Factibilidad Técnica

CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN BLOQUE MEDIANTE DESALACIÓN DE AGUA DE MAR PARA EL MUNICIPIO DE LOS CABOS, B.C.S.

Octubre de 2020

Contenido

Contenido 2

1. Antecedentes. 9

Alineación Estratégica. 10

2. Objeto del Proyecto 12

3. Breve descripción del Proyecto 13

4. Contexto Normativo y de planeación 15

4.1 Reglamentos municipales y estatales 15

5. Ubicación de las obras y características de los terrenos 16

5.1 Selección del sitio 17

5.2 Dimensiones del proyecto 17

5.3 Criterios de Diseño 18

6. Memoria eléctrica. 19

6.1 Disposiciones Generales 19

6.1.1 Seguridad 19

6.1.2 Fiabilidad 19

6.1.3 Modularidad 20

6.2 Suministro de energía a las instalaciones 20

6.2.1 Línea subterránea 115 kV acometida a Planta Desaladora 20

6.2.2 Línea subterránea acometida a Captación de agua de mar. 21

6.2.3 Líneas subterráneas conexión Subestación derivada Planta Desaladora y planta de emergencia. 21

6.3 Subestación principal Planta Desaladora 22

6.4 Tablero general distribución 13.2 KV. 24

6.5 Centro de transformación Planta Desaladora (Subestación derivada). 25

6.6 Variadores de frecuencia Bombas de alta presión. 25

6.7 Centro de transformación captación de agua de mar. 26

6.8 Fuerza en Baja Tensión 27

6.8.1 Tablero general de distribución Baja Tensión 27

6.8.2 Tableros de protección y maniobra de motores 27

6.8.3 Mejora de factor de potencia 28

6.8.4 Cableado 28

6.9 Alumbrado 30
6.9.1 Alumbrado de emergencia 30
6.9.2 Empalmes y derivaciones 31
6.9.3 Red General de Tierras 31
6.10 Planta de emergencia 32
6.10.1 Planta de emergencia de MEDIA TENSIÓN 32
7 Planta de emergencia de BAJA TENSIÓN 32
7.1 Sistemas de comunicaciones 33
7.1.1 Sistema de teléfonos 33
7.2 Vida útil de los equipos principales 34
8 Descripción General de la Obra Civil 35
8.1 Preparación del Sitio y Movimiento de Tierras 35
8.2 Edificios 36
8.2.1 Tanque de captación y Bombeo 36
8.2.2 Edificios de Procesos y Control 37
8.2.3 Sala de Osmosis 37
8.2.4 Edificio de control 38
8.2.5 Tanque de Salmuera y edificio de reactivos 40
8.2.6 Depósito de agua producto 42
8.2.7 Filtros de arena 44
8.2.8 Subestación eléctrica 44
8.2.9 Pavimentación y áreas verdes 44
8.2.10 Arquitectura e integración con el entorno 45
8.2.11 Urbanización 46
8.2.12 Sistema de detección, combate y alarmas contra incendios 46
8.3 Modificaciones y ampliaciones futuras 46
9 Obras e instalaciones fundamentales que integran el Proyecto 47
10 Descripción técnica de la instalación y de los equipos 48
10.1 Captación De Agua De Mar 48
10.1.1 Torre de toma y conducción de agua de mar 48
10.1.2 Tanque de captación y bombeo de agua de mar (Cárcamo de bombeo) 49

10.1.3 Dosificación de hipoclorito sódico 49
10.1.4 Descripción de elementos de captación 50
10.2 Pretratamiento 52
10.2.1 Dosificación de ácido sulfúrico 52
10.2.2 Dosificación de hipoclorito sódico 53
10.2.3 Dosificación de coagulante (cloruro férrico) 53
10.2.4 Filtración 54
10.2.5 Lavado de filtros 55
10.2.6 Dosificación de Metabisulfito Sódico 56
10.2.7 Dosificación de inhibidor de incrustaciones (anti-incrustante) 56
10.2.8 Dosificación de hidróxido sódico 56
10.2.9 Filtración de cartuchos 56
10.2.10 Descripción de elementos de pretratamiento 57
10.3 Osmosis Inversa 61
10.3.1 Bombas de alta presión 61
10.3.2 Rack de osmosis inversa 62
10.3.3 Cámaras isobáricas de recuperación de energía del rechazo 67
10.3.4 Bombas booster 70
10.3.5 Equipo de desplazamiento 71
10.3.6 Sistema de limpieza química 71
10.3.7 Descripción de elementos del proceso de osmosis 72
10.4 Postratamiento 76
10.4.1 Dosificación de anhídrido carbónico (CO2) 77
10.4.2 Dosificación de hidróxido cálcico (Ca (OH)2 77
10.4.3 Características del agua remineralizada 77
10.4.4 Desinfección con hipoclorito sódico 78
10.4.5 Descripción de elementos de post-tratamiento 78
10.5 Almacenamiento e impulsión de agua producto 80
10.5.1 Depósito de agua producto 80
10.5.2 Impulsión de agua producto 80
10.5.3 Conducción de salida de agua producto 81

10.5.4 Descripción de elementos de post-tratamiento 81
10.6 Evaluación de los efluentes 82
10.6.1 Tratamiento y evacuación de efluentes procedentes de lavado de filtros y limpieza de membranas 82
10.6.2 Evacuación de salmuera 83
10.7 Instalaciones auxiliaries 83
10.7.2 Agua potable 83
10.7.3 Soportes 84
10.7.4 Sistema contraincendios 84
10.7.5 Medios de elevación 84
10.7.6 Tornillería 84
10.7.7 Tramex 84
10.7.8 Sistema de toma de muestras 84
10.7.9 Laboratorio 85
10.7.11 Equipamiento de oficinas 87
10.7.12 Sistema de ventilación y aire acondicionado 87
10.7.13 Tratamiento de aguas residuales 87
11 Criterios de diseño 87
11.1 Criterios Generales 87
11.2 Selección de materiales y equipos mecánicos 88
11.3.1 Estabilidad en Fondo y Diseño de Lastres 90
11.4 Tendido de las conducciones en los tramos submarinos 92
11.5 Cálculos Hidráulicos 92
11.6 Toma de agua de mar 93
11.7 Instalaciones auxiliares 95
11.8 Balizamiento de la obra marítima. 95
11.9 Servicios afectados 95
11.10 Captación de agua de mar 96
11.11 Pre- tratamiento 96
11.12 Control del crecimiento biológico 96
11.13 Filtración 96

11.14 Control de incrustaciones 97
11.15 Control del pretratamiento 97
11.16 Ósmosis Inversa 98
11.17 Sistema de colector común 98
11.18 Post Tratamiento 100
12 Límites de Suministro 101
12.1 Captación de agua bruta 101
12.2 Punto de evacuación de Salmuera al mar 101
12.3 Punto de toma de energía eléctrica 101
12.4 Punto de entrega de agua potable desalada 101
13 Características del agua de mar 101
13.1 Características del agua de mar alimentada al sistema de osmosis inversa para un TDS de 33.000 mg/l (Incluye un 3% de aumento de salinidad debido a la mezcla del recuperador de energía): 101
13.1.2 Composición iónica 102
13.2 Características del agua de mar alimentada al sistema de osmosis inversa para un TDS de 35.000 mg/l (Incluye un 3% de aumento de salinidad debido a la mezcla del recuperador de energía): 102
13.3 Otros parámetros 104
13.4 Temperatura del agua bruta 104
13.5 Condiciones de referencia 104
14 Calidad del agua producto/Normas aplicables 104
14.1 Características químicas 105
14.2 Características radioactivas 106
14.3 Características bacteriológicas 106
14.4 Límites adicionales exigidos en las bases de licitación 106
14.4.1 Contenido en boro será Inferior o igual a 1 ppm 106
14.4.2 Índice de Langelier (LSI)+ 0.5 106
14.4.3 Salinidad total (agua post tratada) < 500 mg/l 106
15 Servicios Complementarios durante el periodo de Construcción 107
15.1 Instalaciones eléctricas 107
15.2 Instalaciones sanitarias provisionales 107

15.3 Primeros auxilios 107
15.4 Control de incendios y extintores 108
15.5 Almacenamiento, resguardo y protección de bienes. 108
15.6 Barricadas y luces 108
15.7 Daños a la propiedad existente 108
15.8 Seguridad en la obra 109
15.9 Estacionamiento 109
15.10 Control y mitigación del polvo durante la ejecución de la obra 109
15.11 Instalaciones provisionales de drenaje 109
15.12 Prevención de la contaminación y manejo de los residuos 110
15.13 Retiro de obras provisionales 110
15.14 Oficinas de campo 110
16 Servicios y estándares de Desempeño durante la Operación 111
16.1 Serivicio principal 111
16.2 Estándares de desempeño. Calidad del Servicio 111
16.3 Estándares de desempeño. Continuidad del Servicio 112
16.4 Estándares de desempeño. Cumplimiento en el consumo de energía eléctrica 113
16.5 Estándares de desempeño. Mantenimiento del Proyecto 113
16.6 Estándares de desempeño. Reposición de Equipo, Conservación y Mantenimiento 114
16.7 Servicios Complementarios durante el periodo de Operación. 115
16.7.1 Vigilancia 115
16.7.2 Limpieza 115
17 Conclusiones 116

Factibilidad Técnica

Construcción del proyecto de abastecimiento de agua en bloque mediante desalación de agua de mar para el municipio de Los Cabos, B.C.S.

Este estudio tiene como objetivo proporcionar una referencia sobre la ubicación, el contexto de planeación, memoria eléctrica, obra civil, instalaciones y equipamiento (materiales, maquinaria, equipo y tecnología), diseño del proceso, límites de suministro, características y calidad del agua de mar, que se requieren para la ejecución y operación del proyecto de inversión consistente en la construcción, operación y puesta en marcha de una planta para la desalación de agua de mar (en adelante Proyecto o Planta Desaladora), que en adición a la oferta que actualmente se tiene para el municipio de Los Cabos, Baja California Sur, incorpore volúmenes adicionales que permitan abatir el déficit en el suministro actual.

La presente factibilidad técnica pretende aportar los elementos que permitan determinar la viabilidad del proyecto, su apego a las normas establecidas por las dependencias o entidades de la Administración Pública Federal, Estatal o Municipal que le son aplicables, así como a las prácticas aceptadas de ingeniería y a los desarrollos tecnológicos disponibles.

1. Antecedentes.

El municipio de Los Cabos, presenta un déficit para satisfacer la demanda de agua para usos domésticos, residenciales, comerciales e industriales, toda vez que los acuíferos de Cabo San Lucas y San José del Cabo, se encuentran sobreexplotados, aunado a un descenso progresivo de los niveles de bombeo en el agua subterránea de la que se abastece la zona.

El subsistema de Cabo San Lucas se encuentra conformado principalmente de rebombeos y tanques mediante los cuales se busca distribuir el caudal que llega a través de los acueductos I y II de San José del Cabo. También existe una desaladora en operación y las estaciones de bombeo que sirven para abastecer la zona norte y poniente de Cabo San Lucas.

Cabo San Lucas es abastecido de agua potable por medio de los acueductos I y II provenientes de San José del Cabo, sin embargo el caudal promedio que recibe es de tan sólo 120 lps[1], debido a que la mayor parte del caudal extraído de los pozos de San José del Cabo se distribuye a lo largo de su recorrido, resultando insuficiente para dotar del servicio a la conurbación de Cabo San Lucas, ocasionando que el servicio en dicha localidad se suministre mediante un esquema de tandeos en una buena parte de la población.

El abastecimiento desde los acueductos I y II se realiza a través del rebombeo de Palmilla, desde donde se conduce hasta el cárcamo Twin Dolphin. A partir de dicho sitio, el Acueducto I continúa en 14” hacia el centro de Cabo San Lucas, mientras que la línea de conducción de 24” conecta con la estación de Cabo Bello, para bombear a la colonia Lomas del Sol y otras.

La Planta Desaladora permite beneficiar principalmente a la colonia Los Cangrejos y a la parte poniente y norte de Cabo San Lucas: Colonia Mesa Colorada, Las Palmas, Caribe Alto, Caribe Bajo, etc.

En ese contexto, históricamente el abastecimiento de agua para la ciudad de Cabo San Lucas se ha sustentado en la extracción de aguas subterráneas y de la desaladora actual para satisfacer la demanda de abastecimiento de agua potable de la población.

[1] De conformidad a las estadísticas de operación del OOMSAPASLC, de septiembre de 2014 a noviembre de 2015.

Para abatir el déficit de suministro de agua, se optó como alternativa de solución la construcción de una nueva Planta Desaladora de agua de mar, toda vez que dicha fuente aportaría nuevos volúmenes a la disponibilidad en la región donde se ubica la ciudad de Cabo San Lucas, debido a su cercanía con el mar y a la lejanía de cualquier otra fuente superficial.

La escasez del agua en esa zona del país, la presión creciente sobre los recursos hidráulicos existentes y los avances tecnológicos que se han logrado en las décadas recientes, hace que la utilización de agua de mar desalada se encuentre dentro de las alternativas de abastecimiento adicional a los centros urbanos de las regiones donde la escasez de los recursos utilizados ya es crítica.

Alineación Estratégica.

i. Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024.

El Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 tiene como objetivo general transformar la vida pública del país para lograrlo con un desarrollo incluyente.

El Plan está conformado por tres ejes generales que permiten agrupar las problemáticas específicas cuya atención será prioritaria en los próximos seis años:

• Justicia y Estado de derecho,

• Bienestar y

• Desarrollo económico.

Asimismo, contiene tres ejes transversales que se refieren a los problemas públicos comunes, a los ejes generales y cuya atención será prioritaria en todas las políticas públicas de esta adminsitración:

• Igualdad de género, no discriminación e inclusión,

• Combate a la corrupción y mejora de la gestión pública y

• Territorio y desarrollo sostenible.

Objetivos relativos al Agua en el Plan Nacional de Desarrollo:

N.	Objetivo del PND	Estrategias	Tema del agua a considerar
		Eje General 1. Justicia y Estado de Derecho	
1	1.3 Garantizar los derechos humanos	1.3.1 Política para garantizar los derechos humanos.	Derechos Humanos al Agua y al Saneamiento
2	1.5 Preservar la seguridad nacional	1.5.3 Aguas nacionales	Protección de aguas nacionales
3	1.9 Un país más resiliente y sostenible	1.9.2 Atención de emergencias 1.9.5 Atención a servicios básicos	Seguridad hídrica
		Eje General 2. Bienestar	
4	2.2 Derecho a la educación	2.2.5 Infraestructura básica	Agua y saneamiento en escuelas
5	2.5 Medio ambiente sano	2.5.1 Protección de ecosistemas 2.5.2 Aprovechamiento de los recursos naturales 2.5.8 Control de la contaminación	Calidad del agua y ecosistemas
6	2.6 Acceso incluyente al agua y saneamiento con salud de ecosistemas y cuencas	2.6.1 Inversión en infraestructura 2.6.2 Investigación y uso eficiente 2.6.3 Prevención de la contaminación 2.6.4 Garantizar el acceso al agua potable 2.6.5 Mejorar infraestructura hidráulica 2.6.6 Integridad de los ecosistemas	Agua, saneamiento y equilibrio en cuencas y acuíferos
7	2.7 Vivienda adecuada y accesible	2.7.1 Acceso a los servicios básicos	Servicios básicos de agua y saneamiento
8	2.8 Ordenamiento territorial y ecológico	2.8.4 Servicios básicos con enfoque de hábitat	Infraestructura de servicios básicos con enfoque de un hábitat inclusivo
		Eje General 3. Desarrollo económico	
9	3.1 Desarrollo incluyente del campo	3.1.4 Financiamiento transparente en infraestructura	Productividad del agua en el campo
10	3.4 Favorecer la inversión pública y privada	3.4.6 Promover la apertura económica	Inversiones en infraestructura de agua y saneamiento
11	3.5 Política energética soberana y sostenible	3.5.8 Promoción de energía con fuentes renovables	Desarrollo del potencial hidroeléctrico
12	3.8 Desarrollo sostenible sectores agropecuario, acuícola-pesquero	3.8.3 Uso eficiente del suelo y agua	Uso eficiente del agua
13	3.10 Reducción de emisiones de gases efecto invernadero	3.10.1 Reducción de emisiones 3.10.5 Cambio climático	Reducción de emisiones en PTAR

La construcción del Proyecto de la Planta Desaladora de los Cabos, B.C.S., contribuye al Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, específicamente en su Objetivo 2.6 Promover y garantizar el acceso incluyente al agua potable en calidad y cantidad y al saneamiento, priorizando a los grupos históricamente discriminados, procurando la salud de los ecosistemas y cuencas.

Para la ejecución de dichos Objetivos se trazaron las siguientes estrategias:

- Promover la inversión en infraestructura sostenible para satisfacer la demanda de agua potable y saneamiento, para consumo personal y doméstico, priorizando a los grupos históricamente.
- Fomentar la investigación y el uso eficiente y sustentable del agua para consumo humano, así como en la producción de bienes y servicios.
- Fomentar la investigación y el uso eficiente y sustentable del agua para consumo humano, así como en la producción de bienes y servicios.
- Focalizar acciones para garantizar el acceso a agua potable en calidad y cantidad a comunidades periurbanas, rurales e indígenas.
- Mejorar la infraestructura hidráulica, incluyendo el tratamiento y reutilización de aguas residuales y la calidad de los servicios de saneamiento.
- Mantener y restablecer, bajo un enfoque de cuenca, la integridad de los ecosistemas relacionados con el agua, en particular los humedales, los ríos, los lagos y los acuíferos.

2. Objeto del Proyecto

La Construcción del proyecto de abastecimiento de agua en bloque mediante desalación de agua de mar para el Municipio de Los Cabos, B.C.S., con el objeto de cubrir el déficit actual en la demanda de agua para los usos domésticos y no domésticos, asociados a la oferta proveniente de los acuíferos de Cabo San Lucas y San José del Cabo.

El sistema de la nueva planta desaladora está diseñado para una producción de 250 l/s; dicha capacidad de producción, aunado al volumen de almacenamiento de agua potable disponible en la planta, permitirá ajustar los periodos de funcionamiento con los periodos tarifarios de energía eléctrica, optimizando de esta forma el costo del consumo energético, permitiendo ofrecer una oferta competitiva del costo por m^3 de agua producida.

3. Breve descripción del Proyecto

El Proyecto consiste en la construcción, equipamiento, puesta en marcha y operación, de un sistema de producción nominal de 250 l/s de agua potable a partir de agua de mar, para cubrir l la demanda de agua para los usos, domésticos, residenciales, comerciales e industriales en el municipio de Los Cabos

El sistema se conforma del siguiente conjunto de estructuras:

i. Captación y/o de extracción de agua de mar, mediante toma directa (cárcamo y bombas);
ii. Conducción de alimentación a una planta;
iii. Planta de desalación y potabilización de agua, incluye unidad de pretratamiento, bombeo de alta presión, módulos de membranas, unidad de limpieza y mantenimiento y unidad de postratamiento;
iv. Tanque de regulación;
v. Planta(s) de bombeo, y
vi. Obras e instalaciones complementarias.

Los elementos que integran el sistema se dividen en:

a) Captación de agua de mar;
b) Desaladora,
c) Red de distribución a tanques existentes; y
d) Línea de rechazo de salmuera.

Dadas las limitaciones de los terrenos disponibles, se consideró una obra de toma abierta. La torre toma se propone sea construida en sitio con concreto armado y remolcada hasta el sitio de instalación con ayuda de equipo de flotación hidroneumático.

La instalación en el lecho marino será con la ayuda de una grúa o brazo mecánico, previa preparación de la plataforma, la cual incluye la nivelación de la superficie. Las dimensiones de la torre de toma se estiman en 7 m de diámetro y 5 m de altura.
La ubicación de la torre toma considera una profundidad de 25 m como factor de seguridad para minimizar las afectaciones de estabilidad por las corrientes marítimas, basado en este parámetro y en la información disponible del relieve submarino, el sitio instalación se ubicaría a una distancia de 1.9 km.

La conducción del agua de mar se realizaría a través de una línea de PEAD de 48” de diámetro, la cual se instalaría mediante zanja en el tramo terrestre y hasta llegar a una profundidad aproximada de 10 m por debajo del nivel medio del mar, para minimizar afectaciones por el oleaje (principalmente en mareas bajas).

La instalación mediante zanja en el tramo marino debe considerar el uso temporal de tablestacas solapadas de acero o PRFV, hincadas con grúa. Después de esa profundidad la tubería irá colocada sobre el lecho marino con anclajes de concreto armado a cada 3 m hasta la obra de toma, para garantizar la estabilidad.

La línea de conducción trabajará por sistema de vasos comunicantes hasta el cárcamo de bombeo, el cual será construido en la franja costera con una profundidad aproximada de 20 m y en donde se instalará el equipo de bombeo (Bombas verticales tipo turbina de acero Superduplex).

El Proyecto se realizará en la localidad de Cabo San Lucas en el municipio de Los Cabos, BCS, a una altura de 22 msnm, en un predio con una superficie disponible de 15, 078.4353 m^2, en las coordenadas:

Tabla 1. Coordenadas del sitio

LADO		DISTANCIA	VERTICE	COORDENADAS	
EST.	PV			Y	X
			1	603532.16690	2532251.1231
1	2	61.271	2	603612.80000	2532231.4430
2	3	99.097	3	603595.36120	2532160.6116
3	4	87.523	4	603633.30040	2532109.2129
4	5	60.3556	5	603579.35120	2532082.1523
5	6	63.8843	6	603492.87420	2532095.6433
6	7	72.9466	7	603517.63900	2532191.5994
7	1	83	1	603532.16690	2532251.1231
Superficie: 15,078.4353 m^2					

Fuente: Dirección de Catastro de Los Cabos.

El sitio seleccionado para el Proyecto se definió por su localización estratégica tanto para la toma de agua de mar, vertido del agua de rechazo, como el lugar estratégico para el bombeo de agua potable desde la Planta Desaladora, al sitio de entrega primario.

Las obras civiles del Proyecto se ejecutarán mediante sistemas constructivos convencionales y acabados arquitectónicos locales, donde los materiales de construcción empleados son el concreto armado, acero estructural, cubiertas y envolventes en muros con paneles prefabricados. Estos serán considerados de conformidad con la normativa vigente local, estatal y federal tales como el Manual de Obras Civiles de la C.F.E., Manual de la A.C.I., Reglamento de Edificaciones para el

Estado de Baja California Sur, Reglamento de edificaciones para el Municipio de Los Cabos, Baja California Sur, y de la propia Conagua.

4. Contexto Normativo y de planeación

Para el predio en donde se ejecutará el Proyecto, las disposiciones normativas para regular la intensidad de uso del suelo, son a través del coeficiente de uso del suelo (COS), las cuales establecen la superficie ocupada del predio por edificaciones, y el coeficiente máximo de uso del suelo (CUS), es decir, el número de veces que se puede construir la superficie del predio.

Las características de las construcciones se sujetarán a los parámetros de intensidad de ocupación y utilización de acuerdo con las densidades de ocupación y los coeficientes de ocupación y utilización del suelo. Cabe señalar que no se toman en cuenta los niveles subterráneos entre el área del lote. Para la aplicación del COS y CUS, se toma en consideración la capacidad de carga y el potencial de riesgo existente en el sector, para minimizar los riesgos a la población ante la posible presencia de fenómenos naturales.

4.1 Reglamentos municipales y estatales

Para el control urbano se dispone como instrumentos de planeación la carta urbana y matriz de compatibilidad, como una herramienta básica de utilidad pública, donde se indica la estrategia urbana, usos, destinos y reservas territoriales, cuyo fin es la de administrar el ordenamiento general urbano establecidos en el programa para lograr los objetivos del desarrollo urbano con reglas básicas de aprovechamiento del suelo.

Las disposiciones regulatorias respecto a superficie y frente de lote y restricciones frontal, lateral y posterior serán de acuerdo a lo normado en el Reglamento de Acciones de Urbanización, Reglamento de Usos del Suelo y el Reglamento de la Ley de Edificaciones para el Municipio de Los Cabos.

La normativa municipal aplicable al proyecto de obra civil, es el Reglamento de Edificaciones para el Municipio de Los Cabos Baja California Sur, donde se señala los aspectos técnicos de medición, accesibilidad, ergonomía, bioclimáticos y estructurales afines a cada componente de la Planta Desaladora.

Adicionalmente, se deberán considerar los siguientes reglamentos que aplican en las diferentes etapas y operación de dicho proyecto.

- Reglamento para la Atención de Las Personas con Capacidades Diferentes del municipio de Los Cabos;
- Reglamento para la prevención de la contaminación lumínica en el municipio de Los Cabos;
- Reglamento Municipal de Protección Civil de Los Cabos, Baja California Sur,
- Reglamento de la Seguridad Civil y Prevención de Incendios para el municipio de Los Cabos, Baja California.

Para la elaboración de infraestructura vial para el Proyecto (estudios, programas, proyectos, etc.), de nodos viales, vialidades, gazas de integración, entre otros, se deberá seguir lo que establecen las Normas Técnicas de Proyecto y Construcción de Obras de Vialidades del Estado, Reglamento de Tránsito para el Municipio de Los Cabos, Baja California Sur, y los procedimientos de diseño descritos en el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT.

De la norma oficial mexicana se cumple con las siguientes:

- NOM-011-STPS-1993

Que establece las medidas para mejorar las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido que por sus características, niveles y tiempo de acción, sean capaces de alterar la salud de los trabajadores, así como la correlación entre los niveles máximos permisibles de ruido y los tiempos máximos permisibles de exposición por jornada de trabajo.

- NOM-041-SEMARNAT-1996

Que establece los niveles máximos permisibles de emisión de gases contaminantes provenientes del escape de vehículos automotores en circulación que utilizan gasolina como combustible.

- NOM-052-SEMARNAT-1993

Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.

- NOM-080-SEMARNAT-1994

Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores, motocicletas y triciclos motorizados en circulación y su método de medición.

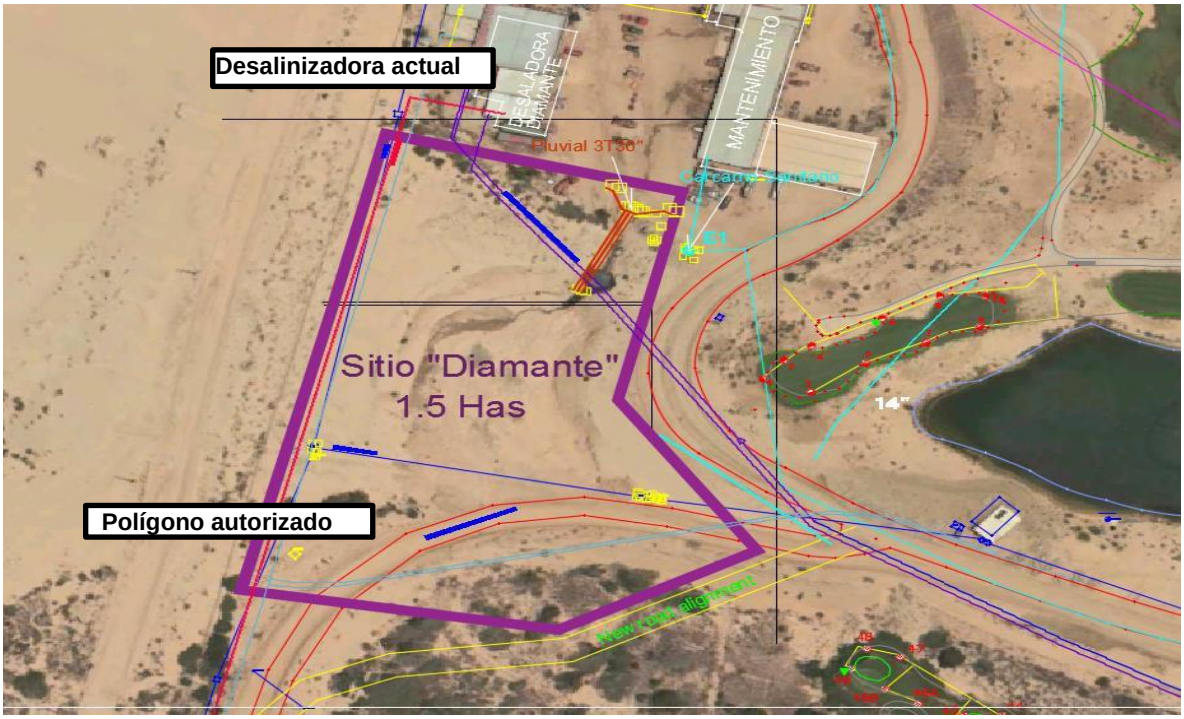
- NOM-081-SEMARNAT-1994

Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido en fuentes fijas y su método de medición.

5. Ubicación de las obras y características de los terrenos

El Sitio se ubica dentro del Club de Golf Diamante, un complejo turístico de alta plusvalía en el cual que se ha identificado por parte del OOMSAPASLC que sea aportado en fideicomiso traslativo del dominio con cláusula de reversión para los fines del Proyecto. El terreno se localiza a un costado del área de servicios de mantenimiento del citado Club de Golf, propiedad del complejo Diamante para suministro propio. El sitio identificado es un predio libre, sin edificación alguna, con área suficiente para el desarrollo del Proyecto.

Figura 1. Localización del proyecto.



Fuente: Dirección de Catastro de Los Cabos.

De acuerdo al análisis de superficie requerida para la Planta Desaladora, se requiere de un área total de 15,078.4353 m^2 para desplantar la obra civil del Proyecto.

5.1 Selección del sitio

El sitio seleccionado para el Proyecto, se definió por su localización estratégica tanto para la toma de agua de mar, vertido del agua de rechazo, como el lugar estratégico para el bombeo de agua potable desde la Planta Desaladora al sitio de entrega primario.

5.2 Dimensiones del proyecto

El terreno donde se instalará la Planta Desaladora ocupará una superficie de 15,078.43 m^2, del cual solo se ocupará una superficie de 10, 572.00m^2 para desplantar la obra civil de obras permanentes de la nueva Planta Desaladora de Los Cabos, distribuida en los siguientes componentes:

Tabla 2. Superficie requerida para los componentes de la nueva Planta Desaladora

N	Componente	Superficie
1	Edificio de Procesos y Control.	2,817.4
2	Filtros de Arena	935.5
3	Deposito Agua Lavado Filtros	276.1
4	Bombeo de Agua Producto	169.6
5	CCM Estación de Bombeo	61.5
6	Almacénes y Talleres	242.5
7	Depósito de Químicos	214.4
8	Depósito de Químicos	93.7
9	Transformador Principal y Planta	612.0
1	Camino Acceso / Patio Maniobras	4,358.5
1	Pasillos Exterior	790.8

Fuente: Estudio Análisis de Alternativas Desaladora Cabos.

La superficie restante será ocupada por obras e instalaciones provisonales en la etapa de construcción y futuro mantenimiento de la Planta Desaladora así como áreas verdes una vez finalizada la construcción.

5.3 Criterios de Diseño

Las obras civiles contenidas en este Proyecto, se llevarán a cabo con sistemas constructivos convencionales y acabados arquitectónicos locales, donde los materiales de construcción empleados son el concreto armado, acero estructural, cubiertas y envolventes en muros con paneles prefabricados. Estos serán considerados de conformidad con la normativa vigente local, estatal y federal tales como el Manual de Obras Civiles de la CFE, Manual de la A.C.I., Reglamento de Edificaciones para el Estado de Baja California Sur, Reglamento de edificaciones para el Municipio de Los Cabos, Baja California Sur, y de la propia CONAGUA.

6. Memoria eléctrica.

6.1 Disposiciones Generales

Se plantea la funcionalidad general de la instalación eléctrica tomando como base principal las tres premisas siguientes:

- Seguridad de explotación
- Fiabilidad
- Modularidad

Se describen los criterios generales que deberán considerarse para el diseño de las instalaciónes electromecánicas que darán potencia y funcionamiento de la Planta Desaladora, mismas que están encaminadas a la consecución de los objetivos descritos anteriormente.

6.1.1 Seguridad

Siendo la primera preocupación al concebir la instalación, se están considerando incorporar los equipos precisos destinados a la protección de personas y bienes. Todo el aparellaje de maniobra y protección de Alta y Media Tensión (115 y 13.2 kV), está aislado con gas SF6 presurizado.

Se ha previsto dotar a todas las alimentaciones de equipos eléctricos de un sistema de protección diferencial que proteja a las personas contra los riesgos derivados de los contactos indirectos. Por otra parte, todos los equipos y carcasas susceptibles de quedar sometidos a tensión irán conectados mediante cables de cobre a la red general de tierras.

6.1.2 Fiabilidad

La subestación principal 115/13.2 kV, es de tipo modular compacta e híbrida, con aparellaje aislado en gas SF6, lo que proporciona una mejor calidad de servicio, una gran fiabilidad y mantenimiento sencillo. Los conjuntos se pueden basar en la tecnología tradicional de aparamenta aislada por aire (AIS, Air Insulated Switchgear), en la tecnología avanzada de aparamenta aislada gas SF6 (GIS, Gas Insulated Switchgear) o en un sistema híbrido de ambas tecnologías, que aprovecha las ventajas de las dos técnicas AIS y GIS, evitando a su vez el elevado costo de instalación de las celdas GIS propiamente dichas.

Las ventajas más importantes de los módulos híbridos son las siguientes:

- Diseño compacto gracias a la tecnología GIS del aparellaje;
- Montaje completo y pruebas en fábrica;
- Fácil transporte al lugar de instalación y dentro del mismo;
- Rapidez de instalación (equipos ya probados en fábrica);
- Poco mantenimiento, ya que todos los contactos de altas tensiones están encapsulados en gas SF6;

- Pocas interrupciones de mantenimiento por su alta fiabilidad;
- Bajo coste de vida útil;
- Pocas pérdidas de energía;
- Fácil sustitución en caso de fallo;
- Respetuoso con el medio ambiente gracias a sus menores dimensiones
- Excelente comportamiento frente a lluvia y contaminación y
- Resistente a tormentas de arena.

En el módulo híbrido previsto, todas las partes en tensión, excepto las barras de distribución están encapsuladas en un tanque de aluminio conectado a tierra, lleno con gas SF6 presurizado. Cada polo tiene su propia carcasa, para aumentar la disponibilidad y seguridad. Las carcasas son realizadas en aluminio fundido y soldado.

6.1.3 Modularidad

Todos los equipos eléctricos principales diseñados de forma que sean fácilmente ampliables, lo que garantizan una gran flexibilidad a la hora de acometer ampliaciones con una mínima interrupción de servicio en los equipos de las fases en funcionamiento.

6.2 Suministro de energía a las instalaciones

La alimentación de energía eléctrica a la instalación de agua de mar (Planta Desaladora), se realizará mediante línea subterránea en 115 kV desde la línea de alta tensión aérea, conforme se describe a continuación:

6.2.1 Línea subterránea 115 kV acometida a Planta Desaladora

Debido a la cantidad de carga que demandan todos los equipos y la distancia que existe hasta la red de CFE, se determinó que la acometida debe ser en 115 kV, hasta una subestación reductora de 115 a 13.2 kV, con una capacidad de 6,300 KVA que se ubicará en los terrenos de la Planta Desaladora. La instalación será de tipo subterráneo.

Estas líneas subterráneas se instalarán con cables tipo vulcanel o similar con aislamiento en polietileno de cadena cruzada XLP 15 KV, unipolares, con cuerda de aluminio de 240 mm² de sección, instalados en el interior de una tubería de polietileno de 160 mm de diámetro, a una profundidad mínima de 0.7 m, colocada a su vez sobre un lecho de arena de río para que haga buen asentamiento. En los cruces de calzada, la tubería irá hormigonada.

Aproximadamente 50 cm por encima de dicha tubería, se instalará una banda de aviso y señalización de PVC, de 30 cm de ancho, con la inscripción "Alta Tensión". A lo largo del trazado, se incluirán las arquetas de registro que resulten necesarias.

Acometida de energía Subestación principal Planta Desaladora

- Tensión: 115 kV
- Tipo de línea: Subterráneas desde entronque con la línea de alta tensión hasta llegada al límite de la parcela.
- Longitud: 1,400 m

6.2.2 Línea subterránea acometida a Captación de agua de mar.

Desde la salida del transformador 115/13.2 kv de la subestación principal de la Planta Desaladora, se alimentará a un tablero general de distribución en 13.2 kV, desde el cual se alimentarán la subestación derivada de la Planta Desaladora y el centro de transformación de captación de agua de mar. Asimismo, dicho tablero se conectará a la planta de emergencia de la Planta Desaladora.

Desde la Planta Desaladora, la energía se conducirá por una línea de transmisión aérea hasta las instalaciones de captación. Esta línea será trifásica de tipo subterráneo.

Estas líneas subterráneas se instalarán con cables tipo vulcanel o similar con aislamiento en polietileno de cadena cruzada XLP 15 KV, unipolares, con cuerda de aluminio de 240 mm² de sección, instalados en el interior de una tubería de polietileno de 160 mm de diámetro, a una profundidad mínima de 0.7 m, colocada a su vez sobre un lecho de arena de río para que haga buen asentamiento. En los cruces de calzada, la tubería irá encofrada.

Aproximadamente 50 cm por encima de dicha tubería, se instalará una banda de aviso y señalización de PVC, de 30 cm de ancho, con la inscripción "Alta Tensión". A lo largo del trazado, se incluirán las arquetas de registro que resulten necesarias.

Acometida de energía Captación

- Tensión: 13,2 kV
- Tipo de línea: Subterránea desde el Centro de distribución de Media Tensión de la Planta Desaladora hasta llegada al CT de Captación
- Longitud: 1,600 m

6.2.3 Líneas subterráneas conexión Subestación derivada Planta Desaladora y planta de emergencia.

Desde el tablero general de distribución en 13.2 kV, se alimentará la subestación derivada de la Planta Desaladora y se conectará a la planta de emergencia de la Planta Desaladora, mediante líneas subterráneas. Estas líneas subterráneas se instalarán con cables tipo vulcanel o similar con aislamiento en polietileno de cadena cruzada XLP 15 KV, unipolares, con cuerda de aluminio de 240 mm² de sección, instalados en el interior de una tubería de polietileno de 160 mm de diámetro, a una profundidad mínima de 0.7

m, colocada a su vez sobre un lecho de arena de río, para que haga buen asentamiento.

En los cruces de calzada, la tubería irá encofrada. Aproximadamente 50 cm por encima de dicha tubería, se instalará una banda de aviso y señalización de PVC, de 30 cm de ancho, con la inscripción "Alta Tensión". A lo largo del trazado, se incluirán las arquetas de registro que resulten necesarias.

Acometida de energía Subestación Derivada y planta de emergencia

- Tensión: 13.2 kV
- Tipo de línea: Subterráneas desde subestación principal hasta el Centro de distribución de Media Tensión de la Planta Desaladora (subestación derivada) y planta de emergencia.

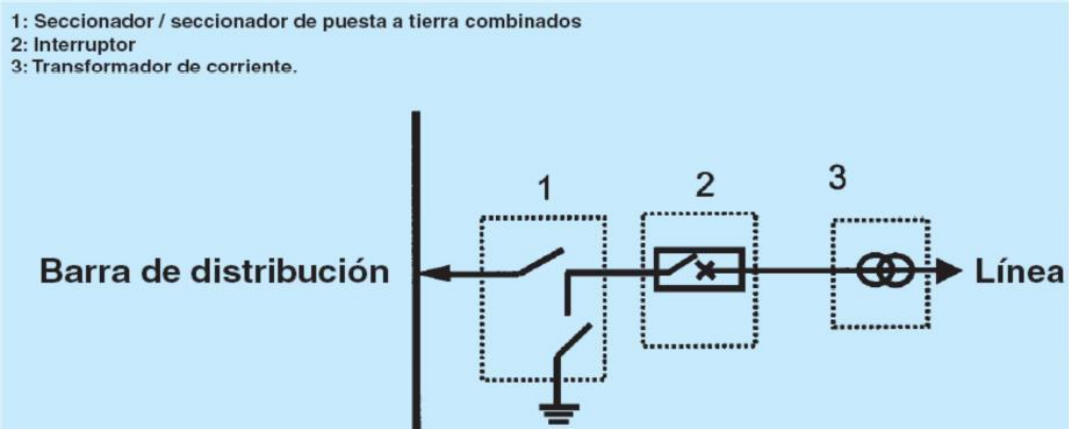
Este apartado, en todo caso, está desarrollado en un estudio propio de acuerdo a los requerimientos de CFE.

6.3 Subestación principal Planta Desaladora

Esta subestación será la principal, a ella llegará la línea de suministro de compañía y desde ella se distribuirá en 13.2 kV la energía demandada por los centros de transformación secundarios (subestaciones derivadas). La energía suministrada en 115 kV, se transformará para su posterior distribución a los distintos consumidores, distinguiéndose entre los interiores, los de un cierto nivel de potencia, que serán alimentados a 4.16 kV y los de potencias inferiores que se alimentarán a 440 V. Para las instalaciones objeto del presente proyecto, los equipos alimentados en 4.16 kV son únicamente las bombas de alta presión. Realmente se alimentan los conjuntos transformador-variador de frecuencia de estas bombas en 13.2 kV. Cada uno de estos conjuntos incorpora un transformador de 1,550 kVA, relación 13.2/4.16 kV, de tipo seco encapsulado, 4 secundarios, 24 pulsos, alimentándose finalmente el motor a la tensión de 4.16 kV.

La subestación estará formada por un módulo de línea, protección de transformador y medida, 1 transformador de potencia de 6,300 kVA y los correspondientes equipos de control y protección. El módulo de interconexión y protección estará compuesto por un interruptor trifásico operado con mecanismo de operación de tipo muelle, dos seccionadores para simple barra combinados con el seccionador de puesta a tierra, tres transformadores de intensidad toroidales instalados en los bushings, un armario de control local, tres transformadores de tensión inductivos y tres autoválvulas pararrayos.

Figura 2. Configuración básica elegida.



Fuente: Elaboración propia con base en documento Manual CFE, 2014

Con esta configuración se tiene una subestación de Alta Tensión completa del tipo "entrada / salida":

- Los primeros aisladores pasantes están conectados a la línea de entrada;
- Los segundos aisladores pasantes están conectados a la línea de salida;
- Los terceros aisladores pasantes están conectados al transformador de potencia.

Por lo tanto, no hay una barra de distribución tradicional, por ejemplo, la barra de distribución está realizada dentro del módulo a través de los primeros y segundos aisladores pasantes.

El interruptor automático es un interruptor de presión única que opera con el difundido principio de interrupción por "autosoplado". La energía para interrumpir las corrientes de cortocircuito es provista parcialmente por el mismo arco, reduciendo así la energía requerida por el mecanismo de operación en un 50% aproximadamente, respecto a un interruptor convencional tipo puffer. Todas las estructuras metálicas irán galvanizadas en caliente (espesor de 100 a 110 µm)

Las celdas de 13.2 kV (Tablero de distribución general 13.2 kV) y los paneles de control, medida y protección estarán alojados en un edificio, de ejecución en obra civil in situ, anexo al módulo y transformador de potencia.

Se instalará un transformador de potencia trifásico de 6.300 KVA, conexión Dyn11, tensión primaria 115,000, + - 2.5%-5% V y 13.2 V de tensión secundaria, en baño de aceite, refrigeración natural ONAN, construcción abierta con depósito de expansión, equipado con conmutador bajo tapa, regulación de tensión automática, ruedas de transporte, rele Buchholz con dos contactos, desecador de silicagel, termómetro con dos contactos regulables y comprobador de nivel del líquido aislante.

Subestación Principal Planta Desaladora 115/13,2 kV

- Relación tensiones kV: 115/13,2 kV
- Tipo de subestación:

Modular compacta hibrida, con aparellaje aislado en gas SF6

- Intensidad nominal 1.250 A
- Intensidad nominal de corte de los interruptores 31.5 kA
- Posiciones:

- 1 Ud Modulo de entrada /medida /protección n de transformador
- 1 Transformador 6.300 KVA, relación 115/13,2 KV, Aceite, ONAN

6.4 Tablero general distribución 13.2 KV.

Desde la salida del transformador 115/13.2 kv, de la subestación principal de la Planta Desaladora, se alimentará a un tablero general de distribución en 13.2 kV, desde el cual se alimentarán la subestación derivada de la Planta Desaladora y el centro de transformación de captación de agua de mar. Asimismo, dicho tablero se conectará a la planta de emergencia de la Planta Desaladora.

Las celdas de maniobra, protección y medida de 13.2 kV, serán de tipo modular con aislamiento integral y corte en SF6, cada función dispone de su propia envolvente metálica que alberga una cuba de acero inoxidable llena de gas SF6. Los equipos de control, medida y protección se alojarán en un compartimento situado en la parte superior de las celdas.

Las celdas se han previsto para una tensión nominal de 24 kV, una intensidad nominal en barras y elementos de corte generales de 400 A y 16 kA de intensidad de cortocircuito. Los interruptores automáticos y resto de aparellaje de estas celdas serán de ejecución fija. La intensidad nominal de los interruptores derivados será de 400 A.

Cuadro general distribución 13.2 kV

- Tensión nominal: 13.2 kV.
- Tipo de celdas, modulares, 24 kV, SF6: Ejecución fija, 400 A, 16 kA.
- Embarrados generales: 400 A, 16 kA.
- Embarrados derivados: 400 A, 16 kA.
- Posiciones:

- 1 Ud Entrada desde Subestación principal
- 1 Ud Protección general (Disyuntor SF6 mando motorizado)
- 1 Ud Medida usuario (3 TT, 3 TI, Analizador redes)
- 1 Ud Salida a CT Captación agua de mar
- 1 Ud Entrada desde Planta de emergencia
- 1 Ud Salida a CT Planta Desaladora (Subestación derivada)

- 3 Ud Salidas a variadores de frecuencia motores 4.16 kV (Disyuntor SF6 mando motorizado).

6.5 Centro de transformación Planta Desaladora (Subestación derivada).

Las celdas de maniobra y protección del centro de transformación de la Planta Desaladora tendrán las mismas características que las descritas para el Tablero General de 13.2 kV. El transformador de relación 13.2/0.44 kV a instalar, corresponderá a las características que se describen a continuación. Será trifásico, conexión Dyn11, tensión primaria 13,200 +- 2.5% a +-5% V y 480 V de tensión secundaria, en baño de aceite, equipados con conmutador bajo tapa para tomas de regulación en vacío, dispositivo de protección contra calentamiento, sobrepresión y descenso del nivel del líquido aislante tipo DGPT2, 4 ruedas bidireccionales de desplazamiento, 2 placas de características, terminales de puesta a tierra y ganchos para elevación y tracción.

En una zona independiente del edifico de proceso, se instalarán los equipos de maniobra, medida y protección que se citan a continuación.

Centro transformación Planta Desaladora (Subestación derivada)

- Relación tensiones: 13,2/0,44 kV
- Tipo de celdas: Modulares, Ejecucion fija, 400 A, 16 kA.
- Embarrados generales: 400 A, 16 kA.
- Embarrados derivados: 400 A, 16 kA.
- Posiciones:

- 1 Ud Entrada
- 1 Ud Protección transformador (Disyuntor SF6 mando motorizado)
- 1 Transformador 2.000 KVA, relación 13,2/0,44 KV, Aceite, ONAN

6.6 Variadores de frecuencia Bombas de alta presión.

Debido a los diferentes valores de temperatura del agua de mar a lo largo del año y el aumento del grado de ensuciamiento de las membranas con el tiempo, se ha optado por instalar variadores de frecuencia en las bombas de alta presión; de forma que sea posible el ajuste del caudal y la presión en los racks de membranas para un óptimo rendimiento energético de las instalaciones.

Con objeto de reducir al máximo posible los efectos negativos provocados por la distorsión armónica de tensión y corriente, cada uno de los motores de las bombas de alta presión será equipado con un transformador 13.2/4.16 kV de tipo seco en ejecución de al menos 12 pulsos con cuatro secundarios desfasados y variadores de frecuencia de 12 pulsos.

El rectificador de 12 pulsos cumple los requerimientos más estrictos de los estándares internacionales IEEE, IEC y EN para distorsión de armónicos de tensión y corriente, lo que proporciona mínimos armónicos a la red para evitar interferencias en el sistema y

penalizaciones de las empresas de suministradoras de energía.

Los variadores de frecuencia previstos incorporan filtro sinusoidal de salida para tensión y corriente sinusoidales puras, lo que nos da una excelente onda de salida, eliminando armónicos y voltajes de modo común y reduciendo el stress de voltaje del motor para un mayor ciclo de vida del mismo.

- Tensión alimentación variadores: 13.2 kV.
- Tipo. Armónicos reducidos.
- Transformador integrado 1,550 kVA, seco encapsulado, 4 secundarios, +- 12 pulsos, 13.2/4,16 kV.
- Motor Bomba Alta Presión 4,160 V.

6.7 Centro de transformación captación de agua de mar.

Las celdas de maniobra y protección de este centro de transformación tendrán las mismas características que las descritas para el Tablero General de 13.2 kV.

El transformador será trifásico, conexión Dyn11, tensión primaria 13.200 +-2,5% +-5% V y 440 V de tensión secundaria, de tipo seco, equipados con conmutador bajo tapa para tomas de regulación en vacío, dispositivo de protección contra calentamiento, sobrepresión y 4 ruedas bidireccionales de desplazamiento, 2 placas de características, terminales de puesta a tierra y ganchos para elevación y tracción.

Centro transformación captación de agua de mar

- Relación tensiones kV: 13.2/0.44 kV
- Tipo de celdas, modulares, 24 kV, SF6: Ejecución fija, 400 A, 16 kA.
- Posiciones:

- 1 Ud Entrada (Interruptor manual corte en carga)
- 1 Ud Protección de transformador (Interruptor automático SF6)
- 1 Transformador 1.600 KVA, relación 13,2/ 0,44 KV, SECO

6.8 Fuerza en Baja Tensión

6.8.1 Tablero general de distribución Baja Tensión

Para el suministro de energía a las instalaciones de la Planta Desaladora alimentadas en 440 V, se ha previsto la instalación de un transformador (relación 13.2/0.44 kV y 2,000 kVA de potencia), que alimentará a un tablero general de distribución en baja tensión. Dicho tablero estará alojado en las salas de cuadros eléctricos de B.T., anexa al centro de transformación de la Planta Desaladora (subestación derivada). El tablero general de distribución 440 V estará formado por paneles metálicos en chapa de acero, de la Planta Desaladora ente pintados, accesibles por su parte anterior en donde se encuentran las acometidas y salidas con sus correspondientes interruptores automáticos. Todos los tableros estarán construidos para soportar los esfuerzos electrodinámicos correspondientes a las posibles corrientes de cortocircuito que puedan presentarse. El tablero dispondrá de las siguientes acometidas de entrada, a través de los necesarios interruptores automáticos tetrapolares de corte al aire y con el poder de corte necesario, dotado con reles de protección electrónicos multifunción:

- Acometida desde el transformador de potencia de y 2.000 kVA.
- Acometida desde el grupo electrógeno de Baja Tensión.

Ambos interruptores de entrada estarán enclavados mediante llave de seguridad.

Asimismo, la acometida se equipará con un analizador de redes para envío vía bus de los principales parámetros eléctricos al sistema de control central.

Las salidas a los tableros de zona estarán compuestas por interruptores automáticos tetrapolares de corte al aire y con el poder de corte necesario, dotados con reles de protección magnetotérmicos y protección diferencial.

- El tablero general de distribución alimentará a las siguientes instalacionesTablero protección y maniobra de motores de Proceso 440 V (CCM2)
- Tablero protección y maniobra de motores de Proceso 440 V (CCM3)
- Tablero protección y maniobra de motores de Proceso 440 V (CCM4)
- Tablero general de distribución de alumbrado y tomas de corriente.
- Batería de condensadores de mejora de factor de potencia.

6.8.2 Tableros de protección y maniobra de motores

Todos los tableros de protección y maniobra de motores estarán construidos para uso interior, grado de protección IP-43, de ejecución fija y estarán formados por una serie de paneles construidos en chapa de acero, pintados en color a definir previo desengrasado y tratamiento contra la corrosión. La entrada a cada tablero está formada, en su panel correspondiente, de un interruptor automático de corte omnipolar con reles magnetotérmicos.

En cada una de las acometidas a los tableros y continuación del interruptor general, se instalará un analizador de redes con comunicación al sistema de control central para

supervisión de los principales parámetros eléctricos: medida de corrientes, tensiones, potencia activa y reactiva, energía activa y reactiva, factor de potencia, maximetro y TDH, con fechado e histórico de eventos.

Los arrancadores progresivos y variadores de frecuencia llevarán integradas las protecciones de motor. Los variadores de frecuencia de motores de potencia igual o superior a 15 kW se han previsto en ejecución armónicos reducidos (Distorsión total de la intensidad inferior al 5,0%), además estarán equipados con Filtro EMC/RFI-filter, Cat C3, 2nd Env., Filtro choke Du/dt y contactor de línea. Asimismo, las tarjetas electrónicas de todos los variadores estarán barnizadas, con el fin de evitar averías debidas a corrosión. Para evitar los efectos perjudiciales de la corrosión los embarrados de los tableros de protección y maniobra de motores tendrán un tratamiento de estañado.

A partir del embarrado general, se acomete a los distintos motores a través del aparellaje de mando y protección de cada motor, instalado sobre placa de montaje, y constituido por:

- Interruptor automático tripolar de motor, con reles magnéticos.
- Contactor tripolar o arrancador estático.
- Un bloque con tres reles, térmico, compensado y diferencial, con dispositivo contra la marcha en monofásico
- Transformador toroidal y rele diferencial de 300 mA

El arranque de motores de potencia superior a 18,5 kW se realizará mediante arrancadores progresivos de estado sólido.

6.8.3 Mejora de factor de potencia

Se han previsto los equipos de compensación de energía reactiva necesarios para conseguir mantener un factor de potencia superior a 0.98. El factor de potencia de las instalaciones de baja tensión, se corrige con baterías de condensadores, divididas en varios escalones de regulación totalmente automática. Los condensadores estarán sobredimensionados en tensión para evitar avería en los mismos por presencia de armónicos en la red.

6.8.4 Cableado

Para distribución y acometida en 13.2 kV, se ha previsto la instalación de cable RHZ1 (Aislamiento en polietileno reticulado XLP, pantalla semiconductora extruida y cubierta de policloruro de vinilo) de 15 KV campo radial de 1 x 253.4 mm2 (500 kCM) de sección en aluminio. Para la alimentación de los motores de las bombas de alta presión se ha previsto cable RHFAZ1 (Aislamiento en polietileno reticulado XLP, pantalla semiconductora extruida, cubierta de policloruro de vinilo y armadura de flejes de aluminio) de 5 KV campo radial de 1 x 127.2 mm2 (250 Kcm) de sección en cobre.

A partir de los automáticos alojados en los cuadros de protección y maniobra salen las líneas de alimentación a los distintos cuadros secundarios y receptores de la planta.

Estas alimentaciones, cuando se realicen con cables unipolares, se utilizarán cables de cobre de aislamiento en polietileno de cadena cruzada XLP, tipo RHW2, con temperaturas máximas de operación en el conductor de 90°C en ambiente seco, húmedo o mojado, 130°C, en emergencia y 250°C en cortocircuito.

Cuando los conductores sean de tipo multipolar, se realizarán mediante cables de cobre con aislamiento de polietileno de cadena cruzada XLP, tipo XHHW-2 LS CT-SR RoHS 90°C 600V, con conductor de puesta a tierra y cubierta exterior de PVC. La alimentación de motores equipados con variador de frecuencia, se realizará con cables multipolares de cobre 1 kV, con pantalla formada por conductor concéntrico corona de hilos de cobre desnudo colocados helicoidalmente. Dicha pantalla de cobre tendrá una sección de al menos S/2 de la sección de la fase para que funcione de manera adicional como cable de tierra de protección.

La alimentación al tablero general de distribución de la Planta Desaladora y el tablero de control de motores de la captación de agua de mar desde los transformadores de potencia, se realizará mediante barras conductoras prefabricadas, estas barras conductoras tendrán una sección rectangular con los cantos redondeados y fabricadas en Cobre electrolítico.

Las barras estarán aisladas independientemente con una funda de film de poliéster (espesor 0.20mm) y estarán empaquetadas en sándwich en la estructura metálica. Las secciones de los cables, se han calculado, de acuerdo con las intensidades admisibles en el artículo 310 de la norma NOM-001-SEDE-1999. Una vez dimensionados, teniendo en cuenta los factores de corrección de las intensidades máxima admisible por temperatura y agrupación de cables, se ha verificado que la caída de tensión en los diferentes puntos del sistema, se encuentre de acuerdo con lo indicado dentro de la nota 1 de la sección 215-2 de la Norma NOM-001-SEDE-1999. Esto es, la caída de tensión global desde el medio de desconexión principal hasta la salida más alejada de la instalación, considerando alimentadores y circuitos derivados, no debe exceder del 5%.

La sección mínima empleada para cada circuito es la siguiente:

- Circuitos de control, protección, medición y alarmas: No. 16 AWG
- Circuitos de alumbrado: No. 12 AWG
- Circuitos de fuerza hasta 600 V: No. 12 AWG
- Circuitos de potencia mayores de 600 V: No. 8 AWG

Desde los tableros hasta los elementos receptores, los cables discurrirán por charolas de PVC rígido M-1, preferentemente fijadas sobre la pared mediante soportes adecuados. Las ramificaciones desde éstas, hasta los receptores se canalizarán en tubos del mismo material que las bandejas. En instalaciones subterráneas, los cables se instalarán bajo tubo de PVC de pared gruesa para servicio pesado.

Las canalizaciones subterráneas, serán entubadas y dispondrán de los elementos de protección y señalización que prescriba la reglamentación vigente en el momento de efectuarse el montaje. Durante éste, se dejará metida la guía para el posterior paso de cables. Se construirán el suficiente número de arquetas, debPlanta Desaladora ente dimensionadas, para que puedan sustituirse cables con facilidad.

La alimentación a tableros desde transformadores de elevada potencia, se realizará mediante barras conductoras prefabricadas, estas barras conductoras tendrán una sección rectangular con los cantos redondeados y fabricadas en cobre electrolítico.

6.9 Alumbrado

El suministro de energía a las instalaciones de alumbrado, se realizará desde un tablero general de distribución de alumbrado, a través del cual se alimentarán los paneles locales de alumbrado. Dicho cuadro estará alojado en la sala de cuadros eléctricos de B.T. del centro de transformación. Los sistemas de alumbrado de proceso y edificios deberán ser alimentados mediante transformadores trifásicos de aislamiento (440 V – 440 V).

En este tablero se alojará un interruptor automático magnetotérmico general, así como los interruptores automáticos magnetotérmicos que alimentarán los cuadros secundarios de alumbrado. Éstos serán equipados con automático diferencial de In adecuada y 300 mA de sensibilidad. La iluminación de los edificios se realizará mediante equipos fluorescentes con reactancia, cebador y condensador de 2 x 36 W. En los locales húmedos se emplearán equipos estancos de 2 x 36 y 2 x 58 W. Para el alumbrado de salas de gran altura, se ha previsto la instalación de luminarias cerradas con lámparas de 250 W tipo V.M.C.C.

La instalación de alumbrado interior de las distintas áreas de los edificios, se realizará bajo tubo de PVC rígido en superficie y en las zonas nobles se realizará bajo tubo empotrado tipo corrugado. Se utilizará cable unipolar con doble capa de aislamiento.

La iluminación exterior de viales se realizará con báculos de 8 metros de altura y luminarias cerradas equipadas con lámparas de vapor de sodio de 150 W.

La iluminación exterior de equipos, se realizará con columnas de 12 metros de altura y proyectores cerrados equipados con lámparas de vapor de sodio de 250 W.

La instalación de alumbrado exterior, se hará con conductores de cobre tipo RHW de sección mínima No.12 AWG. Estos cables discurrirán bajo tubería de PVC enterrado a 0,50 m de profundidad.

6.9.1 Alumbrado de emergencia

Se ha previsto alumbrado de emergencia, dicha iluminación se concentrará exclusivamente en puertas, escaleras, pasillos y en general en zonas de escape o paneles en los que hubiera que realizar alguna maniobra de inspección o medida. El sistema de alumbrado de emergencia es autónomo y cumple con las prescripciones

establecidas en el artículo 700 de la Norma NOM-001-SEDE-1999.

Sus características son difusor de vidrio, acumulador estanco de niquelcadmio con cargador, que asegura la recarga de los acumuladores en menos de 24 h, con nivel medio de 5 lux para todos los pasos a iluminar en emergencia.

6.9.2 Empalmes y derivaciones

Todos los empalmes y derivaciones de la red de alumbrado, se realizarán en los cuadros y en las cajas de registros, que serán de dimensiones adecuadas a la sección del cable, por medio de bornas de apriete y rigidez eléctrica adecuada, con el fin de evitar calentamiento y perdidas de aislamiento.

6.9.3 Red General de Tierras

Además de las tierras propias de los centros de transformación, en el caso de áreas de proceso y/o servicios se ha previsto la instalación de una red general de tierras complementaria.

Con la finalidad de drenar cargas estáticas y/o descargas atmosféricas, se instalarán electrodos y anillos de conductores enterrados formando una malla alrededor de las áreas que lo requieran. Se utilizarán conductores desnudos de tamaño nominal 67.43 mm2 (2/0 AWG) para estructuras, columnas, tanques y transformadores en exteriores; para equipo eléctrico se usará tamaño nominal 33.6 mm2 (2 AWG). El cable de tierra ira enterrado aproximadamente a 60 cm, bajo nivel de piso. Los electrodos verticales del sistema de puesta a tierra serán varillas de acero con recubrimiento de cobre, tipo “copperweld” de 3 m de longitud y 19 mm. (3/4") de diámetro.

La longitud de la malla y el número de varillas será adecuado, para lograr que la resistencia a tierra de la malla sea igual o menor a 25 ohms.

Los requisitos definidos por la NOM-001-SEDE-1999 indican la necesidad de un conductor de puesta a tierra, para equipos eléctricos. En consecuencia, se dispondrá un conductor de puesta a tierra de equipos en los cables de alimentación a los motores.

En el caso de equipos no eléctricos, se conectará a tierra la estructura de acero sobre la cual están soportados. En donde se usen sistemas de soportes para cables tipo charola metálica, se deberá tener continuidad eléctrica a lo largo de todo el recorrido. Para este propósito, los conectores de unión entre tramos y accesorios de charolas serán ser del tipo atornillable, del mismo material de la charola y suministrados por el fabricante de las mismas.

Se instalarán pozos de registro para varillas que permitan pruebas periódicas. Estos pozos dispondrán de cuchillas de desconexión manual.

En las salidas del cable de conexión a tierra del piso y en lugares donde el cable de tierra este expuesto a daño mecánico, se protegerá con tubo conduit y en áreas corrosivas las partes expuestas con pintura epoxica o similar.

6.10 Planta de emergencia

La planta de emergencia estará formada por uno (1) o dos (2) (a seleccionar) grupos electrógenos de 13.2 kV, operados con diésel de potencia continua (COP), kWe de potencia prime (PRP), con potencia suficiente para cubrir las necesidades de energía eléctrica de los variadores de alta presión y de las instalaciones de la Planta Desaladora y de captación de agua de mar, para mantener la mitad de la producción de agua producto.

Por otro lado, se deberán instalar uno (1) o dos (2) grupos electrógenos de 440 V operados con diésel, con potencia suficiente para cubrir las necesidades de equipos en baja tensión de las instalaciones de la Planta Desaladora para mantener la mitad de la producción de agua producto.

Cabe destacar que, dado que la carga eléctrica a suministrar para instalaciones de osmosis, es casi constante y el periodo de tiempo considerado es prolongado, los grupos electrógenos se han elegido en función de la potencia principal Prime Power (PRP) que son capaces de suministrar, no en función de la potencia en emergencia.

Los grupos previstos están sobredimensionados, con objeto de que durante el arranque de los principales motores de la planta, la caída de voltaje no supere el 10% y la frecuencia no supere el 5%.

6.10.1 Planta de emergencia de MEDIA TENSIÓN

- Tensión alternadores: 13.2 kV
- Uno (1) o dos (2) (a seleccionar) grupos electrógenos de 13.2 kV operados con diésel de 2,000 kWe de potencia continua (COP), 2,000 kWe de potencia prime (PRP); y 2,000 kW de potencia en emergencia.

También se considera la opción de instalar grupos de baja tensión, más transformadores elevadores.

Dicha selección será efectuada cuando se disponga de los datos exactos de los motores de consumo principal.

- Arranque: Manual (Local /Remoto)
- Sincronización: Automática
- Posiciones tablero de fuerza:

- 1 Ud Entrada
- 1 Ud Protección general (Disyuntor SF6 mando motorizado)
- 1 Ud Medida usuario (3 TT, 3 TI, Analizador redes)
- 2 Ud Protección generador (Disyuntor SF6 mando motorizado)

7 Planta de emergencia de BAJA TENSIÓN

- Tensión alternadores: 440 V

- Uno (1) o dos (2) grupos electrógenos de 440 V operados con diésel de potencia adecuada al consumo de baja tensión de la planta.
- Arranque: Automático
- Posiciones tablero de fuerza:

- 1 Ud Entrada
- 1 Ud Protección general (Disyuntor SF6 mando motorizado)

- Depósito: 1,000 litros

Asimismo, se ha previsto la instalación de un depósito de gasoil de 50,000 litros, construido en acero de doble pared, tipo cilindro horizontal con pies de apoyo. La planta de emergencia de baja tensión entrará en funcionamiento de forma automática ante un fallo de suministro en la red de compañía.

Ambos grupos, se equiparán con tablero de medición, control, y transferencia, silenciadores de escape de 15 dB, silectblock para amortiguar vibraciones y chimeneas de escape.

En caso de falla del suministro por parte de CFE, el interruptor principal de la subestación se disparará, de esta manera habilitará los interruptores de los generadores y éstos (sólo los del grupo de baja tensión), se cerrarán automáticamente una vez que el generador se encuentre operando, con un sistema de monitoreo y control que se encontrara en el panel de control de los generadores, una vez que el voltaje y la frecuencia sean los adecuados este autorizara al interruptor de los generadores a cerrarse.

Una vez que se restablezca el servicio por la CFE, un relevador indicará que el voltaje y la frecuencia de CFE son estables y con un retardo de 5 minutos, se hará la retransferencia a normal y cinco minutos después el generador se apagará automáticamente. Para todos los tipos de generadores.

Debido a que este generador no soporta la carga máxima del sistema, sino que es para un 50% máximo de demanda, se instalarán unos relevadores de presencia de voltaje de CFE que en caso de falla bloquearán el arranque de algunos motores y bombas.

7.1 Sistemas de comunicaciones

7.1.1 Sistema de teléfonos

Se suministrará un sistema de teléfonos que será utilizado como medio de comunicación dentro de la planta y hacia el exterior. El sistema consistirá de un sistema PABX (Conmutador de Línea Automático Privado), con capacidad para extensiones troncales múltiples, para conexiones exteriores y rutas de conexión internas.

Los teléfonos serán instalados en las oficinas para el personal administrativo, en las oficinas para el personal de supervisión, en los cuartos de control, y en los centros de

operación.

7.2 Vida útil de los equipos principales

Los equipos principales del Proyecto tendrán una vida útil superior a la vigencia del contrato, las partes de recambio y mantenimiento necesarias para conservar y mantener la Infraestructura durante toda la vigencia del Contrato, en óptimas condiciones de operación y funcionamiento estará sujeta estrictamente al Manual de Calidad y Manual de Operación del Proyecto, que para tal efecto elaborará el Desarrollador y entregará al OOMSAPASLC, para su autorización, dentro de los primeros 30 (treinta) Días del Periodo de Operación.

Para efecto de la conservación y mantenimiento, el Desarrollador se obliga a adquirir y, en su caso, a tener en los lugares de trabajo, los materiales, insumos, aparatos, equipos y refacciones, instrumentos, controles, tuberías, herramientas y demás bienes necesarios para el funcionamiento normal y la atención preventiva y correctiva que el mantenimiento requiera, durante toda la vigencia del Contrato.

El Desarrollador estará obligado a operar el Proyecto de manera constante y continua durante el Periodo de Operación, exceptuando los periodos requeridos para conservación y mantenimiento que serán como máximo 5 (cinco) veces por año con un máximo de 2 (dos) Días por evento, salvo los eventos de Caso Fortuito o Fuerza Mayor- Cualquier falla durante el Periodo de Operación deberá ser corregida por el Desarrollador en el plazo que de común acuerdo convenga con el OOMSAPASLC; en caso contrario, y cuando éstas sean imputables al Desarrollador se procederá hacer efectivas las sanciones que le correspondan al Desarrollador en términos del Contrato.

En este orden de ideas, los equipos mecánicos rotativos serán diseñados a fin de que se adapten bien a las condiciones de trabajo (temperatrura, humedad, etc) y obligando al Desarrollador a llevar una operación y un mantenimiento adecuado garantizando alcanzar el final de su vida útil tras 25 años de servicio.

Los equipos estáticos que no sufren grandes cambios de temperatura bien diseñados que se adapten bien a las condiciones de trabajo y que han tenido una operación y un mantenimiento adecuado suelen alcanzar el final de su vida útil tras 30 años de servicio. Su principal problema suele estar relacionado con la corrosión interna o externa.

Los equipos eléctricos de alta y media tensión que se adapten bien a las condiciones de trabajo y que han tenido una operación y un mantenimiento adecuado suelen alcanzar el final de su vida útil tras 30 años de servicio, a pesar de sufrir obsolescencia tecnológica.

Para las conducciónes principales del proyecto se proponen tuberías de PVC y/o polietileno ya qye tienen una esperanza de vida útil de más de 100 años ya que son prácticamente inmunes a la corrosión y no se oxidan o reaccionan químicamente con los líquidos que transportan.

MANTENIMIENTO DE EQUIPOS PRINCIPALES			
Refaccionamiento equipos principales	**Cantidad**	**Unidad**	**Periodicidad**
Cartuchos de Osmosis	1	Lote	MENSUAL
Membranas de Ósmosis Inversa	1	Lote	MENSUAL
Equipo de Bombeo	1	Lote	MENSUAL
Elementos mecanicos (Conexiones, valvulas, tuberias)	1	Lote	MENSUAL
Elementos Electricos (Transformador, CCM, Tableros, Luminarias)	1	Lote	MENSUAL
Mantenimiento Equipo de Bombeo	**Cantidad**	**Vida útil (años)**	**Periodicidad**
Grupo motobomba centrífuga en pozo, para impulsión de agua del mar	5	25	BIMESTRAL
Grupo motobomba dosificadora para hipoclorito sódico comercial	2	25	BIMESTRAL
grupo motobomba dosificadora para ácido sulfúrico al 98%	2	25	BIMESTRAL
grupo motobomba dosificadora para el inhibidor de incrustaciones	2	25	BIMESTRAL
Grupo motobomba centrífuga. Ejecución: horizontal.	1	25	BIMESTRAL
grupo motobomba dosificadora de NaOH	2	25	BIMESTRAL
Bomba centrífuga de alta presión, para alimentación de los bastidores de O.I	2	25	BIMESTRAL
bomba centrífuga booster, para alimentación de los bastidores de O.I.	2	25	BIMESTRAL
grupo motobomba dosificadora para el inhibidor de incrustaciones	3	25	BIMESTRAL
Grupo motobomba dosificadora. membrana	3	25	BIMESTRAL
grupo motobomba centrífuga, para la impulsión de solución para la solución de lavado químico	2	25	BIMESTRAL
grupo motobomba dosificadora para hipoclorito sódico comercial,	2	25	BIMESTRAL
grupo motobomba centrífuga de agua producto	3	25	BIMESTRAL
Mantenimiento Instalaciones Electricas	**Cantidad**		**Periodicidad**
Subestacion electrica y Transformacion en Desaladora	1	30	MENSUAL
Centro de Control de Motores y Tableros	1	30	MENSUAL
Sistema de fuerza	1	30	MENSUAL
Alumbrado interior y exterior	1	30	MENSUAL
Sistema de proteccion atmosferica (Sistema de tierras)	1	30	MENSUAL

Fuente: Elaboración propia con base en proyectos anteriores

8 Descripción General de la Obra Civil

8.1 Preparación del Sitio y Movimiento de Tierras

El proceso constructivo general de la Planta Desaladora es tradicional en donde el inicio de la misma es con la preparación del sitio, ubicación de los bancos de nivel y el trazo. Se iniciará con el despalme con maquinaria.

Derivado de la topografía del terreno, previo al inicio de la construcción, se desarrollarán actividades que consistirán en la nivelación de la totalidad del terreno y cortes con su correspondiente consolidación de acuerdo con los requerimientos técnicos y arquitectónicos, que permitan el desplante de la cimentación para liberar la envolvente para el desplante de los muros de contención y colindancia

correspondientes.

Este método de trabajo generará polvos por el movimiento de tierras que serán mitigados con el humedecimiento y tendido con maquinaria.

La canalización proyectada permitirá una conducción adecuada de los escurrimientos que son transportados a través del cauce del canal de forma tal que se aseguren flujos directos.

Durante el proceso de la construcción de la canalización de encauzamiento, se llevará a cabo mediante gaviones con boleo de río de 1-1/2” que serán dispuestos en sitio; con suministros de material de banco autorizado, con ello se logrará estabilizar el talud además de permitir la permeabilidad cuando sucedan escurrimientos pluviales.

El paso se realizará mediante una estructura de concreto armado prefabricado en secciones; con un cajón de 3 m de ancho por 2 de alto, asegurando el caudal hidráulico necesario, según los estudios hidrológicos y asegurar su mantenimiento con accesibilidad para mini excavadoras.

Por el predio existe canalización de alcantarillado sanitario, el cual se procederá al desvío de la línea de conducción de aguas negras con una nueva canalización de PVC CDR 35 y pozos de registro prefabricados de concreto, siguiendo en paralelo a la canalización para después interconectarse con pozo de visita existente al centro de la colindancia oeste del predio.

Cada plataforma de desplante será en cada uno de los componentes del proyecto, tales como edificio de procesos, control, salmuera, agua producto, etc.; en vialidades se dejará preparado en la cota+ 5.40 mts.

8.2 Edificios

El conjunto de la Planta Desaladora se integra en una serie de módulos de edificios para cada una de las etapas del proceso de desalación, de las cuales a continuación se describen.

8.2.1 Tanque de captación y Bombeo

La captación de agua de mar se realizará mediante una tanque o depósito y junto al mismo se situará el bombeo de captación (ambas enterradas bajo tierra). También se incluye en el proyecto, el emisor paralelo a esta tubería, que lleva la salmuera de rechazo desde la desaladora al tramo difusor mar adentro.

Toda la estructura del cárcamo de captación y bombeo, será fabricada con muros pantalla de concreto armado y losas de concreto armado.

Los muros tipo pantalla se dividen en M-1 (altura de 20.70 mts. x ancho de 1.00 mt.) M-2 (altura de 11.86 mts. x ancho de 1.00 mt.) y M-3 (altura de 14.34 mts. x ancho de 0.80

mt.), debido a las fuerzas de presión que se ejercen al estar sumergida en condiciones de arena y agua de mar.

8.2.2 Edificios de Procesos y Control

El edificio de Procesos consta de tres cuerpos; el edificio de control, osmosis y tanque de salmuera y reactivos.

En la sala de Osmosis se ubicarán las instalaciones de chasis con los de tubos de presión y membranas, bombas de alta presión, bombas booster y depósitos.

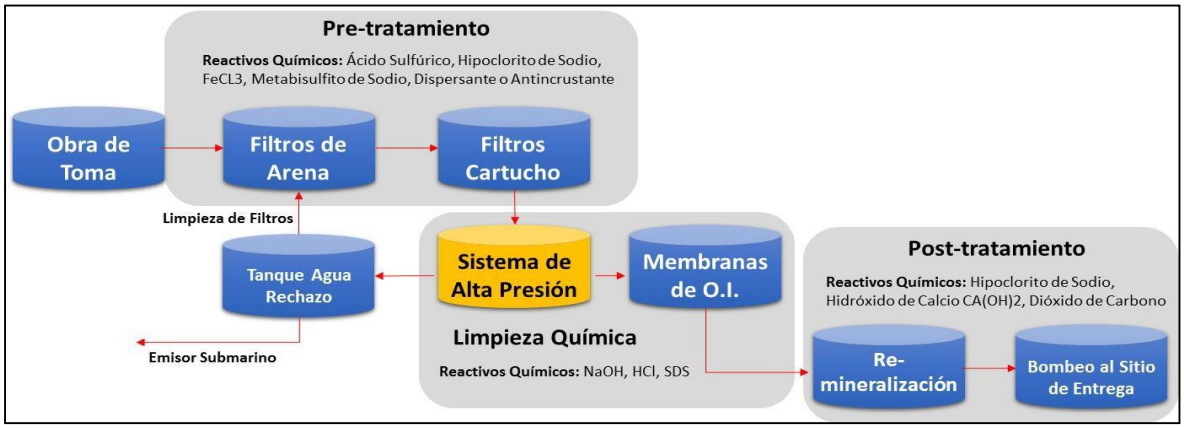
El edificio de salmuera y reactivos cuenta con área de bombeo, pozo de vaciados, pozo de salmuera, depósito de salmuera, sala CCM y edificio de reactivos.

En él edificio de control como su nombre lo dice, se alojará la sala de control, el área de personal, administración, taller y control eléctrico.

8.2.3 Sala de Osmosis

El proyecto materia del presente análisis, consiste en una Planta Desaladora con tren de tratamiento de Ósmosis Inversa y pretratamiento, con una configuración similar a la aplicada en la operada actualmente por PROMOAQUA DESALACIÓN LOS CABOS S.A. DE C.V.), (existente).

Figura 3. Configuración del tren de tratamiento fisico-químico para el proyecto.



Fuente: Elaboración propia con base en publicación World Bank Group, 2019

Como primera fase se deberá realizar el mejoramiento del material existente para apoyo de la cimentación, ya que en las condiciones actuales el suelo se encuentra propenso a licuación al someterse a sismo, por lo que se propone llevar cabo inyección de concreto para dar consolidación y mejora de la zona de apoyo de la cimentación del

edificio de Osmosis, posteriormente el retiro del material hasta la cota + 3.50, en donde apoyará la cimentación del edificio, rellenándose con material de banco hasta la cota de emplazamiento + 6.00.

Se propone una estructuración a base de marcos rígidos de acero estructural, formados por perfiles rolados de patín ancho tipo “W” en vigas principales, vigas secundarias y columnas. Las conexiones de las vigas con las columnas, serán del tipo TR Y PR, es decir resistentes a momentos, para lograr la interacción viga-columna, necesaria para formar los marcos rígidos, que no están unidos los patines de las vigas secundarias a las principales, para evitar la transmisión de momentos. La cubierta de azotea será de tipo ligera a base de panel de poliestireno recubierto de hoja de metal de 0.5 mm de espesor (calibre No.26) con color integrado de fábrica, de 1160 mm de ancho x largo variable y 50 mm de espesor (46"x largo variable x 2"). La densidad del poliestireno varía desde 16kg/m3 en edificio de control hasta 40 kg/m3 en edificio de osmosis, tanto en muros como en techo, está se encontrará soportada por elementos metálicos del tipo Monten, mismo que descansarán sobre las vigas principales de los marcos metálicos de dicha estructura.

Para la cimentación, se propone zapatas corridas de concreto armado que alojarán los dados para la conexión de las columnas metálicas, realizando una distribución de cargas lineal hacia el terreno. En la zona de los chasis, se propone una cimentación superficial a base de losa de corrida de concreto reforzado, que distribuirá las cargas de los puntos de apoyo de los chasis hacia el terreno.

El edificio contará de una envolvente de lámina lisa con acabado en color y alma de poliestireno de 5 cms. de espesor de alta densidad, para que los ruidos generados por los equipos estén por debajo de los señalados de 65 dB en el Reglamento para el Control de la Calidad Ambiental del Municipio de Los Cabos, Baja California Sur. El módulo está fijado a un bastidor metálico modulado de acuerdo a las medidas del panel prefabricado. Los muros perimetrales serán de concreto armado hasta una altura promedio de 1.50 mts., de concreto, para dar continuidad a dicho panel.

Los firmes son de concreto armado acabado pulido, con cortes de junta de contracción y dilatación con cintillas de neopreno y sellador vinílico. La trinchera de conducción de instalaciones electro mecánicas, son de concreto armado accesibles con tapas pre fabricadas de fibra de vidrio.

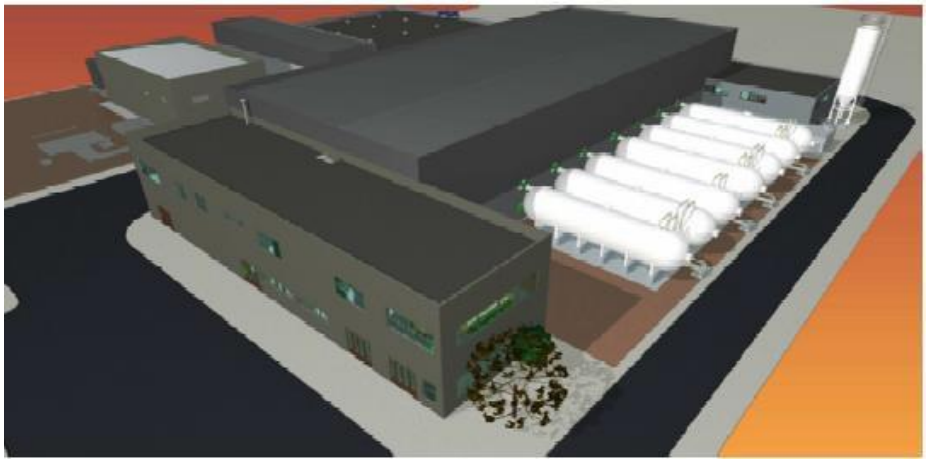
La ventanería y cancelería constará de perfiles de aluminio y vidrio natural fabricado en medidas estándar en campo. Se dispondrá con puertas de acceso a nave, la cuales serán de cortina metálica pre fabricada, acabado en pintura automotriz en colores similares a la fachada.

8.2.4 Edificio de control

Consta de dos niveles con accesibilidad desde el exterior y desde la sala de Osmosis. En planta baja consta de vestíbulo de acceso, recepción, escaleras y elevador a planta alta, área de empleados con sanitarios, regaderas, comedor y resguardo, también

tendrá almacén, talleres y sala de control eléctrico y datos (CCM). En planta alta, se encuentra la sala de reunión, de control, despachos, sanitarios adaptados para personas con movilidad reducida, almacén, vestíbulo, un laboratorio, pasillos y acceso a azotea con escotilla.

Figura 4. Vista frontal del edificio de control.



Fuente: Elaboración propia con base en desalinizadoras existentes, CEABC

La sala de control es la más importante del edificio, desde ahí se controlará la operación de la nave de Osmosis, en la cual se efectúa el trabajo principal de desalación de agua de mar. La sala tiene comunicación visual a través de un ventanal físico y de una escalera de servicio.

La plataforma de desplante del edificio será de material de banco con las mismas características indicadas para el edificio de procesos.

La cimentación se llevará a cabo mediante losa de cimentación de concreto reforzado, que distribuirá las cargas al terreno. Las columnas se desplantarán sobre dados de concreto, ligados mediante trabes de cimentación para generar los tableros de trabajo de las losas.

Se propone una estructuración a base de marcos rígidos de acero estructural, formados por perfiles rolados de patín ancho tipo “W” en vigas principales, vigas secundarias y columnas. Las conexiones de las vigas con las columnas, serán del tipo TR y PR, es decir, resistentes a momentos, para lograr la interacción viga-columna, necesaria para formar los marcos rígidos, que no están unidos los patines de las vigas secundarias a las principales, para evitar la transmisión de momentos. Los entrepisos serán de tipo “losacero” a base de lámina galvanizada de sección compuesta de lámina zintro g-90 cal.22, f’y=37 ksi y colado de concreto reforzado.

Los muros exteriores serán de concreto armado hasta una altura de 60 cms. (a modo de rodapié) y sobre ésta una estructura a base de polín metálico de 20x5 cms., en el cual se sujetará un panel de poliestireno recubierto de hoja de metal de 0.5 mm de

espesor (calibre No.26) con color integrado de fábrica de 1160 mm de ancho x largo variable.

Los muros interiores serán a base de muros ligeros de metal, sistema forrados con panel de yeso y aislante R-19 en espesores de 15 cms., acabado en pintura vinílica aulada.

Los pisos técnicos sólo se dispondrán en la sala CCM y de Control. En las áreas administrativas y de empleados serán con loseta rectificada junteada con mortero de cemento plástico con boquilla en juntas sin arena.

La ventanería y cancelería será de perfiles de aluminio natural y vidrio tintex de 6 mm de espesor fijado con tornillería y sellado de juntas en medidas estándar fabricado en obra.

Las puertas serán prefabricadas con marco y puertas metálicas rellenas con aislante en acabado esmalte en colores corporativos. En el acceso principal la puerta es de marco de aluminio y vidrio natural de 6 mm según fachada, además constará de un pórtico suspendido con cubierta de policarbonato de 6 mm translucido y bastidor metálico acabado en pintura automotriz.

Las escaleras están dimensionadas conforme al reglamento de edificaciones con peraltes de 16.7 cm., y huellas de 30 cms.; también se dispondrá de ascensor para 4 ocupantes y capacidad para personas de movilidad reducida.

En la sala CCM, se encuentran las celdas (baterías) y tableros eléctricos. Se construirá muro de bloque de concreto en todo su perímetro interior como protección contra propagación de incendios.

El laboratorio físico químico en planta alta llevará un muro de lambrín de bloque de 10x20x40 cms., revestido de azulejo de cerámica color blanco unido con cemento plástico (mortar) con boquilla blanca sin arena hasta una altura de 2.40 mts.

Los pisos llevarán baldosa de cerámica gris, salvo zona de taller que estará acabado en concreto aparente semi-pulido y sala eléctrica que será construido con suelo técnico.

El techo se cubrirá con falso techo desmontable modular con herrajes de aluminio esmaltado y placas de plástico salvo en taller, almacén y sala de CCM.

En cubierta se dará pendiente para los escurrimientos pluviales con placa rígida de poliestireno expandido de 5 cms. de espesor con una densidad de 16 kg/m3, con una capa de concreto aligerado de 5 cm de espesor promedio, con una capa de tapa poro y cartón APP de 4.5 mm con gravilla en color blanco.

8.2.5 Tanque de Salmuera y edificio de reactivos

Está conformado por dos niveles, destinado a uso como depósito y área de neutralización en el nivel inferior y edificio de reactivos en la superior.

La cimentación se llevará a cabo mediante losa de cimentación de concreto reforzado, que distribuirá las cargas de los muros al terreno. Algunas de las columnas del edificio se desplantarán mediante zapatas aisladas de concreto armado, y otras directamente sobre los depósitos inferiores.

En el nivel superior, se propone una estructuración a base de marcos rígidos de acero estructural, formados por perfiles rolados de patín ancho tipo “W” en vigas principales, vigas secundarias y columnas. Las conexiones de las vigas con las columnas, serán del tipo TR y PR, es decir, resistentes a momentos, para lograr la interacción viga-columna, necesaria para formar los marcos rígidos, que no están unidos los patines de las vigas secundarias a las principales, para evitar la transmisión de momentos. La losa de azotea será de tipo “losacero” a base de lámina galvanizada de sección compuesta de lámina zintro g-90 cal.22, f’y=37 ksi y colado de concreto reforzado.

El nivel inferior de la edificación, se utilizará como depósito de salmuera y balsa de neutralización, se propone una estructuración a base de muros de concreto reforzados, que recibirán a las columnas de acero del nivel superior, además se utilizarán para generar las contenciones existentes generadas por los empujes del terreno y los fluidos. En entrepisos se propone losa maciza de concreto reforzado, que transmitirá las cargas a los muros perimetrales. Dicho concreto tendrá características para soportar altos grados de salinidad.

Los muros se dispondrán de concreto armado, para el depósito de salmuera y el segundo nivel en interiores, será de muros de bloque hueco de cemento arena con dimensiones de 20x20x40 cms., junteado y aplanado con mortero cemento arena prop. 1:3. En muros perimetrales, se forrará en el interior con placas de cemento de 122 x 244 cms. de 1.2 cms. de espesor y por el exterior con muros de panel de poliestireno recubierto de hoja de metal de 0.5 mm de espesor (calibre No.26), con color integrado de fábrica, de 1160 mm de ancho x largo variable montado en una estructura de polines de 20 cms.

Para medir la cantidad y calidad del efluente que sale de la planta, se dispondrá de dos (2) caudalímetros (FIT 147 y FIT 148) dos (2) medidores de conductividad (CIT 124 y CIT 125) y dos (2) pH-metros (PHIT 109 y PHIT 110) que serán instalados en la tubería de descarga. Las medidas generadas por estos instrumentos quedarán registradas en el sistema de control y producirán alarma si alguna de las medidas está fuera de los rangos prefijados.

Figura 5. Descarga de salmuera.

Fuente: Fotografía con base en proyectos anteriores, OOMSAPASLC.

8.2.6 Depósito de agua producto

El agua producto generada por el proceso de osmosis inversa y ajustada en parámetros, mediante el post-tratamiento es almacenada en un depósito de 5,500 m3 de capacidad. Este depósito está dividido en dos compartimentos o depósitos independientes que permiten la utilización de uno de ellos, mientras el otro está en actividades de limpieza y/o mantenimiento.

Anexo a los depósitos se encuentra la sala de bombas y mantenimiento (con grúa viajera) y la sala eléctrica (CCM), conformada por una estructuración a base de marcos rígidos de acero estructural, formados por perfiles rolados de patín ancho tipo “W” en vigas principales y columnas. Las conexiones de las vigas con las columnas, serán del tipo TR y PR, es decir, resistentes a momentos, para lograr la interacción viga-columna, necesaria para formar los marcos rígidos, que no están unidos los patines de las vigas secundarias a las principales, para evitar la transmisión de momentos.

Figura 6. Bombas de impulso al tanque de almacenamiento.
Fuente: Fotografía con base en proyectos anteriores, OOMSAPASLC.

La cimentación se llevará a cabo mediante losa de cimentación de concreto armado de 30 cms. de espesor, que distribuirá las cargas de los muros al terreno. Las columnas se desplantarán sobre la losa de cimentación.

La losa de azotea, como ya se mencionó es de tipo alveolar prefabricada con una capa de concreto armado con malla electrosoldada 6-6/6-6, f'y=5200 kg/cm2., de 5 cms. de espesor promedio. Se dará pendiente para los escurrimientos pluviales. La losa de depósitos cuenta con ventilas mecánicas para evaporación del agua producto.

En muros perimetrales de zona de bombas se forrará en el exterior con muros de panel de poliestireno recubierto de hoja de metal de 0.5 mm de espesor (calibre No.26), con color integrado de fábrica, de 1160 mm de ancho x largo variable montado en una estructura de polines de 20 cms.

En muros de la sala CCM, se dispondrán muros de tabique hueco de cemento arena con una envolvente a base de placas de panel de poliestireno, recubierto de hoja de metal de 0.5 mm de espesor (No.26), con color integrado de fábrica, de 1,160 mm de ancho x largo variable y 50 mm de espesor (46"x largo variable x 2").

Las puertas de acceso y para movimiento de carga serán metálicas enrollables, con acabado en pintura anticorrosiva de cromato de zinc y pintura automotriz en colores similares a envolvente arquitectónica del edificio. Existe una sola ventana, se ubica en la sala CCM, será de aluminio natural y vidrio natural de 6 mm de espesor en medidas estándar fabricado en obra. Se dispondrán de ventilas a base de rejillas metálicas en envolventes de muros.

8.2.7 Filtros de arena

Los filtros de arena están ubicados junto a los edificios que forman Procesos (Control, Osmosis y Salmuera), no tienen techumbre y están montados sobre bases de concreto armado, apoyadas sobre una losa de cimentación de 25 cm de espesor, diseñada para las flexiones que se generen.

Figura 7. Filtros de arena

Fuente: Imagen representativa con base en proyectos anteriores.

8.2.8 Subestación eléctrica

La construcción de la sub-estación eléctrica, las líneas de alimentación serán subterráneas con pozos de visita prefabricados de concreto armado bajo norma de CFE. La subestación contiene varios elementos; edificio de celdas, un transformador con depósito de aceite y demás equipos necesarios.

La estructura del edificio de celdas se conforma de columnas y trabes metálicas, con una envolvente de bloque de 15x20x40 cms., con aplanado con mortero cemento arena en la parte interior, con pintura lavable de color blanco. En la parte exterior, se sujetará al muro de bloque, lamina tipo Pintro Cal.26 sobre bastidor metálico de 25x25 mm.

Esta zona cuenta con un vial de acceso y maniobra de los vehículos. Perimetralmente tendrá cerco de postes galvanizados y reja de metal con protección a la intemperie.

8.2.9 Pavimentación y áreas verdes

El acceso vehicular estará pavimentado con concreto tipo MR-45 de 20 cms. de espesor; en módulos de 3.00 x 3.00 mts.; calculado para superficies en rodamiento. El área de circulación vehicular estará separada de las aceras por bordillo de concreto, igual que de las áreas verdes. Esté área de circulación estará dotada de una red de alcantarillas, tubería de PVC y pozos, para el manejo de aguas pluviales que se recogerán y evacuarán fuera de la planta.

Las áreas verdes serán tratadas con tierra vegetal, a fin de mejorar el suelo natural,

para propiciar la forestación que será principalmente las indicadas en el resolutivo del manifiesto del Impacto Ambiental. En el perímetro del predio, se edificará un muro de bloque común con textura rematado con un repisón de concreto armado en las colindancias norte, sur y este. El lado oeste de acceso principal será de herrería. El acceso a la planta será a través de una puerta corredera manual para vehículos y otra peatonal.

8.2.10 Arquitectura e integración con el entorno

En área donde se desarrollará el proyecto, es una zona totalmente impactada por el desarrollo urbano, comercial y de industria maquiladora. El área colindante, tiene usos de suelo, industrial, equipamiento, comercial y de servicios de acuerdo a lo que establece la Carta Urbana de Los Cabos, B. C.S.

Los materiales utilizados para la construcción, principalmente en la zona comercial e industrial serán a base de estructuras metálicas forradas, con materiales ligeros y en algunos casos prefabricados con acabados arquitectónicos como el aluminio esmaltado (Caliente, Comercial Mexicana entre otros), panel cemento, vinílicos cuya tipología arquitectónica es regional comúnmente conocida como “Californiana” (Macro plaza y sector de viviendas), por el hecho de estar cercanos a la influencia de la frontera con el Estado de California en E.U.A.

8.2.11 Urbanización

La urbanización constará del trazo de acceso a predio con sección de 7.00m, y viales interiores de 5m de ancho mínimo y al menos 10.40m de radio de giro con un trazo de 3 manzanas, con áreas verdes en sus extremos.

El acceso a la planta desoladora, se dará mediante una integración vial de 109.50m de largo con ancho de 4.00 m, considerando radios de giro de 10.40 m, el portón principal será a base de solera metálica y bastidores de PTR de diferentes tamaños, con dimensiones de 9.50 m de largo x 3.05 m de alto, contará con una puerta de acceso peatonal fabricada del mismo material con dimensiones de 1.10 m de ancho x 2.40m de altura.

También se incluye el diseño de la red de aguas pluviales, aguas sanitarias de edificios y la red de agua potable que alimenta los edificios para uso del personal. Esta red de agua potable, se abastecerá con el agua de la propia planta mediante un grupo de presión y tendrá la acometida redundante con la red del municipio.

8.2.12 Sistema de detección, combate y alarmas contra incendios

El sistema se diseña e instala con el propósito de lograr la detección temprana de humos producto de combustión abierta, su adecuada anunciación, generación de alarma para oportuna y segura evacuación de personal y el control y combate oportuno del fuego, evitando al máximo la pérdida o daño de bienes materiales y de la vida humana.

Los alcances de este diseño agrupan las siguientes instalaciones:

1. Instalaciones de captación y bombeo de agua de mar.
2. Edificio de control.
3. Edificio de proceso (ósmosis)
4. Instalaciones de agua producto.
5. Instalaciones de salmuera y neutralización.
6. Instalaciones de subestación y tableros eléctricos primarios.
7. Caseta de vigilancia y control de acceso.

8.3 Modificaciones y ampliaciones futuras

En la etapa de concepción del sistema de la Planta Desaladora, se ha considerado el dotar a ésta de la máxima flexibilidad posible, para realizar modificaciones y ampliaciones en el futuro.

9 Obras e instalaciones fundamentales que integran el Proyecto

Las infraestructuras generales tales como, captación de agua de mar, emisario de rechazo de salmuera, conducciones de agua de mar a la Planta Desaladora, filtros de arena, filtros de cartucho y conducciones generales de las diferentes etapas de tratamiento dentro de la Planta Desaladora, se han diseñado para la máxima producción de agua potable. Las obras e instalaciones fundamentales que integran el Proyecto pueden dividirse en:

- Captación de agua de mar.
- Bombeo y conducción de agua de mar a la planta.
- Planta de Osmosis Inversa.
- Post-tratamiento del agua osmotizada.
- Depósito y bombeo de agua producto.
- Impulsión del agua tratada al Tanque de El Gallo y Conducción del agua tratada desde el Tanque de El Gallo hasta los depósitos Márquez de León y Revolución.
- Conducción de agua de rechazo desde la Planta hasta el punto de evacuación.
- Obra civil auxiliar (edificios, accesos, viales, redes de servicios, etc.).
- La conducción de captación de agua de mar y de vertido de salmuera. A la hora de diseñar y de proyectar esta instalación, se han considerado en este proyecto constructivo los siguientes objetivos básicos:

  - Realizar una correcta distribución de los distintos componentes de la Planta, teniendo en cuenta la secuencia lógica del proceso, la seguridad de funcionamiento, la obtención de una explotación fácil y eficaz y las características topográficas y geotécnicas de los emplazamientos.
  - Dotar a las instalaciones de la flexibilidad suficiente, para facilitar las maniobras de operación, al igual que de las condiciones máximas de seguridad y de fiabilidad.
  - Dar una calidad a las obras civiles, equipos e instalaciones que permitan una relación calidad-precio que se ajuste a este tipo de obras, atendiendo sobre todo a asegurar la calidad y producción requeridas.
  - Dotar a las instalaciones de la flexibilidad suficiente para facilitar las maniobras de operación y mantenimiento, sin menoscabo en la producción.
  - Dimensionar los equipos minimizando los consumos, pero con la suficiente flexibilidad para observar las posibles variaciones sobre los parámetros fijados.
  - Instrumentar y automatizar la Planta para que la operación sea sencilla y segura.
  - Integrar la Planta Desaladora en los terrenos seleccionados de manera que forme un conjunto armónico, tanto en equipos mecánicos como en el acabado de edificios, resto de instalaciones y obra civil.
  - Minimizar el impacto ambiental de las instalaciones, para garantizar su plena integración en el entorno en las mejores condiciones.
  - Finalmente, proporcionar una calidad a los trabajos de ingeniería adecuados a las condiciones del funcionamiento y del emplazamiento.

10 Descripción técnica de la instalación y de los equipos

10.1 Captación De Agua De Mar

La captación tiene como finalidad hacer llegar a la Planta Desaladora, el agua de mar de la mejor calidad posible, sin materia en suspensión, sustancias orgánicas, metales pesados y elementos poco solubles, que pudieran condicionar a la larga el funcionamiento de la planta.

La captación se compone de las secciones siguientes:

- Torre de toma para la entrada de agua de mar y ducto submarino de agua de mar.
- Tanque de captación y bombeo de agua de mar.
- Tubería de impulsión de agua de mar a la Planta Desaladora.
- Dosificación de hipoclorito sódico.

Figura 8. Captación de Agua de mar

Fuente: Google Earth con base en informacion de OOMSAPASLC

10.1.1 Torre de toma y conducción de agua de mar

Se procederá a instalar esta captación a una distancia de la línea costera de 1,946 m y batimétrica de 25.00 m. Las ventanas de captación se situarán a una altura adecuada del fondo marino, con el fin de evitar al máximo la entrada de sólidos en suspensión en el circuito hidráulico. La obra de la captación (torre de toma), se construirá en concreto armado, de 7 m de diámetro y 5 m de altura. Esta estructura se concibe de tal forma que se construye en la superficie y que más tarde se pondrá a flote, se remolcará y se fondearán en su posición final.

La conducción de captación de agua de mar está formada por una tubería de polietileno de alta densidad (PEAD) de DN 48” (1,219.2 mm) SDR 32.5. Para dar peso a las tuberías en la fase constructiva, se propone lastrar mediante elementos de concreto armado prefabricados. Su forma dependerá de la posición de la tubería.

10.1.2 Tanque de captación y bombeo de agua de mar (Cárcamo de bombeo)

El agua captada en la torre de toma será conducida a través del ducto submarino de PEAD de 48” (1,219.2 mm de diámetro) a su descarga en el tanque de captación, ubicado en el interior del edificio de bombeo de agua de mar. De este tanque aspiran las bombas de agua de mar e impulsan el agua de mar a través de un ducto hasta los filtros situados en el interior del predio de la desaladora.

Este edificio además de cumplir la función de estación de bombeo, realiza la labor de alojar el sistema de dosificación de hipoclorito sódico, los transformadores y los cuadros de control de motores (CCM).

El edificio de cárcamo de captación cuenta con una única cámara de agua o cámara de aspiración, la cual es la encargada de recibir el agua del ducto submarino de captación. Para el diseño de esta cámara, se ha considerado el nivel mínimo de agua durante la bajamar y pleamar media, así como la pleamar y bajamar extraordinaria. En el interior de este edificio de captación, se encuentran las bombas de agua de mar y el dispositivo para el control del golpe de ariete (tanque pneumático con aire comprimido de 8,000 litros).

La estación de bombeo queda constituida por un recinto apantallado correspondiente a la cámara de aspiración, dicho recinto tiene situada su solera bajo el nivel freático (cota- 7.60).

La zona de bombeo está situada a la cota a la cota –1.54 (nivel de solera). En este mismo nivel se localizan el tanque pneumático para control del golpe de ariete y el depósito de hipoclorito. El acceso al edificio se encuentra a nivel del terreno a la cota +7.30. Para el bombeo de agua de mar, se instalarán tres (3) bombas centrífugas (una de reserva) de caudal unitario 1,085 m3 /h a 78.5 mca (ítems 12-P01 A/B/C). Estas bombas estarán equipadas de un variador de frecuencia, para el control de su funcionamiento. Este variador regulará el funcionamiento, para mantener la presión de alimentación a las bombas de alta presión). La conducción de impulsión de agua que transporta este fluido a la Planta Desaladora tendrá 1,219.2 mm de diámetro y estará fabricada en PEAD.

10.1.3 Dosificación de hipoclorito sódico

La práctica indica que el agua de mar procedente de toma abierta contiene más materia orgánica y sólidos en suspensión que la procedente de pozos playeros. Por este motivo se prevé una dosificación en continuo. El depósito del hipoclorito sódico instalado al interior del edificio asociado con el tanque de captación y bombeo. La dosificación prevista es del orden de 2 a 3 partesr por millón (ppm).

El tanque de hipoclorito sódico estará situado en el interior del edificio asociado con el tanque de captación y bombeo y tendrá capacidad de diseño suficiente para contener todo el hipoclorito sódico en él almacenado en caso de fuga. Este cubeto estará construido con materiales resistentes a la acción del hipoclorito sódico.

Para dosificar hipoclorito sódico en el agua de mar se dispondrá de dos bombas dosificadoras (BD-101-A/B) de capacidad nominal 36 l/h. Las bombas dosificadoras son de tipo desplazamiento positivo, regulable desde el 10% al 100% y provisto de servomotores eléctricos para ajuste automático de la dosificación. El accionamiento del servomotor se hará desde el panel de control.

10.1.4 Descripción de elementos de captación

✓ Ducto submarino de captación

Esta parte del proceso se diseña para el caudal máximo (300 l/s), y consta de:

- Diámetro del inmisario de captación.....48”(1,219 mm)
- Material inmisario de captación .....PEAD
- Longitud del inmisario de captación.....1,657 mts

✓ Bombeo de captación:

- Tanque de captación construido en concreto armado.
- Bombeo de captación de agua de mar mediante tres (3) bombas centrífugas verticales (ítem 12-P01 A/B/C), una (1) en reserva para caudal nominal, de 1,085 m³/h a 78.58 mca, equipadas con variador electrónico de frecuencia. En la impulsión de las bombas se instalarán las correspondientes válvulas de retención y una válvula de mariposa de accionamiento motorizado. La instalación de válvulas motorizadas en la impulsión de las bombas permite, realizar el arranque de las bombas con la válvula cerrada y su posterior apertura lenta, evitando aumentos bruscos de presión en la tubería de impulsión.
- Todas las conducciones, tanto las de aspiración como las de impulsión, están realizadas en poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)

Las bombas, debido al NPSH requerido y a la diferencia de cotas entre nivel de pleamar extraordinaria (+1,90) y nivel mínimo en el tanque con planta en funcionamiento al caudal máximo y bajamar extraordinaria (-5,60 m), no pueden instalarse sobre la losa de cierre superior del tanque, por tanto, se instalan en el lateral del mismo, conectando, la tubería de aspiración mediante pasamuros en el muro del tanque.

- Para permitir el cebado de las bombas se instala un (1) grupo de vacío (ítem 12-VP 01). Este grupo de vacío dispone de un tanque pneumático del que aspiran dos (2) moto- compresores, uno en reserva, hasta crear un vacío determinado. El tanque pneumático se conecta con la parte superior de las tuberías de aspiración de las bombas, mediante tubería de Polipropileno. En la conexión con cada tubería, la línea de cebado incorpora una válvula de aislamiento de bola motorizada y una lira,

para evitar que pueda llegar agua de mar hasta el tanque pneumático. De esta forma y dado que la tubería de aspiración de las bombas siempre está sumergida, con independencia del nivel en la cántara, el rodete de las bombas está permanentemente inundado.

(1) Para el mantenimiento de los equipos de este edificio de captación se instalará un puente grúa (ítem 12 L01), con una capacidad de 9,000 kg.

- Sistema anti-ariete en la impulsión formado por un (1) tanque hidroneumático de 8 m³ de volumen (ítem 12 T-02).
- Una (1) bomba de achique (ítem 12 P02), para la cámara de bombas de captación. Esta bomba tiene las siguientes características: caudal: 15 m3/h y presión de impulsión: 15 m.c.a

✓ Dosificación de hipoclorito sódico:

Los equipos de almacenamiento y dosificación de hipoclorito en esta parte de la instalación consistirán en:

- Un (1) depósito de almacenamiento (ítem 14-T01) de 15 m^3 capacidad unitaria, cilíndrico, horizontal, construido en poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), provisto de indicador- transmisor de nivel, interruptores de nivel máximo y mínimo y tuberías de rebose y vaciado.
- Dos (2) bombas dosificadoras de membrana hidráulica (ítem 14-P01 A/B/C), una en reserva, de 10 a 100 l/h de caudal unitario, con una presión de impulsión de 10 bar y provistas de regulación de caudal manual.
- Un (1) conjunto de tuberías y válvulas de Polipropileno para distribución del hipoclorito

✓ Conducción de impulsión de agua de mar

- Diámetro nominal ..... 48”(1 291.2 mm)
- Material..... PEAD
- Longitud ..... 1410 mts

10.2 Pretratamiento

El pretratamiento del agua de mar sirve para garantizar las condiciones óptimas del agua de alimentación de las membranas de la ósmosis inversa, tanto desde el punto de vista de las propiedades físicas como químicas.

Con el fin de garantizar un equipo apropiado de instalación, ante cualquier eventualidad que pudiera surgir con el agua bruta a tratar y en particular con los posibles contenidos que presentan en TOC (carbono orgánico total), hierro y manganeso, se ha previsto instalar un pretratamiento completo con las etapas siguientes:

- Dosificación de ácido sulfúrico.
- Dosificación de hipoclorito sódico.
- Dosificación de coagulante (cloruro férrico).
- Filtración en lecho de arena.
- Filtración en lecho de arena-antracita
- Equipo de lavado de los filtros.
- Dosificación de bisulfito sódico.
- Dosificación de inhibidor de incrustaciones.
- Filtros de cartuchos.

A la salida del agua de los filtros de cartuchos se dispondrá de los sensores necesarios, para determinar que los valores de los parámetros principales (Temperatura, redox, conductividad, pH, SDI, turbidez y cloro), sean los adecuados y aseguren el correcto funcionamiento del ósmosis inversa.

10.2.1 Dosificación de ácido sulfúrico

Con el fin de evitar la precipitación de carbonato cálcico en las membranas al concentrar el agua de mar, se debe corregir el pH de la misma. Al disminuir el pH del agua de mar se reduce la concentración de carbonatos en el agua, ya que estos se transforman en bicarbonatos más solubles.

La adición de ácido produce además anhídrido carbónico suficiente para la posterior re mineralización del agua con hidróxido cálcico.

Para la corrección del pH se utiliza ácido sulfúrico (98%).

El tanque de ácido sulfúrico estará situado dentro un cubeto con capacidad suficiente para contener todo el ácido en él almacenado en caso de rotura. Este cubeto estará construido de materiales resistentes a la acción del ácido sulfúrico.

Para la dosificación del ácido en el agua de mar se dispondrá de dos bombas dosificadoras (BD-105 A/B) de capacidad máxima de 62 l/h, siendo una de ellas de reserva.

Las tuberías del sistema de dosificación serán de acero al carbono.

La inyección del ácido sulfúrico en la tubería de alimentación a los filtros se realizará a través de una caña de inyección de teflón.

La finalidad de esta reducción de pH es triple:

- Mejorar la acción bactericida del hipoclorito sódico trabajando a pH bajo.
- Impedir la precipitación del carbonato cálcico ($CaCO_3$) en el interior de las membranas.
- Aumentar el contenido en anhídrido carbónico (CO_2) del permeado reduciendo así su consumo.

Para evitar la precipitación del $CaCO_3$ sobre las membranas, es necesario que el rechazo posea un índice de Stiff and Davis (S&DSI) negativo. La consecución de este índice exige la adición de ácido al agua de mar para rebajar su pH.

Dado que el rechazo de boro de las membranas aumenta según aumenta el pH, se considera la dosificación de este reactivo durante la dosificación continua de hipoclorito sódico, aunque se incluye la instalación de almacenamiento y dosificación por si las condiciones del agua de mar aconsejan su utilización.

El ácido sulfúrico se ha previsto dosificarlo directamente en la conducción general de entrada de agua bruta a la Planta Desaladora, en un mezclador estático (ítem 21 M01). Con los análisis de agua de mar disponibles y según se desprende de la simulación realizada por ordenador, el consumo aproximado de ácido sulfúrico es de 10 mg/l de producto puro (al 100%).

10.2.2 Dosificación de hipoclorito sódico

En el mezclador de entrada a los filtros de primera etapa, hay un punto de inyección de hipoclorito sódico. El sistema de almacenamiento para esta inyección de hipoclorito es el mismo que el que se emplea en el post-tratamiento.

10.2.3 Dosificación de coagulante (cloruro férrico)

Considerando la calidad del agua captada a través de una toma abierta, será necesaria la dosificación de coagulante (Cloruro Férrico), para la eliminación de elementos coloides y materia en suspensión mediante la formación de fóculos que serán retenidos en los filtros de arena. La adición del producto se llevará a cabo en línea lo más alejado posible de los filtros de arena, para favorecer la mezcla del coagulante con el agua y alargar al máximo el tiempo de reacción en el agua antes de llegar a los filtros de arena.

Para la dosificación del coagulante se dispondrá de dos bombas dosificadoras (BD 104)

A/B) (una en reserva) de capacidad máxima de 126 l/h. Los depósitos de dilución son de PRFV y las tuberías del sistema de dosificación de PVC.

10.2.4 Filtración

Para eliminar las partículas en suspensión, el agua de mar se filtra en filtros de arena.

La filtración, se encarga de eliminar la materia en suspensión que transporta el agua. Se contará con 7 filtros horizontales a presión que presentan una capa soporte de grava con talla efectiva de 3 mm de 300 mm de altura más 800-900 mm de arena de talla efectiva 0.45 mm.

Estos filtros son de 3 m de diámetro y 11 m de longitud por lo que presentan una superficie filtrante unitaria media de 33 m2 y por tanto cada uno de ellos presentará las siguientes velocidades de funcionamiento:

- 9.87 m3/m2·h con todos los filtros en operación (menor que 11 m/h).

- 11.15 m3/m2·h con un filtro en lavado y 13.81 m3/m2·h con dos filtros en lavado (menor que 15 m/h).

Los filtros son de diseño cilíndrico horizontal a presión, con fondo semiesféricos y estarán construidos en poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV).

Los filtros estarán montados en paralelo, de forma que el caudal de agua de mar a filtrar se reparte entre todos ellos.

Este tamaño de filtro ha sido probado con eficacia en gran cantidad de plantas de osmosis inversa, asegurando que con estas dimensiones y una operación correcta de lavado de los mismos, no se producen caminos preferenciales en lecho de arena, ni pérdidas de carga importantes.

Cada filtro dispone de un total de 50 boquillas por metro cuadrado de superficie filtrante. Estas boquillas impiden el paso de arena y la pérdida de carga que generan es la mínima posible. Las boquillas son de material plástico resistente al agua de mar y no degradable por esta.

Cada filtro alberga en su interior una placa soporte equipada con las correspondientes boquillas sobre la cual se sitúa el lecho filtrante (antracita y arena o arena en la primera y segunda etapa, respectivamente).

Los filtros están dotados de elementos de seguridad contra sobrepresiones, por medio de discos de ruptura calibrados de forma que nunca se alcance una presión superior a la de diseño.

El lavado de los filtros de arena se realizará con la salmuera de rechazo de las membranas. Los filtros estarán dotados de elementos de seguridad contra sobrepresiones por medio de discos de ruptura calibrados de forma que nunca se alcance una presión superior a la de diseño.

10.2.5 Lavado de filtros

La necesidad de lavado de los filtros se puede controlar desde el sistema de control (DSC): Cuando la presión diferencial entre la entrada y la salida de los filtros alcance 0.81 kg/cm2, aparecerá una alarma en las pantallas de control, indicando que es preciso lavar el lecho filtrante. El lavado se efectuará de forma automática con agua y aire.

El lavado deberá realizarse, igualmente, cuando el "índice de atascamiento" (S.D.I.) del agua filtrada se encuentre fuera de los límites admisibles. Lo normal; sin embargo, en este tipo de plantas es lavar secuencialmente los filtros cada cierto número de horas, con independencia de su pérdida de carga o del índice de atascamiento, ya que no suelen alcanzarse los valores prefijados. De todas formas, la frecuencia real de lavado sólo podrá determinarse una vez que la planta entre en funcionamiento.

El lavado de los filtros se realizará con salmuera de rechazo, para evitar los desarrollos biológicos en el lecho filtrante. Dicha salmuera produce grandes choques osmóticos en los organismos vivos impidiendo su agrupación y desarrollo.

La salmuera empleada en el lavado de los filtros proviene del proceso de ósmosis (rechazo de las membranas). La distribución de los colectores, tanto del agua a filtros, como del agua de lavado, se efectúa pensando en la facilidad de la maniobrabilidad ante cualquier operación de funcionamiento o de mantenimiento.

Para este proceso de lavado la planta dispone de un depósito de acumulación de salmuera (25 T03) y de unas bombas de lavado (25 P01 A/B). El caudal de diseño de lavado (905 m3/h) es suficiente para que la velocidad del lavado sea de 20 m/h, la cual es adecuada para producir un lavado eficaz. Esta velocidad se asegura mediante el caudal de lavado alimentado al filtro.

Este caudal de lavado (velocidad de lavado) puede ajustarse desde el puesto de operación, ajustando el funcionamiento de las bombas de lavado mediante su variador de frecuencia. Una vez que el filtro ha sido lavado será enjuagado o aclarado, usando agua de mar que se bombeará desde la captación (bomba de agua de mar de reserva). El uso para agua de lavado del rechazo de membranas implica un ahorro energético, y de productos químicos.

Además del aporte de agua de lavado mediante el sistema descrito, se dispone de dos sopladores (25 KV01 A/B), una en operación y otra en reserva con un caudal de aire de 2.750 Nm3/h y una presión diferencial de 0.6 bar.

La inclusión de los sopladores permite asegurar un lavado efectivo, así como un ahorro notable en las aguas de lavado. Cada soplante dispone de su correspondiente filtro de aire, silenciador de ruidos, válvulas de seguridad, y aislamiento, así como los tramos de tubería con manómetros y accesorios correspondientes.

10.2.6 Dosificación de Metabisulfito Sódico

Debido a la escasa tolerancia al cloro residual que tienen las membranas de poliamida aromática, siempre que se añada hipoclorito sódico al agua de mar para desinfección habrá que dosificar meta bisulfito sódico con el fin de reducir el cloro libre residual antes de que el agua de mar llegue a las membranas.

La adición del producto se llevará a cabo en línea antes de los filtros de cartucho para favorecer la mezcla del meta bisulfito en el agua y conseguir una efectiva reducción del cloro.

Para dosificar meta bisulfito sódico en el agua de mar se dispondrá de dos bombas dosificadoras (BD 102 A/B) de capacidad máxima de dosificación de 384 l/h.

10.2.7 Dosificación de inhibidor de incrustaciones (anti-incrustante)

Con el fin de evitar la precipitación de sales al concentrarse el agua de mar en las membranas, se dosificará un inhibidor de incrustaciones o anti-incrustante. El anti-incrustante impide la formación de las redes cristalinas de las sales, manteniendo a los iones en dispersión y permitiendo sobrepasar el límite de los productos de solubilidad de dichas sales.

La adición del producto se llevará a cabo en línea antes o después de los filtros de cartucho en un mezclador estático, para favorecer la mezcla del dispersante con el agua y así el efecto inhibidor de formación de sales. La dosis de diseño considerada para dimensionar los distintos equipos es de 2 mg/l.

10.2.8 Dosificación de hidróxido sódico

En condiciones de alta temperatura de funcionamiento, se ha previsto aumentar el pH del agua de alimentación a ósmosis para reducir el contenido en boro en el permeado por debajo de 1 mg/l.

Este ajuste de pH se realizará dosificando hidróxido sódico en la salida de los filtros de cartuchos, en un mezclador estático. La dosis máxima de diseño de NaOH dependerá de las distintas condiciones de salinidad de agua de mar y de temperatura.
La adición del producto se llevará a cabo en línea antes o después de los filtros de cartucho en un mezclador estático en los respectivos mezcladores estáticos (ítem 22 M01 para la entrada e ítem 22 M02, para la salida de filtros de cartucho respectivamente).

10.2.9 Filtración de cartuchos

La filtración de seguridad propuesta consiste en hacer que el agua de mar, después de pasar por los filtros de arena, atraviese otros tres filtros equipados con 150 cartuchos de polipropileno bobinado de 5 □ nominales de calidad de filtración. El 95% de las partículas de tamaño superior a 5 micras quedarán retenidas por la masa filtrante.

Una parte de las partículas de tamaño inferior quedarán igualmente retenidas, en

función del ciclo de filtración, por efecto “barrera”.

Como la materia en suspensión del agua de mar a la salida de los filtros de arena, será muy escasa, la duración esperada de los cartuchos filtrantes rondará los tres meses aproximadamente.

La misión de estos filtros, es actuar como barrera seguridad, a fin de proteger las membranas de ósmosis inversa en el caso de que se produzca un fallo o una rotura en los filtros cerrados. Los filtros propuestos son recipientes cilíndricos de PRFV, en cuyo interior se colocarán un conjunto de cartuchos.

10.2.10 Descripción de elementos de pretratamiento

✓ Dosificación de cloruro férrico:

Los equipos de almacenamiento y dosificación de coagulante (cloruro férrico) consistirán en:

- Un depósito de almacenamiento de 15 m^3 capacidad unitaria, cilíndrico, horizontal, construido en PRFV, provisto de indicador-transmisor de nivel, interruptores de nivel máximo y mínimo y tuberías de rebose y vaciado.
- Dos bombas dosificadoras de membrana hidráulica, una en reserva, de 5 a 50 l/h de caudal unitario, con una presión de impulsión de 10 bar y provistas de regulación de caudal manual.
- Un conjunto de tuberías y válvulas de Polipropileno para distribución del coagulante.
- Una bomba de trasvase de 20 m^3/h de caudal unitario y 10 m.c.a. de presión de impulsión.

✓ Dosificación de hipoclorito sódico:

- Dos bombas dosificadoras de membrana hidráulica, una en reserva, de 170 a 1,700 l/h de caudal unitario, con una presión de impulsión de 10 bar y provistas de regulación de caudal manual.
- Un conjunto de tuberías y válvulas de Polipropileno para distribución del hipoclorito.
- El depósito de hipoclorito sódico es el mismo que el del pretratamiento.

✓ Dosificación de ácido sulfúrico:

La instalación de almacenamiento y dosificación de ácido sulfúrico está formada por:

- Un depósito de almacenamiento de 15 m^3 capacidad unitaria, cilíndrico, horizontal, construido en acero al carbono, provisto de indicador-transmisor de nivel, interruptores de nivel máximo y mínimo y tuberías de rebose y vaciado.
- Dos bombas dosificadoras de membrana hidráulica, una en reserva, de 2 a 20 l/h de caudal unitario, con una presión de impulsión de 10 bar y provistas de regulación

de caudal manual.

- Un conjunto de tuberías de acero al carbón para la conducción de ácido sin diluir y tubería y válvulas de PVDF para inyección del ácido.
- Una bomba de trasvase de 20 m³/h de caudal unitario y 10 m.c.a. de presión de impulsión.

✓ Sistema de filtración

Los filtros se diseñan para el caudal máximo (600 l/s), y constan de:

- Filtración sobre arena silícea mediante siete filtros cerrados de 3.00 m de diámetro, 11.0 m de longitud cilíndrica recta y 33 m² de superficie unitaria.

El medio soporte de los filtros son los descritos a continuación: Lecho de material soporte:

- Espesor de lecho de arena: 0.30 mts
- Talla efectiva de la arena: 3 mm
- Coeficiente de uniformidad: 1.4 - Densidad aparente (en seco): 1.60 Tm/m3

Lecho de material filtrante:

- Espesor de lecho de arena: 0.80 -0.90 m.
- Tamaño de la arena: 0.45 mm
- Talla efectiva de la arena: 1.1 mm
- Coeficiente de uniformidad: 1.6
- Densidad aparente (en seco): 1.50 Tm/m^3
- Espesor de lecho: 1.1 - 1.2 m (material soporte y filtrante)

La arena se compondrá de los granos propios y libres de arcilla, polvo y materia orgánica y no contendrá hierro ni manganeso en la forma o cantidad que pudiera afectar de forma desfavorable a la calidad del agua filtrada.

Con la finalidad de obtener una distribución homogénea del agua y del aire de lavado, se ha previsto la instalación de las boquillas en falso fondo de los filtros.

En los filtros se dispondrá de 50 boquillas colectoras por metro cuadrado de superficie construidas en material plástico.

Mediante una expansión controlada del lecho se consigue un contacto perfecto entre granos de arena durante el lavado, lo que representa una correcta separación de cualquier obstrucción adherida a estos, y evita que una parte de la capa filtrante pueda arrastrarse durante la operación de lavado al drenaje.

✓ Sistema de lavado de filtros:

Las bombas empleadas en el lavado de los filtros de la primera y segunda etapa (ítem 25- P01 A/B) tendrán los siguientes parámetros de funcionamiento:

- Caudal de salmuera: 905 m³/h.
- Altura manométrica: 25.47 m.c.a.

Las soplantes (ítem 25 KV01 A/B) tendrán las siguientes características:

- Caudal de aire: 2.750 Nm³/h (medido en condiciones normales).
- Altura manométrica: 0.6 bar.

Las tuberías de agua y aire de lavado son de poliéster reforzado con fibra de vidrio.

Los filtros irán dotados de las bocas de visita necesarias para su inspección y mantenimiento, de drenajes, venteos, la instrumentación correspondiente, así como del juego de válvulas automáticas necesarias para efectuar las operaciones de lavado y puesta en servicio de una forma totalmente automática. Si el operador lo considera conveniente, estas operaciones pueden hacerse de forma semiautomática, decidiendo desde el panel de control cada uno de los pasos a realizar y los tiempos de cada una de las fases de lavado.

Los filtros están dotados de elementos de seguridad contra sobrepresiones por medio de discos de ruptura calibrados, de forma que nunca se alcance una presión superior a la de diseño. La descarga de los efluentes procedentes de la limpieza de filtros se conduce al depósito de neutralización de efluentes.

✓ Dosificación de metabisulfito sódico:

La instalación de preparación y dosificación de reductor (bisulfito sódico), está formada por:

- Dos depósitos de preparación de 5 m³ de capacidad unitaria, construidos en PRFV, equipados con electroagitador de mezcla.
- Tres bombas dosificadoras de membrana hidráulica, una en reserva, de 24 a 240 l/h de caudal unitario, con una presión de impulsión de 6 bares y provistas de regulación de caudal manual.
- Un conjunto de tuberías y válvulas de Polipropileno para distribución del bisulfito.

La dosificación de bisulfito se controlará automáticamente mediante un sistema de potencial Redox. El correspondiente lazo de control actuará arrancando las bombas dosificadoras, que previamente se habrán regulado para mantener el valor de consigna prefijado.

✓ Dosificación de inhibidor de incrustaciones (dispersante):

Los equipos de almacenamiento y dosificación de dispersante consistirán en:

- Un depósito de almacenamiento de 2,000 litros de capacidad, construidos en PRFV, equipados con electroagitador de mezcla.
- Dos bombas dosificadoras de membrana hidráulica, una en reserva, de 1 a 10 l/h de caudal unitario, con una presión de impulsión de 6 bar y provistas de regulación de caudal manual.
- Un conjunto de tuberías y válvulas de Polipropileno para distribución del coagulante.

✓ Dosificación de sosa:

Los equipos de dosificación de sosa consistirán en:

- Un depósito de almacenamiento de 22 m³ de capacidad, construido en PRFV, cilíndrico horizontal, provisto de indicadores de nivel de seguridad y tuberías de rebose y vaciado.
- Tres bombas dosificadoras de membrana hidráulica una en reserva, de 5 a 50 l/h de caudal unitario, con una presión de impulsión de 6 bares y provistas de regulación de caudal mediante servomotor eléctrico.
- Una bomba de trasvase de 20 m³/h de caudal unitario a 10 m.c.a., construida en polipropileno y provista de cierre mecánico para trasiego del hidróxido sódico desde el camión cisterna hasta el depósito de almacenamiento.
- Un conjunto de tuberías y válvulas de PP para distribución del hidróxido sódico

El depósito de almacenamiento de sosa, se ubicará igualmente en un cubeto de seguridad para retener las posibles fugas o roturas.

El caudal de sosa dosificado será proporcional al caudal de agua de mar bombeado, habiéndose previsto para ello que el sistema de control actúe sobre la regulación de caudal de las bombas dosificadoras. El depósito irá provisto de interruptores por bajo nivel, que harán aparecer una alarma en las pantallas de la sala de control indicando que es preciso llenarlo de nuevo.

✓ Filtros de cartucho:

Las características generales de cada filtro son:

- Presión de diseño: 6.0 kg/cm²
- Calidad nominal de filtración: 5 micras
- Número de cartuchos instalados: 150 cartuchos por filtro (cuerpo)
- Longitud de cartuchos: 1270 mm
- Material de construcción: PRFV

El agua de mar a la que serán añadidos los reactivos químicos adecuados y que será filtrada, se conducirá a los filtros de cartucho (afino).

Se instalarán 4 filtros de cartuchos de filtración en profundidad (FC 101 A/.../D) situados en el interior de una carcasa. Los cartuchos estarán construidos en polipropileno y tienen un poder de corte de 5 micras nominales y una eficiencia de eliminación de partículas del 99,6%. Estos filtros tendrán la misión de retener coloides y partículas en suspensión que no han sido retenidas por los filtros de arena protegiendo las membranas.

Los cuerpos para alojar los cartuchos son de material PRFV, en su interior se encuentran los internos y accesorios necesarios para el anclaje y fijación de los cartuchos.

Cada cuerpo contendrá 150 cartuchos del tipo abierto por ambos lados que se fijan mediante espadas y tuercas a la placa soporte.

Los filtros estarán dotados de elementos de seguridad contra sobrepresiones por medio de discos de ruptura calibrados de forma que nunca se alcance una presión superior a la de diseño.

10.3 Osmosis Inversa

El proceso de Ósmosis Inversa lo componen las etapas siguientes:

- Bombas de alta presión
- Rack de osmosis inversa
- Cámaras isobáricas de recuperación de energía del rechazo
- Bombas booster de alta presión
- Equipo de desplazamiento
- Sistema del lavado de las membranas

La Planta Desaladora se ha diseñado con un solo paso y una sola etapa, y se ha modulado en seis bastidores de membranas de osmosis inversa de 4,342 m³/día (50.25 l/s) de capacidad de producción unitaria.

10.3.1 Bombas de alta presión

Se tiene considerados 8 conjuntos de bombeo de alta presión. Las bombas de alta presión serán del tipo segmentada multietapa y de alto rendimiento, construidas en aceros dúplex resistentes a la acción del agua de mar.

Los elementos internos de los intercambiadores de presión serán de material cerámico y carcasa en PRFV. Cada intercambiador de presión estará formado por 4 módulos modelo PX-Q260.

Las tuberías de baja presión serán de PVC y las de alta presión de acero inoxidable

AISI 904 L.

La regulación del caudal de agua a alta presión que sale de los intercambiadores de presión, se efectuará mediante los variadores de frecuencia de las bombas booster.

El modo de funcionamiento del conjunto de bombeo de alta presión será el siguiente: la tubería de agua de alimentación procedente de los filtros de cartucho se divide entre la aspiración de la bomba de alta presión (aproximadamente el 50% del caudal) y el intercambiador de presión (el restante 50%).

Figura 9. Bombas de alta presión

Fuente: Fotografía representativa de proyectos anteriores, OOMSAPASLC

10.3.2 Rack de osmosis inversa

✓ Membranas de osmosis inversa:

Las membranas de osmosis inversa se colocarán en bastidores de ósmosis inversa, cada bastidor tendrá 20 tubos de presión y cada tubo de presión será de siete unidades en un mismo tubo de presión. De esta forma, el agua bruta penetrará de forma axial por uno de los extremos de la carcasa atravesando la membrana situada en primer lugar.

El agua tratada o permeado pasará al colector central que ocupará el eje geométrico de la carcasa, donde se recogerá.

El agua de rechazo llegará a la siguiente membrana donde el mismo fenómeno tendrá lugar y así seguido hasta el séptimo elemento. El agua de rechazo de este séptimo elemento se recogerá en el otro extremo de la carcasa, enviándose después al exterior en la corriente que constituye el rechazo de ese bastidor de osmosis.

Estas membranas deben producir junto con las etapas siguientes de post-tratamiento un agua producto que cumpla la calidad que se especifica en el apartado de calidad de agua producto del presente documento.

Las membranas propuestas están construidas con poliamida aromática y de configuración “espiral”. Las membranas espirales ofrecidas se disponen en conjuntos de siete unidades en “serie”, dentro de un mismo tubo de presión.

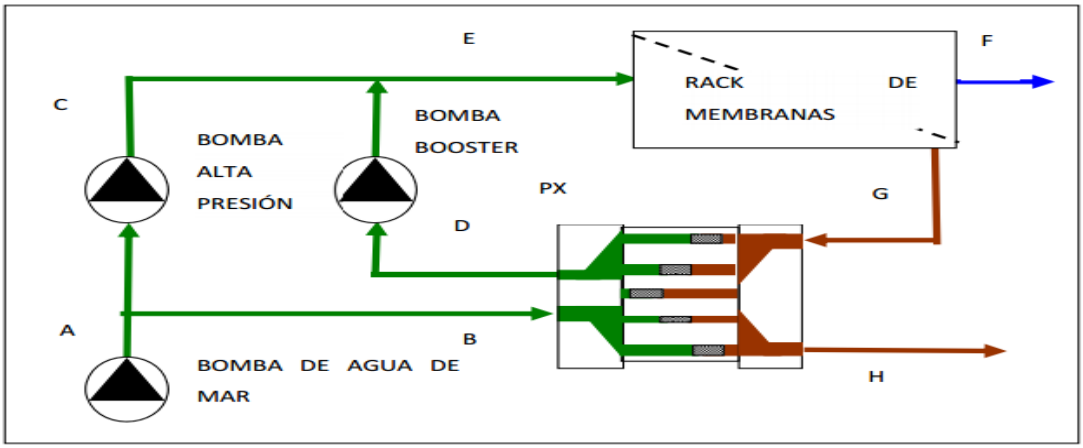
Se ha seleccionado el siguiente fabricante que cumple con las distintas condiciones de operación y con los requisitos de calidad del agua producto:

- Fabricante NanoH2O: Solución híbrida de cinco membranas de alto rechazo y alto flujo Qfx SW 400 R, seguidas de dos membranas del modelo Qfx SW 400 ES.

Las proyecciones del fabricante cumplen los requisitos de calidad de agua tratada descritos en el apartado Calidad de agua producto, se han realizado para las siguientes combinaciones de parámetros de calidad de agua y de operación:

- Salinidad de agua de mar: 33,000 y 35,000 ppm. Esta salinidad se ve incrementada antes de la entrada a los módulos de osmosis por el incremento de salinidad de los recuperadores de energía.
- Temperatura de agua de mar: 13, 16 y 20.5 º C.
- Años de operación de la planta: 0 (momento arranque de la planta), 2 y 5 años. En todos los casos, la tasa de flujo por membrana se mantiene en los valores recomendados por el fabricante.
- La edad media de la membrana no deberá exceder de 3.5 años. Esto implica un recambio medio anual de 11.45% del total de membranas

Figura 10. Rack de Osmosis Inversa



Fuente: Elaboración Propia con base en proyectos anteriores.

✓ Caudales del rack de osmosis inversa:

Se instalarán ocho bastidores de osmosis, de una capacidad unitaria de producción de 128.57 m³/h de permeado, lo que supone para el total de la desaladora: 24 x 128.57 x 8= 24,685.440 m³/ día de permeado de osmosis

Esto se corresponde con la máxima producción al 14.3 % de sobreproducción respecto a la producción nominal de 250 l/s.

En esta producción nominal de 250 l/s la desaladora estará en funcionamiento con 7 bastidores y los caudales serán los siguientes:

24 x 128.57 x 7= 21,599.76 m³/ día de permeado de osmosis

La tasa de conversión de cada bastidor en ambos casos es del 45 % por lo que el caudal de agua de mar será el siguiente:

Producción de 8 bastidores (285.71 l/s):

$$\frac{128.57\ m3/h}{0.45} *8*24 = 54{,}856.53\ m3/d$$ de agua de mar a tratar

Producción de 7 bastidores (250 l/s):

$$\frac{128.57\ m3/h}{0.45} *7*24 = 47{,}999.46\ m3/d$$ de agua de mar a tratar

- Caudal específico de permeado:

Cuanto mayor sea el flujo de permeado, o lo que es lo mismo, el caudal de permeado por unidad de superficie de la membrana, mayor será el riesgo de ensuciamiento de éstas, ya que aumenta en la misma proporción la corriente de arrastre que fluye perpendicularmente a la superficie de las membranas y que tiende a depositar sobre ellas las sustancias que, en forma de microcoloides o micropartículas, pueda contener el agua de mar.

En las instalaciones donde la toma de agua de mar es abierta, los distintos fabricantes de membranas y la experiencia aconsejan que el flujo medio de permeado no supere el valor de 14 l/m2 /h. Mientras que en plantas con captación de agua de mar mediante pozos se recomienda que el mismo parámetro de flujo medio de permeado no supere el valor de 16 l/m2 /h.

En el presente caso, al tratarse de toma abierta, se ha previsto instalar en cada línea de producción, 20 tubos de presión con 7 membranas por tubo, lo que hace un total de 140 membranas por rack de producción de osmosis (de los 8 instalados).

En tales condiciones el flujo medio de permeado obtenido es como máximo de 12.66 l/m2/h, siendo inferior al máximo recomendado.

Esta limitación, sin embargo, aun siendo importante, puede no ser muy representativa de la realidad, ya que puede ocurrir una situación donde la temperatura del agua de mar o bien la presión de trabajo (alguna de las dos) fuesen elevadas.

Esto implicaría por tanto que las primeras membranas de los tubos de presión (que son siempre las más perjudicadas), trabajen con flujos de permeado elevados, produciéndose un potencial ensuciamiento, a pesar de que el flujo sea inferior al límite señalado.

Se puede concluir que el flujo medio da una idea del comportamiento promedio del conjunto, pero no del comportamiento de la primera membrana de cada tubo que es la que más sufre.

En este caso, con la configuración indicada, se mantienen unos flujos de permeado en la primera membrana de los tubos inferiores a 30 l/m2 /h, que es el flujo máximo recomendado por los distintos fabricantes.

- Presión trans-membrana:

La evolución de la presión trans-membrana es función de la edad media de las membranas y de la temperatura. Se puede observar en la revisión de los parámetros que para ambas salinidades de aguar de mar (33,000 y 35,000), la presión diferencial (evolución de la presión trans-membrana) aumenta a medida que las membranas envejecen (incrementan los años de operación) y disminuye la temperatura del agua de mar que llega a las membranas (en el intervalo entre 13 y 20.5 º C estudiado).

La bomba de alta presión seleccionada puede proporcionar al sistema de osmosis la máxima presión requerida, esto es, con la mínima temperatura de agua de mar y el máximo envejecimiento esperado en las membranas.

En caso de que no se produzcan estas condiciones desfavorables, la bomba tendrá mayor presión disponible. Para regular la presión trans-membrana a lo largo del tiempo, según la temperatura del agua, existen cuatro métodos:

a) Creando una pérdida de carga adicional en la impulsión de la bomba de alta presión mediante una válvula reguladora.

b) Creando una pérdida de carga o contrapresión en el permeado mediante una válvula reguladora.

c) Regulando la presión diferencial aportada por la bomba de alta presión mediante la variación de la velocidad de la bomba.

d) Instalando una bomba booster previa a la bomba de alta presión, en la misma línea, equipada con variador de frecuencia.

Las dos primeras opciones suponen una pérdida de energía del sistema, aunque la segunda opción permite, al mantenerse el caudal y la presión del rechazo, se mantiene estable el valor de la energía recuperada, valor que, utilizando la primera opción, no puede mantenerse al reducirse la presión en el rechazo según se reduce la presión en la entrada a membranas.

La tercera y cuarta opción son las que consiguen un menor consumo energético, aunque tienen el inconveniente de que, en el caso de la tercera opción, debido a que normalmente la potencia de los motores de la bomba de alta presión es elevada, los variadores de frecuencia necesarios para regular la velocidad son complicados y caros. Por último, la cuarta opción supone un incremento importante de la inversión inicial ya que es necesario duplicar el número de equipos instalados. En este caso, debido a las características de la bomba la opción de instalación del variador de frecuencia para el control de la bomba y de la presión es la más adecuada.

- Parámetros de diseño:

Otro factor fundamental a considerar en el cálculo y dimensionamiento de una desaladora de agua de mar, es la evolución con el tiempo, tanto del paso de sales de las membranas como de su grado de ensuciamiento y/o deterioro de cara a poder garantizar que la planta cumpla con los valores garantizados a lo largo de toda su vida útil.

Para simular la evolución con el tiempo de las membranas, se analizan varios factores fundamentales:

- Pérdida anual de caudal.
- Incremento anual del paso de sales.

Los valores adoptados para cada uno de ellos y su justificación es la siguiente:

- Pérdida anual de caudal.

El valor medio de la pérdida nominal anual de caudal (P.N.A.C.) por envejecimiento de las membranas que se ha adoptado como base de los cálculos presentados es del 7.0%.

- Incremento anual del paso de sales.

El valor medio del incremento anual del paso de sales por envejecimiento de las membranas que se ha adoptado como base de los cálculos presentados es del 10.0%.

- Distribución de las membranas:

Cada uno de los ocho bastidores de osmosis tendrán instaladas 20 vasijas de presión, a su vez cada vasija de presión tendrá capacidad para siete membranas dispuestas en una única etapa, lo que implica un número instalado de 140 membranas por bastidor. Los bastidores tendrán un espacio de ampliación de un 25 % de los recipientes de presión instalados, es decir una capacidad para un número máximo de 25 vasijas de presión.

Según los cálculos realizados, para asegurar un caudal de permeado de primer paso de
128.57 m^3/h por línea, se precisa por bastidor:

- Nº de vasijas de presión: 20 Ud
- Nº de membranas por tubo: 7 Ud
- Nº de membranas por bastidor: 140 Ud

Las vasijas de presión de cada bastidor se instalarán sobre una estructura metálica capaz de albergar hasta 25 tubos de presión, lo cual permite tener previsto un espacio extra para el caso de que fuese necesario un aumento del número de tubos de presión a instalar. Las estructuras se construirán en perfiles de acero al carbono, pintados con imprimación epoxi rica en zinc, epoxi intermedia de altos sólidos y un acabado de poliuretano alifático.

10.3.3 Cámaras isobáricas de recuperación de energía del rechazo

Se ha seleccionado como sistema de recuperación de energía del rechazo del proceso de ósmosis inversa, la utilización de sistemas de cámaras isobáricas.

Estos sistemas, aunque suponen una inversión inicial superior, comparado con sistemas basados en turbinas, mejoran el rendimiento energético global del proceso.

La ventaja fundamental de estos sistemas, llamados intercambiadores de presión (pressure exchangers en inglés) de cámara isobárica, hiperbárica o incluso hidrodinámicos, consiste en que se transfiere la energía de la salmuera directamente al caudal que tiene que presurizarse, sin tener que convertir la energía de la salmuera en energía de rotación.

Además, de esta forma se reduce el tamaño de la bomba de alta presión, ya que el intercambiador de presión se encarga de bombear más del 50% del caudal de alimentación a las membranas. La energía que utilizan los intercambiadores para este bombeo, o elevación de la presión, proviene precisamente de la energía de la salmuera.

En el presente proyecto, se ha considerado la instalación del modelo más reciente de intercambiador de presión que permite mayor eficiencia: PX-Q260. Los parámetros de diseño del sistema de recuperación de energía (PX-Q260) son:

- Número de líneas instaladas: 2 Ud
- Número de líneas en funcionamiento: 2 Ud
- Caudal de rechazo por línea: 543 / 452,5 m³/h
- Modelo de recuperadores adoptado: PX-Q260
- Nº de recuperadores por línea: 9 Ud
- Nº total de recuperadores: 18 Ud
- Caudal por recuperador: 60.30 / 50.25 m³/h
- Pérdida de carga en el circuito de alta: 0.80 / 0.80 bar
- Pérdida de carga en el circuito de baja: 0.80 / 0.80 bar
- Fuga de salmuera hacia el agua de mar por línea: 5.20 / 3.60 m³/h

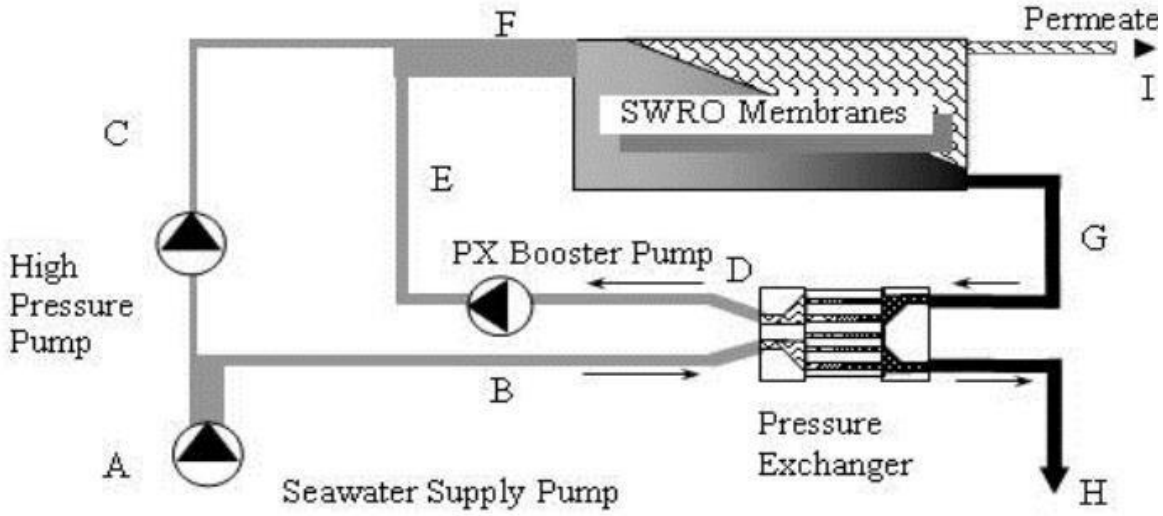
Como se puede apreciar, se debe considerar una fuga promedio de salmuera al agua de mar, lo que representa el 3%. La repercusión de esta mezcla ha sido considerada, tanto en la presión como en la salinidad del permeado.

✓ Descripción del proceso

En la siguiente Figura, se observa un esquema típico de un sistema de cámara isobárica. Su funcionamiento se basa en la capacidad que tienen los dos fluidos para que uno de los dos transmita la presión y el otro la reciba.

El caudal de agua de mar correspondiente a las necesidades de alimentación del bastidor circula alrededor del colector denominado « A ». Antes de ser aspirado por la bomba de alta presión se divide en dos, el caudal equivalente al caudal del producto llega a la bomba de alta presión y el resto (equivalente al caudal de salmuera de bastidor) entra en el sistema de intercambio de presión, flujo « B ». En el interior del recuperador, el agua de mar se vuelve a lanzar con la presión de salida de la salmuera, constituyendo el flujo de « D ». La salmuera que entra en el recuperador según el flujo « G », después de lanzar el agua de mar, y haber cambiado la presión, sale de este recuperador según el flujo « H ». Ya que la presión del rechazo es inferior a la presión de alimentación al bastidor, es necesario instalar una bomba que contribuya al diferencial de presión entre el flujo « E » y la presión de impulsión del flujo « D ».

Figura 11. Esquema de un sistema de recuperación energética con cámaras isobárica



Fuente: Ian B. Cameron, Rodney B. Clemente, 2007

En estos sistemas la diferencia fundamental con los sistemas convencionales radica en que la bomba de alta presión sólo tiene que bombear el caudal de permeado o producto más un pequeño caudal de lubricación de la cámara isobárica.

Es decir: ***Caudal de bombeo C = Caudal de Permeado I + Caudal de lubricación de la cámara isobárica***

El caudal de lubricación suele ser del orden del 1al 2% del caudal de alimentación « A » de la figura. El resto del caudal, la corriente « B » que entra en el recuperador de presión (cámara isobárica), y que consiste en un 55 – 60 % del caudal total A, es presurizado e impulsado por un dispositivo de altísima eficiencia, entre un 94 y un 97%.

De esta forma, el caudal más grande del proceso es impulsado por la bomba más eficiente del sistema: la cámara isobárica.

La bomba de alta presión es la segunda en importancia y suele bombear entre el 35 y 45% del caudal de alimentación. Por último, hay una bomba booster o bomba de recirculación que eleva la presión del agua presurizada por la cámara isobárica entre 2 y 4 bares para compensar las pérdidas que sufre la salmuera al pasar por las membranas y el propio dispositivo de intercambio de presión. La bomba de recirculación sólo representa del orden de un 4 a un 6% del gasto energético de la Planta Desaladora.

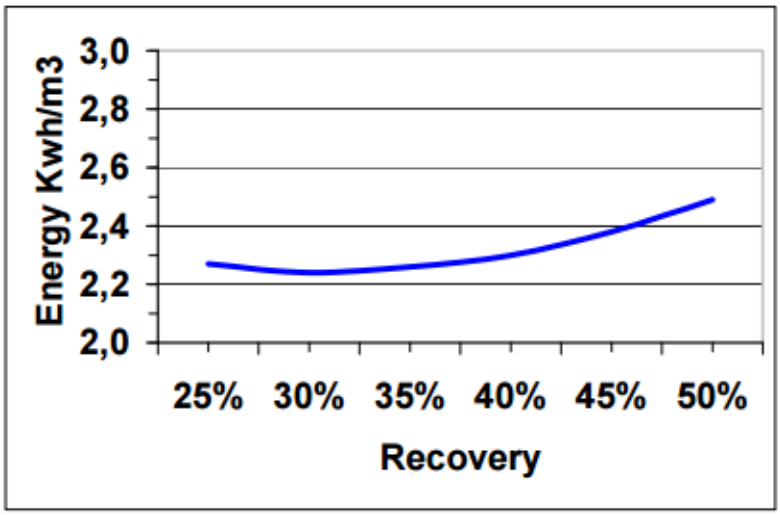
Para que estos sistemas funcionen correctamente, el caudal « B » de agua de alimentación tiene que ser igual al caudal « D » de agua presurizada.

Caudal de agua de mar de entrada al recuperador B = Caudal de salida de agua presurizada D.

Conforme a lo anterior, se requiere conocer el caudal que pasa por « B » y por « D », para lo cual es necesario colocar un medidor de caudal en ambos tramos, en el de baja presión en « B » o « H », ya que están conectados cuando está en funcionamiento) y en el de alta presión « D ». Estos caudales no son necesariamente iguales, sino que hay que forzar al sistema para que así sea. Esto se consigue mediante una válvula de baja presión que se coloca en « B » o « H », para controlar el caudal que pasa de baja presión y un variador de frecuencia en la bomba de recirculación o booster.

La ventaja fundamental entre los recuperadores isobáricos y los demás recuperadores de energía es que no se tiene que trabajar a alta tasa de conversión (o recuperación), para obtener buenos resultados. Como se ve en la Figura 11, con la utilización de cámaras isobáricas, el rendimiento es bastante plano y no depende tanto de la tasa de conversión.

Figura 12. Consumo energético de plantas desaladoras con cámaras isobáricas en función de la tasa de conversión.



Fuente: Elaboración Propia con base en proyectos anteriores.

10.3.4 Bombas booster

La parte equivalente al rechazo de cada bastidor se lanzará a alta presión con ayuda de tres bombas centrífugas de aspiración axial, una en reserva. Estas bombas tienen como función el aumentar la presión del agua de mar propulsada por los recuperadores de presión, hasta alcanzar la presión de alimentación a los bastidores. Esta pérdida de presión en los recuperadores es consecuencia de la pérdida de carga en membranas, pérdida interna en los módulos recuperadores y pérdida de carga en válvula y conducciones.

10.3.5 Equipo de desplazamiento

Siempre que se produzca una parada prolongada en alguna de las líneas unidades de ósmosis inversa, se hace necesario enjuagar con agua desalada, tanto las bombas de alta presión como los módulos de membranas y los sistemas de recuperación de energía.

De no realizarse el enjuague, los equipos podrían padecer fuertes corrosiones y en los módulos se producirían precipitaciones que perjudicarían notablemente a los mismos.

El agua tratada destinada a este proceso se toma de los tanques de desplazamiento. Se instalan dos depósitos de 60 m³ de capacidad unitaria, conectados en serie, de forma que todo el caudal de permeado de las membranas pase a través de ellos antes de incorporarse al sistema de posttratamiento. Con esta configuración, se asegura la renovación continua del agua almacenada, evitando posibles contaminaciones biológicas. Los depósitos se construirán en PRFV, cilíndricos verticales

Se aprovechan para este proceso las mismas bombas del equipo de limpieza química. Para ello, se instalará una conexión de aspiración independiente que viene de cada tanque de desplazamiento. La inyección del agua de desplazamiento en las líneas de tratamiento se verifica en la aspiración de las bombas de alta presión, estando la válvula de aspiración cerrada en la línea principal y abierta la válvula que da acceso al enjuague de la línea sometida a este proceso.

El agua mezcla de agua de mar y/o salmuera, con el agua de producto de desplazamiento, saldrá por la tubería de salmuera al depósito de recogida de efluentes, para su bombeo a la conducción de vertido de salmuera. El proceso de enjuague finalizará cuando la conductividad de esta agua de salida sea inferior a 2,000 microsiemens/cm.

10.3.6 Sistema de limpieza química

Se empleará este sistema cuando se alcance un ensuciamiento apreciable en las membranas, o se haga necesaria una limpieza por algún tipo de contaminación. Normalmente, la necesidad de realizar una limpieza química de un bastidor, se manifiesta cuando concurre alguna de estas circunstancias:

- Incremento de la presión de alimentación en un 10% para mantener el caudal nominal de agua permeada.
- Disminución del 10% del caudal de agua permeada para la misma presión de alimentación al bastidor.
- Incremento del 30% de la presión diferencial del bastidor.

Los dos tipos de ensuciamiento más habituales son:

- Bioensuciamiento: Biopelícula que se forma sobre la superficie de la membrana a causa de crecimientos bacterianos
- Ensuciamiento inorgánico: Debido a la precipitación de sales de

calcio, bario, estroncio y sílice entre otras.

La limpieza periódica de los módulos es un proceso necesario desde el punto de vista de conservación y operación de los mismos.

Los productos químicos a utilizar en la limpieza de las membranas son varios y dependen de dos factores principalmente: del tipo de ensuciamiento que haya tenido lugar, y del tipo y fabricante de membranas instaladas.

Las instrucciones y productos concretos a utilizar se definirán en la puesta en marcha, pero generalmente la limpieza suele consistir en un lavado ácido, un lavado alcalino y una desinfección, con aclarados entre etapa y etapa.

Como ejemplo de productos químicos que se suelen usar en la limpieza química tenemos:

- Ácido cítrico al 1 ó 2% (pH 2.5 a 4) para limpiezas ácidas.
- Solución de hidróxido de sodio (pH 10-11) para limpiezas alcalinas.
- Meta bisulfito sódico como desinfectante.

10.3.7 Descripción de elementos del proceso de osmosis

Las instalaciones de ósmosis inversa se diseñan para el caudal máximo (250 l/s), y constan de:

✓ Instalación de ósmosis inversa

- Bombeo de alta presión mediante ocho (8) bombas centrífugas multietapa, una (1) en reserva de las anteriores, de 164 m³/h a una presión diferencial de 61,22 bar, equipadas con variador electrónico de frecuencia.
- Bastidor de ósmosis inversa, ocho (8) líneas equipadas con 20 cajas de presión de 7 elementos por línea.
- Sistema de recuperación de energía mediante una (8) línea de intercambiadores de presión ERI PX- Q260, con 4 intercambiadores por línea.
- Bombeo booster de la salida de los intercambiadores de presión, formado por ocho (8) bombas centrífugas horizontales una (1) en reserva, de 195 m³/h a 4,98 bar, equipadas con variador electrónico de frecuencia.

✓ Instalación de limpieza de membranas

- Un depósito de preparación de los reactivos de limpieza de 20 m³ de capacidad, equipado con resistencia de caldeo y electroagitador de mezcla.
- Dos bombas centrífugas horizontales, una en reserva, de 450 m³/h de caudal unitario a una presión de impulsión de 65 m.c.a.
- Un (1) filtro de cartuchos equipado con 116 cartuchos de 5 micras de calidad

de filtración.

✓ Instalaciones auxiliares

- Instalación de almacenamiento de permeado para desplazamiento, formada por dos (2) depósitos de 60 m³ de capacidad unitaria.

- Un (1) puente grúa instalado en el edificio de proceso para el mantenimiento de los equipos instalados en la zona de ósmosis inversa con una capacidad de 12.500 kg.
- Un (1) puente grúa instalado en el edificio de proceso para el mantenimiento de los equipos instalados en la zona de filtros de cartucho con una capacidad de 3.000 kg.

A continuación, se describen las características técnicas principales de los equipos del proceso de osmosis inversa:

✓ Bombas de alta presión:

Las características de las bombas de alta presión (ítems 23-P 01 A/B) propuestas son:

- Número de equipos instalados: 8 Ud
- Número de equipos en funcionamiento: 7 Ud
- Marca: Ksb Itur, Sulzer, Torishima o similar
- Tipo: Horizontal, segmentada.
- Material: Superduplex ASTM Gr 5A
- Caudal nominal unitario: 164 m³/h
- Presión diferencial: 61.22 bar

Estas bombas irán accionadas por otros tantos motores eléctricos, de las siguientes características:

- Potencia nominal: 500 Hp
- Tensión: 4,160 V
- Revoluciones: 3,500 r.p.m.
- Rendimiento: 95 %

Para regular la conversión del sistema de ósmosis, las bombas de alta presión irán equipadas con variadores de frecuencia.

✓ Bombas booster:

Las características de las bombas booster o de recirculación (ítems 23 P 02 A/B) propuestas son:

- Número de equipos instalados: 8 Ud
- Número de equipos en funcionamiento: 7 Ud
- Marca: Ksb Itur, Sulzer, Torishima o similar
- Tipo: Superduplex ASTM Gr 5A.
- Material: Alloy 885
- Caudal nominal unitario: 195 m^3/h
- Presión diferencial: 4.89 bar

Las bombas booster irán accionadas por otros tantos motores eléctricos, de las siguientes características:

- Potencia nominal: 50 Hp
- Tensión: 440 V
- Revoluciones: 1,315 r.p.m.
- Rendimiento: 95 %

Para regular la conversión del sistema de ósmosis, las bombas de alta presión irán equipadas con variadores de frecuencia.

La bomba booster irá provista de un variador de frecuencia, con objeto de incrementar el TDH de la bomba a medida que las membranas se van ensuciando y la pérdida de carga a través de los tubos de presión se incrementa.

Las tuberías de baja presión serán de PVC. Las tuberías de alta presión serán de acero inoxidable SuperDuplex UNS S32750 o S32760 o similar.

En la aspiración de cada bomba de alta presión se sitúa un presostato de baja presión que producirá alarma y registro en el sistema de control, parando la bomba por baja presión de aspiración. Asimismo, se dispone en la aspiración de cada turbobomba de un transmisor de caudal de agua de mar que producirá alarma y registro en el sistema de control, parando la bomba por bajo caudal de aspiración.

En la impulsión de la bomba se dispone de un manómetro, válvula de retención y un medidor de temperatura que producirá alarma y registro en el sistema de control, parando la bomba por alta temperatura del agua de mar.

En el colector de alimentación de salmuera a cada intercambiador de presión, se dispone un transmisor de presión y un manómetro. La regulación del caudal de alimentación a los intercambiadores de presión se efectúa mediante los variadores de frecuencia de las bombas booster y una válvula de regulación situada en la conducción de salida de salmuera de cada tren de intercambiadores.

Los cojinetes de las bombas llevan sondas de temperatura, así como también están

provistos de sondas de temperatura los devanados de los motores.

✓ Membranas propuestas:

Las características de las membranas consideradas para el diseño descrito anteriormente son las siguientes:

- Fabricante de la membrana: NanoH2O.
- Modelo estudiado: Solución híbrida de cinco membranas de alto rechazo y alto flujo Qfx SW 400 R y dos membranas del modelo Qfx SW 400 ES.
- Número de membranas por recipiente: Cinco unidades Qfx SW 400 R y dos unidades Qfx SW 400 ES.
- Configuración: Espiral.
- Superficie activa de membrana (Qfx SW 400 ES y Qfx SW 400 R): 37 m2
- Capacidad de producción de permeado: 52 m^3/d (Qfx SW 400 ES) y 34 m^3/d (Qfx SW 400 R).
- Retención de las sales NaCl (%): mínimo 99.7 (membranas Qfx SW 400 ES y Qfx SW 400 R).
- Presión máxima: 82.737 bar (1,200 Psi) para ambas membranas.
- Temperatura máxima de operación: 45 º C, para ambas membranas.
- Máxima concentración de cloro: < 0,1 ppm, para ambas membranas.
- pH de la operación: 2-11, para ambas membranas.

✓ Equipos del sistema de limpieza química:

Las características de diseño de cada bomba de limpieza química son:

- Número de bombas en operación y en reserva: 1+1
- Caudal: 450 m^3/h
- Altura manometrica: 65 m.c.a.
- Potencia nominal: 150 kW

Las características más importantes del filtro de cartucho de limpieza química son:

- Número de unidades en servicio: 1
- Presión de diseño: 6 kg/cm2
- Número de cartuchos: 116 Ud
- Longitud de los cartuchos: 1,270 mm
- Selectividad de los cartuchos: 5 micras
- Material de los cartuchos: Polipropileno
- Material de la carcasa: PRFV

✓ Material e instrumentación:

Las tuberías de alta presión de los bastidores serán de acero inoxidable de calidad súper dúplex, con mejores propiedades mecánicas y mejor comportamiento contra la corrosión del agua de mar. Las válvulas de alta presión serán macho y fabricadas con material similar al de las tuberías, a los que se conectarán mediante uniones soldadas.

Con el fin de controlar el buen funcionamiento de los bastidores se ha previsto, en cada uno de ellos, la siguiente instrumentación:

✓ Un transmisor electrónico de presión para medir la presión de trabajo de las membranas, instalado en cada uno de los seis bastidores de osmosis inversa.
✓ Un transmisor electrónico de conductividad para controlar la calidad del agua desalada producida por las membranas e instalado en la línea de permeado de cada uno de los ocho rack de osmosis.
✓ Un transmisor electrónico de presión diferencial para medir exactamente la diferencia de presión de las membranas y de esta forma controlar su grado de obstrucción.
✓ Un conjunto de presostatos para la aspiración de las bombas de alta presión y alarmas en caso de sobrepresión accidentales.
✓ Un conjunto de manómetros indicadores para la verificación de los diferentes circuitos de presión.
✓ Un medidor de caudal electromagnético en aspiración de bombas de alta presión.
✓ Un medidor de caudal electromagnético en impulsión de bombas de recirculación.
✓ Un medidor de caudal electromagnético de alimentación de agua de mar a baja presión a los recuperadores de energía y otro para la salida de salmuera a baja presión.

Finalmente, cada bastidor está provisto de un panel de muestreo provisto de conexiones de toma rápida para controlar la calidad del agua desalada producida por cada tubo de presión.

10.4 Postratamiento

El agua desalada tiene un contenido muy bajo en sales por lo que es sometida a un proceso de postratamiento.

El agua producida será tratada con anhídrido carbónico (CO_2), hidróxido cálcico ($Ca(OH)_2$) e hipoclorito sódico para adaptar su calidad a la requerida por la “Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127- SSA1-1994, Salud Ambiental. Agua para Uso y Consumo Humano. Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua para su Potabilización”. El hidróxido cálcico adicionado reacciona con el anhídrido carbónico produciendo bicarbonatos y por consiguiente aumentando el pH y disminuyendo la agresividad.

La adición de hipoclorito sódico añade el cloro libre residual necesario para desinfectar el agua. Para tal fin, se instalarán los equipos dosificadores de CO_2, hidróxido cálcico e hipoclorito sódico correspondientes.

10.4.1 Dosificación de anhídrido carbónico (CO_2)

El CO_2 presente en el permeado, en general no es suficiente para reaccionar con toda la cal necesaria, para obtener una dureza del agua en el entorno de las 50 ppm como $CaCO_3$, por lo que es necesario introducirlo desde el exterior en forma de gas.

La dosis media necesaria sería de 58.98 mg/l para el caudal máximo, aunque para el diseño se han adoptado 60.00 mg/l, pudiendo con los equipos previstos, añadir cantidades superiores si fuese necesario.

Para esta desaladora se ha considerado almacenar el CO_2 en forma líquida, a 20 o C y 20.5 kg/cm² de presión, con un volumen de 30 m^3, siendo evaporado posteriormente para, una vez transformado en gas, introducirlo en el agua desalada, para entrar posteriormente en contacto con el hidróxido cálcico, formado $Ca(HCO_3)_2$, consiguiéndose así la dureza y el TAC deseados en el agua.

La dosificación de CO_2 al agua producto se hará de forma totalmente automática y proporcional al caudal. La autonomía de este reactivo almacenado será de 20 días.

10.4.2 Dosificación de hidróxido cálcico ($Ca(OH)_2$

Se adiciona el hidróxido cálcico o cal al permeado para corregir el pH, acondicionándolo a la Calidad de agua producida requerida en la Reglamentación Mexicana del agua de consumo, y para evitar corrosiones en las tuberías, ya que la baja alcalinidad del agua producto y la presencia de CO_2 la hacen corrosiva. El CO_2 procede de la reacción del sulfúrico con los bicarbonatos y pasa fácilmente a través de las membranas, por lo que se acumula en el permeado.

La cal en polvo (Cao) se almacena en un silo en acero al carbono de 35 m3 de capacidad. Mediante un dosificador volumétrico se envía la cal en polvo al depósito de dilución de cal [$Ca(OH)_2$]. Este dispositivo vertical, cerrado y de PRFV, tiene una capacidad unitaria de 4 m3.

10.4.3 Características del agua remineralizada

El agua producto después de haber sufrido la remineralización presentará el siguiente análisis para las condiciones de diseño máximas:

Tabla 3 Análisis de condiciones máximas

CATION	**mg/l.**	**ppmCaC**
Ca++	27,229	68,072
Mg++	1,52	6,24
Na+	57,17	124,33
K+	2,71	3,46
Totales	**88,6**	**202,103**
ANIONE	**mg/l.**	**ppmCaC**
- HCO3	82,960	68,000
SO4=	3,43	3,57
Cl-	92,47	130,41
- NO3	0,03	0,02
B3-	0,50	6,99
Totales	**178,9**	**202,002**

Fuente: Elaboración Propia con base en la NOM 127-SSA1-1994

Por tanto para las condiciones de diseño máximo, los parámetros de calidad del agua potable son:

- TDS: 420 mg/l
- pH: 8.50
- CO2 libre: < 0.697 mg/l
- Dureza (TH): 79.90 ppm CaCO3
- Dureza (TAC): 68.20 ppm CaCO3

10.4.4 Desinfección con hipoclorito sódico

Para la desinfección final, se ha seleccionado la utilización de un sistema de dosificación de hipoclorito sódico en las tuberías de salida del agua producto, hacia el depósito general. Se prevé la desinfección con hipoclorito sódico con una dosificación media de 1.0 mg/l y máxima de 1.50 mg/l.

10.4.5 Descripción de elementos de post-tratamiento

✓ Dosificación de cal:

El equipo de almacenamiento, dilución y dosificación de hidróxido cálcico consta de un silo de almacenamiento de 35 m³ de capacidad que estará equipado con los siguientes elementos:

- Filtro de mangas.
- Sensor de nivel.
- Interruptores de nivel con alarmas.
- Válvulas control sobrepresión depresión.
- Rompedor de bóvedas.
- Tornillo dosificador: de rango de dosificación: 250-2.500 l/h.

Para la dilución de la cal se dispone de un tanque de disolución de leche de cal de 4,000 litros de capacidad y dos bombas de trasvase al punto de dosificación, del tipo centrífuga horizontal antiabrasiva, de caudal nominal 35 m³/h y altura manométrica 50 m.c.a., una de ellas de reserva.

El tanque de dilución de cal irá equipado con un agitador. La instalación se completa con válvulas, tuberías, interruptores de nivel y demás accesorios necesarios. La inyección de la lechada de cal se producirá en colector general de permeado que conduce el agua al tanque de agua producto, en un mezclador estático.

El agua de aportación para dilución de la lechada de cal se tomará de una toma directa del colector general de permeado, para alimentar en continuo al depósito de dilución de cal. Los equipos de bombeo de lechada de cal impulsan un caudal constante, realizándose la dosificación en función del pH del agua tratada, variando la velocidad del tornillo dosificador instalado en la descarga del silo de cal.

Con este sistema de dosificación el caudal de lechada de cal es constante, variando su concentración; de esta forma se reducen los problemas de atasco en las tuberías de impulsión.

✓ Dosificación de anhídrido carbónico:

Los elementos principales del almacenamiento y dosificación de CO2 son:

- Un depósito de almacenamiento de CO2 de 30 m³ de capacidad.
- Instalación de vaporización y dosificación de CO2.
- Dosificación de hipoclorito sódico de post-tratamiento:
- Los equipos de generación, almacenamiento y dosificación de hipoclorito en esta parte de la instalación consistirán en:
  - Un depósito de almacenamiento de 22 m3 capacidad unitaria, cilíndrico, horizontal, construido en poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), provisto de indicadortransmisor de nivel, interruptores de nivel máximo y mínimo y tuberías de rebose y vaciado.

- Dos bombas dosificadoras de membrana hidráulica, una en reserva, de 25 a 200 l/h de caudal unitario, con una presión de impulsión de 6 bar y provistas de regulación de caudal manual.
- Generador de hipoclorito sódico in-situ, con una capacidad de producción de 45 kgr. Cl2/día.
- Un conjunto de tuberías y válvulas de Polipropileno para distribución del hipoclorito.

10.5 Almacenamiento e impulsión de agua producto

Esta parte comprende las etapas siguientes:

- Depósito de almacenamiento de agua producto
- Bombeo del agua producida
- Conducción de salida hasta el límite de la parcela. Se analiza en este apartado solo la conducción de distribución de agua potable hasta el límite de la desaladora.
-

10.5.1 Depósito de agua producto

El agua producto generada por el proceso de osmosis inversa y ajustada en parámetros mediante el postratamiento es almacenada en un depósito de 1,000 m^3 de capacidad. Este depósito está dividido en dos compartimentos o depósitos independientes que permiten la utilización de uno de ellos mientras el otro está en actividades de limpieza y/o mantenimiento.

El depósito será construido en concreto reforzado y estará provisto de un transmisor de nivel en cada una de sus partes independientes para indicación en el Sistema de Control, interruptores de nivel, válvulas de aislamiento y conexiones de drenaje y rebose.

10.5.2 Impulsión de agua producto

El agua producto depositado en el tanque de 1,000 m^3, ubicado dentro de la misma desaladora es distribuido por un conjunto de equipos de bombeo a la red de distribución de agua potable.

La estación de bombeo, corresponde a las instalaciones ubicadas al lado de la desaladora y su propósito es succionar del depósito de agua desalada potable y bombear hacia el tanque regulador existente de “El Gallo” en la elevación 111 msnm, ubicado aproximadamente a 8,150 m a través de una línea de conducción.

Del depósito de almacenamiento de agua producto aspiran cinco bombas centrífugas horizontales, una en reserva, con un caudal unitario de 225 m^3/h y una presión de

impulsión de 130.57 m.c.a.

En este edificio de bombeo de agua producto también se sitúan los siguientes elementos:

- Para el mantenimiento de los equipos de este edificio se instalará un puente grúa, con una capacidad de 3,000 kg.
- Sistema anti-ariete en la impulsión formado por un tanque hidroneumático de 10 m³ de volumen.
- Una bomba de achique para la cámara de bombas de impulsión de agua producto. Esta bomba tiene las siguientes características: caudal: 15 m^3/h y presión de impulsión: 15 m.c.a.

10.5.3 Conducción de salida de agua producto

Esta conducción está diseñada para el caudal nominal (250 l/s), presenta un diámetro nominal de DN500. Su primer tramo desde la salida de la estación de bombeo de la desaladora hasta el depósito El Gallo, tendrá una longitud de 8,150 metros. No obstante como se indicó anteriormente, ésto se analizará en el apartado de “Conducciones de Agua Potable”.

10.5.4 Descripción de elementos de post-tratamiento

✓ Almacenamiento de agua producto:

El depósito de agua producto construido en hormigón armado, presenta dos cámaras de almacenamiento independientes, de las cuales pueden aspirar los grupos de bombeo de agua producto y los grupos de agua de servicios.

✓ Bombeo de agua producto:

Este sistema de bombeo de agua producto está dimensionado para el caudal de diseño de 250l/s. Las características principales de estas bombas de agua producto son:

- Número de equipos instalados: 5 Ud
- Número de equipos en funcionamiento: 4 Ud
- Marca: Ksb Itur, Sulzer, Torishima o similar
- Tipo: Horizontal, centrífuga.
- Material: AISI 316
- Caudal nominal unitario: 225 m³/h
- Presión diferencial: 130,57 m.c.a.

Estas bombas irán accionadas por otros tantos motores eléctricos, de las siguientes características:

- Potencia nominal: 132 kW

- Tensión: 440 V

El arranque de estas bombas se realiza mediante arrancadores estáticos.

En la impulsión de las bombas de impulsión de agua producto, se instalan las correspondientes válvulas de retención y válvula de mariposa de accionamiento motorizado, que permiten realizar, tanto el arranque de las bombas como la parada, con la válvula cerrada y su posterior apertura lenta, evitando aumentos bruscos de presión en la tubería de impulsión.

Para evitar sobrepresiones y depresiones en la conducción de impulsión, se instala un calderín antiariete hidroneumático de 10 m³ de capacidad.

Todas las conducciones, tanto las de aspiración como las de impulsión, están realizadas en poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV).

En la descarga de cada una de las bombas se instalará un indicador de presión y un presostato. En el colector de impulsión se instalarán 2 caudalímetros, dos medidores de conductividad, dos medidores de pH y dos medidores de cloro libre residual Las medidas generadas por estos instrumentos quedarán registradas en el sistema de control y producirán alarma si alguna de las medidas se sale fuera de los rangos prefijados. Además se instalará un transmisor de presión.

10.6 Evaluación de los efluentes

Esta parte la componen las etapas siguientes:

- Almacenamiento de salmuera utilizado en parte para el lavado de los filtros.
- Almacenamiento y neutralización de la solución del lavado químico de las membranas. En el mismo depósito se descarga el agua del lavado de filtros.
- Evacuación de subproductos.

10.6.1 Tratamiento y evacuación de efluentes procedentes de lavado de filtros y limpieza de membranas

La neutralización y evacuación de efluentes se compone de:

- Tanque de neutralización o depósito de recogida de efluentes de 280 m³.
- Bombeo de recirculación e impulsión al emisario de vertido de salmuera, mediante dos bombas centrífugas horizontales, de las cuales, una es de 250 m³/h de caudal unitario a una presión de impulsión de 16.21 m.c.a, misma que estará en reserva.
- Dos bombas dosificadoras de ácido sulfúrico para neutralización de efluentes de 9 a 90 l/h de caudal unitario, una en funcionamiento y otra en reserva.
- Dos bombas dosificadoras de hidróxido sódico para neutralización de efluentes de 17,5 a 175 l/h de caudal unitario, una en funcionamiento y otra en reserva.

10.6.2 Evacuación de salmuera

Esta parte del proceso se diseña para el caudal máximo (300 l/s), y consta de:

✓ Emisario terrestre de vertido de salmuera:

- Diámetro del emisario terrestre: 42 pulgadas (1066 mm)
- Material del emisario terrestre: PEAD
- Longitud del emisario terrestre: 1,400 m

✓ Emisario submarino de vertido:

- Diámetro del emisario de vertido: 42 pulgadas (1066 mm)
- Material del emisario de vertido: PEAD
- Longitud del emisario de vertido: 1,984 m

10.7 Instalaciones auxiliaries

10.7.1 Agua para dilución de reactivos y servicios

Se ha previsto que el agua de servicios de la planta sea suministrada por un grupo hidroneumático (24 VP01), provisto de dos bombas, de las siguientes características básicas:

- Caudal: 38 m^3/h
- Presión: 7 kg/cm^2
- Material de las bombas: Acero inoxidable

- Volumen depósito acumulación: 500 l

Este grupo aspira del primer depósito de desplazamiento. Se dispondrá de una red de agua para la dilución de reactivos en las zonas necesarias.

10.7.2 Agua potable

Se ha considerado que el agua para dilución de reactivos sea suministrada por un grupo hidroneumático (31 VP01), provisto de dos bombas, de las siguientes características básicas:

- Caudal: 10 m^3/h
- Presión: 7 kg/cm^2
- Material de las bombas: Acero inoxidable
- Volumen depósito acumulación: 500 l

Este grupo aspira del depósito de agua tratada, una vez remineralizada. Se dispondrá de una red de agua de servicios por toda la planta.

10.7.3 Soportes

Todos los soportes de tuberías, válvulas, etc., serán de acero al carbono chorreado y pintado para ambiente marino C5M.

10.7.4 Sistema contraincendios

Sistema contraincendios formado por detectores ubicados en los puntos clave de los edificios de tratamiento y los extintores adecuados a cada zona de la planta.

10.7.5 Medios de elevación

Se han previsto los siguientes puentes grúa de avance e izado eléctricos:

- Dos en el edificio de proceso. Sala de ósmosis inversa (23-L01 y 23-L02) de 12,000 kg y 3,000 kg respectivamente.
- Uno en el edificio de agua producto (31-L01) de 3,000 kg.
- Uno en el edificio captación (12-L01) de 9,000 Kg.

Se han previsto, igualmente, los siguientes polipastos monorraíles de traslación e izado eléctricos:

- Un polipasto para el taller mecánico (22-L01) de 1,000 kg.

10.7.6 Tornillería

En el presente proyecto se ha previsto, igualmente, que toda la tornillería exterior que no esté en contacto con el agua de mar sea de Acero Inoxidable AISI-316 para soportar el ambiente salino que se espera.

La tornillería en contacto con agua de mar, será de Acero Inoxidable UNS S32750 o bien equivalente.

10.7.7 Tramex

Por los motivos ya explicados, se ha previsto que todo el tramex de la planta sea de poliéster reforzado, con fibra de vidrio y no de acero galvanizado. Los perfiles longitudinales en forma de “L” sobre los que se apoya y encaja el tramex serán igualmente, de material plástico resistente a la corrosión.

10.7.8 Sistema de toma de muestras

Se ha previsto instalar tomas de muestras en todas las líneas de proceso. Asimismo, cada bastidor de membranas irá equipado con un panel de muestreo centralizado, construido en Acero Inoxidable AISI-316 L, para tomar muestras del agua producida

por cada uno de los tubos de presión.

10.7.9 Laboratorio

El laboratorio estará equipado con todo el equipamiento y con los instrumentos necesarios para la correcta supervisión y control del proceso y siempre de acuerdo con lo especificado para este instrumental en las especificaciones técnicas.

Dentro de este equipamiento se dispondrá como mínimo de los siguientes equipos:

- Phmetro de sobremesa de las siguientes características: Sensibilidad 0.01 pH. Compensación automática de temperatura. Auto calibración. Marca ORION o similar. Modelo SA-520. Incluirá electrodo y pinza portaelectrodo.
- Conductivimetro digital con escala 0-5000 microS/am, incluyendo célula de medida y accesorios.
- Conductivimetro digital con escala 0-100,000 microS/am, incluyendo célula de medida y accesorios.
- Simulador de pH.
- Turbidimetro portátil.
- Espectrofotómetro analítico compacto con un intervalo de medida de 190- 100nm y un ancho de banda espectral de 5nm.
- Calibrador de termorresistencias.
- Balanza de precisión con rango de medida entre 0.1 y 600 gr.
- Especfotómetro.
- Bomba de vacío, portátil de las siguientes características: Presión máxima: 4 bar, Caudal máximo de aire: 4.2 m3/h, Funcionamiento mediante pistón seco.
- Destilador de agua de las siguientes características: Producción: 3 l/h.

Sistema de corte de corriente eléctrica por falta de agua de refrigeración.

- Placa calefactora rectangular de las siguientes características: Temperatura regulable hasta 400° C. Regulador electrónico regulable de energía entre 0 y 100%. Medidas útiles: 20 x 40 cm.
- Consumo: 2.000 W.
- Mobiliario de laboratorio, compuesto por frigorífico, mesa, silla y archivador.
- Toma de aire comprimido.
- Medidor manual de S.D.I.
- Manómetro patrón de 0 a 100 kg/cm2.
- Conjunto de accesorios.
- Conjunto de material de vidrio.
-

10.7.10 Taller

Habrá un taller para los elementos mecánicos y para electricidad e instrumentación, el cual estará equipado con aire comprimido y con las herramientas e instrumentos necesarios para un mantenimiento preventivo y correctivo adecuado de acuerdo con la instalación.

Se ha incluido un taller mecánico equipado con los siguientes elementos:

- 1 Ud. Banco de trabajo compuesto de mesa, cajones y tornillo.
- 1 Ud Taladro de columna con portabrocas de hasta 40 mm.
- 1 Ud Juego de limas y limatones.
- 1 Ud Juego de escariadores.
- 1 Ud Conjunto para extracción de cojinetes, FORZA 4100.
- 1 Ud Terraja para roscar tubos.
- 1 Ud Juego de alicates, tenazas y tijeras.
- 1 Ud Taladro manual con percutor para brocas de hasta 10 mm., Marca: BOSCH o similar, ref. 1168, 500 W.
- 1 Ud Taladro manual con percutor para brocas de hasta 20 mm., Marca: BOSCH o similar, ref. 1121 de 1,150 W.
- 1 Ud Juego de brocas de 1 a 20 mm.
- 1 Ud Sierra para corte manual.
- 1 Ud Equipo de instrumentos de medida compuesto por: 1 compas de punta, 1 compas de interiores, 1 compas de exteriores, 1 reloj palpador, 1 calibrador pie de rey en inox, 1 cuentarrevoluciones portátil.
- 1 Ud Soldador para tuberías de plástico.
- 1 Ud Máquina para soldar con electrodo con ropa de protección. 400 A.

Se han incluido un taller eléctrico y de instrumentación equipado con los siguientes elementos:

- 1 Ud Simulador de pH.
- 1 Ud Estantería de 4 m x 2,8 m x 0,7 m.
- 1 Ud Banco de trabajo compuesto de mesa, cajones y tornillo.
- 1 Ud Cuadro de herramientas con juego de llaves fijas, planas y de vaso, 2 destornilladores, martillos, cinceles, buriles, botadores y sacabocados.
- 1 Ud Medidor de tierras y aislamientos.
- 1 Ud Soldador eléctrico, rápido, de 100 W.
- 1 Ud Comprobador numérico para voltios, amperios, milivoltios y miliamperios, digital.
- 1 Ud Banqueta de aislamiento y pértiga para comprobación de redes.
- 1 Ud Taladro eléctrico portátil, 550 W.
- 1 Ud Juego de extractor de tornillos.
- 1 Ud Simulador para conductivímetro.

- 1 Uds Termómetro patrón de -60 a 1000 grados C.
- 1 Uds Balanza para comprobación de manómetros.
- 1 Ud Columna de mercurio para calibración de transmisores de presión.
- 1 Ud Manómetro patrón de 0 a 100 kg/cm2.

10.7.11 Equipamiento de oficinas

El material previsto para las oficinas que se ubicarán en la Planta Desaladora, consistirá en el mobiliario necesario a saber: mesas de despacho, sillas, armarios y librerías. Asimismo, se dispondrán unidades de ordenadores personales e impresoras. Habrá disponible, además, material diverso de oficina, tal como archivadores, papelero, taladrador, engrapadoras, folios. Este material estará en cantidad suficiente en el almacén de material de oficina, de forma que no haya interrupciones de trabajo a causa de una carencia del dicho material.

10.7.12 Sistema de ventilación y aire acondicionado

Tanto la sala de control como la zona de oficinas estarán provistas de un sistema de aire acondicionado. También se instalarán aires acondicionados en los CCMs, para poder refrigerar las salas. En el edificio del bomebep de captación con el fin de refrigerar la sala se instalarán 2 extractores de 3 KW.

10.7.13 Tratamiento de aguas residuales

Se proyecta la conexión al desvío del colector de saneamiento existente de las aguas residuales procedentes del edificio de control.

11 Criterios de diseño

11.1 Criterios Generales

El criterio general considerado en el diseño del sistema Planta Desaladora, ha sido el de dotarle de la máxima flexibilidad, redundancia y fiabilidad de modo que se garantice la producción y suministro de los volúmenes y calidades de agua potable requeridas.

El dimensionamiento de la planta se ha realizado para las siguientes salinidades (solidos totales disueltos del agua de mar) 33,000 mg/l como límite inferior y 35,000 mg/l como límite superior, respectivamente. Estas salinidades habían sido consideradas en el predimensionamiento de la planta y sus valores han sido validados como resultado de las campañas analíticas realizadas.

El sistema se ha diseñado para una producción nominal de 250 l/s. No obstante, para asegurar en todo momento la producción nominal ante operaciones de mantenimiento o avería de equipos, de acorde con los estandares y practicas internacionales el sistema debera' contar con una sobrecapacidad del 20% sobre la producción nominal.

11.2 Selección de materiales y equipos mecánicos

El inmisario submarino de captación se ha previsto su ejecución en polietileno de alta densidad (PEAD). Este tramo de conducción de toma parte marina conecta la torre de toma con el cárcamo de captación.

El sistema de tuberías que conduce el agua de mar desde el cárcamo de captación hasta Planta Desaladora, conducción de toma parte terrestre, se ha previsto su construcción en poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) para las presiones requeridas en cada caso.

La conducción de evacuación de salmuera se ha previsto construirla en polietileno de alta densidad en el tramo marino (entre la zona del cárcamo y el punto de evacuación de la salmuera en el mar) y en PRFV en el tramo terrestre (entre el tanque de salmuera ubicado en la desaladora y la zona del cárcamo).

La totalidad de las conducciones de agua de mar de baja presión ubicadas en la zona de la Planta Desaladora, tales como colectores de agua filtrada, maniobra de filtros de arena y de cartuchos, circuitos de lavado de filtros, circuitos de limpieza de membranas, colector de permeado, etc., se ha previsto construirlos en PRFV para las presiones requeridas en cada caso.

La totalidad de los circuitos de alta presión (alimentación a módulos de ósmosis inversa, colector de rechazo de los módulos de ósmosis inversa y alimentación a sistemas de recuperación de energía), se ha previsto construirlos en acero inoxidable Súper Dúplex UNS S32750 o UNS S32760 o similar.

Las tuberías de permeado de salida de módulos se han previsto en polipropileno (PP) hasta la conducción general; y de esta hasta el depósito de agua producto en PRFV.

Las tuberías para reactivos químicos se ejecutarán en materiales plásticos, excepto para el ácido sulfúrico concentrado. Las tuberías del ácido sulfúrico concentrado se han previsto en acero al carbono o PVDF, excepto el punto de inyección que será en teflón, para soportar las elevadas temperaturas que se producen al ponerse en contacto el agua con el ácido sulfúrico

Las bombas centrífugas de captación de agua de mar se han previsto de cámara partida verticalizada construidas en acero inoxidable Súper Dúplex.

Las bombas centrífugas de alta presión se han previsto de tipo segmentada, construidas en acero inoxidable Súper Dúplex.

Para la recuperación de energía del sistema de osmosis, se ha previsto la instalación de intercambiadores de presión. Los elementos internos de estos intercambiadores de

presión están construidos en materiales cerámicos y la carcasa en PRFV.

La totalidad de los depósitos a presión tales como filtros de arena y filtros de cartuchos, están provistos de discos de ruptura; para protección de sobre presiones. Ambos filtros se construirán en PRFV diseñados a la presión adecuada.

En las conducciones de agua de mar a baja presión se ha previsto la instalación de válvulas de mariposa con mariposa en superduplex ASTM 890 Gr 5A o de fundición dúctil recubierto de halar y el elastómero en EPDM.

En las conducciones de agua de mar y salmuera a alta presión, se ha previsto la instalación de válvulas de macho en superduplex ASTM 890 Gr 5A o similar y cierre en teflón.

La totalidad de las válvulas para dosificación de productos químicos y aislamiento de instrumentos en los circuitos de baja presión serán de material plástico aptos para el reactivo en cuestión.

La totalidad de las válvulas de aislamiento, de instrumentos, tomas de muestra, etc., en alta presión serán de bola construidas en UNS S32750 o UNS S32760 o similar.

Las válvulas instaladas en la zona de salida de los módulos de ósmosis inversa y en las aspiraciones e impulsiones de las bombas de agua tratada serán construidas en AISI-316L.

La conducción de impulsión de agua potable hacia el depósito de “El Gallo”, se ha previsto en PRFV, material que también se empleará en la conducción de distribución del agua hacia los depósitos de “Márquez de León” y “Revolución”. La especificación técnica de esta conducción se trata en el Apartado E del presente proyecto constructivo.

Con respecto a la instrumentación de campo queremos hacer notar los siguientes aspectos:

- La instalación dispondrá de interruptores de mínimo nivel instalados en todos los depósitos para protección de bombas de forma que las transmisiones de nivel con señal analógica 4-20 mA, instalados en los depósitos servirán únicamente para seguimiento del nivel en los tanques.
- Se dispone de transmisiones de presión en las impulsiones de las bombas de alta presión y en las de impulsión de agua de mar.
- Las medidas de caudal está previsto efectuarlas con medidores electromagnéticos de caudal. Se ha desestimado la utilización de transmisiones de presión con placa de orificio debido a su menor precisión.
- Las medidas analíticas de pH, conductividad, cloro libre, turbidez y redox está previsto efectuarlas mediante sondas instaladas en circuitos de derivación, de forma

que para limpieza o cambio de la sonda no sea necesario aislar la tubería de proceso.

- Se ha previsto la instalación de sondas de temperatura, en los devanados de los motores y cojinetes de las bombas de alta presión, y únicamente, en los devanados de los motores en las bombas de agua de mar y de agua producto.
- Los actuadores de las válvulas neumáticas están provistas de contactos final de carrera, inductivos, para señalización y confirmación de estado.
- Para control de la conversión del sistema se ha previsto la instalación de variadores de frecuencia en las bombas de alta presión.

- La totalidad de los manómetros instalados en las conducciones de agua de mar y salmuera, están equipados con separadores de Teflón. Asimismo, los instalados en las impulsiones de bombas centrífugas, disponen de sistemas de amortiguación.
- La totalidad de la instrumentación de campo está prevista de indicación local.

- Considerando la existencia de conducciones comunes para el agua de alimentación a sub-bastidores y el agua producto, se ha previsto la instalación de medidores magnéticos de caudal en los colectores de recogida de agua producto, con objeto de detectar el ensuciamiento de las membranas por bajo caudal.

11.3.1 Estabilidad en Fondo y Diseño de Lastres

Las conducciones de polietileno previstas en los tramos marinos tanto para el emisario como para el inmisario, presentan flotabilidad positiva, y por tanto, para garantizar la estabilidad de las conducciones instaladas en el fondo, es necesario dotarlas de un cierto grado de lastrado suficiente para resistir los esfuerzos horizontales inducidos por la hidrodinámica de la zona.

Para ello, se ha realizado el análisis del equilibrio de fuerzas desestabilizadoras originadas por la dinámica marina y el peso sumergido de la propia conducción. La determinación de las acciones del oleaje a las que se verá sometida la conducción y las fuerzas de arrastre e inercia, se han calculado mediante la ecuación de Morison, es decir, asumiendo la condición de elementos esbeltos.

Con todo ello, se ha determinado que es necesario dotar de lastrado a ambas conducciones con un peso de cada pieza de lastre de 3,226 kg y 3,104 kg, para el emisario y el inmisario respectivamente.

Con objeto de optimizar el diseño y reducir el número de lastres, es necesario disponer a lo largo de cada conducción, de las tuberías con distancias variables en función del tramo que se trate de acuerdo a las siguientes tablas:

Tabla 4a. Distribución de lastres para cada tramo del inmisario.

Tramo	Longitud del tramo (m)	Lastrado (t/m)	Número de lastres	Distancia entre lastres
I	180	0,018	0	-
II	200	0,018	0	-
III	300	0,329	32	9,3 m
IV	300	0,728	71	4,2 m
V	300	0,739	72	4,1 m
VI	340	0,733	81	4,1 m
			256 lastres	

Fuente: Elaboración Propia con base en proyectos anteriores

Tabla 4b Distribución de lastres para cada tramo del emisario

Tramo	Longitud del tramo (m)	Lastrado (t/m)	Número de lastres	Distancia entre lastres
I	180	0,016	0	-
II	200	0,016	0	-
III	300	0,264	25	12,0 m
IV	300	0,585	55	5,4 m
V	300	0,585	55	5,4 m
VI	340	0,583	62	5,4 m
VII	260	0,561	46	5,6 m
VIII	170	0,553	30	5,6 m
IX	52	0,736	12	4,1 m
			285 lastres	

Fuente: Elaboración Propia con base en proyectos anteriores.

Estos valores deberán considerarse como separaciones máximas entre los ejes de lastres contiguos. Separaciones mayores conducirían a lastrados inferiores a los requeridos por cálculo y por lo tanto, deberán evitarse.

En los dos primeros tramos de ambas conducciones, sólo se requiere el lastrado mínimo para hundimiento, ya que estos tramos serán instalados entre tablestacas. Se dotará a los tubos de este lastrado mediante el uso de cadenas en su interior. En las siguientes tablas se muestran las alternativas de cadenas adecuadas en cada caso, tomando como referencia el catálogo de Vicinay Cadenas S.A.

Tabla 5. Lastrado mediante cadenas para hundimiento del inmisario en los dos primeros tramos

Número de cadenas	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Requerimiento (kg/m)	Coeficiente
1	36	26	18	1,26
2	26	28	18	1,35
3	20,5	30	18	1,45

Elaboración Propia con base en proyectos anteriores.

Tabla 6. Lastrado mediante cadenas para hundimiento del emisario en los dos primeros tramos

Número de cadenas	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Requerimiento (kg/m)	Coeficiente
1	34	23	16	1,25
2	24	24	16	1,30
3	20,5	24	16	1,30

Elaboración Propia con base en proyectos anteriores.

11.4 Tendido de las conducciones en los tramos submarinos

Los tramos submarinos que forman ambas conducciones, tanto en el emisario como en el inmisario, tramos I a VIII está previsto que se instalen mediante tendido por hundimiento controlado y progresivo. Con este procedimiento el tubo desarrolla la conocida forma de S, bajo la cual sufre tensiones de cierta relevancia que deben compensarse ejerciendo sobre el extremo del tubo un tiro horizontal. Se ha verificado en el “Anexo D06. Cálculos Mecánicos” que los coeficientes de seguridad frente a abolladura, plastificación y acciones de Von Misses son mayores de 1.5 para los tubos diseñados. Estos cálculos, se han desarrollado por el método de diferencias finitas integrado en el software ANSYS, obteniéndose que con un tiro horizontal de 9,5 t se pueden llevar a cabo las operaciones de tendido del tubo en condiciones de seguridad.

11.5 Cálculos Hidráulicos

En el sistema de captación y vertido diseñados, el agua de mar es captada mediante una toma abierta en la isobata -16, conducida mediante tubería hasta el cárcamo de bombeo cercano a la playa, desde donde es impulsado hasta la Planta Desaladora. El

agua de rechazo (agua con salinidad doble a la del mar) del proceso de desalación, es devuelta por gravedad al mar mediante un emisario, que en su tramo final, mediante seis boquillas difusoras diluyen el vertido en el medio receptor.

Este sistema requiere el estudio hidráulico para conocer el mínimo nivel de agua que se producirá en el cárcamo de bombeo cuando las bombas estén funcionando a máximo caudal, para poder diseñar el conjunto cárcamo de bombeo y sistema de bombeo que garanticen el correcto funcionamiento en cualquier situación del nivel del mar. Este estudio consiste en calcular las pérdidas de carga que se producen a lo largo de la tubería de captación y en la propia torre.

También es necesario conocer la lámina de agua necesaria en la arqueta de descarga de la desaladora, que permita desaguar por gravedad la salmuera en cualquier situación deivel del mar. El estudio consiste en calcular las pérdidas de carga que se producen a lo largo del emisario y en el tramo difusor.

Los parámetros considerados en el cálculo del inmisario y su resultado se resumen en la Tabla 11. Es importante señalar, que del lado de la seguridad, se han previsto unas incrustaciones en el interior de la conducción que suponen una reducción del diámetro en 14 cm. Con todo ello, para una bajamar extraordinaria de -1,5 m y unas pérdidas de carga de 2.95m, se obtiene una altura mínima de lámina de agua en situación de máximo bombeo en el cárcamo de bombeo de – 4.45 m.

A estas pérdidas hay que sumar 2,363 m el tramo difusor, que supone una pérdida de carga total de 4.99 m, que para un nivel de pleamar extraordinaria de 1.9 m supone que es necesaria una cota de agua en la cámara de carga de 6,89 m.

Una parada repentina de los equipos de impulsión, provocará el comienzo de un movimiento oscilatorio del nivel de agua en la cántara motivado por la energía cinética del caudal de agua del tubo inmisario. Se ha realizado un cálculo de oscilación de la masa de agua para la conducción de toma, obteniéndose una sobreelevación máxima de 0.68 m sobre la máxima marea (+1.90 m). Como resultado se ha concluido que la cota máxima de elevación es 2.58 m.

11.6 Toma de agua de mar

Para el diseño de la toma de agua de mar más apropiada a los fines del proyecto, se han comparado en términos técnicos diferentes opciones en cuanto a la tipología y materiales susceptibles de conformar la estructura de captación. También se ha evaluado la posibilidad de emplear una torre única con planta paralelepipédica o circular.

En el dimensionamiento de la torre se han considerado los siguientes condicionantes hidráulicos:

Tabla 7. Parámetros de diseño de la rejilla de la toma de agua.

DISEÑO DE LA REJILLA	
Caudal de diseño (m^3/s)	0,7542
Velocidad de paso límite (m/s)	Menor de 0,20
Coeficiente de reducción por adherencias marinas (adim)	0,33

Fuente Elaboracion propia con base en PROY-NOM-0013-CONAGUA/SEMARNAT-015

El cálculo de estabilidad en fondo se ha realizado para un oleaje de diseño con 100 años de periodo de retorno y las acciones ocasionadas, se han calculado por medio de la ecuación de Morison, asumiendo teoría lineal del oleaje. Estudios oceanográficos, dependen del área de la proyección de la estructura sobre un plano perpendicular a la dirección del flujo y de unos coeficientes de inercia y arrastre que se relacionan con la forma del cuerpo. El conjunto de condicionantes de estabilidad considerados de esta forma han sido los que siguen:

Tabla 8. Variable de diseño: elementos desestabilizadores sobre la estructura.

ACCIONES DESESTABILIZADORAS	
Periodo de retorno (años)	100
Altura de ola significante en aguas profundas (m)	5,8
Periodo de pico (s)	12
Profundidad del agua en el emplazamiento (m)[4]	16
Coeficiente de conversión H/Hs	1,86
Coeficiente de inercia (adim)	2
Coeficiente de arrastre (adim)	1
Corriente ambiental (m/s)	0,20

Fuente: Elaboración Propia con base en proyectos anteriores.

La verificación de la estabilidad de la estructura de captación frente a las acciones del oleaje, se ha realizado según se establece en las recomendaciones de la ROM 0.5 (1994 y 2005)[2] para los valores siguientes de:

Coeficiente de seguridad frente al vuelvo ≥ 1,6 *Coeficiente de seguridad frente al deslizamiento* ≥ 1,2

Finalmente, se han tenido en cuenta otros condicionantes como: dejar al menos 3 m de distancia entre el lecho marino y las ventanas de la torre para evitar la entrada de finos, emplear formas simples para facilitar su construcción y dejar al menos 5 m libres desde la coronación de la estructura hasta la superficie libre del mar.

Con todo lo anterior, se ha concluido que el diseño óptimo para esta estructura es una torre de planta cuadrada de hormigón de 2.80 m de lado y 5.45 m de altura, con ventanas de 1.05 m de altura, una en cada lado.

11.7 Instalaciones auxiliares

Para el desarrollo de las obras de Toma y Vertido descritas en los apartados anteriores, será necesario disponer de espacio de almacenamiento para ejecutar soldaduras al menos durante una semana, es decir, se acopiarán no menos de 21 segmentos de tubo. Por otra parte, se requerirá un parque de prefabricados para lastres con capacidad para 24 unidades completas y una zona de acopio de al menos 12 unidades. El tren de montaje tendrá, hasta el extremo de la rampa de lanzamiento, unas dimensiones que rondarán los 65 m – 70 m de longitud.

Además, se dispondrá de una zona de oficina, aseos, almacén, taller y acopio de ferralla, parque de maquinaria, punto limpio y otros materiales.

11.8 Balizamiento de la obra marítima.

Los extremos tanto del inmisario con del emisario, se señalizarán con sendas marcas especiales sobre boya amarilla con marca de tope en forma de aspa amarilla de acuerdo a las recomendaciones internacionales de la IALA. Las boyas de marcación corresponderán al modelo EBM-12 fabricada por MESEMAR S.L., cuya configuración puede verse en la siguiente figura.

Una se encontrará en el área de la toma de agua de mar en el CADENAMIENTO 1+657.15 m desde la estación de bombeo en la isobata de 16 m de profundidad, con respecto al nivel medio del mar. La otra se localizará en el sistema de descarga de salmuera, 477 m alejado de la toma de agua a -18 m de profundidad con respecto al nivel medio del mar.

11.9 Servicios afectados

El diseño y trazado de las conducciones terrestres se ha realizado, además de considerando los diferentes aspectos técnicos y de funcionamiento que se deben tomar en cuenta, procurando interferir lo mínimo posible con los servicios existentes en la zona.
En el cadenamiento 0+692.498 se ha realizado una adaptación tanto del trazado de la conducción en planta, como de la forma del macizo de anclaje en el codo para solventar las afecciones. En el cadenamiento 1+200.00 además de que con la adaptación del trazado en planta, la interferencia se ha resuelto en alzado, haciendo que el trazado

tanto del inmisario como del emisario transcurra bajo las conducciones previamente existentes. Y finalmente, en el cadenamiento 1+253.20, el macizo de anclaje se ha diseñado, adaptando su forma para evitar afecciones, y el trazado de la conducción se adapta, y se resuelve la interferencia en alzado, llevando las conducciones de la desaladora por debajo de las existentes.

11.10 Captación de agua de mar

El agua bruta para alimentar a la estación desaladora se prevé captar mediante torre de toma e inmisario submarino a una cántara de bombeo equipada con tres bombas centrífugas verticalizadas. En condiciones normales dos de las bombas estarán en funcionamiento, quedando una bomba de reserva.

En los episodios de aclarado de alguno de los filtros de primera o de segunda etapa, funcionarán las tres bombas instaladas para aportar el caudal de agua de mar adicional necesario, regulando el caudal con los variadores de frecuencia que equipa cada bomba.

11.11 Pre- tratamiento

Las plantas de desalación por ósmosis inversa incorporan una etapa de pre-tratamiento del agua de mar, con el fin de minimizar las obstrucciones de las membranas semipermeables y ajustar las condiciones físico-químicas del agua entrada, a efecto de obtener un buen funcionamiento de las membranas y del equipo de ósmosis inversa propiamente dicho.

11.12 Control del crecimiento biológico

El bombeo de captación incluirá un equipo de dosificación de hipoclorito sódico, con el fin de poder controlar la actividad biológica del sistema. Este sistema realizará dosificaciones de choque tanto en la torre de toma como en la cántara de captación con hipoclorito comercial al 15% de concentración. En la planta se instalará otro equipo de dosificación de hipoclorito sódico, a efecto de controlar la actividad biológica en los filtros mediante un generador de hipoclorito al 0.7% de concentración.

Las membranas son un elemento sensible al cloro, por lo que antes de que el agua entre en contacto con ellas, se deberá proceder a una eliminación del cloro mediante la dosificación de bisulfito sódico.

11.13 Filtración

Al tratarse de un sistema de captación abierta, se ha previsto la instalación de tres etapas de filtración, que evitan la obstrucción de membranas:

- Una primera etapa con cuatro filtros de arena, con talla efectiva 2 mm.
- Una segunda etapa con tres filtros de doble capa arena-antracita, con talla

efectiva
0.4 y 1 mm respectivamente.

- Una tercera etapa de filtros de cartuchos, con selectividad de 5 □, para asegurar la eliminación de solidos antes de su alimentación a las membranas.

Se prevé una dosificación de cloruro férrico, con el fin de formar fóculos y eliminarlos en los filtros.

Los filtros tanto de arena como de cartuchos se han diseñado con velocidades de filtración conservadoras. Se ha previsto realizar el lavado de los filtros con salmuera de rechazo, para evitar los desarrollos biológicos en el lecho filtrante. Dicha salmuera produce grandes choques osmóticos en los organismos vivos, impidiendo su agrupación y desarrollo. Este proceso de lavado de los filtros con salmuera, se realiza a contracorriente de los filtros.

Para realizar la limpieza de los filtros con agua de mar, antes de su puesta en servicio y permitir el lavado con agua de mar en las operaciones de arranque, cuando no se dispone de salmuera, se prevé la instalación de una tubería conectada a la tubería de impulsión para poder llenar el depósito de salmuera.

Se ha dotado a la planta de analizadores y medidores de las diferentes variables, tales como pH, redox, conductividad, turbidez, cloro libre, etc., con objeto de controlar la efectividad de las diferentes etapas de tratamiento.

11.14 Control de incrustaciones

Para evitar las posibles incrustaciones de carbonatos y de otros compuestos precipitados, proponemos dos sistemas para controlarlo.

- La dosificación de ácido sulfúrico permitirá reducir el pH del agua de mar para evitar la precipitación de carbonatos.
- La dosificación de anti-incrustantes, con el propósito de inhibir la formación de precipitados en las membranas (carbonatos, sulfatos, óxidos, etc.)

11.15 Control del pretratamiento

A la salida del agua de los filtros de cartucho dispondremos de los siguientes elementos de control del pretatamiento:

- Medida de temperatura del agua de alimentación.
- Conductivímetro del agua de aporte.
- Turbidímetro para controlar la turbidez del agua de entrada a las membranas.
- Aparato con controlador para la medición y regulación del PH.
- Medidor -controlador del potencial redox.

- Medición del SDI.

11.16 Ósmosis Inversa

La desaladora se compone de 6 bastidores de ósmosis inversa, que a su vez se agrupan en dos unidades de producción. El agua filtrada con la ayuda de los filtros de presión y de las dosificaciones oportunas llega a los filtros de los cartuchos y en las condiciones adecuadas, para posteriormente alimentar a las bombas de alta presión y a las cámaras isobáricas que impulsan el agua de mar a los bastidores de ósmosis inversa. El agua entra en una serie de tubos de presión (que incorporan sus membranas correspondientes), produciendo paralelamente dos corrientes, una de agua producto o permeado y otra de rechazo o salmuera, donde se han concentrado las sales que llevaba el agua de mar. Para la recuperación de la energía potencial del rechazo de los bastidores de la ósmosis inversa, se ha optado por la instalación de una serie de recuperadores de energía que funcionan por el principio de cámaras isobáricas.

En la desaladora se ha optado por la instalación de intercambiadores de presión como sistema de recuperación de la energía (que posee la salmuera rechazada por las membranas), en lugar de turbinas. El motivo de instalación de estos equipos es que la eficiencia de los intercambiadores de presión es más elevada que la de las turbinas (97% de eficiencia de un intercambiador de presión frente a un 88% de eficiencia de una turbina tipo Pelton), lo que conduce a un menor consumo energético.

Por tanto, cada conjunto de bombeo de alta presión estará compuesto por los siguientes equipos:

- Una bomba de alta presión, equipada con un variador de frecuencia.
- Un rack equipado de nueve recuperadores de energía.
- Una bomba booster, dotada de un variador de frecuencia.

La Planta Desaladora, se ha diseñado con un solo paso y una sola etapa, y estará formada por seis racks de membranas de osmosis inversa con una capacidad de producción unitaria de 180.92 m^3/h (4,342 m^3/día o 50.25 l/s).

11.17 Sistema de colector común

El conjunto de bastidores esta complementado con un conjunto de tuberías generales comunes: conducción de impulsión de agua de mar, conducción de rechazo y conducción de agua producto. Esto permite trabajar con la totalidad de la planta como si fuera una única línea (funcionamiento en colector común), dotando a la planta de la máxima flexibilidad de operación y optimizando el rendimiento en situaciones de menor y mayor demanda de agua a producir. Cada bomba de alta presión impulsa el caudal correspondiente a tres bastidores contra el colector común, del que salen dos ramales que se unen con la impulsión de las bombas booster.

Cada tres bastidores se dispone de una bomba booster y de un sistema de

recuperación de energía independiente.

Las principales ventajas del sistema de colector común son las siguientes:

- La bomba de alta presión y bomba booster de reserva puede alimentar a cualquiera de los bastidores, lo que favorece la flexibilidad de la operación y del mantenimiento del conjunto.
- Mantiene la capacidad de producción total con un bastidor completo fuera de servicio utilizado en operaciones de limpieza y/o mantenimiento.

Los principales inconvenientes del sistema de colector común son los siguientes:

- Incremento de la inversión por la instalación de un mayor número de válvulas de aislamiento.
- Complicación de la lógica de control (mayor número de conexiones y de secuencias automáticas).

El diseño de dicha conducción común de impulsión de agua de mar, implica que el sistema de bombeo de alta presión (formado por las dos bombas de alta presión), impulse a una única conducción común, desde la cual el agua de mar se distribuye a los distintos rack o bastidores de ósmosis inversa (cinco bastidores para producción nominal y seis bastidores para producción máxima).

La conducción común del rechazo de osmosis conlleva, que la corriente de rechazo generada por los bastidores de osmosis inversa, es recogida en una tubería común, desde la que esté fluido de rechazo de osmosis es distribuida a los dos rack de intercambiadores de presión.

Se ha considerado en el diseño, además la instalación de válvulas de aislamiento (tipo macho), en las conducciones comunes de impulsión de agua de mar y de rechazo, de manera que estos racks de osmosis inversa puedan funcionar como dos unidades independientes de osmosis.

Para impulsar el agua de mar hacia los 6 bastidores de ósmosis inversa a la presión necesaria, se ha previsto instalar tres conjuntos de bombeo de alta presión, uno de ellos en reserva.

El sistema de seis bastidores y conducciones comunes, permite poner en servicio o retirar de la operación los conjuntos de bombeo de alta presión y bastidores, a medida que el caudal de agua potable a producir crece o decrece.

El sistema de ósmosis inversa está diseñado para producir los 250 l/s de agua potable, que es el caudal de agua potable denominado caudal nominal de producción, utilizando dos conjuntos de bombeo de alta presión y cinco bastidores de membranas. Quedan por tanto, en funcionamiento a caudal nominal, un bastidor de ósmosis y un conjunto de bombeo de alta presión como reserva para cubrir las contingencias de

funcionamiento que puedan surgir (limpieza de un bastidor de membranas, avería de un equipo, mantenimiento, etc.).

Para la producción del 20% adicional previsto para optimizar las Tarifas Eléctricas, es decir para la producción de un caudal de 300 l/s de agua potable, denominado caudal máximo de producción, se utilizarán dos conjuntos de bombeo de alta presión y seis bastidores de membranas, ajustando los caudales de funcionamiento con los variadores de frecuencia de las bombas de alta presión y de las bombas booster.

Además, este bastidor de osmosis de reserva podrá entrar en servicio en los periodos de limpieza química o mantenimiento de alguno de los otros cinco bastidores de osmosis, de forma que, si por alguna razón es necesario incrementar la frecuencia de limpieza, esto no afectará a la producción, la cual, se puede afirmar que podrá ser de 250 l/s como mínimo en todo momento los 365 días del año.

En el diseño de la planta se ha previsto la reducción del contenido en boro del permeado por debajo de 1 mg/l, aumentando el pH de alimentación (necesario a altas temperaturas de operación y a edades media de membrana máximas), mediante la dosificación de hidróxido sódico en el agua de mar. El diseño de la ósmosis inversa se ha efectuado seleccionando el modelo de membrana más adecuado para el sistema de funcionamiento y para los requisitos del agua de toma y del agua producto que tiene que generar este proceso de osmosis.

Sus características principales de elección y operación son:

- Membranas de poliamida arrolladas en espiral.
- Se ha considerado para su selección que los flujos de permeado no sean elevados y los de rechazo, no sean bajos, lo cual podría crear problemas de ensuciamiento excesivo sobre todo en la primera y última membrana de los módulos.
- Se consideran condiciones extremas de temperatura (13 y 20.5º C), para membranas limpias y sucias y teniendo en cuenta la tasa de reposición garantizada por el suministrador de membranas.
- Se diseña para unas condiciones de trabajo de presión variable, modificando la presión de alimentación con el ensuciamiento y con los cambios de temperatura. Esto se realiza mediante la regulación de presión que permiten los variadores de frecuencia de las bombas de alta presión. Al mismo tiempo que se regula la presión, se consigue optimizar energéticamente el funcionamiento de los conjuntos de bombeo de alta presión.

11.18 Post Tratamiento

Como sistema de post-tratamiento se ha previsto un sistema de dosificación de hidróxido cálcico, CO2 e hipoclorito sódico, que permitan ajustar el índice de Langelier y el pH del agua producto, además de mantener el contenido exigido por la normativa de cloro residual. Para reducir el coste de suministro de hipoclorito sódico, se instala

un equipo de generación mediante electrolisis de salmuera. La salmuera se produce mediante dilución de sal común (refinada con ausencia de bromo) con permeado del proceso de ósmosis.

12 Límites de Suministro

12.1 Captación de agua bruta

La captación de agua de mar se realizará directamente del Océano Pacífico, mediante torre de toma e inmisario submarino.

12.2 Punto de evacuación de Salmuera al mar

La salmuera procedente de la Planta de Osmosis Inversa, será devuelta al mar mediante un emisario terrestre y un emisario submarino, dotado en su tramo final de difusores que aseguren la dilución de la salmuera con el agua de mar, teniendo cuidado de no crear ningún impacto medioambiental negativo sobre la fauna y la flora de la zona litoral.

12.3 Punto de toma de energía eléctrica

La alimentación de energía eléctrica a la instalación de desalación de agua de mar (I.D.A.M.), se realizará mediante una línea aérea en 115 kV conectada a la línea de alta tensión de la. Asimismo, la Planta Desaladora contará con una subestación eléctrica.

12.4 Punto de entrega de agua potable desalada

El agua potable generada en la Planta Desaladora será bombeada desde la Planta Desaladora hasta el punto de entrega convenido.

13 Características del agua de mar

El agua bruta a desalar es agua de mar, tomada del Océano Pacífico mediante inmisario submarino.

Para caracterizar los parámetros físico químico y la composición iónica del agua de mar, se a realizado una campaña analítica en el emplazamiento de toma para contrastar los datos que se disponían de la caracterización del agua de mar.

Esto genera las siguientes composiciones del agua de mar alimentadas al sistema de osmosis inversa:

13.1 Características del agua de mar alimentada al sistema de osmosis inversa para un TDS de 33.000 mg/l (Incluye un 3% de aumento de salinidad debido a la mezcla del recuperador de energía):

13.1.1 Parámetros Físico Químicos

Tabla 9. Parámetros Físico Químicos.

pH	8,40		
T.D.S. agua de mar	33.000 ppm	T.D.S. agua de mar alimentada al sistema de osmosis inversa	34,907.6 ppm
TEMPERATURA	13 / 20,5 º C	T.A.C.	116,38
DENSIDAD	1,033 Kg/m3	VISCOSIDAD	1,22 x 10^{-6} m²/s

Fuente: Elaboración Propia con base en *PROY-NOM-0013-CONAGUA/SEMARNAT-015*

13.1.2 Composición iónica

Tabla 10. Composición Ionica.

ELEMENTO	mg/l	ELEMENTO	mg/l
Ca^{++}	423,9	$CO_3^{=}$	26,4
Mg^{++}	1.351,00	HCO_3^{-}	156,30
Na^{+}	10.622,3	$SO_4^{=}$	2.826,10
K^{+}	402,2	Cl^{-}	19.079,20
Sr^{++}	13,409	Br^{-}	0,00
Ba^{++}	0,052	NO_3^{-}	0,70
Fe^{++}	0,00	PO_4^{3-}	0,00
Mn^{++}	0,00	F^{-}	1,40
NH_4^{+}	0	SiO_2	0,00
ELEMENTO	**mg/l**	**ELEMENTO**	**mg/l**
Ag^{+}	0,00	I^{-}	0,00
Zn^{++}	0,00	$S^{=}$	0,00
Cu^{++}	0,00	SiO_2 coloidal	0,00
Al^{+++}	0,00	B^{3-}	4,63
Fe^{+++}	0,00	CO_2	0,41
H^{+}	0,00	OH^{-}	0,00

Fuente: Elaboración Propia con base en documento "Gestión de Descargas de Salmuera de la EPA"

13.2 Características del agua de mar alimentada al sistema de osmosis inversa para un TDS de 35.000 mg/l (Incluye un 3% de aumento de salinidad debido a la mezcla del recuperador de energía):

13.2.1 Parámetros físicos químicos:

Tabla 11. Parámetros Físicos Quimicos.

pH	8,40		
T.D.S. agua de mar	35.000 ppm	T.D.S. agua de mar alimentada al sistema de osmosis inversa	36,766.5 ppm

TEMPERATURA	13 / 20,5 º C	T.A.C.	116,38
DENSIDAD	1,033 Kg/m3	VISCOSIDAD	$1,22 \times 10^{-6}$ m²/s

ELEMENTO	mg/l	ELEMENTO	mg/l
Ca^{++}	423,9	$CO_3^{=}$	27,6
Mg^{++}	1.350,90	HCO_3^{-}	156,9
Na^{+}	11.245,5	$SO_4^{=}$	2.826,9
K^{+}	398,2	Cl^{-}	20,316.3
Sr^{++}	13,409	Br^{-}	0,00
Ba^{++}	0,052	NO_3^{-}	0,70
Fe^{++}	0,00	PO_4^{3-}	0,00
Mn^{++}	0,00	F^{-}	1,40
NH_4^{+}	0	SiO_2	0,00
ELEMENTO	**mg/l**	**ELEMENTO**	**mg/l**
Ag^{+}	0,00	I^{-}	0,00
Zn^{++}	0,00	$S^{=}$	0,00
Cu^{++}	0,00	SiO_2 coloidal	0,00
Al^{+++}	0,00	B^{3-}	4,63
Fe^{+++}	0,00	CO_2	0,41
H^{+}	0,00	OH^{-}	0,00

Fuente: Elaboración Propia con base en documento "Gestión de Descargas de Salmuera de la EPA"

13.3 Otros parámetros

Los parámetros adicionales del agua de mar existente en la zona de la toma que se han tenido en cuenta para el dimensionamiento de la planta son:

- Turbidez 2 NTU
- Aceites y grasas: Exenta
- Materia en Suspensión (MS): < 3.00 mg/l

13.4 Temperatura del agua bruta

La planta se ha diseñado para un rango de variación de la temperatura el agua de mar que va desde los 13º C hasta los 20.5º C. Estas variaciones de temperatura requieren un diseño especial y específico de la instalación, con el objetivo de garantizar la capacidad de producción y calidad a lo largo del año.

13.5 Condiciones de referencia

Las condiciones de referencia del emplazamiento son las siguientes:

- Lugar de captación: Toma abierta profundidad -16 mts B (Océano Pacífico).
- Cota de la desaladora: 6 mts.
- Cota bombeo del agua producto: 2,10 mts.
- Tanque de regulación (cota de descarga):111 mts.
- Cota de referencia: Nivel general del país (0.30 mts sobre nivel del mar).
- Presión barométrica: 1,013 bar.
- Temperatura del aire ambiente: 30º C.
- Humedad ambiente del aire: 78 %.
- Temperatura del agua de mar: 24º C.
- Temperatura del agua de mar después del tratamiento: Max 10º C por encima de la temperatura del agua de mar.
- Temperatura del agua de mar de rechazo: Max 10ºC por encima de la temperatura del agua de mar 3.5.

14 Calidad del agua producto/Normas aplicables

La calidad del agua desalada en el punto de entrega cumplirá con lo establecido en las Bases de Licitación y en la “Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental. Agua para Uso y Consumo Humano. Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua para su Potabilización” durante todo el periodo que rija el contrato.

Límites permisibles de calidad del agua fijados por la normativa Mexicana. Los límites permisibles de calidad del agua fijados por la “Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud Ambiental. Agua para Uso y Consumo Humano. Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua para su Potabilización”.

Tabla 12. Límites permisibles de calidad del agua.

Requisito	***Unidad***	***Límite máximo***
Turbiedad	Unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)	5
Color verdadero	Unidades en la escala platino-cobalto	20
Olor	-	Agradable
Sabor	-	Agradable

Fuente: Elaboración Propia con base en NOM-127-SSA1-1994

14.1 Características químicas

Tabla 13. Características químicas.

Compuesto	***Valor y unidad***
Dureza total (como CaCO3)	500 mgr/l
pH	6,5-8,5
Bario	0,7 mg/l
Cadmio	0,005 mg/l
Cloro residual libre	0,2-1,5 mg/l
Cloruros	250 mg/l
Cianuro	0,07 mg/l
Cobre	2,0 mg/l
Cromo total	0,05 mg/l
Hierro	0,3 mg/l
Fluoruros (como F-)	1,5 mg/l
Manganeso	0,15 mg/l
Mercurio	0,001 mg/l
Nitratos (como N)	10 mg/l
Nitritos (como N)	1,0 mg/l
Nitrógeno amoniacal (como N)	0,5 mg/l
Plomo	0,01 mg/l
Sodio	200 mg/l
Sólidos disueltos totales	1.000 mg/l
Sulfatos (como SO4--)	400 mg/l
Yodo residual libre	0,2-0,5 mgr/l
Zinc	5 mgr/l
Aluminio	0,2 mg/l
Arsénico	0,05 mg/l
Compuestos fenólicos	0,3 mg/l
Yodo residual libre	0,2-0,5 mg/l
Zinc	5,0 mg/l

Fuente: Elaboración Propia con base en NOM-127-SSA1-1994

14.2 Características radioactivas

Tabla 14. Características radioactivas.

Característica	Límite permisible Bq/l
Radioactividad Beta global	0,56
Radioactividad Alfa global	1,85

Fuente: Elaboración Propia con base en NOM-127-SSA1-1994

14.3 Características bacteriológicas

Tabla 15. Características bacteriológicas.

Característica	Límite permisible
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
E. coli o coliformes fecales u organismos termo-tolerantes	Ausencia o no detectables

Fuente: Elaboración Propia con base en NOM-127-SSA1-1994

14.4 Límites adicionales exigidos en las bases de licitación

El agua producto, además, cumplirá los siguientes requisitos:

14.4.1 Contenido en boro será Inferior o igual a 1 ppm

Este valor de boro se determinará mediante media anual. Para la media anual del Boro, se considerarán las medidas de boro en agua producto, realizadas durante el funcionamiento de la planta en las condiciones de temperatura de agua de mar de diseño, es decir entre 13 y 20.5 º C. Los valores obtenidos para condiciones distintas a las indicadas no serán tenidos en cuenta para el cálculo de la media.

14.4.2 Índice de Langelier (LSI)+ 0.5

Para el cálculo del índice de Langelier se utilizará la norma DIN38404-C10-R2.

14.4.3 Salinidad total (agua post tratada) < 500 mg/l

Con una tolerancia admisible de ±20% aplicada del modo siguiente:

- Para el intervalo de solidos totales disueltos del agua de mar considerado en el diseño 33,000 y 35,000 ppm, el valor del contenido de Sólidos Totales Disueltos en el agua producto será de inferior a 500 ppm. o Para valores inferiores al límite inferior de la salinidad de agua de diseño (33,000 ppm) hasta 28,750 ppm, se aplicará la tolerancia admisible inferior del 20 %: 500 ppm -20%= 400 ppm.

- Para valores superiores al límite superior de la salinidad a la salinidad de agua de diseño (35,000 ppm) hasta 42,120 ppm, se aplicara la tolerancia admisible inferior del 20 %: 500 ppm+ 20%= 600 ppm.

15 Servicios Complementarios durante el periodo de Construcción

15.1 Instalaciones eléctricas

El Desarrollador proporcionará y será el responsable de toda la energía eléctrica que se ocupe durante la realización de los trabajos; así mismo realizará los trámites con la CFE, para obtener y pagar el servicio requerido de energía eléctrica e iluminación, tanto para los trabajos de construcción como la conexión y energización de la construcción.

El Desarrollador será el responsable de todas las instalaciones eléctricas provisionales desde el punto de conexión autorizado por la CFE, cumpliendo con la normatividad vigente que aplique, proporcionará e instalará un cableado de circuitos y ramales, con cajas de distribución por zona, de manera que la energía eléctrica esté disponible durante toda la construcción por medio de conductores flexibles.

15.2 Instalaciones sanitarias provisionales

El Desarrollador proporcionará las instalaciones sanitarias provisionales en el sitio de construcción de la planta desaladora, para las necesidades de todos los trabajadores de la construcción y de otros que realicen trabajos, incluidos el personal de la empresa supervisora como el personal del Organismo.

Las instalaciones sanitarias tendrán la capacidad razonable para las necesidades de la construcción, y se mantendrán en buenas condiciones durante todo el período de construcción, estando en lo posible fuera de la vista del público. Si se utilizan sanitarios con tratamiento químico, se proporcionará cuando menos uno por cada 20 trabajadores. El Desarrollador obligará el uso de dichas instalaciones sanitaria, a todo el personal de la obra y será el responsable de su limpieza y desalojo de los desechos de manera controlada y periódica.

15.3 Primeros auxilios

El Desarrollador proporcionará instalaciones y artículos de primeros auxilios, así como personal capacitado para atender al personal, incluyendo subcontratistas, supervisores de obra y personal del Organismo. Contará con un espacio exprofeso para tal fin, el cual dará servicio y atenderá cualquier emergencia durante, al menos, la duración de la jornada laboral. En caso de que el Desarrollador trabaje jornadas extendidas o fines de semana, los servicios médicos deberán estar funcionando para atender cualquier eventualidad. Los espacios requeridos, medicamentos, personal, etc. Serán

proporcionados por el Desarrollador dando cumplimiento a las indicaciones de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social o en su defecto a lo indicado en la OSHA.

15.4 Control de incendios y extintores

Se tendrán el número adecuado de extintores manuales contra incendio para todo propósito (siempre totalmente cargados), colocados en sitios estratégicos. El Desarrollador proporcionará soportes de montaje para pared. Instalará extintores contra incendio tanto en la oficina del Desarrollador como en la oficina de campo del Organismo.

15.5 Almacenamiento, resguardo y protección de bienes.

El Desarrollador, construirá y mantendrá una instalación de almacenamiento provisional, dentro de los límites del terreno o bien contratará otras instalaciones de almacenamiento existentes. Al terminarse el Contrato, el Desarrollador retirará la instalación de almacenamiento provisional y regresará la zona a su condición original o a la indicada en el proyecto ejecutivo.

15.6 Barricadas y luces

Será responsabilidad del Desarrollador que en las calles, carreteras o vías públicas que sean cerradas al tráfico, sean indicadas con barricadas efectivas y con señales de advertencia aceptables. Las barricadas se colocarán en la intersección más cercana, en cada lado de la sección bloqueada. Todas las zanjas y obstrucciones debidas a material y equipo, así como otras excavaciones abiertas tendrán barricadas adecuadas, señales y luces para proporcionar protección al público. Todas las barricadas y obstrucciones estarán iluminadas con luces de advertencia, desde el atardecer hasta el amanecer. Todas las barricadas, señales, luces y demás dispositivos de protección se instalarán y mantendrán de conformidad con los requisitos de la Supervisión del Organismo.

15.7 Daños a la propiedad existente

El Desarrollador será considerado como responsable por daños a estructuras, obras, materiales o equipos existentes, causados por sus actividades o a las de sus subcontratistas, y reparará o repondrá cualquier estructura, obra, material o equipo dañados. El costo correrá a cargo del Desarrollador. El Desarrollador protegerá todas las estructuras y las propiedades existentes contra daños, y efectuará todo apuntalamiento, acordonamiento o cualquier otro trabajo necesario para dicha protección. El Desarrollador será responsable de todo daño ocasionado por el transporte de equipo, material y personal a calles, carreteras, barandillas, aceras, banquetas, canales, terraplenes, alcantarillas, puentes u otros bienes públicos o privados. El Desarrollador tendrá que hacer arreglos satisfactorios y aceptables, con la

dependencia que tenga jurisdicción sobre los bienes, con respecto a su reparación o sustitución.

15.8 Seguridad en la obra

El Desarrollador será el responsable de la protección del predio de toda la planta desaladora y de todos los trabajos, materiales, equipo e instalaciones existentes en el mismo; contra vándalos u otras personas no autorizadas. Las medidas de seguridad serán, cuando menos, similares a las que se prevé habitualmente dentro la Ley Federal del Trabajo, para proteger las instalaciones existentes durante su construcción. El Desarrollador tendrá que proporcionar vigilancia dentro del perímetro total del terreno durante la construcción, montaje de equipos, puesta en marcha y operación de la planta desaladora. La vigilancia del perímetro se proporcionará cada día natural, las 24 horas. El Desarrollador será responsable de la seguridad de toda la propiedad.

15.9 Estacionamiento

El Desarrollador establecerá y mantendrá zonas de estacionamiento, adecuadas para todo el personal que participe en el desarrollo de los trabajos, para evitar cualquier necesidad de estacionar vehículos personales donde pudieran interferir con la vialidad pública o con las actividades de construcción. Durante el proceso de construcción y puesta en marcha, el Desarrollador deberá habilitar espacios de estacionamiento suficientes para su propio personal, sus subcontratistas, personal de la supervisión externa, personal del Organismo y cualquier otro visitante del proyecto.

15.10 Control y mitigación del polvo durante la ejecución de la obra

El Desarrollador tomará medidas razonables para evitar polvo innecesario. Las superficies de terreno sujetas a generar polvo se conservarán húmedas. Cuando sea posible, se cubrirán los materiales sueltos que se encuentren en montones o en tránsito, para evitar que vuelen. La maquinaria, motores, tableros de instrumentos o equipo similar nuevos o existentes, se protegerán con cubiertas adecuadas contra el polvo. Se incluirá una ventilación adecuada, bajo las cubiertas contra el polvo.

15.11 Instalaciones provisionales de drenaje

El Desarrollador proporcionará el drenaje pluvial para evitar que el agua de lluvia o cualquier otra, se estanque o descargue en el terreno donde se realizará la obra. Las instalaciones de drenaje serán las adecuadas para evitar daño a la obra y al terreno. Los canales y conductos de drenaje existentes se limpiarán, agrandarán o complementarán, según sea necesario, para transportar todos los flujos atribuibles a las actividades del Desarrollador. De ser necesario, se construirán diques para desviar

los derrames y evitar que entren a las propiedades colindantes (excepto canales naturales), así como para dirigir el agua a los canales o ductos de drenaje.

15.12 Prevención de la contaminación y manejo de los residuos.

El Desarrollador evitará la contaminación de drenajes y corrientes de agua por desechos sanitarios, residuos peligrosos, sedimentos, detritos u otras sustancias resultantes de las actividades de construcción. No se permitirá que se tiren estos desechos sanitarios a drenajes o corrientes de agua naturales. Instalará contenedores apropiados en el terreno para los desechos generados durante la obra haciendo la separación de los mismos en peligrosos y no peligrosos en diferentes contenedores. La clasificación de los desechos se hará acorde con la definición que de estos hace la legislación ambiental vigente. Se procurará que los desechos peligrosos y no peligrosos sean reutilizados y reducidos antes de la disposición final de los mismos, dicha disposición será responsabilidad del Desarrollador y deberá ser como lo indica la legislación vigente en la materia.

15.13 Retiro de obras provisionales

El Desarrollador retirará totalmente todas las estructuras, materiales y equipo provisionales cuando ya no se requiera su uso. Cualquier daño ocasionado por instalaciones provisionales o por uso de las mismas, será limpiado y reparado; las instalaciones existentes utilizadas para servicios provisionales serán restauradas a su condición original.

15.14 Oficinas de campo

Durante el cumplimiento de su Contrato, el Desarrollador mantendrá oficinas permanentes y adecuadas en el terreno de la obra o cerca del mismo, para que un representante autorizado suyo, reciba planos, instrucciones y otras comunicaciones o artículos. Cualquier comunicación que el Organismo o la Supervisión le entregue a dicho representante o a la oficina del Desarrollador en el terreno de la obra durante la ausencia de éste, se considerará entregada al Desarrollador.

En las oficinas del Desarrollador ubicadas en el terreno de la obra, se guardarán copias del Proyecto Ejecutivo, los planos, especificaciones técnicas, para que estén disponibles en cualquier momento cuando así sea requerido. El Desarrollador proporcionará al Organismo un espacio para instalar sus oficinas (no menor de 50 m^2), en dicho espacio se deberá contar con al menos con dos mesas de trabajo y cuatro sillas para personal de supervisión de campo del Organismo; estas oficinas serán reubicadas en el edificio administrativo al momento que estas sean funcionales. Todas las oficinas provisionales y el mobiliario, serán propiedad del Desarrollador y se

retirarán antes de iniciar el período de operación. El Desarrollador se encargará del mantenimiento y limpieza diaria de las oficinas e instalaciones.

Las instalaciones para las oficinas de campo podrán ser construidas o prefabricadas, se instalarán en sitio de tal manera que sean resistentes a las condiciones ambientales que se presenten y deberán mantenerse en buenas condiciones el tiempo que dure la construcción de la obra. El Desarrollador deberá de considerar un espacio físico dentro del predio de la planta, para la supervisión que el Organismo designe, donde pueda instalar sus propias oficinas acorde con las necesidades. El Desarrollador proporcionara tanto energía eléctrica como servicios sanitarios.

16 Servicios y estándares de Desempeño durante la Operación

16.1 Serivicio principal

El Desarrollador será responsable del suministro de Agua Potable mediante la construcción y operación de una planta desaladora de agua de mar con una capacidad de 250 litros por segundo que incluye el diseño, elaboración del proyecto ejecutivo, financiamiento, construcción, equipamiento electromecánico y pruebas de funcionamiento, así como su operación, conservación y mantenimiento, incluida su conducción y entrega, el tratamiento y la disposición del agua de rechazo durante un periodo de 25 (veinticinco) años.

16.2 Estándares de desempeño. Calidad del Servicio

Si bien el Desarrollador debe cumplir con todas las Leyes Aplicables en México, e ir adaptando sus procesos a las nuevas normas que vayan entrando en vigencia, o modificándose las normas existentes, en términos particulares deberá velar por el cumplimiento de la normativa que se indica a continuación:

a) Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.-Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

b) Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

El cumplimiento a la calidad del agua potable entregada deberá estar en apego a las normas indicadas anteriormente, no siendo aceptable el incumplimiento en ningún parámetro. En casos que se sobrepasen o no cumplan los valores permitidos, se aplicarán sanciones al Desarrollador conforme a lo que se estipulará en el Contrato.

El Desarrollador deberá utilizar laboratorios o empresas de auditoría y control que cuenten con la certificación en términos de las Leyes Aplicables para efectos de los

controles.

16.3 Estándares de desempeño. Continuidad del Servicio

El Desarrollador deberá asegurar la continuidad de la entrega de agua potable como resultado de la operación de la planta desaladora. Sobre el particular deberá considerar lo siguiente:

1.- La planta desaladora deberá aportar un caudal constante de 250 l/s en el punto correspondiente al tanque de entrega. El volumen antes mencionado sólo podrá ser disminuido como consecuencia de una menor demanda en ciertas horas del día a petición del OOMSAPASLC, la cual se deberá hacer constar por escrito.

2.- La Infraestructura deberá estar compuesta por módulos independientes, de forma tal que permitan aportar al menos 100 l/s en períodos donde deba realizarse cualquier labor de mantenimiento de la Planta, en el entendido de que dichos periodos no deberán en ningún caso superar 36 (treinta y seis) horas seguidas. Durante este lapso, se deberá recurrir al agua almacenada en los tanques de reserva para mantener el aporte de 250 l/s. Estos eventos deberán ejecutarse con la debida programación, teniendo el Desarrollador la obligación de comunicar al OOMSAPASLC de tal situación con una antelación de 48 (cuarenta y ocho) horas al momento en que se tenga contemplado ejecutarlas.

3.- El Desarrollador deberá disponer permanentemente de un equipo electrógeno como elemento de seguridad eléctrica de la Infraestructura. No será aceptable que la Planta cese su producción total o parcialmente como resultado de cortes en el suministro eléctrico.

4.- La calidad del agua potable entregada deberá cumplir con la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, según la misma se encuentre vigente a la fecha de la entrega.

5.- El Desarrollador deberá mantener equipos en inventario para responder prontamente ante cualquier falla repentina. Para ello, deberá mantener en inventario en forma permanente, al menos, un equipo de bombeo de la Toma de Aprovechamiento, una bomba del equipo de bombeo de la conducción de agua potable y una bomba por cada proceso de operación de la Planta. En general, se deberá mantener en inventario todo aquel equipo que en caso de falla se necesite más de 36 (treinta y seis) horas tanto para su adquisición como su reemplazo, y que su falla signifique detener total o parcialmente la entrega de los 250 l/s. Lo anterior será permanentemente supervisado y en caso de incumplimiento se aplicarán las sanciones estipuladas en el Contrato.

6.- El Desarrollador también deberá tener en inventario los insumos necesarios para la operación de la Planta que permita cubrir al menos 30 (treinta) días de operación. Lo anterior será permanentemente supervisado y en caso de incumplimiento se aplicarán

las sanciones estipuladas en el Contrato.

7.- En caso de corte de agua por emergencia se deberá de informar inmediatamente al OOMSAPASLC y en caso de corte programado parcial o total, se deberá informar al menos con 72 (setenta y dos) horas de anticipación para que el OOMSAPASLC tome las medidas pertinentes.

8.- El Desarrollador no podrá suspender el suministro del agua potable por fallas en la línea de conducción o en los equipos de bombeo, salvo en casos de Caso Fortuito o Fuerza Mayor debidamente justificados.

9.- Las instalaciones deberán considerar estándares de construcción para asegurar el suministro de agua en las condiciones indicadas, el cual se deberá mantener operativo incluso en caso de sismo o terremoto hasta grado 7 y hasta huracanes tipo 3.

10.- El medidor que registre la entrega del agua deberá estar de forma permanente en buen estado y certificado por empresa acreditada, incluyendo la instalación de data logger y sistema de telemetría para su lectura en línea, tanto en las oficinas del OOMSAPASLC como en las instalaciones del Desarrollador. El OOMSAPASLC podrá auditar el medidor.

16.4 Estándares de desempeño. Cumplimiento en el consumo de energía eléctrica

En el Periodo de Operación el Desarrollador deberá asegurar mantener el consumo de energía eléctrica establecido en su propuesta. Sobre el particular deberá considerar lo siguiente:

1.- El Desarrollador deberá disponer permanentemente de un equipo de medición de consumo de energía eléctrica instalado después del medidor propiedad de Comisión Federal de Electricidad.

2.- El medidor que registre el consumo de energía eléctrica deberá estar de forma permanente en buen estado, calibrado y certificado por una empresa acreditada por la EMA, incluyendo la instalación de un data logger y sistema de telemetría para su lectura en línea, tanto en las oficinas del OOMSAPASLC, como en las instalaciones del Desarrollador. El OOMSAPASLC podrá auditar dicho medidor en caso de considerarlo necesario.

16.5 Estándares de desempeño. Mantenimiento del Proyecto

Una vez que sea aceptado el Proyecto de Ingeniería por el Gerente Supervisor y por el Representante del OOMSAPASLC, el Desarrollador presentará un Manual de Operación y Mantenimiento que, en líneas generales, debe incluir el modelo de organización, los medios humanos, los medios técnicos, materiales y la planificación de los trabajos a realizar con justificación adecuada de la gestión de operación, que se comprometen a poner a disposición para la operación de la Infraestructura y prestación

del Servicio.

16.6 Estándares de desempeño. Reposición de Equipo, Conservación y Mantenimiento.

El Desarrollador se obliga a conservar y mantener la Infraestructura durante toda la vigencia del Contrato, en óptimas condiciones de operación y funcionamiento conforme a la Propuesta del Desarrollador. Asimismo, deberá sujetarse estrictamente al Manual de Calidad y Manual de Operación del Proyecto, que para tal efecto elaborará el Desarrollador y entregará al OOMSAPASLC, para su autorización, dentro de los primeros 30 (treinta) Días del Periodo de Operación. Estos Manuales formarán parte integral del Contrato.

La conservación y mantenimiento a que se obliga el Desarrollador, incluye reponer y/o reparar todos los desperfectos y daños que se produzcan en la Infraestructura dentro de los plazos establecidos en el Contrato y/o que de común acuerdo establezca con el OOMSAPASLC.

El Desarrollador debe considerar que está obligado a operar el Proyecto de manera constante y continua durante el Periodo de Operación, exceptuando los periodos de tiempo requeridos para conservación y mantenimiento que serán como máximo 5 (cinco) veces por año con un máximo de 2 (dos) Días por evento, salvo los eventos de Caso Fortuito o Fuerza Mayor- Cualquier falla durante el Periodo de Operación deberá ser corregida por el Desarrollador en el plazo que de común acuerdo convenga con el OOMSAPASLC; en caso contrario, y cuando éstas sean imputables al Desarrollador, procederá hacer efectivas las sanciones que le correspondan al Desarrollador en términos del Contrato.

Para efecto de la conservación y mantenimiento, el Desarrollador se obliga a adquirir y, en su caso, a tener en los lugares de trabajo, los materiales, insumos, aparatos, equipos y refacciones, instrumentos, controles, tuberías, herramientas y demás bienes necesarios para el funcionamiento normal y la atención preventiva y correctiva que el mantenimiento requiera, durante toda la vigencia del Contrato.

Corresponderá al Desarrollador realizar la operación, conservación, reparación o reposición de equipo, la prestación del Servicio y mantenimiento de la Infraestructura, en los términos del Contrato, durante el Periodo de Operación.

Por lo menos 60 (sesenta) Días antes del fin de cada año calendario del Contrato, el Desarrollador presentará un Programa de Operación y Suministro para el periodo o año siguiente, desglosado mensualmente por las diferentes actividades para la operación y suministro de Agua Potable. Para elaborar este programa, el Desarrollador tomará en cuenta las restricciones que se le impongan: periodos vacacionales, días feriados por ley, fines de semana, etc., así como las condicionantes de índole climatológica, intensificación de limpieza de drenajes, etc.

Al final de la vigencia del Contrato, el Desarrollador se obligará a entregar al OOMSAPASLC debidamente inventariadas todas las instalaciones, equipo, maquinaria, herramienta y demás bienes que integran la Infraestructura, operando eficientemente, así como el Manual de Calidad y Manual de Operación del Proyecto, actualizados a esa fecha, sin costo alguno para el OOMSAPASLC, quien tomará a su cargo la Planta Desaladora, una vez firmada el acta de entrega recepción según lo establezca el Contrato.

El OOMSAPASLC aplicará los controles que considere pertinentes, para lo cual el Desarrollador deberá dar todas las facilidades del caso, entregando la información que se le requiera y ejecutando las acciones que se le soliciten.

Todas estas obligaciones comenzarán a ser exigibles una vez iniciada la operación y mantenimiento por parte del Desarrollador, certificada por la correspondiente acta.

Los costos de los estudios y proyectos necesarios para el desarrollo del Programa de Operación y Suministro deberán estar incluidos en los costos ofertados por el Desarrollador en su Propuesta.

16.7 Servicios Complementarios durante el periodo de Operación.

16.7.1 Vigilancia

El Desarrollador será el responsable de la protección de la infraestructura, materiales, equipo e instalaciones existentes; contra vándalos u otras personas no autorizadas. El Desarrollador tendrá que proporcionar vigilancia dentro del perímetro total de la obra. La vigilancia del perímetro se proporcionará cada día natural, las 24 horas con al menos 2 personas en turnos de 24x24 horas. El Desarrollador será responsable de la seguridad de toda la propiedad.

16.7.2 Limpieza

El Desarrollador será el responsable de mantener limpias y en todo momento las instalaciones inherentes al proyecto. Para tal fin el Desarrollador se apoyará de personal de intendencia a su cargo compuesto por una plantilla básica de 2 personas en turnos de 8 horas al día.

17 Conclusiones

La población de Los Cabos demanda mayores volúmenes de agua para satisfacer las necesidades de uso doméstico, comercial, industrial y de gobierno, lo que hace necesario la inversión en infraestructura que permita satisfacer dicha demanda en el corto y mediano plazo, toda vez que actualmente la oferta es deficitaria derivada de que las fuentes subterráneas y terrestres son insuficientes y no captan los volúmenes de agua necesarios para su recarga, aunado a que la calidad de agua que se obtiene de ellas no es la apropiada por la intrusión de agua marina.

El agua potable que se abastece a la ciudad de Cabo San Lucas, es suministrada por tandeos dados los bajos niveles de captación de las fuentes superficiales, derivado de las bajas precipitaciones pluviales que permitan el almacenaje de agua, para su posterior tratamiento y distribución a la población.

En ese contexto, históricamente el abastecimiento de agua para la ciudad de Cabo San Lucas se ha sustentado en la extracción de aguas subterráneas y de la desaladora actual.

En razón de lo anterior, para abatir el déficit de suministro de agua, se valoraron como alternativas de solución:

- Procesos de tratamiento.
- Recuperación de energía.
- Alternativa de obra de toma.

Cabe mencionar que una vez que se considero como la alternativa más viable el proceso de tratamiendo la desalación de agua de mar, se realizo la alternativa de localización de terrenos.

De conformidad con los resultados del análisis de alternativas llevado a cabo por el OOMSAPASLC, la construcción de una nueva Proyecto para la desalinización de agua de mar se debe realizar en el terreno que se ubica dentro del Club de Golf Diamante, un complejo turístico de alta plusvalía en el cual que se ha identificado por parte del OOMSAPASLC que sea aportado en fideicomiso traslativo del dominio con cláusula de reversión para los fines del Proyectol, o cual permitirá al organismo operador resolver el déficit actual de suministro en la localidad de Cabo San Lucas, y atender la demanda, coadyuvando al desarrollo local y regional.

En ese sentido, conforme al análisis realizado en el presente estudio, tomando como base las memorias del Proceso de la Desaladora, Eléctrica, Obra Civil, Toma y Vertido, y de las Condiciones de Agua Potable, así como la Manifestación de Impacto Ambiental y los Normas aplicables para su realización, se concluye lo siguiente:

1. En cuanto a la selección del sitio para la construcción de la Planta Desaladora, éste se definió considerando lo siguiente: i) Localización estratégica, y ii) Aspecto medioambiental. De igual manera, también se tomó en cuenta la ubicación de la toma de agua de mar, vertido del agua de rechazo y para el bombeo de agua potable desde la Planta Desaladora al sitio de entrega primario, por lo que **se considera factible por su ubicación la ejecución del proyecto**.

2. Respecto de los criterios de diseño de la Planta Desaladora, las obras civiles contenidas en el proyecto, se llevarán a cabo con sistemas constructivos convencionales y acabados arquitectónicos locales, donde los materiales de construcción empleados son el concreto armado, acero estructural, cubiertas y envolventes en muros con paneles prefabricados. Estos serán contemplados de acuerdo a la normativa vigente local, estatal y federal tales como al Manual de Obras Civiles de la CFE, Manual de la A.C.I., Reglamento de Edificaciones para el Estado de Baja California Sur, Reglamento de Edificaciones para el Municipio de Los Cabos, Baja California Sur, y de la propia Comisión Nacional del Agua, por lo que bajo estos criterios **se considera factible la construcción de la Planta Desaladora**.

3. En lo relacionado al proceso constructivo, se observa que cada una de las unidades de obra se realizará siguiendo un procedimiento que permita su ejecución con la calidad adecuada y utilizando mano de obra y materiales disponibles en la zona, lo que permitirá que la realización de las obras se lleve a cabo conforme a los tiempos programados, **concluyéndose que el proyecto es factible de ser ejecutado, desde el aspecto del proceso constructivo**.

4. Por lo que respecta a la arquitectura e integración con el entorno, el área donde se desarrollara el Proyecto, es una zona totalmente impactada por el desarrollo urbano, comercial y de industria maquiladora. El área colindante, tiene usos de suelo, industrial, equipamiento, comercial y de servicios de acuerdo a lo que establece la Carta Urbana de Los Cabos, B. C.S.

5. En relación a los materiales utilizados en el contexto para la construcción, principalmente en la zona comercial e industrial, son estructuras metálicas forradas con materiales ligeros y en algunos casos prefabricados con acabados arquitectónicos como el aluminio esmaltado (Caliente, Comercial Mexicana entre otros), panel cemento, vinílicos cuya tipología arquitectónica es regional comúnmente conocida como “Californiana” (Macro plaza y sector de viviendas), por el hecho de estar cercanos a la influencia de la frontera con el Estado de California en E.U.A.

6. Con base en lo antes expuesto, se tiene que **el proyecto es factible de ser ejecutado tanto por su arquitectura como por la integración que tendrá con su entorno**.

7. De acuerdo a lo especificado por la Comisión Estatal del Agua de Baja California Sur, la alimentación de energía eléctrica a la instalación de agua de mar, se realizará mediante línea subterránea en 115 kV desde la línea de alta tensión aérea. El sistema diseñado contará con una subestación principal 115/13.2 kV, de tipo modular compacta e híbrida, con aparellaje aislado en gas SF6, lo que proporciona calidad de servicio, fiabilidad, y mantenimiento sencillo. Los conjuntos se pueden basar en la tecnología tradicional de aparamenta aislada por aire (AIS, Air Insulated Switchgear), en la tecnología avanzada de aparamenta aislada gas SF6 (GIS, Gas Insulated Switchgear) o en un sistema híbrido de ambas tecnologías, que aprovecha las ventajas de las dos técnicas AIS y GIS, evitando a su vez el elevado costo de instalación de las celdas GIS propiamente dichas.

8. Asimismo, los equipos eléctricos principales se han diseñado de forma que sean fácilmente ampliables, buscando flexibilidad en caso de requerirse ampliaciones y mínima interrupción de servicio en los equipos de las fases en funcionamiento.

9. Debido a los diferentes valores de temperatura del agua de mar a lo largo del año y el aumento del grado de ensuciamiento de las membranas con el tiempo, se ha optado por instalar variadores de frecuencia en las bombas de alta presión; de forma que sea posible el ajuste del caudal y la presión en los racks de membranas para un óptimo rendimiento energético de las instalaciones.

En éste mismo sentido y con objeto de reducir al máximo posible los efectos negativos provocados por la distorsión armónica de tensión y corriente, cada uno de los motores de las bombas de alta presión se ha equipado con un transformador 13.2/4.16 kV de tipo seco en ejecución de al menos 12 pulsos con cuatro secundarios desfasados y variadores de frecuencia de 12 pulsos.

10. El rectificador de 12 pulsos cumple los requerimientos más estrictos de los estándares internacionales IEEE, IEC y EN para distorsión de armónicos de tensión y corriente, lo que proporciona mínimos armónicos a la red.

11. De la revisión y análisis de la memoria eléctrica del sistema, **se concluye que es factible para el proyecto, dándole viabilidad operativa**.

12. En relación al estudio y análisis de las memorias y documentación sobre las instalaciones y equipamiento para la Captación de agua de mar, su Pretratamiento, sistema de Ósmisis inversa, Postratamiento, Almacenamiento e Impulsión de Agua de Producto, la Evaluación de los Efluentes e Instalaciones Auxiliares, según se muestra en el cuerpo del presente estudio, **se concluye que el proyecto es factible,** considerando las características y procesos que se tienen proyectadas para su implementación y operación.

13. Por lo que respecta al análisis realizado sobre los Límites de Suministro de agua, que abarca la captación de agua bruta, el punto de evacuación de la salmuera, y el punto de entrega de agua desalada, así como las Características del Agua de Mar y la Calidad del Agua Producto, **se concluye que es factible la ejecución del proyecto** bajo las condiciones planteadas en los documentales respectivos.

Finalmente, se revisó el proyecto en relación al cumplimiento de los Reglamentos Estatales y Municipales que le son aplicables (Carta Urbana y Matriz de Compatibilidad, Reglamento de Acciones de Urbanización, Reglamento de Usos del Suelo y el Reglamento de la Ley de Edificaciones para el Municipio de Los Cabos, Reglamento de Edificaciones para el Municipio de los Cabos, Reglamento para la Atención de Las Personas con Capacidades Diferentes para el Municipio de Los Cabos, Reglamento para la Prevención de la Contaminación Lumínica para el Municipio de Los Cabos, Reglamento Municipal de Protección Civil De Los Cabos, y Reglamento de la Seguridad Civil y Prevención de Incendios para el Municipio de Los Cabos), así como al cumplimiento de las Normas Oficiales NOM-011-STPS-1993, NOM-041-SEMARNAT-1996, NOM-052-SEMARNAT-1993, NOM-080-SEMARNAT-1994, y NOM-081-SEMARNAT-1994, **concluyéndose que el proyecto cumple con los Reglamentos y Normas, por lo que es factible su ejecución**.