3 vanos) separados a 10 m. Las fachadas se completan a base de paneles prefabricados de hormigón liso de 20 cm de espesor, 3 metros de alto, con 3 paneles dispuestos en vertical y con aislamiento interior incorporado. Los paneles superiores cuentan con ventanas como puede observarse en los planos. El conjunto del edificio ocupa un espacio de 750 m², con las siguientes medidas 30x25m.

La cubierta será metálica de acero galvanizado, S-275-JR en perfiles de diversas secciones para formalizar la estructura de pilares y cubierta, instalada mediante uniones atornilladas en obra. La cubierta se diseña a dos aguas con una inclinación del 10 %.

La cimentación se realiza a base de zapatas aisladas de hormigón armado.

SECCIÓN B-B



SECCIÓN A-A

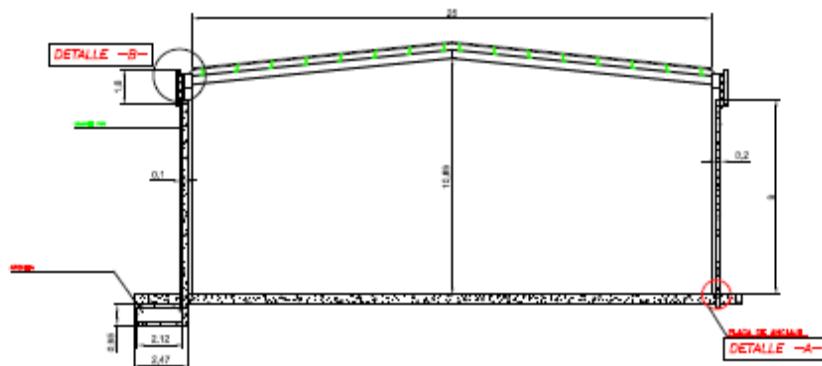


Ilustración 42. Edificio de envasado y almacenamiento.

5.1.7 Edificio de post-tratamiento

El edificio de post-tratamiento contiene los lechos de calcita, fabricados en hormigón in-situ, el depósito de CO₂ líquido, los disolvedores de CO₂ y las bombas de impulsión de agua potable hasta los depósitos de agua potable.

Se construirá una nave cubierta de estructura metálica cerrada perimetralmente y formada por 4 pórticos (3 vanos) separados a 10 m. Las fachadas se completan a base de paneles prefabricados de hormigón liso de 20 cm de espesor con aislamiento interior incorporado. Los paneles superiores cuentan con ventanas como puede observarse en los planos. El conjunto del edificio ocupa un espacio de 750 m², con las siguientes medidas 30x25m.

La cubierta será metálica de acero galvanizado, S-275-JR en perfiles de diversas secciones para formalizar la estructura de pilares y cubierta, instalada mediante uniones atornilladas en obra. La cubierta se diseña a dos aguas con una inclinación del 10 %.

La cimentación se realiza a base de zapatas aisladas de hormigón armado.

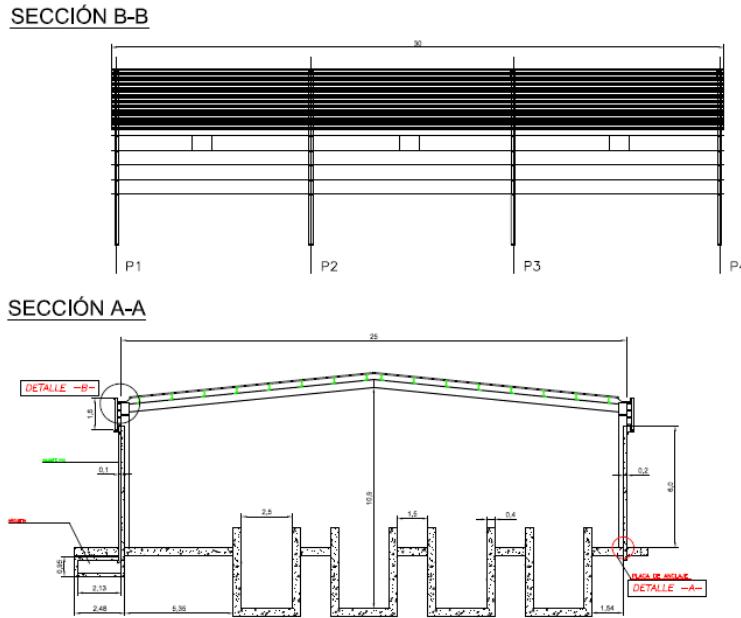


Ilustración 43. Edificio de post-tratamiento.

5.1.8 Características generales de todas las naves

Las siguientes características son generales los siguientes edificios: Cántara de captación, pozo de bombeo, edificio de almacenamiento, edificio de envasado, edificio de post-tratamiento y edificio de ósmosis.

- **Estructura**

La estructura se proyecta por medio de perfiles metálicos fabricados con chapas soldadas de acero A-42b unidos entre sí mediante tornillería y soldadura eléctrica.

Los pórticos se arriostrarán mediante vigas horizontales situadas en la parte superior del pilar y las correas de la cubierta. La estructura se montará en campo con al menos una mano de imprimación y se acabará con dos manos de esmalte, con esto se garantiza la supervivencia de la misma.

Los elementos metálicos estructurales de la nave se construirán de forma general con acero A 42b cuyas características se especifican en las Norma EA-95 y UNE 36-080-85.

Las soldaduras serán de tipo eléctrica por arco mediante electrodo con recubrimiento básico, el material depositado habrá de tener al menos las siguientes características:

- Resistencia a la tracción..... 53 62 Kg/mm².
 - Alargamiento mínimo..... 20%

- **Cimentaciones**

Los pórticos apoyarán sobre cimentaciones de tipo zapata aislada. Estarán formadas por la zapata propiamente dicha y pilares (enanos) de sección cuadrada. Se utilizará hormigón HA 25 Kg/cm² de resistencia característica y acero B 400S en barras corrugadas, con una resistencia a la rotura de 4.100 Kg/cm².

Se colocará una capa de 10 cm de hormigón de limpieza HM 10 y sobre esta una malla de acero constituida por barras Ø 20 a 15 mm dispuestas en direcciones perpendiculares. Los pilares se armarán con 12 Ø de 12 atados con cercos dobles de Ø 6 cada 15 cm.

Los pozos se arriostrarán mediante zunchos perimetrales, construido con hormigón HA 25 y armadura a base de redondos de acero B 400S.

- **Cubierta**

La cubierta a dos aguas, se realizará con chapa de acero galvanizada de 0,8 mm de espesor. Los paramentos laterales se construirán de mismo material y se colocarán verticalmente hasta el nivel de la plataforma superior. Dispondrá de sendos canalones en caras laterales para recogida de agua de la cubierta y evacuación por la red general.

Se colocarán canalones en forma de U con unas dimensiones de 300 cm de ancho y 22 cm de altura.

Los accesorios serán de acero F 111 según UNE 36.011, protegidas mediante galvanización por inmersión en caliente. La sujeción de las placas se hará mediante ganchos que se amarrarán a la correa mediante elementos adecuados al efecto.

- **Cerramientos perimetrales**

El cerramiento exterior de la nave se resuelve mediante paneles de hormigón en vertical realizado con bloque hueco de hormigón coloreado de 40x20x20cm con acabado exterior rugoso, tomado con mortero del mismo color.

El cerramiento del resto de altura de las fachadas se ha previsto de chapa grecada galvanizada y lacada exteriormente de 0,6 mm de espesor.

Exteriormente se dispondrán de puertas de acceso a las nave de 3,68x3m y/o puertas de 1,84x3m de dimensiones útiles, con marcos realizados en perfiles de acero A-42b anclados al cerramiento exterior.

Para la iluminación natural de la nave se han previsto ventanales corridos en fachada, realizado con perfiles conformados en frío de acero galvanizado y pintados en el color de la chapa de cerramiento. Sustentarán lunas de vidrio incoloro de 6 mm de espesor.

- **Instalación eléctrica e iluminación**

Para la iluminación interior de los edificios de procesos se han realizado los cálculos con el programa gratuito dialux. En el Anexo V se pueden encontrar los resultados de la simulación.

Para todos estos edificios se ha propuesto la instalación de luminarias del modelo PHILIPS WT120C L1500 1xLED60S/840. La elección de estas luminarias de tecnología LED se justifica debido a la reducción de consumo energético que se produce respecto a las luminarias clásicas, ya que las naves tienen una gran superficie y requieren un gran número de elementos de iluminación.

Por otro lado, cada nave de procesos dispone de un cuadro eléctrico, con el que se controla tanto la iluminación como los equipos de proceso.

El edificio de osmosis tiene aparte una sala de control de motores, con un cuadro eléctrico dedicado principalmente a las bombas de alta presión y a la turbina pelton.

5.2 Urbanización y obras civiles

5.2.1 Muros

Para la seguridad de la planta se ha previsto construir un muro perimetral que rodee la planta de modo que las únicas entradas/salidas sean las previstas anteriormente.

Los muros se han previsto que sean de hormigón armado "in situ", estables al deslizamiento y al vuelco con los coeficientes de seguridad preceptivos, $f.s.=1,5$ mínimo. Deben ser diseñados para resistir los esfuerzos generados por todas las cargas previstas. En general, los muros de la urbanización tienen una altura de 4 m desde la cimentación hasta su coronación.

5.2.2 Jardinería

Como complemento a la urbanización y dentro de las medidas de integración paisajística contempladas tanto en la habilitación de la parcela como en el desarrollo del proyecto, se han contemplado diversos espacios verdes y de jardinería integrados en la urbanización.

Con función ornamental, se han previsto instalar zonas verdes en la cara sur de los edificios de oficinas y almacen y taller, en la zona que rodea a los depósitos de agua potable y alrededor de la zona de tratamiento de agua rechazada.

5.2.3 Infraestructuras

Dentro de la urbanización se han previsto las infraestructuras complementarias siguientes:

5.2.3.1 Red de saneamiento de aguas fecales

Esta red recoge los vertidos de aguas fecales sanitarias del edificio de oficinas transportándolas mediante una tubería de PVC de 300 mm ó 600 mm de diámetro exterior, según el caudal de agua a transportar, hasta la red de aguas fecales más cercana de la isla.

5.2.3.2 Red de comunicaciones

Esta red sirve de modo interno principalmente para comunicaciones entre las diferentes naves de la planta.

Las conducciones para el cableado son de polietileno de doble pared de 110 mm de diámetro colocadas en zanja y se han proyectado arquetas de registro en las acometidas y en los cruces de calzada, intercomunicando las salas de cuadros de control dispuestas junto a los principales núcleos de distribución eléctrica de la planta.

5.2.3.3 Red de alumbrado exterior

Esta red cubre todos los viales de la planta. Las conducciones para el cableado son de polietileno de doble pared de 110 mm de diámetro colocadas en zanja y se han proyectado arquetas de registro en las acometidas y en los cruces de calzada.

Básicamente se disponen báculos de nueve metros de altura en los viales que rodean la planta. Estos báculos tienen luminarias cerradas de fundición de aluminio con lámparas de vapor de sodio de alta presión de 150 w.

5.3 Instalación eléctrica

Se prevé que el Centro disponga de una acometida a la tensión de 66kV. Se realizará mediante línea eléctrica dedicada de doble circuito para la Planta de desalación de agua y sus sistemas auxiliares, a conectar en una SET de la Compañía Suministradora.

La acometida llegará a un centro de medida y seccionamiento de compañía para acceso y operaciones, ubicado en la sala de celdas de MT y desde allí se conectarán a las correspondientes celdas de MT para distribución.

La estructura básica del Sistema Eléctrico de la Planta Desaladora se configurará en base a las tensiones de trabajo impuestas por las condiciones técnicas de la compañía suministradora.

- 66kV, es la tensión de distribución de acuerdo con las condiciones técnicas de la Compañía distribuidora y será la tensión de llegada.
- 11kV es la tensión de generación prevista para la Turbina Pelton.
- 400V es la tensión común de alimentación de motores y accionamiento de potencia.

Con estos niveles de tensión se prevé un esquema básico que reúne las condiciones de economía y sencillez de operación. Se prevé que la conexión de la Planta a la red de la compañía distribuidora se realice a través de una línea dedicada, de dos circuitos, entre el Centro de Llegada, Protección, Medida, Sincronismo y distribución situado en el edificio de la planta (sala de celdas MT) y la subestación transformadora de la Compañía distribuidora al nivel de 66kV.

El conjunto de celdas con embarrado común de 11 kV que constituirán dicho Centro, tiene las siguientes funciones:

- a) Protección de la interconexión y sincronismo de la Planta con la red de la Cía Distribuidora y medida de la energía eléctrica.
- b) Protección de los transformadores de servicios auxiliares de la planta.

Desde ese centro de seccionamiento se alimentarán los transformadores de distribución que darán servicio a los consumos comunes de la Planta, tales como edificio de oficinas, cántara de captación, pozo de bombeo, edificio de osmosis, nave de almacenamiento y taller, nave de envasado, nave de post-tratamiento, zona de pretratamiento, zona de agua rechazada y alumbrado exterior, para lo que se ha estimado una potencia total instalada en la planta de 12.000 kW.

La Planta dispondrá de una Turbina Pelton accionada por el agua rechazada a presión que sale de las membranas de osmosis, cuya tensión de generación prevista será de 11kV.

La energía generada a 11kV se elevará a la tensión de interconexión (66 kV) por medio de un transformador principal elevador 11/66 kV.

Este transformador se ubicará junto a las membranas en el edificio de osmosis de la Planta.

La energía de salida, en 66 kV, de este transformador es conducida al Centro de Llegada, Protección, Medida, Sincronismo y Distribución (para interconexión con la Cía Distribuidora) situado en la sala eléctrica de M.T. desde el cual será distribuida para los autoconsumos de la Planta, y donde se ubicarán, en zona separada para acceso de compañía, los equipos de la medida de la energía eléctrica excedente o importada.

Desde este punto partirá una línea dedicada de doble circuito para conexión de la Planta con la subestación transformadora (propiedad de la compañía suministradora). Tanto la zona de medida de energía como las celdas de acometida de la línea dedicada dispondrán de acceso para la Compañía Distribuidora.

En caso de fallo de red, la planta podrá funcionar en isla, alimentando sus consumos propios y al resto de Plantas e Instalaciones auxiliares mediante una conexión al nivel de 11 kV.

A este Centro se ha previsto que se conecten los transformadores para los consumidores asociados a edificio de oficinas, cántara de captación, pozo de bombeo, edificio de almacenamiento y taller, edificio de envasado, edificio de post-tratamiento, edificio de osmosis y demás consumos generales de la planta. Los transformadores dispondrán de una relación de transformación 11/0,42kV, excepto los correspondientes para servicio de las bombas de osmosis, cinco en total, uno por línea y otro de reserva, de relación 11/0,69kV. Los transformadores

(con igual relación de transformación) tendrán, a ser posible, la misma potencia, para facilitar su intercambiabilidad.

Se estima una potencia instalada de unos 12.800 kW, con el siguiente reparto:

- Cántara de captación: 780 kW
- Pozo de bombeo + zona pretratamiento: 880 kW
- Edificio de control y oficinas + Edificio almacén y taller + alumbrado exterior: 235,5 kW
- Edificio de post-tratamiento: 340 kW
- Edificio de envasado y zona de agua rechazada: 535,5 kW
- Bombas de alta presión: 9987,5 kW

En total se estiman un transformador de tipo seco encapsulado, de 918 kVA y relación 11/0,42 kV, un transformador de tipo seco encapsulado de 1035 kVA y relación 11/0,42 kV, un transformador de tipo seco encapsulado, de 400 kVA y relación 11/0,42 kV, un transformador de tipo seco encapsulado, de 235,5 kVA y relación 11/0,42 kV, un transformador de tipo seco encapsulado, de 630 kVA y relación 11/0,42 kV y 5 transformadores (uno en reserva), de 2350 kVA y relación 11/0,69 kV para las bombas de alta presión.

Cada transformador 11/0,42kV alimentará un cuadro de distribución en baja tensión, el cual a su vez dispondrá de posibilidad de alimentación de reserva y emergencia.

De los cuadros de distribución en baja tensión se alimentarán los centros de control de motores. Se ha previsto que los armarios se diseñen conforme a las exigencias usadas en las centrales de generación de energía, es decir: barras de baja tensión separadas, señalización de presencia de tensión, etc.

La Planta dispondrá de un grupo electrógeno de emergencia diesel acoplado a un transformador elevador 0,42/11 kV, que a su vez se conectara, a través de un interruptor automático, al embarrado de 11kV de la Planta de forma que permitirá realizar una parada segura de la Planta, en caso de pérdida de tensión de red.

Se estima una potencia de 1.000 kVA para el generador de emergencia.

Otros equipos auxiliares que formarán parte de la instalación eléctrica de la planta serán:

- Cuadros de fuerza y alumbrado, donde se agruparán todas las alimentaciones eléctricas de los consumidores de servicios auxiliares que no formen parte del proceso de la Planta, pero que son necesarios para el funcionamiento de la misma.
- Equipos de compensación de energía reactiva.
- Sistema de tensión segura de la Planta formado a su vez por SAI's (sistema de alimentación ininterrumpida) y los cuadros de distribución de tensión segura asociados a éstos.

Para más información ver los planos LUM_008 y ELECT_001 en el Anexo III: Planos.

A continuación se muestra la lista de consumidores.

| Zona | Consumidor | Potencia nominal (kW) |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Cántara de captación | B-001 | 672,2 |
| | Luminarias | 4,56 |
| | Polipasto | 5 |
| | TOTAL | 681,8 |
| Pozo Bombeo | B-002 | 806,6 |
| | Luminarias | 2 |
| | Polipasto | 5 |
| | TOTAL | 813,6 |
| Almacén y Taller | Luminarias | 2,4 |
| | Equipos de reparación | 50 |
| | TOTAL | 52,4 |
| Edificio de envasado | Luminarias | 4,1 |
| | Sistemas de envasado | 100 |
| | TOTAL | 104,1 |
| Edificio de post-tratamiento | B-017 | 240,7 |
| | Luminarias | 3,65 |
| | TOTAL | 244,4 |
| Zona agua rechazada | Luminarias | 3,64 |
| | Centrifuga | 20 |
| | B-005 | 101,9 |
| | B-006 | 188,5 |
| | Tornillo sin fin | 10 |
| | TOTAL | 324,04 |
| Zona pretratamiento | Luminarias | 15,5 |
| | B-007 | 0,37 |
| | B-008 | 0,05 |
| | B-009 | 0,25 |
| | B-010 | 0,12 |
| | B-011 | 0,05 |
| | S-001 | 84 |
| | TOTAL | 100,3 |
| Edificio Osmosis | Luminarias | 15,5 |
| | Compresor aire | 5 |
| | Agitadores | 15 |
| | B-003 | 7468,9 |
| | B-012 | 0,05 |
| | B-013 | 0,05 |
| | B-014 | 1,1 |
| | B-015 | 1,1 |
| | B-016 | 180,5 |
| | Puente Grúa | 15 |
| | Turbina Pelton | -2445,2 |
| | TOTAL | 7702,2 |

| | | |
|-------------------|-------------------------------|-------|
| Edificio Oficinas | Luminarias admininstración | 0,5 |
| | Luminarias pesaje y seguridad | 0,51 |
| | Luminarias recepción | 0,48 |
| | Luminarias planta alta | 0,44 |
| | Luminarias sala descanso | 0,136 |
| | Luminarias sala reuniones | 0,136 |
| | Luminarias sala control | 0,4 |
| | Luminarias Aseos | 0,432 |
| | Luminarias vestuarios | 0,648 |
| | Sala control | 10 |
| | Climatización | 60 |
| | Ordenadores (x7) | 2,233 |
| | Teléfonos (x7) | 0,35 |
| | Enchufes | 3 |
| | Báscula | 3 |
| TOTAL | | 82,3 |
| Exteriores | Farolas | 18,0 |
| | TOTAL | 18,0 |

| | |
|----------------------------|---------|
| POTENCIA TOTAL PLANTA (kW) | 10123,0 |
|----------------------------|---------|

Tabla 10. Lista de consumidores.

5.4 Sistema de protección contra incendios

El presente apartado tiene por objeto la justificación de las medidas adoptadas en cuanto a diseño de medidas de evacuación y protección contra incendios en base a la normativa de aplicación.

En este caso se seguirán los criterios de diseño según el RD2267/2004, aunque podrían realizarse el uso de otras guías de diseño de reconocido prestigio para la justificación de soluciones técnicas diferentes que proporcionen un nivel de seguridad equivalente.

5.4.1 Criterios de diseño según RD2267/2004

El ámbito de aplicación de este reglamento son los establecimientos industriales y por tanto será de aplicación en el presente proyecto.

Citar que de acuerdo al artículo 3 del RD 2267/2004 de compatibilidad reglamentaria, para fijar los requisitos de protección contra incendios del Edificio de Servicios Generales se tendrá en cuenta el Código Técnico de Edificación debido a que en el establecimiento industrial coexisten otros usos distintos al industrial (Edificio de Control y Oficinas) que tienen un uso de carácter administrativo y su superficie es mayor de 250 m².

El objeto de este apartado es caracterizar el establecimiento industrial en relación con la seguridad contra incendio de acuerdo al procedimiento de cálculo del RD 2267/2004.

Los requisitos constructivos del establecimiento industrial según su configuración, ubicación y nivel de riesgo intrínseco resultante estarán de acuerdo al Anexo II del RD 2267/2004.

Una vez conocido el nivel de riesgo de todos los sectores y áreas de incendio se instalarán las instalaciones de protección contra incendios exigidas cumpliendo los requisitos del Anexo III del RD 2267/2004.

5.4.2 Caracterización del establecimiento industrial

A continuación se identifican los diferentes edificios industriales así como su caracterización por su configuración y ubicación con relación a su entorno:

- Edificio de oficinas: Tipo C.
- Edificio de osmosis: Tipo C.
- Cántara de captación: Tipo C.
- Pozo de bombeo: Tipo C.
- Almacen y taller: Tipo C.
- Edificio de envasado: Tipo C.
- Edificio de post-tratamiento: Tipo C.
- Zona de pretratamiento: Tipo E.
- Zona agua rechazada: Tipo E.

Los edificios Tipo C, se definen como: El establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia mayor de tres metros del edificio más próximo de otros establecimientos. Dicha distancia deberá estar libre de mercancías combustibles o elementos intermedios susceptibles de propagar el incendio.

Las zonas Tipo E, se definen como: El establecimiento industrial ocupa un espacio abierto que puede estar parcialmente cubierto (hasta un 50 por ciento de su superficie), alguna de sus fachadas en la parte cubierta carece totalmente de cerramiento lateral.

De modo que coexistirán edificios industriales identificados como tipo C y áreas de incendio identificadas como tipo E.

5.4.3 Sectorización y Cálculo del Nivel de Riesgo

Los establecimientos industriales, en general, estarán constituidos por una o varias configuraciones de los tipos A, B, C, D y E. Cada una de estas configuraciones constituirá una o varias zonas (sectores o áreas de incendio) del establecimiento industrial.

1. Para los tipos A, B y C se considera "sector de incendio" el espacio del edificio cerrado por elementos resistentes al fuego durante el tiempo que se establezca en cada caso.
2. Para los tipos D y E se considera que la superficie que ocupan constituye un "área de incendio" abierta, definida solamente por su perímetro.

El nivel de riesgo intrínseco de cada sector o área de incendio se evaluará calculando la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, de dicho sector o área de incendio.

Calculando la densidad de carga ponderada para cada edificio se deduce que el nivel de riesgo intrínseco para un sector o área del establecimiento industrial puede ser baja, media ó alta según los criterios de la tabla 1.3 del RD 2267/2004, de 3 de diciembre.

Se puede evaluar la densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, Q_s , del sector de incendio aplicando las siguientes expresiones.

- a) Para actividades de producción, transformación, reparación o cualquier otra distinta al almacenamiento:

$$Q_s = \frac{\sum_i q_{si} S_i C_i}{A} R_a \text{ (MJ/m}^2\text{) o (Mcal/m}^2\text{)}$$

- b) Para actividades de almacenamiento:

$$Q_s = \frac{\sum_i q_{vi} C_i h_i s_i}{A} R_a \text{ (MJ/m}^2\text{) o (Mcal/m}^2\text{)}$$

Donde:

- Q_s : densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en MJ/m² o Mcal/m².
- C_i : coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad (por la combustibilidad) de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio.
- R_a : coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial que se desarrolla en el sector de incendio, producción, montaje, transformación, reparación, almacenamiento, etc.
- A : superficie construida del sector de incendio o superficie ocupada del área de incendio, en m².
- q_{si} : densidad de carga de fuego de cada zona con proceso diferente según los distintos procesos que se realizan en el sector de incendio (i), en MJ/m² o Mcal/m².
- S_i : superficie de cada zona con proceso diferente y densidad de carga de fuego, q_{si} diferente, en m².
- q_{vi} : carga de fuego, aportada por cada m³ de cada zona con diferente tipo de almacenamiento (i) existente en el sector de incendio, en MJ/m³ o Mcal/m³.
- h_i : altura del almacenamiento de cada uno de los combustibles, (i), en m.
- s_i : superficie ocupada en planta por cada zona con diferente tipo de almacenamiento (i) existente en el sector de incendio en m².

A continuación se muestran los datos y los resultados de la densidad de carga de fuego cálculo de las diferentes zonas de riesgo intrínseco.

| Edificio/Zona | Denominación del equipo/material | Si | qsi | Ci | Ra | A | Qs |
|-------------------------------|----------------------------------|------|------|----|-----|------|-------|
| Edificio de ósmosis | Aparatos eléctricos | 2000 | 400 | 1 | 1 | 3200 | 250,0 |
| Edificio de oficinas | Oficinas técnicas | 400 | 600 | 1 | 1 | 600 | 575,0 |
| | Materia de oficina | 100 | 700 | 1 | 1,5 | | |
| Edificio de envasado | Paletas de madera | 250 | 1000 | 1 | 2 | 750 | 746,7 |
| | Aparatos eléctricos | 150 | 400 | 1 | 1 | | |
| Edificio de post-tratamiento | Aparatos electrónicos | 100 | 1000 | 1 | 2 | 750 | 373,3 |
| | Aparatos eléctricos | 200 | 400 | 1 | 1 | | |
| Edificio pozo de bombeo | Aparatos eléctricos | 100 | 400 | 1 | 1 | 400 | 150,0 |
| | Aparatos electrónicos | 50 | 400 | 1 | 1 | | |
| Edificio cántara de captación | Aparatos eléctricos | 150 | 400 | 1 | 1 | 1050 | 95,2 |
| | Aparatos electrónicos | 100 | 400 | 1 | 1 | | |
| Edificio almacén y taller | Talleres de reparación | 150 | 400 | 1 | 1 | 450 | 844,4 |
| | Paletas de madera | 130 | 1000 | 1 | 2 | | |
| | Aparatos electrónicos | 150 | 400 | 1 | 1 | | |
| Transformador | Estación transformadora | 450 | 300 | 1 | 1,5 | 450 | 450,0 |
| Zona pretratamiento | Aparatos eléctricos | 500 | 400 | 1 | 1 | 1500 | 266,7 |
| | Aparatos electrónicos | 500 | 400 | 1 | 1 | | |
| Zona de agua rechazada | Aparatos eléctricos | 100 | 400 | 1 | 1 | 150 | 306,7 |
| | Aparatos electrónicos | 15 | 400 | 1 | 1 | | |

Tabla 11. Densidad de carga de fuego en cada área o sector de incendio.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para cada área o sector definidos en el apartado anterior:

- Edificio de oficinas: Nivel de riesgo bajo 2.
- Edificio de osmosis: Nivel de riesgo bajo 1.
- Cántara de captación: Nivel de riesgo bajo 1.
- Pozo de bombeo: Nivel de riesgo bajo 1.
- Almacen y taller: Nivel de riesgo bajo 2.
- Edificio de envasado: Nivel de riesgo bajo 2.
- Edificio de post-tratamiento: Nivel de riesgo bajo 1.
- Zona de pretratamiento: Nivel de riesgo bajo 1.
- Zona agua rechazada: Nivel de riesgo bajo 1.
- Transformador: Nivel de riesgo bajo 2.

5.4.4 Instalaciones de protección contra incendios

5.4.4.1 Sistema automático de detección de incendios

Según el RSCIEI, Anexo III, apartado 3.3 serán necesarios sistemas automáticos de detección de incendios para actividades de producción si se cumplen las siguientes condiciones:

| NIVELRI | REQUISITOS RSCIEI |
|--------------|---|
| TIPO C ALTO | Si la sup construida > =2.000 m ² |
| TIPO C MEDIO | Si la sup construida > = 3.000 m ² |
| TIPO C BAJO | Sin requisitos |

Tabla 12. Sistemas automáticos de detección de incendios para actividades de producción.

Para los sectores con actividades de almacenamiento, las condiciones son las siguientes:

| NIVELRI | REQUISITOS RSCIEI |
|--------------|--|
| TIPO C ALTO | Si la sup construida > =800 m ² |
| TIPO C MEDIO | Si la sup construida > =1.500 m ² |
| TIPO C BAJO | Sin requisitos |

Tabla 13. Sistemas automáticos de detección de incendios para actividades de almacenamiento.

Citar que cuando es exigible la instalación de un sistema automático de detección de incendio y las condiciones del diseño den lugar al uso de detectores térmicos, aquella podrá sustituirse por una instalación de rociadores automáticos de agua.

En este caso no es necesario instalación de sistemas de detección automáticos de incendios, ya que no se cumple las condiciones indicadas por ninguna de las áreas o sectores del establecimiento industrial para realizar dicha instalación.

5.4.4.2 Sistemas manuales de alarma de incendio

Según el RSCIEI Anexo III, punto 4, para actividades de producción, es exigible la instalación de sistemas manuales de alarma de incendio en los sectores de incendio del edificio cuando la superficie construida sea mayor o igual de 1000 m² o cuando la actividad no requiera sistemas automáticos de detección de incendios.

Según el RSCIEI Anexo III, punto 4 para actividades de almacenamientos, es exigible la instalación de sistemas manuales de alarma de incendio en los sectores de incendio del edificio cuando la superficie construida sea mayor o igual de 800 m² o cuando no requiera sistemas automáticos de detección de incendios.

Se situará al menos un pulsador junto a cada salida de evacuación del sector de incendio, y la distancia máxima a recorrer desde cualquier punto hasta alcanzar un pulsador no superará los 25 m.

Por tanto, se instalarán pulsadores de alarma de incendios direccionables de superficie, rearmables con led indicador y tapa de protección en todos los sectores de incendio.

Se situará al menos un pulsador junto a cada salida de evacuación del sector de incendio y junto a las salidas de emergencia, y la distancia máxima a recorrer desde cualquier punto hasta alcanzar un pulsador no superará los 25 m. Se fijarán a una distancia del suelo comprendida entre 1,2 y 1,5 m del suelo.

5.4.4.3 Sistemas de comunicación de alarma.

Teniendo en cuenta el RSCIEI Anexo 3, punto 5, no será necesario la instalación de sistemas de comunicación de alarma porque la superficie construida de todos los sectores de incendio es inferior a 10.000 m².

5.4.4.4 Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios.

Se instalará un sistema de abastecimiento de agua contra incendios ("red de agua contra incendios"), si:

- a) Lo exigen las disposiciones vigentes que regulan actividades industriales sectoriales o específicas, de acuerdo con el artículo 1 de este reglamento.

- b) Cuando sea necesario para dar servicio, en las condiciones de caudal, presión y reserva calculados, a uno o varios sistemas de lucha contra incendios, tales como:
- Red de bocas de incendio equipadas (BIE).
 - Red de hidrantes exteriores.
 - Rociadores automáticos.
 - Agua pulverizada.
 - Espuma.

De modo que como se observará en los siguientes apartados, no será necesaria la instalación de sistema de abastecimiento de aguas contra incendios.

5.4.4.5 Sistemas de hidrantes exteriores

Será necesario la instalación de hidrantes según el RSCIEI, Anexo III, apartado 7 cuando se cumplan los requisitos que se muestran a continuación:

| NIVELRI | REQUISITOS RSCIEI |
|--------------|--|
| TIPO C ALTO | Si la superficie del sector $\geq 2.000 \text{ m}^2$ |
| TIPO C MEDIO | Si la superficie del sector $\geq 3.500 \text{ m}^2$ |
| TIPO C BAJO | No se requiere |

Tabla 14. Sistema de hidrantes exteriores.

En este caso no es necesario instalación de sistemas de detección automáticos de incendios, ya que no se cumple las condiciones indicadas por ninguna de las áreas o sectores del establecimiento industrial para realizar dicha instalación.

5.4.4.6 Extintores de incendio

De acuerdo con el RSCIEI Anexo 3, punto 8, se instalarán extintores portátiles en todos los sectores de incendio de los establecimientos industriales y en las áreas de incendio excepto en las de riesgo intrínseco sea bajo 1.

El emplazamiento de los extintores portátiles de incendio permite que sean fácilmente visibles y accesibles, están situados próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de iniciarse el incendio y su distribución será tal que el recorrido máximo horizontal, desde cualquier punto del sector de incendio hasta el extintor, no supere 15 m.

En este caso, por seguridad de la integridad de la planta se preverá la instalación de extintores portátiles en todos los edificios de la planta y extintores de carro en el edificio de osmosis, almacén y taller, edificio de envasado y en el área de pretratamiento.

5.4.4.7 Sistemas de bocas de incendio equipadas.

De acuerdo con el RSCIEI Anexo III, punto 9, se instalarán bocas de incendio equipadas (BIE's) en los sectores de incendio si se cumplen los requisitos de la siguiente tabla:

| NIVELRI | REQUISITOS |
|-----------------|--|
| TIPO C BAJO | - |
| TIPO C MEDIO | Si su superficie construida > =1000 m ² |
| TIPO C ALTO | Si su superficie construida > =500 m ² |
| TIPO D ó E alto | Si su superficie construida >= 5000 m ² |

Tabla 15. Sistema de bocas de incendio equipadas.

En este caso no es necesario instalación de sistemas de detección automáticos de incendios, ya que no se cumple las condiciones indicadas por ninguna de las áreas o sectores del establecimiento industrial para realizar dicha instalación.

5.4.4.8 Sistemas de columna seca

De acuerdo con el RSCIEI Anexo 3, punto 10, se instalarán sistemas de columna seca en los establecimientos industriales si son de riesgo intrínseco alto y su altura de evacuación es de 15 m o superior.

En este caso, no es necesaria la instalación de sistemas de columna seca.

5.4.4.9 Sistemas de rociadores automáticos de agua

De acuerdo con el RSCIEI Anexo III, apartado 11, para actividades de producción se instalarán sistemas de rociadores automáticos de agua cuando la superficie total construida sea mayor a la que se muestra en la siguiente tabla:

| NIVELRI | REQUISITOS RSCIEI |
|--------------|---|
| TIPO C ALTO | Si su superficie construida > =2.000 m ² |
| TIPO C MEDIO | Si su superficie construida > =3.500 m ² |
| TIPO C BAJO | No se requiere |

Tabla 16. Sistemas de rociadores automáticos para sistemas de producción.

Para actividades de almacenamiento se instalarán sistemas de rociadores automáticos de agua cuando la superficie total construida sea mayor a la que se muestra en la siguiente tabla:

| NIVELRI | REQUISITOS RSCIEI |
|--------------|---|
| TIPO C ALTO | Si su superficie construida >= 1.000 m ² |
| TIPO C MEDIO | Si su superficie construida >= 2.000 m ² |
| TIPO C BAJO | No se requiere |

Tabla 17. Sistemas de rociadores automáticos para sistemas de almacenamiento.

En este caso no es necesario instalación de sistemas de detección automáticos de incendios, ya que no se cumple las condiciones indicadas por ninguna de las áreas o sectores del establecimiento industrial para realizar dicha instalación.

5.4.4.10 Sistemas de agua pulverizada

Según el RSCIEI, Anexo 3, apartado 12, se instalarán sistemas de agua pulverizada, si lo exigen las disposiciones vigentes que regulan actividades industriales sectoriales o específicas, o si es necesario refrigerar partes de este para asegurar la estabilidad de su estructura.

Asimismo, se instalarán sistemas de agua pulverizada cuando por la configuración, contenido, proceso y ubicación del riesgo sea necesario refrigerar partes de este para asegurar la estabilidad de su estructura, y evitar los efectos del calor de radiación emitido por otro riesgo cercano.

En este caso, no es necesaria la instalación de sistemas de agua pulverizada.

5.4.4.11 Sistemas de espuma física

Según el RSCIEI, Anexo 3, apartado 13, se instalarán sistemas de espuma física, si lo exigen las disposiciones vigentes que regulan actividades industriales sectoriales o específicas, o cuando existan áreas de un sector de incendio en las que se manipulan líquidos inflamables que, en caso de incendios, puedan propagarse a otros sectores.

No necesario instalar sistemas de espuma física, ya que no se almacenan líquidos inflamables.

5.4.4.12 Sistemas de extinción por agentes extintores gaseosos

Según el RSCIEI, Anexo 3, apartado 15, se instalarán sistemas de extinción por agentes extintores gaseosos:

- a) Si lo exigen las disposiciones vigentes que regulan actividades industriales sectoriales o específicas.
- b) Si constituyen recintos donde se ubiquen equipos electrónicos, centros de cálculo, bancos de datos, centros de control o medida y análogos y la protección con sistemas de agua pueda dañar dichos equipos.

Se instalarán sistemas de extinción por agentes extintores gaseosos en la sala de control de edificio de oficinas, en la sala de control de motores en el edificio de osmosis y en el área donde se encuentran los transformadores.

5.4.4.13 Sistemas de alumbrado de emergencia

Según el RSCIEI, Anexo 3, apartado 16, contarán con una instalación de alumbrado de emergencia de las vías de evacuación los sectores de incendio de los edificios industriales cuando:

- a) Estén situados en cualquier planta bajo rasante, (no aplica).
- b) La ocupación, P, sea igual o mayor de 10 personas y sean de riesgo intrínseco medio o alto.
- c) En cualquier caso cuando la ocupación P sea igual o mayor de 25 personas.
- d) Asimismo, en los sectores donde se encuentren cuadros de control, equipos centrales y cuadros de control de las instalaciones de protección contra incendios.

Se preverá un sistema de alumbrado de emergencia en el edificio de oficinas.

5.4.4.14 Señalización

De acuerdo al RSCIEI, Anexo 3, apartado 17, se procederá a la señalización de las salidas de uso habitual o de emergencia, así como la de los medios de protección contra incendios de utilización manual, cuando no sean fácilmente localizables desde algún punto de la zona protegida.

Se procederá a la señalización de las salidas de uso habitual o de emergencia, así como la de los medios de protección contra incendios de utilización manual.

Los medios de protección contra incendios de utilización manual (extintores, bocas de incendio, hidrantes exteriores, pulsadores manuales de alarma y dispositivos de disparo de sistemas de extinción) se señalizarán mediante señales definidas en la norma UNE 23033-1.

Cuando sean fotoluminiscentes, sus características de emisión luminosa cumplirán lo establecido en la norma

UNE 23035-4:2003.

En cuanto a la iluminación, cumplirá lo dispuesto en la Sección SU 4, Seguridad frente al riesgo causado por iluminación inadecuada, del Documento Básico del CTE “Seguridad de utilización” (SU).

6 CONCLUSIONES

Para concluir, conviene señalar ciertos aspectos a tener en cuenta respecto al proyecto con el objetivo de resumir las soluciones adoptadas.

Atendiendo a razones de eficiencia, innovación, aspectos ambientales y objetivos de la planta diseñada conviene recalcar que:

- Se ha usado la toma de agua en toma abierta con el objetivo de garantizar el caudal de producción de la planta, debido a la necesidad de las garantías de suministro de agua potable en la isla.
- Selección de membranas de capa delgada de poliamida aromática y configuración de arrollamiento en espiral de alto rechazo de sales y la menor presión de operación necesaria (menos costes de explotación) respecto a las otras tecnologías disponibles para desalación de agua de mar mediante membranas.
- Recuperación de aproximadamente un 25% de la energía total consumida en la planta debido al empleo de una turbina pelton, reduciendo consecuentemente el consumo de la planta.
- Empleo de variadores de frecuencia y control automático de la planta a fin de realizar un mejor control de la planta frente a cambios del sistema.
- Estudio de las posibilidades del rechazo de salmuera e instalación de una recirculación con agua de mar para disminuir la concentración de sales en el agua rechazada y emitida mediante difusores de alto rendimiento, minimizando el posible impacto causado a la biota marina.
- Instalación de planta envasadora de agua para producir agua potable embotellada, como sistema de valor añadido a la planta.

El presupuesto general asciende a la expresada cantidad de VEINTIUN MILLONES NOVECIENTOS SESENTA MIL NOVECIENTOS OCHENTA Y OCHO EUROS con UN CÉNTIMOS.

El coste de agua producida teniendo en cuenta los costes de amortización de la inversión, los costes fijos y los costes variables de operación, calculado en el Anexo II, será de $0,575 \text{ €m}^3$.

Estimando que el precio de venta del agua producida es de $1,22\text{€ m}^3$ y realizando el análisis de rentabilidad como se puede observar en el Anexo II, se obtienen una serie de resultados que indican que la inversión es rentable, siendo la tasa de recuperación de 4 años.

7 NORMATIVA APLICABLE

Para este proyecto, de aplicación en Barbados, se usará principalmente normativa europea y española, considerando tanto estas normas, como otras internacionales, normativas de reconocido prestigio.

- **Recipientes a presión.**

- Directiva 97/23/CE Relativa a Recipientes a presión.
- Real Decreto 2060/2008 de 12 de Diciembre por el que se aprueba el Reglamento de Equipos a Presión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias y corrección de errores.

- **Instalaciones eléctricas/energía**

- Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica. BOE nº310 de 27 de Diciembre de 2000.

- **Instrumentación y control.**

- Normas ISA (Instrument Society of America).
- Normas API (American Petroleum Institute).
- Normas UNE.
- Normas CEI y CENELEC.
- MI-BT (Reglamento Electrotécnico Español).

- **Bombas**

- Norma DIN 24256. Bombas centrífugas (general).
- Norma UNE-EN ISO 14847. Bombas volumétricas rotativas. Requisitos técnicos.

- **Puentes grúas, equipos de manejo de sólidos**

- Normas: Federación Española de Manutención.

- **Otros**

- Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad de agua de consumo humano.
- Real Decreto 314/2006 por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

- Ordenanza general de Higiene y Seguridad en el Trabajo.
- Ley 31/1995 de 8 de Noviembre de 1995 de Prevención de Riesgos Laborales.
- Las mediciones de presión sonora se realizarán de acuerdo con las normas UNE-EN ISO 3746:1995 y las normas de consulta correspondientes que se citan en la propia ISO 3746.
- UNE-EN ISO 14122. Seguridad de la Máquinas. Medios de acceso permanente a máquinas e instalaciones industriales.
- EN-62061. Seguridad de las máquinas. Seguridad funcional de sistemas de mando eléctricos, electrónicos y electrónicos programables relativos a la seguridad.
- UNE-EN ISO 13849. Seguridad de las máquinas. Partes de los sistemas de mando relativas a la seguridad.
- UNE-EN 60204. Seguridad de las máquinas. Equipo eléctrico de las máquinas.
- Real Decreto 379/2001, de 6 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.
- Norma UNE 157001, de febrero 2002, “Criterios generales para la elaboración de proyectos”.
- Real decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

REFERENCIAS

Libros, cursos y pfc:

1. Fundamentals of Salt Water Desalination, Hisham T. El-Dessouky and Hisham Mohamed Ettouney. Published: Elsevier Science an imprint of Elsevier Books Reference on Jan 1, 2002.
2. Curso Desalación de Aguas, Nuevas Tecnologías y uso de energías renovables. Colegio Oficial de Ingenieros Industriales Andalucía Occidental.
3. Guía de Desalación: Aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano. Ministerio de sanidad y política social.
4. Membrane separation systems. Recent Developments and Future Directions by R.W. Baker, E.L. Cussler, W. Eykamp, W.J. Koros, R.L. Riley, H. Strathmann.
5. Seawater Reverse Osmosis plants in the Caribbean. Recover Energy and Brine and reduced Costs. Shawn Meyer-Steele, Antonia von Gottberg and Jose Luis Talavera.
6. Proyecto fin de carrera, Ingeniería Básica de una planta desaladora de Agua de Mar por Ósmosis Inversa para una población de 50.000 habitantes; Lidia González Rebollo.
7. Proyecto fin de carrera, Desalación de Agua de Mar en Planta Termosolar de Cilindroparabólico de 50 MW; Fernando Ruiz Ruiz, Septiembre 2014.
8. Proyecto fin de carrera, Diseño de una planta desaladora en el municipio de telde (Canarias); Andrés Martínez Lezaun, Octubre de 2014.
9. Guía para la remineralización de aguas desaladas, Manuel Hernandez, 2^a edición.
10. Seawater Desalination: Trends and Technologies, <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/13756.pdf>
11. Curso de electrodialisis EOI.
12. Inter press service, agenda de noticias.

Páginas web:

1. Power Tech Chronos (Paletizadora): <http://www.ptchronos.com/>
2. Sulzer (Bombas): <https://www.sulzer.com>
3. Dow Chemical (Membranas): <http://www.dow.com/>
4. Hidrometalica (Decantador): <http://hidrometalica.com/>
5. Técnica de fluidos (Bombas dosificadoras Jesco): <http://www.tecnicafluidos.es/>
6. Kaeser (Compresores): <http://www.kaeser.es/>
7. Tadipol (Depósitos PRFV): <http://www.tadipol.com/>
8. Degremont (Filtros seaclean): <http://www.degremont.es/>
9. Putsch group (Filtro cartuchos): <http://es.putschi.com/>
10. Drintec (Lechos de calcita): <http://drintec.com/es/>

11. Lenntech: <http://www.lenntech.es/>
12. Ecoagua: http://www.ecoagua.com/files/technical-articles/art_tec_cv4.pdf
13. <http://www.correodelorinoco.gob.ve/impacto/adviertenescasezaguapotablebarbados/>
14. http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=25139&Itemid
15. <http://barbadoswaterauthority.com/?p=3535>
16. Desaladora Valdelentisco: <http://www.valdelentisco.es/>

