



**UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA**

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UN SISTEMA DUAL DE
TRATAMIENTO DE AGUA MARINA POR
DESALINIZACIÓN PARA SU
IMPLEMENTACIÓN EN PLAYA POTRERO

Trabajo final de graduación sometido a la consideración de la

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

como parte de los requisitos
para aspirar al título y grado de

LICENCIATURA EN INGENIERÍA MECÁNICA

**Carlos A. De la Rocha Salas
Daniel Mayer Weisleder
Gabriel A. Vargas Chacón**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
Julio de 2018

Hoja de tribunal

Este proyecto de graduación fue aceptado por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado y título de Licenciatura en Ingeniería Mecánica.



Representante de la Unidad Académica

Ing. Wagner Mejías Chacón
Escuela de Ingeniería Mecánica



Asesor director

Mag. Sergio Ferreto Brenes
Escuela de Ingeniería Mecánica



Asesor interno

Mag. Juan Gabriel Monge Gapper
Escuela de Ingeniería Mecánica



Asesor externo

Dr. Mauricio Bustamante Román
Escuela de Ingeniería de Biosistemas



Docente curso Proyecto Ingeniería Mecánica I y II

Ing. Eugenio Martín Alpízar Alfaro
Escuela de Ingeniería Mecánica



Ponente

Carlos Alberto De la Rocha Salas



Ponente

Daniel Mayer Weisleder



Ponente

Gabriel Alberto Vargas Chacón

Por acuerdo unánime del tribunal examinador de este trabajo final de graduación, se aprueba con distinción de sobresaliente, al amparo de lo establecido en el Artículo 39 del *Reglamento de Trabajos Finales de Graduación*.

Agradecimientos

El presente escrito no hubiera sido posible sin la colaboración de los siguientes profesionales, quienes brindaron su ayuda de diferentes maneras.

- Ing. Guillermo Carazo, DEHC Consultores
- Ing. Rosendo Pujol, PRODUS-UCR
- Sr. Rodolfo Ramírez, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
- ASADA de la comunidad de Playa Potrero
- Laboratorios LAMBDA
- Ing. Luis Alpizar, DEHC Consultores
- Ing. Marlon Portilla y personal de Reserva Conchal
- Ing. José Asán, DEINSA
- Sr. Roberto Protti, Geotest S.A.
- Sr. Omar Lizano, CIMAR-UCR
- Ing. Minor Rojas, Ecoenergía
- Ing. Andrés Caldera, EIM-UCR
- Zebol, S.A.
- Ing. Daniel Murillo, EIM-UCR
- Ing. León Mayer, ISR
- Ing. Karolina Fernández, Consultora independiente
- Sr. Carlos Cascante, CoopeGuanacaste
- Sr. Andrés Araya, UTN
- AquaPro, Ltda.

Dedicatoria

El arduo trabajo que este documento representa queremos dedicárselo a nuestra familia y seres queridos. Sin el apoyo incondicional que nos dieron no solo en la universidad, sino en todo el camino, no lo habríamos logrado. Este trabajo es tanto nuestro como de ellos y sabemos que comparten el orgullo que sentimos.

De parte del grupo, nos gustaría en especial dedicarle este trabajo a María Gabriela Chacón Chinchilla y Jorge Alberto Vargas Acuña. Madre y padre excepcionales, con una entrega a sus hijos y familia inigualable. Si bien ya no se encuentran con nosotros, siempre los tendremos presentes, junto con todas sus enseñanzas y buenos momentos. Sabemos que ellos estarán observando desde lo más alto, y con orgullo podemos decirles: “lo logramos”.

Epígrafe

Si alguna vez podemos conseguir agua fresca del agua salada competitivamente, de manera económica, esto estaría dentro de los intereses a largo plazo de la humanidad, lo cual podría realmente encoger cualquier otro logro científico.

John F. Kennedy
22 de setiembre de 1961

Índice general

Hoja de tribunal	i
Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Epígrafe	iv
Índice de ilustraciones	xiv
Índice de cuadros	xviii
Abreviaturas	xix
Resumen	xxi
1. Introducción	1
1.1. Descripción general	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivo general	1
1.2.2. Objetivos específicos	1
1.3. Justificación	2
1.4. Antecedentes	3
1.5. Metodología	4
1.6. Alcance y limitaciones	5
2. Contexto del desalinizador	6
2.1. Zonas de vida	6
2.1.1. Zona de vida y relación con el recurso hídrico	6
2.1.2. Zonas de vida en las costas de Costa Rica	9
2.2. Las ASADAs como sistema de administración	12
2.2.1. Reseña histórica y origen	12
2.2.2. Conceptualización de las ASADAs	14
2.2.3. Gobernabilidad del agua y operación en las ASADAs	17
2.2.4. Limitaciones, problemáticas y desafíos de las ASADAs	18
2.3. Iniciativas locales para potabilización del agua	20
2.3.1. Antecedentes y definición del PIAAG	20
2.3.2. Proyectos del PIAAG	21
2.4. Normativa aplicable a potabilización de agua	25
2.4.1. Sobre las normativas y decretos internacionales	25
2.4.2. Normativas y decretos en Costa Rica	26
2.5. Fundamentos pertinentes sobre hidrología	29
2.5.1. Fuentes del recurso hídrico	29
2.5.2. Métodos de captación	30

2.5.3.	Métodos de conducción para abastecimiento	33
2.5.4.	Sobreexplotación en zonas costeras	35
2.6.	Invernaderos y salinidad en el agua para agricultura	38
2.6.1.	Parámetros de salinidad en agricultura	38
2.6.2.	Generalidades y funcionamiento de invernaderos	39
2.6.3.	Uso del agua en climatización de invernaderos	41
3.	Generalidades de funcionamiento de los desalinizadores	44
3.1.	Clasificación de los métodos de desalinización	45
3.2.	Desalinización por destilación multiefecto	46
3.2.1.	Principios de operación	47
3.2.2.	Otras consideraciones de funcionamiento	47
3.2.3.	Parámetros de rendimiento	48
3.2.4.	Ventajas, principales problemas y recomendaciones	49
3.2.5.	Costos de instalación y operación	50
3.3.	Desalinización multietapa flash	50
3.4.	Desalinización por compresión de vapor	52
3.5.	Desalinización por ósmosis inversa	54
3.5.1.	Principales componentes del proceso	55
3.5.2.	Configuración de las membranas	57
3.5.3.	Sistemas de recuperación energética	58
3.5.4.	Post-tratamientos	59
3.5.5.	Parámetros operativos	59
3.5.6.	Características operativas generales	61
3.6.	Métodos alternativos de desalinización	63
3.6.1.	Humidificación-deshumidificación	63
3.6.2.	Destilación por membranas	64
3.6.3.	Electrodiálisis	65
3.6.4.	Ósmosis directa	66
4.	Diseño del sistema primario	68
4.1.	Demanda hídrica de la zona	68
4.1.1.	Demanda de agua potable para consumo humano	68
4.1.2.	Demanda de agua para invernadero	72
4.2.	Selección de sistema de desalinización	77
4.2.1.	Fundamentación de la preselección	77
4.2.2.	Parámetros de evaluación	79
4.2.3.	Selección por factores ponderados	81
4.3.	Selección de sistema de desalinización por ósmosis inversa	86
4.3.1.	Pruebas fisicoquímicas del agua marina de la costa de Playa Potrero	86
4.3.2.	Selección del modelo comercial	87
4.3.3.	Caracterización del conjunto AQUA PRO	91
4.3.4.	Plan de instalación de módulos y cobertura hídrica	92
4.4.	Emplazamiento del proyecto	94
4.4.1.	Selección del sitio	94
4.4.2.	Descripción del terreno	95
4.4.3.	Requerimientos legales	100

4.4.4.	Valoración técnica del emplazamiento	101
4.4.5.	Estudios de batimetría, geología y modelos de dispersión	103
4.5.	Distribución de la planta física	105
4.5.1.	Identificación de los espacios	106
4.5.2.	Identificación de componentes principales	108
4.6.	Toma de agua submarina	111
4.6.1.	Localización	111
4.6.2.	Terminal de toma de agua	111
4.7.	Diseño de la tubería de la toma de agua marina	113
4.7.1.	Diagrama general y ecuación de energía	113
4.7.2.	Iteraciones para obtener diámetro y velocidad en tubería	118
4.7.3.	Válvula de regulación de caudal	127
4.7.4.	Soportería para tubería de suministro	129
5.	Diseño de sistemas de subproceso	132
5.1.	Tanque de suministro de agua marina	132
5.1.1.	Recinto de la válvula, desarenador y vertedero	132
5.1.2.	Comunicación entre el vertedero y los tanques	136
5.1.3.	Tubería vertedero-tanques	138
5.1.4.	Diseño del tanque	142
5.1.5.	Seccionamiento del tanque y aspectos constructivos	146
5.2.	Diseño del sistema de bombeo	150
5.2.1.	Selección de bombas sumergibles multietapa	150
5.2.2.	Configuración del sistema de bombeo y de tuberías	151
5.2.3.	Condiciones de frontera	152
5.2.4.	Cálculo de diámetros y velocidades	156
5.2.5.	Estimadores de pérdidas	157
5.2.6.	Carga dinámica y presión de succión	159
5.2.7.	Soportería y dimensionado de tuberías	160
5.2.8.	Dimensionado de las bombas	162
5.3.	Tuberías de interconexión entre módulos y tanques	164
5.3.1.	Configuración de tuberías entre módulos y tanques de la planta	164
5.3.2.	Sistema de tuberías entre módulos y tanque de distribución	168
5.3.3.	Sistema de tuberías entre módulos y tanque de salmuera	171
5.3.4.	Sistema de tuberías entre módulos y tanque del invernadero	173
5.3.5.	Cálculos de espaciamiento entre soportes	176
5.4.	Diseño del tanque y sistema de bombeo de agua potable	179
5.4.1.	Tanque de almacenamiento	179
5.4.2.	Sistema de bombeo y tuberías	182
5.4.3.	Detalle de la bomba seleccionada	188
5.5.	Diseño del tanque y sistema de bombeo de salmuera	189
5.5.1.	Tanque de salmuera	189
5.5.2.	Sistema de bombeo y tuberías	191
5.5.3.	Selección de bombas para extracción de la salmuera	199
5.5.4.	Soportería del sistema de bombeo de salmuera y esquema final de casa de máquinas	200
5.6.	Diseño del tanque y sistema de bombeo de agua para invernadero	202

5.6.1. Tanque de agua semitratada	202
5.6.2. Sistema de bombeo, tuberías y soportería interna	204
6. Aspectos energéticos, operacionales y económicos del proyecto	209
6.1. Demanda energética del proyecto	209
6.1.1. Análisis de factibilidad para la energía eólica	212
6.1.2. Análisis de factibilidad para la energía solar térmica	212
6.1.3. Análisis de factibilidad para la energía solar fotovoltaica	214
6.2. Cuantificación de la la instalación fotovoltaica	215
6.2.1. Selección de los paneles	215
6.2.2. Ubicación de los paneles en el proyecto	216
6.2.3. Inversores y transformadores	220
6.2.4. Viabilidad económica del uso de paneles solares	221
6.3. Aspectos de operación y mantenimiento	225
6.3.1. Sistemas de respaldo	225
6.3.2. Mantenimientos predictivos y preventivos	228
6.3.3. Análisis de efecto y modos de falla	229
6.4. Balance de costos totales	230
6.4.1. Equipos mecánicos	231
6.4.2. Tuberías y sus accesorios	231
6.4.3. Tanques, casas de máquinas y compartimentos especiales	236
6.4.4. Alimentación energética	237
6.5. Análisis del presupuesto total	238
6.6. Cotejo con indicadores de rendimiento	244
6.6.1. Cálculo del costo del agua por metro cúbico	244
6.6.2. Comparación del costo del diseño con los costos de otros proyectos	245
7. Conclusiones	247
7.1. Caracterización de la población meta	247
7.2. Selección del método de desalinización	248
7.3. Determinación de las condiciones de frontera del proceso	248
7.4. Dimensionamiento del sistema	248
7.5. Selección de equipos	249
7.6. Estimación del costo de construcción de una planta piloto	250
8. Recomendaciones	252
8.1. Recomendaciones referentes a la continuación de los estudios preliminares y de factibilidad	252
8.2. Recomendaciones a tomar en cuenta durante la operación de la planta potabilizadora	254
8.3. Futuras campos de estudio referentes a lo analizado	255
Bibliografía	256
Anexos	270
A. Estudios preliminares	270
A.1. Estudio fisicoquímico de la muestra de agua de mar	271
A.2. Estudio de recurso fotovoltaico en el terreno elegido	273

B. Cotizaciones de módulos de desalinización	276
B.1. Cotización de Fluence Inc.	277
B.2. Cotización de Pure Aqua	284
B.3. Cotización de Aqua Pro	286
C. Información adicional del sistema de desalinización de Aqua Pro	314
C.1. Layout de componentes para módulo de desalinización	315
C.2. Diagrama de flujo del módulo de desalinización.	316
D. Programas de mantenimiento y análisis del modo efecto falla	317
D.1. Tareas de mantenimiento recomendadas	318
D.2. Tabla de análisis del modo y efecto de falla	321
E. Información técnica sobre los sistemas de tuberías, bombeo y otros componentes hidráulicos	322
E.1. Datos técnicos de la toma de agua marina	323
E.2. Tamaños estándar y datos técnicos de tubería de HDPE	326
E.3. Especificaciones de válvula de mariposa marca Bray, serie 36	328
E.4. Especificaciones de actuador marca AUMA, modelo 14.2	331
E.5. Especificaciones técnicas de la bomba sumergible de tipo turbina	335
E.6. Corrección sobre la información de la ficha técnica de la bomba sumergible de tipo turbina	339
E.7. Especificaciones técnicas para bombas de agua potable	340
E.8. Especificaciones técnicas para bombas de extracción de salmuera	351
E.9. Especificaciones técnicas para la bomba de trasiego de agua semitratada para el invernadero	361
F. Material suplementario de selección del tipo de energía renovable para alimentar la planta	369
F.1. Datos climáticos del IMN para la estación de Playa Pinilla	370
F.2. Ficha técnica del módulo solar Jinko Solar JKM335PP-72-V	371
F.3. Ficha técnica de los inversores	372
G. Cotizaciones de elementos mecánicos, hidráulicos y energéticos	374
G.1. Cotización de la toma de agua marina	375
G.2. Cotización de la válvula de mariposa y su actuador eléctrico	376
G.3. Cotización de varias bombas	377
G.4. Cotización de las bombas para salmuera 5SH utilizadas en la primera etapa del proyecto	379
G.5. Cotización de las tuberías y sus accesorios	381
G.6. Cotización de los inversores	383
G.7. Cotización del transformador	387

Índice de figuras

2.1.	Diagrama para la clasificación de zonas de vida. (Holdridge, 2000)	7
2.2.	Mapa ecológico y de zonas de vida de Costa Rica. (Tosi, 1969)	10
2.3.	Raíz de árbol observado en Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica. Coordenadas geográficas: 10° 23' 50" N, 85° 19' 24" O (Montagnini, 2013)	11
2.4.	Estratos del subsuelo y niveles freáticos correspondientes (Tejero, s.f)	30
2.5.	Pozo costero empleado como toma de agua (Voutchkov, 2013)	32
2.6.	Estructura para la captación de manantiales (Orellana, 2005)	33
2.7.	Estructura general de un pozo y un sondeo (Instituto Geológico y Minería de España)	34
2.8.	Diagrama de un sistema de abastecimiento por gravedad (Barrio et al, 2009)	35
2.9.	Corte vertical de un acuífero no confinado en la costa (Ministerio de obras públicas del gobierno de Chile, 2005)	36
2.10.	Desplazamiento de la interfase de agua salada y dulce debido a sobrebombeo. a) muestra una situación normal, mientras que b) muestra un caso de sobrebombeo (Arellano et al, 2001)	37
2.11.	Clasificación de tolerancia de cultivos a la salinidad (Maas y Hoffman, 1977)	40
2.12.	Diagrama de enfriamiento de invernadero por colchón húmedo (Benavides, López y Alfaro, 2016)	42
2.13.	Boquilla utilizada en invernaderos para enfriamiento evaporativo por nebulización (Cervantes, 2015)	43
3.1.	Esquema de clasificaciones de tecnologías de desalinización (Elaboración propia, 2017)	46
3.2.	Esquema descrito para proceso de desalinización MED (Valero, Uche y Serra, 2001)	48
3.3.	Diagrama básico del proceso de desalinización por MSF (KSB, s.f.)	51
3.4.	Esquema del proceso de desalinización por VC (Roa, 2014)	53
3.5.	Proceso de ósmosis con azúcar disuelta en agua como ejemplo (modificado de Rice University, 2017)	54
3.6.	Listado de plantas que operan bajo el principio de RO (Greenlee et al, 2009)	55
3.7.	Diagrama de un proceso general de desalinización por RO (Fritzmman et al, 2007)	55
3.8.	Proceso de tratamiento de agua dependiendo del contaminante (Schorr, 2011)	56
3.9.	Configuraciones más empleadas en el mercado (Fabricante KOCH Membrane Systems, 2017)	58
3.10.	Ciertas plantas de RO en el mundo y su costo por metro cúbico de agua en USD respectivo (Greenlee et al, 2009)	59

3.11. Relación directa entre el tamaño de una planta y el costo por metro cúbico de agua producido (Voutchkov, 2013)	60
3.12. Consumo eléctrico y su relación a la capacidad de tratamiento de agua de distintas plantas en el mundo (Fritzmman et al, 2007)	60
3.13. Consumo energético de diferentes etapas del proceso (adaptación de la información de los autores Fritzmman et al, 2007)	61
3.14. Capa límite de concentración generada por la polarización concentrada en la superficie de la membrana (Prakash et al, 2015)	63
3.15. Esquema de las dos modalidades del sistema de humidificación-deshumidificación (Schorr, 2011)	64
3.16. Diagrama del proceso de destilación por membrana (Schorr, 2011)	65
3.17. Diagrama de una unidad de ED (Schorr, 2011)	66
4.1. Consumos de agua registrados en los últimos años por la ASADA de Playa Potrero (elaboración propia, 2017)	70
4.2. Promedio del consumo de agua de acuerdo al mes, desde el año 2014 (elaboración propia, 2017)	71
4.3. Carta psicrométrica a nivel del mar. Flecha roja indica comportamiento de mayor cantidad de agua requerida para el proceso (Rossi, 1992).	74
4.4. Cambio de estado termodinámico del aire en invernadero (elaboración propia, carta psicrométrica de Rossi, 1992).	76
4.5. Distribución final de pesos para cada criterio de evaluación (elaboración propia, 2017)	84
4.6. Vista superior del equipo ofrecido por Aqua Pro (Aqua Pro, 2017)	91
4.7. Línea del tiempo propuesta para el proyecto (elaboración propia, 2017)	94
4.8. Sección del Mapa de Amenazas Naturales Potenciales Cantón de Santa Cruz de la Comisión Nacional de Emergencias (Fuente: Adaptación de información de CNE, 2017)	96
4.9. Mapa de recurso de irradiación solar en Costa Rica (Fuente: Solargis, 2016)	97
4.10. Vista en sitio del terreno seleccionado (Fuente: Elaboración propia, 2017)	98
4.11. Vista superior del terreno seleccionado y sus alrededores (Fuente: Elaboración propia a partir de mapa de la aplicación móvil Mapas, 2017)	98
4.12. Zona pública y restringida en las inmediaciones del terreno seleccionado (Elaboración propia a partir de datos del IGN y Google Earth ©, 2017)	101
4.13. Sección de la infraestructura actual de la ASADA y ubicación del terreno seleccionado (Elaboración propia a partir del mapa cartográfico de infraestructura de la Red de Agua Potable de la ASADA Potrero, 2017)	102
4.14. Segmento del mapa geológico de las hojas Matapalo y Punta Gorda, Guanacaste, Costa Rica (Arias y Percy, 1992)	103
4.15. Comportamiento batimétrico de la Bahía de Potrero (elaboración propia a partir de Navionics, 2017)	104
4.16. Comportamiento de las corrientes en las costas de Costa Rica (CIMAR, 2017)	105
4.17. Distribución de planta preliminar del proyecto (Elaboración propia, 2018)	107
4.18. Distribución de planta final del proyecto (Elaboración propia, 2018)	110
4.19. Punto de extracción de agua marina (línea amarilla) y deshecho de salmuera (línea roja) de la planta (elaboración propia a partir de Navionics, 2018).	111
4.20. Toma de agua marina (Johnson Screens, 2018)	112

4.21. Demostración del efecto de la velocidad de succión sobre objetos cercanos (Johnson Screens, 2018)	113
4.22. Diagrama para el diseño de la tubería de suministro de agua marina por vasos comunicantes (Elaboración propia, 2018)	114
4.23. Diagrama de flujo para solución iterativa de las ecuaciones de tuberías (Elaboración propia, 2018)	119
4.24. Corte batimétrico con tubería para suministro de agua de mar (Elaboración propia, 2018)	127
4.25. Válvula marca Bray, serie 36 a ser utilizada a la salida de la toma de agua marina para regulación del caudal (Bray International, s.f.)	128
4.26. Actuador marca AUMA, modelo SQR 14.2 a ser utilizada junto a válvula de regulación de caudal (AUMA, s.f.)	129
5.1. Esquema de planta de los componentes entre la tubería de suministro de agua de mar y el tanque de almacenamiento de agua de mar (Elaboración propia, 2018)	132
5.2. Diferencia dimensional entre los ceros topográficos y batimétricos de la zona (Elaboración propia, 2018)	133
5.3. Detalle esquemático y dimensional del compartimiento de la válvula de regulación de caudal de agua de mar (Elaboración propia, 2018)	134
5.4. Detalle esquemático y dimensional del desarenador, vertedero y recinto previo al tanque (Elaboración propia, 2018)	135
5.5. Vista frontal de la sección intermedia (Elaboración propia, 2018)	137
5.6. Vista superior de la sección intermedia (Elaboración propia, 2018)	137
5.7. Profundidad total del tanque de suministro de agua marina (Elaboración propia, 2018)	145
5.8. Funcionamiento de la boya (Elaboración propia, 2018)	146
5.9. Vista superior del seccionamiento del tanque de suministro de agua marina (Elaboración propia, 2018)	147
5.10. Vista superior de las casas de máquinas del tanque de suministro de agua marina (Elaboración propia, 2018)	148
5.11. Recomendaciones de la obra civil de las casas de máquinas del tanque de suministro de agua marina (Elaboración propia, 2018)	149
5.12. Configuración de bombeo de agua marina (elaboración propia, 2018)	151
5.13. Distancias horizontales referentes las constantes iniciales (Elaboración propia, 2018)	153
5.14. Distancias verticales referentes las constantes iniciales (Elaboración propia, 2018)	153
5.15. Distancia entre módulos de desalinización (Elaboración propia, 2018)	154
5.16. Detalle de ruta crítica del bombeo de agua marina (elaboración propia, 2018) .	157
5.17. Cálculo del TDH para el sistema de bombeo de trasiego a los módulos (Elaboración propia, 2018)	159
5.19. Vista de la red de tuberías desde el módulo a respectivos tanques Parte 1 (elaboración propia, 2018).	165
5.18. Distribución de planta de las tuberías que trasiegan los diferentes fluidos a sus respectivos tanques (Elaboración propia, 2018)	165
5.20. Vista de la red de tuberías desde el módulo a respectivos tanques Parte 2 (elaboración propia, 2018).	166

5.21. Vista de la red de tuberías desde el módulo a respectivos tanques Parte 3 (elaboración propia, 2018)	166
5.22. Tuberías salida de módulos de desalinización (Elaboración propia, 2018)	167
5.23. Diagrama representativo para proponer la ecuación de energía para el caso de la tubería que trasiega agua potable (Elaboración propia, 2018)	170
5.24. Diagrama representativo para proponer la ecuación de energía para el caso de la tubería que trasiega salmuera (Elaboración propia, 2018)	173
5.25. Diagrama representativo para proponer la ecuación de energía para el caso de la tubería que trasiega agua al invernadero (Elaboración propia, 2018)	175
5.26. Colocación de soportes en las tuberías que conectan los módulos con el tanque de agua para la red de la ASADA (Elaboración propia, 2018)	178
5.27. Colocación de soportes en las tuberías que conectan los módulos con el tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)	178
5.28. Colocación de soportes en las tuberías que conectan los módulos con el tanque de agua para el invernadero (Elaboración propia, 2018)	179
5.29. Vista lateral del tanque de agua potable (Elaboración propia, 2018).	181
5.30. Vista superior del tanque de agua potable (Elaboración propia, 2018).	182
5.31. Vista superior de la red de tuberías del tanque de agua potable (Elaboración propia, 2018).	183
5.32. Puntos de análisis para el TDH en el sistema de bombeo de la ASADA (Elaboración propia, 2018).	185
5.33. Vista de planta del tanque de agua potable (Elaboración propia, 2018).	186
5.34. Soportería en la tubería de agua potable (Elaboración propia, 2018).	188
5.35. Detalle esquemático y dimensional del tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)	190
5.36. Diagrama de análisis de puntos para el sistema de bombeo de salmuera (Elaboración propia, 2018)	191
5.37. Concepto de la colocación del sistema de bombeo junto al tanque de almacenamiento de salmuera (Elaboración propia, 2018)	192
5.38. Elementos a cambiar en el sistema de bombeo de salmuera con cada introducción de una nueva etapa de producción (Elaboración propia, 2018)	193
5.39. Diagrama de la distribución final de elementos y dimensiones dentro de la casa de máquinas de bombeo de salmuera (Elaboración propia, 2018)	201
5.40. Detalle esquemático y dimensional del tanque de agua para el invernadero (Elaboración propia, 2018)	203
5.41. Dimensiones y accesorios del sistema de bombeo de agua para invernadero (Elaboración propia, 2018)	207
6.1. Representación de un colector Fresnel (Groupe CNIM, 2014)	213
6.2. Representación de un colector parabólico (SoliClima: Energía Solar, s.f)	213
6.3. Configuración de un conjunto de paneles (Elaboración propia, 2018)	216
6.4. Configuración de la ubicación de los paneles en el terreno (Elaboración propia, 2018)	218
6.5. Configuración de la ubicación de los paneles en el terreno con valores calculados (Elaboración propia, 2018)	219
6.6. Configuración de una “cama” de paneles con valores calculados (Elaboración propia, 2018)	219

6.7. Sistema de bombeo de agua potable (elaboración propia, 2018)	227
6.8. Sistema de bombeo de la salmuera (elaboración propia, 2018)	228
6.9. Vista en 3D de las zanjas (Elaboración propia, 2018)	233
6.10. Vista lateral de la zanja que comunica el mar con el terreno (Elaboración propia, 2018)	234
6.11. Vista de perfil de la zanja que comunica el mar con el terreno (Elaboración propia, 2018)	234
8.1. Vista del sector principal de la planta, en naranja se marca el espacio para ampliación de un cuarto módulo y tanque de suministro (Elaboración propia, 2018)	255

Índice de cuadros

2.1. Distribución de zonas de vida en Costa Rica (Quesada, 2007)	9
2.2. Equivalencia de unidades de salinidad en partes por millón y electroconductividad (Departamento de Sostenibilidad y Ambiente del Estado de Victoria, Australia, 2009)	39
2.3. Clasificación de conductividad en el agua (De Vos, Bruning, Van Straten, Oosterbaan, Rozema y Van Bodegom, 2016)	39
2.4. Clasificación de conductividad en el los suelos (De Vos et al, 2016)	40
2.5. Clasificación de cultivos según su tolerancia a la salinidad (Elaboración propia, 2017)	41
3.1. Comparación de parámetros de RO con agua de mar y agua salobre (Greenlee et al,2009).	62
4.1. Consumos de agua en metros cúbicos de la ASADA de Playa Potrero (elaboración propia, 2017).	69
4.2. Proyección de consumo para los tres casos seleccionados, en m^3 /día (elaboración propia, 2017).	71
4.3. Demanda hídrica del tomate en invernadero según semana de trasplante (Escobar y Lee, 2009)	73
4.4. Valores para cálculo de proporción de humedad en diferentes climatizaciones.(elaboración propia, 2017)	75
4.5. Proyección de consumo hídrico debido al invernadero (elaboración propia, 2017)	78
4.6. Ejemplo de la asignación de valores a los rubros (elaboración propia, 2017)	81
4.7. Plantilla para el arreglo del contenido en la matriz	81
4.9. Resultados de CIR de cada criterio de evaluación (elaboración propia, 2017)	82
4.8. Importancia relativa asignada para cada criterio de evaluación (elaboración propia, 2017)	83
4.10. Escala de valores para la calificación de las tecnologías (elaboración propia, 2017)	84
4.11. Resultados de la calificación de las tecnologías para su implementación en el proyecto (elaboración propia, 2017)	85
4.12. Resultados finales de la evaluación de tecnologías (elaboración propia, 2017)	86
4.13. Suma de iones principales y TSD del agua marina de Playa Potrero. (elaboración propia a partir de la información de las pruebas fisicoquímicas en el Anexo A.1)	87
4.14. Desglose de las cotizaciones realizadas (elaboración propia, 2017)	88
4.15. Sensibilidad económica en inversión inicial y costos energéticos de operación (elaboración propia, 2017).	89

4.16. Comparación de calidad de agua resultante según equipo (elaboración propia, 2017).	91
4.17. Proyección final de la demanda del consumo hídrico (elaboración propia, 2017)	93
4.18. Caudales permisibles en diámetros comerciales (Elaboración propia, 2018) . . .	120
4.19. Primera iteración del diámetro de tubería para agua de mar (Elaboración propia, 2018)	121
4.20. Segunda iteración del diámetro de tubería para agua de mar (Elaboración propia, 2018)	121
4.21. Iteraciones diferenciadas por diámetros (Elaboración propia, 2018)	123
4.22. Iteraciones diferenciadas por longitudes; $\Phi_{nom} = 700\text{ mm}$ (28pulg) (Elaboración propia, 2018)	124
4.23. Iteraciones diferenciadas por desnivel (h_{mar}) (Elaboración propia, 2018)	125
4.24. Iteraciones diferenciadas por constante de pérdida k por válvula (Elaboración propia, 2018)	126
4.25. Espaciamiento de la soportería para tubería de suministro (Elaboración propia, 2018)	130
5.1. Diámetro provisional para la tubería del primer bloque (Elaboración propia, 2018)	139
5.2. Diámetro provisional para las tuberías del segundo y tercer bloque (Elaboración propia, 2018)	140
5.3. Iteraciones por desnivel de líquido en tanques para tubería de 162,5 mm (6,5 pulg) (Elaboración propia, 2018)	141
5.4. Iteraciones por desnivel entre tanques para tubería de 125 mm (5 pulg) (Elaboración propia, 2018)	142
5.5. Valores de las distancias conocidas inicialmente (Elaboración propia, 2018) . . .	154
5.6. Constantes iniciales para cálculos de bombeo y tuberías (Elaboración propia, 2018)	156
5.7. Pérdidas en accesorios en tuberías de trasiego (Elaboración propia, 2018)	158
5.8. Pérdidas por accesorios hacia el tanque de ASADA (Elaboración propia, 2018) .	169
5.9. Distancias de tuberías entre módulos y tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)	171
5.10. Variables de las tuberías entre los módulos al tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)	172
5.11. Pérdidas por accesorios hacia el tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)	172
5.12. Distancias efectivas de las tuberías de los módulos al tanque del invernadero (Elaboración propia, 2018)	174
5.13. Resultados de cálculos hidráulicos de tuberías de los módulos al tanque para el invernadero (Elaboración propia, 2018)	174
5.14. Cálculo de las pérdidas por accesorios en la tubería hacia el tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)	175
5.15. Espaciamiento entre soportes para tubería del módulo al tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)	177
5.16. Volúmenes de reserva requeridos año con año (Elaboración propia, 2018)	180
5.17. Constantes iniciales para cálculos de bombeo y tuberías (Elaboración propia, 2018).	183
5.18. Pérdidas por accesorios en la tubería de succión de agua potable (Elaboración propia, 2018).	184

5.19. Cálculo de las pérdidas por accesorios en la tubería de descarga de agua potable (Elaboración propia, 2018)	184
5.20. Valores finales de la operación de la bomba de agua potable (Elaboración propia, 2018)	186
5.21. Soportes para tubería entre módulos de desalinización y la red de la ASADA (Elaboración propia, 2018)	187
5.22. Valores finales de la operación de la bomba de agua potable (Elaboración propia, 2018)	189
5.23. Diferentes caudales de salmuera a extraer a lo largo del proyecto (Elaboración propia, 2018)	193
5.24. Constantes iniciales para cálculos de bombeo y tuberías (Elaboración propia, 2018)	194
5.25. Accesorios en sistema de bombeo de salmuera y sus pérdidas (tercera etapa) (Elaboración propia, 2018)	195
5.26. Variables hidráulicas de tubería de salmuera para la primer y segunda etapa (Elaboración propia, 2018)	196
5.27. Accesorios en sistema de bombeo de salmuera y sus pérdidas (primer etapa) (Elaboración propia, 2018)	197
5.28. Accesorios en sistema de bombeo de salmuera y sus pérdidas (segunda etapa) (Elaboración propia, 2018)	198
5.29. Pérdidas totales en el bombeo de salmuera para las etapas 1 y 2 (Elaboración propia, 2018)	198
5.30. Variables para selección de bomba en etapas 1 y 2 de extracción de salmuera (Elaboración propia, 2018)	199
5.31. Datos de bombas seleccionadas para extracción de salmuera (Elaboración propia, 2018)	199
5.32. Datos para espaciamiento de soportería en casa de máquinas de extracción de salmuera (Elaboración propia, 2018)	200
5.33. Espaciamiento de soportería para tubería de descarga de salmuera (Elaboración propia, 2018)	202
5.34. Constantes iniciales para cálculos de bombeo y tuberías para el invernadero (Elaboración propia, 2018)	204
5.35. Accesorios instalados en el sistema de bombeo de invernadero y sus pérdidas (Elaboración propia, 2018)	205
5.36. Bomba para el sistema de agua semitratada (Elaboración propia, 2018)	206
5.37. Datos para soportería en casa de máquinas del sistema de agua para invernadero (Elaboración propia, 2018)	206
6.1. Potencias de los equipos utilizados en la planta (elaboración propia, 2018)	210
6.2. Cálculo de demanda energética anual (Elaboración propia, 2018)	211
6.3. Tensiones de los equipos que requieren alimentación energética (Elaboración propia, 2018)	221
6.4. Costo acumulado por consumo energético con tarifa Coopeguanacaste (Elaboración propia, 2018)	222
6.5. Costo acumulado por consumo energético con planificación solar (Elaboración propia, 2018)	224
6.6. Detalle de los planes de contingencia 1 (elaboración propia, 2018)	225

6.7. Detalle de los planes de contingencia 2 (elaboración propia, 2018)	226
6.8. Elementos críticos detectados resultantes del FMEA (Elaboración propia, 2018)	230
6.9. Dimensiones necesarias para el cálculo de los volúmenes de excavación (Elaboración propia, 2018)	235
6.10. Cálculo de los volúmenes y costos de excavación (Elaboración propia, 2018) . .	236
6.11. Costos de los tanques y las casas de máquinas (Elaboración propia, 2018) . . .	237
6.12. Costos de los compartimentos para válvulas (Elaboración propia, 2018)	237
6.13. Desglose de costos de los equipos de la alimentación energética (Elaboración propia, 2018)	238
6.14. Costos de compra y construcción de los elementos en el proyecto (Parte 1) (Elaboración propia, 2018)	239
6.15. Costos de compra y construcción de los elementos en el proyecto (Parte 2) (Elaboración propia, 2018)	240
6.16. Costos de compra y construcción de los elementos en el proyecto (Parte 3) (Elaboración propia, 2018)	241
6.17. Costos de compra y construcción de los elementos en el proyecto (Parte 4) (Elaboración propia, 2018)	242
6.18. Comparación de costos tomando en cuenta la instalación fotovoltaica (Elaboración propia, 2018)	243
6.19. Comparación de costos solo con energía de la red de Coopeguanacaste (Elaboración propia, 2018)	243
6.20. Costos iniciales del proyecto diseñado (Elaboración propia, 2018)	244
6.21. Costos estimados relacionados al proyecto diseñado (Elaboración propia, 2018)	245

Abreviaturas

AISI American Iron and Steel Institute.

ARDESA Arenal, Dengo, Sandillal.

ARESEP Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos.

ASADA Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios.

ASTM American Society of Testing and Materials.

AyA Instituto de Acueductos y Alcantarillados.

CAAR Comités Administradores de Acueductos Rurales.

CFIA Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica.

CIMAR Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología

CRUSA Fundación Costa Rica Estados Unidos para la Cooperación.

CWS Community Water Systems.

DR Dimension Ratio.

DWD Drinking Water Directive.

EC Electrical Conductivity.

ED Electro Dialysis.

EPA Environmental Protection Agency.

FDA Food and Drugs Administration.

FO Forward Osmosis

GRP Glass Reinforced Plastic.

HDPE High Density Polyethylene.

ICE Instituto Costarricense de Electricidad.

IMN Instituto Meteorológico Nacional.

INDER Instituto de Desarrollo Rural.

IPS Internal Pipe Size.

MAG Ministerio de Agricultura.

MD Membrane Distillation.

- MED** Multi Effect Distillation.
- MSF** Multi Stage Flash.
- MINAE** Ministerio de Ambiente y Energía.
- MVC** Mechanical Vapour Compression.
- NTNCWS** Non-Transient Non-Community Water Systems.
- OCSAS** Organizaciones de Servicio de Agua y Saneamiento.
- ONG** Organización No Gubernamental.
- PAACUME** Proyecto Sistema de Abastecimiento de la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras.
- PIAAG** Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste-Pacífico Norte.
- PNUD** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- PPI** Plastics Pipes Institute.
- PPM** Partes por millón.
- PRACOR** Programa de Construcción de Acueductos para las comunidades Rurales.
- RO** Reverse Osmosis.
- SDWA** Safe Drinking Water Act.
- SENARA** Servicio Nacional de Riego, Aguas Subterráneas y Avenamiento.
- SIMASTIR** Sistema de Monitoreo de Agua Subterránea en Tiempo Real.
- SINIGIRH** Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico.
- SNAA** Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados.
- SS** Solar Stills.
- TSD** Total de sólidos disueltos.
- TVC** Thermal Vapour Compression.
- USD** United States Dollar.
- VFF** Vertical Falling Film.
- VRF** Vertical Rising Film.
- VC** Vapour Compression.

Resumen

El presente trabajo propone el diseño de un sistema dual de tratamiento de agua marina por medio del principio de desalinización, que suministra simultáneamente agua potable para consumo humano y agua semitratada para su uso en un invernadero. El sistema consiste en la implementación de una serie de módulos de ósmosis inversa alimentados con agua marina por una configuración de vasos comunicantes y un posterior sistema de distribución.

El proceso de diseño se realizó de manera integral con la selección geográfica y cálculo de demanda hídrica. Se realizó también una serie de cotejos de tecnologías de desalinización para elegir la más apta a las situaciones y necesidades particulares de la problemática. Se tiene también un proceso de selección del modelo comercial de desalinización y otros elementos mecánicos necesarios para el correcto funcionamiento.

Asimismo cuenta con una serie de tanques para la posterior distribución del producto y disposición de las aguas de rechazo. A su vez se planteó el diseño para operar aprovechando el recurso solar de la zona a través de módulos de energía fotovoltaica. Esto luego de estudiar diferentes alternativas energéticas para la alimentación del proceso que buscara la mayor eficiencia económica en conjunto con una visión ambiental.

La propuesta toma en consideración aspectos operacionales como diseños redundantes y tanques de almacenamiento. Esto con el motivo de garantizar que el proyecto cuenta con sistemas de respaldo. De esta manera el proyecto es capaz de brindar un servicio continuo ante eventualidades, posibles daños y paros que puedan acontecer mantenimientos preventivos.

Pretende ser un aporte a la atenuación de los problemas de suministro de agua potable que afectan las zonas secas de la provincia de Guanacaste. En particular, se vinculan los diseños de este escrito a la Asociación de Sistema de Acueductos y alcantarillados Sanitarios de la comunidad costera de Playa Potrero. Además, se hizo una estimación de su costo para facilitar la valoración de su viabilidad para las partes interesadas.

Capítulo 1

Introducción

En esta sección se describen los objetivos tanto general como específicos, la justificación, el alcance, entre otras secciones que constituyen el fundamento del trabajo que se presenta en este escrito.

1.1. Descripción general

El trabajo propone el diseño de un sistema dual de desalinización como fuente de agua potable para el consumo humano, así como también una oportunidad de desarrollo mediante la producción de agua para la operación de un posible invernadero. La idea nace ante el limitado acceso al recurso hídrico en varias regiones costeras del país y la necesidad de soluciones lo más inmediatas posibles para estas comunidades. El suministro al invernadero se plantea como una oportunidad de desarrollo para la comunidad, presentando una alternativa a los métodos habituales de irrigación.

Se llevaron a cabo visitas a la comunidad elegida para recopilar datos de importancia en la elaboración del diseño, con lo que se pretende dimensionar correctamente el sistema sin incurrir en sobrediseños. Así mismo, se quiere obtener noción de los recursos energético que podrían aprovecharse para integrar energías renovables en su operación.

Se busca cotejar esta propuesta con los planes demarcados por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) para solventar la carencia del recurso hídrico en la zona. Esto con el propósito de evaluar los costos y analizar su viabilidad.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de tratamiento de agua marina utilizando la desalinización para proveer de manera diferida agua potable para consumo humano y no potable para irrigación en un invernadero.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la población meta, además del entorno socioeconómico y de recursos disponibles en la comunidad en que operaría el sistema.

- Cotejar cuatro métodos de desalinización contemporáneos.
- Seleccionar el método de desalinización más adecuado en el contexto de la aplicación particular.
- Determinar las condiciones de frontera del proceso de purificación.
- Dimensionar el sistema según los caudales requeridos y los recursos energéticos, hídricos y condiciones ambientales de la comunidad beneficiada.
- Seleccionar los equipos mecánicos, materiales y componentes para integrar el sistema completo, incluyendo las etapas de transformación energética implicadas.
- Generar diagramas ilustrativos de construcción pertinentes al sistema de desalinización elegido.
- Estimar el costo de construcción de una planta piloto del sistema propuesto.

1.3. Justificación

El planeta Tierra contiene alrededor de $1,4 \cdot 10^9 km^3$ de agua. Esto cubre aproximadamente un 70 % de la superficie del planeta. De ella, un 97,5 % es agua salada. Del restante 2,5 % de agua dulce, el 80 % está congelada en los polos o combinada con la tierra. Ambas fuentes de agua son de difícil acceso para el ser humano, por lo que solo el restante 0,5 % es lo que se considera que es agua consumible para mantener la vida en la Tierra (El-Dessouky y Ettouney, 2002).

Actualmente un aproximado de 40 % de la población mundial sufre por falta de agua. Se especula que para el año 2025 este porcentaje sea mayor al 60 %. Esto es debido al rápido incremento de la población mundial, cambios en el estilo de vida de las personas, un incremento en las actividades económicas y en la contaminación que limita el uso de agua fresca (El-Dessouky et al, 2002). Se estima que para el año 2040 la demanda de agua en el mundo sea mayor a la cantidad de agua fresca que se tiene disponible. El hecho de tener agua marina en grandes cantidades, constituye una fuente confiable y sostenible para obtener de ella agua fresca, con un gran potencial para poder responder a la gran demanda de agua en el futuro (Cipollina, Micale, Rizzuti, 2009).

Debido a fenómenos temporales cíclicos como El Niño y La Niña, la provincia de Guanacaste en Costa Rica se ha visto afectada regularmente por sequías, lo que afecta la actividad humana de la región, desde actividades personales hasta para riego de cultivos y para la ganadería. Por esta problemática, una solución que se ha llevado a cabo en las zonas costeras es la perforación de pozos para extraer aguas subterráneas las cuales son tratadas y luego suministradas para realizar las labores mencionadas.

Al excavar este tipo de pozos cerca de la costa, ocurre una salinización de los acuíferos. Para entender este fenómeno se debe decir que en un acuífero cerca del mar se tiene agua dulce y agua salada. Por densidad, el agua dulce se posiciona sobre el agua salada. Cuando se extrae sin limitación el agua dulce, se pierde el equilibrio entre los dos tipos de aguas y la salada comienza a subir. De esta forma el pozo ha sido explotado, limitando así su vida útil. Debido a este problema, se ha estado limitando la cantidad de permisos entregados por las municipalidades en las zonas costeras para ejecutar este tipo de pozos (Lara, 2017).

Por otro lado, se está suministrando agua potable por medio de camiones cisterna para solventar el problema. A pesar de que ésta es una solución para un corto plazo, se sigue manteniendo mientras el AyA lleva a cabo otros proyectos. Estos se explicarán más adelante, por lo cual, la opción de los camiones se visualiza que seguirá rigiendo por varios años más. Al mismo tiempo es importante decir que las iniciativas que tiene el AyA dependerán directamente de la búsqueda de la forma más eficiente de utilizar el agua potable, al ser imposible cubrir el 100 % de las necesidades de la población (Adelfang, 2017).

Debido a la situación descrita, a que las zonas costeras afectadas cuentan con el recurso básico necesario para resolver la problemática y al crecimiento y desarrollo de las plantas desalinizadoras a nivel mundial, es que se consideró la propuesta de este diseño. En Costa Rica, un gran porcentaje del agua de uso doméstico es agua potable, lo cual significa que es tratada y por ende requiere de cierto costo. La opción de implementar un sistema dual en donde parte del agua sea semi-tratada, nace a partir de poder abaratar los costos del agua utilizada para el riego. Por esta razón se propone como una aplicación a la dualidad emplear el agua semi-tratada en un invernadero. De esta manera, se propone una solución integral al problema del agua tanto en el ámbito del consumo humano como en la parte agrícola, que pueda impulsar el desarrollo socio-económico de la comunidad beneficiada.

1.4. Antecedentes

En julio de 2016, se inauguró la primera planta desalinizadora en Costa Rica, situada en el hotel Reserva Conchal, en la provincia de Guanacaste. Esta desaliniza el agua marina utilizando el principio de ósmosis inversa y tiene capacidad para producir 23 litros de agua potable por segundo. Hasta el momento es la única planta que opera en el país a pesar de que hay varias solicitudes de empresas privadas para abrir otras en las zonas costeras. En el ámbito gubernamental no se está desarrollando públicamente ningún proyecto que contemple la desalinización como una posibilidad ante la sequía (Ávalos, 2016). Analizando la realidad que se vive en las costas del país y sabiendo que la tecnología de desalinización ha sido aplicada recientemente con éxito por parte de la empresa privada mencionada, se planteó la posibilidad de beneficiar a una comunidad vulnerable con este tipo de tecnología.

Actualmente el gobierno opera el *Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste*, que pretende llevar durante todo un año 80 millones de metros cúbicos de agua del lago Arenal a Guanacaste. Este proyecto iniciaría su construcción en el año 2018 y consta de 100 km de tubería junto con estaciones de bombeo que beneficiarían algunas zonas como por ejemplo Santa Cruz, Carrillo, Papagayo y Playa Panamá, entre otras zonas de la Península de Nicoya. Para su realización hay que construir un embalse en el Río Piedras; además, están implicadas catorce distintas instituciones gubernamentales, lo que dificulta su avance expedito (Redacción La República, 2016).

Los avances tecnológicos de los últimos treinta años, han impactado los métodos de desalinización disponible, al punto que a la fecha más de 120 países cuentan con plantas desalinizadoras, tanto en pequeñas como en grandes escalas de producción de agua. De esta forma se logra suplir el 1,5 % del agua dulce que se consume a nivel mundial. Aún así, se espera que en la próxima década el crecimiento en la construcción de este tipo de plantas avance de manera exponencial debido a los problemas relacionados con el cambio climático (Voutchkov, 2013).

1.5. Metodología

A continuación se muestran los pasos metodológicos llevados a cabo para cumplir con cada objetivo.

1. Caracterizar la población meta, además del entorno socioeconómico y de recursos disponibles en la comunidad en que operaría el sistema.
 - Se llevaron a cabo reuniones preliminares para seleccionar la comunidad meta.
 - Se recopiló información sobre la problemática actual con respecto al recurso hídrico de fuentes bibliográficas como: noticias, literatura y documentos oficiales del gobierno.
 - Se llevaron a cabo 22 reuniones con distintos profesionales en áreas afines a la temática como lo son: ingeniería, geología y oceanografía.
 - Se llevaron a cabo cuatro giras en la comunidad de Playa Potero, de uno a dos días de duración, para identificar posibles recursos aprovechables en la implementación del sistema de alimentación con energías renovables. Además se recabó información referente a la demanda hídrica del lugar, recolectar muestras de agua, identificar posibles sitios de instalación, entre otros.
 - Se investigó sobre los principios de funcionamiento de un invernadero, las condiciones necesarias para el crecimiento de los cultivos a implementar y los parámetros locales pertinentes para entregar agua con las condiciones adecuadas para invernadero.
2. Cotejar cuatro métodos de desalinización contemporáneos.
 - Se hizo una síntesis de los métodos de desalinización más relevantes para el diseño según un estudio de monografías, artículos científicos y páginas web de instituciones oficiales.
 - Se comparó los métodos de desalinización ya estudiados por medio de una matriz de decisión como herramienta para seleccionar la técnica óptima que se acople a las condiciones del lugar y que logre suplir la demanda necesaria.
3. Seleccionar el método de desalinización más adecuado en el contexto de la aplicación particular según el anterior cotejo de características.
4. Se determinaron las condiciones de frontera del proceso de purificación, incluyendo tecnologías, procedimientos y normativa aplicable.
5. Se dimensionó el sistema según los caudales requeridos y los recursos energéticos, hídricos y condiciones ambientales de la comunidad beneficiada.
6. Se propusieron los elementos que forman parte del proceso que debe seguir el agua para poder ser tratada y distribuida de manera correcta.
7. Se realizaron los cálculos necesarios a partir de la información recolectada, para definir parámetros fundamentales de la operación del sistema tales como: caudales requeridos, niveles de salinidad, dimensiones y condiciones de operación del invernadero, potencia de los equipos, entre otros.

8. Se seleccionaron los equipos mecánicos, materiales y componentes para integrar el sistema completo, incluyendo las etapas de transformación energética implicadas.
9. Se hizo la selección de los accesorios e infraestructura mecánica de todos los sistemas que integran el proceso (sistema de alimentación, sistema de toma de agua, sistema de tratamiento de agua, sistema de distribución, entre otros).
10. Se generaron los diagramas ilustrativos pertinentes al sistema de desalinización elegido y se elaboró una lista de equipos, accesorios y materiales.
11. Se estimó el costo de construcción de una planta piloto con cotizaciones de los equipos, materiales y mano de obra requerida.

1.6. Alcance y limitaciones

El presente trabajo da una alternativa a los sistemas habituales para proveer agua potable a las comunidades costeras de Costa Rica, enfocándose siempre en una opción lo más económica posible dentro de las tecnologías de desalinización. Si bien los avances actuales en esta materia permiten la producción de cientos de litros de agua para abastecer ciudades grandes, el proyecto en diseño busca dar un primer paso a pequeña escala a nivel nacional. Se enfoca el desarrollo del proyecto con la premisa de que la comunidad por beneficiar es costera y de una cantidad de habitantes de aproximadamente dos mil personas.

El motivo de esto es para que la infraestructura dedicada a trasiego del agua no se extienda por muchos kilómetros, acrecentando costos de construcción y materiales. El límite impuesto de cantidad de personas es por motivos de producción del sistema dado que, si se busca lograr suplir a la totalidad de la población y esta es muy grande, esto tendría como consecuencia que el tamaño y el costo del proyecto se incrementa más allá de su viabilidad financiera para la administración pública de la localidad. El diseño engloba la alimentación, desalinización y descarga del sistema dual. El proceso trata el agua marina mediante un método completo de potabilización y otro parcial, el cual es trasegado al invernadero.

El invernadero como complemento al sistema, es diseñado para las temperaturas y porcentaje de humedad deseados según el cultivo o cultivos viables en la zona por establecer. Se procede a elegir los materiales a emplear en el sistema de potabilización y las dimensiones dependiendo de la disponibilidad de espacio que posea la ubicación.

Todo lo planteado se propone meramente a nivel de concepto y desarrollo del sistema. La elaboración de los planos constructivos o la implementación de una planta piloto no es parte del alcance del actual trabajo. Asimismo, se debe mencionar que no se cubren estudios de impacto ambiental, mapas batimétricos ni topográficos detallados, permisos de construcción, estudios especializados de suelos, de corrientes, permisos de explotación de acuíferos o uso de costas, ni redacción de especificaciones técnicas o manuales de mantenimiento.

No se contemplan características del ámbito legal del terreno empleado ni se contempla su costo. Tampoco se realiza una estimación detallada de costos debido a imprevistos y operación de la planta.

De esta forma, se concluye con las secciones que le dan fundamento a este trabajo. Entendiendo así, las metas propuestas, las razones y el trasfondo por las que estas quisieron ser logradas y la forma en la que trabajó para completarlas. A continuación se explicará el fundamento teórico necesario para comprender tanto el contexto de la problemática por resolver, como la información técnica para entender la solución planteada.

Capítulo 2

Contexto del desalinizador

En este capítulo se explica el entorno en el cual se encuentra la problemática del agua en las costas del Pacífico Norte del país. Este incluye comprender la forma de organización de las comunidades costeras para distribuir el recurso hídrico a su población así como potenciales proyectos planteados por el gobierno para suplantar esta dificultad. Asimismo, para entender por completo la problemática que sufre esta zona, más allá de la escasez del agua y el porqué la tecnología de desalinización es una solución real al problema, se requieren conocer los fundamentos de hidrología. Finalmente se menciona la información técnica sobre el funcionamiento de invernaderos y su posible uso con agua con cierta salinidad. Esto último constituye parte de la solución integral planteada más adelante.

2.1. Zonas de vida

2.1.1. Zona de vida y relación con el recurso hídrico

El análisis de las regiones biogeográficas o las denominadas zonas de vida es elemental para la relación entre los métodos de obtención de agua potable y la población meta del lugar, como se desarrollará a continuación. El concepto de zona de vida fue utilizado por primera vez por Clinton Hart Merriam, un naturalista estadounidense, hacia los finales del Siglo XIX. Este lo utilizó mientras realizaba investigaciones de vida silvestre y cultivos a lo largo de su país.

El concepto sería retomado posteriormente en la década de 1970, cuando Leslie Holdridge lo desarrolló más profundamente a través de su libro *Ecología basada en zonas de vida*. A continuación se presenta su descripción tal como se expuso en su momento:

... conjuntos naturales de asociaciones, sin importar que cada grupo incluya una cadena de diferentes unidades de paisaje o de medios ambientales, que puedan variar desde pantanos hasta crestas de colinas. Al mismo tiempo, las zonas de vida comprenden divisiones igualmente balanceadas de los tres factores climáticos principales, es decir, calor, precipitación y humedad (Holdridge, 2000).

Uno de los principales objetivos de Holdridge era crear una especie de categorización o agrupación a lo que él consideraba una gran cantidad de divisiones básicas en materia de ecología. De ahí la importancia que se le da al término de *asociación* en sus descripciones, ya que lo que busca es la simplificación de muchas entidades biológicas singulares para su estudio

y caracterización. Finalmente, desarrolló su esquema de zonas como se muestra en la **Figura (2.1)**.

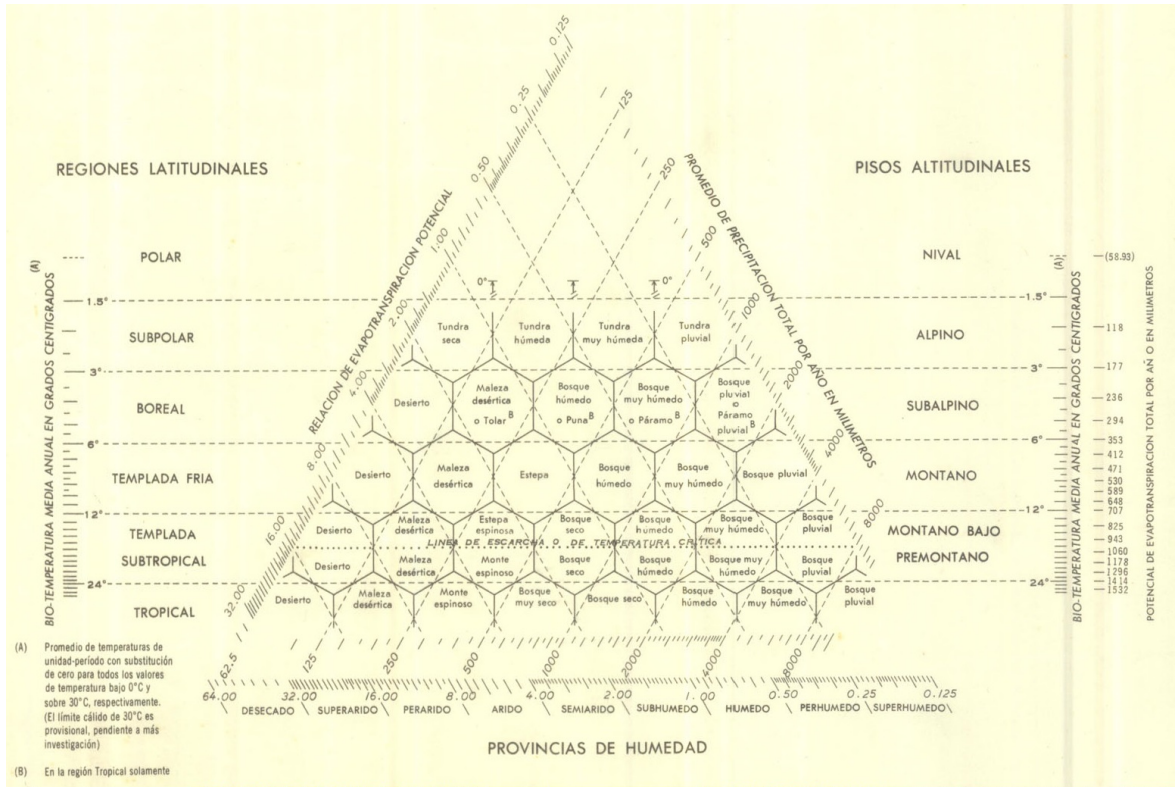


Figura 2.1: Diagrama para la clasificación de zonas de vida. (Holdridge, 2000)

Cada hexágono viene a representar por sí mismo una zona de vida, referente a las variables en las escalas:

- Promedio de precipitación total en milímetros,
- Relación de evapotranspiración potencial,
- Bio-temperatura media anual en grados Celsius (el término centígrado es el original del libro),
- Regiones latitudinales.

Pueden haber diferentes combinaciones de estas variables que den paso al mismo tipo de zona. Los volúmenes de contenido no contemplan una explicación detallada de la metodología de designación de zonas de vida respecto a cada variable, por lo que se considera innecesario el detalle de cada factor.

El recurso hídrico disponible en cada zona es variable, pero se puede de igual manera asociar según la filosofía y metodología que practica la diagramación explicada. Desde un principio, la asociatividad desarrollada por Holdridge logra brindar una interconexión entre los suministros de agua, la climatología del lugar y la caracterización de la vegetación presente (Holdridge, 2000).

De esta manera, las zonas de vida ofrecen como uno de sus datos directos la cantidad de precipitación anual. Por otro lado, indirectamente indica y direcciona información sobre otros recursos hídricos como la presencia de ríos o pozos a través de sus asociaciones con la fauna y la flora característica de la zona. A esto se le conoce como segunda categoría de división ambiental, la cual toma en cuenta suelos, topografía, vientos fuertes, nieblas y distribuciones de precipitación. En particular, se tienen asociaciones hídricas que comprenden lo relacionado a aguas dulces, salobres y marinas (Jimenez, 1980).

2.1.2. Zonas de vida en las costas de Costa Rica

En Costa Rica se presentan cinco pisos altitudinales, cada uno con hasta tres tipos distintos de zonas de vida. El **Cuadro (2.1)** muestra sus divisiones de acuerdo a los ámbitos de altitud.

Cuadro 2.1: Distribución de zonas de vida en Costa Rica (Quesada, 2007)

Piso Altitudinal	Límites de temperatura	ámbito de altitud sobre nivel del mar	Zona de vida
Basal	Mayor a 24 °C	Desde 0 m hasta 700 m	Bosque Seco Basal
			Bosque Húmedo Basal
			Bosque Muy Húmedo Basal
Premontano	Desde 24 °C hasta 18 °C	Desde 700 m hasta 1 400 m	Bosque Húmedo Premontano
			Bosque Muy Húmedo Premontano
			Bosque Pluvial Premontano
Montano Bajo	Desde 18 °C hasta 12 °C	Desde 1400 m hasta 2 700 m	Bosque Húmedo Montano Bajo
			Bosque Muy Húmedo Montano Bajo
			Bosque Pluvial Montano Bajo
Montano	Desde 12 °C hasta 6 °C	Desde 2700 m hasta 3 700 m	Bosque Muy Húmedo Montano
			Bosque Pluvial Montano
Subalpino	Desde 6 °C hasta 3 °C	Desde 2800 m hasta 4 000 m	Páramo Pluvial

Se habla de zonas de vida de transición (Quesada, 2007). En la **Figura (2.2)** se muestran sus divisiones a lo largo del territorio nacional, en su mapa ecológico.

Ya que las zonas costeras se encuentran, en su gran mayoría, en entre los 0 m y los 700 m correspondientes al plano basal, serán estas las zonas de vida que se explicarán un poco más a fondo a continuación.

2.1.2.1. Bosque seco basal

En general, en América Central las regiones de bosque seco se ubican a lo largo de la costa pacífica. Para el caso específico de Costa Rica, se encuentran en el área descrita por la provincia de Guanacaste, enfocada en las regiones de sabana como las que rodean la cuenca

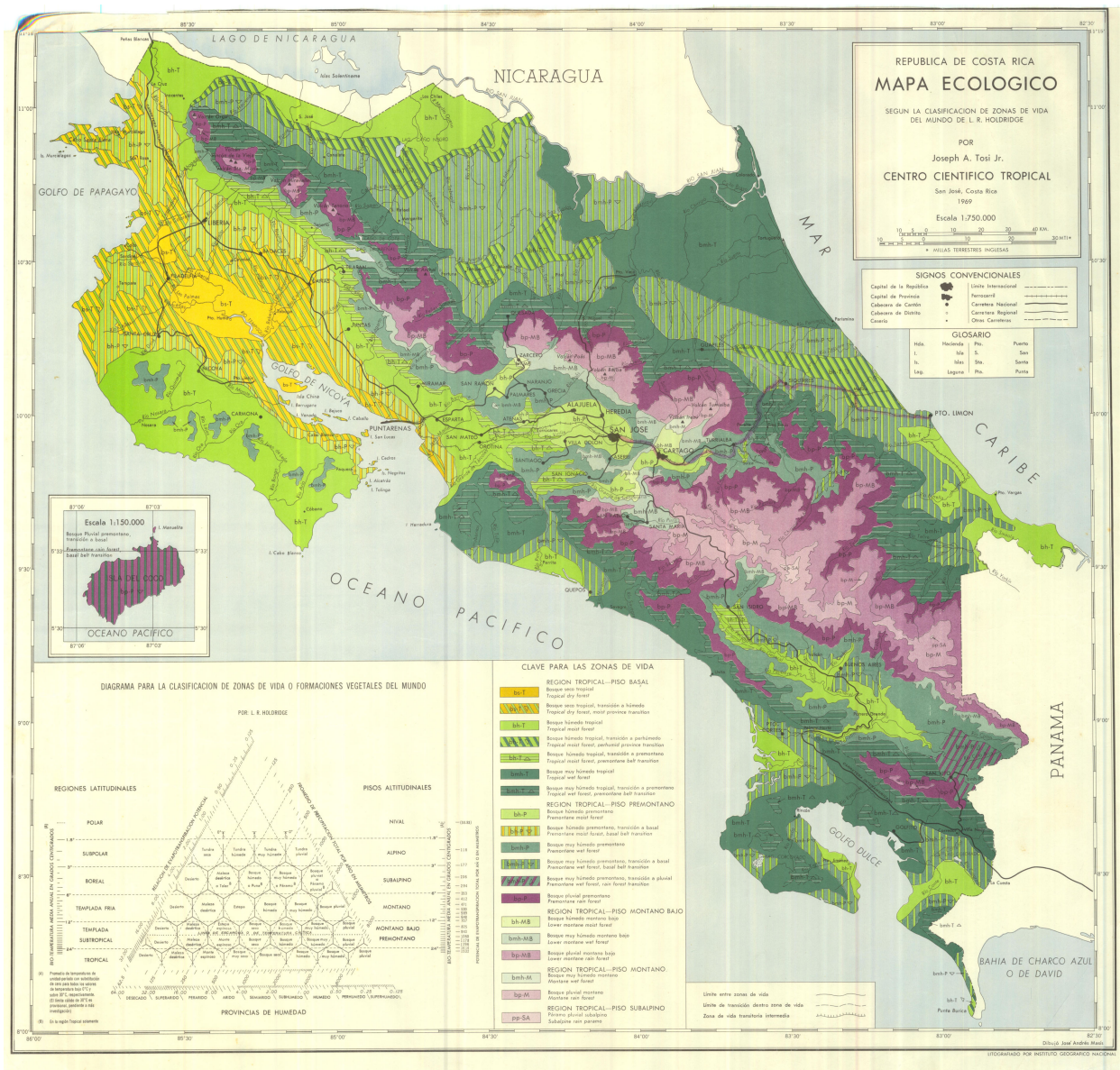


Figura 2.2: Mapa ecológico y de zonas de vida de Costa Rica. (Tosi, 1969)



Figura 2.3: Raíz de árbol observado en Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica. Coordenadas geográficas: 10° 23' 50" N, 85° 19' 24" O (Montagnini, 2013)

del río Tempisque. Se caracteriza por una fuerte y marcada estación seca, que normalmente se manifiesta entre los meses de noviembre y mayo (Quesada, 2007).

Sus precipitaciones varían entre apenas los 800 mm y los 2 100 mm anualmente, lo cual se puede considerar poco si se les compara a las regiones húmedas de este mismo piso altitudinal donde pueden llegar a ser de hasta 6 000 mm (Quesada, 2007), las cuales serán detalladas más adelante. Las altas temperaturas en estas épocas se observan en la vegetación local. Durante estos meses los árboles acostumbran a perder sus hojas, esto como un recurso de reserva energética (Montagnini, 2013).

Debido a esta falta de agua, el suelo tiende a ser más compacto. Para garantizar su agarre y suministro, la vegetación desarrolla raíces más profundas como la observada en la **Figura (2.3)**. Por estas mismas razones la biodiversidad vegetal, así como la densidad y alturas de los árboles se ven reducidos.

2.1.2.2. Bosque húmedo basal

Este tipo de zonas de vida se pueden encontrar en varias regiones como la península de Nicoya en Guanacaste y en regiones cerca de la frontera sureste del país como el valle del río Grande de Tárcoles, de la Estrella, del General o en Sixaola (Morales, 2002). También se pueden encontrar en algunas regiones de la costa Atlántica y en zonas más altas y lejanas a las masas de agua marina como Upala, San Carlos (Quesada, 2007).

La biodiversidad es sumamente amplia. A nivel vegetal pueden observarse 3 o 4 estratos diferenciados de manera muy marcada por sus alturas, alcanzando hasta 150 variedades de tan solo especies arbórea (Quesada, 2007). En cuanto a fauna se refiere también se considera muy diversa, incluso pueden encontrarse mamíferos grandes como jaguares y dantas en las regiones

de menor intervención humana, además de las usuales especies de aves, reptiles, mamíferos pequeños y anfibios (Morales, 2002).

Sus precipitaciones pueden superar los 4 000 mm como promedio anual. Las estaciones secas pueden llegar a extenderse hasta por 5 meses, sin embargo, pueden pasar años enteros sin presentar una estación de este tipo de manera marcada (Quesada 2007), lo cual la diferencia de la presentada estación en los bosques secos.

2.1.2.3. Bosque muy húmedo basal

Este tipo de zona puede superar los 6 000 mm de precipitaciones como promedio anual, lo cual es casi tres veces el máximo de precipitaciones en el bosque seco tropical. Esta zona está presente en los Golfos de Nicoya y Golfo Dulce, así como las regiones de Tortuguero, Sarapiquí y el Atlántico Sur (Quesada, 2007).

Sus temporadas altas de lluvia no permiten ni siquiera describir una estación seca que se pueda delimitar. Par este tipo de zona "no hay meses secos porque no hay déficit de agua en el suelo para las plantas"(Quesada, 2007).

Su alto nivel de recurso hídrico también se manifiesta en una gran cantidad de especies de fauna. Al igual que el bosque húmedo tropical, abundan gran cantidad de especies de aves, anfibios, insectos, mamíferos, entre otros.

2.2. Las ASADAs como sistema de administración

2.2.1. Reseña histórica y origen

Un aspecto básico para la creación de asentamientos humanos es tener fácil acceso a fuentes superficiales de agua potable. Algunas de ellas son ríos, lagos, pozos artesanales, entre otros. Este fluido vital permite el desarrollo de diversas actividades humanas y por lo tanto es considerado como un bien estratégico. En Costa Rica, uno de los primeros ejemplos de ello es la reserva arqueológica Guayabo de Turrialba, donde se puede observar una canalización la cual aprovecha las condiciones del terreno para llevar agua de lluvia desde la parte alta de las montañas hasta las zonas habitadas.

Consecuentemente, durante los siglos posteriores a la creación del acueducto de Guayabo, se comienzan a generar los procesos de construcción de infraestructura y organización comunitaria alrededor del abastecimiento del agua en los poblados. Es en 1884, cuando se promulga la primera Ley de Aguas. Esta decreta "el interés del Estado en la protección de las cuencas, así como el abastecimiento por medio de pozos, y luego, por fortalecimiento y ampliación de los acueductos"(Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2015).

Por ello se llevan a cabo varios proyectos que eran promovidos y desarrollados por el gobierno central, pero delegados a las municipalidades para su ejecución y administración. De aquí se entiende el relevante papel que cumplieron las municipalidades en el desarrollo de los proyectos de abastecimiento del agua en Costa Rica.

Aun así, el servicio que prestaban las municipalidades no era el adecuado, en parte debido al crecimiento de la demanda generado por el incremento poblacional que se dio entre la década de 1940 y 1950. Así, los acueductos eran insuficientes, de manera que se necesitaban obras de expansión, así como obras de reparación de los sistemas existentes. Asimismo, "las municipalidades no invertían en el mantenimiento de los sistemas, al no tener un sistema tarifario que permitiera capitalizar un fondo para ese fin"(Monge, Paz y Ovarés, 2013).

Es más adelante, en 1942, cuando se publica una nueva Ley de Aguas en la cual se establece a la Secretaría de Salubridad Pública como la encargada en los asuntos relacionados con el agua. En los años siguientes, el país se vio en la necesidad de ampliar y mejorar los acueductos. Es por esta razón, que el 14 de abril de 1961 se crea el *Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados* (SNAA). Según el artículo 2, inciso g) de la *Ley de Creación del Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados*, este tenía la responsabilidad de "... administrar y operar directamente los sistemas de acueductos y alcantarillados en todo el país, los cuales se irán asumiendo tomando en cuenta la conveniencia y disponibilidad de recursos". (Ley Número 2726, 1961).

Asimismo, la ley continúa diciendo que, se ve de buena forma que las municipalidades rurales mantuvieran la prestación los servicios de administración de los sistemas de abastecimiento de agua siempre y cuando estas logren un servicio eficiente. No obstante, el inciso finaliza mencionando que:

... queda facultada la institución para convenir, con organismos locales, la administración de tales servicios o administrarlos a través de juntas administradoras de integración mixta entre el Instituto y las respectivas comunidades, siempre que así conviniere para la mejor prestación de los servicios y de acuerdo con los reglamentos respectivos (Ley Número 2726, 1961).

Es este último párrafo citado, el cual da cabida para que se creen las *Asociaciones administradoras de sistemas de acueductos y alcantarillados sanitarios* (ASADA). Al hablar de la situación del agua potable en las comunidades rurales se tiene que:

... al menos hasta la década de los 60, la población careció de verdaderos sistemas de potabilización y acueducto. Según fueran las condiciones hídricas de cada sitio, las comunidades rurales se autoabastecían mediante pozos o tuberías artesanales, cuando no era el caso de transportar el agua con bestias o manualmente. La disposición de las aguas servidas en este ámbito rural tampoco fue tema de preocupación sino hasta esa misma década, cuando el Ministerio de Salud desarrolla un agresivo programa de letrización (Cárdenas, 2004).

Debido a la expansión de acueductos en las zonas rurales, el SNAA tuvo la necesidad de crear las Juntas Administradoras de Acueductos en Zonas Rurales. Esto se llevó a cabo el 20 de abril de 1965. Este programa tuvo impacto en más de 1000 comunidades en las cuales se buscaba que sus vecinos se involucraran en la construcción y la posterior administración de los acueductos. De esta forma, se sembró la semilla de lo que hoy conocemos como Comités Administradores de Acueductos Rurales (CAAR) y de las ASADAs.

En la década de 1970, los programas de acueductos rurales fueron incluidos en el Plan Nacional de Salud. De esta forma, el SNAA tomó la responsabilidad del servicio de abastecimiento de agua potable de las comunidades fuera del Área Metropolitana. Entre algunos de los acueductos que se construyeron están los de Nicoya, Bagaces y Cañas. En forma general, estos planes dieron lugar a que, a partir de 1971, se tuviera un 49 % de la cobertura rural con agua potable. Continuando con las transformaciones de la década, es en 1975 cuando el SNAA cambia a ser lo que hoy en día conocemos como el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). Entre los programas que crea el AyA para las zonas rurales están el *Programa de Salud para las Comunidades Rurales* y luego el *Programa de Construcción de Acueductos para las Comunidades Rurales* (PRACOR). Entre los años 1965 y 1982, el SNAA

montó 411 acueductos en zonas rurales con menos de 200 pobladores (Monge, Paz y Ovares, 2013).

Hasta este momento, las instituciones de gobierno participaban directamente con el desarrollo de los sistemas de abastecimiento de agua en las zonas rurales. Es a partir de las recomendaciones de la Organización Panamericana de la Salud, que se comienza a visualizar un nuevo modelo para el desarrollo de los sistemas de abastecimiento de agua. En él, se promueve la intervención directa de las organizaciones comunales, en la construcción y la administración en los sistemas mencionados. Por esta razón, se publica en La Gaceta del 15 de octubre de 1976 el *Reglamento de los Comités Administradores de Acueductos Rurales* (CAAR). Como consecuencia de estas políticas, se han tenido costos bajos y se ha generado una identificación de los vecinos con su comunidad.

De esta forma, se puede decir que en dicho modelo, el "A y A aporta los estudios y diseños, la tubería y los accesorios requeridos para las redes de conducción y distribución, así como la supervisión técnica (ingenieros e inspectores) y la mano de obra calificada (maestros de obra)" (Loaiza, 1998) Por su parte, la comunidad se responsabiliza de aportar la mano de obra, los materiales requeridos y se encarga de la operación y administración del sistema. Para cumplir con esta última tarea, el AyA se encarga de capacitar y asesorar a los vecinos en estas tareas.

En el año 1990 se refuerza el proceso de capacitación y orientación a las comunidades, así como se establecen legalmente algunas entidades que prestan el servicio de abastecimiento de agua de manera delegada por un convenio con el AyA.

Más adelante, en diciembre de 2000, se promulgó el Reglamento de las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados (ASADAs). Esto mediante el Decreto Ejecutivo Número 29100-S del 9 de noviembre de 2000 y publicado oficialmente en la Gaceta Número 231 del 1 de diciembre de 2000. De esta manera, se establecen "... una serie de normas que favorecen y fortalecen la delegación de la administración, operación, mantenimiento y desarrollo de los sistemas en las ASADAs, financiando su funcionamiento con los recursos provenientes de las tarifas autorizadas por la ARESEP para el servicio que ellos mismos brindan". (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2015).

Es a partir del 2005 que la oficina de Dirección de Obras del AyA permite, por primera vez, la construcción de sistemas comunales por contrato. En este mismo año, debido a una reestructuración de AyA, las Direcciones Regionales toman el liderazgo en cuanto a la relación con las ASADAs. Es por esto que se crean los Departamentos de Acueductos Comunales en cada una de las regiones. También, en este año se decreta el *Reglamento de las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales*, el cual se mantiene vigente hasta la fecha.

2.2.2. Conceptualización de las ASADAs

2.2.2.1. Concepto de ASADAs

En Costa Rica existen cuatro tipos de entes que pueden prestar el servicio de abastecimiento de agua potable: el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), las municipalidades, las Organizaciones de Servicios de Agua y Saneamiento (OCSAS) y otros entes creados mediante ley especial. Existen aproximadamente 1500 OCSAS, las cuales abastecen a cerca de 1,3 millones de personas, lo cual representa cerca de un 28,7 % de la población del país. De esta forma, se tienen cerca de 10 500 personas que trabajan de forma voluntaria en la gestión del abastecimiento de agua en las comunidades.

Aparte de la administración, operación, mantenimiento y desarrollo de los sistemas de acueductos y alcantarillados sanitarios incluyendo los hidrantes de la comunidad. Debido a su labor fundamental y que cubren una significativa parte de la población, se han convertido en asociaciones imprescindibles para la gestión del recurso hídrico en el país. Un 75 % de las OCSAS se catalogan como de pequeña escala ya que atienden a 300 abonados o menos, las cuales sirven en conjunto al 32 % de los 1,3 millones de personas que se atienden de esta forma (Monge, Paz y Ovares, 2013) (Equipo de proyectos de FUNDES, 2017).

A la hora de analizar el comportamiento de las OCSAS en las provincias del país, se tiene que Alajuela y Guanacaste son las que presentan un mayor número, mientras que Heredia y Cartago son las que tienen menor cantidad. Asimismo, Guanacaste es la provincia con OCSAS de menor tamaño. De esta forma, “las OCSAS de Guanacaste y San José tienen un reto en términos de costos y eficiencia, ya que reciben ingresos muy bajos, debido a que cuentan con pocos usuarios” (Equipo de proyectos de FUNDES, 2017).

Según datos del AyA, un 84% de las OCSAS son ASADAs y el resto son Comités de Acueductos y Alcantarillados Rurales (CAAR) o asociaciones de desarrollo. Las ASADAs son entidades locales constituidas por vecinos de una comunidad que, por encomienda del AyA, administran y operan los sistemas de acueductos y alcantarillados en dicha zona. Al formar parte de las OCSAS, el trabajo en estas asociaciones es ad honorem por lo tanto, los miembros de la junta directiva, y demás entes organizacionales trabajan sin fines de lucro. Vale destacar, que el hecho de que sea voluntario no excluye el que a los trabajadores contratados por la ASADA se les pague por sus servicios (Monge, Paz, y Ovares, 2013) (Equipo de proyectos de FUNDES, 2017).

Es bajo la Ley de Asociaciones Número 218 de 1939 que los vecinos tienen la potestad de agruparse de esta forma. Por lo general, en las comunidades en las que se forma una ASADA, ni el AyA ni las municipalidades dan el servicio de abastecimiento de agua potable, razón por la cual surge la participación ciudadana para crear dicho órgano. Es bajo la delegación de las actividades mencionadas que el AyA hace valer el derecho fundamental de acceso al agua potable, el cual se relaciona con el derecho a la salud y el derecho a la vida (Monge, Paz y Ovares, 2013).

2.2.2.2. Administración en las ASADAs

Sobre la parte administrativa de las ASADAs, vale aclarar que estas son entidades privadas, pero que gestionan un servicio público. En cuanto a su organización, estas son personas jurídicas constituidas como asociaciones. Esto implica que deben de tener una asamblea, una junta directiva y una fiscalía, de manera que tienen autonomía para tomar ciertas decisiones. Por la parte pública vale decir que el servicio que dan es de interés público y se maneja con fondos de la misma naturaleza, por lo que se exige que las ASADAs trabajen bajo los pilares de la integridad, la transparencia, la rendición de cuentas y la participación ciudadana. Asimismo, es importante mencionar que el sistema jurídico costarricense da la posibilidad de administrar fondos públicos tanto a entes privados como a entes públicos no estatales; esto según lo establecido en el artículo 8 de la Ley Orgánica de la Contraloría General de la República.

En cuanto a los mecanismos de transparencia, existen dos tipos de entidades a las cuales las ASADAs debe de rendir cuentas. Estas son las instituciones públicas y otros actores sociales. El primer grupo lo conforman las instituciones que fiscalizan y que al mismo tiempo colaboran con la labor de las ASADAs. Algunas de estos son:

- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA),

- Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP),
- Contraloría General de la República,
- Ministerio de Ambiente y Energía,
- Ministerio de Salud,
- Ministerio de Justicia,
- Ministerio de Hacienda,
- Benemérito Cuerpo de Bomberos del Instituto Nacional de Seguros,
- Defensoría de los Habitantes de la República.

Por su parte, el segundo grupo lo conforman tanto los beneficiarios del servicio público de abastecimiento de agua como los individuos afiliados y asociados a las ASADAs (Monge, Paz y Ovares, 2013).

Sobre la relación de las ASADAs con el AyA se debe decir que esta institución es la encargada de "dirigir y vigilar todo lo concerniente a la provisión de los servicios de agua potable, recolección y evacuación de las aguas negras y residuales, así como de las aguas pluviales"(Monge, Paz y Ovares, 2013). Asimismo, no se pueden realizar nuevas construcciones, ampliaciones o modificaciones de los sistemas de acueductos y alcantarillados en el país sin la aprobación del AyA. Por otra parte, las ASADAs tienen la responsabilidad de cumplir con las obligaciones asumidas por medio del convenio de delegación y en caso que estas no se practiquen, el AyA puede rescindir el convenio y tomar la administración y la operación de estos sistemas de acueductos y alcantarillados.

Al hablar de los medios de fiscalización, la entidad responsable de esta actividad es la Contraloría General de la República. Esta institución está autorizada para pedir cuentas a las ASADAs, pero en la práctica el AyA cumple una función de mediador entre ambas partes. Por su parte, la ARESEP es la institución encargada de fijar los precios y las tarifas de la prestación de servicios públicos, incluyendo los que otorgan las ASADAs. Asimismo, esta entidad es la encargada de velar por la calidad de la prestación del servicio que dan estas asociaciones. A la hora de poner las tarifas, se toman en cuenta los siguientes factores:

- El tipo de sistema de distribución: si es por bombeo, gravedad o mixtos,
- La categoría: si es de abonados domiciliarios y preferencias o de abonados empresariales y gobierno,
- El tipo de servicio: si tiene micro-medición o si se define una tarifa única,
- El número de abonados.

Las ASADAs puede cobrar otros costos para la compra de terrenos o para proyectos específicos. Estos costos se suman a las tarifas establecidas por la ARESEP. En estos casos, se debe tener la aprobación del AyA y de la misma ARESEP (Araya, 2017).

Con respecto a la relación entre el MINAE y las ASADAs se debe decir que estas últimas tienen la responsabilidad de cuidar las fuentes del recurso hídrico, así como seguir los lineamientos que da el MINAE en temas de concesiones y de permisos, a la hora de realizar

cualquier tipo de trabajo en un acueducto. Esto se entiende a la hora de leer el concepto de acueducto en el Reglamento de ASADAs, el cual por medio de su artículo 1 dice que este sistema "... comprende también los factores involucrados en la conservación y aprovechamiento del recurso natural". (Decreto Número 32529-S-MINAE, 2005).

Se debe tener en mente que, el fin último de los sistemas de abastecimiento de agua de las ASADAs es entregar un recurso vital a las personas de su comunidad. De esta forma, para garantizar que el agua potable entregada sea de calidad, se requiere de la supervisión del Ministerio de Salud. Es por esto que los artículos 8 y 9 de su reglamento, establecen que el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA, "debe realizar los controles de calidad de agua en los sistemas comunales y ordenar las correcciones que procedan conforme a lo establecido por el Ministerio de Salud". (Monge, Paz, y Ovares, 2013). Asimismo, el artículo 5 del reglamento de ASADAs afirma que cualquier tipo de obra, sea de construcción, ampliación o modificación de los sistemas de abastecimiento de agua potable y de disposición de aguas residuales, deberá tener la autorización tanto del AyA como del Ministerio de Salud.

2.2.3. Gobernabilidad del agua y operación en las ASADAs

Las ASADAs son entidades relacionadas con la distribución de agua, la toma de decisiones y la ejecución de actividades relacionadas con este recurso se vuelve fundamental para el desarrollo humano. En dichos procesos de toma de decisiones, se ven involucrados diferentes sectores con intereses divididos y con diversas capacidades de influencia política, económica, social y cultural. Uno de estos sectores son precisamente las ASADAs.

La importancia de este tema recae en que el agua es un bien fundamental y estratégico para mantener la vida. Por lo tanto, las decisiones relacionadas a él, influyen directamente en el desarrollo de las sociedades, en la salud y la vida de las personas. Abonado a este hecho, actualmente, las fuentes del recurso hídrico no dan abasto ya sea por el crecimiento demográfico, por la mayor demanda de este recurso por parte de actividades productivas (agricultura, turismo, industria, entre otros), por un agotamiento de ciertas fuentes como algunos pozos, o por la contaminación de algunas de estas fuentes como ríos y nacientes.

Esta crisis relacionada con el agua es en esencia una crisis de gobernabilidad ya que se relaciona con las decisiones que tienen que ver con proteger, conservar, tratar, utilizar y distribuir el agua. Por lo tanto, la gobernabilidad del agua se define como la toma de decisiones que se gestiona para garantizar el derecho humano al agua. De esta forma "... la gobernabilidad del agua determina quien obtiene agua, en qué calidad y cantidad, cuándo y cómo la obtiene" (Monge, Paz, y Ovares, 2013). Por lo tanto, a la hora de buscar una efectiva gobernabilidad del agua, se debe trabajar en torno a cuatro dimensiones.

Por un lado, está la dimensión social, la cual pretende un uso equitativo del agua. Una ASADA debe garantizar que los usuarios de sus servicios tengan un acceso equitativo a dicho bien. En cuanto a la dimensión económica se tiene que estas entidades deben de trabajar de manera eficiente tanto en el ámbito del uso del recurso hídrico como en los recursos económicos, materiales y humanos que maneja. Otra dimensión es la política, la cual se relaciona con los procesos democráticos en los cuales se espera que sus beneficiarios, así como sus asociados se involucren. Por último, se tiene la dimensión ambiental la cual busca que la gestión que se realice, haga un uso sostenible del agua. Es por esto que las ASADAs deben de encargarse no solo mantener en buen estado su infraestructura (tuberías, tanques de almacenamiento y otros accesorios) sino de conservar las fuentes de donde se obtiene el recurso hídrico; de esta forma, las ASADAs pueden garantizar que dan un servicio de calidad.

Para facilitar las labores relacionadas con la operación y la organización de estos grupos de vecinos, el AyA ha dividido al país en 7 regiones, las cuales se enuncian a continuación: Brunca, Chorotega, Huetar Norte, Huetar Atlántica, Metropolitana, Pacífico Central y Central Este. En cada región hay una oficina regional del AyA de acueductos regionales. Sus funciones son apoyar a las ASADAs en esa región en específico dándole asesoría técnica, legal y todo el acompañamiento que requieren. Dichas oficinas cuentan con ingenieros encargados de las obras que se realizan en los acueductos comunales.

En el caso teórico de un proyecto de ingeniería, dichos ingenieros son los encargados de hacer los diseños relacionados con dichos acueductos. Debido a que estas oficinas no cuentan con la cantidad de ingenieros necesarios para poder cumplir con estas funciones, entre otras razones, lo que ocurre en la mayoría de los casos es que las ASADAs contratan a un ingeniero para que les haga el diseño. Este debe seguir las especificaciones propias del AyA para proyectos de agua potable. Es importante que dichos diseños contemplen la implementación de micro-medidores en las tuberías de los usuarios para evitar conexiones ilegales. En otras palabras, ayudan a revelar si en una conexión se está consumiendo un mayor caudal que para el que fue diseñada la tubería. Una vez que el ingeniero contratado ha entregado los planos, estos se deben llevar a la Oficina Regional del AyA para que el ingeniero encargado lo revise y lo apruebe. Si este le da el visto bueno, se le devuelve a la ASADA y ésta lo ejecute.

En cuanto a la manera de financiar los proyectos existen varias formas. La mayoría de las ASADAs agrega un costo adicional a la tarifa que pagan los usuarios. Asimismo, también hay proyectos que se financian por cooperación y donaciones. No todas las donaciones son monetarias, hay algunas que son en materiales o servicios.

2.2.4. Limitaciones, problemáticas y desafíos de las ASADAs

Hasta este punto, solo se ha comentado sobre el funcionamiento teórico de las ASADAs. Debido a que en la realidad estas asociaciones viven ciertas dificultades para llevar a cabo su labor, y que se pretende tener contacto y trabajar con una de estas asociaciones, se considera fundamental conocer sobre las limitaciones y las problemáticas que éstas enfrentan.

En agosto de 2013 la Contraloría General de la República publicó el "Informe de la auditoría de carácter especial sobre la razonabilidad del control ejercido por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados sobre la gestión de las Asociaciones Administrativas de Acueductos y Alcantarillados". Este tenía por objetivo conocer si el control ejercido por el AyA sobre las ASADAs lleva a una satisfactoria prestación de los servicios que éstas deben de dar.

Entre los problemas que señala el informe está que varias ASADAs tienen una tarifa diferente a la establecida por la ARESEP, donde en la mayoría de los casos cobran tarifas inferiores. Asimismo, hay unas que están bajo figuras que no se encuentran vigentes jurídicamente, de ellas una parte no tienen un convenio de delegación con el AyA.

Sumado a esta idea, se debe decir que las asociaciones más pequeñas presentan un mayor riesgo de sostenibilidad financiera. Este se debe a que por lo general tienen altos gastos fijos y de operación y bajos ingresos debido a que tienen pocos abonados. Por lo tanto, en estos casos, el ajuste tarifario se vuelve un tema retador ya que las ASADAs de menor tamaño debe de diluir sus costos fijos entre menos abonados.

También se habla de que "... se identificaron limitaciones en la capacidad técnica (hídrica e hidráulica) de los acueductos comunales que afectan la cantidad, calidad y continuidad del servicio de agua". (Contraloría General de la República, 2013). Por lo tanto, hay algunas ASADAs que sus fuentes no pueden entregar el caudal requerido, y otras que se proyecta que

en el futuro con el crecimiento poblacional tendrán la misma limitación. Asimismo, varios entes manifestaron que se ha generado una disminución de la cantidad de agua que entregan sus fuentes actuales.

Otro problema encontrado es la falta de definición de criterios de conveniencia, prioridad y viabilidad mediante los cuales el AyA traza la ruta que debe cumplir para desarrollar nuevos acueductos comunales y delegarlos a una ASADA. Sumando a este punto el informe explica que "... se determinó que el desarrollo de los acueductos comunales no responde a un orden de prioridades. Por ello, según el AyA no siempre las comunidades en mayor grado de prioridad son las primeras atendidas". (Contraloría General de la República, 2013). Entre las razones que da el AyA están un personal insuficiente en la Dirección de Formulación de Proyectos, que se desconoce la jurisdicción de los entes operadores, por lo que no se puede conocer la totalidad de las zonas que no tienen acueductos y por último dice que hay casos en donde la influencia de aspectos externos se impone sobre las decisiones técnicas.

Por otro lado, la Fundación Avina, en conjunto con Fundes Latinoamérica, llevaron a cabo un estudio titulado Impacto de la gestión comunitaria del agua en el desarrollo de Costa Rica: Retos y oportunidades de las OCSAS. Entre los principales retos que comenta dicho informe está la diversidad de tamaños y capacidades tanto financieras, como de recursos humanos, naturales entre otros, que tienen las ASADAs en el país. Debido a que en este entorno conviven desde asociaciones pequeñas hasta otras más grandes, es un reto establecer estándares en temas como indicadores, mediciones, tarifas, entre otros. Asimismo, es poco efectivo realizar comparaciones entre los desempeños de estas asociaciones utilizando los mismos parámetros. Esto lleva a que sea difícil la implementación de políticas públicas que impacten de la manera esperada a este sector.

Un desafío que se plantea como una posible solución a varios de los problemas mencionados es el tema de la asociatividad. Esta "... tiene que ver con la unión de dos o más ASADAs de una cuenca, una región en específico o por algún problema en especial que unen sus esfuerzos para trabajar por un mismo propósito"(Araya, 2017). Dichas asociaciones se hacen bajo la figura de Federaciones, Uniones o Ligas de ASADAs y por lo general los servicios que tramitan en conjunto son: procesos de asistencia técnica, capacitaciones, compras en conjunto, iniciativas para controlar la calidad del agua, asistencia técnica y conservación de las fuentes de recarga. De esta forma, los recursos tanto administrativos como financieros se diluyen entre todos los involucrados y así se fortalece la gestión que realizan estas asociaciones.

La contaminación en el agua suministrada es otro gran problema. En el año 2012, el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA encontró contaminación microbiológica en el agua que entregaban 370 acueductos. Asimismo, se ha encontrado contaminación física y química, por ejemplo: con arsénico, hierro, calcio, agroquímicos, aguas grises, aguas negras, hidrocarburos, entre otros. En cuanto a este tema, el estudio de la Fundación Avina dice que "... se alerta sobre las OCSAS guanacastecas, las cuales... tienen importantes carencias en cuanto a la potabilización del agua y son los acueductos más pequeños si se toma en cuenta la población atendida por cada OCSAS". (Equipo de proyectos de FUNDES, 2017).

Por otro lado, el estudio comenta que "... la deforestación de las zonas de recarga, la contaminación de las fuentes, la expansión desordenada de las zonas urbanas y residenciales, así como los efectos del Cambio Climático (sequías e inundaciones), continúan siendo retos importantes para las OCSAS". (Equipo de proyectos de FUNDES, 2017). De esta manera, se entiende que el cuidado y la explotación de las fuentes del recurso hídrico siguen siendo un punto a reforzar para estas asociaciones.

En cuanto a la participación comunal, el principal desafío se encuentra en que muchas

de estas asociaciones pasan por un proceso de envejecimiento. Involucrar a los jóvenes en las juntas directivas y aumentar su participación en las asambleas se ha tornado una tarea complicada. Asimismo, contar con el liderazgo y con las capacidades participativas y administrativas de los jóvenes en torno a los acueductos de su comunidad sería de gran beneficio para estas asociaciones. Otro reto que se tiene es aumentar la participación de los miembros de la comunidad en las asambleas realizadas por la ASADA. En temas de género, se pretende llegar a tener equidad e igualdad en cuanto a la participación en las organizaciones administrativas y directivas.

En el ámbito del reconocimiento y la visibilidad del trabajo realizado por las ASADAs, se tiene un gran reto. El impacto que tiene el modelo de gestión comunitaria del agua y el trabajo voluntario que se hace en estas asociaciones no es ampliamente conocido por la ciudadanía del país y por varios de los encargados de tomar decisiones que afectan a estas asociaciones. Por lo tanto, es necesario que tanto las ASADAs como las organizaciones que las apoyan contribuyan al fortalecimiento y el esclarecimiento de la labor que en ellas se realiza.

2.3. Iniciativas locales para potabilización del agua

2.3.1. Antecedentes y definición del PIAAG

Como parte del Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018: Dr. Alberto Cañas Escalante, de la Administración Solís Rivera, se ha integrado como acción estratégica la implementación del *Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste-Pacífico Norte* (PIAAG). Este "... parte de una visión integral y holística para asegurar una gestión integrada de agua en la provincia de Guanacaste y el sector norte de la provincia de Puntarenas, y con ello construir una plataforma hacia la seguridad hídrica de todos los habitantes y desarrollo de esta región a largo plazo."(Zeledón, 2016).

Por lo tanto, se puede decir que surge como una respuesta a la falta de inversión en obra pública de infraestructura hidráulica integral de la zona. Sumado a esta condición, en la región Guanacasteca se presentó la segunda sequía más acentuada en el país. Esta inició en el 2015 y se prolongó por tres años. En estos años hubo un "... déficit hídrico que llevó los sistemas de acuíferos a extremos altos de estrés hídrico, y que en algunos casos provocó su salinización". (Zeledón, 2016).

El PIAAG se oficializó bajo el Decreto Ejecutivo 38665-MP-MIDEPLAN-MINAE-MAG del 12 de noviembre de 2014 y está integrado por más de 52 proyectos y acciones. Estos contemplan el desarrollo de infraestructura hidráulica, el monitoreo de aguas, la investigación, capacitación, educación, comunicación y gestión de la calidad de las aguas, la promoción de nuevas tecnologías de acceso al agua, entre otros. "Solo el AyA tiene cerca de 34 proyectos, entre ellos: 11 de inversión en infraestructura, apoyo a ASADAs en su fortalecimiento técnico y de infraestructura, reparto de agua por medio de camiones cisterna a comunidades mientras se soluciona definitivamente, y monitoreo de acuíferos en conjunto con otras instituciones"(Zeledón, 2016) (Astorga, 2016, p.17-24).

Se estima que la inversión en proyectos ejecutados o en ejecución es mayor a los 125 408 millones de colones y más de 600 millones de USD de inversión para proyectos en etapa de estudios básicos. El PIAAG fue escrito por el MINAE, el AyA, la SENARA, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), el Instituto de Desarrollo Rural (INDER), los gobiernos locales, los representantes de las ASADAs y algunas organizaciones privadas. Este programa se lleva a cabo bajo la rectoría del Sector Ambiente, Energía, Mares y Ordenamiento Territorial

del MINAE en conjunto con otras instituciones del gobierno (Zeledón, 2016, p.25-31) (Astorga, 2016, p.17-24).

El programa tiene como objetivo "... asegurar el aprovechamiento óptimo del recurso hídrico en la vertiente Pacífico Norte, para satisfacer las demandas de agua por parte de las comunidades y las distintas actividades productivas, así como el mejoramiento del acceso al agua en cantidad y calidad adecuada". (Zeledón, 2016). De este objetivo nacen sus cuatro ejes estratégicos:

1. Seguridad hídrica para las comunidades (relacionado con el derecho humano al acceso al agua y ejecutado a través del AyA y las ASADAs),
2. Seguridad alimentaria (incremento de la producción alimentaria con sistemas de riego),
3. Necesidades de agua de los ecosistemas (promover la sostenibilidad de los ecosistemas),
4. Gestión de aprovechamiento sostenible (mejorar el aprovechamiento del agua disponible, con prioridad el agua subterránea).

El Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018 comenta que la estimación del presupuesto con el que se cuenta para el período mencionado es de 13 284 millones de colones divididos en 3 321 millones de colones por año. Asimismo, se establece como meta un 80 % de avances de las diferentes etapas que conforman el proyecto para el período 2015-2018. Estas etapas corresponden a la fase de formulación (perfil del proyecto, pre factibilidad y factibilidad), diseño, licitación y ejecución. Se estima que cada año del período mencionado el avance va a ser del 20 % (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica, 2014).

Para la coordinación y ejecución del PIAAG se ha creado la Comisión de Alto Nivel. Esta está integrada por: el Ministro de Ambiente y Energía quien actúa como coordinador, el Ministro de Planificación Nacional y Política Económica, el Ministro de Agricultura y Ganadería, el Presidente Ejecutivo del ICE, el Presidente Ejecutivo del AyA y el Gerente General del Senara. Esta comisión tiene a su vez una Secretaría Técnica para llevar a cabo las acciones necesarias para el cumplimiento de su objetivo (Decreto No. 38665-MP-MIDEPLAN-MINAE-MAG, 2014).

Asimismo, en el Decreto de Creación de la Comisión de Alto Nivel para la Ejecución del Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste (Pacífico Norte) en su artículo 6 comenta que las municipalidades deben cooperar de forma prioritaria y efectiva con la colaboración que requiera la Comisión de Alto Nivel con la intención de contribuir al desarrollo del Programa. En el pasado ha habido varios intentos importantes en otros gobiernos como el Plan de Agua para Guanacaste que consistía en construir un único proyecto hidráulico, el Embalse Piedras (Decreto No. 38665-MP-MIDEPLAN-MINAE-MAG, 2014).

2.3.2. Proyectos del PIAAG

Algunos de los proyectos importantes del PIAAG son: el Sistema de Abastecimiento de Agua de la Margen Derecha del Río Tempisque y Comunidades Costeras, Embalse Las Loras y Embalse La Cueva. También los proyectos de mejora, ampliación y nuevos acueductos hechos por el AyA y las ASADAs para atender las demandas de las poblaciones Guanacastecas y la zona norte de Puntarenas.

Además, se menciona de "... la implementación de un Sistema de Monitoreo de Agua Subterránea en Tiempo Real y el Sistema de Información para la Gestión Integrada de los

Recursos Hídricos, la regulación y promoción de alternativas novedosas de acceso al agua como cosecha de lluvia y desalinización; entre otras actividades de gestión"(Declaratoria No. 39145-MP-MIDEPLAN-MINAE-MAG, 2015). Estos son otros ejemplos de proyectos importantes que integran el PIAAG.

La Propuesta del Decreto N40-2016 del MINAE comenta en su artículo 7 sobre la desalinización de pozos salobre. Sobre esto dice que: "... en aquellos acuíferos donde por intrusión salina se hayan contaminado pozos y no exista alternativa viable ambiental y económica de abastecer de forma continua de agua a la población y el desarrollo de la zona que se abastece de este acuífero, y por un plazo limitado a la entrada en funcionamiento de los proyectos de abastecimiento de agua previstos en el Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste Pacífico Norte -PIAAG-, el Instituto Costarricense de Acueductos y alcantarillados podrá instalar una planta desalinizadora con el fin de rehabilitar la calidad del agua en pozos estratégicos que le permita brindar el servicio público". (Propuesta de Decreto Ejecutivo No. 40-MINAE-MAG-TUR, 2016).

Sobre la concesión para la cosecha de lluvia se comenta, en el artículo 9 del mismo documento anteriormente mencionado, que "... toda persona física o jurídica pública o privada podrá realizar la cosecha de lluvia y almacenar hasta 1000 metros cúbicos dentro de su propiedad sin necesidad de concesión de agua del MINAE. Mayor a este volumen deberá cumplir con los trámites y requisitos de la concesión de agua conforme el artículo 17 de la Ley de Agua y Decreto Ejecutivo 36437-MINAE". (Propuesta de Decreto Ejecutivo No. 40-MINAE-MAG-TUR, 2016).

Como se comentó anteriormente, el PIAAG tienen varios proyectos de gran importancia tanto para toda la región guanacasteca como otra que son de relevancia para la zona en la que se encuentra Playa Potrero. A continuación, se explica más a fondo sobre algunos de ellos.

- 1. Abastecimiento de agua potable a las comunidades mediante cisternas:** consiste en mitigar los efectos de la sequía por medio de la contratación de camiones cisternas para abastecer a 55 comunidades de la Región Chorotega, Guanacaste (se espera abastecer a 29 568 personas) dentro de las cuales están las del cantón de Santa Cruz. Para este proyecto se cuenta con 200 millones de colones. El proyecto está a cargo del AyA y tenía presupuestado iniciar en febrero de 2015 así como no tiene fecha de finalización (Mesa de Agua e Infraestructura Hídrica del PIAAG, 2016).
- 2. Incremento en el almacenamiento y mejora en la distribución del agua de las ASADAs (Fase I y II):** Se trata de la compra de tanques de polietileno de alta densidad para las ASADAs de 55 y 33 comunidades en su primera y segunda etapa respectivamente. En ambas partes se pretenden cubrir poblaciones del cantón de Santa Cruz. En la primera etapa se pretende mejorar la distribución del agua y abastecer a 29 568 personas y se cuenta con un presupuesto de 79 millones de colones. En la segunda parte se pretende ampliar la capacidad de almacenamiento y distribución de los acueductos de las ASADAs de manera que se puedan abastecer 4769 personas y se cuenta con 32 millones de colones. En ambos proyectos el responsable es el AyA. Asimismo, ambos estaban programados para empezar en febrero de 2015 y finalizar el diciembre y agosto del 2016 (Mesa de Agua e Infraestructura Hídrica del PIAAG, 2016).
- 3. Estudios hidrogeológicos para la mejora de la capacidad hídrica de ASADAs:** Se pretende realizar 32 estudios hidrogeológicos para determinar posibles sitios de perforación de pozos, así como otros detalles técnicos del mismo. Entre la población meta

están las comunidades de Santa Cruz. Este proyecto espera impactar a 20 414 personas y cuenta con un presupuesto de 48 millones de colones. Se tenía presupuestado que el mismo diera inicio en febrero de 2016 y que finalizara tres meses después. Asimismo, el responsable del proyecto es el AyA (Mesa de Agua e Infraestructura Hídrica del PIAAG, 2016).

4. **Programa de desinfección:** Este consiste en un programa del Laboratorio Nacional de Aguas por medio de un plan de muestreo que tiene como población meta a toda la provincia de Guanacaste. Se espera evaluar 600 sistemas para lo que se cuenta con 65 millones de colones. No tiene fecha de inicio ni de finalización ya que son tareas permanentes que están bajo el mando del AyA (Mesa de Agua e Infraestructura Hídrica del PIAAG, 2016).

5. **Acueducto Regional Costero Cantón de Santa Cruz- Acueducto Nimboyores:** Se trata de la explotación del acuífero de Nimboyores para abastecer de agua potable la zona costera del Cantón de Santa Cruz, desde Potrero hasta Tamarindo. Se espera abastecer a 50 mil habitantes por medio de dos etapas. La primera tiene que ver con la construcción de un acueducto central para el proyecto Reserva Conchal (falta de instalar 9 km). La segunda parte pretende generar ramificaciones de dicha tubería central para abastecer a las comunidades aledañas (para ello se necesita instalar 35 km de tubería). Para esto último, se requiere de la adquisición de terrenos para tanques y perforación de pozos. De esta forma se aportará más de 100 L/s. También se tiene previsto la perforación de 4 pozos con una producción de 63 L/s y la rehabilitación de estaciones de bombeo que permitan trasegar un caudal de 188,8 L/s. Con esto se tiene presupuestado abastecer a 50 mil habitantes. Para ello se cuenta con 8175 millones de colones. Asimismo, para la primera parte del proyecto se tenía como fecha de inicio enero de 2016 y como fecha de finalización diciembre de 2017. La segunda parte del proyecto pretende comenzar el proceso de licitación lo antes posible para iniciar su construcción en el año 2018. Como costos preliminares se tienen 3 millones de USD y 10 millones de USD para la primera y segunda etapa respectivamente. En este caso la institución responsable es el AyA (Mesa de Agua e Infraestructura Hídrica del PIAAG, 2016).

6. **Plan de acción para el manejo y protección de los acuíferos costeros norte de Santa Cruz:** Este proyecto pretende diseñar un plan de acción como marco orientador para la gestión del recurso hídrico. De esta manera, se deben generar propuestas de estrategias a ser implementadas por las organizaciones relacionadas con el acuífero costero de Santa Cruz. Para este se presupuestaron 37 millones de colones, así como se ideaba comenzar en febrero de 2016 y finalizar en julio de dicho año. En este caso, la institución responsable es Senara (Mesa de Agua e Infraestructura Hídrica del PIAAG, 2016).

7. **Reglamentación para el acceso al agua por desalinización:** La instalación de plantas desalinizadoras se tiene prevista como una alternativa principalmente para iniciativas privadas. Por esta razón, la Secretaría Técnica del PIAAG ha considerado como una necesidad la capacitación de funcionarios de diferentes instituciones del sector en temas relacionados con la desalinización. El proyecto tiene como objetivo realizar una reglamentación para permitir el acceso al agua por medio de la desalinización siempre y cuando el proceso sea sostenible ambientalmente. Este proyecto se tiene presupuestado para realizarse entre mayo de 2015 y agosto de 2016. En cuanto al dinero con el que

se cuenta, este se supone como un gasto ordinario interinstitucional por lo que no es cuantificado. El mismo es un trabajo en conjunto entre varias instituciones de gobierno entre las que destacan la Dirección de Aguas, Setena, MINAE, AyA y el Ministerio de Salud (Mesa de Agua e Infraestructura Hídrica del PIAAG, 2016).

8. Proyecto Sistema de Abastecimiento de la Cuenca Media del Río Tempisque y Comunidades Costeras (PAACUME): Es el proyecto más grande que forma parte del PIAAG y está a cargo del SENARA. Este consiste en la utilización de las aguas del embalse Arenal, las cuales luego de pasar por el complejo hidroeléctrico Arenal-Dengo-Sandillal se conducirían hasta un embalse de almacenamiento y regulación en el Río Piedras. Seguidamente estas se canalizarían hasta la margen derecha del Río Tempisque para su utilización en riego agropecuario, riego de áreas turísticas y agua potable. Sumado a esta idea se considera la posibilidad de generación de energía eléctrica en el sitio del embalse. De esta forma se pueden utilizar “más de 600 millones de metros cúbicos que anualmente se van al mar por falta de infraestructura de almacenamiento, conducción y distribución” (Coto, 2016, p.34) En general, se estima que el costo del proyecto es alrededor de 450 millones de dólares y entraría en operación en el año 2022 (Zeledón, 2016, p.25-31). El embalse tendrá la posibilidad de almacenar y regular 90 millones de metros cúbicos provenientes del Sistema Hidroeléctrico ARDESA. Su espejo de agua se estima de 850 hectáreas con un área total necesaria de 1350 hectáreas. El caudal que se extraerá de este embalse es de $20 \text{ m}^3/\text{s}$ y se planifica distribuir de la siguiente manera:

- a) $2 \text{ m}^3/\text{s}$ para agua potable administrada por el AyA, lo cual representa la posibilidad de abastecer a aproximadamente 500 000 personas.
- b) $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ para riego en el sector turístico, que permitiría el riego de 2 500 hectáreas.
- c) $16,5 \text{ m}^3/\text{s}$ para riego agropecuario de alrededor de 17 000 hectáreas cubriendo los cantones de Carrillo, Santa Cruz y Nicoya. El área potencial considerada en Paacume para estos tres cantones es de aproximadamente 40 000 hectáreas.

El canal de conducción tendría una longitud de 55 kilómetros desde el embalse hasta el poblado de Palmira. Actualmente se está trabajando en el estudio de factibilidad y el estudio de impacto ambiental. Esto se espera que esté terminado al final del 2017. Asimismo, se espera lograr el financiamiento y el comienzo de las obras en el 2018 (Coto, 2016, p.32-37) (Senara, 2017)

Se tienen otros proyectos relacionados con la gestión del aprovechamiento sostenible como, por ejemplo: la capacitación del personal de las ASADAs para el manejo de las aguas subterráneas, el fortalecimiento de las capacidades de las ASADAs para enfrentar los riesgos del cambio climático, el Sistema de Monitoreo de Agua Subterránea en Tiempo Real (SIMASTIR), el Sistema Nacional de Información para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico (SINIGIRH) y la estrategia de uso eficiente del agua. Dichos proyectos están para ser financiados por instituciones gubernamentales como el AyA y el MINAE, así como también por asociaciones internacionales como el PNUD, CRUSA y el Gobierno de Argentina (Mesa de Agua e Infraestructura Hídrica del PIAAG, 2016).

2.4. Normativa aplicable a potabilización de agua

En términos generales, se entiende el concepto de agua potable como toda aquella que "se puede beber sin riesgo de perjuicio inmediato o a largo plazo" (Belvaux, Coates, Pierre-Louis, Blumenfeld y Lu, 2010). Además, el agua debe ser apta para algunos propósitos domésticos, principalmente aquellos relacionados con la higiene personal, así como también para propósitos médicos, farmacéuticos o de procesamiento de alimentos, donde se puede requerir de agua con una mayor calidad que la que ya es considerada potable (Organización Mundial de la Salud, 2006).

A nivel mundial existen varias normativas respecto a qué se considera agua potable desde el punto de vista de su composición. A continuación se desarrollaran aquellas que rigen internacionalmente, así como las que dictan específicamente los requerimientos en Costa Rica.

2.4.1. Sobre las normativas y decretos internacionales

Usualmente cada país posee su propia legislación respecto a la calidad del agua que considera potable. La Organización Mundial de la Salud posee sus propios estándares, estipulados en el documento *Guía para la calidad del agua potable (Guidelines for Drinking-water Quality)*, como se encuentra oficialmente escrito en inglés) en el cual muchos países o regiones se basan para determinar sus estándares. A continuación se presentan en detalle las normativas que rigen en lugares como Estados Unidos y Europa, ya que muchos estándares nacionales en varias temáticas, incluidos tópicos de ingeniería, se basan en los decretado por estas regiones.

2.4.1.1. Normativas para potabilidad del agua en Estados Unidos

Las normas generales que ayudan a determinar y establecer los criterios de agua potable en Estados Unidos están estipulados en el llamado *Ley del Agua Potable Segura (Safe Drinking Water Act (SDWA))*, en su idioma original). Esta fue aprobada de manera federal en 1974 por el Senado y la Cámara de Representantes del país y dio la autoridad sobre normas relacionadas a este tema a la Agencia de Protección Ambiental o EPA por sus siglas en inglés (Environmental Protection Agency, 2017).

Esta normativa pasó por reautorizaciones durante los años 1986 y 1996 y sigue aún en vigencia (Environmental Protection Agency, 2017). Es responsabilidad de esta entidad el asegurarse de bases de datos sobre contaminantes y revisar los estándares cada 6 años. La misma también estandariza tres tipos de sistemas de distribución de agua potable, de acuerdo con su información digital pública:

1. Sistemas de Agua Comunal (Community Water Systems (CWSs)): aquellos que den agua potable a una población constante por un año, como por ejemplo viviendas.
2. Sistemas de agua no comunales o no pasajero (Non-Transient Non-Community Water Systems (NTNCWSs)): determinan la cantidad de agua contante para proveer por seis meses. Escuelas, iglesias y edificios laborales entran bajo este régimen.
3. Sistemas de agua para sistemas no comunales (Transient Non-Community Water System (TNCWS)): comercios, campamentos o estacionamientos. Provee a lugares donde las personas se encuentran por periodos cortos de tiempo.

La ley SDWA no da por sí sola una caracterización de qué se entiende a nivel químico como agua potable, sino que le da la potestad y responsabilidad a la Agencia de Protección Ambiental de estandarizar estos criterios. Esta tiene regulación sobre los sistemas de distribución, pero para agua embotellada la potestad la posee la Administración de Alimentos y Medicamentos (Food and Drugs Administration (FDA), en su idioma original).

El agua regulada por la SDWA tiene un límite permisible de microorganismos, desinfectantes, químicos orgánicos e inorgánicos entre otros, los cuales estipula en cantidades proporcionales de miligramos por litro de agua. Además de esto, la agencia posee una lista de posibles contaminantes en estudio, que pueden entrar en la lista principal de sustancias controladas (Environmental Protection Agency, 2015).

2.4.1.2. Normativas para potabilidad del agua en la Unión Europea

La Directiva de Agua Potable (*Drinking-Water Directive (DWD)*, como se refieren oficialmente) es aquella que regula la calidad del agua para consumo humano (Temas de ambiente de la Unión Europea, 2016). Sus estándares se aplican a todos los países miembros de la Unión, los cuales pueden modificar sus normativas para ser más estrictas al adaptarse a las condiciones de cada lugar. Cualquier norma con límites menos rigurosos a los establecidos por la directiva son inaceptables, y se aplica a diferentes formas, distribuciones y fuentes de agua potable:

- Todos los sistemas de distribución para actividades económicas o comunidades,
- Agua potable de camiones cisterna,
- Agua potable de botellas o contenedores (A diferencia de la SDWA estadounidense),
- Agua utilizada en industria alimenticia.

Cada país debe emitir reportes rutinarios sobre el estado de su calidad de agua a comisiones regionales, además de publicar de manera general información a los consumidores. Muchos controles están fuertemente basados en la *Guía para la calidad del agua potable* de la Organización Mundial de la Salud, monitoreando alrededor de 48 parámetros, agentes químicos y microbiológicos.

2.4.2. Normativas y decretos en Costa Rica

En términos generales, la Ley Constitutiva del AyA establece a la institución con la función de “dirigir y vigilar todo lo concerniente para proveer a los habitantes de la república de un servicio de agua potable...”(Ley 2726, 1961). A lo largo de los años se han creado varias leyes, con sus respectivas reformas, que establecen lineamientos respecto a la calidad del agua potable a nivel nacional. Estas corresponden a la Ley General de Salud, el Reglamento para la Calidad del Agua Potable y el Reglamento para la Calidad del Agua para consumo humano en establecimientos de salud.

2.4.2.1. Ley general de salud. Ley N° 5395

Esta norma fue aprobada desde 1973, en la cual se establece la salud como un bien general de carácter público. Tiene especial énfasis en las regulaciones del agua potable, por lo que su primer capítulo se titula *Del agua para el uso y consumo humano y de los deberes y restricciones a que quedan sujetas las personas en la materia*, el cual posee 14 títulos referente a ello.

Su artículo 265 describe lo que a ojos de nuestra legislación se define como agua potable:

Se entiende por agua potable para los efectos legales y reglamentarios, la que reúne las características físicas, químicas y biológicas que la hacen apta para el consumo humano de acuerdo con los patrones de potabilidad de la Oficina Panamericana Sanitaria aprobados por el Gobierno (Ley 5395, 1973).

La ley le otorga al Ministerio de Salud Pública la responsabilidad y potestad sobre todos los tópicos relacionados al aseguramiento de la calidad del agua potable en el país. Este es el que debe dar autorizaciones para el aprovechamiento de pozos, incluidos los privados y señalar las fuentes posibles de agua ante posible escasez. Además, este tiene el poder de solicitar cualquier muestra de agua para su estudio a cualquier entidad de la que extraiga y/o tenga un sistema de abastecimiento.

2.4.2.2. Reglamento para la calidad del agua potable. Norma 38914.

La norma 38914 busca determinar de manera más elaborada y técnica la definición de agua potable. Su objetivo es claro desde su inicio en el Artículo 1: "El presente reglamento tiene por objetivo, establecer los límites máximos permisibles de parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el agua potable, a fin de garantizar su inocuidad y la salud de la población"(Ley 38914, 2015).

Esta posee, además, una definición de la potabilidad del agua más completa en su artículo 4 en comparación a la ley anterior:

Agua potable: Agua tratada que cumple con las disposiciones de valores máximos admisibles estéticos, organolépticos, físicos, químicos, biológicos, microbiológicos y radiológicos, establecidos en el presente reglamento y que al ser consumida por la población no causa daño a la salud (Ley 38914, 2015).

Esta norma derogó en el 2015 el antiguo reglamento para la calidad de agua potable, 32327 que fue publicada en el 2005. Este cambio agregó guías para inspección y elaboración de reportes, toma de muestreos específicos, fórmulas y equivalencias de uso común en la revisión de potabilidad del agua. En general, a través de anexos involucró una serie de documentos para volver más *poka yoke* o a prueba de errores las revisiones de calidad. También vuelve más estrictos los límites máximos de ciertas sustancias en la calificación de agua potable, además de adicionar nuevas que no se tomaban en cuenta por completo en las pasadas.

Este documento determina valores máximos permisibles y valores de alerta para plaguicidas, metales, sustancias orgánicas e inorgánicas, productos de desinfección, dureza, microorganismos. Además, dicta parámetros de aceptabilidad en características físicas como color, olor, conductividad entre otros. Todo esto se muestra en unidades y parámetros técnicos sin dejar espacios para las interpretaciones subjetivas de lo que se considera aceptable y lo que no.

Como metodología de revisión, su Artículo 8 (*Niveles de Control de Calidad del Agua y Parámetros de Análisis Obligatorio*) establece una categorización de sustancias en cinco niveles de control que se presentan a continuación. Estas tienen por sí diferentes disposiciones, cantidad e indicaciones de muestreo, así como distintas frecuencias de evaluación que se presentan como anexos en la norma.

- Nivel de control operativo: este realiza mediciones de turbiedad, olor, sabor y cloro residual libre.
- Nivel primero N1: conlleva la “inspección sanitaria para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente”(Ley 38914, 2015). Mide los valores de olor aparente, conductividad, pH, olor, sabor, temperatura, turbiedad, coliformes fecales, Escherichia coli, y cloro residual libre o combinado.
- Nivel segundo N2: conlleva la medición de límites máximos de aluminio, calcio, cloruro, cobre, dureza total, fluoruro, hierro, magnesio, manganeso, potasio, sodio, sulfato y zinc en el agua.
- Nivel tercero N3: contempla los límites de amonio, antimonio, arsénico, cadmio, cianuro, cromo, mercurio, níquel, nitrato, nitrito, plomo, y selenio. Se considera un programa de control avanzado.
- Nivel cuarto N4: este corresponde a inspecciones singulares en el que el Ministerio de Salud considere riesgos inminentes de contaminación o algún tipo de emergencia. En este se pueden medir las sustancias o características anteriormente descritas, además de bacterias, virus u otros que el Ministerio considere pertinente.

La norma también hace referencia a su ámbito de aplicación, que incluye cualquier operador de suministros de agua potable y en “agua utilizada en actividades alimentarias, crenoterápicas, recreativas y agropecuarias”(Ley 38914, 2015). Los entes operadores de suministros de agua deben contar con un permiso sanitario de funcionamiento, otorgado por el Ministerio de Salud, de acuerdo a este documento.

El documento también indica los requisitos que deben de tener los distintos laboratorios y metodologías de análisis para la revisión de la calidad de agua potable. Además establece normativas respecto a las metodologías de vigilancia e informes de cumplimiento o incumplimiento.

2.4.2.3. Reglamento para la calidad del agua para consumo humano en establecimientos de salud. Norma 37083.

Este reglamento fue instituido en el 2012 con el fin de detallar las normativas de calidad de agua por usarse en centros de salud. Funciona como un complemento al Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Norma 38914). Su área de aplicación y rigor la dictamina su artículo 3: “Este reglamento se aplica a los establecimientos de salud hospitalarios, públicos, privados, mixtos y ONGs dedicados a la atención directa de las personas que cuentan con servicio de internamiento mayor de 24 horas”(Ley 37083, 2012).

Los artículos que posee están casi todos incluidos, a nivel de información y disposiciones, en la Ley 38914. Entre los estatutos específicos estipula la necesidad de informes semestrales acerca de la calidad de agua por parte de estos establecimientos. Mantiene también una revisión de acuerdo a niveles

- Nivel primero N1: aplicado a los establecimientos con 3000 habitantes o menos. Brinda parámetros para la cantidad de coliformes fecales, Pseudomonas aeruginosa, recuento de bacterias mesofílicas, pH, cloro residual libre, conductividad, olor, sabor y temperatura.

- Nivel segundo N2: Amplía los parámetros para incluir revisión de los valores de dureza total, cloruros, fluoruros, nitratos, sulfato, aluminio, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, zinc, cobre, plomo y arsénico total. Se aplica en establecimientos de más de 3000 habitantes.

Cuando se sobrepasen los límites permitidos, esta ley establece una serie de acciones que deben seguirse. Entre ellas se encuentran la ejecución de inspecciones con muestreo para la determinación de causas, la determinación del efecto en relación a las infecciones nosocomiales y la elaboración de informes al Ministerio de Salud donde se presenten planes de acción correctivos y preventivos, además de responsables y tiempos para estos. Estos detalles deberán ser publicados al público en general (Ley 37083, 2012).

2.5. Fundamentos pertinentes sobre hidrología

2.5.1. Fuentes del recurso hídrico

La clasificación actual correspondiente a las fuentes de agua potable empleada hoy en día se categoriza en aguas meteóricas, superficiales y subterráneas. A continuación, se procede a caracterizar cada una de ellas.

Las **aguas meteóricas** son el origen de las siguientes dos fuentes ya que corresponden, en parte, a las precipitaciones. De esta fuente, el agua puede encontrarse en forma de vapor, líquido suspendido en nubes o precipitando de las nubes, en todas estas variaciones la calidad es prácticamente pura (López, 2010). Su recolección se complica debido al área necesaria para acumular el agua, por esto es una fuente a la cual se recomienda acudir en casos donde otros recursos sean escasos o inexistentes.

Dependiendo de la permeabilidad de los suelos, se presenta un escurrimiento del agua y una penetración. Las **aguas superficiales** provienen de este proceso de escurrimiento, y son clasificables en dos categorías: las animadas de un movimiento continuo por gravedad, las cuales descienden de zonas elevadas y desembocan en el mar, ejemplos de estos son los ríos y arroyos. El otro tipo de fuente de agua superficial son los cúmulos generados en depresiones geográficas, formando depósitos importantes como lo son los lagos y lagunas (Jorge, 2005). Es importante destacar que al ser corrientes que proceden del escurrimiento sobre la superficie, existe la posibilidad de que existan contaminantes por actividades del hombre en la región. Esta condición puede contaminar reservorios importantes, haciéndolos nocivos para la salud y destacando la importancia de estudios previos de la calidad del agua antes de su consumo.

A nivel mundial, las fuentes de agua superficiales aprovechables como lagos, ríos y acuíferos representan únicamente el 0.5 % de las fuentes de agua dulce en el mundo. En comparación, el agua salada es el 97.5 % del total del agua disponible (Cipollina, Micale y Rizzuti, 2009). Las tecnologías de desalinización que surgen hoy en día permiten que el agua de mar sea parte de lo que se considera una fuente de agua superficial, aumentando de manera considerable la cantidad de agua disponible para el ser humano.

Cuando ocurre la infiltración del agua en los suelos debido a las porosidades existentes en el mismo y la acción de la gravedad se dan origen a este tipo de fuentes de agua. El suelo está constituido por estratos impermeables que crean estos depósitos de agua. Este estrato puede ser horizontal o inclinado y es capaz de retener el agua, seguidamente siendo acumulada y llenando vacíos existentes en el suelo, de esta manera se generan los acuíferos o napa estática con capas horizontales. Si el estrato se encuentra de manera inclinada, esto genera cuerpos de

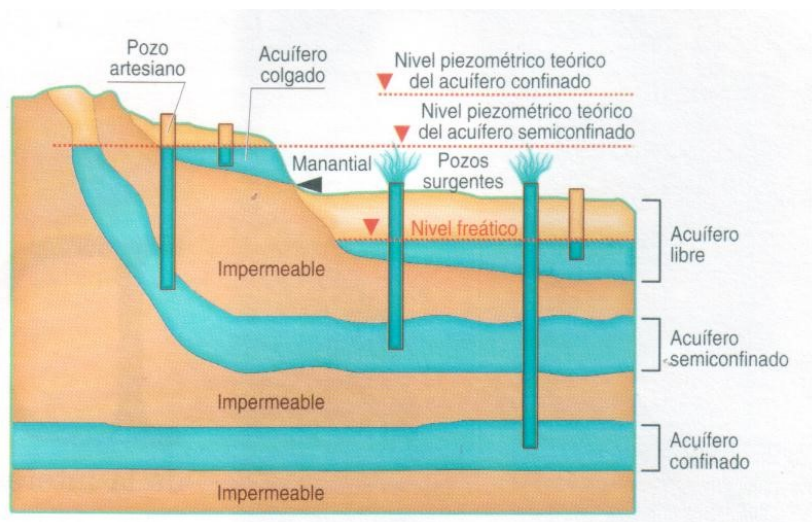


Figura 2.4: Estratos del subsuelo y niveles freáticos correspondientes (Tejero, s.f)

agua dinámicos denominados napa dinámica (Orellana, 2005). Cuando el agua es contenida entre la superficie de la tierra y la primera capa impermeable se denomina agua freática, esta se mueve libremente y se encuentra a la presión atmosférica; en estas condiciones es cuando los acuíferos libres se originan.

Cuando el estrato impermeable tiene fallas o grietas que permiten la infiltración, el agua pasa a una siguiente capa, quedando así entre dos zonas impermeables y esta se denomina como agua artesania, bajo estos parámetros es que los acuíferos confinados se generan. Este tipo de depósito no tiene libertad de movimiento y su confinamiento hace que su presión sea diferente a la atmosférica (López, 2010). Dado que el origen de los yacimientos pasa por un proceso de filtración que reduce la flora bacteriana, aún puede estar contaminada por lo que su consumo siempre debe ser avalado por un estudio de calidad del agua.

Todos los casos descritos se pueden apreciar de mejor manera en la **Figura 2.4**, donde se detalla los posibles estratos que se pueden encontrar en una zona.

2.5.2. Métodos de captación

De las fuentes de agua mencionadas anteriormente, cada variación tiene su correspondiente método de captación. Una obra de captación es “la estructura o estructuras que nos permiten tomar en las mejores condiciones posibles, el agua de la fuente elegida” (López, 2010). En la selección de una fuente de agua se debe considerar su capacidad y relacionarlo al gasto máximo diario de la población a la que se busca abastecer. Sin importar la fuente, se debe realizar un previo análisis físico, químico y bacteriológico para conocer el tratamiento necesario para asegurar la calidad del agua y también poder seleccionar la tubería (Jiménez, 2013).

La **captación de aguas de lluvia** no es el método más común por la necesidad de amplios espacios para su almacenamiento y recolección aprovechable. Si bien el agua de lluvia puede arrastrar gases disueltos por la atmósfera, no se encuentra contaminada por bacterias o parásitos (Orellana, 2005). Se puede presentar en zonas rurales donde no existan otras alternativas, o que los yacimientos son económicamente inaccesibles, por profundidad o por distancia (López, 2010). Debido a que no es una fuente constante, se debe almacenar durante

las temporadas de abundancia para su uso en época seca. La superficie de captación debe ser limpiada de manera periódica y el material idealmente debe poseer mayor resistencia al carácter corrosivo del agua como plástico, acero, galvanizado entre otros (López, 2010).

Para la **captación de aguas superficiales** se deben emplear corrientes de agua con un escurrimiento permanente para asegurar el servicio continuo a la comunidad. Fuentes como ríos, arroyos, lagos o embalses son todas válidas, siempre y cuando se acople a las necesidades establecidas. Se debe tomar en cuenta que, al ser fuentes abiertas, están expuestas a impurezas, desechos, sedimentos, entre otros. Todos estos factores afectan la calidad del agua, por lo que la toma de agua deberá contemplar estos factores según sea la situación específica (López, 2010).

Un caso importante de analizar es el desarrollo de embalses. Estos se construyen para acumular el agua en las épocas en las que se tienen en abundancia, de manera que, cuando la fuente no tiene un caudal necesario en algunos periodos del año, se pueda suplir a la comunidad. Al sumergir la superficie del terreno que contenga vegetación, se llevará a cabo un proceso de descomposición y posteriormente tendrá un proceso de autodepuración propia, volviendo a los niveles de calidad originales después de un tiempo; este periodo se determina por la cantidad de vegetación y la capacidad natural de autodepuración del agua (Orellana, 2005). Este periodo debe ser tomado en cuenta en el momento de la elaboración del embalse para asegurar la calidad del agua correspondiente a los estándares aceptables para consumo humano.

En la implementación de las tecnologías de desalinización, la toma de agua es un factor importante donde su ubicación y su tipo tienen un impacto relevante en la fuente y el producto final del agua (Voutchkov, 2013). Actualmente se pueden clasificar las tomas de agua salada en dos categorías, siendo estas tomas abiertas ó tomas superficiales, así como tomas bajo la superficie del mar. Las tomas a nivel superficial se emplean en proyectos ubicados cerca de la costa, en cambio, proyectos que se ubican más adentro en el territorio emplean tomas bajo la superficie (Lattemann, 2010).

Un método que emplean plantas desalinizadoras de baja producción son los pozos verticales en las playas (ver **Figura 2.5**). Es un método de bajo costo, y debido al proceso natural de filtración que ocurre en los subsuelos la calidad del agua es de mayor calidad, sin embargo, las características hidrológicas deben cumplir ciertos estándares para su explotación, además de tomar en cuenta la tasa de producción del acuífero con la tasa de extracción para evitar desniveles, es por esto que esta opción normalmente la emplean centrales pequeñas de desalinización (Voutchkov, 2013). Una desventaja de emplear pozos en la playa es su vida útil, pues su capacidad de operación puede darse aproximadamente por 10 o 20 años. Factores como la erosión, la creación de escamas en las tuberías por los químicos empleados y el ambiente corrosivo son los responsables de una corta vida operativa.

En los casos que se diseñe para una central de desalinización de altas tasas de producción, se emplean comúnmente sistemas de drenaje horizontales, instalados por medio de la excavación horizontal desde la costa, hasta los sedimentos del lecho submarino (Lattemann, 2010). Como se mencionó anteriormente, esta modalidad aprovecha la filtración natural del subsuelo para filtrar contaminantes en suspensión o en general del agua. Factores que benefician este proceso son suelos con alta transmisibilidad y con grosores específicos de sedimentación, en cambio la presencia de altos volúmenes de lodos pueden perjudicar el sistema (Latteman, 2010).

Con lo que a la calidad del agua respecta, los sistemas abiertos en la superficie, si se colocan a cierta profundidad, permite tener valores consistentes en la concentración del total de sólidos disueltos (TSD) en el agua de mar. El emplear esta modalidad, evita problemas



Figura 2.5: Pozo costero empleado como toma de agua (Voutchkov, 2013)

de altos contenido de manganeso y hierro que han sido detectados en otros casos (Voutchkov, 2013). Sin embargo, cuidados como la implementación de pantallas para reducir la cantidad de sedimentos y organismos que entran al sistema. Además, estos sistemas también buscan reducir la cantidad de organismos que se adhieren, que pueden generar problemas como obstrucción de la succión del equipo resultando en pérdidas de presión importantes (Lattemann, 2010).

Por el proceso de formación que conlleva y, por su considerable caudal en la mayoría de los casos, la **captación de aguas subterráneas** es una fuente muy común para poblaciones con consumos tanto grandes como pequeños. “Este tipo de fuentes habitualmente no requieren tanto tratamiento y las cantidades disponibles son más seguras” (Jiménez, 2013). Uno de los posibles puntos de captación aprovechables son los que se originan por vertientes o manantiales, los cuales corresponden a aguas subterráneas que afloraron en la superficie.

Si bien es cierto que el agua ha pasado por un proceso de filtración natural, su calidad siempre debe ser analizada, en especial en manantiales. “Generalmente se piensa que el agua proveniente de vertientes no se contamina o no está contaminada, lo cual constituye un error grave” (Orellana, 2005). Los manantiales pueden contaminarse por aguas superficiales u otros agentes externos, pues el manantial se encuentra expuesto a la intemperie. Por esto se debe proteger el manantial como se aprecia en la **Figura 2.6** para evitar la entrada de contaminantes. Este consiste en una obra que recoge el agua en un depósito con cubierta hermética e impermeable el cual dispone de caños de salida y rebalse con rejillas metálicas (Orellana, 2005).

Al buscar fuentes de agua en capas más profundas del suelo, como lo son las aguas freáticas, se lleva a cabo la explotación de los mismos por medio de pozos que en general no superan profundidades de los 30 metros (Orellana, 2005). “Un pozo es una perforación vertical, generalmente en forma cilíndrica y de diámetro mucho menor que la profundidad. El agua penetra a lo largo de las paredes creando un flujo radial” (Jiménez, 2013). Hay distintas modalidades para un pozo las cuales se pueden dividir de la siguiente manera: pozos artesanos o excavados, pozos hincados y pozos perforados (someros y profundos).

La descripción de cada pozo viene a ser la siguiente (Jiménez, 2013):

- Los pozos excavados son realizados normalmente con pico y pala, empleando como ma-

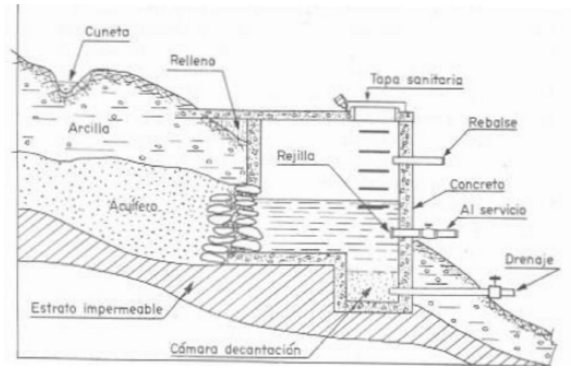


Figura 2.6: Estructura para la captación de manantiales (Orellana, 2005)

teriales constructivos anillos de concreto, muros de tabique o mampostería de piedra. Se deben ubicar lejos de casas, pues el agua que se vaya a captar es de carácter superficial y puede ser fácilmente contaminada por desechos.

- Los pozos hincados son pozos de poca profundidad y son empleados generalmente en terrenos blandos. El caudal de agua que abastecen no es mucho por lo que se deben construir varios para tener un flujo considerable.
- Los pozos perforados ya emplean maquinaria rotatoria o de percusión. Su clasificación es por su profundidad, siendo los someros hasta los 30 metros y los profundos a distancias mayores que el caso anterior.

A diferencia de los pozos, los sondeos normalmente son estrechos y profundos (llegando a veces hasta 500 metros de profundidad) y requieren de una bomba y una tubería para realizar la extracción. Estos son revestidos con tuberías metálicas y con numerosas ranuras a lo largo de ellas para permitir el paso del agua. Para filtrar el agua, se colocan filtros entre la pared del sondeo y la tubería ranurada (Instituto Geológico y Minero de España, s.f). En la **Figura 2.7** se muestra un ejemplo de la infraestructura correspondiente a la instalación de un pozo, como de un sondeo.

2.5.3. Métodos de conducción para abastecimiento

La infraestructura determinada para la conducción del recurso hídrico dependerá del tamaño de la población, ubicación geográfica, condiciones climáticas, entre otros factores importantes. Independientemente del método de recolección del agua, el desarrollo de obras de conducción es necesario para lograr que el agua captada llegue a los puntos de almacenamiento, tratamiento y distribución (Barrios, Torres, Lampoglia y Agüero 2009).

La **conducción por gravedad** es viable cuando la fuente de agua se encuentra a una altura relativamente mayor que el punto de abastecimiento, aprovechando la geografía y la energía potencial del fluido para el trasiego del mismo como se puede observar en la **Figura 2.8**. La línea de conducción pueden ser canales o tuberías, dependiendo de las necesidades del lugar. El trasiego con canales implica que se llevará el fluido a presión atmosférica, además, de ser canales abiertos están expuestos a contaminantes, sedimentos, vegetación, entre otros. Cuando se busca transportar a presión se emplean tuberías cuyo diámetro depende de la

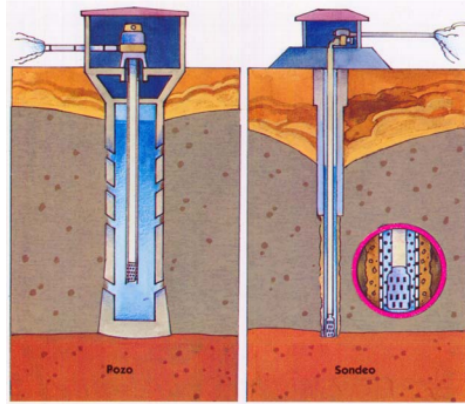


Figura 2.7: Estructura general de un pozo y un sondeo (Instituto Geológico y Minería de España)

diferencia de alturas presente en el diseño y las pérdidas de presión involucradas (Vela, 2015). Estos sistemas pueden implementar o no un tratamiento del agua, dependiendo de la calidad de la fuente. La falta de una planta de tratamiento implicaría que el agua ha sido filtrada en los estratos porosos del subsuelo y presenta una buena calidad bacteriológica (Barrios et al, 2009).

La **conducción por bombeo** es indispensable cuando la fuente está en un nivel inferior al punto de suministro. Su uso es común en regiones que poseen como fuente de abastecimiento pozos que captan el agua subterránea del área. Dentro de los problemas que conlleva implementar un sistema de bombeo es la necesidad de personal capacitado para su operación. Además, el costo de inversión, operación y mantenimiento son factores que pueden elevar la tarifa del servicio (Barrios et al, 2009).

Ambos métodos tienen en común la implementación de un tanque de regularización, el cual “es la estructura del sistema de abastecimiento de agua en la que se realiza un cambio de régimen, pasando de uno constante en la aportación a uno variable en el consumo” (Jiménez, 2013). Los tanques a emplear pueden ser tanto superficiales como elevados y, dentro de sus funciones se encuentra proporcionar presión a la red de distribución. En casos de grandes poblaciones, pueden ser necesarios más de un solo tanque (Jiménez, 2013).

Se pueden dar casos de **conducción mixta** en que el consumo es suministrado por una bomba hasta un tanque de almacenamiento. Este último se ubica en un punto en donde sea posible suministrar a partir de aquí por gravedad al resto de la red de distribución (Hernández, 2006).

Cuando el volumen de agua no se introduce directamente a la red, se emplean **tanques de almacenamiento** como solución a las variaciones de consumo existentes en una población. El tanque ayuda a “asegurar la cantidad y la presión del agua disponible en la red” (Hernández, 2006). Este elemento permite que se almacene el agua en el tanque durante periodos de consumo en donde la demanda no es mayor al suministro de agua en el tanque, en otras palabras, su objetivo es “cambiar el régimen de aportaciones (de la conducción) que siempre es constante, a un régimen de consumos o demandas (de la red de distribución) que siempre es variable” (Vela, 2015). El tanque en cuestión dispone de volúmenes para regular, para almacenar y para emergencias tal y como lo son incendios (Hernández, 2006).

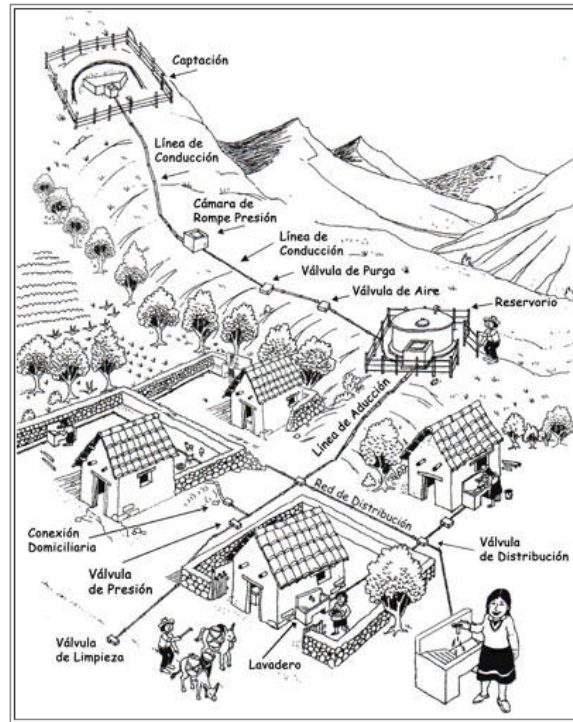


Figura 2.8: Diagrama de un sistema de abastecimiento por gravedad (Barrio et al, 2009)

2.5.4. Sobreexplotación en zonas costeras

Ante la relación directamente proporcional entre incremento de la población a nivel mundial y las necesidades de agua y el consumo, se presentan problemas importantes con respecto a la explotación de pozos. Las zonas costeras en el mundo generalmente tienden a presentar las áreas de población más densas; mucho de esto se debe a facilidad de transporte, desarrollo de comercio, fertilidad de suelos, entre otros aspectos (Custodio y Bruggeman, 1987). De manera general, la sobreexplotación de un acuífero ocurre en el momento en que la demanda actual hace que la tasa de consumo sea mayor a la tasa de recuperación del acuífero, teniendo como uno de los efectos inmediatos una disminución de los niveles piezométricos ¹ del acuífero (Pulido, s.f).

El hecho de que se disminuya la cantidad de agua dulce tiene una consecuencia especial en las zonas costeras, ya que puede llegar a salinizar el acuífero. A este fenómeno se le conoce como intrusión salina, y se debe a un movimiento, temporal o permanente, de un volumen de agua salada que ocupa espacio correspondiente a depósitos de agua dulce. La contaminación da lugar en el momento en que la captación de agua se ve afectada por una mezcla de ambos fluidos o por una invasión total del volumen de agua salada (Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile, 2005). Una manera simple de visualizar el fenómeno, es definiéndolo como una interfaz abrupta, generada por un equilibrio de presiones por las columnas de agua dulce y agua salada. Debido a las diferencias en densidad y variaciones existentes en temperatura,

¹El concepto de nivel piezométrico se define como la altura de la superficie libre de agua sobre el nivel del mar en acuíferos libres. En los confinados, se hace referencia a la altura que alcanzaría el agua en el interior de un sondeo hasta equilibrarse con la presión atmosférica según lo define el Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas de la Universidad Jaume, España (s.f)

la interfase se sitúa en un ámbito de 50 metros y 33 metros de profundidad por cada metro de agua dulce sobre el nivel del mar en un determinado punto, esto por el equilibrio hidroestático entre los dos fluidos.

Considerando la **Figura 2.9**, donde se muestra la relación de alturas y densidades para cada cuerpo de agua (tanto salada como dulce) (Arellano y Vargas, 2001). Se siguen así las siguientes premisas para el análisis del caso para la expresión Ghyben-Herzberg:

1. El flujo de agua dulce es casi horizontal y por lo tanto el potencial es constante a lo largo de cualquier vertical.
2. No existe flujo de agua salada.
3. La interfase es un plano, por tanto no existe zona de mezcla. En estas condiciones, en un punto cualquiera de la interfase debe equilibrarse la presión del agua dulce y salada.

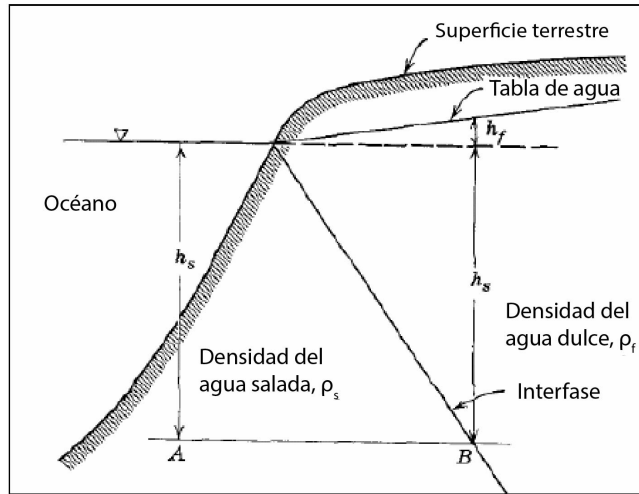


Figura 2.9: Corte vertical de un acuífero no confinado en la costa (Ministerio de obras públicas del gobierno de Chile, 2005)

La presión hidroestática en el punto A se puede calcular con la ec. (2.1).

$$\rho_A = \rho_s \cdot g \cdot h_s, \quad (2.1)$$

Donde ρ_s es la densidad del agua salada, g aceleración local de la gravedad y h_s es la altura de la columna de agua salada. Por otra parte, la presión hidroestática en el punto B viene a ser:

$$\rho_B = \rho_f \cdot g \cdot h_f + \rho_f \cdot g \cdot h_s, \quad (2.2)$$

Donde ρ_f es la densidad del agua dulce y h_f es la altura de la columna de agua dulce. En las condiciones de equilibrio, la presión en A debe ser igual a la presión en B, dando origen a la expresión Ghyben-Herzberg:

$$h_s = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} \cdot h_f = \beta \cdot h_f. \quad (2.3)$$

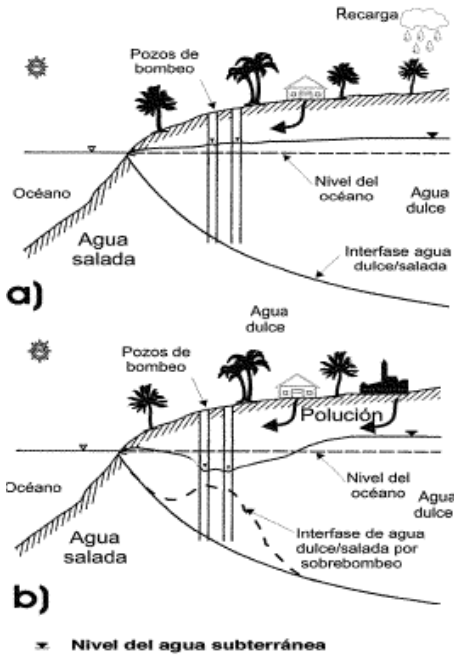


Figura 2.10: Desplazamiento de la interfase de agua salada y dulce debido a sobrebombeo. a) muestra una situación normal, mientras que b) muestra un caso de sobrebombeo (Arellano et al, 2001)

Tomando valores característicos de las densidades comunes de agua dulce y salada con un valor de $1\,000 \frac{kg}{m^3}$ y $1\,025 \frac{kg}{m^3}$ respectivamente, se tiene la ec. (2.4).

$$h_s = 40 \cdot h_f. \quad (2.4)$$

Como se mencionó anteriormente, este parámetro varía entre 33 metros y 50 metros según cambien las densidades. El modelo de Ghyben-Herzberg concluye entonces que la interfase agua dulce-agua salada es sumamente susceptible a cambios de tan solo un metro de la capa freática del acuífero. Sobre bombeos de un acuífero pueden generar fenómenos de desplazamiento de la interfase como el que se muestra en la **Figura 2.10**.

Es importante destacar que el modelo anterior depende de las premisas antes descritas, en la realidad sí existe una zona de mezcla, denominada también zona de difusión o transición. Esta representa una zona dinámica en la cual hay movimiento del agua por diferencias de densidad, así como por cambios de niveles piezométricos en ambos líquidos (Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile, 2005).

Otras consecuencias por sobreexplotación son (Pulido, s.f):

- Generar un impacto en el caudal de un río. Al alcanzar volúmenes de extracción elevados de un pozo conectado a un río, este último puede secarse y tener un impacto ecológico importante.
- Incremento en costos de bombeo por descenso de los niveles piezométricos. Este descenso también puede implicar re profundizar el sondeo al ver reducido su rendimiento inicial.

- En zonas tectónicas con morfologías del sustrato impermeable puede ser irregular, la disminución del nivel piezométrico puede generar una individualización de los acuíferos, generando el fenómeno de compartimentación.
- La salinización de un acuífero no solo afecta la calidad del agua, sino que también puede llevar a salinizar los suelos del lugar. Este evento afecta el desarrollo de las plantas y cultivos, teniendo un impacto a nivel socioeconómico.

2.6. Invernaderos y salinidad en el agua para agricultura

Hasta la fecha, la idea de considerar los procesos de desalinización para proveer de agua al sector agrícola ha sido estudiada considerando fuertes limitaciones. La principal razón ha radicado en sus altos costo de producción, resultando en que muchas veces se contemple la posibilidad de importar los productos de zonas más adecuadas en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico (Dévora, González y Ruiz, 2013).

A pesar de esto, sigue siendo un hecho que el consumo de agua para agricultura es necesario y mayoritario. Alrededor del 70 % del consumo de total de agua se destina para actividades agrícolas (Zarzo, Campos y Terrero, 2012). Esto ha hecho que sectores donde el recurso hídrico es limitado hayan dedicado esfuerzos al desarrollo de tecnologías para sustentar el uso de metodologías de desalinización en este campo. Países como Israel y España han tenido avances en este campo (Jacobsen, 2016), forzados por la poca disponibilidad del agua y se tienen buenos indicios de que las tecnologías alcanzarán un punto de abaratamiento competitivo dentro de los próximos años (Fitchette, 2016). Esta es la principal razón por la cual se consideran estos usos secundarios al tratamiento de agua por proponer y por lo cual se estudian algunos de sus factores importantes a continuación.

2.6.1. Parámetros de salinidad en agricultura

Es usual observar clasificaciones de salinidad de agua, suelos y cultivos por sus medidas en unidades de EC (Electrical Conductivity o Conductividad Eléctrica). Estas son el nombre de las unidades derivadas de micro siemens entre centímetro. El **Cuadro 2.2** muestra algunos valores de conversión entre estas unidades y las partes por millón de partículas saladas.

En cuanto a aplicación de la unidad en aguas, el **Cuadro 2.3** muestra una clasificación de las mismas de acuerdo a estas magnitudes.

Así como existen parámetros de medición de salinidad del agua, también los hay en general para el suelo en las mismas unidades, el **Cuadro 2.4** presenta estos resultados al igual que los dos anteriores.

Si bien es cierto se pueden ya clasificar los suelos y el agua utilizada en actividades de agricultura con esa discriminación, la resistencia a la salinidad es única en cada especie de cultivos. Es por ello que para clasificar de manera objetiva la misma se debe utilizar un parámetro cruzado en relación a las proporciones de sales. Universal e históricamente se acepta el uso de la **Figura 2.11** que correlaciona los rendimientos del cultivo con la salinidad del suelo.

De esta manera, existen diferentes estudios que ya han clasificado las diferentes especies dentro de la **Figura 2.11**. El **Cuadro 2.5** muestra una lista de varios cultivos comunes (De Vos et al, 2016), (Tanji y Kielen, 2003) y (Phocaidis, 2007).

Cuadro 2.2: Equivalencia de unidades de salinidad en partes por millón y electroconductividad (Departamento de Sostenibilidad y Ambiente del Estado de Victoria, Australia, 2009)

Conductividad Eléctrica (EC)	Salinidad en PPM
20000	12800
15000	9600
10000	6400
8000	5120
5000	3200
2000	1280
1000	640
500	320
200	128
100	64
50	32
0	0

Cuadro 2.3: Clasificación de conductividad en el agua (De Vos, Bruning, Van Straten, Oosterbaan, Rozema y Van Bodegom, 2016)

Clase de agua	Electroconductividad (EC)
No salina	Menos de 700
Ligeramente salina	700 - 2000
Moderadamente salina	2000 - 10 000
Altamente salina	10 000 - 25 000
Muy altamente salina	25 000 - 45 000
Salmuera	Mayor a 45 000

Existen medidas básicas para lidiar con la salinidad del agua utilizada para los cultivos (Rottenberg, 2006). Entre ellas están la elección de fertilizantes adicionales con bajo índice salino y de efectos reversibles, realizar los riegos sobre las necesidades hídricas de las plantas únicamente y permanecer en constante monitoreo de la solución nutritiva del suelo y del drenaje.

2.6.2. Generalidades y funcionamiento de invernaderos

Existen diferentes metodologías de cultivo y riego para distintos tipos de circunstancias. Algunas aprovechan las características propias del terreno y ambiente que son ofrecidas en el lugar, sin embargo, muchas veces algunas de ellas deben ser modificadas para lograr el mayor aprovechamiento de los recursos o simplemente por la necesidad que demanda el mercado o población. En el presente caso, donde el parámetro del agua será por sí solo una modificación artificial, se buscan opciones que permitan modular las demás variables creando un ambiente sustentable.

Un invernadero, en términos generales, consiste en un recinto estructural cubierto que permite controlar y ajustar las condiciones climáticas y ambientales que afectan los cultivos, incluyendo el tipo de suelo. Esto se lleva a cabo con el objetivo de incrementar rendimiento y reducir costos de producción (Shamshiri e Ishak, 2013).

Cuadro 2.4: Clasificación de conductividad en el los suelos (De Vos et al, 2016)

Clase de salinidad del suelo	Electroconductividad (EC)
No salino	0 - 2000
Ligeramente salino	2000 - 4000
Moderadamente salino	4000 - 8000
Altamente salino	8000 - 16 000
Muy altamente salino	Más de 16 000

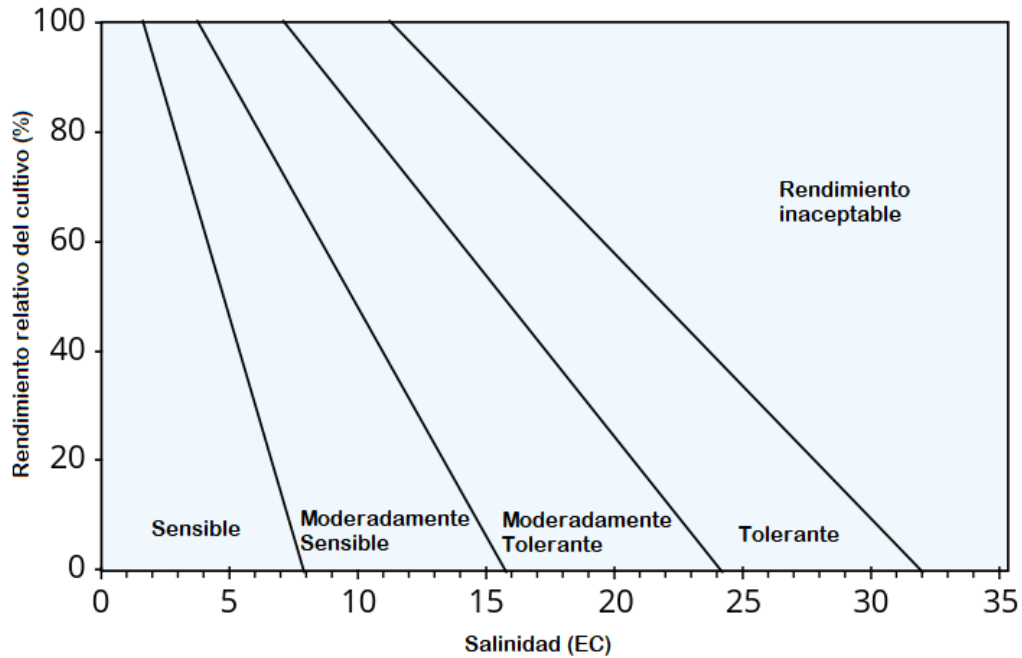


Figura 2.11: Clasificación de tolerancia de cultivos a la salinidad (Maas y Hoffman, 1977)

En Costa Rica existen dos niveles de agricultura protegida en invernaderos: artesanal y formal. La construcción artesanal de invernaderos consisten en elaborar una estructura o armadura a la cual se el coloca una cubierta de plástico en la partes superiores y laterales, las cuales utilizan mallas anti-insectos para cubrir las ventanas (Benavides, López y Alfaro, 2016). Este tipo de instalaciones protegen los cultivos de la lluvia, vientos, partículas y otros. Por otro lado, los invernaderos de construcción formal son los que presentan altos niveles de tecnología en los campos termodinámicos y estructurales. Por ejemplo, cuentan con control climatológico automático con ventilación tanto natural como mecánica.

De acuerdo con la misma fuente, en ambos casos los materiales utilizados, las condiciones climatológicas externas y las dimensiones del invernadero repercuten sobre la temperatura y la humedad relativa interna. Es por esto que ante todo proyecto que involucre un invernadero se deben hacer ciertos estudios preliminares con el objetivo de conocer los requerimientos mínimos para realizar el diseño. El primero de ellos tiene que ver con los requerimientos de temperaturas de los cultivos (temperaturas mínima, óptima y máxima). En la parte climatológica se debe hacer un estudio de por lo menos cinco años en donde se consideren la dirección y velocidad del viento, temperatura, humedad relativa y radiación.

Cuadro 2.5: Clasificación de cultivos según su tolerancia a la salinidad (Elaboración propia, 2017)

Clasificación	Cultivos
Sensible	Frijol, Zanahoria, Cebolla, Fresa, Almendra, Manzana, Aguacate, Cereza, Limón, Mango y Durazno
Moderadamente sensible	Broccoli, Repollo, Maíz dulce, Lechuga, Melón, Papa, Tomate, Uva y Chile
Moderadamente Tolerante	Remolacha, Zucchini, Higo, Oliva, Papaya, Piña y Coco
Tolerante	Espárrago, Palma datilera y Algodón

En cuanto a los estudios hidrológicos, estos permiten conocer los caudales de lluvia que deben de evacuarse así como los niveles de inundaciones y la disponibilidad de agua potable. Por otro lado, los estudios geotécnicos dan resultados que se aprovechan en el diseño estructural y de drenajes del invernadero. Finalmente los estudios topográficos permiten hacer un buen uso del suelo y diseñar terrazas para los cultivos (Benavides, López y Alfaro, 2016).

Este último estudio, correspondiente al suelo, es sumamente importante al considerar un invernadero como una alternativa a la agricultura con uso de otras variables limitadas o características como lo es por ejemplo el agua con altos contenidos de sal. Esto se debe a que se tienen más posibilidad de modular este elemento con su reemplazo por ciertos tipos de sustrato. Dentro de las posibilidades para prevenir los suelos salinos en los invernaderos están el crear buenos sistemas de drenaje antes de la colocación del sustrato (Fernández, Aguilar, Carriue, Tortosa, García, López y Pérez, 2014).

Otra opción, expuesta por los anteriores autores, es recurrir a procedimientos de arenado en el sustrato, lo que posibilita el uso de agua con mayor concentración de sales ya que el movimiento ascendente del agua en el suelo es poco, de manera que las sales quedan por debajo del nivel de las raíces y se facilita el lavado (Fernández, et al, 2014). Usualmente, esta alternativa no se realiza por el costo y disponibilidad de la arena como material del suelo, sin embargo, de llevarlo a cabo en una zona costera, estas circunstancias no serían tan críticas como en otros lugares.

2.6.3. Uso del agua en climatización de invernaderos

Los aspectos de control de ambiente demandados por la climatización adecuada del invernadero, entre ellos temperatura y humedad, son también aspectos recurrentes en sus operaciones cotidianas. El enfriamiento evaporativo es un método que utiliza agua como un componente principal de esta operación que al mismo tiempo se considera como una alternativa efectiva y de bajo costo (Benavides, López y Alfaro, 2016). Esto también lo hace un posible campo de aprovechamiento para uso de agua de mar parcialmente tratada. Existen dos metodologías que son utilizadas en invernaderos: sistemas de colchones húmedos y sistemas de nebulización.

El primer sistema consiste en utilizar algún medio húmedo, que usualmente es agua, como un medio de enfriamiento del aire externo por ingresar, al poner a ambos en contacto por un tiempo determinado. Este se denomina colchón húmedo y la **Figura 2.12** presenta un diagrama básico de su funcionamiento.

En este se tiene una barrera porosa que es mojada por un suministro de agua. El aire por

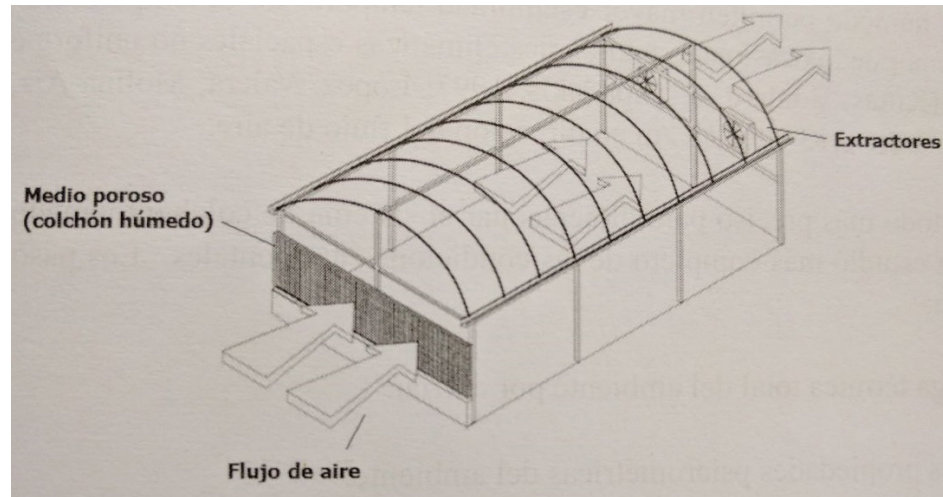


Figura 2.12: Diagrama de enfriamiento de invernadero por colchón húmedo (Benavides, López y Alfaro, 2016)

entrar al recinto se hace pasar por esta barrera y es enfriado y humidificado por la misma. Al ingresar al recinto su humedad se estabiliza con el resto del ambiente, pero siempre a una menor temperatura. Las ventajas del uso de este método en invernaderos radica en la mayor estabilidad que da a la temperatura del recinto y la disminución del riesgo de mojar los cultivos (Benavides, López y Alfaro, 2016).

El otro método es un proceso de nebulización. Esta consiste en una aspersión aérea directa de gotas finas en el ambiente, que provoca la disminución de temperatura y el aumento de humedad en el aire del mismo (García, Zermeño, Lee, Castro, Briones y Aguirre, 2004). Las gotas son inyectadas a través de boquillas, como la mostrada en la **Figura 2.13**, mientras que el movimiento del aire es quien ayuda, junto a los traspasos térmicos, a evaporar las mismas antes de caer completamente al suelo (Kacira, 2016).

Una de sus ventajas es que puede ser utilizada con ventilación natural, a diferencia del enfriamiento evaporativo por colchón húmedo (Kacira, 2016). También posee eficiencias más altas que el método anterior, pero únicamente cuando se garantizan humedades relativas en el ambiente por debajo del 40 % (Benavides, López y Alfaro, 2016).

Independientemente del método por elegir, es importante tomar en cuenta ciertas consideraciones respecto a las propiedades del agua a utilizar en los métodos de enfriamiento evaporativo. El agua salada ha empezado a ser utilizada para estos propósitos, en su mayoría debido a consideraciones ambientales, disponibilidad y al alto costo de utilizar agua dulce (Nalco, 2013). Existen ya, incluso, tablas y metodologías de factores de corrección para los cálculos termodinámicos que toman en cuenta las proporciones de sal en el agua de enfriamiento (Maulbetsch y Di Filippo, 2008).

El mayor problema que trae el utilizar agua salada para realizar estos procesos de enfriamiento es la presencia de corrosión en sus componentes. De tomar esta decisión se tendrán incrementos en los costos iniciales debido a una selección de materiales más estricta y utilización de recubrimientos (Maulbetsch y Di Filippo, 2008).

En específico, la calidad y pureza del agua para el método de nebulización debe ser aún más estricta (Benavides, López y Alfaro, 2016). Esto debido a que el calor no realiza su transferencia a través de un intermediario como en el método de colchón. Lo anterior hace que las partículas



Figura 2.13: Boquilla utilizada en invernaderos para enfriamiento evaporativo por nebulización (Cervantes, 2015)

de sal estén directamente en el ambiente del invernadero y, por lo tanto, en contacto directo con los cultivos.

Hasta este punto, se ha detallado sobre el contexto en el cual se planteará la desalinización y la colocación de un invernadero como soluciones a la problemática descrita. A continuación se ahondará más en los aspectos teóricos sobre la tecnología de desalinización.

Capítulo 3

Generalidades de funcionamiento de los desalinizadores

En este apartado se ampliará sobre la clasificación de los métodos de desalinización y en específico sobre los métodos comerciales. Asimismo, se hace una breve descripción de los métodos alternativos. Esto a manera de comprender el fundamento teórico de la solución a plantear.

Los procesos de desalinización producen agua fresca a partir de la separación de la sal del agua marina o agua salobre. De esta forma, se obtiene un producto de rechazo llamado salmuera que es conformado por cierto porcentaje del agua de entrada y gran parte de las sales (El-Dessouky y Ettouney, 2002) y (Cipollina, et al, 2009). Por lo general, este producto se vierte al mar pero debe hacerse con sumo cuidado, ya que puede causar efectos adversos sobre el medio ambiente marino (Montaño, 2011).

Como se mencionó anteriormente, la desalinización puede tener como materia prima agua marina o agua salobre. El tipo de agua empleada se clasifica según el total de sólidos sueltos en ellas. Al hablar de agua fresca esta es la que presenta una salinidad que puede tener como máximo 1 500 ppm (partes por millón), mientras que agua salobre es la que tienen una salinidad de entre 3 000 ppm y 10 000 ppm. Aguas con salinidades mayores a este último valor son consideradas como aguas saladas. Por lo general, el agua de mar se maneja en un ámbito entre 10 000 ppm y 45 000 ppm teniendo como valor de salinidad más común o estándar de 35 000 ppm. Tener una baja salinidad normalmente se relaciona con aguas saladas que se mezclan con flujos provenientes de ríos, de lluvia o con agua descongelada de los glaciares. Por otro lado, la alta salinidad se relaciona con aguas que se encuentran alejadas de las costas o de gran cantidad de evaporación debido a altas temperaturas atmosféricas (Cipollina, et al, 2009).

Los procesos de desalinización datan desde 1800 al ser utilizados sistemas térmicos de evaporación y condensación (pequeñas calderas) en barcos para la utilización de agua para consumo humano. Por la misma época, la industria azucarera fue la primera en considerar este tipo de procesos. El comienzo de la desalinización industrial se dio en 1912 cuando se instaló en Egipto una planta con 75 m^3 por día de capacidad. Para finales de la década de 1950 y principios de la década de 1960 se instalan las primeras plantas de Destilación flash multi etapas (MSF por sus siglas en inglés Multi-stage flash distillation). En los años 1970 se comienza con el desarrollo de las membranas comerciales de ósmosis inversa (El-Dessouky, et al, 2002).

Asimismo, al comienzo de los años 1980 se diseña y se implementan las primeras unidades que operan a partir de la compresión mecánica de vapor así como su combinación con los sistemas de evaporación multi-efecto. Para mitades de los años 1990 e inicios de los años 2000 ya se contaba con plantas de MSF, MED y ósmosis inversa ($9 \cdot 10^6 \frac{m^3}{\text{día}}$) de gran capacidad (El-Dessouky, et al, 2002). En los últimos 30 años, las tecnologías de desalinización han tenido un gran progreso en muchas zonas áridas en el mundo (Voutchkov, 2013).

En la actualidad, hay más de 120 países en los cuales operan plantas de desalinización. Según el 2011-2012 IDA Desalination Yearbook, al final del año 2011, en el mundo habían aproximadamente 16 000 plantas de desalinización, con una producción total instalada de $71,9 \cdot 10^6 \frac{m^3}{\text{día}}$. Asimismo, las plantas de desalinización entregan solo el 1,5 % del agua utilizada a nivel mundial, pero se espera que este valor aumente exponencialmente en los próximos años (Voutchkov, 2013).

De la capacidad instalada actualmente, aproximadamente 60 % de los sistemas de desalinización en el mundo utilizan el método de ósmosis inversa y un 34 % tienen plantas térmicas. El porcentaje de plantas de ósmosis inversa ha tendido a aumentar en los últimos años debido a grandes avances en la separación por membranas y por sistemas de recuperación de energía, así como a la disminución en los costos de producción de agua (Voutchkov, 2013).

En cuanto a la situación de la desalinización en el continente americano se puede decir que las principales regiones en este tema son: Estados Unidos, Chile, México y el Caribe. De todos estos, Estados Unidos es el que tiene la mayor capacidad instalada, siendo uno de los que siguen en la lista de mayor capacidad a nivel mundial, después de los países del Medio Oriente (Montaño, 2011). Para el 2011, Norteamérica tenía un 16 % de la capacidad instalada mundial en desalinización, lo cual corresponde a $9,6 \cdot 10^6 m^3$, mientras que Centroamérica tiene un 3 %, correspondiente a $1,8 \cdot 10^6 m^3$ (Prakash, Shannon y Bellman, 2015).

Con respecto al costo del agua desalinizada en cada una de las regiones mencionados se tiene que en el Caribe este es de $1,23 \frac{USD}{m^3}$, en Chile tiene un valor de $0,37 \frac{USD}{m^3}$, en Estados Unidos es de $0,51 \frac{USD}{m^3}$ y en México ronda los $0,34 \frac{USD}{m^3}$. En este continente, el uso de sistemas térmicos toma un 11 % del total instalado, mientras que el restante 89 % es representado por proyectos con sistemas de membranas (Montaño, 2011).

3.1. Clasificación de los métodos de desalinización

En general, las tecnologías de desalinización se pueden clasificar acorde a tres criterios, ellos son según: lo que extraen del agua de mar (o tipo de separación), el tipo de proceso adoptado y el tipo de energía utilizada (Cipollina, et al, 2009).

Según la primera clasificación, los procesos de desalinización se pueden dividir en dos grandes grupos, aquellos donde el agua es removida de la materia prima dando como resultado un producto libre de sal y en los que la sal es removida de la materia prima dejando un producto con una ligera cantidad de sal. Los métodos de extracción de agua se dividen en métodos que no involucran cambios de fase y los que si los toman en cuenta. Dentro de estos últimos están los que se les adiciona calor (y por lo tanto trabajan mediante la evaporación) y los que se les remueve el calor (y por lo tanto trabajan bajo la congelación). En cuanto a los métodos de extracción de sal están la electrodiálisis y el intercambio iónico (Cipollina, et al, 2009).

La segunda clasificación se hace en base al proceso de separación adoptado. De esta forma el primer grupo está conformado por los procesos que involucran membranas. Estas pueden

ser semipermeables o de intercambio iónico. De estos métodos, el principal es el de ósmosis inversa, pero dentro de esta clasificación también entra la electro-díalisis (ED) (El-Dessouky, et al, 2002) y (Cipollina, et al, 2009).

El segundo grupo se compone de los procesos térmicos o en otros palabras, los que emplean la adición o remoción de calor para obtener agua pura a partir de la solución salina. Ahora, los procesos térmicos tienen a su vez dos categorías: los primeros son los métodos de evaporación y condensación y luego están los métodos que involucran congelación y fusión de esta masa de agua (El-Dessouky, et al, 2002) y (Cipollina, et al, 2009).

El tercer criterio clasifica a las tecnologías de desalinización según el tipo de energía utilizada de las cuales en la actualidad se tienen cuatro posibilidades, las cuáles son energía mecánica, energía térmica, energía eléctrica y energía química (Valero,Uche y Serra, 2001). Las principales fuentes de los procesos que requieren energía térmica suelen ser plantas de cogeneración, calderas o energía solar (El-Dessouky, et al, 2002). La **Figura 3.1** muestra en cual criterio entra cada uno de los métodos más importantes de desalinización según las tres clasificaciones descritas.

Tipo de clasificación		Métodos							
		MED	MSF	VC	RO	Humid/Dehum	MD	FO	ED
Separación	Extracción de agua	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	Extracción de sales							✓	✓
Proceso	Térmico	✓	✓	✓		✓	✓		
	Membrana				✓		✓	✓	✓
Energía	Térmica	✓	✓	✓		✓	✓		
	Mecánica			✓	✓			✓	
	Eléctrica								✓
	Química							✓	✓

Figura 3.1: Esquema de clasificaciones de tecnologías de desalinización (Elaboración propia, 2017)

3.2. Desalinización por destilación multiefecto

Esta tecnología originalmente fue desarrollado en los años 1830, pero en los años 1960 fue reconfigurado para utilizar técnicas de evaporación con películas delgadas, haciéndolo más práctico que el concepto original. Por lo tanto ha sido estudiada, mejorada y se cuenta con fabricantes con bastante experiencia (Voutchkov, Sommariva, Pankratz y Tonner, 2010). Dentro del mercado de sistemas de desalinización térmico, el MED (Multi-effect distillation por sus siglas en inglés) toma un 12,5 %. Esto es menos de un 6 % dentro del mercado total de los sistemas de desalinización.

Últimamente las grandes plantas de MED se han estado instalando en los países del Medio Oriente (Khawaji, Kutubkhanah y Wie, 2008). Asimismo, varias de estas están ubicadas en las islas del Caribe y se utilizan para abastecer zonas con gran afluencia de turistas (Valero, Uche y Serra, 2001). Otro gran uso es en plantas con cogeneración donde la electricidad y el agua son producidas simultáneamente. Esto es conveniente ya que se requiere de vapor a baja

presión y esta puede ser obtenida de la planta a un bajo costo (Cipollina, Micale y Rizzuti, 2009).

3.2.1. Principios de operación

Las plantas de destilación multi-efecto (MED Multi-Effect Distillation por sus siglas en inglés) se caracterizan por tener varias etapas (cámaras o efectos) conectadas en serie cada una de ella a una diferente presión de operación. Para ello, cada etapa cuenta con un sistema de vacío. De esta forma, estos efectos generan que cada vez se tenga un punto de ebullición más bajo y así no es necesario inyectar calor adicional luego del primero de ellos (Valero, et al, 2001).

El proceso comienza distribuyendo por rociado el agua de alimentación salina. Por gravedad, estas gotas tenderán a bajar y a caer sobre la superficie del intercambiador de calor en forma de una delgada capa. Esto último se hace para ayudar a la generación de la ebullición y la evaporación del agua de manera que se obtienen una mayor eficiencia de transferencia de calor. Una parte de este fluido se convertirá en vapor y otra parte se mantendrá como líquido, convirtiéndose así en la salmuera. Esta se toma y se rocía en la siguiente cámara como materia prima a evaporar. Es común tener cámaras flash para evaporar una porción del agua salada que se moviliza hacia el siguiente efecto, debido a la menor presión de operación (Prakash, Shannon y Bellman, 2015) y (Valero, et al, 2001).

La porción que se convierte en vapor de agua fluye hacia un serpentín que se convertirá en el intercambiador de calor de la siguiente cámara. Este vapor debe pasar por eliminadores de niebla para atrapar gotas de salmuera antes que sea introducido en los tubos en el siguiente efecto. Una vez que este tratamiento a sido concluido y que el vapor se encuentra dentro de esta tubería, es condensado debido a que el vapor que se encuentra fluye externamente en esa segunda cámara presenta una menor presión y temperatura. Simultáneamente, en la parte externa del serpentín se crea vapor para alimentar la segunda cámara (Prakash, et al, 2015) y (Voutchkov, et al, 2010). Esto ya que en este tipo de procesos “la evaporación se produce de forma natural en una cara de los tubos de un intercambiador aprovechando el calor latente desprendido por la condensación del vapor en la otra cara del mismo” (Valero, et al, 2001).

Ahora, el condensado generado se recoge y se trasiega como producto del proceso de desalinización. Este ciclo es repetido a través de toda la planta según la cantidad de cámaras con que se cuente. Al final del proceso, se tiene un condensador en donde el vapor generado en la última etapa se convierte en agua destilada. El calor que se libera en este proceso es utilizado para precalentar el agua de alimentación del sistema (Prakash, et al, 2015), (Voutchkov, et al, 2010) y (Valero, et al, 2001). Un esquema del proceso descrito se puede apreciar en la **Figura 3.2**.

3.2.2. Otras consideraciones de funcionamiento

La primera etapa se alimenta de vapor generado externamente, ya sea por un sistema de recuperación, una turbina de contrapresión, energía solar u otro tipo de sistema (Valero, et al, 2001) y (Chandrashekara y Yadav, 2016). Asimismo, una práctica bastante común es utilizar un termo-compresor o entradas de sistemas de compresión de vapor térmico o mecánico como fuente de calor entre etapas para reciclar el vapor (Prakash, et al, 2015) y (Giwa, Dufour, Al Marzooqi, Al Kaabi y Hasan, 2016).

En su mayoría, las temperaturas de operación de vapor oscilación los 70 °C, por lo que se

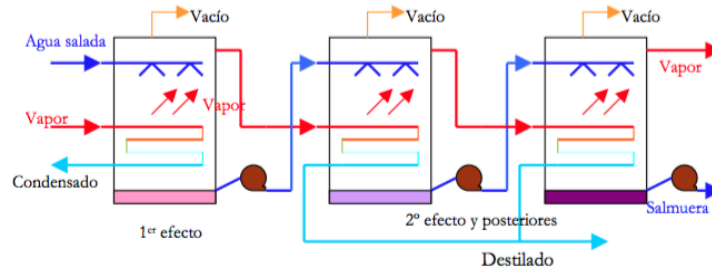


Figura 3.2: Esquema descrito para proceso de desalinización MED (Valero, Uche y Serra, 2001)

consideran bajas. Esto limita la tasa de formación de incrustaciones en la superficie exterior de los tubos del evaporador. Asimismo, ayuda a que se pueda combinar eficientemente con sistemas de compresión de vapor ya sea térmicos o mecánicos. Por otro lado, el proceso suele frenarse cuando el vapor llega a tener entre 30 °C y 40 °C (Cipollina, et al, 2009). Con el agua de enfriamiento, esta generalmente vuelve a la fuente entre 8 °C y 12 °C más caliente que el agua de alimentación. También se debe decir que no está desaireada y puede contener pequeñas cantidades de productos de la corrosión o de la desinfección (Voutchkov, et al, 2010).

En cuanto al tratamiento de la salmuera, esta se mezcla con agua de enfriamiento antes de ser desechada. Asimismo, esta posiblemente contenga algún tipo de inhibidor de corrosión y productos químicos antiespumantes. Por lo general la salmuera tiene entre 1,4 y 1,8 veces más sólidos en suspensión que el agua de mar de alimentación. También se puede decir que usualmente sale 15 °C más caliente que el agua de mar, esto antes de ser mezclada con el agua de enfriamiento (Voutchkov, et al, 2010).

Finalmente se debe comentar que existen diferentes configuraciones en cuanto a los intercambiadores de calor utilizados. Gran parte de las plantas MED utilizan intercambiadores de calor horizontales, pero también existen configuraciones de intercambiadores de calor verticales. Uno de ellos es el flujo laminar de bajada (*vertical falling film* o VFF por sus siglas en inglés) y se caracteriza por tener una mayor eficiencia que los intercambiadores de tubos horizontales ya que necesitan menor superficie de intercambio para producir la misma cantidad de destilado. Es importante mencionar que en todo caso su costo es más elevado que el de tubos horizontales. Otro tipo de intercambiador es el de flujo laminar de subida *vertical Rising Film* o VRF por sus siglas en inglés) que cual se ha dejado de utilizar debido a problemas que se han presentado con respecto a el control del régimen de flujo interior en el proceso de evaporación (Valero, et al, 2001).

3.2.3. Parámetros de rendimiento

La capacidad de producción de agua fresca y la cantidad de vapor a utilizar va de la mano de la cantidad de etapas que se tengan. Estas a su vez están limitadas por el ámbito de temperatura total disponible y la mínima diferencia de temperatura disponible entre un efecto y el otro. Todos estos parámetros mencionados depende del tipo de diseño que se este contemplando (Khawaji, et al, 2008).

Así, por ejemplo, algunas referencias hablan de que por lo general el número de efectos va de 2 a 16 (Prakash, et al, 2015) y (Cipollina, et al, 2009). Finamente también están los que dicen que rara vez se tienen más de 15 cámaras conectadas en serie. Esto dejando de lado las MED con múltiples efecto integrados, las cuales pueden llegar a tener hasta 50 (Valero, et al,

2001). Es posible tener una producción de entre 250 m^3 /día y 36 000 m^3 /día según sea el tamaño de la planta, esto teniendo una conversión de agua salada a agua fresca de 23 % hasta 50 % (Prakash, 2015), (Voutchkov, 2010) y (Voutchkov, 2013).

La fuente principal de energía que se utiliza en este tipo de tecnología es la energía térmica (Prakash, et al, 2015). El consumo de este tipo de energía anda entre 145 kJ/L y 390 kJ/L mientras que el de electricidad (para procesos de control y bombeo) anda entre 5,4 $\frac{kJ}{L}$ y 9 $\frac{kJ}{L}$. De esta forma el consumo total de energía oscila entre 150,9 $\frac{kJ}{L}$ y 399 $\frac{kJ}{L}$. Por lo tanto, este tipo de métodos no se suelen utilizar cuando se requieren de altas eficiencias a menos que se acoplen a un proceso que genere grandes cantidades de calor de desecho como por ejemplo una planta térmica (Prakash, et al, 2015).

3.2.4. Ventajas, principales problemas y recomendaciones

Una de las ventajas de este tipo de sistemas es que el pre-tratamiento requerido no es muy riguroso (Prakash, et al, 2015). Típicamente, este consiste en someter el agua de alimentación sólo a un cribado relativamente grueso (Voutchkov, et al, 2010). Es por esto que este sistema puede ser utilizado tanto para agua de mar como para agua salobre (Valero, et al, 2001). Esto quiere decir que puede llegar a trabajar con salinidades de hasta 65 000 ppm (Cipollina, et al, 2009).

Otro punto a favor tiene que ver con la baja temperatura de operación. Estos sistemas son empleados como solución para trabajar a menores temperaturas que los MSF, por lo que se aplican en procesos que dejan vapor a menos de 100 °C (Prakash, et al, 2015). Vale decir que como este tipo de proceso no tiene una recirculación de la salmuera, se necesitan menos bombas hidráulicas, por lo que el costo eléctrico disminuye con respecto a la MSF (Valero, et al, 2001). Es por esta razón que, su aceptación se ha debido específicamente a su menor consumo energético comparado con el MSF y debido a el incremento en el costo de la energía que ha caracterizado a la última década (Cipollina, et al, 2009).

Como contraparte de esta ventaja se tiene que debido a la baja temperatura a la que opera este sistema, este es un proceso que requiere grandes áreas de superficie para la producción de agua. Ahora, al integrar sistemas como el compresión de vapor térmica, se reduce esta superficie. Asimismo, el rendimiento de la combinación de MED con ósmosis inversa puede llegar a ser de hasta 93 % (Giwa, Dufour, Al Marzooqi, Al Kaabi y Hasan, 2016).

Siguiendo con los aspectos positivos de esta tecnología, se tiene que el vapor en la zona de vapor limpio, está a una mayor presión que el de la sección salina, por lo que cualquier pérdida de integridad de la superficie de transferencia de calor va a llevar a una pequeña pérdida de producto, sin contaminar a todo el producto final (Voutchkov, et al, 2010).

En cuanto a los materiales y la vida útil de las máquinas se debe decir que una ventaja es que se utiliza materiales baratos para su construcción. Por ejemplo usa aleaciones de aluminio para sus intercambiadores de calor y acero al carbono con un recubrimiento epóxico para la carcasa del evaporador. Debido a este y otros aspectos constructivos y de mantenimiento, estas plantas tienen una vida útil de aproximadamente 40 años (Cipollina, et al, 2009).

Sobre los principales problemas que se generan en este tipo de procesos debe de tenerse en cuenta la generación de incrustaciones y la corrosión. Conforme se aumenta el espesor de las incrustaciones, se disminuye la eficiencia de la desalinizadora a lo largo del tiempo. Los sistemas con los que se cuenta actualmente resuelven estos problemas operando a una temperatura máxima de salmuera de aproximadamente 70 °C. A veces esta temperatura se establece en 55 °C, permitiendo utilizar calor de rechazo de bajo grado (Prakash, et al, 2015).

Como recomendaciones a la hora de implementar este tipo de sistemas esta que se requieran de la instalación de sistemas de ventilación para asegurar la eliminación de los gases no condensables (aire y dióxido de carbono) de las superficies de transferencia de calor. Asimismo, otra recomendación sería que en aplicaciones relacionadas con producir agua potable, se debe tener especial cuidado en aislar el producto destilado para que no se contamine con los químicos que trae el vapor de la caldera debido a los tratamientos que esta requiere (Voutchkov, et al, 2010).

3.2.5. Costos de instalación y operación

A la hora de valorar la tecnología MED como una posibilidad para una futura planta de desalinización, se deben de tomar en cuenta varios costos. Uno de ellos es el costo monetario de la energía suministrada. Este por lo general tiene dos partes, una relacionada con el costo de los combustibles en caso de utilizar calderas y otra relacionada con el consumo eléctrico que generan las bombas que se requieran en el proceso (flujos de alimentación, producto destilado, salmuera y retorno de condensados). El costo de la energía eléctrica y el combustible depende específicamente de si se va a comprar algún sistema de alimentación de energía renovable o si se van a comprar los recursos en el mercado nacional (Valero, et al, 2001).

Otro costo es el de inversión, el cual para el año 2000 considerando una planta MED promedio (vale decir que este costo depende de la capacidad instalada) en España se mantenía entre \$727,35/(m³/d) y \$1000,11/(m³/d). De la totalidad de la inversión, un desglose por elemento del sistema se muestra a continuación: el evaporador ronda el 65 %, las bombas hidráulicas toman el 5 %, el condensador de vapor anda por el 3 %, el sistema de vacío representa en 2 % y los sistemas auxiliares y de control toman el 25 % restante (Valero, et al, 2001).

Otros costos a tomar en cuenta son los de mantenimiento, mano de obra y productos químicos para evitar la formación de costras (Valero, et al, 2001). Finalmente se debe comentar que se han reportado costos de producción de agua de 0,54 USD/ m³ para una planta con 5 unidades y cada una produciendo 20 000 m³/día (Cipollina, et al, 2009).

3.3. Desalinización multietapa flash

La desalinización multi etapa flash (Multi Stage Flash o MSF por sus siglas en inglés) es uno de los métodos más probados y utilizados para llevar a cabo procesos térmicos de desalinización. Fue el primero de este tipo en ser comercializado para la producción de agua potable a gran escala (Kotb, 2015).

El proceso en general utiliza las propiedades de los cambios de estado de líquido y gaseoso cuando se someten a temperaturas y presiones que colocan a la sustancia alrededor de su zona de saturación. La **Figura (3.3)** ilustra los principios básicos del proceso.

En esta, se toma el agua salada y se calienta a temperaturas entre los 90 °C y los 115 °C. Este flujo caliente, que permanece en estado líquido aún, ingresa a una primera cámara a través de una tubería de descarga. Esta cámara se encuentra a una presión levemente menor a la presión de vapor saturado del agua, lo cual hace que el fluido se vaporice instantáneamente (de manera "flash"). El mismo eventualmente alcanzará un condensador que destilará el líquido desalinizado hacia una cama colectora como lo muestra la **Figura (3.3)**. Los sistemas poseen algunos otros componentes con funciones secundarias. Por ejemplo, se deben colocar barreras o mallas contra rocío que filtran algunos vapores aún salinizados antes de que estos alcancen la altura de los condensadores (Voutchkov, Sommariva, Pankratz y Tonner, 2010).

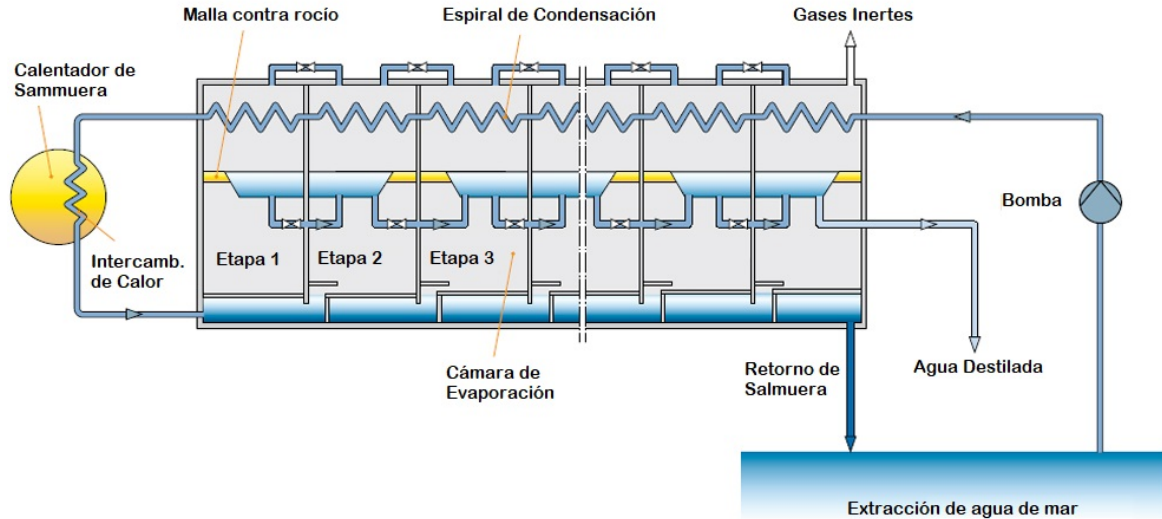


Figura 3.3: Diagrama básico del proceso de desalinización por MSF (KSB, s.f.)

El principio básicamente se repite en múltiples etapas o cámaras subsecuentes donde el nivel de presión se disminuye utilizando bombas generadoras de vacío en función de la disminución de la temperatura para mantener la condición de saturación. Usualmente se tiene entre 20 y 30 etapas en un proceso, pero las nuevas plantas que operan con MSF pueden tener hasta 45 etapas en un proceso desalinizador (Voutchkov, 2013). Ejemplos típicos son por ejemplo las plantas de Yanbu y Jeddah, ambas en Arabia Saudita. Estas llevan en operación más de 30 años y cuentan con 24 y 34 etapas respectivamente (Hamed, s.f.).

Las plantas más nuevas tienen capacidades de recuperación de hasta un 45 % del agua disponible, sin embargo, lo típico es encontrar valores entre el 20 % y el 30 % (Voutchkov, 2013). Aún cuando ese 45 % de recuperación pueda comenzar a compararse con los valores generados por tecnologías de ósmosis inversa, el MSF posee la desventaja de necesitar de gran cantidad de agua para procesos paralelos como enfriamientos, pretratamientos y descargas (Sommariva, 2015). Por otro lado, junto al MED, es de los métodos con un mayor porcentaje de pureza permisible de extracción.

Grandes plantas pueden producir entre $10\,000\ m^3$ y $65\,000\ m^3$ de agua dulce al día por cada conjunto de etapas (Voutchkov, et al, 2010). Ahora bien, usualmente estas magnitudes se logran cuando se da el emparejamiento de la planta con generaciones de energía de grandes proporciones, como la nuclear. A escalas más pequeñas, existen plantas de desalinización por MSF donde se produce agua con ayuda de energía solar en flujos diarios entre los $20\ m^3$ y $60\ m^3$. Algunas de ellas se encuentran en El Paso, Texas y en Margarita de Sovoya, Italia (Mohameed y Banat, 2008).

El principal problema referente a las tecnologías de desalinización por MSF recaen en la cantidad de energía necesaria para producir el agua. Solo para los procesos térmicos, son necesarios alrededor de 290 kJ de energía por cada kilogramo de agua producido. Si se desea operar esta metodología con energías renovables como su fuente principal, solo se pueden utilizar energías solares (no fotovoltaicas) para consumo en estos procesos, a diferencia de

otros (Schorr, 2011). Es por esto que muchas de estas plantas utilizan energías convencionales, como aquellas derivadas de combustibles fósiles, para llevar a cabo sus operaciones.

Los valores anteriores hacen que el valor por cada metro cúbico de agua producido por estos medios ronde el valor de 1,1 USD, casi doblando lo estimado para plantas con tecnologías de ósmosis inversa y compresión de vapor (Karagiannis y Soldatos, 2008). Algunos proyectos teóricos han podido reducir ese costo en unos 0,5 USD, utilizando variantes del método de MSF para plantas de pequeña escala (de 2 m^3 /día a 300 m^3 /día en producción) (Mohameed y Banat, 2008), sin embargo, el desarrollo general se ha centrado más en procesos completamente diferentes, que permiten la utilización de otro tipo de tecnologías.

Como medidas de ahorro energético, varias plantas de este tipo implementan la recirculación de la salmuera final de la última etapa a través de un intercambiador de calor en contacto térmico con el nuevo flujo de agua por salinizar. Esto ayuda al precalentamiento de la misma antes de llegar al calentador, lo cual ayuda a generar ahorros respecto a los sistemas de calentamiento (Voutchkov, 2013). Otra medida de eficiencia energética que ha sido utilizada es la de implementar las tuberías que trasiegan el agua salada hacia el calentador como el mismo condensador (Chandrashekar y Yadav, 2016). De esta manera, la energía dispersada por el vapor a alta temperatura para condensarse en agua dulce también precalienta el agua salada del suministro principal.

Otro problema recurrente en las plantas de desalinización que utilizan MSF es el de la formación de corrosión en sus componentes, debido a las altas temperaturas que manejan los sistemas, así como el uso de vapor y presencia de contaminantes. Esto no solo trae repercusiones en la vida útil de los componentes, si no que también ha tenido problemas referentes a la contaminación residual de la salmuera u otras sustancias devueltas al mar (Voutchkov, et al, 2010).

3.4. Desalinización por compresión de vapor

Los desalinizadores que funcionan bajo el principio de compresión de vapor aprovechan, una vez más, las propiedades de cambios de estado gracias a las paridades de temperatura y presión en una sustancia. Esta vez, estas propiedades también son utilizadas como base para el aprovechamiento de energía residual asistida por compresores.

El principio de separación de las partículas saladas del agua destilada es el mismo: a través de la evaporación. Se puede visualizar el proceso en dos etapas, ambas ilustradas en la **Figura (3.4)**. Primero, el agua de mar es bombeada hacia el tanque principal, donde a través de aspersores entra en contacto de manera externa con un intercambiador de calor en forma de tubos que trasiegan vapor de agua caliente. Este contacto hace que se eleve su temperatura hasta el punto en que transiciona a vapor (Chandrashekar y Yadav, 2016).

En este punto es donde se involucra el proceso de compresión y donde se da el mayor aprovechamiento energético. Este vapor recientemente generado en el taque es absorbido hacia un compresor que eleva su temperatura y lo inserta en el interior de los tubos del intercambiador de calor, el mismo que entra en contacto con el agua en aspersión anteriormente (Roa, 2014). De esta manera, el fluido interno y externo del intercambiador resulta ser la misma agua de mar que está siendo tratada. El mismo cambio térmico hace que esta agua que está dentro de los tubos baje su temperatura hasta su punto de condensación, obteniendo finalmente el producto destilado que se busca.

De la misma manera que se trabaja en el método de MSF, una de las medidas de ahorro

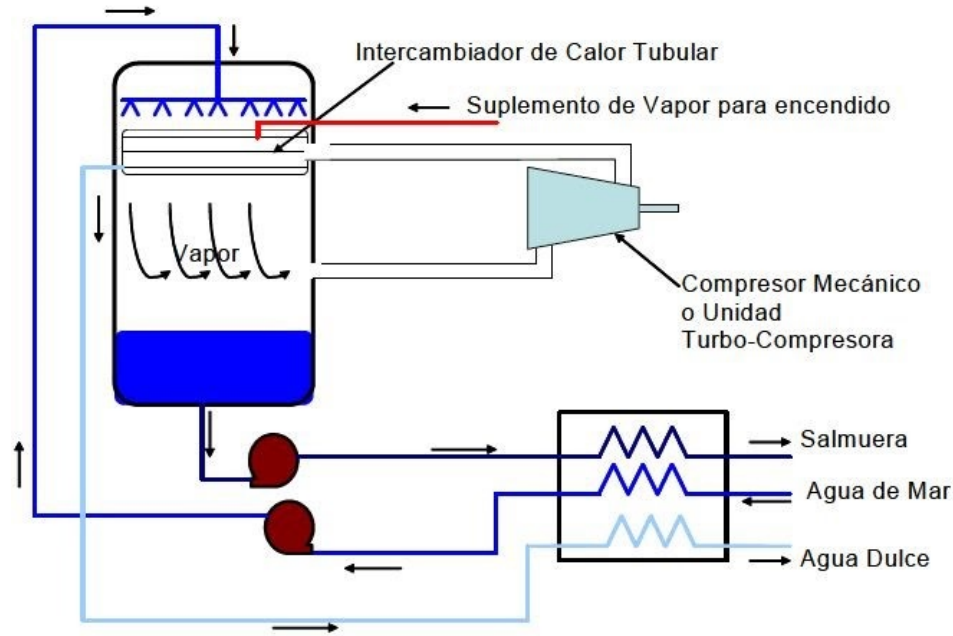


Figura 3.4: Esquema del proceso de desalinización por VC (Roa, 2014)

energético es utilizar el calor residual de la salmuera del fondo de tanque para trasegarla a través de un intercambiador de calor en contacto con el agua salada inicial (Voutchkov, 2013). Esto ayuda al precalentamiento de esta última, aliviando la carga térmica que deba de sobrellevar el intercambiador principal.

Es necesario utilizar otra serie de accesorios para el proceso completo (Voutchkov, 2013). Uno de ellos es la implementación de bombas de vacío en el tanque principal que eliminen los gases no condensables, por ejemplo el aire. Otra práctica usual es la utilización de precalentadores del agua salada antes de ingresar al tanque principal, que pueden ser alimentados por energías eléctricas o combustibles fósiles. Esto ayuda a que se alcancen las temperaturas ideales de vaporización una vez que se entre en contacto con el intercambiador de calor principal.

Para el proceso de compresión, regularmente se manejan dos opciones. Estas consisten en la compresión de vapor térmica (Thermal Vapour Compression o TVC) y la compresión de vapor mecánica (Mechanical Vapour Compression o MVC). En el proceso de TVC se utilizan varias etapas donde el vapor resultante de la última se toma parcialmente para recomprimido dentro de la primer etapa. En los procesos de tipo MVC usualmente solo se tiene una etapa, por la que todo el vapor es tomado para recompresiones y redireccionado a la primer etapa. En esta última solo se utilizan fuerzas electromecánicas para realizar la compresión (Micale, Cipollina y Rizzuti, 2009). Los tipo MVC pueden alcanzar capacidades de hasta $3\ 000\ m^3/\text{día}$, mientras que las múltiples etapas del TVC permiten incrementar eficiencias que resultan en producciones de hasta $36\ 000\ m^3/\text{día}$ (Prakash, Shannon y Bellman, s.f.). Algunos ejemplos de plantas con este tipo de tecnología se pueden encontrar en Alberta, Canadá y en Mukhaizna, Omán, con $5\ 471\ m^3/\text{día}$ y $47\ 712\ m^3/\text{día}$ respectivamente (Water Desalination Report, s.f.).

Este sistema es utilizado generalmente para tratar volúmenes de agua con diferentes niveles de salinidad. Por sí solos son usualmente utilizados para producciones de pequeña a media escala, utilizándose en hoteles o industrias mayormente (Prakash, Shannon y Bellman, s.f.).

Además, son buscados por su fácil proceso de instalación (Roa, 2014). Bajo estas utilizaciones su costo puede rondar los 0,7 USD por metro cúbico de producción (Karagiannis y Soldatos, 2008). Al igual que los demás métodos térmicos, su costo de operación dependerá ampliamente del acceso a energía fósil o renovable que se tenga en el lugar, ya que todo el proceso requiere de unos 8 kWh/m^3 a 12 kWh/m^3 durante la producción de agua (Voutchkov, 2013).

3.5. Desalinización por ósmosis inversa

La industria de desalinización de ósmosis inversa (RO por sus siglas en inglés referente a reverse osmosis) inicio su incursión en el mercado mundial tratando aguas salobres y es relativamente nueva en comparación con las demás metodologías (El-Dessouky et al, 2002). Para comprender bien el mecanismo básico de este método se debe entender bien el concepto de ósmosis y sus características. El proceso consiste en el flujo de agua a través de una membrana semipermeable, de una región de alta concentración a una de baja, buscando generar un balance en el grado de concentración de ambas disoluciones (ver **Figura 3.5**). Durante el proceso se genera una presión en la membrana debido al incremento en la columna del fluido, la cual se denomina presión osmótica (Rice University, 2017). Esta es una fuerza natural que depende de la diferencia en concentración de sólidos disueltos en ambos lados de la membrana, la temperatura del fluido y los tipos de iones que componen el soluto disuelto (Voutchkov, 2013).

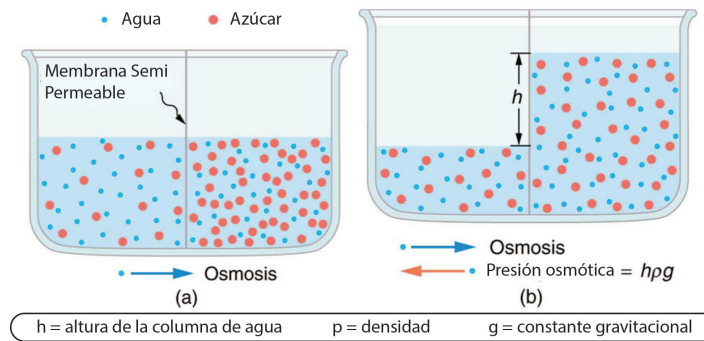


Figura 3.5: Proceso de ósmosis con azúcar disuelta en agua como ejemplo (modificado de Rice University, 2017)

Durante el proceso de RO, se aplica una presión de mayor magnitud que la presión osmótica, permitiendo lograr un flujo en dirección contraria al natural descrito anteriormente. Esto permite una separación entre el soluto y el disolvente, que en el caso de la desalinización sería separar el agua de la sal (Khawaji et al, 2008). Cabe aclarar que el proceso de R.O es una variación de los métodos de desalinización por membrana, pero es el más utilizado mundialmente ya que permite remover entre el 90 % y el 99,5 % de la materia disuelta en la solución acuosa (Fritzmann, Löwenberg, Wintgens y Melin 2007). Para el 2009 existían más de 15 000 plantas de desalinización, y el 50 % de ellas operan por RO (Greenlee, Lawler, Freeman, Marrot y Moulin, 2009), esto muestra el dominio que esta tecnología tiene en el mercado. España es el país europeo líder en desalinización, seguido por Italia, pues implementa esta tecnología desde 1964 para proveer de agua a las Islas Canarias y la Islas Baleares. En España el 69 % de las plantas operan bajo el principio de RO, mientras que en Italia es el

Ubicación de la planta	TDS en suministro (mg/L)	Recuperación (%)	Flujo Permeado (L/m ² -h)	Presión de suministro (kPa)
El Coloso, Chile	36 500	50	-	5 800
Las Palmas, España	38 000	40-45	11,0-13,5	5 500 - 7 000
Eni Gela, Italia	40 070	40-46	13,3	6 200 - 6 400
Gran Canaria, España	38 000	42	13,0	5 700
Eilat, Israel	41 000	50	13	6 100 - 6 300

*Total de sólidos disueltos (TDS por sus siglas en inglés Total Dissolved Solids)

Figura 3.6: Listado de plantas que operan bajo el principio de RO (Greenlee et al, 2009)

20 % (Greenlee et al, 2009). En la **Tabla 3.6** se aprecian algunas plantas y sus respectivas estadísticas de relevancia.

3.5.1. Principales componentes del proceso

Para un buen funcionamiento del proceso de RO, así como de un producto final que sea catalogado como agua potable, se requieren ciertos procesos previos y posteriores a la etapa de flujo por la membrana. La **Figura 3.7** muestra un ejemplo, con ciertos valores de operación, de un diagrama de flujo correspondiente a un proceso de desalinización por RO. Los puntos clave del proceso completo de desalinización se describen brevemente a continuación (Fritzmann et al, 2009) y (Voutchkov, 2013):

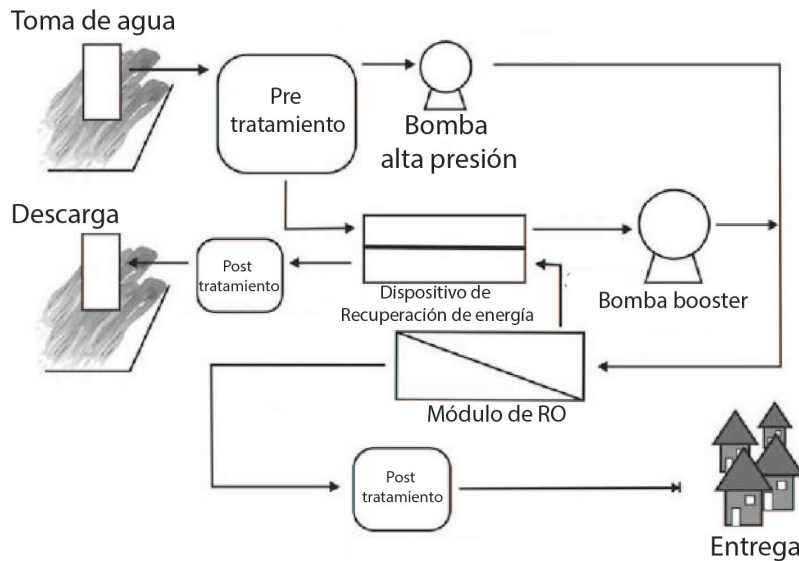


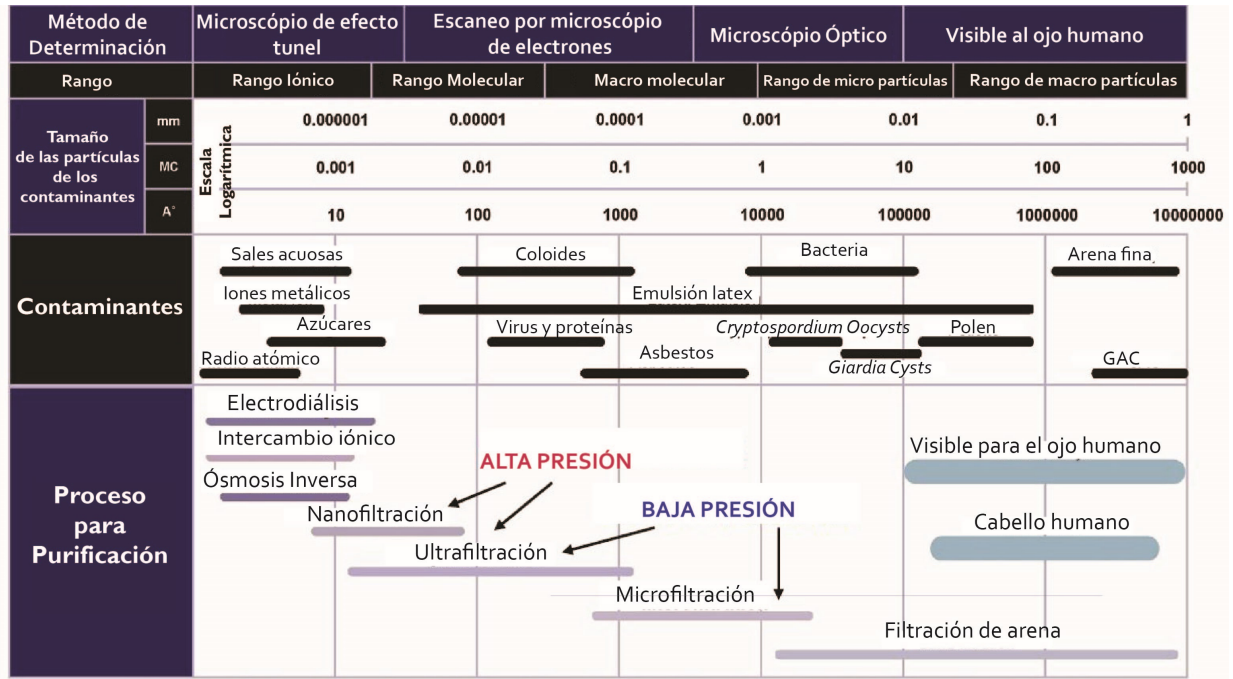
Figura 3.7: Diagrama de un proceso general de desalinización por RO (Fritzmann et al, 2007)

Dependiendo de donde se ubique la **toma de agua**, se deberán tomar cuidados especiales por las condiciones de entrada. Dentro de las opciones que se tiene, se puede optar por una toma de agua directa al océano o por un pozo costero (Voutchkov, 2013). El optar por un pozo, trae el beneficio de que por la filtración natural generada por el suelo, la cantidad de partículas en suspensión es mucho menor, teniendo menos problemas por contaminantes (El-Dessouky et al, 2002). En caso de implementar una toma de agua mar adentro, parámetros de suma importancia como la ubicación, la profundidad y la configuración son determinantes

para asegurar la calidad de agua necesaria (Voutchkov, 2013).

Las membranas empleadas para el proceso de RO son susceptibles a factores como pH, compuestos orgánicos, bacterias, algas y partículas, el tomar esto en cuenta puede tener un impacto significativo a nivel de costos (Miller, 2003), por lo que se requiere un **pretratamiento** para prolongar la vida útil de la membrana y prevenir una pronta saturación de suciedad. La generación de cúmulos de suciedad en la membrana puede darse por aspectos como un crecimiento microbiano, sustancias orgánicas disueltas, incrustaciones, entre otros (Ayoub y Malaeb, 2011). Para lidiar con estas problemáticas se emplean distintos químicos, coagulantes, floaculantes, inhibidores de incrustaciones, oxidantes (cloro, dióxido de cloro, etc). Los coagulantes y floaculantes se emplean para facilitar la remoción de partículas y suciedades de tipo coloidal. Los inhibidores de incrustaciones se emplean para suprimir la cristalización de minerales en la superficie de las membranas de RO (Voutchkov, 2013).

El integrar distintos tipos de membranas, como micro filtración o ultra filtración, en el pre tratamiento para eliminar contaminantes se ha vuelto común en la implementación de estas tecnologías. Su uso se debe a que logran eliminar contaminantes como plancton, bacterias, arena e inclusive virus en el agua (Lattemann, 2010). En la **Figura 3.8** se puede apreciar el ámbito de contaminates que pueden filtrar las distintas membranas.



1 Angstrom (Å) = 10⁻¹⁰ Metros (m) = 10⁻⁴ Micrones (MC) = 10⁻⁷ Milímetros (mm)

Figura 3.8: Proceso de tratamiento de agua dependiendo del contaminante (Schorr, 2011)

Como se mencionó antes, se requiere una presión aplicada que sobrepase la presión osmótica para poder remover la sal disuelta. Debido a que la tasa de flujo del agua a través de la membrana es mayor por varios ordenes de magnitud que el paso de la sal, se logra así generar agua dulce con un muy bajo porcentaje de contenido mineral. La presión osmótica a vencer varía dependiendo del grado de salinidad que posee el agua de entrada (Prakash et al, 2015).

Esto ocurre en la **unidad de separación por membrana**, que es el elemento en donde

ocurre el proceso de ósmosis inversa. Se describen tres características empleadas comúnmente para determinar el desempeño de una membrana (Voutchkov et al, 2010):

1. *Flujo de agua permeada*: la tasa de difusión de moléculas de agua y es dependiente meramente de las condiciones de operación (presión de entrada, temperatura, concentración salina) así como las características de la membrana tal y como espesor y porosidad.
2. *Rechazo salino*: es la efectividad que posee la membrana para remover las sales de la disolución. Posee leves variaciones para iones específicos y el rechazo total se determina mediante la diferencia de concentraciones de sal entre el suministro de agua y el producto del mismo, todo dividido entre la concentración del agua de suministro.
3. *Tasa de recuperación*: es la proporción de agua de suministro que se recupera como agua tratada y a medida que esta tasa aumenta, también lo hace el flujo de alta concentración de sal (o salmuera) así como la presión osmótica.

Las membranas empleadas en estas tecnologías se pueden categorizar por su composición química, siendo orgánicas o inorgánicas. Las más utilizadas en el mercado son las de tipo orgánico ya que las inorgánicas poseen las limitantes de resistencia a la temperatura y estabilidad química. Las membranas orgánicas se componen de polímeros o co-polímeros orgánicos. Las más utilizadas están constituidas por poliamidas aromáticas o acetatos de celulosa (Cabero, 2015). Estas membranas comúnmente poseen espesores ultra finos de $0,2 \mu m$, y esta característica es la que le permite lograr el rechazo de las sales durante la operación. El material posee dos capas de soporte por debajo, las cuales se emplean para reforzar la estructura y mantener la integridad y durabilidad de la membrana (Voutchkov, 2013).

3.5.2. Configuración de las membranas

A nivel comercial, los arreglos de membranas más populares son los que aparecen en la **Figura 3.9**. Hasta mediados de la década de 1990 la configuración de fibras huecas era la tecnología dominante, hasta que se empezó a implementar el arreglo de enrollamiento en espiral, el cuál es el más utilizado hoy en día (Voutchkov, 2013).

La configuración de espiral está compuesta por varias láminas opuestas entre sí, junto con un núcleo central por donde entra el agua. Las láminas poseen espaciadores que permiten la circulación del agua y el permeado (KOCH Membrane Systems Inc, 2017). Existen configuraciones de este tipo que poseen espacios de 34 mils que han sido aplicadas recientemente y son especialmente para aguas con mayor cantidad de contaminantes. Para poder implementar esta configuración se sacrifica la cantidad de membranas para asegurar un menor grado de contaminación, sin embargo esto afecta la eficiencia del tratamiento que ofrece la membrana (Voutchkov, 2013).

La membrana con fibra hueca está compuesta de una capa activa densa en la parte exterior y un soporte poroso en la parte interior. El diseño presente en estas membranas está realizado de manera integral, puesto que el material es el mismo tanto en la capa activa, como la de soporte. El agua de suministro entra por el perímetro mientras que en el interior se trasiega el agua permeada (Cabero, 2015).

La configuración empleada permite cuatro veces más área superficial por metro cúbico de la membrana. Esto permite menor flujo de permeado por el mismo volumen de agua, resultando en menos problemas relacionados a incrustaciones y otras problemáticas asociadas con agua

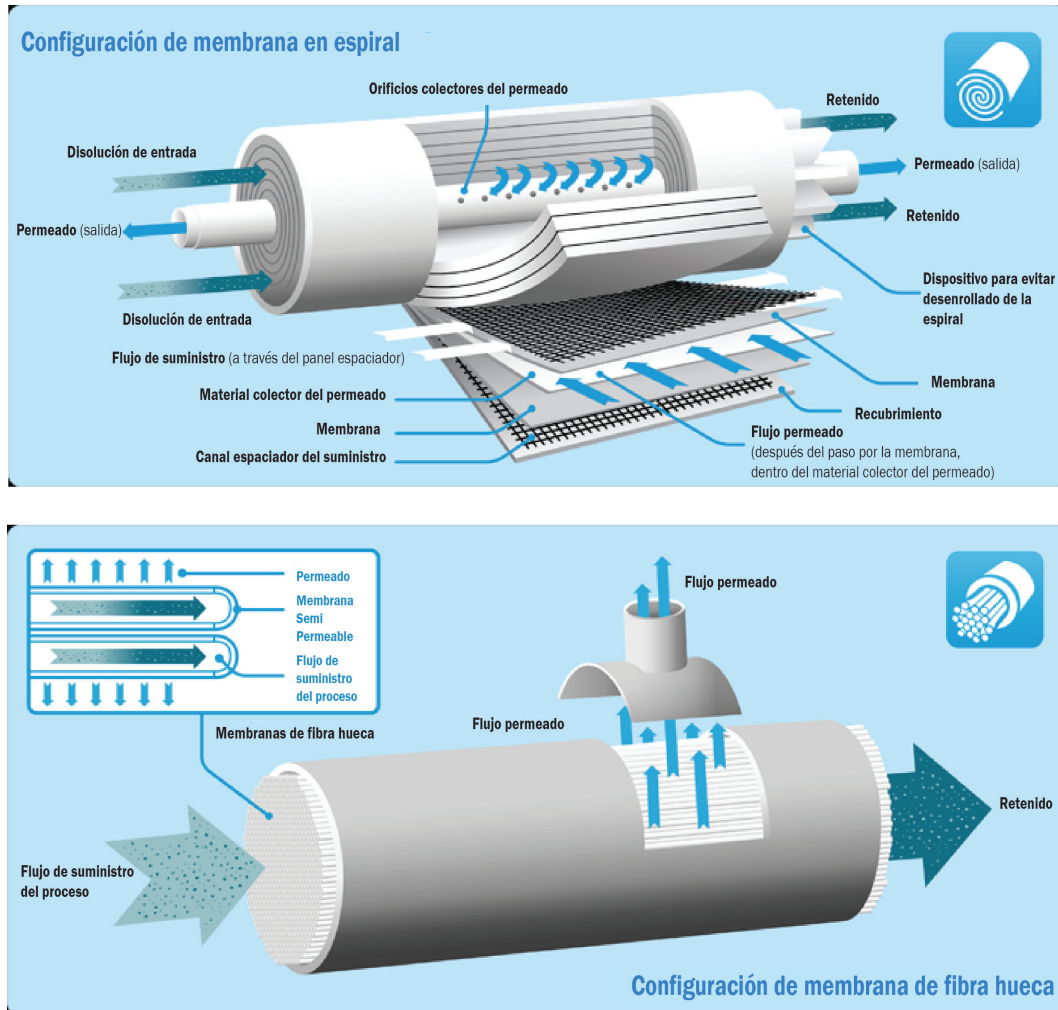


Figura 3.9: Configuraciones más empleadas en el mercado (Fabricante KOCH Membrane Systems, 2017)

de alto contenido mineral. Por esta razón es que este arreglo se recomienda para agua con alto contenido de sal (Voutchkov, 2013).

3.5.3. Sistemas de recuperación energética

Estos sistemas se aplican para aprovechar secciones del proceso que contienen energía utilizable reduciendo así costos operativos. Se tienen dos clases de dispositivos de recuperación de energía dependiendo del principio de funcionamiento. Un método aprovecha la presión hidráulica existente en flujos de desechos como lo es el flujo presurizado de salmuera; la otra variación convierte la energía hidráulica a energía mecánica centrífuga por medio de turbinas, normalmente tipo Pelton, combinado a una bomba en una sola carcasa (Fritzmán et al, 2007). Ambas metodologías poseen ventajas y desventajas que dependen de las condiciones de operación específicas de la planta, pero la transferencia energética puede ser tan alta como un 95 % para un 36 % del agua de suministro, traducándose en términos de consumo energético de lograr 7,2 kJ/L, contrario a un consumo de 12,7 kJ/L sin un sistema de recuperación (Prakash

et al, 2015).

3.5.4. Post-tratamientos

El proceso correspondiente depende del uso final del agua, pero durante el desarrollo de post tratamientos se aplican comúnmente procesos como remineralización para protección ante la corrosión, desinfectantes biológicos para proteger la salud pública y un control en constituyentes específicos del agua como gases que generen ciertos olores y sabores, contenido de sílica y boro (Voutchkov, 2013).

Es importante mencionar que se deben neutralizar químicos existentes en los desechos, controlar temperaturas de salida y disminuir la concentración de la salmuera para evitar un impacto negativo en la ecología marina (Greenlee et al, 2009). En términos de gestión se mencionan cinco alternativas (Voutchkov, 2013):

- Descarga superficial.
- Descarga en sistema de aguas negras.
- Inyección en pozos profundos.
- Aplicaciones del deshecho en tierra.
- Lagunas de evaporación.

3.5.5. Parámetros operativos

En la **Figura 3.10** se muestra una fracción de ciertas empresas existentes a nivel mundial junto sus respectivas capacidades y costos por metro cúbico. Es relevante mencionar que los costos son un parámetro más variable y dependiente de la zona en donde se desarrolle la planta (Miller, 2003).

Ubicación de la Planta	1er año de producción	Capacidad de producción por RO (m ³ /día)	Costo del agua (USD/m ³)
Galder-Agaete, España	1989	3500	1.94
Jeddah, Arabia Saudita	1989	23,000	1.31
Ad dur, Barein	1990	45,000	1.30
Lanzarote III y Agragua, España	1991	10,000 × 2	1.62/1.34
Santa Bárbara, California, EE.UU	1992	25,000	1.51
Dhkelia, Chipre	1997	40,000	1.46
Mallorca y Marbella, España	1998	42,000/56,400	1.03/1.00
Eilat, Israel	1998	10,000	0.72
Lamarca, Chipre	2001	56,000	0.83
Eilat, Israel	2003	10,000	0.81
Bahía Tampa, Florida, EE.UU	2003	94,600	0.55
Fujairah, Emiratos Árabes Unidos	2005	170,500	0.87
Ashkelon, Israel	2005	320,000	0.53

Figura 3.10: Ciertas plantas de RO en el mundo y su costo por metro cúbico de agua en USD respectivo (Greenlee et al, 2009)

De manera general, se determina que el tamaño de la planta tiene un impacto considerable en el costo por metro cúbico del agua tratada (Voutchkov, 2013). El tamaño de la planta se compara contra un factor económico de escala, el cual va de 0 a 1. “ Como un ejemplo, viendo la **Figura 3.11**, una planta con una capacidad de 200 000 m³ por día, producirá agua a la mitad del costo que una con capacidad de generación de 5 000 m³ por día”.

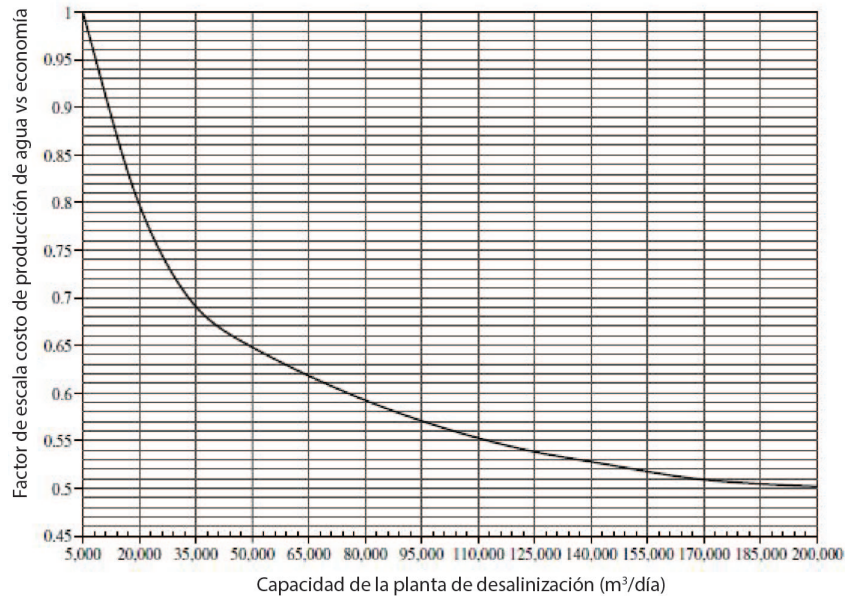


Figura 3.11: Relación directa entre el tamaño de una planta y el costo por metro cúbico de agua producido (Voutchkov, 2013)

En la **Figura 3.12** se puede apreciar un ejemplo de consumos eléctricos para el año respectivo mostrado. Cabe aclarar que estos son meramente ilustrativos y los consumos pueden variar según la zona en donde se instale la planta, grados de salinidad del agua y la existencia o no de sistemas de recuperación de energía.

Planta de Desalinización	Año	Capacidad (m³/día)	Consumo energético kWh/m³	Empresa Desarrolladora
Ashkelon (Israel)	2005	325,000	< 4	IDE technologies
Tuas (Singapur)	2005	136,000	4.1	Hyflux
Fujairah (Emiratos Árabes Unidos)	2003	170,000	3.8	Doosan
Carboneras (España)	2005	120,000	4	Hydranautics
Rabigh (Arabia Saudita)	2008	200,000	4	Mitsubishi
Larnaka (Chipre)	2001	54,000	4.5	IDE technologies
Florida (EE.UU)	1999	95,000	4	Stone and Webster – Poseidon

Figura 3.12: Consumo eléctrico y su relación a la capacidad de tratamiento de agua de distintas plantas en el mundo (Fritzmman et al, 2007)

Para poder apreciar la distribución de pesos del consumo eléctrico, la **Figura 3.13** presenta una distribución de consumos energéticos de peso en el proceso de RO. Se debe resaltar el hecho

que para esta distribución propuesta, el autor no indica si el proceso cuenta con un sistema de recuperación de energía o no.

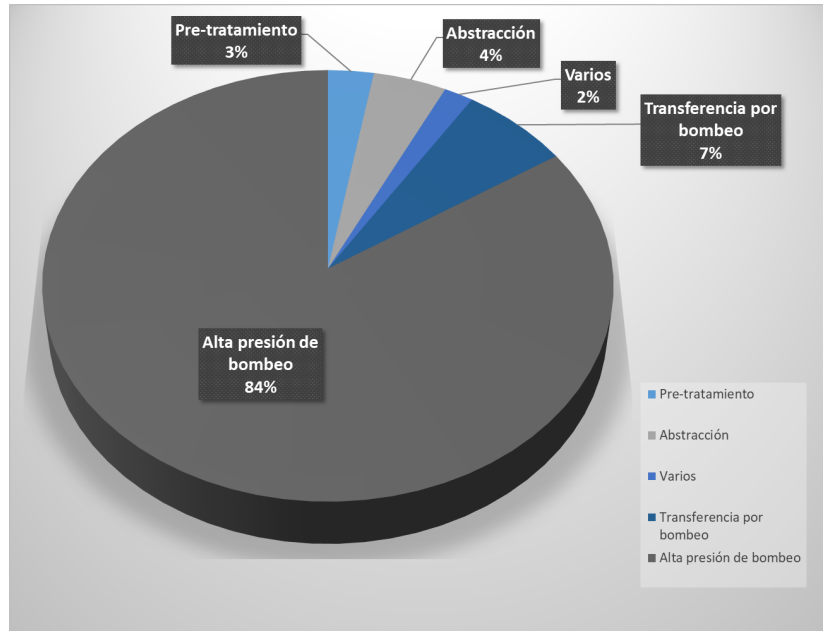


Figura 3.13: Consumo energético de diferentes etapas del proceso (adaptación de la información de los autores Fritzmann et al, 2007)

3.5.6. Características operativas generales

El sistema de RO, comparándolo con otros métodos de desalinización previamente expuestos, posee los menores requerimientos energéticos para su funcionamiento. Esto se debe a que el proceso principal opera gracias al bombeo del agua marina, energizado por electricidad, facilita la implementación del mismo. El mantenimiento del equipo también representa un bajo porcentaje de los costos de únicamente entre 2% y 2,5% (Fritzman et al, 2007). A nivel general, la mayor desventaja que se tiene con esta metodología es la sensibilidad que tienen las membranas ante distintos contaminantes, ámbitos de pH, temperaturas, entre otros (Greenlee et al, 2009). En la **Tabla 3.1** se presentan parámetros de importancia para las membranas empleadas en RO.

Cuadro 3.1: Comparación de parámetros de RO con agua de mar y agua salobre (Greenlee et al,2009).

Parámetro	RO en agua salada	RO en agua salobre
Flujo permeado para RO ($L/m^2 \cdot h$)	12-15 (toma en aguas abiertas)	12-45 (aguas subterráneas)
	15-17 (pozo costero)	
Presión hidroestática (kPa)	5500-8000	600-3000
Tiempos de reemplazo	Cada 2-5 años	Cada 5-7 años
Recuperación de agua (%)	33-45	75-90
ámbito de pH al que resiste	5,5-7	5,5-7
Rechazo salino (%)	99,4-99,7	95-99

Una limitación actual que posee el método de RO, que se encuentra en investigación en el mercado de las membranas semi permeables, es la generación de polarización concentrada en las membranas. El poder mitigar la generación de impedancias existentes en el flujo de agua generadas por suciedades, incrustaciones y la misma polarización concentrada, dictan casi la mayoría de las veces la recuperación de agua posible, los protocolos de mantenimiento y la vida útil de la membrana.

La polarización concentrada es un fenómeno que se genera cuando se produce un gradiente de concentraciones en la superficie a medida que se acumulan componentes rechazados por la membrana, generando así una capa de mayor concentración como muestra la **Figura 3.14**. El producto de esta acumulación de partículas se puede interpretar como la presencia de una doble membrana, haciendo que se genere un aumento en la presión osmótica local, disminuyendo la eficiencia de la presión aplicada y consecuentemente, disminuyendo la permeabilidad (Prakash et al, 2015).

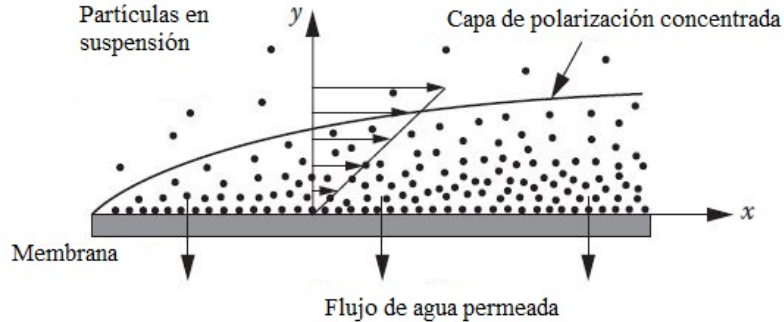


Figura 3.14: Capa límite de concentración generada por la polarización concentrada en la superficie de la membrana (Prakash et al, 2015)

3.6. Métodos alternativos de desalinización

Debido a la continua investigación que se realiza en el tema de desalinización, existen otros tipos de metodologías menos comunes que siguen en investigación y algunos se han implementado a menores escalas. Esta sección busca mostrar que hay más opciones fuera de las populares a nivel comercial, las cuales se describieron previamente en este capítulo.

3.6.1. Humidificación-deshumidificación

El principio de funcionamiento de este método se basa en aumentar la capacidad del aire de contener agua en forma de vapor. Esto se logra por medio de aire caliente que entra en contacto con el agua de suministro a tratar, extrayendo así una cierta cantidad de vapor, cuya cantidad absorbida será definida por la temperatura de operación del aire (Schorr, 2011). Por medio de una deshumidificación del aire, al ponerlo en contacto con superficies frías, es que se logra destilar el agua al generarse la condensación (Subramani, A. y Jacangelo, J., 2015). Dentro de las ventajas más visibles que tienen estos sistemas es el hecho de que operan a bajas temperaturas, tienen una facilidad para complementarlos con sistemas de energía renovable como la solar, su complejidad no es mucha y tienen tasas de productividad considerables (Schorr, 2011).

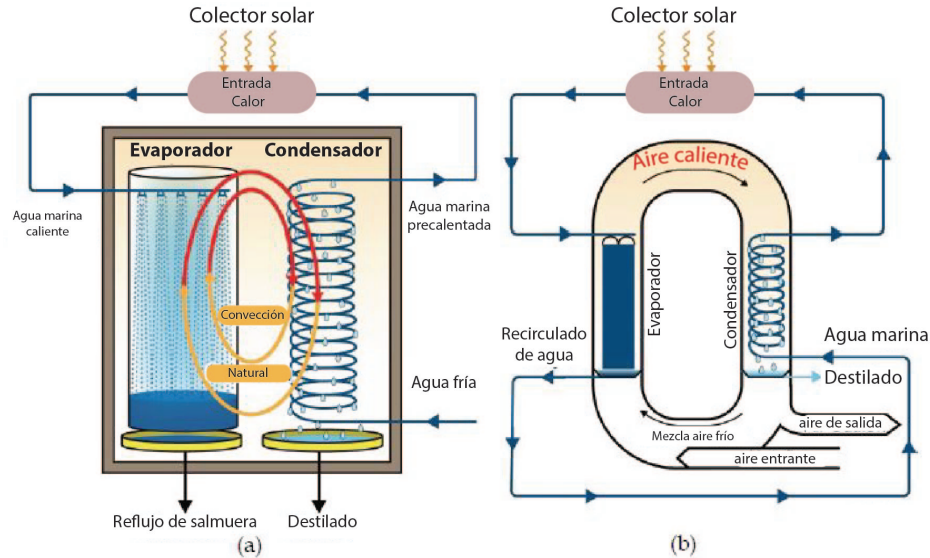


Figura 3.15: Esquema de las dos modalidades del sistema de humidificación-deshumidificación (Schorr, 2011)

Se menciona que este método posee dos diseños fundamentales (Bacha, s.f), los cuales se pueden apreciar en la **Figura 3.15**:

- a) Ciclo de agua libre y aire encerrado: en este diseño el aire circula sobre un ciclo cerrado entre el evaporador y el condensador. Dentro de este diseño, se tienen tres clasificaciones: sistemas agua calentado, sistemas de aire calentado, sistemas mixtos.
- b) Ciclo de agua encerrada y aire libre: en esta variante el aire es calentado directamente en un colector solar o también, calentado y deshumidificado en un evaporador debido al agua caliente proveniente de un colector solar.

3.6.2. Destilación por membranas

Este proceso clasifica dentro de los de tipo térmico, así como los de separación por sus principios operativos. La destilación por membrana (MD por sus siglas en inglés Membrane Distillation) es un método que combina la tecnología de membranas y la evaporación, por medio del transporte de vapor de agua a través de membranas hidrofóbicas, esto debido a una diferencia de temperaturas a través de las membranas. Es la existencia de este gradiente térmico que genera a su vez un diferencial de presiones, provocando la transferencia del vapor a través de la membrana hidrofóbica, dirigiéndose a la zona de condensación (Subramani et al, 2015).

En el proceso de MD, el agua marina pasa a través del condensador típicamente a temperaturas de 25°C y sale a una mayor temperatura, siendo calentado hasta temperaturas de 80°C por una fuente externa (Schorr, 2011). En la **Figura 3.16** se puede apreciar un diagrama del esquema típico del proceso. De mencionar algunas ventajas que ofrece este proceso están las bajas temperaturas a las que se opera así como las presiones, una reducción importante en los requerimientos de esfuerzos a los que se somete la membrana, así como tamaños compactos (Miller, 2003).

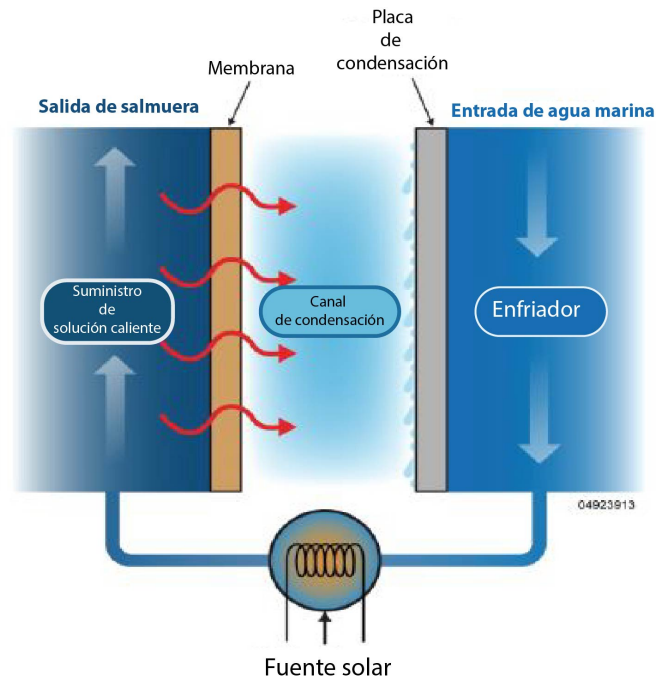


Figura 3.16: Diagrama del proceso de destilación por membrana (Schorr, 2011)

Aunque este proceso se introdujo a pequeña escala a nivel comercial en 1980, no ha sido implementado ampliamente en el mercado debido a problemas de altos costos operativos (Schorr, 2011), además de problemas asociados a las membranas como una disminuida productividad debido a un flujo del agua por la membrana, eficiencia energética y falta de historial de datos en la implementación de membranas hidrofóbicas con microporo (Subramani, 2015).

Para lograr implementar este método a gran escala, aún se requiere una profunda investigación en el área de membranas para mitigar problemas relacionados a la vida útil de la membrana, específicamente en la selectividad que posee entre líquido y vapor. Además otros problemas más generales como la suciedad, recuperación de calor, entre otros (Schorr, 2011).

3.6.3. Electrodialisis

Denominado ED por sus siglas en inglés (Electro Dialysis), es un proceso electroquímico que mueve iones de sal de manera selectiva, obteniendo agua fresca como producto final (Schorr, 2011). "Este método emplea corriente directa y una cantidad de canales de flujo separados mediante membranas que seleccionan entre aniones y cationes para lograr la separación del agua y la sal disuelta "(Miller, 2003). Durante su funcionamiento, los iones se acumulan en la superficie de los electrodos, causando una suciedad acumulada a lo largo del tiempo por lo que requiere un mantenimiento constante para lograr un proceso continuo y eficiente. Una variación de la metodología para mitigar la acumulación de suciedad y aumentar la vida útil del proceso es emplear una inversión de la polaridad periódicamente, denominado electrodialisis revertida (EDR por sus siglas en inglés electro dialysis reversal) (Voutchkov, 2013). Se puede apreciar un diagrama del sistema en la **Figura 3.17**.

El sistema típico de ED está compuesto por: sistema de pretratamiento, arreglo de membranas, circulación por bombeo a baja presión, fuente de energía para corriente directa y post

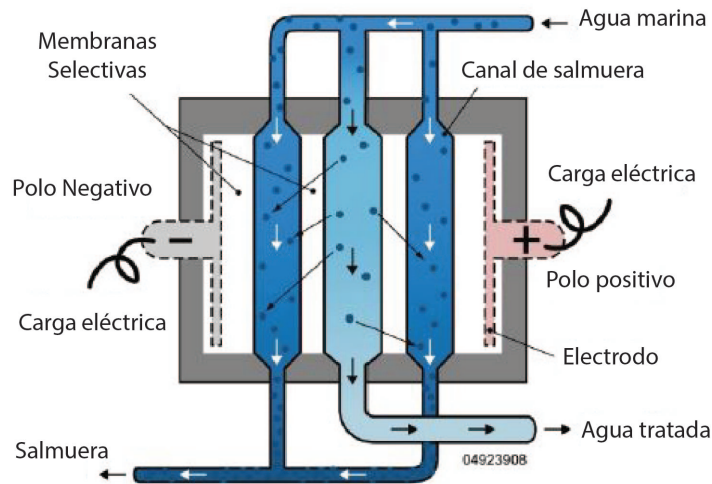


Figura 3.17: Diagrama de una unidad de ED (Schorr, 2011)

tratamiento (Schorr, 2011). Este sistema se emplea actualmente para zonas con disponibilidad de aguas salobres, pero su costo se incrementa considerablemente al emplearlo con agua marina por su alta concentración de sal. Esto se debe a que, al igual que con los sistemas de RO, la energía requerida depende de la concentración de sal del agua de suministro. Además, los electrodos se saturan con mucha mayor velocidad al tratar agua marina, por lo que sus ciclos de limpieza se aumentan considerablemente, volviéndolo poco viable en términos de mantenimiento (Voutchkov, 2013).

3.6.4. Ósmosis directa

A diferencia del proceso de RO, el proceso de ósmosis directa (FO por sus siglas en inglés Forward Osmosis) opera a presiones hidráulicas bajas o prácticamente nulas. Esto se debe a que se aprovecha la presión osmótica entre disoluciones para generar el flujo de agua salada a través de la membrana semipermeable (Prakash et al, 2015). A los elementos empleados para generar el proceso natural de ósmosis en el sistema se denominan "agentes osmóticos", de las cuales existe una gran cantidad de opciones a escoger para el sistema (Prakash et al, 2015). A continuación se mencionan ciertas opciones de agentes osmóticos empleadas para la desalinización por FO.

- Disolución Extractora
- Dióxido de azufre
- Sulfato de aluminio
- Glucosa
- Nitrato de potasio
- Mezclas de glucosa y fructosa
- Mezclas de amoniaco

- Dióxido de carbono
- Magnetoferritina

Posterior a la selección del agente osmótico, teniendo la disolución extraída se debe tomar en cuenta que algunas de ellas pueden poseer un sabor u olor indeseado en el agua por el agente implementado, lo que genera la necesidad de un post-tratamiento, siendo este el mayor costo energético en el sistema. Además, es imperativo que las disoluciones extraídas no sean tóxicas, sean estables, posean un pH cercano al neutro, una alta solubilidad y que el tratamiento sea a un bajo costo.

Una aplicación en la que el proceso de FO muestra una gran ventaja es en la agricultura. Cuando se emplean fertilizantes tal como cloruro de potasio, nitrato de sodio o nitrato de calcio como agentes osmóticos, el producto permite ser aplicado directamente a cultivos; esto coloca al proceso de FO como un método eficiente y con un costo aceptable para suplir de agua a cultivos (Subramani et al, 2015). Aunque este método tenga un mayor consumo energético por sí solo, una de las mayores ventajas que posee es que puede tratar aguas con salinidades más altas que la metodología de RO (Arafat, Akther, Daer, Giwa, Hasan y Sodiq, 2015).

Dentro de los mayores problemas que posee esta tecnología se encuentran varios que comparten con RO (referirse a la sección 3.5 del presente capítulo), puesto que emplean membranas, y es la polarización concentrada. Factores como la suciedad acumulada en ellas y la variedad de incrustaciones que se pueden generar de tipo mineral y biológico afectan el desempeño de estos sistemas, sin embargo la gravedad de estos problemas no es tanto en comparación con el proceso de RO.

Una problemática específica de FO es el flujo invertido de soluto, ya que si no se cuidan las concentraciones en ambas disoluciones, se puede generar el proceso inverso. Esto fomenta muchas otras problemáticas como consecuencia, además de que se pueden generar polarizaciones concentradas de mayor severidad debido a la disminución en los coeficientes de difusión en la membrana, afectando la vida útil de la membrana (Arafat et al, 2015).

Dentro de las mayores limitantes en el proceso es el desarrollo de agentes osmóticos ya que la mayoría de la investigación se ha centrado en las membranas como tal. La selección del agente posee un impacto directo en la presión osmótica resultante, y por ende en la eficiencia del proceso (Arafat et al, 2010). Aunque ya existe a nivel comercial una planta que opera bajo el principio de FO, inaugurada en el 2010 y ubicada en Al Khaluf, Oman (Prakash et al, 2015), aún se requiere realizar estudios más profundos en este tema para poder competir a nivel de consumo energético con el sistema de RO.

Lo anterior engloba las tecnologías que fueron consideradas para el proyecto. Durante el proceso de diseño que se presentará a continuación, se realizará la comparación de las mismas y selección con base en los requerimientos establecidos.

Capítulo 4

Diseño del sistema primario

El presente capítulo trata todo lo referente al diseño y dimensionamiento del sistema de toma de agua marina a nivel global, denominado en este trabajo como el sistema primario; el sistema secundario, cuyo diseño se describe en el capítulo 5, lo componen los subprocesos y sistemas de apoyo.

4.1. Demanda hídrica de la zona

Con el objetivo de completar la dualidad propuesta desde el planteamiento del proyecto, la demanda hídrica se presenta de acuerdo a dos áreas de necesidad. La primera consiste en la cantidad de agua potable demandada para suplir las necesidades básicas de la población, mientras que la segunda corresponde a la cantidad de agua semitratada para llevar a cabo las necesidades operativas de un invernadero.

4.1.1. Demanda de agua potable para consumo humano

Para discutir sobre el diseño de un proyecto de abastecimiento de agua potable en la comunidad de Playa Potrero o cualquier otro sector del país, es necesario tener presente el documento *Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial*, vigente por el AyA desde el año 2017. En este se tienen una serie de especificaciones para llevar a cabo este tipo de proyectos, entre ellas pautas para el cálculo de la demanda de agua potable de los sitios que se tienen por objetivo.

En primer lugar se establecen periodos de diseño según el tipo de aprovechamiento. Estos varían de 15 a 25 años, dependiendo del crecimiento que se tenga históricamente. Para el caso de Playa Potrero no se encontraron datos de este comportamiento poblacional disponibles. Además, las tasas de crecimiento de consumo hídrico no poseen una tendencia clara para definir un crecimiento alto o bajo. Ante esto, se toma la decisión con el mayor de los plazos debido a que su modularidad, que se discutirá más adelante, permite variar el diseño y entrega de la planta ante cambios de demanda de ser el caso. Además, al ser un proyecto a largo plazo y con una gran inversión para un ámbito comunal, se busca que se cubra el mayor plazo posible. Así, se decide realizar las proyecciones de demanda de ahora en adelante con plazos de 25 años a partir del 2020, contemplando 3 años para planificación, construcción y estudios preliminares ajenos a los objetivos del presente escrito antes de iniciar operaciones.

Este problema de no tener una tendencia clara de crecimiento histórico también se evalúa para tomar el porcentaje a futuro. El documento vigente (Acueductos y Alcantarillados, 2017)

no indica qué hacer en estos casos ya que solo habla de tomar en cuenta crecimientos históricos altos o bajos (mayores o menores al 3 %, respectivamente). A pesar de ello, su versión anterior indica que para comunidades rurales como lo es el caso de estudio, se tomen crecimientos poblacionales del 3,5 % anual (Acueductos y Alcantarillados, 2001). Se presume que esta tasa de crecimiento poblacional es proporcional al aumento de consumo de agua potable dentro de la población, por lo que se aplicará directamente. Se tiene la confianza de que este valor proporciona un factor de seguridad importante, al dar un 0,5 % de crecimiento anual extra respecto al mayor valor del reglamento más nuevo.

El documento del AyA del 2017 también indica una serie de dotaciones generales según el tipo de población para el diseño de la planta en caso de no tener registros históricos de consumo, pero de tenerse, el mismo indica que deben tomarse estos como parámetro de diseño oficial. La administración actual de la ASADA de Playa Potrero cuenta con los datos históricos de 3 años, por lo que son estos los que dictaminarán la demanda de diseño. El **Cuadro 4.1** presenta estos consumos en unidades de metros cúbicos de agua por mes. La ASADA no cuenta con información del mes de noviembre del año 2015, por lo que no se incluye el valor junto al resto de los 34 valores.

Cuadro 4.1: Consumos de agua en metros cúbicos de la ASADA de Playa Potrero (elaboración propia, 2017).

Mes	2014	2015	2016	2017
Enero	-	15 148	14 159	16 923
Febrero	-	12 260	14 425	16 488
Marzo	-	13 311	16 983	19 366
Abril	-	16 613	15 256	16 729
Mayo	-	11 117	18 659	9 845
Junio	-	12 136	10 224	11 408
Julio	-	12 318	11 993	11 398
Agosto	-	10 772	10 710	-
Septiembre	8 846	10 664	10 013	-
Octubre	8 773	9 095	10 451	-
Noviembre	8 698	-	18 550	-
Diciembre	10 012	13 518	14 825	-

La **Figura 4.1** presenta de manera ilustrativa los anteriores datos tabulados por cada año. Con el fin de visualizar mejor los mismos se promedió el mes de noviembre del año 2015 con los datos de su año anterior y posterior.

Si se grafica un promedio de los meses se obtiene la tendencia mostrada en la **Figura 4.2**. Es importante tomar en cuenta que se presenta una clara disminución en los consumos de junio a octubre, mientras que se tiene una alza de noviembre a abril. Este mayor consumo se explica por la presencia de la época seca en la región y por poseer también las temporadas de vacaciones, en las que se incrementa la población de turistas en hoteles y comercios.

Con estos datos y tomando el crecimiento anual de población de 3,5 % es que se realizan proyecciones de consumo hasta el año 2045. Se plantean tres escenarios a tomar en consideración:

1. Consumo real de los últimos 12 meses: este caso toma el consumo total de los últimos 12

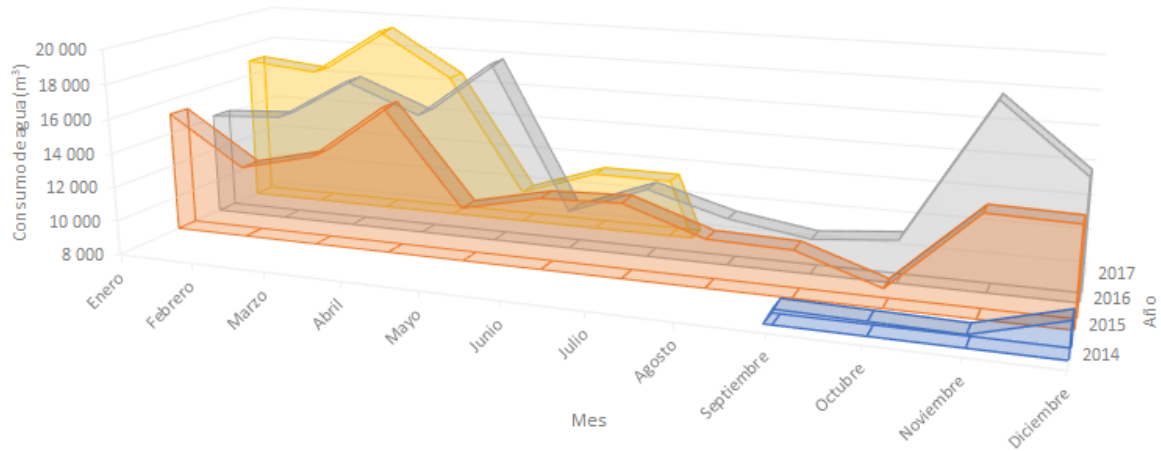


Figura 4.1: Consumos de agua registrados en los últimos años por la ASADA de Playa Potrero (elaboración propia, 2017)

meses, que sería de $166\,706\text{ m}^3$ y se reparte equitativamente entre los 365 días del año, resultando en un consumo inicial de $456,7\text{ m}^3/\text{día}$.

$$Q_a = \frac{166\,706\text{ m}^3/\text{año}}{365\text{ días}} = 456,7\text{ m}^3/\text{día} \quad (4.1)$$

- Consumo máximo de cada mes: el segundo caso toma los valores máximos de cada mes (por ejemplo, entre los tres valores de julio, se toma julio 2015) y los suma, teniendo un total anual con los valores máximos de cada mes. Este resulta en un total de $177\,881\text{ m}^3$, que se traduce a un valor inicial de $487,3\text{ m}^3/\text{día}$.

$$Q_b = \frac{177\,881\text{ m}^3/\text{año}}{365\text{ días}} = 487,3\text{ m}^3/\text{día} \quad (4.2)$$

- Máximo consumo mensual: este toma el mayor valor de entre todos los valores de meses disponibles, que corresponde a marzo 2017 con un valor de $19\,366\text{ m}^3$. este se multiplica por 12, asumiendo un caso en el que la demanda sea siempre igual a la de ese caso extremo, teniendo un equivalente inicial de $636,7\text{ m}^3/\text{día}$.

$$Q_c = \frac{19\,366\text{ m}^3/\text{mes} \cdot 12\text{ meses}}{365\text{ días}} = 636,7\text{ m}^3/\text{día} \quad (4.3)$$

Las proyecciones de la tasa de $\text{m}^3/\text{día}$ de consumo se presentan en el **Cuadro 4.2**, utilizando el crecimiento anual de 3,5%.

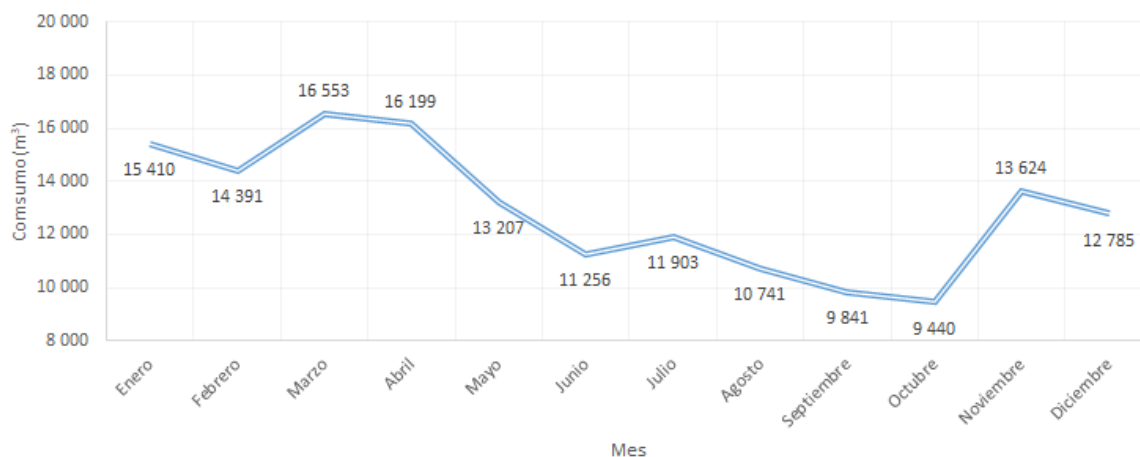


Figura 4.2: Promedio del consumo de agua de acuerdo al mes, desde el año 2014 (elaboración propia, 2017)

Cuadro 4.2: Proyección de consumo para los tres casos seleccionados, en m^3 /día (elaboración propia, 2017).

Año	Consumo real de últimos 12 meses	Consumo real de cada mes máximo	Máximo consumo de un mes
2020	506,4	540,3	705,9
2021	524,1	559,2	730,6
2022	542,5	578,8	756,2
2023	561,4	599,1	782,7
2024	581,1	620,0	810,0
2025	601,4	641,7	838,4
2026	622,5	664,2	867,7
2027	644,3	687,4	898,1
2028	666,8	711,5	929,5
2029	690,1	736,4	962,1
2030	714,3	762,2	995,8
2031	739,3	788,9	1 030,6
2032	765,2	816,5	1 066,7
2033	792,0	845,0	1 104,0
2034	819,7	874,6	1 142,7
2035	848,4	905,2	1 182,6
2036	878,1	936,9	1 224,0
2037	908,8	969,7	1 266,9
2038	940,6	1 003,7	1 311,2
2039	973,5	1 038,8	1 357,1
2040	1 007,6	1 075,1	1 404,6
2041	1 042,9	1 112,8	1 453,8
2042	1 079,4	1 151,7	1 504,7
2043	1 117,1	1 192,0	1 557,3
2044	1 156,2	1 233,7	1 611,8
2045	1 196,7	1 276,9	1 668,2

Los consumos obtenidos al final del plazo, que varían entre los 1 100 m^3 /día y los 1 700 m^3 /día, son equivalentes a un ámbito de demanda de 13 L/s a 20 L/s respectivamente. Estos valores se utilizarán más adelante, en conjunto con los valores de demanda del invernadero, para conseguir diseñar la capacidad y plan de introducción de unidades desalinizadoras de la planta en su totalidad.

4.1.2. Demanda de agua para invernadero

El invernadero como tal tiene dos divisiones demandantes de agua, ambas sin requerir de parámetros de potabilidad. Estas corresponden al agua de riego del cultivo por seleccionar y, por otra parte, el agua necesaria para crear las condiciones de acondicionamiento climático dentro del invernadero.

4.1.2.1. Riego del cultivo

Al determinar la demanda de riego del cultivo, es necesario definir qué producto será el elegido para su implementación. Luego de tomar en cuenta diversos aspectos generales que se explicarán a continuación, el tomate (*solanum lycopersicum*) ha sido el elegido para modelar los consumos hídricos.

En primera instancia, se busca un cultivo que sea de alta demanda de consumo, esto con el fin de poder fomentar la agricultura de un producto final con posibilidad de inserción al mercado actual sin muchas dificultades. En este caso, de acuerdo con un estudio realizado por el Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA), el tomate es la segunda hortaliza de mayor consumo en el territorio nacional, con aproximadamente 19,9 kg por persona al año (Barquero, 2014).

A su vez, el tomate es una especie que ha tenido gran relevancia productiva en modalidades de ambientes controlados. Este es uno de los cultivos con mejores resultados en invernaderos, debido a la facilidad de preparación de su suelo y sistemas de riego adecuados (Agropinos, 2014). También han sido participes de estudios que muestran las reducciones de consumo de agua cuando se tratan cultivos en invernaderos, respecto a agricultura tradicional (Rojas, 2015). En este, se dan reducciones de demanda hídrica de hasta el 50 %. Esto ha hecho que el desarrollo de este cultivo en este tipo de ambientes se dé de manera más acelerada, teniendo acceso a manuales específicos de producción de tomates en invernadero, como el desarrollado por la Universidad de Bogotá en el 2009 (Escobar y Lee, 2009), donde se encuentran los datos de consumo hídrico en sus diferentes etapas de trasplante, tal y como muestra el **Cuadro 4.3**.

Cuadro 4.3: Demanda hídrica del tomate en invernadero según semana de trasplante (Escobar y Lee, 2009)

Semana de trasplante	Mínimo consumo diario (L/m ²)	Máximo consumo diario (L/m ²)
1	0,6	1,3
2-5	1,5	3,0
6	3,5	3,8
7-9	3,5	4,0
10-11	4,0	4,5
12-15	4,5	5,0
16-17	5,5	6,0
18-20	5,5	6,0
21-27	5,0	5,0

Un problema que podría enfrentar la producción de tomate es su tolerancia a la salinidad de los suelos. Al tratar con agua desalinizada, este aspecto se tomó en cuenta visualizando la posibilidad de suministrar al invernadero con agua parcialmente salada y por ello se desarrolla el **Cuadro 2.5** donde el tomate se clasifica como moderadamente sensible. Esta característica no es tan determinante como la demanda hídrica y de consumo del mismo, ya que existen medidas agronómicas para tratar la salinidad del suelo en el caso específico de este cultivo, las cuales involucran modificaciones del sustrato permisibles en invernaderos (Goykovic y Saavedra del Real, 2007). Además, tal y como se verá más adelante, algunas opciones comerciales para llevar a cabo la desalinización permitirán alimentar el invernadero con agua con salinidades sumamente bajas y por lo tanto, no se tendría el problema de suelos salinos.

Con base en lo observado en las giras referente a terreno disponible, se define que el tamaño del invernadero a alimentar debe ser entre 1 000 m² y 10 000 m². Para determinar un valor específico, se procede a contemplar una producción de tomate tal cual que pueda suplir la demanda de un poblado como el de Playa Potrero a lo largo del año. Para ello, si actualmente la ASADA cuenta con 331 servicios y se asumen los mismos como viviendas de hasta 6 personas (Acueductos y Alcantarillados, 2001), se obtiene una población aproximada de unas 2 000 personas para la cual se calculará un consumo de tomate anual con la ec. 4.4, que toma la razón de consumo de 19,9 kg por persona al año anteriormente expuesta.

$$M_{\text{año}} = 2000 \text{ personas} \cdot \frac{19,9 \text{ kg}}{\text{persona} \cdot \text{año}} = 39\,800 \text{ kg/año} \quad (4.4)$$

También se tiene que se necesita alrededor de una hectárea (10 000 m²) por cada 150 toneladas de tomate cultivado en ambientes protegidos como los invernaderos (Barrientos, 2010). Así, la ec. 4.5 muestra la cantidad de terreno que se necesitaría para la producción anual planteada de 39 800 kg.

$$A_{\text{suelo}} = 39\,800 \text{ kg} \cdot \frac{10\,000 \text{ m}^2}{150\,000 \text{ kg}} = 2\,653 \text{ m}^2 \quad (4.5)$$

Finalmente, asumiendo que se pueda dar una cantidad de agua equivalente a la máxima necesaria en el periodo de trasplante para todo el cultivo, se toma un valor de 6,0 L/m² diarios tomados del **Cuadro 4.3**. Así, la ec. 4.6 muestra la cantidad de agua necesaria, por concepto de riego, para el invernadero supuesto que se está planteando. Esta se combinará

con la demanda de agua por concepto de climatización del invernadero para caracterizar el consumo hídrico total del mismo.

$$\text{Demanda hídrica} = 2\,653\, m^2 \cdot \frac{6,0\, L}{m^2 \cdot \text{día}} = 15\,920\, L/\text{día} = 15,92\, m^3/\text{día} \quad (4.6)$$

4.1.2.2. Acondicionamiento del invernadero

El acondicionamiento consiste en poder proveer las condiciones necesarias de temperatura y humedad al invernadero para la correcta evolución del tomate en su proceso de cultivo. Tal y como se explicó en la sección 2.6, una manera de asegurar estas condiciones es mediante métodos de enfriamiento evaporativo, utilizando agua para cambiar las condiciones de entrada del aire al invernadero.

Con el fin de obtener una cantidad estimada del agua necesaria para llevar a cabo esta operación, se realizará el cálculo termodinámico respectivo. Estos son realizados bajo parámetros de temperatura y humedad que representen los casos con mayores demanda de agua posibles.

Se supone el caso en el que se tenga que aumentar al máximo la cantidad de agua presente en el aire de entrada. Si se observa la **Figura 4.3**, este es en el que se deba tener un mayor aumento de la proporción de humedad en el aire. Por lo tanto, es donde el cambio de estado en el aire provocado por el enfriamiento evaporativo tenga una mayor distancia vertical en la carta psicrométrica. Nótese que se suponen condiciones de altura al nivel del mar por la cercanía con la costa.

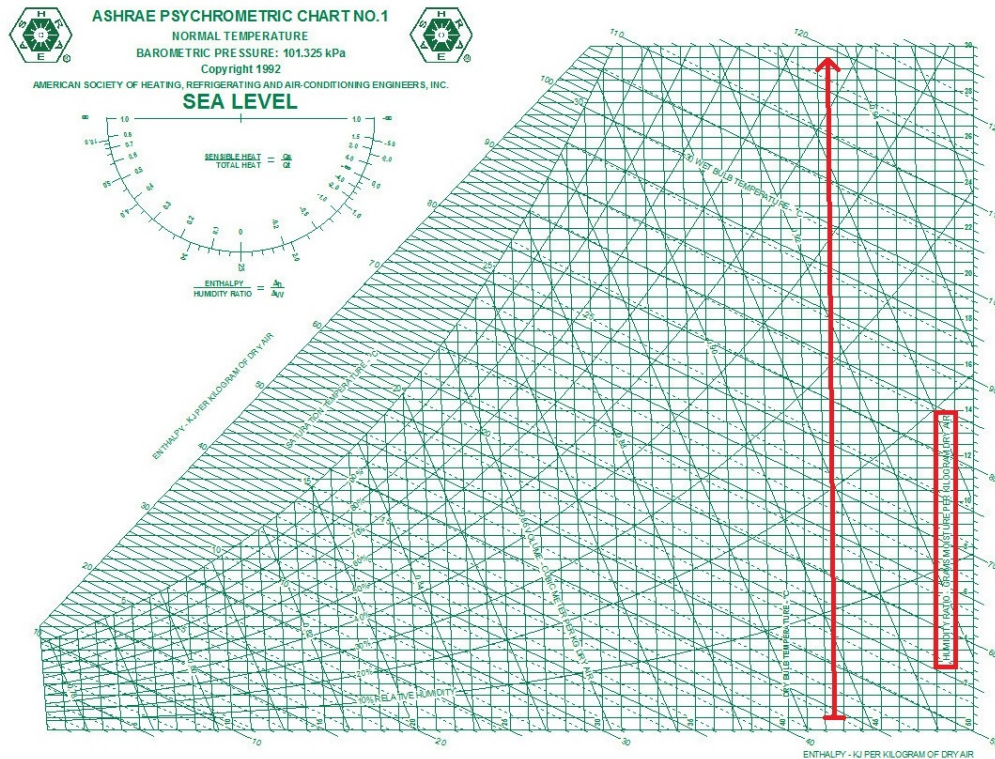


Figura 4.3: Carta psicrométrica a nivel del mar. Flecha roja indica comportamiento de mayor cantidad de agua requerida para el proceso (Rossi, 1992).

De esta manera, se buscará que el aire antes de entrar al proceso de enfriamiento evaporativo tenga la menor cantidad de humedad relativa posible, así como la mayor temperatura. En el periodo desde el 2004 al 2016 la mayor temperatura promedio mensual presentada fue durante el mes de abril con un valor de 34,7 °C en la estación meteorológica más cercana a Playa Potrero, ubicada en Pinilla (Instituto Meteorológico Nacional, 2017). De manera homogénea, el menor valor promedio mensual de humedad relativa que se obtuvo en ese lapso se dio durante el mes de febrero, con un 58,5 %. Esto marca el estado 1, o de aire exterior, para el proceso psicrométrico.

El estado 2 corresponde a aquel al que se debe llevar el aire para ingresar al invernadero. De igual manera, el peor escenario será aquel que tenga la mayor temperatura necesaria posible, pero esta vez junto a la mayor humedad relativa. Este estado maximizará la cantidad de agua necesaria que se deba suministrar al aire tratado. Esta condición de temperatura es de 30 °C (Torres, 2017), mientras que en lo que respecta a humedad corresponde a un 90 %, dado durante la noche (Escobar y Lee, 2009).

Ahora se debe de conocer la proporción de humedad correspondientes a ambos puntos. Para ello, se aplica la ec. 4.7, (Çengel y Boles, 2012).

$$W = 0,621\ 945 \cdot (P_{vs} \cdot HR)/(P - P_{vs} \cdot HR)$$

Donde :

W : Proporción de humedad en kg_{agua}/kg_{aire} (4.7)

P_{vs} : Presión de vapor saturado en kPa

HR : Humedad relativa

P : Presión atmosférica, de 101,325 kPa

El **Cuadro 4.4** muestra un resumen de estos valores para ambos estados y su respectivo resultado de proporción de humedad. Los valores de presión de vapor saturado fueron extraídos de Çengel y Boles (2012) utilizando tablas de datos de vapor saturado para las temperaturas correspondientes. El cambio de estados en la carta psicrométrica puede observarse en la **Figura 4.4**.

Cuadro 4.4: Valores para cálculo de proporción de humedad en diferentes climatizaciones. (elaboración propia, 2017)

Estado	Temperatura T (°C)	Humedad relativa HR (%)	Presión de saturación P_{vs} (kPa)	Proporción de Humedad W (kg_{agua}/kg_{aire})
Aire exterior	34,7	58,5	3,244	0,020 571
Aire tratado	30,0	90	3,822	0,024 379

Ahora que ya se tienen las diferencias de proporción de humedad entre los estados se necesita conocer la cantidad de aire que se tratará al entrar al invernadero. Se tiene que para ventilaciones en invernaderos se tienen renovaciones totales del volumen de aire de hasta 60 ciclos por hora, es decir, el volumen total de aire del invernadero se renueva por completo 60 veces cada hora, por lo que se deberán tratar 60 volúmenes de aire con enfriamiento evaporativo en esa cantidad de tiempo (Castilla, 2013).

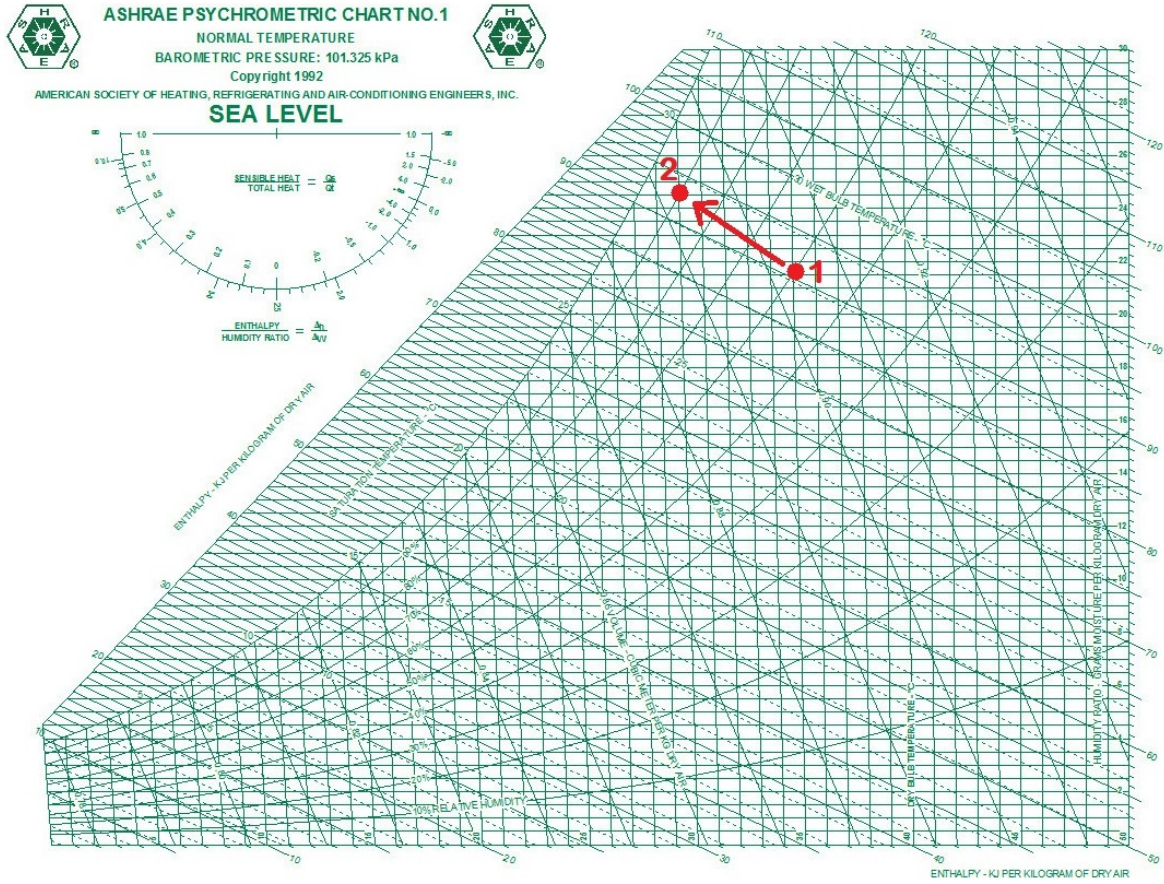


Figura 4.4: Cambio de estado termodinámico del aire en invernadero (elaboración propia, carta psicrométrica de Rossi, 1992).

El volumen del invernadero se supone con el área de $2\,653\text{ m}^2$ ya calculados en la ec. 4.5. Este valor se multiplica por una altura supuesta de 3 m, obteniendo un volumen total de $7\,959\text{ m}^3$ de aire a renovar por ciclo. Si se utiliza la temperatura exterior de $34,7\text{ °C}$ con la presión atmosférica de $101,325\text{ kPa}$, se puede utilizar la ec. 4.8 para calcular la masa de aire correspondiente. Esta es la ecuación de gas ideal básica modificada, utilizada con una constante R de $0,287\text{ kJ/kgK}$ (Çengel y Boles, 2012)

$$\rho = P / (R \cdot (T + 273))$$

Donde :

- ρ : densidad en kg/m^3 (4.8)
- P : Presión atmosférica, de $101,325\text{ kPa}$
- R : Constante del gas ideal, de $0,287\text{ kJ/kgK}$
- T : Temperatura en $°C$

Aplicando la ecuación anterior se tiene un resultado de $1,147\text{ kg/m}^3$. Este valor multiplicado por la cantidad de renovaciones en ciclos por hora da un flujo másico de aire de $547\,919,8\text{ kg}_{aire}/h$ como muestra la ec. 4.9.

$$\begin{aligned} \text{Flujo de aire} &= \text{Densidad} \cdot \text{Renovaciones} \\ &= 1,147 \text{ kg/m}^3 \cdot 60 \text{ ciclos/h} = 547\,919,8 \text{ kg}_{\text{aire}}/\text{h} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Esto se multiplica finalmente por la diferencia de proporciones de humedad, para saber cuánta agua deberá suministrarse al proceso de enfriamiento evaporativo, tal y como muestra la ec. 4.10.

$$\begin{aligned} \text{Demanda hídrica por climatización} &= \text{Flujo de aire} \cdot (W_2 - W_1) \\ &= 547\,919,8 \text{ kg}_{\text{aire}}/\text{h} \cdot (0,024\,379 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aire}} - 0,020\,571 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aire}}) \\ &= 2\,086,48 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{h} \end{aligned} \quad (4.10)$$

Utilizando la densidad del agua de 1 kg/L , el valor anterior equivaldría a $2086,48 \text{ L/h}$ de agua, equivalentes a su vez a $0,58 \text{ L/s}$ o $50,08 \text{ m}^3/\text{día}$.

4.1.2.3. Proyección de demanda total del invernadero

Los dos puntos anteriores hacen que la demanda de agua total por el invernadero sea de $66,00 \text{ m}^3/\text{día}$, tal y como muestra la ec. (4.11).

$$\text{Total de agua para el invernadero} = 15,92 \text{ m}^3/\text{día} + 50,08 \text{ m}^3/\text{día} = 66,00 \text{ m}^3/\text{día} \quad (4.11)$$

Con el fin de proyectar un aumento en esta producción de igual manera que el consumo regular de agua potable, y partiendo de los hechos de que los cálculos de demanda de agua para el invernadero tienen su origen en la cantidad de personas a abastecer y son todos linealmente proporcionales, se procede a aplicar el mismo crecimiento de $3,5\%$ anual a la demanda hídrica de este aspecto utilizado para la demanda de agua potable. El **Cuadro 4.5** muestra los resultados de esta proyección.

De esta manera, se puede observar como los consumos al final del plazo se aproximan a los $172,92 \text{ m}^3/\text{día}$, equivalentes a $2,00 \text{ L/s}$.

4.2. Selección de sistema de desalinización

4.2.1. Fundamentación de la preselección

En el capítulo 3 se comentó sobre las características de los principales métodos implementados en el mundo como RO, MSF y otros, así como algunas tecnologías novedosas que han surgido en los últimos años. Debido a que las condiciones varían dependiendo de la ubicación donde se vaya a colocar la planta, el clima, los recursos disponibles y otros factores, el diseño pasa a ser una tarea más compleja y personalizada para cada planta.

Las capacidades de producción del sistema deben ser suficientes no solo para saciar la demanda actual, sino que debe tener la capacidad de expansión para la demanda proyectada a futuro. El ámbito que contempla este crecimiento poblacional se encuentra entre los $1\,200 \text{ m}^3$ y $1\,800 \text{ m}^3$ de agua al día. Se tiene conocimiento de que las tecnologías comerciales poseen amplios ámbitos de producción (en metros cúbicos por unidad de tiempo), siendo de fácil adaptación a diferentes escenarios. En el caso de las tecnologías alternativas, si bien muestran resultados positivos y beneficios importantes, aún tienen limitantes operativas como

Cuadro 4.5: Proyección de consumo hídrico debido al invernadero (elaboración propia, 2017)

Año	Demanda hídrica ($m^3/\text{día}$)
2020	73,17
2021	75,73
2022	78,38
2023	81,13
2024	83,96
2025	86,90
2026	89,95
2027	93,09
2028	96,35
2029	99,72
2030	103,21
2031	106,83
2032	110,57
2033	114,44
2034	118,44
2035	122,59
2036	126,88
2037	131,32
2038	135,91
2039	140,67
2040	145,59
2041	150,69
2042	155,96
2043	161,42
2044	167,07
2045	172,92

problemas de eficiencia, altos consumos energéticos y bajos ámbitos de producción (Subramani et al, 2015). Las tecnologías recientes que operan por principios térmicos, como lo es la humidificación-deshumidificación, estas presentan tasas de recuperación muy bajas, en el ámbito de 5 % a 20 % (Prakash et al, 2015). Por estas mismas razones es que aún no son competencia relevante para los métodos comerciales dominantes actualmente.

Tomando estas características en cuenta, la implementación para demandas entre 1 200 m^3 y 1 800 m^3 por día no se ha logrado desarrollar lo suficiente como para ser aplicada en el caso actual. Además, se debe tomar en cuenta aspectos como la ya existente trayectoria de las tecnologías comerciales, con historiales más consolidados y opciones para mitigar sus problemáticas más definidas. Para el caso de las metodologías más recientes, aún se encuentran en investigación factores que establecen el valor de parámetros importantes como eficiencia, costos de mantenimiento y consumos energéticos. Otras cuestiones, como el desarrollo de materiales involucrados en el sistema, aún requieren de mayor investigación para mejorar los desempeños registrados que, si bien no son deficientes, no logran suplir la demanda hídrica mínima para el diseño (Subramani et al, 2015).

Como conclusión, se considera que las tecnologías que muestran ser contendientes impor-

tantes y que deberían analizarse por los aspectos mencionados anteriormente son los sistemas por MED, MSF, CV y RO, las cuales corresponden a las tecnologías comerciales predominantes hoy en día.

4.2.2. Parámetros de evaluación

Para la selección de los parámetros de decisión se tomaron en cuenta aspectos de relevancia, no sólo para la comunidad, sino que para todo el país en general. Aspectos como la búsqueda de la disminución de la huella de dióxido de carbono, el ámbito económico y el tiempo en que se logre mitigar la problemática de falta de agua son los cimientos en los que se basan los rubros de evaluación de las tecnologías de desalinización. Los parámetros que se van a tomar en cuenta y serán descritos más a fondo a continuación son:

- Compatibilidad con energías renovables.
- Costo inicial de la inversión.
- Consumo energético.
- Costo del mantenimiento.
- Eficiencia de la producción.
- Vida útil promedio.

Primeramente, se refirió a la vida útil del proyecto como uno de los factores de peso para la decisión. Esto se debe a que el mismo busca sostener la demanda de agua potable por varios años. Por estos motivos es que la tecnología a implementar debe tener una vida útil prolongada para lograr saciar la necesidad de agua por un tiempo prudente, el cuál para este caso se considera de 25 años como se menciona en la sección 4.1.

El capital de inversión, así como costos por operación del equipo engloban parte de las mayores contrapartes de esta tecnología. Aunque existen plantas de desalinización que operan desde el siglo pasado, actualmente el proceso aún posee un costo elevado. En el caso de las tecnologías térmicas, la demanda hídrica va de la mano con la cantidad de etapas, traduciéndose en más equipos y espacio requerido. A nivel de operación, los costos por consumo energético son los más representativos en estas tecnologías. En el caso de la desalinización por destilación, la potencia más baja por metro cúbico de agua la registra CV. Para el caso de RO, suministrar la potencia requerida por las bombas para hacer fluir el agua salina por las membranas, son valores que rondan $2,5 \frac{kWh}{m^3}$ y $4 \frac{kWh}{m^3}$ (Voutchkov, 2013).

Tomando como ejemplo los sistemas por RO, si se retoma la **Figura 3.13**, más del 80 % de la energía empleada es bombeo de alta presión. Los costos por mantenimiento, si bien es cierto no representan gran porcentaje de los costos totales en la mayoría de las tecnologías, sigue siendo un aspecto importante a tomar en cuenta ya que sus variaciones son importantes. Por ejemplo, para el caso de MSF, su mantenimiento es considerado menos exigente que el requerido para las tecnologías de RO (Campos, s.f).

Las condiciones ambientales en las que se plantea instalar el sistema, posee uno de los mayores índices de agresividad para materiales por el alto contenido de cloruros que poseen las zonas costeras (Sica, Kenny, Portella y Campos, 2007). Otro tema importante es que las bombas también trabajan con agua marina en el lado de succión, la cual contiene altas concentraciones de cloruro de sodio. Adicionalmente, es relevante mencionar que en las tecnologías

de destilación, al operar a altas temperaturas y en combinación con ambientes corrosivos, obliga a utilizar materiales resistentes. Las plantas MSF que fueron construidas después de 1980 implementan aceros inoxidable y tipo dúplex, los cuales representan un costo importante en estas tecnologías (Khawaji et al, 2008). La degradación del material por el fenómeno de la corrosión y los recubrimientos necesarios para prolongar la vida útil de los equipos es un tema importante de incluir en el análisis.

La evaluación de los costos involucrados en la selección de la tecnología es un factor que tiene peso dentro de la selección, sin embargo, se considera que tanto lograr suplir la necesidad de agua, como asegurar que el proyecto tenga una vida útil considerable son preferibles a un equipo de bajo costo.

Habiendo mencionado la alta demanda energética que involucran estos proyectos, se presenta la opción de las energías renovables como una oportunidad de saciar parte de la misma. Esto no representa solamente un ahorro por costos operativos, sino que se apega al compromiso que existe a nivel nacional con el ambiente y el uso de energías alternativas. Costa Rica posee gran variedad de fuentes de energías renovables, las cuales pueden representar una oportunidad para que el porcentaje de la demanda energética del proyecto sea sustentado por ellas. Además, al estar ubicados en la provincia de Guanacaste, fuentes como la energía eólica y la solar abundan en este sector. Es por este motivo que el sistema podría operar en conjunto con el suministro de alguna de las energías renovables disponibles en la zona y así explotar el recurso.

El último rubro incluido es la eficiencia general que posee el sistema. Se trata la eficiencia como el cociente de la cantidad de agua desalinizada producida entre la cantidad de agua salada suministrada. De este aspecto se derivan muchos otros temas importantes relacionados al diseño debido a que determina el caudal requerido a la entrada del sistema. A partir de la carga hidráulica definida en el suministro, se definen los diámetros de tuberías, el calibre de los equipos requeridos, y por ende, parte del consumo eléctrico que se vaya a tener en la planta. Al apreciar las repercusiones que posee el no tener un equipo con alta eficiencia, se considera un relevante en el proceso de selección.

En el análisis se tomaron en cuenta dos rubros específicos que, al evaluarlos a fondo, se decidió omitirlos en el proceso de selección. Estos son la compatibilidad para la escala de demanda de agua del proyecto y los ámbitos de salinidad que pueden manejar los sistemas. Las cuatro tecnologías mostraron ser competentes para ambos casos. Los ámbitos comunes, mencionados por Tristar Water Solutions, indican que el equipo de RO opera en un ámbito entre 14 000 ppm y 50 000 ppm (Tristar Water Solutions, 2012). Este ámbito corresponde a los más bajos entre las tecnologías comerciales. Metodologías como la del sistema MSF logran manejar valores entre los 60 000 ppm y 70 000 ppm (Cooley, Gleick y Wolff, 2006), dándole una mayor libertad de operación. Sin embargo, los ámbitos de salinidad en los océanos rondan entre 17 000 ppm y 45 000 ppm dependiendo de la zona de estudio, por lo que, para aplicaciones de desalinización, este parámetro recae sobre los ámbitos de operación de todas las tecnologías comerciales. En el caso de la compatibilidad con la escala del proyecto, las tecnologías comerciales muestran ser adaptables a varias escalas de demanda. Al tomar en cuenta la información anterior, se considera que no son parámetros que den valor en el análisis, por lo que incluirlos no influye en el criterio de selección.

4.2.3. Selección por factores ponderados

La herramienta de la matriz de criterios múltiples, posee muchas modalidades, pero su propósito es poder realizar una selección de la manera más objetiva. El uso de esta matriz específica permite definir un coeficiente de importancia relativa (CIR). Este coeficiente define el porcentaje de peso que poseen los criterios de selección definidos a partir de la comparación de cada rubro con los demás y su cálculo se detalla más adelante. Lo que pretende la matriz es poder cotejar dos criterios a la vez, logrando definir cuántas veces más importante es un criterio respecto a otro.

Este análisis procede a realizarse por medio de parejas de criterios, en donde el orden en que se realice la comparación es importante. Se hace énfasis en el orden ya que el análisis se realiza de la siguiente manera, por darlo como ejemplo:

¿Qué tanto más importante es el rubro “X” al compararlo con el rubro “Y”? Posterior a un análisis grupal del rubro y su peso en la aplicación, se define que en una escala del 1 al 10, el criterio “X” es 4 veces más importante.

El valor de 4 en este caso se asigna como ejemplo, pero esto variará según la pareja de criterios que se analice. Se debe destacar el hecho de que el valor de 1 se asigna en los casos en que la pareja en análisis corresponde al mismo criterio. Así también, cuando se tiene el análisis inverso, lo que corresponde es asignar el valor recíproco del que fue asignado previamente (lo explicado anteriormente se puede apreciar en el **Cuadro 4.6**).

Cuadro 4.6: Ejemplo de la asignación de valores a los rubros (elaboración propia, 2017)

Rubros	X	Y
X	1	4
Y	1/4	1

Cuadro 4.7: Plantilla para el arreglo del contenido en la matriz

RUBROS	Rubro 1	Rubro 2	Rubro 3	...	Rubro m	Σ Rubros
Rubro 1	1	Valor ₁₂	Valor ₁₃	...	Valor _{1n}	Σ Rubro 1
Rubro 2	Valor ₂₁	1	Valor ₂₃	...	Valor _{2n}	Σ Rubro 2
Rubro 3	Valor ₃₁	Valor ₃₂	1	...	Valor _{3n}	Σ Rubro 3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Rubro m	Valor n_1	Valor n_2	Valor n_3	...	1	Σ Rubro m

El arreglo de los criterios se acomoda tal y como se muestra en el **Cuadro 4.7**, en donde se colocan los rubros definidos en una columna, así como en una fila, respetando el mismo orden y se asignan los valores respectivos. Posteriormente se realiza la sumatoria de todos los valores de cada rubro (ver ec. 4.12) y seguidamente, se realiza una sumatoria de las sumatorias (ver ec. 4.13), la cuál se emplea para obtener el CIR de cada rubro (ver ec. 4.14).

$$\Sigma \text{ Rubro } 1 = 1 + \text{Valor}_{12} + \text{Valor}_{13} + \dots + \text{Valor}_{1n} \quad (4.12)$$

$$\Sigma \text{ Suma General} = \Sigma \text{ Rubro } 1 + \Sigma \text{ Rubro } 2 + \dots + \Sigma \text{ Rubro } m \quad (4.13)$$

$$CIR \text{ del Rubro } 1 = \frac{\Sigma \text{ Rubro } 1}{\Sigma \text{ Suma General}} \quad (4.14)$$

Posterior al análisis, el **Cuadro 4.8** muestra la importancia relativa asignada entre los rubros de evaluación definidos. Además, los resultados de cada CIR, y su representación como porcentaje se puede apreciar en el **Cuadro 4.9**, mientras que una mejor visualización de la distribución se muestra en la **Figura 4.5**.

Como resultado de esto, para la selección de una tecnología que se acople de la mejor manera a las necesidades del proyecto está que el rubro más importante es la vida útil. Este resultado concuerda con los parámetros del proyecto ya que, si bien la eficiencia y el costo es importante, el proporcionar un sistema que no dure un tiempo considerable no es aceptable para el proyecto. El hecho de que la eficiencia del proyecto y el consumo eléctrico posean pesos tan altos va de la mano con el requisito de poder saciar la necesidad de la población al menor costo posible.

Lo que se logró realizar con la herramienta es asignar los pesos que tiene cada rubro elegido para realizar la decisión más acorde a las necesidades. El uso de esta matriz logra generar una evaluación más adecuada, puesto que no se tratan todos los criterios con la misma importancia, permitiendo así que las características que presentan una ventaja significativa para la aplicación verdaderamente se reflejen en la nota ponderada final.

Cuadro 4.9: Resultados de CIR de cada criterio de evaluación (elaboración propia, 2017)

Rubro	Σ Rubro	CIR	Porcentaje (%)
Compatibilidad con energías renovables	9,59	0,142	14,2
Costo inicial de la inversión	8,17	0,121	12,1
Consumo energético	15,50	0,229	22,9
Costo por mantenimiento	2,28	0,034	3,4
Eficiencia de la producción	13,00	0,192	19,2
Vida útil promedio	19,00	0,281	28,1
Σ Sumatoria general	67,54	1,00	100,00

Cuadro 4.8: Importancia relativa asignada para cada criterio de evaluación (elaboración propia, 2017)

Rubro	Compatibilidad con energías renovables	Costo inicial de la inversión	Consumo energético	Costo por mantenimiento	Eficiencia de la producción	Vida útil promedio
Compatibilidad con energías renovables	1	3	1/4	5	1/5	1/7
Costo inicial de la inversión	1/3	1	1/4	6	1/3	1/4
Consumo energético	4	4	1	4	2	1/2
Costo por mantenimiento	1/5	1/6	1/4	1	1/3	1/3
Eficiencia de la producción	5	3	1/2	3	1	1/2
Vida útil promedio	7	4	2	3	2	1

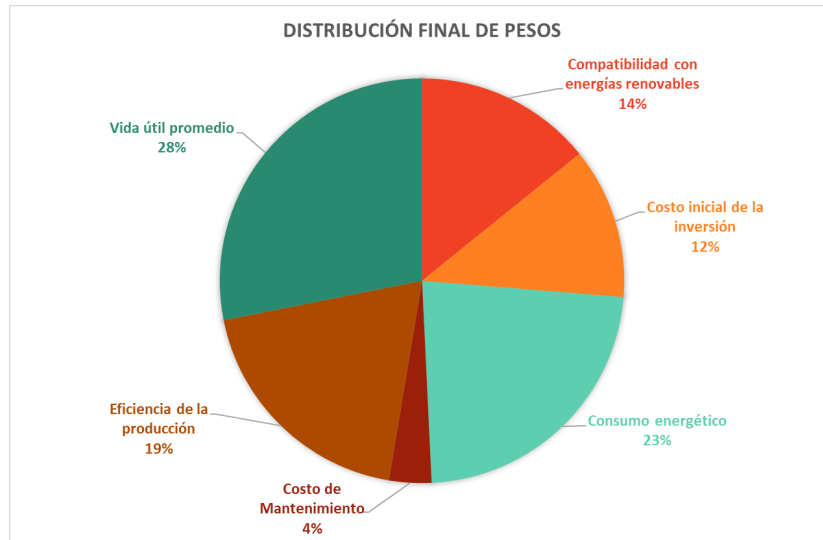


Figura 4.5: Distribución final de pesos para cada criterio de evaluación (elaboración propia, 2017)

Se aplicarán estos factores para cada tecnología de desalinización según la información obtenida durante la investigación. Los pesos asignados son el CIR obtenido con la matriz de criterios múltiples explicada anteriormente. La tabla de calificaciones se presenta con valores distanciados entre sí, permitiendo que los resultados no tiendan a ser similares. Estos valores para calificación se definieron tal y como se muestra en el **Cuadro 4.10**. El tener una escala con valores más seguidos, podría generar una tendencia en donde los resultados sean muy similares, quedando con la misma incógnita de cuál tecnología se acopla mejor al proyecto.

Cuadro 4.10: Escala de valores para la calificación de las tecnologías (elaboración propia, 2017)

Descripción	Valor
Debilidad crítica	1
Debilidad	3
Fortaleza	6
Fortaleza sobresaliente	9

Los porcentajes de desempeño que aparecen en el **Cuadro 4.12** surgen a partir del contenido del **Cuadro 4.11**. Se puede apreciar que RO se muestra como la tecnología predominante entre las cuatro evaluadas. Lo anterior se relaciona directamente con la calificación que se le asigna en los criterios de decisión con mayor peso para la selección, como lo es la vida útil promedio y el consumo energético. El principio de RO es la tecnología que tiene el menor consumo por cantidad de agua producida, ahí el porqué se le califica como una fortaleza sobresaliente. Además, aunque no es un rubro de evaluación, el hecho de que esta tecnología ya sea empleada en el país le da un valor agregado. Por lo tanto, y en vista de los resultados obtenidos, la tecnología que se muestra como la idónea para su aplicación en el proyecto es la de RO.

Cuadro 4.11: Resultados de la calificación de las tecnologías para su implementación en el proyecto (elaboración propia, 2017)

Rubro de evaluación	RO			MSF			CV			MED		
	Peso (%)	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	Calificación	Ponderado	
Compatibilidad con energías renovables	14,20	9	127,82	6	85,22	3	42,61	3	42,61	3	42,61	
Costo inicial de la inversión	12,09	9	108,82	3	36,27	6	72,55	6	72,55	6	72,55	
Consumo energético	22,95	9	206,54	1	22,95	6	137,69	1	22,95	1	22,95	
Costo por mantenimiento	3,38	3	10,14	9	30,43	6	20,28	9	30,43	9	30,43	
Eficiencia de la producción	19,25	6	115,48	3	57,74	9	173,22	3	57,74	3	57,74	
Vida útil promedio	28,13	9	253,17	3	84,39	3	84,39	6	168,78	6	168,78	

Cuadro 4.12: Resultados finales de la evaluación de tecnologías (elaboración propia, 2017)

Tecnología	Porcentaje de desempeño
RO	91,33 %
MSF	35,22 %
CV	58,97 %
MED	43,89 %

4.3. Selección de sistema de desalinización por ósmosis inversa

Para la selección de un equipo de RO se necesita definir dos parámetros específicos, los cuales permiten seleccionar adecuadamente el tipo de equipo que debe ser empleado. Estos aspectos son las pruebas fisicoquímicas del agua marina a suministrar y la cantidad de agua que se requiere producir. Estos permiten una caracterización de las condiciones involucradas en el proyecto y deben de indicarse claramente en la solicitud realizada al proveedor. El análisis de sensibilidad para la demanda hídrica fue realizado en la sección 4.1, en esta sección se presentan los resultados pertinentes de los muestreos del agua marina de la zona así como el proceso de selección del sistema de desalinización y el respectivo plan de instalación.

4.3.1. Pruebas fisicoquímicas del agua marina de la costa de Playa Potrero

Se necesita realizar pruebas fisicoquímicas al agua de suministro ya que esta determina el contenido de iones en el agua, así como su turbidez. Como el proceso de desalinización busca remover las sales disueltas, es necesario tener una noción del contenido mineral y el potencial de ensuciamiento que tiene el agua. Este potencial se puede cuantificar por medio del parámetro de turbidez del agua, el cuál indica el contenido de arcillas, barros, materia orgánica suspendida y vida marina microscópica (Voutchkov, 2013). El valor para la turbidez se expresa en unidades nefelométricas de turbidez (NTU por sus siglas en inglés), y los valores típicos para climas secos rondan entre 0,5 NTU y 2,0 NTU. Estos valores pueden ser alterados por lluvias, la floración de algas, tormentas, actividad humana, entre otros.

La metodología correcta para el muestreo del agua es realizar un mínimo de 5 muestras, a distintas profundidades y en los alrededores de donde se ubicaría la toma de agua (Geólogo Roberto Protti comunicación personal, 10 de octubre de 2017). Debido al costo económico que esto implica, se decidió tomar una única muestra en la costa, específicamente en la zona donde rompen las olas. Las pruebas fisicoquímicas fueron realizadas y donadas por el *Laboratorio Químico LAMBDA* y los resultados se pueden apreciar en el Anexo A.1.

Es a partir de la información obtenida de las pruebas fisicoquímicas que se completa el **Cuadro 4.13**. El proceso para obtener el total de sólidos disueltos consiste en sumar el total de cationes y aniones, los cuales se obtienen a partir de los valores del contenido mineral del agua (Vouthkov, 2013). Observando los resultados se puede apreciar que el contenido mineral cae dentro del ámbito normal mencionado en la sección 4.2.2. Además, las pruebas de laboratorio muestran que la turbidez es de 0,21 NTU.

Cuadro 4.13: Suma de iones principales y TSD del agua marina de Playa Potrero. (elaboración propia a partir de la información de las pruebas fisicoquímicas en el Anexo A.1)

Parámetro	Concentración de TSD (mg/L)
Cationes	
Calcio	1 524
Magnesio	591
Sodio	14 562
Potasio	252
Boro	4,6
Total cationes	16 933,6
Aniones	
Bicarbonato	1 444
Sulfato	2 599
Cloruro	14 462
Fluoruro	0,006
Nitrato	0,05
Total aniones	18 505,056
TSD	35 438,656

4.3.2. Selección del modelo comercial

Se procedió a solicitar la cotización de equipos de tres marcas distintas con capacidades de alrededor de $500 m^3$ por día. Se definió este valor ya que permite una implementación escalonada de los módulos de desalinización a instalar. De esta forma se evita que el tratamiento de agua no dependa de un único equipo, lo que sería perjudicial en caso de una avería del mismo. Debido a que el recurso hídrico es una necesidad crucial para la comunidad, el detener su servicio por completo ante una falla en el equipo es algo que debe preverse.

La primera cotización se hizo con la marca Fluence Corporation Limited con casa matriz en Nueva York, EE.UU. Esta marca posee representación en Costa Rica con la empresa Desarrollos Internacionales de Salud S.A (DEINSA), ubicados en Guachipelín de Escazú. El equipo se distribuye en una modalidad 100 % modular llamada NIROBOX, puesto que los componentes vienen en un contenedor clase 40'HC, de dimensiones interiores de 12,03 metros de largo por 2,350 metros de ancho y 2,70 metros de altura. La cotización se realizó para un equipo de $500 m^3$ por día y su costo de \$620 975, incluyendo transporte hasta el sitio y su instalación se pueden ver en el **Cuadro 4.14**. La cotización formal se puede apreciar en el Anexo B.1.

La siguiente marca con la que se cotizó el equipo es Pure Aqua Inc., con casa matriz en Santa Ana, California, Estados Unidos. El equipo cotizado para una capacidad de producción de $514,81 m^3$ de agua fresca por día (136 000 galones americanos por día). La cotización completa se puede ver en el Anexo B.2, la cual incluye los costos por transporte hasta el país. Es relevante considerar que el transporte desde el puerto de desembarque y la instalación no son aspectos incluidos. La marca no tiene representantes en el país, sin embargo tiene proyectos activos en el territorio nacional. El desglose más específico también se puede apreciar en el **Cuadro 4.14**.

La última marca incluida dentro de las opciones evaluadas es Aqua Pro. Esta es una empresa mexicana, ubicada en Monterrey. La misma ha estado involucrada en más de 70 plantas de ósmosis inversa tanto nacionales como internacionales. El equipo cotizado con ellos tiene una capacidad de 473,13 m^3 por día de agua fresca. La descripción se puede apreciar en el Cuadro 4.14. Esta marca tampoco tiene representación en el país, pero posee proyectos en gran parte de América Central. La cotización se puede apreciar en el Anexo B.3.

Cuadro 4.14: Desglose de las cotizaciones realizadas (elaboración propia, 2017)

Detalles	Pure Aqua	Fluence Inc.	Aqua Pro
Costo del equipo	\$ 416 939	\$ 620 975	\$380 450
Porcentaje de recuperación	40 %	50 %	45 %
Capacidad de producción (m^3 /día)	514,81	500	472,8
Razón de costo por producción ($/(m^3$ /día))	810,0	1 242,0	805,5
Presión de suministro (kPa)	275,8 a 551,6	344,7	413,7
Garantía	12 meses posterior al arranque	12 meses posterior al arranque	12 meses posterior al arranque
Vida útil de membranas (años)	2 a 3	3	3
Consumo eléctrico (kWh/m^3)	3,5	2,45	2,64
Servicio de transporte en territorio nacional	No Disponible	Disponible	Disponible
¿Instalación incluida?	No	Sí	Sí
¿Opción de equipo en contenedor disponible?	Sí	Sí	Sí

En términos de garantía de los equipos no hay diferencia alguna, todos los proveedores ofrecen el mismo periodo. La vida útil de las membranas también muestra similitud entre las marcas. Además todas cuentan con opciones para instalación en contenedor. Sí es importante notar que la opción de Pure Aqua no incluye la instalación del equipo ni el transporte.

El detalle técnico del consumo eléctrico es crucial para el proyecto pues la cantidad de equipos requeridos para aprovechar la energía alternativa implementada dependen de ello. Esto debe verse también en comparación con el precio inicial, para obtener un criterio de costo operativo contra costo de inversión. Para ello, se realizó el **Cuadro 4.15** que proyecta las tres posibles comparaciones de estos dos rubros. Para ellos se utilizó la razón de consumo eléctrico de cada equipo con el cobro para zonas industriales de 61,23 colones el kWh (CoopeGuanacaste R.L, 2017).

Cuadro 4.15: Sensibilidad económica en inversión inicial y costos energéticos de operación (elaboración propia, 2017).

Aspecto	Año	Costo adicional de Fluence Inc respecto a Pure Aqua (\$)	Costo adicional de Aqua Pro respecto a Pure Aqua (\$)	Costo adicional de Fluence Inc respecto a Aqua Pro (\$)
Gasto relativo en consumo energético (acumulado)	2020	25 346	20 760	4 586
	2021	50 825	41 628	9 197
	2022	77 195	63 226	13 969
	2023	104 488	85 581	18 907
	2024	132 737	108 718	24 019
	2025	161 974	132 664	29 310
	2026	192 234	157 449	34 785
	2027	223 554	183 101	40 453
	2028	255 970	209 651	46 318
	2029	289 520	237 131	52 389
	2030	324 244	265 572	58 673
	2031	360 184	295 008	65 176
	2032	397 382	325 475	71 907
	2033	435 882	357 008	78 874
	2034	475 729	389 645	86 084
	2035	516 971	423 424	93 547
	2036	559 657	458 385	101 271
	2037	603 836	494 570	109 266
	2038	649 562	532 022	117 540
	2039	696 888	570 784	126 103
2040	745 870	610 903	134 967	
2041	796 567	652 426	144 141	
2042	849 038	695 403	153 635	
2043	903 346	739 883	163 463	
2044	959 554	785 921	173 634	
2045	1017 730	833 569	184 161	
Gasto relativo en inversión inicial		-612 108	109 467	-721 575

Explicando cada comparación se tiene lo siguiente:

- **Comparación de Fluence Inc respecto a Pure Aqua:** El costo total de los tres equipos de Fluence Inc sería de \$1 862 925 (\$620 975 c/u), mientras que los de Pure Aqua equivaldrían a \$1 250 817 (\$416 939 c/u). Esto significaría un ahorro de \$612 108 eligiendo Pure Aqua, sin embargo, por su diferencia de razón de consumo eléctrico esto se cubriría en costos de operación para el año 2038. Esto quiere decir que la elección de Fluence Inc por sobre Pure Aqua daría un ahorro total de \$405 622 al final del proyecto por su menor consumo energético.
- **Comparación de Aqua Pro respecto a Pure Aqua:** La opción de Aqua Pro ofrece un menor precio inicial y un menor consumo energético que la de Pure Aqua, por lo que realmente no hay balance positivo para esta última. Al final del proyecto la elección de Pure Aqua daría un ahorro de \$943 036 por ambos rubros analizados.
- **Comparación de Fluence Inc respecto a Aqua Pro:** esta última es la más interesante al cotejar la opción más barata en consumo energético con la más económica en inversión inicial. Fluence Inc. daría un ahorro por concepto de energía de \$184 161 respecto a Aqua Pro, sin embargo, los costos iniciales de inversión supondrían un ahorro de \$721 575 para la última. Esto hace que el ahorro energético de Fluence Inc nunca compense el abaratamiento del costo inicial de Aqua Pro por un ámbito de más del valor unitario de un cuarto equipo.

Este análisis saca de competencia la opción de Pure Aqua debido a que únicamente supera en costos iniciales a la opción de Fluence Inc, pero en términos energéticos es demasiado costosa de operar. A esto se le suma el hecho de que su valor cotizado no incluye rubros de transporte ni instalación. Además, su eficiencia de producción es la menor entre las tres.

De esta manera, la verdadera decisión se encuentra entre las opciones de Fluence Inc y Aqua Pro. A pesar de que la primera opera con una menor presión inicial de entrada (344,7 kPa contra 413,7 kPa) y con un 5% más de recuperación, no se considera que estos valores vayan a significar un balance positivo que compense el ahorro de \$721 575 al final del proyecto que ofrece la opción de Aqua Pro. Por ello a nivel económico esta última parece ser la mejor opción.

En cuanto a la calidad del agua resultante, el **Cuadro 4.16** realiza una comparación de los parámetros más importantes de la calidad de agua resultante de estos dos modelos respecto a los requerimientos dados por la normativa nacional. En resumen, ambas opciones cumplen con lo requerido sin diferencias significativas entre ellas.

Cuadro 4.16: Comparación de calidad de agua resultante según equipo (elaboración propia, 2017).

Parámetro	Límite establecido por normativa	Valores de Fluence Inc.	Valores de Aqua Pro
Sodio (mg/L)	200	67,0	96,0
Potasio (mg/L)	10	3,4	2,7
Magnesio (mg/L)	50	1,8	1,3
Calcio (mg/L)	100	0,6	3,3
Cloruro (mg/L)	250	110,6	137,2
Sulfato (mg/L)	250	1,6	5,8
Nitrato (mg/L)	50	0,0	0,0
Sólidos Totales Disueltos	1000	187,1	251,9
pH	8	6,7	8,0

Realizando un balance general que toma en cuenta el ahorro operativo, ahorro de inversión inicial y el cumplimiento normativo de la calidad de agua, la opción elegida para continuar el desarrollo del proyecto es la brindada por la empresa Aqua Pro.

4.3.3. Caracterización del conjunto AQUA PRO

La descripción total de la oferta de este equipo se puede encontrar en el Anexo B.3. Una vista superior del mismo se presenta en la **Figura 4.6**, dentro de un contenedor industrial de 12,19 m estándar tipo High Cube. Una imagen ampliada y a escala se puede encontrar en los Anexos C.1.

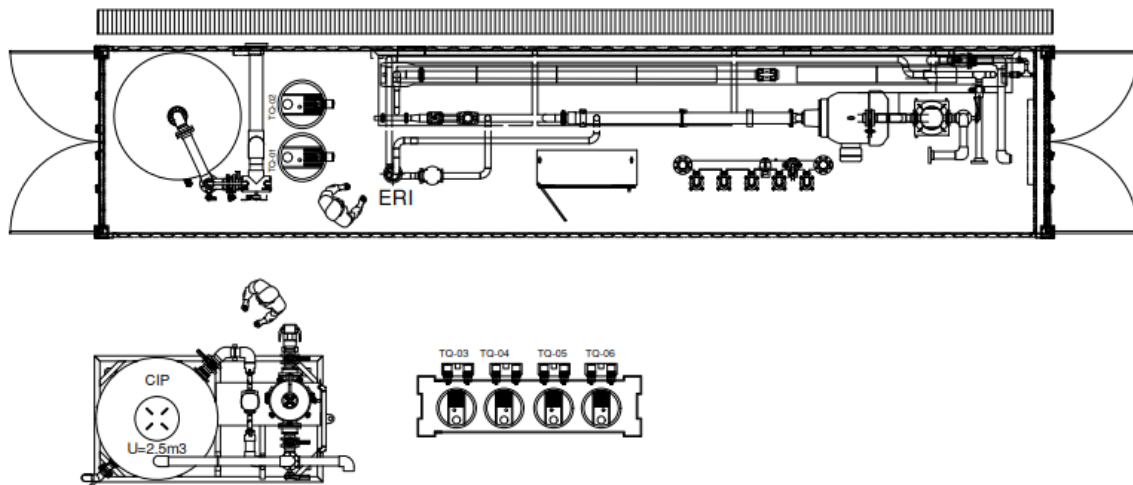


Figura 4.6: Vista superior del equipo ofrecido por Aqua Pro (Aqua Pro, 2017)

A continuación se presentan algunos de sus componentes principales, extraídos de la cotización del Anexo B.3. Un diagrama de flujo completo se puede observar en el Anexo C.2.

- **Dosificador de cloro libre:** antes de comenzar el procesos, se tiene un dosificador de hipoclorito de sodio con un tanque de almacenamiento de 140 L.

- **Sistema de filtros de cartucho y zeolita:** consiste en un sistema de prefiltración de los sólidos suspendidos. Los primeros son 5 filtros de 100 μm . De estos se pasa a un filtro único de zeolita.
- **Dosificador de inhibidor de incrustaciones y metabisulfito de sodio:** este posee dos tanques de 140 L que dosifican para 3 ppm y 4 ppm respectivamente.
- **Sistema de ósmosis inversa:** el módulo de marca A-Pro consiste en 5 arreglos de 7 membranas de poliamida marca Toray de 203,2 mm de diámetro y 1 016 mm de largo. Previo a estos se conecta con una tubería de acero inoxidable a la bomba centrífuga vertical multietapa de alta presión marca Fedco.
- **Recuperador de energía ERI:** este es un sistema recuperador de energía a través de un intercambiador de presiones. Aprovecha las presiones de rechazo, del agua cruda y las del agua de la bomba de alta presión.
- **Sistema de remineralización posterior:** este incluye una serie de dosificadores de soda cáustica, cloruro de calcio y cloro libre. Además cuenta con medidores de pH finales.

Esta oferta además incluye un equipo de limpieza de membranas en sitio (CIP) que se puede observar en la **Figura 4.6**.

4.3.4. Plan de instalación de módulos y cobertura hídrica

Como se vio en la sección 4.1, se evaluaron distintos escenarios de la demanda que presenta Playa Potrero según los históricos de consumos de la ASADA. El asumir que se tiene un comportamiento de la demanda hídrica igual que el valor máximo del año, durante todo el año, es un acercamiento demasiado conservador y que encarece así el proyecto. Así, se consideró que el tomar los valores máximos de cada mes es un criterio de diseño que posee un buen factor de seguridad, pero que no llega al punto de un sobre diseño del sistema. Esto representa un 77% del valor máximo de los datos históricos que se tienen. Con ello, junto a las demandas por concepto del invernadero, se tienen los ámbitos de producción aproximados en el **Cuadro 4.17**.

Dentro del plan de implementación de cada módulo de 473 m^3 /día se considera que una introducción abrupta de la nueva fuente de agua no generaría un impacto positivo en la comunidad. Se trata de una tecnología completamente desconocida para el personal encargado de gestionar el recurso hídrico, por lo que se debe tomar en cuenta en la planificación. Para esto se propone una inserción paulatina de la tecnología, permitiendo así también un cierre de los pozos en la misma manera. Es por esto que se propone llevar a cabo el proyecto según como se indica en la línea del tiempo que aparece en la **Figura 4.7**. El implementar el proyecto de esta manera permite que no se tenga una dependencia total de una nueva tecnología, haciendo que en caso de fallo, el recurso no se detenga totalmente. Además, los pozos no estarían siendo utilizados al 100%, evitando la sobre explotación de los pozos y sus debidas repercusiones a nivel ambiental.

Cuadro 4.17: Proyección final de la demanda del consumo hídrico (elaboración propia, 2017)

Año	Demanda de agua para riego (m³/día)	Demanda de agua para climatización (m³/día)	Demanda de agua potable (m³/día)	Demanda total de agua (m³/día)
2020	17,65	55,52	540,33	613,50
2021	18,27	57,46	559,24	616,70
2022	18,91	59,47	578,81	638,29
2023	19,57	61,56	599,07	660,63
2024	20,25	63,71	620,04	683,75
2025	20,96	65,94	641,74	707,68
2026	21,70	68,25	664,20	732,45
2027	22,46	70,64	687,45	758,08
2028	23,24	73,11	711,51	784,62
2029	24,06	75,67	736,41	812,08
2030	24,90	78,32	762,19	840,50
2031	25,77	81,06	788,86	869,92
2032	26,67	83,89	816,47	900,37
2033	27,61	86,83	845,05	931,88
2034	28,57	89,87	874,63	964,50
2035	29,57	93,01	905,24	998,25
2036	30,61	96,27	936,92	1 033,19
2037	31,68	99,64	969,71	1 069,35
2038	32,79	103,13	1 003,65	1 106,78
2039	33,93	106,74	1 038,78	1 145,52
2040	35,12	110,47	1 075,14	1 185,61
2041	36,35	114,34	1 112,77	1 227,11
2042	37,62	118,34	1 151,72	1 270,06
2043	38,94	122,48	1 192,03	1 314,51
2044	40,30	126,77	1 233,75	1 360,52
2045	41,71	131,21	1 276,93	1 408,13

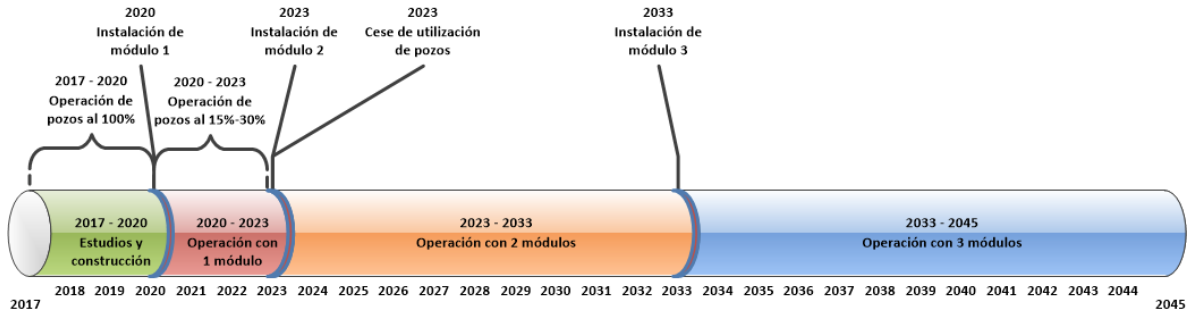


Figura 4.7: Línea del tiempo propuesta para el proyecto (elaboración propia, 2017)

La parte inicial de la línea del tiempo corresponde a la tramitología pertinente del proyecto. Los permisos para realizar este tipo de proyectos rondan los 9 meses y la instalación de tubería y otros elementos mecánicos tenía una duración similar (Portilla ,comunicación personal, 7 de septiembre de 2017). Agregando también que los tiempos de entrega de los equipos se encuentran en el ámbito de 14 a 16 semanas. Por lo que la implementación del proyecto se podría considerar para el año 2020. El periodo de familiarización con la tecnología sería de 3 años, realizando así la compra del segundo módulo después de este lapso de tiempo. El sistema lograría abastecer a la población y al invernadero hasta el 2033, en donde se realizaría la compra e instalación del tercer y último módulo, ya alcanzando la última expansión del proyecto.

4.4. Emplazamiento del proyecto

4.4.1. Selección del sitio

Inicialmente se toman en cuenta dos posibles ubicaciones de la planta desalinizadora: en una plataforma en el mar y en un terreno cerca de la costa. Más específicamente la primera idea consiste en ubicar el módulo de desalinización en una plataforma flotante mar adentro. De esta forma, la única tubería requerida sería la que transporta el agua tratada hacia la costa. Ahí se terminaría de distribuir para los diferentes usos que se tengan. En caso de utilizar módulos solares como alimentación energética, estos se podrían instalar en tierra o en la plataforma en el mar. La otra opción es ubicar los módulos y su alimentación plenamente en un terreno de la comunidad.

A continuación se presentan algunas características a favor de ubicar los módulos desalinizadores en una plataforma en el mar:

- Menor requerimiento de tuberías: debido a que el módulo está en el mar, la toma de agua y la descarga de la salmuera se hacen en sitio. De esta forma, se reducen los requerimientos de tuberías a solo una para el agua tratada. Esto conlleva una disminución en el costo por tubería tanto en la instalación como en el mantenimiento.
- Menor tamaño del terreno necesario: en este caso se requiere un terreno solo para la distribución del agua y posiblemente para la alimentación energética en caso de ser módulos solares. Esto es un terreno menor que el requerido en caso de ubicar los módulos en tierra y mayor espacio disponible para otro tipo de desarrollos en la zona costera. Esto se traduce en menores costos por alquiler o compra del terreno por parte de la ASADA.

- Mayor facilidad para suministrar agua: en este caso se simplifica el diseño de la comunicación de agua de suministro entre la toma y el punto de entrada a la desalinizadora por la ubicación de la planta.
- Infraestructura aledaña: al estar en el mar, no hay problemas por ruido u otro malestar que pueda traer la construcción o el mantenimiento de los equipos.
- Portabilidad: al estar todos los componentes en una misma plataforma flotante únicamente anclada al mar, se vuelve un sistema con mayor facilidad de transporte en el sentido de que se pueden trasladar todos sus componentes en un solo viaje. Esto en caso que la ASADA quiera trasladar su sistema a otro sitio.

Por otro lado, algunas de las características en contra de localizar los módulos desalinizadores en una plataforma en el mar se enlistan a continuación:

- Tecnología en desarrollo: esta tecnología está en crecimiento por lo que no se cuenta con gran cantidad de experiencia en su instalación y mantenimiento. La mayoría de plantas de este tipo existentes han sido soluciones temporales.
- Acceso incómodo: al estar en el mar, se vuelve incómoda la instalación, el mantenimiento y el acceso en caso de una emergencia. Al mismo tiempo se tiene menor control sobre la máquina debido a que la ubicación es más lejana. Con este mismo punto se debe indicar que para acceder a los módulos se debe llegar en alguna embarcación. Esto exige tomar en cuenta costos de compra del vehículo, de su mantenimiento, del combustible, entre otros.
- Contaminación visual: la presencia de un contenedor en el mar interfiere con el paisaje natural de la zona.

El hecho de que, ubicar los equipos desalinizadores en una plataforma en el mar sea una tecnología en desarrollo, tiene mayor peso en este trabajo que los beneficios mencionados anteriormente. Esto ya que uno de los alcances de este trabajo es poder dar una solución a un problema actual de la manera más fiable e inmediata. Por lo tanto se ha elegido ubicar la planta desalinizadora en un terreno dentro de la costa.

4.4.2. Descripción del terreno

Durante el trabajo de campo en la comunidad de Playa Potrero, se llevó a cabo un recorrido por seis terrenos con un miembro de la ASADA. Estos fueron elegidos por la ASADA según las características que se mencionaron en la sección 4.4.1.

Según la sección del Mapa de Amenazas Naturales Potenciales Cantón de Santa Cruz de la Comisión Nacional de Emergencias que se muestra en la **Figura 4.8**, Playa Potrero es una zona que no presenta riesgos de deslizamientos, avalanchas, marismas ni potenciales inundaciones. Asimismo no es una zona que contenga manglares ni lagunas. Por último, este mismo mapa avisa que es una zona que presenta una falla geológica y algunos ríos y quebradas. En conclusión, es una zona que no está bajo una amenaza natural inminente.

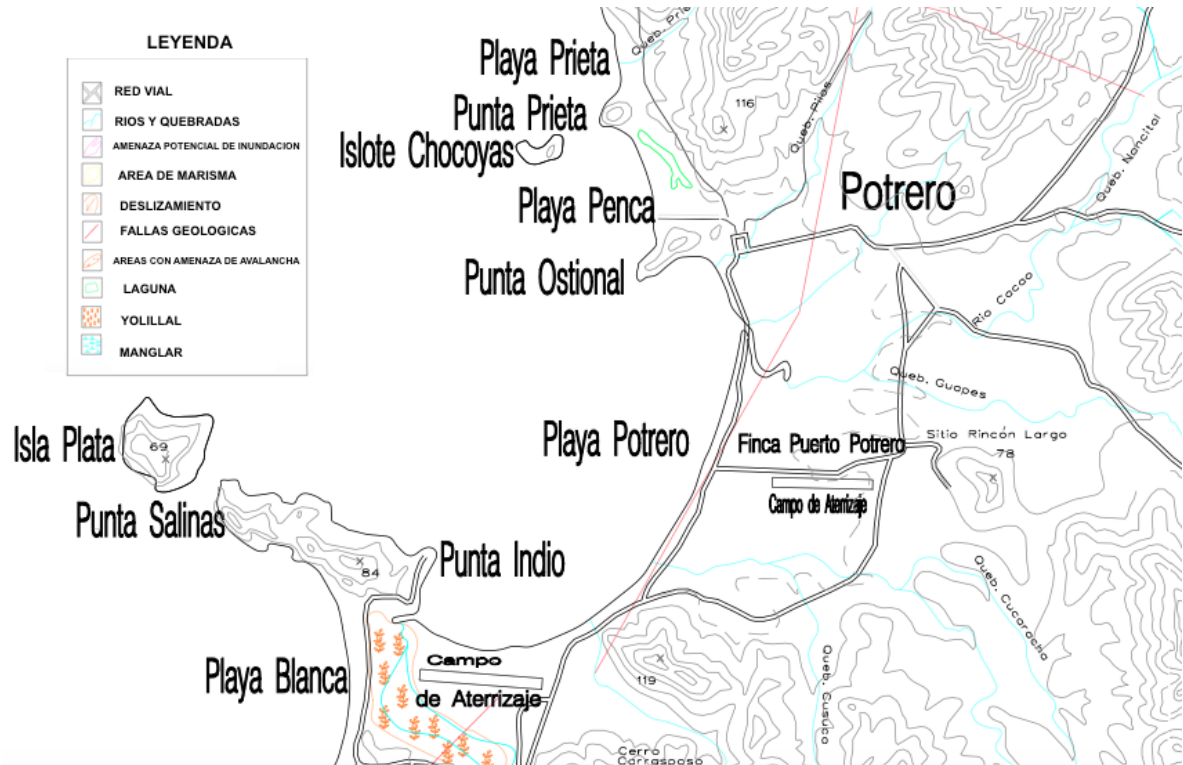


Figura 4.8: Sección del Mapa de Amenazas Naturales Potenciales Cantón de Santa Cruz de la Comisión Nacional de Emergencias (Fuente: Adaptación de información de CNE, 2017)

Por otro lado, es una zona que tiene un buen recurso de irradiación solar; de los mejores en Costa Rica según se observa en la **Figura 4.9**. Estos datos han sido consultados en la base de datos climáticos de Solargis por medio de Grupo Ecoenergía VL S.A para ser utilizada en este trabajo. El reporte emitido se puede ver en el Anexo A.2. Según dicho reporte, la zona cuenta con una irradiación global anual en plano inclinado de $2\,126\text{ kWh/m}^2$.

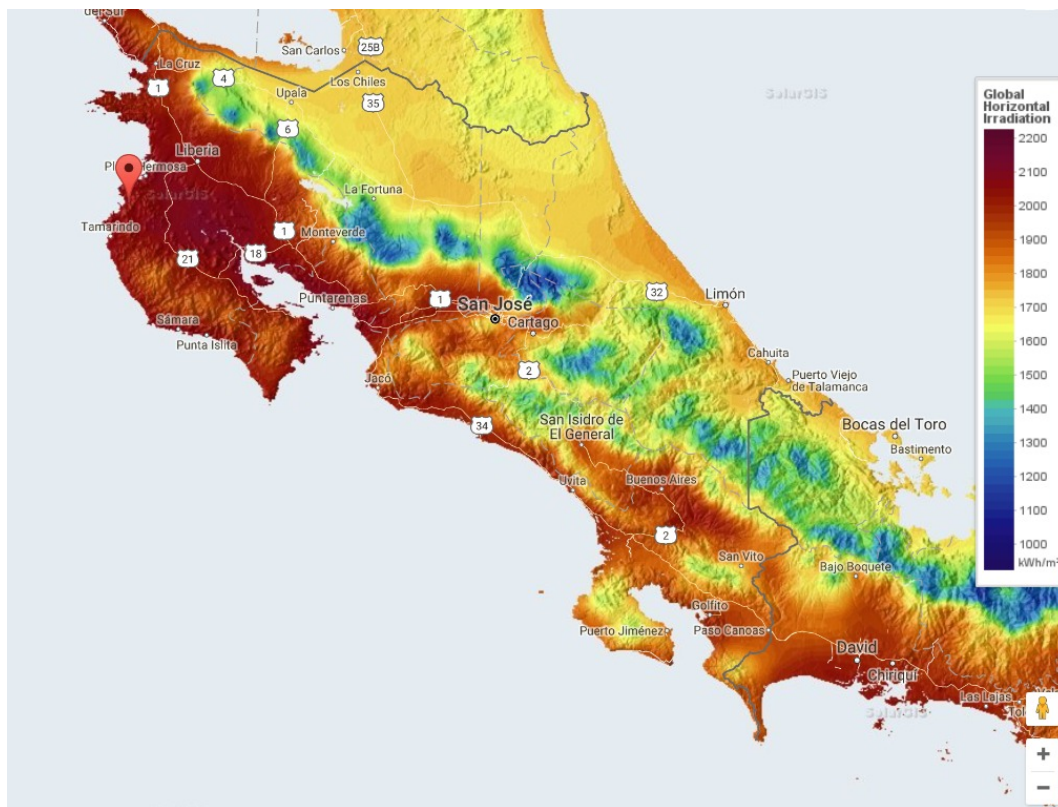


Figura 4.9: Mapa de recurso de irradiación solar en Costa Rica (Fuente: Solargis, 2016)

El terreno seleccionado se ubica en las coordenadas $10^{\circ} 27' 24.62''$ latitud norte y $85^{\circ} 46' 9.94''$ longitud oeste. Tiene un perímetro de 648 m y un área de $19\ 659\ m^2$. Actualmente el lote presenta una torre de telecomunicaciones y unos cuantos árboles, pero en su mayoría está lleno de vegetación tipo zacate. También se puede describir como una zona que no presenta grandes variaciones de relieve, por lo que se considera relativamente plano. Se encuentra a aproximadamente 200 metros de la costa y tiene acceso a la calle principal de la comunidad. Es importante notar que colinda con un hotel de villas, con un lote baldío y con unas cuantas viviendas. Esto se puede ver en las **Figuras 4.10** y **4.11**.



Figura 4.10: Vista en sitio del terreno seleccionado (Fuente: Elaboración propia, 2017)



Figura 4.11: Vista superior del terreno seleccionado y sus alrededores (Fuente: Elaboración propia a partir de mapa de la aplicación móvil Mapas, 2017)

Seguidamente, se calcula el requerimiento de terreno necesario para los equipos y el sistema de producción de agua fresca sin tomar en cuenta la alimentación energética. Para ello se utilizan datos basados en más de 40 plantas de desalinización a nivel mundial (Voutchkov, 2013). Esto de manera preliminar, ya que aún no se exponen los datos de espacio requerido por los demás componentes hidráulicos y energéticos. De esta forma se encuentra que dicho requerimiento es de $1\,044,9\ m^2$.

Para conocer el requerimiento total de terreno para el proyecto, se debe conocer también la sección que se destinará a la alimentación energética. Para calcular dicho dato, se supone de manera preliminar que la planta será alimentada con módulos solares. El procedimiento comienza conociendo el consumo de agua a suplir a los 25 años. Seguidamente, este valor se multiplica por una tasa de consumo de electricidad para ósmosis inversa de $4\ kWh/m^3$ (Voutchkov, 2013). Esta operación se observa en la ec. 4.15.

$$\dot{E} = Q \cdot 4kWh/m^3 \quad (4.15)$$

Donde,

- \dot{E} es la energía en kWh/día.
- Q es el consumo de agua en m^3 /día.

De esta forma se conocen los kilowatt-hora por día que se consumen. Al hacer las conversiones necesarias y multiplicar por una razón de 3 hectáreas/MW, la cual es la razón utilizada en el proyecto solar de Miravalles del ICE (Smart Grid, 2012) se conoce que se necesitan $7\,040,7\ m^2$ para la alimentación energética. Estas operaciones se muestran en la ec. 4.16 y ec. 4.17 .

$$E = \dot{E} \cdot \frac{1\ \text{día}}{24\ \text{horas}} \cdot \frac{1\ \text{MW}}{1\,000\ \text{kW}} \quad (4.16)$$

Donde,

- E es la energía en MW.

$$T = E \cdot \frac{3\ \text{hectáreas}}{\text{MW}} \cdot \frac{10\,000\ m^2}{1\ \text{hectárea}} \quad (4.17)$$

Donde,

- T es el terreno requerido para la alimentación energética en m^2 .

Al sumar este último dato con el requerimiento de terreno para el sistema de desalinización sin la sección de alimentación energética, se sabe que, de manera preliminar, el total de energía es de $8\,085,6\ m^2$. Al compararlo con los $19\,659\ m^2$ de área total del terreno seleccionado se nota que este cumple los requerimientos para el proyecto de buena forma.

4.4.3. Requerimientos legales

La Ley 6043 es la que define la zona marítimo terrestre del país. Su artículo 10 define que esta se constituye de dos secciones: la zona pública y la zona restringida. Asimismo, en el artículo 12 de la misma ley se explica que

...en la zona marítimo terrestre es prohibido, sin la debida autorización legal, explotar la flora y fauna existentes, deslindar con cercas, carriles o en cualquier otra forma, levantar edificaciones o instalaciones, cortar árboles, extraer productos o realizar cualquier otro tipo de desarrollo, actividad u ocupación (Ley N° 6043, 1977).

Sobre la zona pública, el artículo 10 expone que esta “es la faja de cincuenta metros de ancho a contar de la pleamar ordinaria, y las áreas que quedan al descubierto durante la marea baja” (Ley N° 6043, 1977). Por otro lado el artículo 20 comenta que esta zona es para uso público y libre tránsito de las personas y por lo tanto no se puede ocupar bajo ningún título. También, el artículo 22 indica que en ella, no se permite ningún tipo de desarrollo a menos que sea de gran conveniencia para el país.

En cuanto a la zona restringida, el artículo 10 la define como la “constituida por la franja de los ciento cincuenta metros restantes, o por los demás terrenos en caso de islas” (Ley N° 6043, 1977). Vale aclarar que al decir “restantes” se refiere a los ciento cincuenta metros que siguen luego de la finalización de la zona pública hacia la zona terrestre. El artículo 40 de la ley dice que solamente las municipalidades podrán otorgar el permiso de concesión en estas zonas. Según el artículo 48 estas serán por un plazo entre 5 y 20 años.

Con la intención de corroborar que el terreno seleccionado no se encuentra dentro de la zona marítimo terrestre, se hizo la revisión del geoportal del Sistema Nacional de Información Territorial del Instituto Geográfico Nacional. Este es un visor del mapa de Costa Rica en donde se puede cargar la ubicación de los mojones en la zona límite del país. De esta forma, en las zonas costeras estos mojones delimitan el final de la zona pública y el inicio de la zona restringida. El método de comprobación de no intromisión en la zona marítimo terrestre consiste en trasponer esta imagen en Google Earth ©, donde se tenía trazado el terreno seleccionado. Una vez realizada esta acción se trazó la línea donde finalizan los 150 metros de la zona restringida, la cual se puede observar en la **Figura 4.12**. De esta forma se puede contemplar como gran parte del terreno cumple con estar fuera de la zona marítimo terrestre, de manera que no hay problema en llevar a cabo el desarrollo de la planta desalinizadora en esta área.



Figura 4.12: Zona pública y restringida en las inmediaciones del terreno seleccionado (Elaboración propia a partir de datos del IGN y Google Earth ©, 2017)

4.4.4. Valoración técnica del emplazamiento

A continuación se presentan las características favorables que tiene el terreno propuesto:

- Cercanía al mar: está es la principal característica por la que este terreno fue elegido. Debido a esta condición, el proyecto requiere menor longitud de tubería. Esta a su vez será de un menor número de cédula en comparación a la que se requeriría en un terreno más lejano por las menores presiones que se requieren. De esta forma, con terrenos más cercanos al mar también se necesitarían bombas más pequeñas y un menor trabajo a la hora de construir los conductos para pasar las tuberías hasta el mar. Todo esto se traduce en un menor costo. Se debe destacar que por lo general, los terrenos más cercanos al mar son también los más caros.
- Topografía del terreno: según como se indicó anteriormente en esta sección, este es un terreno plano y con vegetación. Esto último será de gran ayuda en caso de tener alimentación eléctrica por medio de módulos fotovoltaicos ya que se reduce la cantidad de polvo que pueda afectar.
- Acceso a la carretera y cercanía con la oficina de la ASADA: de esta forma se tiene mayor comodidad de trabajo a la hora de transportar cualquier equipo o material necesario en el proyecto.
- Cercanía a la red de conexión: como se ve en la **Figura 4.13** la red actual de la ASADA se encuentra muy cerca al terreno seleccionado, por lo que la tubería necesaria para conectarse a la red sería corta y sencilla.



Figura 4.13: Sección de la infraestructura actual de la ASADA y ubicación del terreno seleccionado (Elaboración propia a partir del mapa cartográfico de infraestructura de la Red de Agua Potable de la ASADA Potrero, 2017)

- Bajo impacto ambiental: al ser un terreno con pocos árboles el impacto de tener que talarlos sería mínimo.
- Pocas sombras: esta característica es fundamental en caso de poner módulos solares ya que de no ser así se reduciría la capacidad de generación del sitio. Esta característica se puede ver en el reporte de Solargis en el Anexo A.2.
- Capacidad del espacio disponible: se está contemplando que dentro de la zona delimitada entrará la infraestructura del módulo de desalinización (tanques de agua potable y salmuera, contenedor, módulo de remineralización, entre otros) y la alimentación energética del proyecto.

Es importante destacar que en el trabajo no se contempla el diseño propiamente del invernadero sino solamente el cálculo y suministro del agua necesaria para su funcionamiento. Por esta razón en el cálculo del área del terreno no se completa la que tomaría el invernadero. Ahora, vale decir que se han tomado las previsiones del caso y se ha visto que los terrenos aledaños en su mayoría están vacíos, por lo que se considera que es viable construir un invernadero en una zona cercana a la del proyecto de desalinización.

Como es de esperar, este terreno también presenta algunas características no deseadas. Algunas de ellas son:

- Infraestructura aledaña: el terreno colinda con un hotel de villas por lo que se podrían presentar quejas por contaminación sónica o visual del proyecto. Vale destacar que el módulo de desalinización contempla un aislamiento acústico.
- Ensuciamiento con arena: al ubicarse tan cerca de la costa, el proyecto podría presentar problemas de limpieza por la arena que trae el viento. En los módulos fotovoltaicos esta acción representaría pérdidas de energía por ensuciamiento.

- Ambiente altamente corrosivo: el ambiente costero es altamente corrosivo debido a la salinidad que se maneja. Por la cercanía del proyecto al mar, se deben tener los cuidados necesarios para mitigar los efectos de este fenómeno.

4.4.5. Estudios de batimetría, geología y modelos de dispersión

La selección del terreno donde se encontrarán las facilidades principales de la planta es elemental para el diseño del sistema de trasiego, pero también lo es el estudio de otros elementos que dictan la manera en que se diseñe la tubería de alimentación de agua salada y descarga de salmuera. Estos corresponden a la batimetría, geología y comportamiento de corrientes marinas del lugar.

En primer lugar, es necesario estudiar la geología de la zona. Esto debido a que como se trabaja con tuberías en zonas donde la construcción no es permitida, tal y como se indica en la sección anterior respecto a las zonas marítimo terrestre, la necesidad de evaluar instalaciones de tuberías subterráneas es necesaria. La **Figura 4.14**, muestra un segmento del mapa geológico de la región de Matapalo y Punta Gorda, correspondiente a la zona de Playa Potrero.

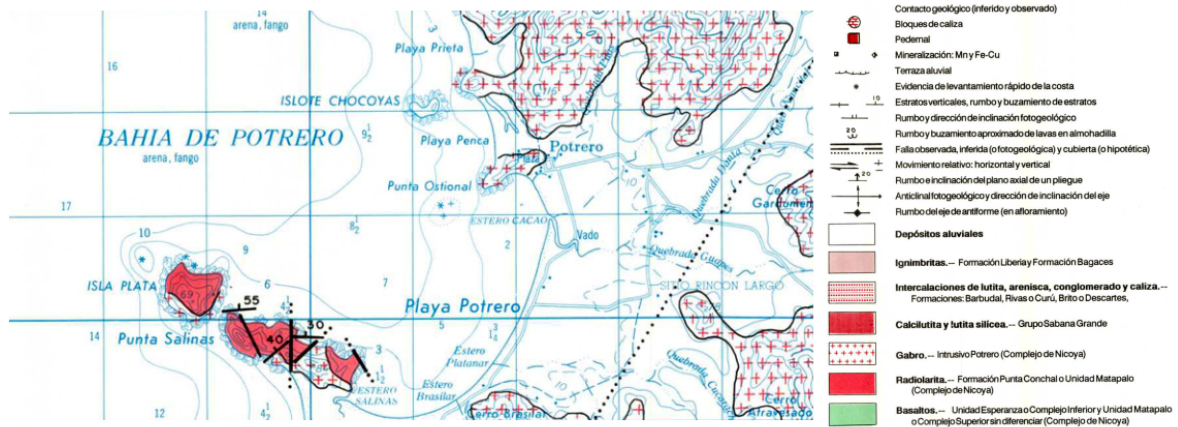


Figura 4.14: Segmento del mapa geológico de las hojas Matapalo y Punta Gorda, Guanacaste, Costa Rica (Arias y Percy, 1992)

En la misma se muestra como la región está rodeada en su mayoría de depósitos aluviales, a excepción de Punta Ostional donde hay segmentos con roca cretácica de tipo Gabro. Estos depósitos aluviales son poco ideales para llevar a cabo una instalación de tubería subterránea (Protti, 2017). Lo anterior se debe a que la materia estructural colapsaría fácilmente sobre sí misma a la hora de realizar la excavación, dificultando y encareciendo la misma. Ante esto, se deberán buscar soluciones que limiten la instalación de este tipo de tubería a un punto mínimo.

En cuanto a la batimetría, que corresponde al estudio de profundidades del mar, esta es necesaria para conocer el comportamiento del terreno por el cual deberán pasar las tuberías de alimentación de agua salada y descarga de salmuera de la planta. La **Figura 4.15** muestra una fotografía de la batimetría de la zona.

En el mapa anterior los valores en subíndice representan décimas de metros. Es decir, si se muestra el valor de 17₃ en una determinada zona, significa que se midieron un total de 17,3 m de profundidad. En términos generales se puede observar que la profundidad aumenta

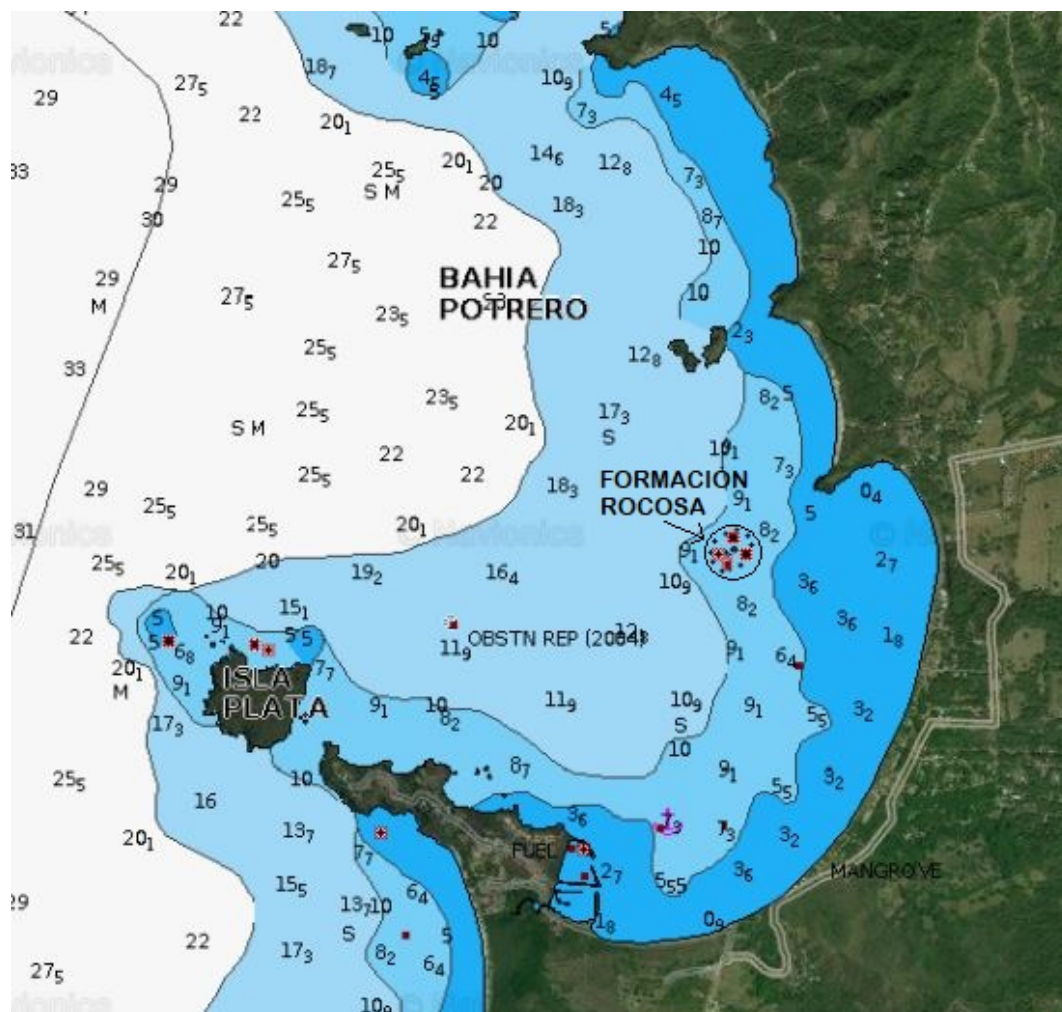


Figura 4.15: Comportamiento batimétrico de la Bahía de Potrero (elaboración propia a partir de Navionics, 2017)

paulatinamente y sin cambios abruptos conforme se aleja de la costa hasta salir de la bahía a partir de profundidades de alrededor de 20 m de profundidad.

Es importante notar también que existe una formación rocosa directamente al frente de la zona donde se ubicará la planta, en el área de los 5 m a 10 m de profundidad. Esta formación se debe evitar a la hora de diseñar la tubería debido a la posible presencia de formas irregulares y vida marina en ella (O. Lizano, comunicación personal, 23 de octubre de 2017).

Otra nota fundamental en lo que respecta a batimetría es que estos niveles están de acuerdo a las medidas de las mareas de sicigia, que son el promedio de las mareas más bajas de cada mes durante los últimos 20 años. Esto es importante ya que uno de los casos críticos para el diseño de la toma y la tubería en general será obtener cuando la marea esté en su punto inferior y, por lo tanto, se tenga la menor presión de columna de agua. A este dato se le debe sumar la mayor variabilidad histórica que se pueda obtener. En los últimos 50 años la mayor variabilidad negativa que se ha obtenido ha sido de 0,52 m respecto a la medida batimétrica para la estación más apta en comparación al comportamiento de Bahía Potrero. Este dato también se tendrá

en cuenta a la hora de realizar el diseño con la cabeza de agua correspondiente (Lizano, 2017).

Finalmente, el comportamiento de las corrientes es importante para poder realizar un modelo de dispersión. Estos son fundamentales para evitar que la toma succione agua demasiado cerca de la descarga y alimente los sistemas de desalinización con agua con niveles de salinidad mayores a los ya evaluados. El análisis detallado del modelo de dispersión es innecesario para plantas con producciones inferiores a los 100 L/s, como la de este caso, ya que la salmuera se dispersaría en un radio de aproximadamente 30 m (Protti, 2017). Sin embargo, sí es importante evaluar al menos la dirección de las corrientes predominantes en el lugar para colocar la toma de agua de entrada antes de la descarga de salmuera en el sentido de la misma.

Las corrientes del lugar se comportan de manera errática al tratarse de una bahía, por lo cual las direcciones de las corrientes son difíciles de predecir en el nivel teórico en el que se están manejando para el presente estudio (Lizano, 2017). Sin embargo, al alejarse de la bahía, las corrientes se comportan de manera más regular y acorde con lo mostrado por la **Figura 4.16**, con dirección hacia el noroeste y con velocidades no mayores a 1 m/s para la zona pacífico norte (CIMAR, 2017).

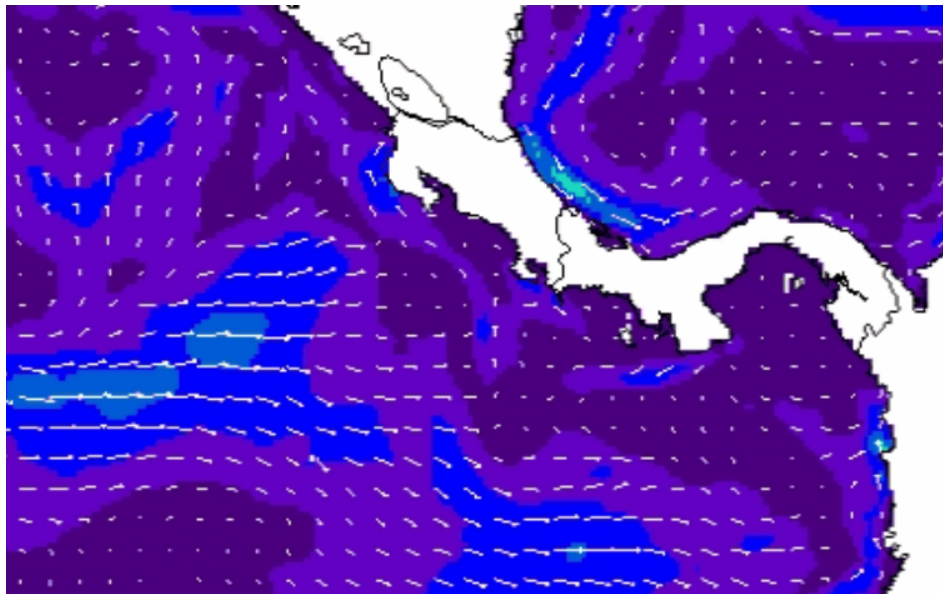


Figura 4.16: Comportamiento de las corrientes en las costas de Costa Rica (CIMAR, 2017)

Esto muestra finalmente, que la descarga de salmuera debe de colocarse en algún punto al noreste de la toma y, preferiblemente, en la zona de 20 m de profundidad o más (indicada en blanco en la **Figura 4.15**) para tener certeza de este comportamiento. Esto será evaluado más adelante tomando en cuenta los costos que implicaría tener estas tomas y descargas a tal distancia mar adentro.

4.5. Distribución de la planta física

En esta sección se presenta la descripción de la distribución de los diferentes elementos que conforman el diseño. Primero se explicará la idea preliminar con la que se comenzó a realizar el diseño. Para ello se tomó el terreno seleccionado y se dividieron los espacios en donde debería ir cada elemento del diseño. Luego se detallará sobre la vista de planta final, de manera que, a

la hora de leer las siguientes secciones sobre el diseño de cada elemento, se tenga una imagen a gran escala del proyecto.

4.5.1. Identificación de los espacios

La primera propuesta de la distribución se puede observar en la **Figura 4.17**. Los espacios en azul son los reservados para el paso de tuberías, los que están en rojo para los tanques, el espacio en verde para los módulos de desalinización, el espacio en morado para oficinas, parqueos y una bodega y finalmente el espacio en anaranjado para una posible instalación para la alimentación energética. En la misma figura, se puede observar la calle principal de la comunidad, la cual tiene a su lado izquierdo y de manera subterránea la tubería existente de la red de la ASADA. Asimismo es posible apreciar un camino interno del proyecto y el espacio en el cual actualmente se encuentra la torre de telecomunicaciones.

Como se explicó anteriormente en la sección 4.4.1, el proyecto pasa por las tres zonas estipuladas por ley. En la **Figura 4.17** solo se muestra el tramo del proyecto que está dentro del terreno seleccionado. De este, su gran mayoría se encuentra dentro de la zona privada, con excepción del espacio en la entrada que se encuentra en el final de la zona restringida.

Las dimensiones relacionadas con estos espacios, han sido consideradas con base en recomendaciones de profesionales, criterio personal, y dimensiones especificadas por parte del fabricante de los módulos de desalinización. Un ejemplo de lo descrito anteriormente sería las distancias de retiro en tres de las fronteras del proyecto, la distancia mínima entre el espacio de tanques y el espacio de instalación energética y el ancho del camino principal.

Todos ellos han sido consultadas con la compañía de ingenieros estructurales ISR (L. Mayer, comunicación personal, 17 de marzo de 2018). Por su parte el área que se destina para los módulos de desalinización está basado en el espacio que requieren tres de ellos y una distancia de 3 m extra que se deja de espaciamiento entre cada uno. Esta última ha sido puesto para que haya un espacio cómodo para movilización de personas y equipos. Asimismo, el espacio para oficinas, parqueos y una bodega y el espacio para la alimentación energética, también han sido puestos a criterio propio y deben de verificarse una vez que se tengan todos los diseños listos.

Otra dimensión que vale destacar son los 5 m que se dejan entre el área para tanques y el área para los módulos de desalinización. Esta se ha puesto a criterio propio y la idea es que sirva como “espacio para carretera de tuberías”, en donde estas sean colocadas y se pueda trabajar en instalación y reparaciones de manera cómoda.

La zona de la entrada del proyecto se ha destinado estratégicamente para que no hayan ni tanques, ni módulos, ni instalación energética. También se quiere que se tenga la libertad de trabajar con las tuberías que van hacia la red de la ASADA, la que viene y la que se devuelve hacia el mar.

Otra zona que se ha colocado estratégicamente en la esquina superior izquierda del terreno es la de las oficinas, los parqueos y la bodega. Su ubicación permite que el resto del proyecto esté lo más cercano posible a la entrada para minimizar las pérdidas de fricción en las tuberías y con ello menores costos del proyecto. Asimismo, la bodega se colocará cerca de la zona de los tanques, en donde se tienen los sistemas de bombeo, que son uno de los puntos más vulnerables del sistema. Así, ante cualquier falla, la atención será la más rápida posible.

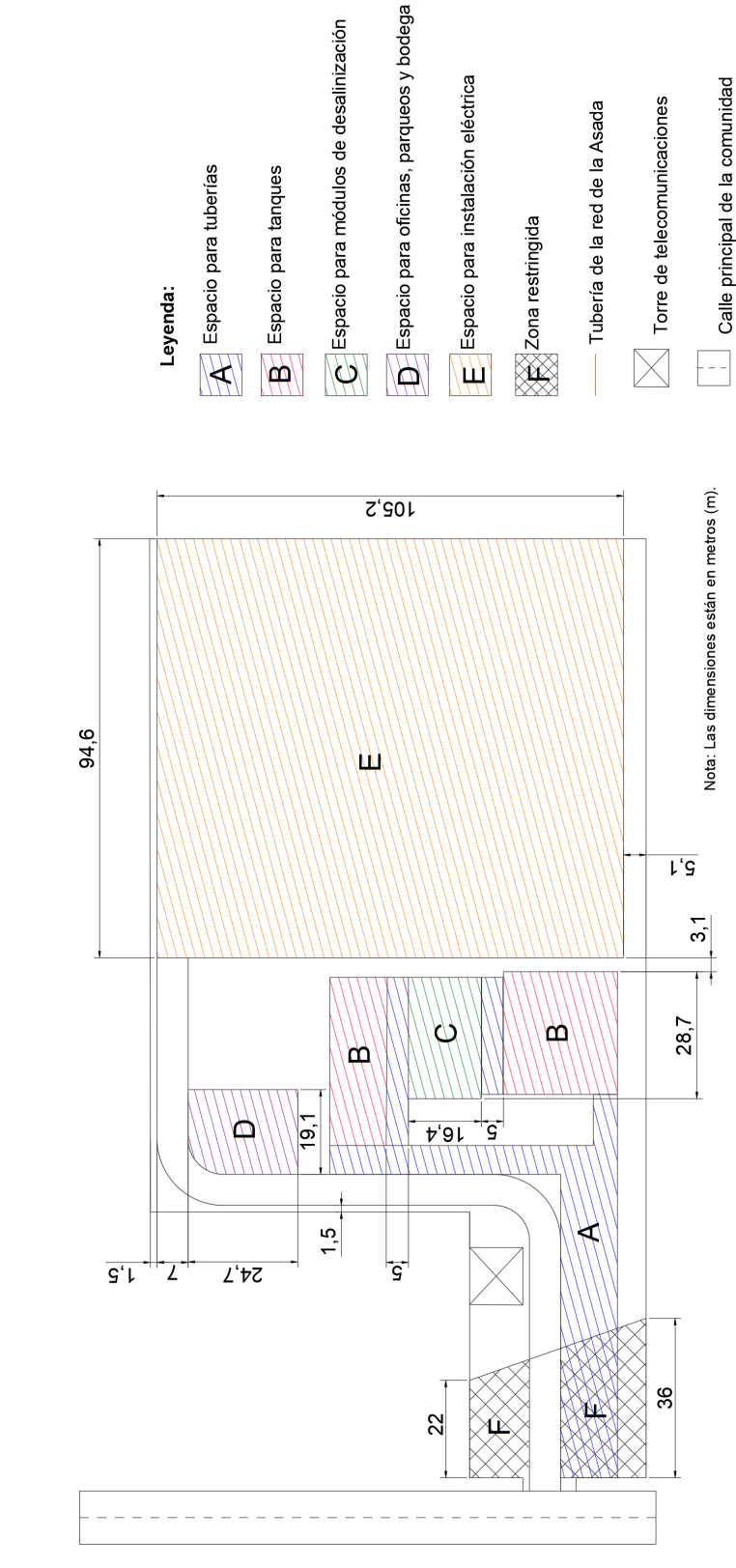


Figura 4.17: Distribución de planta preliminar del proyecto (Elaboración propia, 2018)

4.5.2. Identificación de componentes principales

Teniendo la idea preliminar de la distribución de espacios y algunas decisiones globales importantes claras, se procede a hacer una breve descripción de diversos elementos que componen el sistema. Hay varios componentes de los cuales no se comentará y que, hasta el momento no se ha detallado el porqué de su uso. Esto se explicará en las secciones propias de cada diseño. La intención de la descripción es dar un panorama general del planteamiento.

- Toma de agua marina: consiste en filtros de captación de agua marina por medio de mallas con una tecnología de doble modificador de flujo de cañería abierta. Esta se ubica sobre el lecho marino a gran distancia del terreno seleccionado y a una profundidad de 20,1 m bajo el nivel batimétrico. Su función principal es evitar la entrada de partículas grandes, y cualquier tipo de animal o ser vivo al interior del sistema.
- Tubería de abastecimiento de agua marina: esta es de 700 mm (28 pulgadas) de diámetro nominal de polietileno de alta densidad (HDPE por sus siglas en inglés). Tiene una longitud total de 2,8 km y comunica la toma de agua marina con el tanque de abastecimiento de este mismo fluido.
- Tanque de abastecimiento de agua de mar: está formado por varias partes que se explican a continuación. La primera de ellas es una pequeña casa de máquinas en donde se tiene una válvula de mariposa de 700 mm (28 pulgadas) de diámetro nominal con su actuador eléctrico. Seguidamente se cuenta con un desarenador en donde se termina de separar las trazas de arena que han ingresado al sistema del agua de mar. Luego, el flujo de agua cae debido a un vertedero, en donde posteriormente se dirige por medio de tres tuberías a tres tanques de abastecimiento de este fluido. En la parte superior de la edificación, se cuenta con tres casas de máquinas en donde se tiene un sistema de bombeo. Este mueve el fluido desde el tanque hasta cada uno de los módulos de desalinización.
- Módulos de desalinización: estos son tres contenedores industriales de 40 pies dentro de los cuales se realiza el proceso de ósmosis inversa. Dentro de dicho contenedor se hace la bifurcación de la parte del agua que no se potabiliza y se utilizará como agua para el invernadero y la que sí se potabilizará. La misma potabilización se realiza también internamente. Por lo tanto, de cada módulo de desalinización salen tres tuberías (la de agua potable, la de salmuera y el agua para el invernadero). Vale destacar que cada una de ellas va a una altura diferente según el fluido que trasiegan. Esto de manera que no haya interferencia entre las mismas. Se entrará más en detalle más adelante.
- Tanque de distribución de agua a la ASADA: este tanque se ubicará a la izquierda en la zona superior dedicada para tanques. Esto debido a que la tubería de la red de la ASADA, en la cual se debe entregar el fluido, está a la izquierda del proyecto. De esta manera se minimizan las pérdidas por fricción. Asimismo se mantiene un mayor orden en cuanto a las tuberías de descarga. De la misma forma, este tanque cuenta con una división para poder abastecer a la población en todo momento, inclusive cuando se realicen labores de mantenimiento. También cuenta con un sistema de bombeo que mueve el fluido desde el tanque hasta la tubería de la red de la ASADA que se ubica en una casa de máquinas en la parte superior de la edificación.
- Tanque de distribución de salmuera: este tanque se ubica en el medio entre los tanques de distribución de agua a la ASADA y el de agua para el invernadero. Su casa de máquinas

se ha propuesto enterrada, de manera que se tenga un mayor NPSH disponible para la bomba que trasiega la salmuera del tanque hasta el mar. De esta forma, la bomba puede ser más pequeña y por lo tanto más barata. Las implicaciones de esta decisión se explicarán más adelante.

- Tanque de distribución de agua para el invernadero: es el último tanque con el que se cuenta en el proyecto. Se ubica en el sector derecho de la zona superior de tanques. Es el más pequeño y no cuenta con divisiones. Asimismo, tiene una pequeña casa de máquinas en su parte superior. En la **Figura 4.18** solo se muestra el tramo de la tubería de descarga que se encuentra dentro de la casa de máquinas con los accesorios necesarios. Lo anterior se debe a que no se conoce la ubicación real del invernadero.

El diseño final de la distribución de planta se muestra en la **Figura 4.18**. Del breve recorrido por el diseño realizado, se debe decir que la toma de agua y la mayoría de su tubería aledaña no se muestran en la **Figura 4.18**.

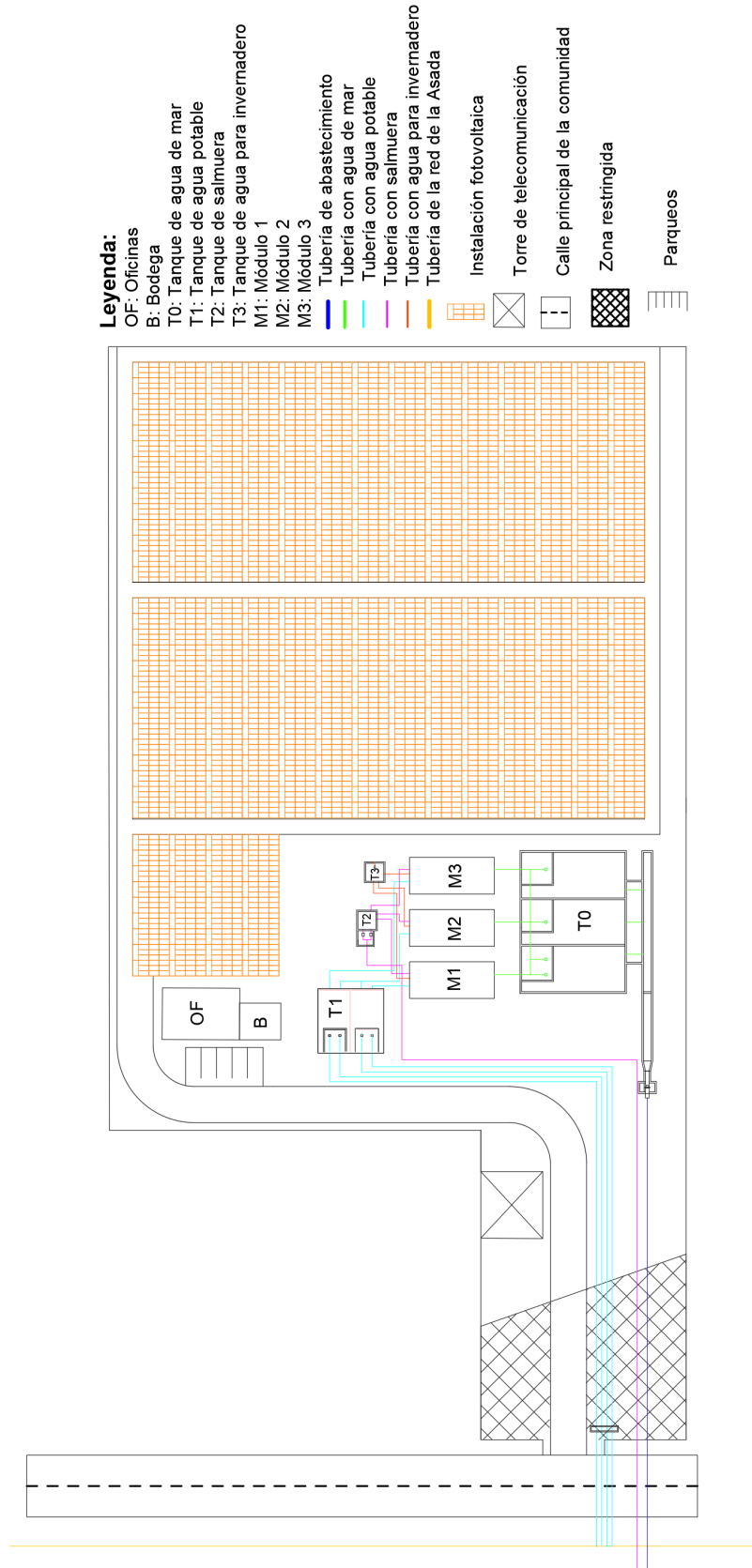


Figura 4.18: Distribución de planta final del proyecto (Elaboración propia, 2018)

4.6. Toma de agua submarina

4.6.1. Localización

La selección del punto de instalación de la toma marina debe contemplar aspectos como profundidad, comportamiento de mareas, vida marina adyacente, entre otros (Missimer, Jones, & Maliva, 2015). En la **Figura 4.19** se puede observar el punto elegido para la ubicación de la toma. La selección se basa en dos aspectos importantes, siendo el primero de ellos la dirección de las corrientes.

Debido a que existe una tendencia en el flujo del agua marina a dirigirse al norte (ver **Figura 4.16**), se puede definir el punto de instalación en una zona que asegure que no se tendrá una recirculación con la salmuera a desechar. El segundo punto que influye en la decisión es la geografía de la costa. Ya que Playa Potrero es una bahía, el comportamiento de las mareas posee mayor turbulencia en las zonas más cercanas a la costa.

Para asegurar que el flujo por corrientes evite la recirculación que se mencionó anteriormente, se debe ubicar la toma en un punto alejado de la línea costera. La zona seleccionada se ubica aproximadamente a 2 800 metros de distancia de la costa de Playa Potrero. Este análisis se encuentra respaldado por el criterio de Lizano (2017) del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Laminología (CIMAR).

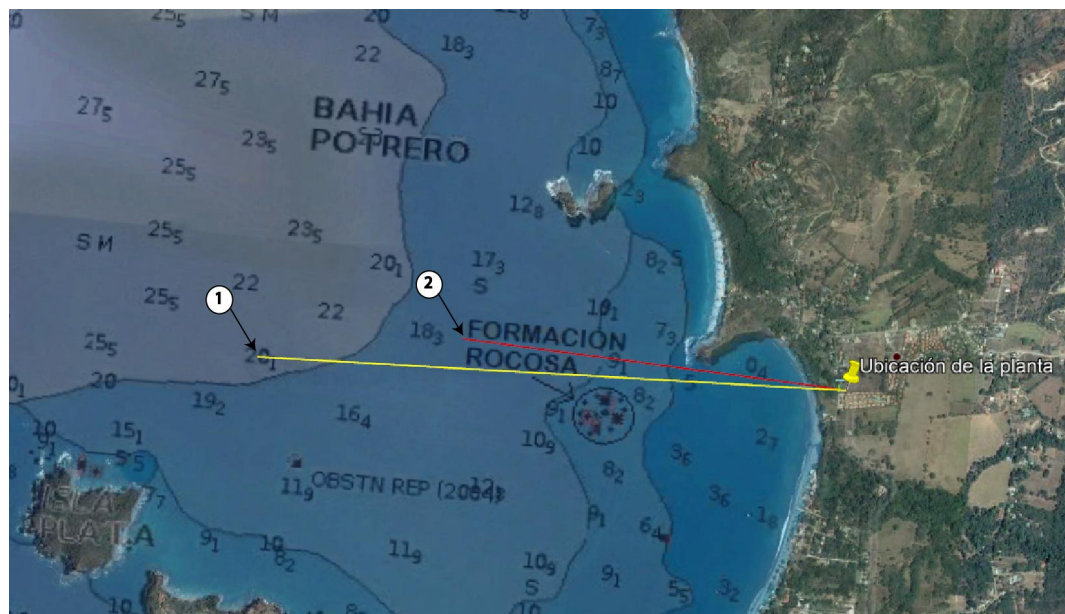


Figura 4.19: Punto de extracción de agua marina (línea amarilla) y deshecho de salmuera (línea roja) de la planta (elaboración propia a partir de Navionics, 2018).

4.6.2. Terminal de toma de agua

Los proyectos de desalinización requieren de tomas especiales para evitar la entrada de organismos marinos al sistema posterior de tratamiento. Dentro de las opciones consideradas para la toma de agua se encontraban las siguientes:

- Toma tipo “limitante de velocidad” (conocida como “velocity cap” en otras referencias),

- Pantallas pasivas.
- Tomas infrasuperficie.

Dentro de algunos aspectos influyentes en la decisión está que la toma estilo limitante de velocidad requiere pantallas previas a la etapa de bombeo del fluido. Este aspecto hace que requieran de mayor cantidad de componentes para su correcta operación, incrementando costos por mantenimiento y precio de infraestructura (Missimer et al, 2015).

En el caso de las tomas infrasuperficie, podrían impactar acuíferos en la zona por la filtración de agua marina, volviendo riesgoso su uso en una zona con acuíferos ya afectados. Dentro de los beneficios de usar pantallas pasivas, se encuentra el hecho de que no solo se evita la entrada de fauna de gran tamaño, sino que también reduce arrastres excesivos que puedan atrapar flora o fauna en la zona.

La toma a emplear se puede apreciar en la **Figura 4.20**, correspondiente al distribuidor Johnson Screens (ver Anexo E.1). Se optó por utilizar una toma pasiva ya que es compatible con la configuración definida para la tubería de suministro, la cual se diseña para instalarse sobre el lecho marino. Además, su baja velocidad de operación no representa un riesgo para la flora y fauna del sitio como se aprecia en la **Figura 4.21**.

En la fotografía de la izquierda de la **Figura 4.21** se sostiene una bolsa plástica, mientras que en la derecha se presentan peces cercanos a la toma. En ninguno de los casos se tiene una perturbación perceptible por succión. Estas bajas velocidades también se traducen en bajas pérdidas de presión en el ámbito de 24 Pa (Johnson Screens, 2018), beneficiando el flujo del agua marina en el vaso comunicante. Adicionalmente, el mantenimiento requerido no posee mayor complejidad y no requiere detener operación, facilitándole al personal de la ASADA las tareas de operación de la planta. El detalle de los mantenimientos es un aspecto que se comenta en la sección 6.3.

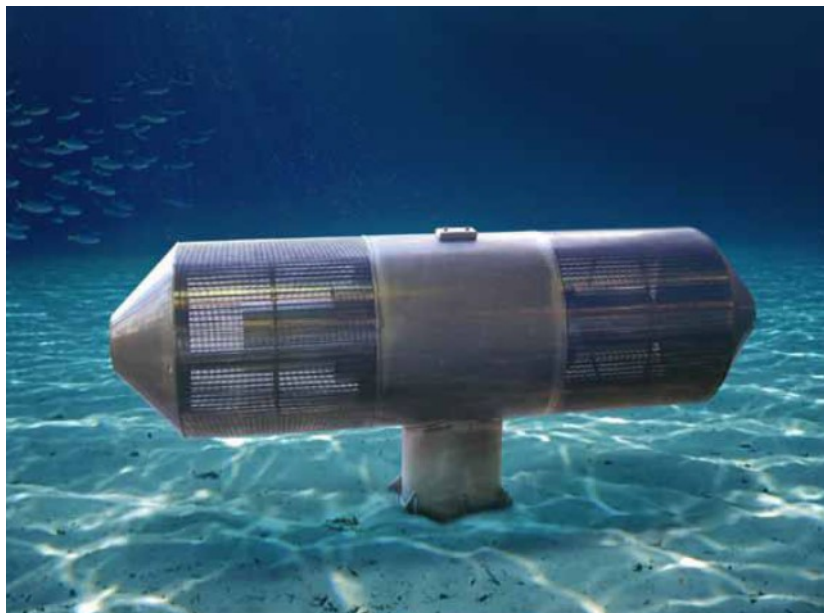


Figura 4.20: Toma de agua marina (Johnson Screens, 2018)

El material del cual está hecho requiere tener una resistencia a la corrosión, como lo es

el acero Super Dúplex 2205. Dentro de las aplicaciones más comunes están los cascos de embarcaciones y usos en ambientes con altos contenidos de cloruros, como el ambiente marino. Su resistencia a la corrosión se debe a los altos contenidos de cromo, molibdeno y nitrógeno que posee esta aleación, siendo idónea para esta aplicación (Penn Stainless Products, 2018).

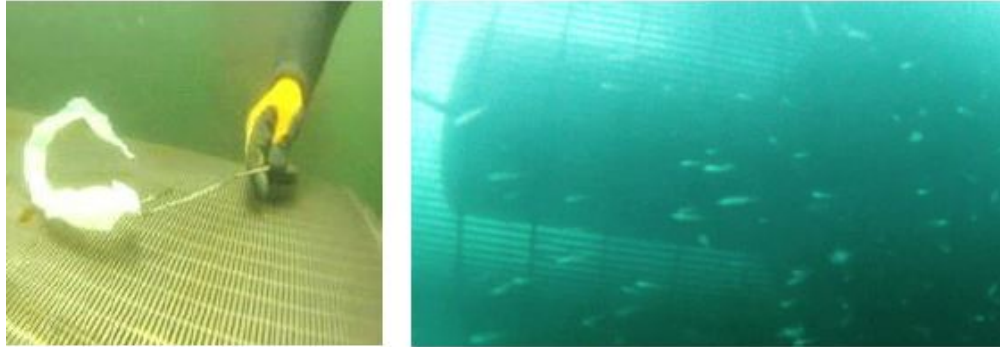


Figura 4.21: Demostración del efecto de la velocidad de succión sobre objetos cercanos (Johnson Screens, 2018)

Esta oferta incluye un sistema de aire comprimido para mantener una limpieza automatizada de las pantallas. Sin embargo, este elemento adicional es recomendado en proyectos que se encuentran a un máximo de 500 m de la costa, según se indicó por parte del representante de Johnson Screens. Si se quisiera realizar la instalación del equipo, aún sería posible requiriendo un compresor sumamente robusto. Esto se debe a que el compresor se instalaría en la costa y requiere recorrer 2800 m hasta donde se encuentra la toma. Ante esta situación, se optó por la modalidad sin compresor, la cual reduce los costos considerablemente (capítulo 6.4, detalle de costos).

4.7. Diseño de la tubería de la toma de agua marina

La siguiente sección considera todas las variables para el diseño del sistema de trasiego de agua de mar hacia la planta, para ser utilizado como materia prima de desalinización. Esto involucra la selección del sistema y los dimensionamientos de tubería y soportería de la misma.

4.7.1. Diagrama general y ecuación de energía

La toma de agua estará ubicada a una distancia horizontal de la planta de 2800 m. Es necesario diseñar el sistema de conducción por el que se trasegará ese suministro hasta el tanque previo a los módulos de desalinización. Bajo el panorama de toma superficial que se planteó existen dos posibles opciones para lograr esta tarea.

La primera de ellas consiste en un típico sistema de bombeo, que implicaría la instalación de una o varias bombas que manejen agua salada y logren el caudal requerido, trasegando el fluido por casi 3 km de distancia. La segunda consiste en un sistema de vasos comunicantes en el que se crea un trasiego a través de la tubería garantizando que el nivel de la marea sea el mismo que el del agua en el tanque que abastecerá el módulo. Esta última opción da una serie de ventajas al diseño:

- El abastecimiento de agua se da de manera natural, aprovechando la energía que tiene el agua marina, sin necesidad de depender del Gobierno o de los paros necesarios que tiene una bomba.
- Los costos operativos son realmente bajos comparados con los que se tendrían al accionar una bomba. Esto ya que solo son los relacionados al mantenimiento de elementos como la toma, la tubería de abastecimiento y el tanque, que de igual manera se tendrían con el sistema de bombeo.
- Se ahorra la necesidad de tener que construir una casa de máquinas más, donde se tendría que tener por lo menos dos bombas grandes para tener una de respaldo. De esta forma, la instalación que se tiene sin sistema de bombeo es más sencilla.

Esta última opción implica también una mayor inversión inicial por la profundidad de excavación requerida para llegar a niveles de altura de mar y mayores diámetros de tubería que conllevan accesorios de mayor tamaño. A pesar de esto y en vista de que se busca un ahorro en la operación constante de la planta, se opta por diseñar un sistema de vasos comunicantes. Además se toma en cuenta que se tiene una ubicación cercana al mar y de baja altura, así como que ya por sí solos los costos energéticos de la desalinización por ósmosis inversa son altos según las múltiples referencias estudiadas. Esto logra un mayor aprovechamiento de la energía suministrada naturalmente.

Con esta decisión, el diseño a plantear se puede apreciar de manera simplificada en el diagrama de la **Figura 4.22**. El objetivo del mismo será trasegar el agua de mar a un caudal igual o mayor del que lo extraerá las bombas en el tanque de abastecimiento hacia los módulos de desalinización. Esto se hará utilizando como fuente de energía únicamente la pequeña diferencia de altura que existe entre los puntos de análisis 1 y 2 de la figura.

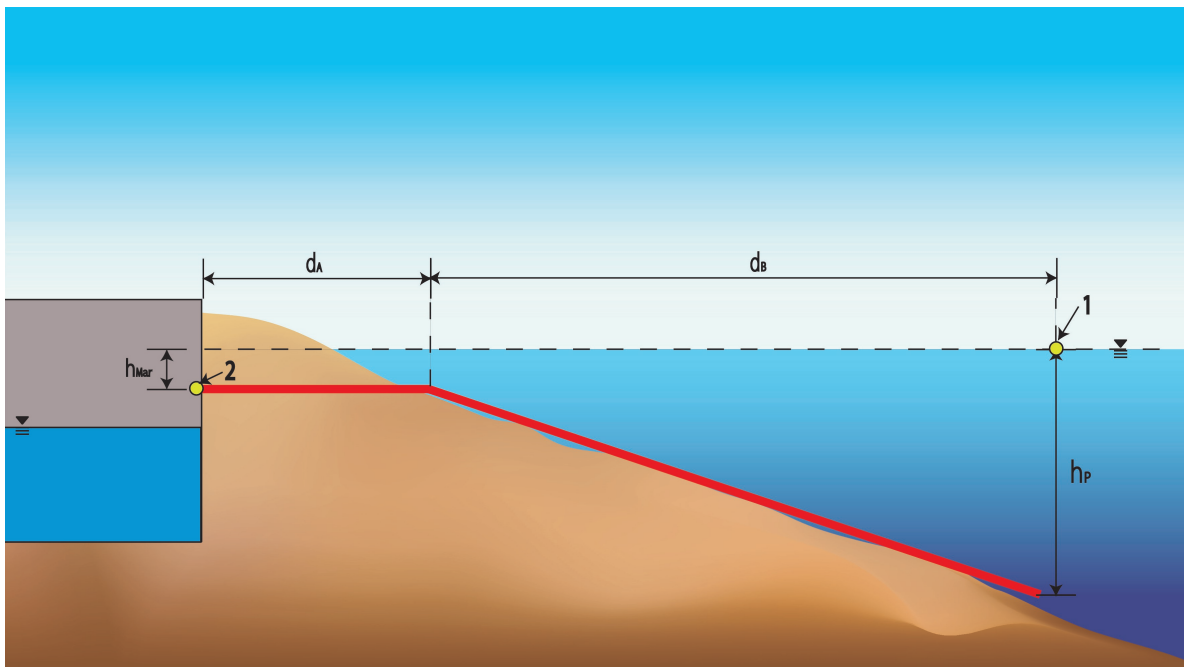


Figura 4.22: Diagrama para el diseño de la tubería de suministro de agua marina por vasos comunicantes (Elaboración propia, 2018)

En el diseño de la tubería de trasiego se tomarán varios aspectos en cuenta:

- Los puntos de análisis se señalan como 1 y 2 en la **Figura 4.22**. El primero es el punto superficial de agua marina justo arriba de la toma, mientras que el segundo es el punto de salida de agua marina en el tanque de abastecimiento.
- El caudal a trasegar deberá ser como mínimo el requerido por los tres módulos cuando estén en operación completa. Esto de manera tal que el tanque de suministro tenga una entrada de fluido igual o mayor a su salida de fluido en todo momento. Este valor corresponde a $3\,218,01\text{ m}^3/d$ ($1\,072,67\text{ m}^3/d$ para cada módulo, según su especificación dada en el Anexo B.3). Esto corresponde al primer criterio fundamental de diseño de la tubería.
- Se establece una diferencia de alturas entre los puntos de análisis 1 y 2 denominada como la variable h_{mar} . Esta siempre debe existir para que se produzca el efecto del vaso comunicante, caso contrario no existirá ningún tipo de diferencia de potencial que trasiegue el fluido entre los mismos. Esta diferencia se establece en 2 m de forma inicial.
- La tubería se instala de manera submarina, pero no subterránea, por la mayor parte del tramo. Esto con el fin de evitar lo más que se pueda la instalación subterránea por las características del terreno que se presentaron en la sección 4.4.2, además de evitar costos por excavación y complicaciones técnica que esta conlleve. Una vez que la tubería esté a 2 m de profundidad del nivel del mar, esta entrará de manera recta y subterránea en dirección a tierra hasta llegar al tanque de suministro por un tramo de distancia denominado como d_A . El análisis toma como supuesto que se trabaja con el menor nivel de mareas registrado en los últimos 50 años como se explicó anteriormente con los comportamientos batimétricos de la zona. De esta forma se tiene el caso de la menor energía potencial disponible para crear el efecto de bombeo hacia tierra, debido a una menor magnitud de la variable h_{mar} . Se define entonces que la ubicación de la toma correspondería a la profundidad de 20,1 m, menos esa variabilidad por mareas de 0,52 m, resultando en 19,58 m de profundidad (Lizano, 2017).
- Los materiales de la tubería de conducción usualmente utilizados consisten en concreto, plástico reforzado por vidrio (GRP por sus siglas en inglés) y polietileno de alta densidad (HDPE por sus siglas en inglés) (Vouthckov, 2013). El último ha sido el mayormente utilizado debido a su resistencia contra la corrosión y mayor flexibilidad. El GRP es más liviano, por lo que su flotabilidad requiere de más anclajes, mientras que el concreto es más costoso y con una menor vida útil. Por estas razones, a partir de ahora y por el resto del diseño total de todo el sistema se utilizará el HDPE como material de tubería. Además de las ya mencionadas, el HDPE ofrece poca rugosidad, alta resistencia a la luz solar y la adherencia de organismos marinos a la misma es menor. Como también es una tubería apta para trasegar agua potable, se utilizará en las secciones posteriores del diseño.
- Si bien es cierto en el diagrama ilustrativo de la **Figura 4.22** parece haber un cambio de pendiente entre las distancias marcadas como d_A y d_B , a la hora de construcción no existirá tal. La diferencia de altura total de apenas 19,58 m es despreciable a la par de los 2 800 m de distancia horizontal recorrida, generando una pendiente menor a $0,5^\circ$ que puede ser soportada por las propiedades flexibles del HDPE. Por ello, a partir de ahora

el sistema se toma como una tubería recta con una longitud total de $d_A + d_B$ equivalente a 2 800 m.

- El análisis supone el caso en el que el nivel de agua en el tanque de suministro de agua marina es inferior a la salida de la tubería marcado por el punto de análisis 2. En este caso se dará la mayor diferencia de potencial de energía y si el caudal necesario cumple con los requisitos en este caso, se podrá obtener una producción sin problemas.
- La velocidad de trasiego en la tubería deberá estar dentro de los parámetros establecidos por la *Especificación técnica para desalinización y potabilización de agua marina nacional* del AyA (2016), con valores entre los 0,10 m/s y 0,15 m/s. Este corresponde al segundo criterio de diseño. Este ámbito es necesario para garantizar que no ingresará flora o fauna marina de cierto tamaño en la succión de la toma de agua de mar (Vouthckov, 2013).

De esta manera, se procede a plantear la ec. 4.18 de balance de energía (Mott, 2006) entre los puntos 1 y 2 con las características y suposiciones anteriores. Esto llevará, eventualmente, a conocer un diámetro requerido para poder evaluar los costos de la tubería.

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} - h_f = Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} \quad (4.18)$$

Donde,

- Las variables Z_1 y Z_2 corresponden a las alturas en metros con respecto a un nivel de referencia establecido. Lo importante a considerar es su diferencia dada como $Z_1 - Z_2 = h_{mar}$, por lo que se seguirá tomando así durante el desarrollo de la ecuación.
- Las variables V_1 y V_2 corresponden a las velocidades de los respectivos puntos. El valor de V_1 es nulo por tomarse como la superficie de un cuerpo de agua masivo en reposo, mientras que la variable V_2 será la incógnita guía de diseño y resolución, buscando resultar entre 0,10 m/s y 0,15 m/s.
- El factor g corresponde a la constante de aceleración gravitacional, con un valor de 9,81 m/s^2 .
- Las variables $\frac{P_1}{\gamma}$ y $\frac{P_2}{\gamma}$ corresponden a las divisiones de presión en los puntos entre los pesos específicos del fluido trasegado. Ambos valores se cancelan a nivel manométrico por estar expuestos únicamente a la presión atmosférica.
- La variable h_f corresponde a las pérdidas por accesorios y por fricción en la tubería recta. Estas se desarrollarán más adelante con la ecuación simplificada.

Tras realizar las nulidades y sustituciones respectivas, el término del balance se convierte a términos más sencillos en la ec. 4.19.

$$h_{mar} - h_f = \frac{V_2^2}{2g} \quad (4.19)$$

Los términos h_{mar} y $\frac{V_2^2}{2g}$ ya fueron detallados y se mantienen sus unidades, sin embargo, hace falta enfocar en qué constituyen las pérdidas energéticas representadas por h_f en metros de columna de líquido, en este caso agua de mar. Las mismas pueden constituir:

1. Pérdidas por la entrada en la toma: como ya se detalló en la selección comercial de la misma, las pérdidas provocadas por la toma se consideran despreciables para el diseño, en comparación con las dadas por la fricción en la tubería.
2. Pérdida por la salida al tanque: estas se rigen por el método de la constante de fricción K (Mott, 2006), mostrada en la ec. 4.20 donde los términos V_2 y g ya se conocen, mientras que K tiene un valor de 0,5 en este caso (Mott, 2006).

$$h_f = K \cdot \frac{V_2^2}{2g} \quad (4.20)$$

3. Pérdidas por fricción a lo largo de la tubería: dadas por la ecuación de Darcy Weisbach (Mott, 2006). Esta se muestra en la ec. 4.21.

$$h_f = \frac{f \cdot L \cdot V_2^2}{D \cdot 2g} \quad (4.21)$$

Donde los términos V_2 y g ya se conocen, L es el largo de la tubería correspondiente a 2800 m y D el diámetro final de tubería a averiguar, mientras que f corresponde al factor de fricción. Este último tiene varias maneras de calcularse, pero de momento se utilizará la ecuación de Churchill (4.22) (Mott, 2006), suponiendo que se cuenta con un flujo turbulento con número de Reynolds de más de 4000 en todo momento. Esta suposición será verificada al final del proceso.

Es importante detallar que, aunque la normativa técnica para proyectos de abastecimiento de agua exige el uso del método de Hazen Williams (AyA, 2017), este se imposibilita en este caso. Esto se debe a que las restricciones de ese método solo permiten su uso en agua fría (40 °C como máximo). Al tratarse de un fluido diferente, su aplicación sería inexacta. Así, por facilidad de cálculos y razones de homologación de métodos se seguirá utilizando el método de Darcy Weisbach durante todo el diseño, incluso en aquellos casos donde se trate agua potable.

$$f = (2 \cdot \log(0,27 \cdot \epsilon/D + 7/Re^{0,9}))^{-2} \quad (4.22)$$

Donde D sigue siendo el diámetro de tubería a calcular, ϵ corresponde a la rugosidad del HDPE, correspondiente a $1,5 \cdot 10^{-6}m$ (CFIA, 2017) y Re es el número de Reynolds, obtenido mediante la ec. 4.23 (Mott, 2006).

$$Re = \frac{D \cdot V_2}{\nu} \quad (4.23)$$

Donde D sigue siendo el diámetro y V_2 la velocidad lineal en la tubería. Para este caso ν corresponde a la viscosidad cinemática del agua marina, equivalente a $9,37 \cdot 10^{-7}m^2/s$ (ITTC, 2011).

De esta manera, la resolución de la situación se resume a encontrar el diámetro necesario de tubería para que se cumplan los criterios de caudal y velocidad requeridos. Esto se logra con la ecuación equivalente de energía 4.24, tras combinar las anteriormente descritas y en conjunto con las ecuaciones de Reynolds 4.23 y Churchill 4.22. También será necesario utilizar

una relación entre el caudal requerido, la velocidad y el diámetro, dada por la ec. 4.25 con Q siendo el caudal en m^3/d .

$$h_{mar} - \left[0,5 \cdot \frac{V_2^2}{2g} + \frac{f \cdot L \cdot V_2^2}{D \cdot 2g} \right] = \frac{V_2^2}{2g} \quad (4.24)$$

$$Q = \frac{V_2 \cdot \pi \cdot D^2}{4} \quad (4.25)$$

En la próxima sección se desarrollará un método iterativo que brindará diferentes grupos de caudal, velocidad y diámetro disponibles para la selección, utilizando de manera sistemática la ec. 4.22, ec. 4.23, ec. 4.24 y ec. 4.25.

4.7.2. Iteraciones para obtener diámetro y velocidad en tubería

Tras encontrar el conjunto de ecuaciones correspondientes a la solución (Churchill 4.22, Reynolds 4.23, Energía 4.24 y Caudal 4.25), será necesario llevar a cabo una secuencia iterativa. Esta dará varios conjuntos de valores de factor de fricción, diámetro, velocidad y caudal que cumplan con las ecuaciones, así como con los criterios de diseño de caudal y velocidad, resultando finalmente en un diámetro para poder elegir comercialmente la tubería.

La **Figura 4.23** presenta la secuencia iterativa que se llevará a cabo para encontrar estos conjuntos de valores.

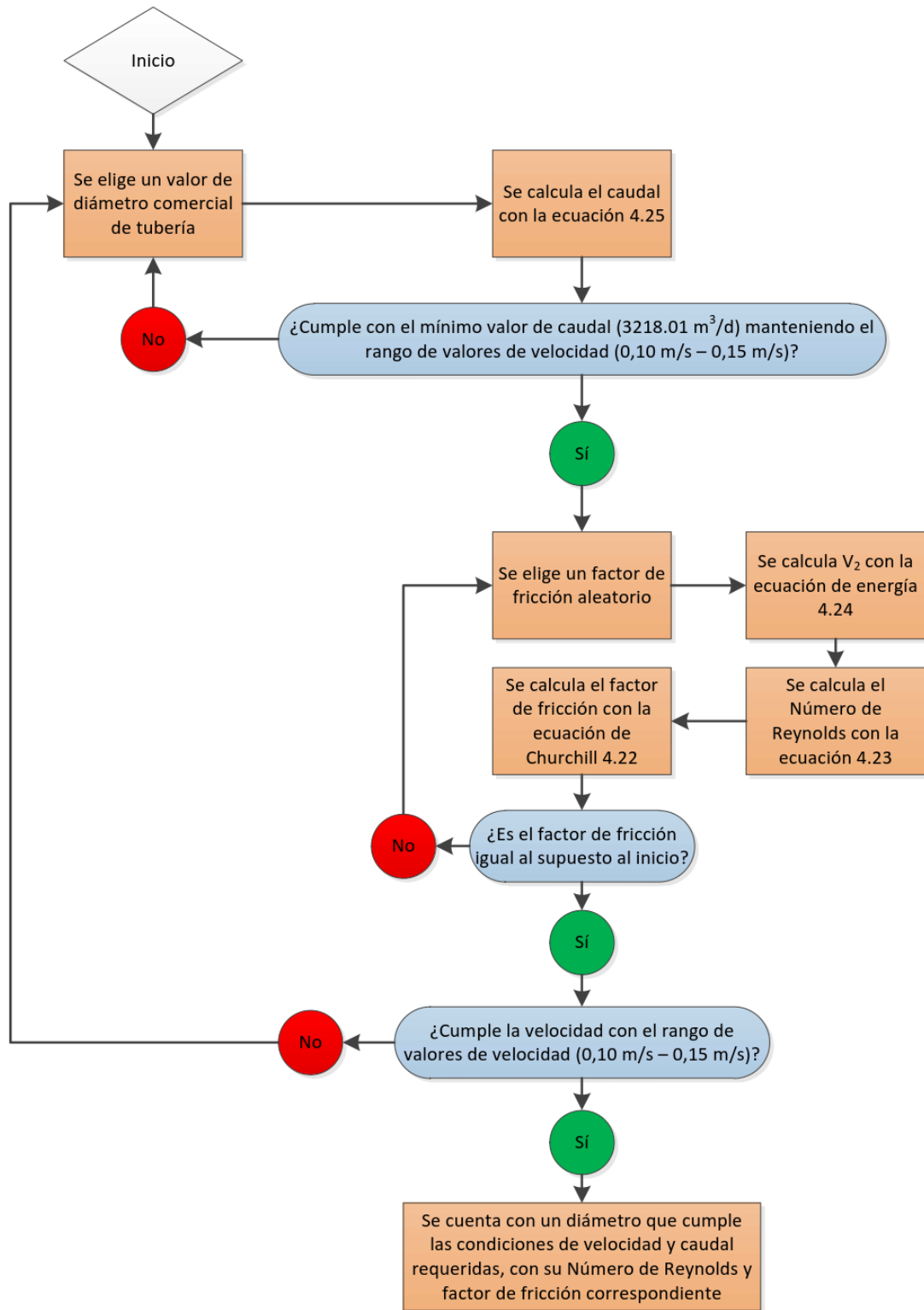


Figura 4.23: Diagrama de flujo para solución iterativa de las ecuaciones de tuberías (Elaboración propia, 2018)

De esta manera, se procedió a cubrir los dos primeros pasos del proceso iterativo suponiendo una serie de valores nominales de diámetros de tubería con su respectivo valor de caudal para varias velocidades supuestas entre los 0,10 m/s y los 0,15 m/s. Los resultados se aprecian en el **Cuadro 4.18**. Estos valores de diámetros comerciales pertenecen a la línea de WL Plastics y su información completa puede ser observada en el Anexo E.2.

Cuadro 4.18: Caudales permisibles en diámetros comerciales (Elaboración propia, 2018)

Diámetros nominales (IPS)		Caudales (m^3/d) en función de las velocidades permisibles (m/s) en tubería					
Pulgadas	Milímetros	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
0,75	18,8	2,39	2,62	2,86	3,10	3,34	3,58
1	25,0	4,24	4,67	5,09	5,51	5,94	6,36
1,25	31,3	6,63	7,29	7,95	8,61	9,28	9,94
1,5	37,5	9,54	10,50	11,45	12,41	13,36	14,31
2	50,0	16,96	18,66	20,36	22,05	23,75	25,45
2,5	62,5	26,51	29,16	31,81	34,46	37,11	39,76
3	75,0	38,17	41,99	45,80	49,62	53,44	57,26
4	100,0	67,86	74,64	81,43	88,22	95,00	101,79
5	125,0	106,03	116,63	127,23	137,84	148,44	159,04
6	150,0	152,68	167,95	183,22	198,49	213,75	229,02
8	200,0	271,43	298,58	325,72	352,86	380,01	407,15
10	250,0	424,12	466,53	508,94	551,35	593,76	636,17
12	300,0	610,73	671,80	732,87	793,94	855,02	916,09
14	350,0	831,27	914,39	997,52	1 080,65	1 163,77	1 246,90
16	400,0	1 085,73	1 194,31	1 302,88	1 411,45	1 520,03	1 628,60
18	450,0	1 374,13	1 511,55	1 648,96	1 786,37	1 923,79	2 061,20
20	500,0	1 696,46	1 866,11	2 035,75	2 205,40	2 375,04	2 544,69
22	550,0	2 052,72	2 257,99	2 463,26	2 668,53	2 873,80	3 079,07
24	600,0	2 442,90	2 687,19	2 931,48	3 175,77	3 420,06	3 664,35
26	650,0	2 867,02	3 153,72	3 440,42	3 727,12	4 013,82	4 300,53
28	700,0	3 325,06	3 657,57	3 990,07	4 322,58	4 655,09	4 987,59
30	750,0	3 817,04	4 198,74	4 580,44	4 962,15	5 343,85	5 725,55
32	800,0	4 342,94	4 777,23	5 211,53	5 645,82	6 080,11	6 514,41
34	850,0	4 902,77	5 393,05	5 883,32	6 373,60	6 863,88	7 354,15
36	900,0	5 496,53	6 046,18	6 595,84	7 145,49	7 695,14	8 244,80
42	1 050,0	7 481,39	8 229,53	8 977,67	9 725,81	10 473,94	11 222,08
48	1 200,0	9 771,61	10 748,77	11 725,93	12 703,09	13 680,25	14 657,41
54	1 350,0	12 367,19	13 603,91	14 840,63	16 077,35	17 314,07	18 550,79

Se puede observar que el diámetro de 700 mm (28 pulgadas) es el más pequeño para el cual una velocidad entre los 0,10 m/s y los 0,15 m/s permitiría un caudal de ingreso igual o superior al requerido por los tres equipos de desalinización al mismo tiempo (3 218,01 m^3/d). Por lo tanto, este será el diámetro elegido.

Posterior a esto se procedió a elegir un factor de fricción de 0,015 para comenzar la iteración y el proceso de cálculo de la variable de la velocidad V_2 . Esta se calcula con la ec. 4.24.

Es importante observar que esta última, desarrollada para despejar la variable seleccionada, concluye en una ecuación del tipo cuadrática con dos posibles soluciones dadas por la ec. 4.26 y la ec. 4.27.

$$V_2 = \frac{\frac{1}{2g} + \sqrt{\left(\frac{1}{2g}\right)^2 - 2\left[-\frac{f \cdot L}{D \cdot g} - \frac{k}{g}\right] \cdot h_{mar}}}{-\frac{f \cdot L}{D \cdot g} - \frac{k}{g}} \quad (4.26)$$

$$V_2 = \frac{\frac{1}{2g} - \sqrt{\left(\frac{1}{2g}\right)^2 - 2\left[-\frac{f \cdot L}{D \cdot g} - \frac{k}{g}\right] \cdot h_{mar}}}{-\frac{f \cdot L}{D \cdot g} - \frac{k}{g}} \quad (4.27)$$

Luego de obtener los dos posibles valores de la variable de velocidad, se procede a calcular el número de Reynolds 4.23 con la ecuación y el nuevo factor de fricción con la ecuación de Churchill 4.22. Los resultados pueden observarse en el **Cuadro 4.19**.

Cuadro 4.19: Primera iteración del diámetro de tubería para agua de mar (Elaboración propia, 2018)

Solución de ecuación cuadrática	Diámetro nominal (pulg.)	Diámetro nominal (mm)	Factor de fricción supuesto	Velocidad calculada (m/s)	Número de Reynolds	Factor de fricción calculado
Por ec. 4.26	28	700	0,015	-0,814	-607 773	N/A
Por ec. 4.27	28	700	0,015	0,797	595 427	0,013

La primera conclusión del cuadro anterior es que la solución resultante de la ec. 4.26 corresponde al valor negativo de velocidad en el modelo matemático, mientras que la ec. 4.27 es la que ofrece el comportamiento real. Por ello, se seguirá utilizando esta última en futuras resoluciones de la iteración. Ahora bien, se procede a recalculer la velocidad corrigiendo el factor de fricción supuesto por el calculado de manera repetitiva hasta que ambos converjan. Los resultados se presentan en el **Cuadro 4.20**.

Cuadro 4.20: Segunda iteración del diámetro de tubería para agua de mar (Elaboración propia, 2018)

Solución de ecuación cuadrática	Diámetro nominal (pulg.)	Diámetro nominal (mm)	Factor de fricción supuesto	Velocidad calculada (m/s)	Número de Reynolds	Factor de fricción calculado
Por ec. 4.26	28	700	0,013	0,853	636 864	0,013

De esta manera, según el diagrama de flujo de la **Figura 4.23** Ya se cuenta con un grupo de valores que corresponden al factor de fricción real. Además, su número de Reynolds es mayor al supuesto de 4 000 que se planteó cuando se decidió utilizar la ecuación de Churchill 4.22, por lo que la validez de la misma es correcta. A pesar de esto, la velocidad resultante de 0,853 m/s es demasiado alta y lejana al ámbito permisible con un máximo de 0,15 m/s.

Volviendo al análisis de la lógica del comportamiento del fluido dentro de la tubería, lo que se tiene hasta el momento es un conjunto de variables de energía disponible (la diferencia de altura entre los puntos de análisis) y pérdidas (fricción en el tubo y accesorios) que juntas dan como resultado una velocidad. Al ser esta demasiado alta, se cuenta con las siguientes opciones para disminuir su magnitud en el sistema:

1. Reducir el diámetro de la tubería: esto causaría un aumento de la fricción total dentro del tubo, de acuerdo con la ecuación de Darcy Weisbach 4.21. Esta opción debe tomar en consideración el **Cuadro 4.18** ya que menores diámetros requerirán de velocidades más altas para lograr el caudal requerido.
2. Incrementar la distancia de la toma: esto también incrementaría las pérdidas por fricción total dentro del tubo, también en relación al uso de la ecuación de Darcy Weisbach 4.21. Esto traería como consecuencia también un incremento en el gasto económico por la sección adicional de tubo a colocar.
3. Reducir la energía disponible para trasiego por diferencia de alturas: consiste esencialmente en disminuir la distancia dada por la variable h_{mar} , aumentando la altura del punto de análisis 2 (salida de la tubería). Esto reduce costos de excavación al disminuir la profundidad de la salida de la tubería en el tanque, sin embargo se incrementa el riesgo de cortar el vaso comunicante ante una marea demasiado baja.
4. Incrementar las pérdidas por accesorios: esto consistiría colocar valvulería en algún punto de la tubería, con el fin de obtener un punto de regulación del caudal con una pérdida controlable. Se tendría así la habilidad de modificar todo el grupo de variables (velocidad, fricción, Reynolds, entre otros) a través de un componente hidráulico. Se debe tomar en cuenta que conllevaría los costos de ese mismo componente.

En primera instancia se opta por probar con los diferentes diámetros disponibles. En términos generales el proceso que llevó a los resultados del **Cuadro 4.20** se repitió para los diferentes valores comerciales, llevando a cabo las iteraciones necesarias hasta que los factores de fricción supuestos y calculados fueran equivalentes. Los resultados se presentan en el **Cuadro 4.21**.

Cuadro 4.21: Iteraciones diferenciadas por diámetros (Elaboración propia, 2018)

Diámetro nominal (pulg)	Diámetro nominal (mm)	Factor de fricción supuesto	Velocidad calculada (m/s)	Número de Reynolds	Factor de fricción calculado
0,75	18,8	0,066	0,063	1 260,52	0,066
1	25,0	0,054	0,081	2 147,73	0,054
1,25	31,3	0,047	0,097	3 221,47	0,047
1,5	37,5	0,042	0,112	4 467,69	0,042
2	50,0	0,036	0,139	7 436,42	0,036
2,5	62,5	0,032	0,165	10 989,11	0,032
3	75,0	0,029	0,188	15 079,53	0,029
4	100,0	0,026	0,232	24 738,90	0,026
5	125,0	0,024	0,271	36 203,73	0,024
6	150,0	0,022	0,308	49 324,42	0,022
8	200,0	0,020	0,375	80 099,84	0,020
10	250,0	0,018	0,436	116 388,03	0,018
12	300,0	0,017	0,493	157 709,89	0,017
14	350,0	0,016	0,545	203 700,56	0,016
16	400,0	0,016	0,595	254 068,70	0,016
18	450,0	0,015	0,643	308 573,79	0,015
20	500,0	0,014	0,688	367 012,29	0,014
22	550,0	0,014	0,731	429 208,66	0,014
24	600,0	0,014	0,773	495 009,17	0,014
26	650,0	0,013	0,814	564 277,50	0,013
28	700,0	0,013	0,853	636 891,55	0,013
30	750,0	0,013	0,891	712 740,95	0,013
32	800,0	0,013	0,927	791 725,23	0,013
34	850,0	0,012	0,963	873 752,32	0,012
36	900,0	0,012	0,998	958 737,38	0,012
42	1 050,0	0,012	1,098	1 230 681,39	0,012
48	1 200,0	0,011	1,192	1 526 715,14	0,011
54	1 350,0	0,011	1,281	1 845 298,28	0,011

De los valores analizados solo los diámetros de 37,5 mm (1,5 pulgadas) y 50 mm (2 pulgadas) (indicados en verde) cumplirían con velocidades dentro de las especificaciones requeridas, sin embargo, sus caudales equivalentes no son los suficientes para cumplir con la demanda de los tres módulos en operación, de acuerdo con los datos del **Cuadro 4.18**. El **Cuadro 4.22** muestra los resultados incrementando la distancia de la toma dada por la variable L , con un diámetro de 700 mm (28 pulgadas) como se planteó al inicio.

Cuadro 4.22: Iteraciones diferenciadas por longitudes; $\Phi_{nom} = 700 \text{ mm}$ (28pulg) (Elaboración propia, 2018)

Distancia L de la toma (m)	Factor de fricción supuesto	Velocidad calculada (m/s)	Número de Reynolds	Factor de fricción calculado
2 800	0,013	0,853	636 834,48	0,013
2 900	0,013	0,837	624 960,08	0,013
3 000	0,013	0,822	613 689,93	0,013
3 100	0,013	0,807	602 974,95	0,013
3 200	0,013	0,794	592 771,46	0,013
3 300	0,013	0,781	583 040,39	0,013
3 400	0,013	0,768	573 746,75	0,013
3 500	0,013	0,756	564 859,04	0,013
3 600	0,013	0,745	556 348,82	0,013
3 700	0,013	0,734	548 190,39	0,013
3 800	0,013	0,723	540 360,38	0,013
3 900	0,013	0,713	532 837,57	0,013
4 000	0,014	0,704	525 602,58	0,014
4 100	0,014	0,694	518 637,70	0,014
4 200	0,014	0,685	511 926,70	0,014
4 300	0,014	0,677	505 454,68	0,014
4 400	0,014	0,668	499 207,93	0,014
4 500	0,014	0,660	493 173,81	0,014
4 600	0,014	0,652	487 340,65	0,014
4 700	0,014	0,645	481 697,65	0,014
4 800	0,014	0,638	476 234,82	0,014
4 900	0,014	0,630	470 942,85	0,014
5 000	0,014	0,624	465 813,13	0,014

De forma similar, llegando incluso a los 5 000 m de distancia la velocidad no alcanza a valores cercanos a los permitidos por el ámbito de 0,10 m/s a 0,15 m/s. Por ende, esta solución es inviable. El **Cuadro 4.23** muestra ahora los valores disminuyendo la diferencia dada por la variable h_{mar} , con un diámetro de 700 mm (28 pulgadas) y una distancia original L de 2 800 m.

Cuadro 4.23: Iteraciones diferenciadas por desnivel (h_{mar}) (Elaboración propia, 2018)

Diferencia de altura entre puntos h_{mar} (m)	Factor de fricción supuesto	Velocidad calculada (m/s)	Número de Reynolds	Factor de fricción calculado
0,1	0,018	0,157	117 551,36	0,018
0,2	0,017	0,234	175 037,03	0,017
0,3	0,016	0,295	220 411,72	0,016
0,4	0,015	0,347	259 334,30	0,015
0,5	0,015	0,394	294 057,98	0,015
0,6	0,015	0,436	325 758,93	0,015
0,7	0,015	0,475	355 145,10	0,015
0,8	0,014	0,512	382 682,61	0,014
0,9	0,014	0,547	408 698,04	0,014
1,0	0,014	0,580	433 430,98	0,014
1,1	0,014	0,612	457 063,45	0,014
1,2	0,014	0,642	479 737,70	0,014
1,3	0,014	0,671	501 567,43	0,014
1,4	0,014	0,700	522 645,26	0,014
1,5	0,013	0,727	543 047,86	0,013
1,6	0,013	0,754	562 839,56	0,013
1,7	0,013	0,779	582 074,96	0,013
1,8	0,013	0,804	600 800,90	0,013
1,9	0,013	0,829	619 057,94	0,013
2,0	0,013	0,853	636 881,44	0,013

Se observa que únicamente reduciendo la distancia vertical de diferencia de alturas a unos 0,10 m se comienzan a alcanzar valores de velocidad cercanos a los requeridos. Esto deja en riesgo que si se alcanzan valores de marea por debajo de lo visto los últimos 50 años se corte por completo el vaso comunicante y no haya movimiento del fluido. Así, se plantea ahora la posibilidad de suplantarse la salida del tanque por una válvula con regulación. Esto de tal forma que se puedan variar las pérdidas por accesorios en función de la altura de la marea y lograr así las velocidades requeridas.

De esta manera se muestra el **Cuadro 4.24** con los valores k necesarios de pérdidas en la válvula a la salida de tubería, que antes poseía un valor fijo de 0,5. Esto supone que, al ser la válvula un elemento regulable, se tendrá un valor de k que iría desde su valor completamente abierta hasta una tendencia a infinito. Esto último ya que, cuando se encuentre totalmente cerrada, no permitirá el paso del agua de mar, creando una velocidad de cero.

Cuadro 4.24: Iteraciones diferenciadas por constante de pérdida k por válvula (Elaboración propia, 2018)

Valores de constante K de pérdidas por válvula	Factor de fricción supuesto	Velocidad calculada (m/s)	Número de Reynolds	Factor de fricción calculado
0,1	0,014	0,558	389 503,21	0,014
0,5	0,014	0,556	388 131,96	0,014
1	0,014	0,553	386 439,33	0,014
10	0,015	0,515	359 487,71	0,015
50	0,015	0,409	285 592,25	0,015
100	0,016	0,340	237 106,61	0,016
200	0,016	0,268	186 784,93	0,016
300	0,017	0,228	159 264,28	0,017
400	0,017	0,202	141 244,24	0,017
500	0,018	0,184	128 259,33	0,018
600	0,018	0,169	118 324,42	0,018
700	0,018	0,158	110 403,23	0,018
800	0,019	0,149	103 894,41	0,019
900	0,019	0,141	98 421,65	0,019
1 000	0,019	0,134	93 735,74	0,019
1 100	0,019	0,128	89 664,15	0,019
1 200	0,019	0,123	86 083,15	0,019
1 300	0,019	0,119	82 901,31	0,019
1 400	0,020	0,115	80 049,46	0,020
1 500	0,020	0,111	77 474,13	0,020
1 600	0,020	0,108	75 133,27	0,020
1 700	0,020	0,105	72 993,27	0,020
1 800	0,020	0,102	71 026,91	0,020
1 900	0,020	0,099	69 211,86	0,020
2 000	0,020	0,097	67 529,65	0,020

Los resultados muestran que integrando un accesorio que agregue pérdidas con una variable k entre los 800 y 1800 se podrán obtener las condiciones necesarias de velocidad entre los 0,10 m/s y los 0,15 m/s. Esto en conjunto con el diámetro correcto, suplirá el caudal necesario.

A manera de resumen, las siguientes variables de la tubería son las finalmente seleccionadas:

1. Una tubería de HDPE como material y de 700 mm (28 pulgadas) nominales de diámetro (IPS). La finalmente seleccionada tiene un diámetro interno de 664,820 mm (26,174 pulgadas) con un DR de 32,5 (Ver Anexo E.2). Los resultados del **Cuadro 4.24** son tomando en cuenta este valor.
2. Se realizan los cálculos tomando una diferencia de puntos de análisis de 1 m. Esto respecto al nivel de mareas más bajo en los últimos 50 años.
3. El largo final de la tubería es de 2800 m. De estos, 2300 m son submarinos, mientras que los últimos 500 m hacia la planta son subterráneos.

4. Se coloca una válvula regulable al final de la tubería, capaz de producir valores de pérdidas relacionados a constantes k entre los 800 y 1800 o ámbitos superiores. Su selección comercial se detallará más adelante.

Los parámetros y componentes anteriores garantizan que se operará con velocidades entre los 0,10 m/s y 0,15 m/s. En conjunto con el diámetro interno de 664,820 mm (26,174 pulgadas), se garantiza que suplirá los caudales necesarios para los módulos en todo momento. La **Figura 4.24** resume con puntos de altura batimétrica y distancia horizontal el comportamiento de la tubería en su trayecto.

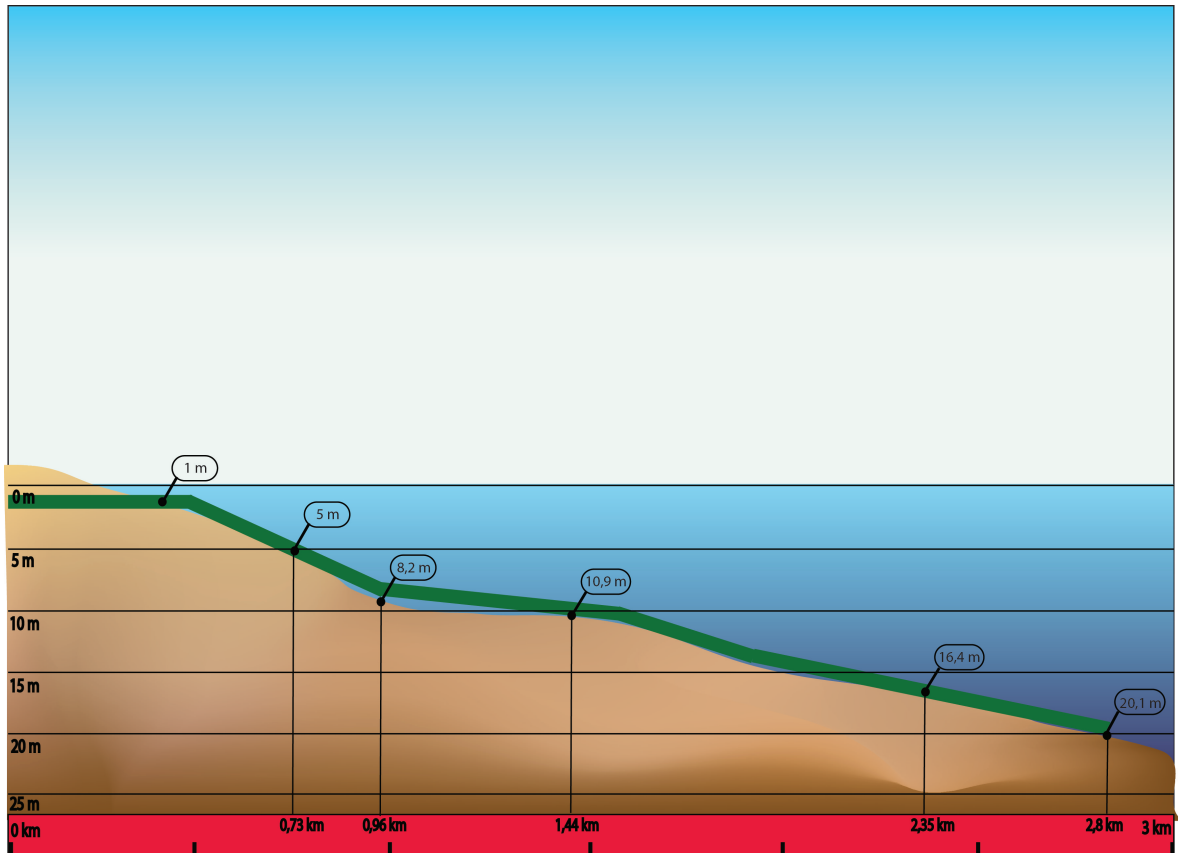


Figura 4.24: Corte batimétrico con tubería para suministro de agua de mar (Elaboración propia, 2018)

4.7.3. Válvula de regulación de caudal

Debido a su aplicación, la válvula seleccionada deberá cumplir con una serie de requisitos:

- Poder acoplarse a una tubería de HDPE de 700 mm (28 pulgadas) de diámetro nominal.
- Operar en diferentes condiciones de apertura y variar este parámetro constantemente con los cambios de marea.
- Operar con fluidos corrosivos, como lo es el agua de mar. Así se garantiza que la integridad estructural permanece y no se contamina el agua de mar con residuos de la corrosión.

- Ser de fácil automatización, ya que estará ubicada a una profundidad importante.

Con ello, se elige una válvula de tipo mariposa de la marca Bray de la serie 36, con un diámetro de 700 mm (28 pulgadas) similar al de la imagen de la **Figura 4.25**. Esta fue seleccionada por la empresa TecnoSagot como mejor opción ante las variables suministradas.

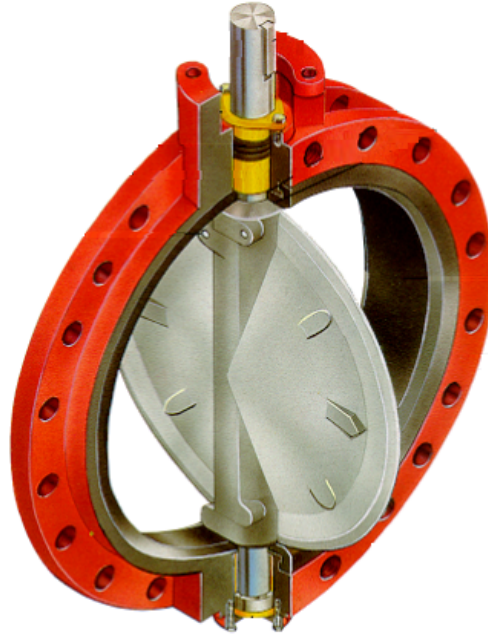


Figura 4.25: Válvula marca Bray, serie 36 a ser utilizada a la salida de la toma de agua marina para regulación del caudal (Bray International, s.f.)

Esta posee un cuerpo de hierro fundido ASTM A125 Clase B, con un disco del mismo material, pero recubierto en Nylon 11 para evitar problemas por corrosión. El vástago está hecho de acero inoxidable para cumplir el mismo propósito. Estas y otras características de la válvula se detallan en el Anexo E.3.

A esta válvula se le añadirá un actuador de la marca AUMA, serie SQR 14.2 para poder realizar su operación de manera remota en conjunto con el monitoreo del nivel de mareas. Este puede visualizarse en la **Figura 4.26**.



Figura 4.26: Actuador marca AUMA, modelo SQR 14.2 a ser utilizada junto a válvula de regulación de caudal (AUMA, s.f.)

Esta puede realizar un giro de 90° en un tiempo entre los 40 s y 85 s dependiendo de su alimentación y configuración. Otras características técnicas se detallan en el Anexo E.4. Este y la válvula se instalarán en un compartimiento que se detallará junto con el posterior desarenador y vertedero.

4.7.4. Soportería para tubería de suministro

Esta sección procederá a mostrar el diseño elegido para los soportes y su espaciamento para la tubería que se instala de manera submarina, mas no subterránea. Para esto, se llevó a cabo una metodología especial, señalada por el Plastics Pipe Institute (PPI)¹, ya que se está utilizando tubería de HDPE. En esta se toman en cuenta los porcentajes de aire dentro de la tubería y su material, además del proceso de instalación y todo lo que esto conlleva para asignar contrapesos que eviten su flotabilidad en el mar. Para llevar el cálculo a cabo, se debe de calcular la fuerza boyante con la ec. 4.28 con las unidades en el sistema inglés (Plastics Pipe Institute, s.f.) :

$$F_B = [0,005450D_o^2\rho_w][4,24\frac{DR-1,06}{DR^2} \cdot \frac{\rho_P}{\rho_W} + (1 - \frac{2,12}{DR})^2(1 - R)\frac{\rho_C}{\rho_W} - 1] \quad (4.28)$$

Donde:

- F_B : Fuerza boyante, en lb/pie
- D_o : Diámetro externo, en este caso 28 pulgadas.

¹Este método requiere que los datos que se introduzcan en sus fórmulas tengan unidades del sistema imperial, de lo contrario no da resultados verídicos. Por esta razón se omitirá el uso del Sistema Internacional de Unidades (SI) durante la explicación de la sección en cuestión. Aún así el resultado final del cálculo se convierte a unidades del SI y de ahí en adelante se sigue trabajando con dicho valor.

- D_R : Relación de dimensión de la tubería, en este caso 32,5 y es adimensional. Ver Anexo E.2
- R : Porcentaje de tubo ocupado por aire
- ρ_W : Densidad del agua afuera de la tubería, en este caso 64,11 lb/pie²
- ρ_P : Densidad del material, para el HDPE de 59,93 lb/pie²
- ρ_C : Densidad del contenido de la tubería, que para este escenario es el mismo fluido externo, por lo que es igual a ρ_W .

Con respecto a la variable porcentual R , para esto se plantearon dos secciones de tubería en los 2 300 m que se encuentran sumergidos, pero no enterrados. La primera serían los primeros 500 m en dirección hacia el mar, viniendo de la costa. Para esta se considera un porcentaje de aire mayor en la tubería durante el proceso de instalación, por lo que se asigna un 20 % de acuerdo (PPI, s.f.), considerando posibles movimientos por el oleaje. Para el siguiente tramo de 1800 m se considera un 10 %, al tener ya una parte considerable de su tramo sumergido durante la instalación.

Para estos dos escenarios, se calcula posteriormente el espaciamiento entre soportes con la ec. 4.29.

$$L = \frac{B_A \cdot (\rho_B - \rho_W)}{W_s \cdot \rho_B} \quad (4.29)$$

Donde:

- L : espaciamiento entre soportes, en pies
- B_A : peso del balasto en el aire. De acuerdo con el PPI (s.f.), el balasto indicado para una tubería de 28 pulgadas pesa 900 lb
- ρ_B : densidad del balasto o soporte. Esta se elige de 150 lb/pie³ para concreto reforzado
- W_s : Peso requerido de sumergencia, en este análisis es equivalente a la fuerza boyante calculada en la ec. 4.28
- ρ_W : Densidad del agua afuera de la tubería, en este caso 64,11 lb/pie²

De esta manera, se tiene en el **Cuadro 4.25** el resultado de las aplicaciones para los dos segmentos de tubería elegidos. Esto conlleva un total de 460 soportes de concreto reforzado a lo largo de los 2 300 m de tubería sumergida.

Cuadro 4.25: Espaciamiento de la soportería para tubería de suministro (Elaboración propia, 2018)

Tramo de Tubería	Fuerza Boyante (lb/pie)	Espaciamiento (pie)	Espaciamiento (m)	Cantidad de soportes
Tramo 1 (500 m)	50,13	10,28	3,13	160
Tramo 2 (1 800 m)	26,19	19,67	6	300
Total				460

Con esto se concluye el diseño de los sistemas previos a la entrada de la planta como tal. Posteriormente se realizará el diseño de los sistemas de almacenamiento y su relación con los módulos de desalinización.

Capítulo 5

Diseño de sistemas de subproceso

En este capítulo se contemplan los sistemas de almacenamiento, hidráulicos y su interconexión con los demás componentes mecánicos y desalinización por ósmosis inversa.

5.1. Tanque de suministro de agua marina

Este segmento pretende exponer el diseño del primer componente dentro de la planta, que tiene como objetivo el almacenamiento del agua de mar. también se analizan los cálculos y selección relacionados al sistema de bombeo hacia los módulos de desalinización.

5.1.1. Recinto de la válvula, desarenador y vertedero

En esta sección se describirá el diseño del sistema posterior a la tubería de abastecimiento de 2 800 m y anterior a los tanques de almacenamiento de agua de mar. Este tiene por objetivo crear un sistema de filtración de partículas mayores antes de llegar al mismo. En general, se puede apreciar en la **Figura 5.1**

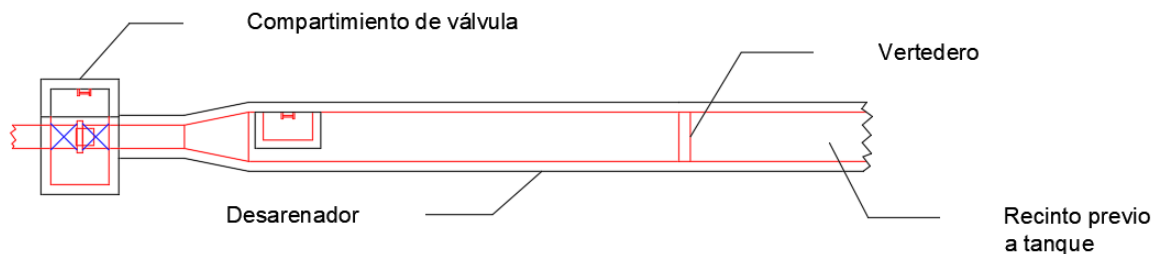


Figura 5.1: Esquema de planta de los componentes entre la tubería de suministro de agua de mar y el tanque de almacenamiento de agua de mar (Elaboración propia, 2018)

Antes de entrar en detalle con cada parte en sí, es importante ubicar la profundidad a la que la toma aparece ya en el terreno. La tubería está verticalmente a 1 m de profundidad respecto al mínimo valor de mareas de los últimos años (es decir, a 1,52 m debajo del cero batimétrico) su profundidad en el sitio de la planta es mucho mayor. Importante resaltar que existe un desajuste entre el cero batimétrico y el cero topográfico (O. Lizano, 2017). Utilizando

el software Google Earth antepuesto con los datos de batimetría de la **Figura 4.15** se logró medir una diferencia de 0,7 m de profundidad real del topográfico respecto al batimétrico. Siendo la altura topográfica del terreno 8 m, significa que la toma que está a 1,52 m por debajo del nivel batimétrico se encuentra realmente a 8,82 m bajo tierra respecto al nivel del suelo del terreno seleccionado. Esquemáticamente, esta diferencia se puede apreciar en la **Figura 5.2**.

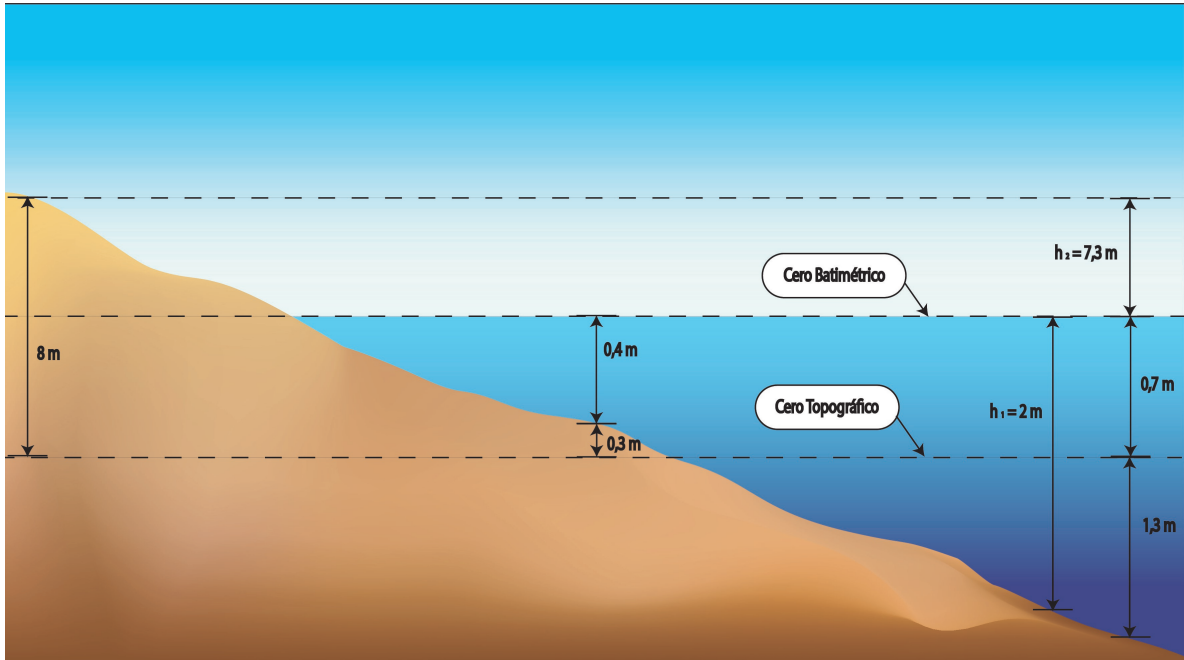


Figura 5.2: Diferencia dimensional entre los ceros topográficos y batimétricos de la zona (Elaboración propia, 2018)

De esta manera, se tiene primeramente el diseño de un compartimiento de acceso para la válvula de 700 mm (28 pulgadas) marca Bray. El detalle del mismo se aprecia en la **Figura 5.3**.

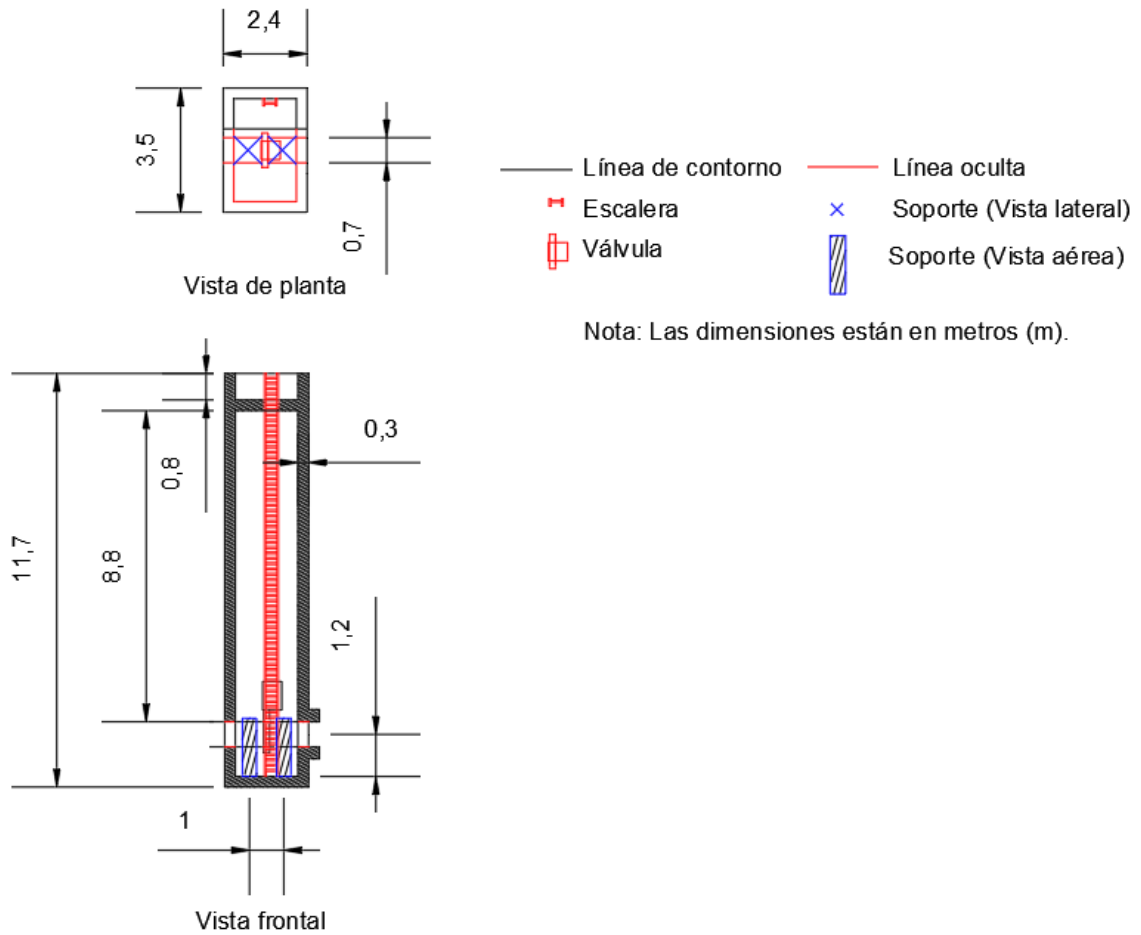


Figura 5.3: Detalle esquemático y dimensional del compartimiento de la válvula de regulación de caudal de agua de mar (Elaboración propia, 2018)

El mismo tiene una profundidad total de 11,7 m, con dimensiones transversales de 2,4 m y 3,5 m, lo suficiente como para realizar labores de mantenimiento a la válvula de manera cómoda. Se observa que la parte superior de la tubería es la que se encuentra a 8,82 m de profundidad, asistida por soportería con un espaciamiento de 1 m de distancia. Los bordes de las paredes de concreto del recinto se diseñan con un espesor de 0,30 m por recomendación de la compañía ISR (L. Mayer, comunicación personal, 17 de marzo de 2018). Además, se tiene un punto de acceso con una escotilla y una escalera.

Posterior a este recinto se tiene un desarenador, vertedero y el recinto previo al tanque. Si bien es cierto la toma de agua de mar adentro garantiza la filtración de cuerpos grandes, es recomendable contar con un elemento de este tipo para la filtración de la arena remanente (A. Caldera, comunicación personal, 1 de febrero de 2018). En la **Figura 5.4** se muestran las dimensiones de estos componentes.

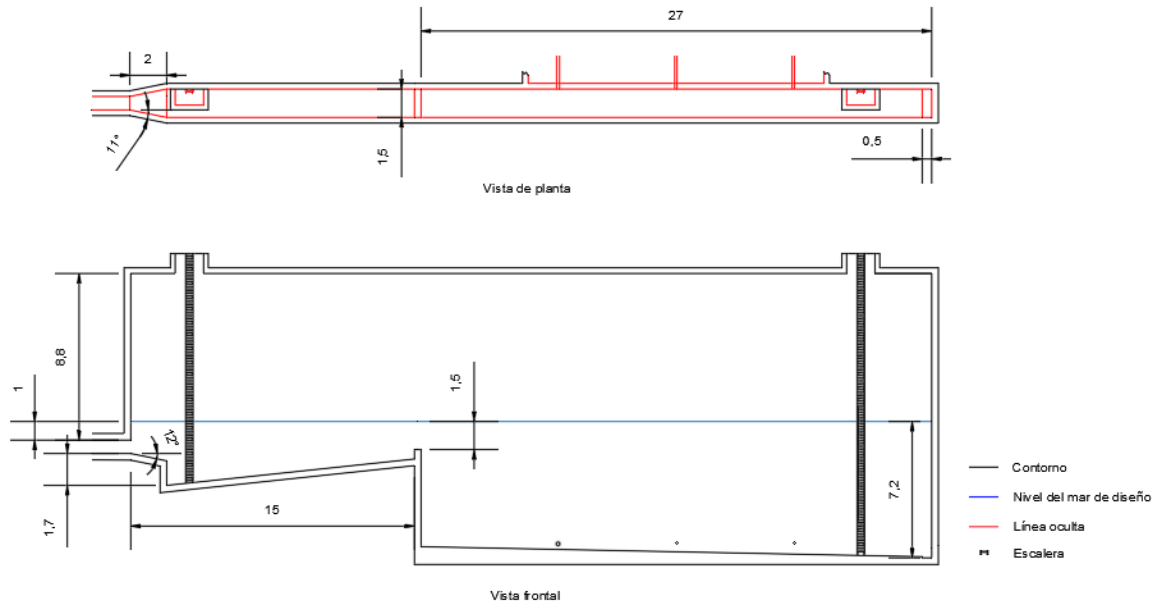


Figura 5.4: Detalle esquemático y dimensional del desarenador, vertedero y recinto previo al tanque (Elaboración propia, 2018)

Se tiene así un desarenador por pendiente sencilla. A nivel de diseño se toman en cuenta las siguientes consideraciones, según la *Guía para Diseño de Desarenadores y Sedimentadores* de la Organización Panamericana de la Salud (2005):

- Se cuenta con un ángulo de divergencia entre el desarenador y la tubería de no más de 12° tanto lateralmente como en su parte inferior. Por ello también se le asigna un tramo de 2 m a esta sección.
- La relación de largo y ancho del desarenador debe estar entre 10 y 20. Es por esto que para su ancho de 1,5 m se asigna un largo total de 15 m. Para ello se asignó una profundidad de 1,7 m al vertedero respecto al tramo inferior de la tubería.
- Se asigna también un vertedero final para el paso del agua hacia el recinto. Este está medio metro por debajo de la línea inferior de la tubería, garantizando que este nunca cortará el vaso comunicante.
- Se asigna una escalera de servicio como acceso al vertedero.

El recinto cuenta con una dimensión en longitud de 27 m para calzar con las medidas del tanque de almacenamiento que se detallará en la sección posterior. Las profundidades e inclinaciones del recinto se diseñan también con base a las recomendaciones del *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones* del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA) (2017). Así, se tiene una inclinación de aproximadamente 2% para sedimentos remanentes en este. El mismo también posee tres tuberías de paso al tanque, cuya selección también será detalladas en la siguiente sección. Por último, todas las paredes de la edificación se dimensionan en concreto con la recomendación inicial de 0,30 m y se cuenta también con una escalera de acceso al mismo.

Es importante verificar la velocidad de lineal que se tendrá en el desarenador, ya que si esta supera 1 m/s se producirá un fenómeno de turbulencia que arrastrará el material, volviéndose poco efectivo (Organización Panamericana de la Salud, 2005). Las condiciones de mayor velocidad en el mismo se darán cuando se necesite el mayor caudal (con los 3 módulos operando, es decir, $3\,218,01\text{ m}^3/d$) en la sección transversal del vertedero por ser el área menor, al mismo tiempo que se tenga la condición más baja de marea.

Así, aplicando inversamente la ecuación de caudal (ec.4.25), con un área equivalente rectangular de 0,5 m x 1,5 m y el caudal ya mencionado se tiene que la velocidad es de apenas 0,018 m/s. Este valor está muy alejado del límite unitario recomendado, por lo que se considera que el vertedero operará de manera correcta en todo momento.

5.1.2. Comunicación entre el vertedero y los tanques

Una vez que el agua marina ha llegado al vertedero, esta debe fluir hasta los tanques de agua marina. En este caso, dicha conexión se hace por medio de tres tuberías. Cada una de ellas conecta a uno de los tres tanques con el vertedero. Es por ello que se puede decir que esta sección funciona como un “manifold”. Esto se hace para poder independizar a cada tanque y poder facilitar las labores de mantenimiento.

Como se puede observar en las **Figuras 5.5** y **5.6**, esta sección intermedia de conexión tiene una pequeña casa de máquinas. Esta cuenta con una profundidad total de 15,7 m y una sección de 16,2 m x 3,6 m. La gran profundidad se debe a que las tuberías se han colocado estratégicamente en la parte inferior del vertedero para minimizar el volumen muerto, el cual no es aprovechable. Asimismo, el largo se debe a las dimensiones que hay entre las tres divisiones del tanque. En cuanto a la ubicación de las tuberías, la segunda está centrada con su respectivo tanque y las otras dos se encuentran a 6,2 m de ella. Por último, se ha definido que 3 metros es una distancia suficiente para poder realizar trabajos de mantenimiento de manera cómoda, sin generar muchas pérdidas por fricción y minimizando costos de excavación.

Debido a la profundidad a la que se encuentran las tuberías se ha propuesto la instalación de una puerta de acceso, así como de una escalera vertical. Esto debido a que, se quiere mantener el tramo de tubería expuesto por dos motivos. El primero de ellos es para poder realizar inspecciones visuales a distancia. El segundo motivo es que se debe poder acceder a controlar las válvulas mecánicas que regulan el flujo que entra a cada tanque.

Vale destacar que, la tubería que se encuentra más a la izquierda cuenta con una válvula de mariposa. Esto se debe principalmente a que, la sección de la izquierda del tanque, contiene dos bombas; una de ellas es la de respaldo. Este hecho hace que, en caso que ambas bombas tengan que operar simultáneamente, el sistema debe de permitir la entrada de dos terceras partes del caudal total de abastecimiento del proyecto. Asimismo, el sistema debe ser tan dinámico, que en el momento en donde solo se necesite accionar una bomba, permita el paso de un tercio del caudal total. De esta forma, una de las razones por las que se elige una válvula de mariposa es por la necesidad de tener una válvula que permita controlar el flujo. Otras características que presenta este tipo de válvula que han llevado a esta decisión son:

- Se utiliza para accionamiento frecuente.
- Son de poco peso y compactas.
- Necesitan poco mantenimiento.

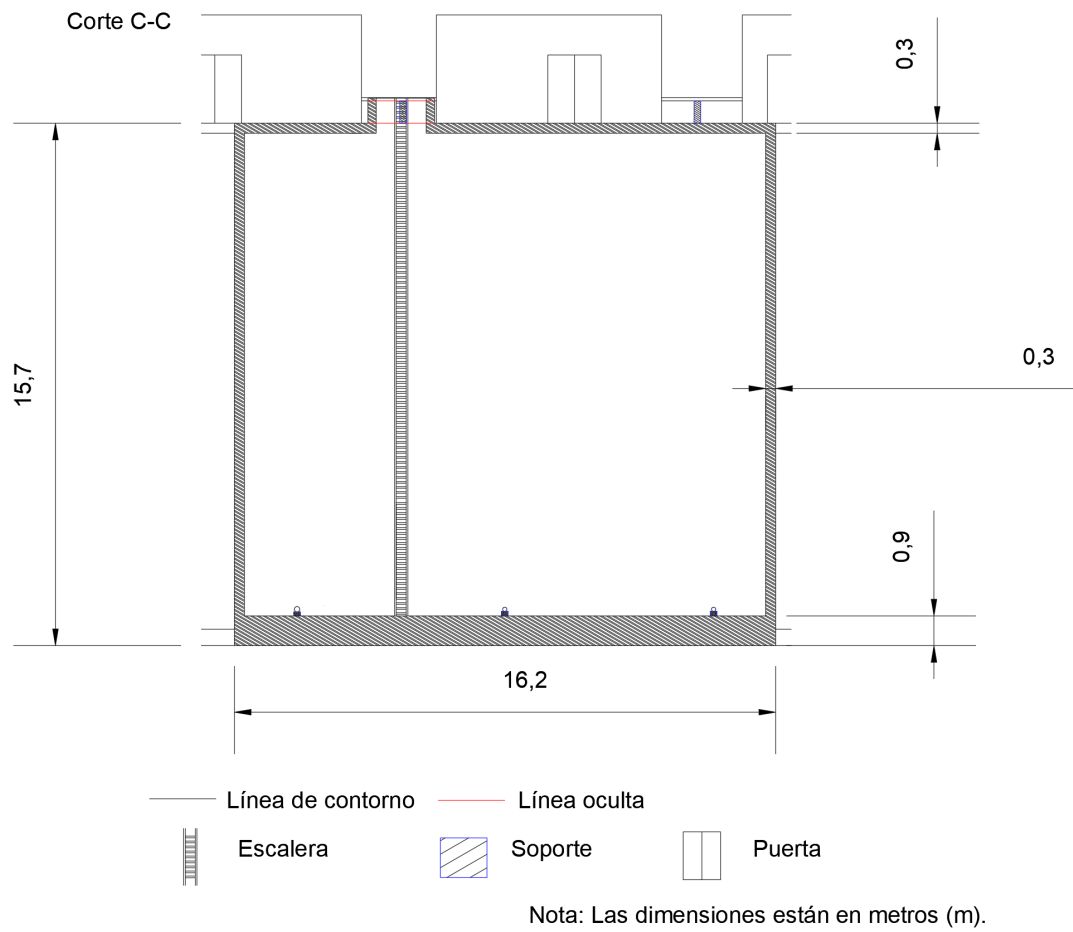


Figura 5.5: Vista frontal de la sección intermedia (Elaboración propia, 2018)

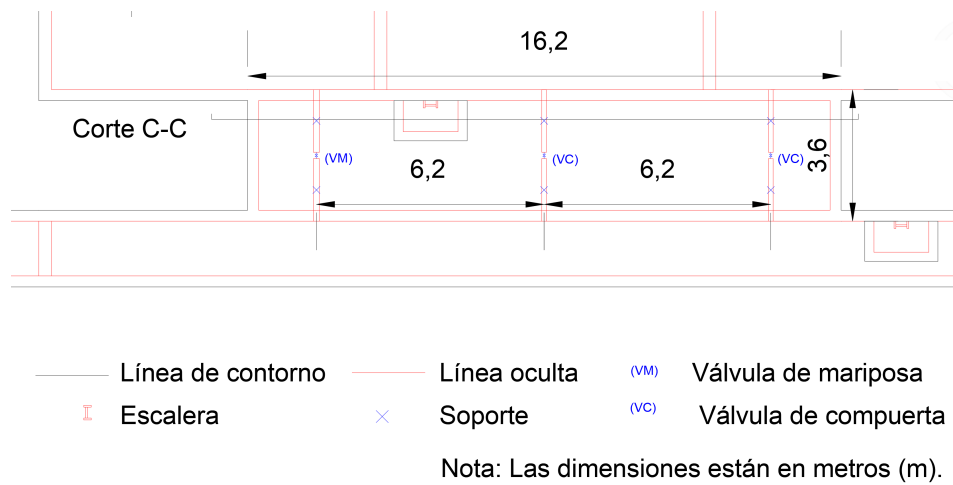


Figura 5.6: Vista superior de la sección intermedia (Elaboración propia, 2018)

Por otro lado, las otras dos válvulas con las que se cuenta en esta sección son de compuerta. La decisión de utilizar este tipo de válvula en esta ocasión y en el resto del proyecto recae básicamente en que es una válvula que se utiliza únicamente de dos maneras, totalmente abierta o totalmente cerrada. De esta forma, el tanque está en total funcionamiento o se detiene por completo su operación. Otras ventajas que presenta este tipo de válvula y la razón que han llevado a seleccionarla son:

- Presenta cierre hermético.
- Se utiliza para uso frecuente y sin estrangulación.
- Se utiliza para líquidos corrosivos.
- Genera pocas pérdidas de presión.
- Tiene un bajo costo relativo.

Finalmente se debe comentar sobre algunos detalles relacionados con la obra civil. Hay varios espesores importantes de mencionar. El primero de ellos es la losa del piso. Para este, la compañía ISR recomendó utilizar un espesor de entre 0,35 m a 0,50 m. Debido a que este tramo está más arriba que la sección de los tanques y toda la edificación es una sola, se decidió sugerir que se tengan un espesor de 0,89 m en esta parte. Seguidamente, las paredes y el techo o parte superior de la sección intermedia tienen 0,30 m cada uno, recomendación dada por la misma compañía mencionada (L. Mayer, comunicación personal, 17 de marzo de 2018).

5.1.3. Tubería vertedero-tanques

En cuanto a los cálculos hidráulicos realizados para esta sección, el proceso es iterativo, similar al caso de la tubería de abastecimiento. El objetivo es conocer el diámetro de la tubería necesaria para los dos casos mencionados. El primero de ellos es cuando se deben trasegar dos tercios del caudal total y el segundo es cuando solo se requiere manejar un tercio de dicho caudal. Así, inicialmente se calcula un diámetro provisional con el cual se tenga el caudal requerido para cada sección. Para ello se introduce un valor inicial del diámetro propuesto por los diseñadores y una velocidad conocida en la ecuación que define al caudal. De esta forma, se sabe cuál sería el caudal resultante. Este debe ser mayor o igual a el caudal requerido en cada sección del tanque. Para la segunda y tercera división, se requieren $1\,072,67\text{ m}^3/d$ el cual es el caudal de ingreso que requieren los módulos de desalinización. Asimismo, la primera división requiere el doble de dicho caudal. En cuanto a la velocidad, la norma técnica recomienda que para líneas de aducción y conducción esta debe estar entre 0,6 m/s y 5 m/s (*Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial*, 2017).

Para la realización de este cálculo, se ha confeccionado una tabla utilizando el software Excel. Los resultados obtenidos para el caso del primer bloque y para el caso del segundo y tercer bloque se muestran en los **Cuadros 5.1** y **5.2** respectivamente. En ellas se puede observar como preliminarmente los diámetros que mejor se ajustan para los caudales requeridos son 162,5mm (6,5 pulgadas) en el primer caso y 125 mm (5 pulgadas) en el segundo caso. Esto tomando en cuenta el ámbito de velocidades mencionado.

Para poder asegurar que esos son los diámetros correctos, se debe hacer una comprobación de la velocidad que se tiene al considerar las pérdidas por fricción en la tubería, siguiendo con el mismo procedimiento visto en la sección 4.7.2. En este caso el ámbito de velocidades y los

Cuadro 5.1: Diámetro provisional para la tubería del primer bloque (Elaboración propia, 2018)

Caudal requerido (m^3/d)		Caudales (m^3/d) en función de las velocidades permisibles (m/s) en tubería									
Diámetros nominales	Milímetros	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4			
7,5	187,5	1 908,52	2 147,08	2 385,65	2 624,21	2 862,78	3 101,34	3 339,91			
7	175,0	1 662,53	1 870,35	2 078,16	2 285,98	2 493,80	2 701,61	2 909,43			
6,5	162,5	1 433,51	1 612,70	1 791,89	1 971,07	2 150,26	2 329,45	2 508,64			
6	150,0	1 221,45	1 374,13	1 526,81	1 679,50	1 832,18	1 984,86	2 137,54			
5,5	137,5	1 026,36	1 154,65	1 282,95	1 411,24	1 539,54	1 667,83	1 796,13			
5	125,0	848,23	954,26	1 060,29	1 166,32	1 272,35	1 378,37	1 484,40			
4,5	112,5	687,07	772,95	858,83	944,72	1 030,60	1 116,48	1 202,37			

Cuadro 5.2: Diámetro provisional para las tuberías del segundo y tercer bloque (Elaboración propia, 2018)

Caudal requerido (m ³ /día)		Caudales (m ³ /día) en función de las velocidades permisibles (m/s) en tubería									
1072,67		Milímetros	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2		
7,5	187,5	1 431,39	1 669,95	1 908,52	2 147,08	2 385,65	2 624,21	2 862,78			
7	175,0	1 246,90	1 454,71	1 662,53	1 870,35	2 078,16	2 285,98	2 493,80			
6,5	162,5	1 075,13	1 254,32	1 433,51	1 612,70	1 791,89	1 971,07	2 150,26			
6	150,0	916,09	1 068,77	1 221,45	1 374,13	1 526,81	1 679,50	1 832,18			
5,5	137,5	769,77	898,06	1 026,36	1 154,65	1 282,95	1 411,24	1 539,54			
5	125,0	636,17	742,20	848,23	954,26	1 060,29	1 166,32	1 272,35			
4,5	112,5	515,30	601,18	687,07	772,95	858,83	944,72	1 030,60			

caudales requeridos son los indicados anteriormente en esta sección. Asimismo, para que se genere un flujo entre el vertedero y los tanques, debe haber una diferencia de alturas entre los niveles de líquidos entre ambos volúmenes que favorezca el llenado del tanque. Para ello se hace uso de la ec. 4.22, ec. 4.23 y ec. 4.27. Los resultados se muestran en los **Cuadros 5.3** y **5.4**. Así, se confirma que la diferencia de alturas en los niveles de líquido entre el vertedero y el tanque debe ser igual o mayor a 0,9 m en el caso de la tubería de 162,5 mm (6,5 pulgadas) y de 0,7 m en el caso de las tuberías de 125 mm (5 pulgadas). Esto ya que, para dichas diferencias de alturas, se alcanza las velocidades a las cuales se obtienen los caudales requeridos según los **Cuadros 5.1** y **5.2**. Al mismo tiempo, los **Cuadros 5.3** y **5.4** reflejan que los diámetros propuestos preliminarmente cumplen el ámbito de velocidad, y el caudal requerido considerando las pérdidas de fricción. Por lo tanto, se comprueba que estas tuberías no serán obstáculos y permitirán la correcta alimentación de los tanques.

Cuadro 5.3: Iteraciones por desnivel de líquido en tanques para tubería de 162,5 mm (6,5 pulg) (Elaboración propia, 2018)

Diferencia de altura entre tanques (m)	Factor de fricción (aleatorio)	Velocidad (m/s)	Número de Reynolds	Factor de fricción (calculado)
0,1	0,020	0,389	$6,75 \times 10^4$	0,020
0,2	0,019	0,569	$9,87 \times 10^4$	0,019
0,3	0,018	0,708	$1,23 \times 10^5$	0,018
0,4	0,017	0,825	$1,43 \times 10^5$	0,017
0,5	0,017	0,928	$1,61 \times 10^5$	0,017
0,6	0,017	1,021	$1,77 \times 10^5$	0,017
0,7	0,016	1,107	$1,92 \times 10^5$	0,016
0,8	0,016	1,187	$2,06 \times 10^5$	0,016
0,9	0,016	1,262	$2,19 \times 10^5$	0,016
1,0	0,016	1,333	$2,31 \times 10^5$	0,016
1,1	0,016	1,400	$2,43 \times 10^5$	0,016
1,2	0,016	1,465	$2,54 \times 10^5$	0,016
1,3	0,015	1,527	$2,65 \times 10^5$	0,015
1,4	0,015	1,586	$2,75 \times 10^5$	0,015
1,5	0,015	1,644	$2,85 \times 10^5$	0,015

Cuadro 5.4: Iteraciones por desnivel entre tanques para tubería de 125 mm (5 pulg) (Elaboración propia, 2018)

Diferencia de altura entre tanques (m)	Factor de fricción (aleatorio)	Velocidad (m/s)	Número de Reynolds	Factor de fricción (calculado)
0,1	0,022	0,387	$5,16 \times 10^4$	0,022
0,2	0,020	0,566	$7,55 \times 10^4$	0,020
0,3	0,019	0,704	$9,39 \times 10^4$	0,019
0,4	0,018	0,820	$1,09 \times 10^5$	0,018
0,5	0,018	0,923	$1,23 \times 10^5$	0,018
0,6	0,018	1,016	$1,36 \times 10^5$	0,018
0,7	0,017	1,101	$1,47 \times 10^5$	0,017
0,8	0,017	1,181	$1,58 \times 10^5$	0,017
0,9	0,017	1,256	$1,67 \times 10^5$	0,017
1	0,017	1,326	$1,77 \times 10^5$	0,017
1,1	0,017	1,393	$1,86 \times 10^5$	0,017
1,2	0,016	1,458	$1,94 \times 10^5$	0,016
1,3	0,016	1,519	$2,03 \times 10^5$	0,016
1,4	0,016	1,579	$2,11 \times 10^5$	0,016
1,5	0,016	1,636	$2,18 \times 10^5$	0,016

Una vez comprobados dichos diámetros, se procede a verificar en las tablas del fabricante WL Plastic en el Anexo E.2 cuáles serían las tuberías de polietileno de alta densidad que mejor se ajustan a este diámetro. Se encuentra que, para la tubería de 162,5 mm (6,5 pulgadas), el diámetro interno promedio más cercano se obtiene con una tubería IPS 8 con un DR 9. Por facilidad de cotizaciones e instalaciones, se elige tomar el mismo IPS para las tuberías de las otras dos secciones, siendo este el IPS 8. De esta forma, la que se ajusta mejor al diámetro interno de 125 mm (5 pulgadas) es la que tiene un DR 7. En este último caso, su diámetro interno promedio es de 152,73 mm (6,013 pulgadas).

Siendo así, lo uno que ocurre es que se tienen menores pérdidas por fricción que las calculadas y el caudal a manejar no varía negativamente. De esta forma se tiene una tubería IPS 8 con DR9 y dos tuberías IPS 8 con DR 7. Por lo tanto, se concluye la selección de las tuberías de esta sección intermedia, asegurando que no serán limitantes durante el proceso de alimentación con agua marina a los tanques. De esta forma, las válvulas mencionadas, también se cotizan con el mismo IPS y DR que tienen las tuberías en las que serán instaladas.

Finalmente se debe aclarar que, debido a que la longitud de la tubería es muy corta, no se considera necesario realizar los cálculos respectivos a distancia mínima entre soportes. Sino que se colocan a 0,85 m de los puntos de descarga y succión de dichas tuberías (no se considera que las paredes de concreto son soportes ya que la tubería debe tener cierta tolerancia por motivos de expansión térmica y de instalación). Dejando así un espacio entre el centro de cada soporte y el centro de cada válvula de 0,94 m. De esta manera se cuenta con suficiente espacio para arreglos e instalación de los elementos mecánicos.

5.1.4. Diseño del tanque

Inicialmente se tenía la opción de seleccionar entre tres configuraciones de tanques, estas son: enterrados, a nivel de suelo o elevados. Asimismo podían ser de concreto reforzado, de

plástico o de metal. Con respecto a los tanques enterrados, estos tienen varias ventajas. Algunas de ellas son:

- El material no se deteriora tan rápidamente por la acción del sol o el viento. Esto tiene un gran aporte en cuanto a costos operativos ya que no se necesita pintar o proteger periódicamente la parte exterior del tanque.
- No se requiere de bombas a la entrada del proyecto y a la entrada a cada tanque que impulsen el agua de mar hasta un tanque a cierto nivel.
- Se tiene mayor comodidad a la hora de trabajar en el proyecto ya que las edificaciones de mayor altura, como lo son los tanques, se encuentran subterráneos. El resto está a nivel de suelo o a una altura accesible.
- Las temperaturas subterráneas son menos cálidas que las de la intemperie, por lo que el tanque sufre menos efectos debido a la temperatura.

También es importante mencionar que se tienen algunas desventajas. Estas son que se debe hacer un movimiento de tierra y que dependiendo del material pueden sufrir cierto daño a largo plazo. Asimismo debido a la cercanía con el mar, el nivel freático se encuentra cerca de la superficie por lo que su método de construcción requiere de bombas de achique. En cuanto a la operación del tanque, se debe tener precaución con el balance entre el peso y la fuerza boyante generada por el nivel freático.

En cuanto al material de fabricación de los tanques, que sean de concreto reforzado tiene como ventaja que:

- No sufre corrosión y es un material relativamente resistente, por lo que tiene una gran vida útil.
- De los tres materiales propuestos, es el que sufre menos variación dimensional por la temperatura.
- Es pesado, por lo que disminuye el riesgo de flotación en caso de ser enterrado.
- El colar concreto en sitio, permite hacer diseños con elementos especiales para cada caso en particular.
- Es una sola pieza, por lo que se minimizan las fallas por la unión de diferentes piezas. Asimismo se evita tener que utilizar soldadura en el proceso constructivo.

Por otro lado, entre algunas de las desventajas de utilizar este material se tiene que se necesita impermeabilizar internamente el tanque periódicamente y se necesita realizar revisiones de posibles fisuras. Asimismo se requiere de un diseño hecho a la medida para cada caso y mano de obra que trabaje en la construcción del mismo en el sitio.

Con base en las ideas propuestas anteriormente y en la recomendación de la compañía ISR (L. Mayer, comunicación personal, 17 de marzo de 2018), se ha tomado la decisión de que todos los tanques diseñados para este proyecto serán enterrados y de concreto.

Se debe estimar el volumen útil de agua de mar que debe contener para suplir el tiempo de respaldo propuesto, que correspondería a una situación en que el tanque mantiene un determinado caudal sin agotarse. Por lo general, tomando el tanque como un volumen de

control, el flujo másico entrante es igual al saliente, por lo que su capacidad es solo la de suministro en caso de falla.

Se ha definido que el tiempo de respaldo conveniente para este tanque es de 24 h. Se define así debido a que este es uno de los tanques principales del proyecto, ya que suministra la materia prima de la producción. Asimismo, se ha definido dicho tiempo tomando en consideración que exista algún tipo de fenómeno en el mar que requiera el cierre del suministro. Un ejemplo de lo anterior es la marea roja.

Vale destacar que estas 24 h serían en el peor caso, el cual es teniendo las tres máquinas de desalinización operando al mismo tiempo. Por lo tanto, en caso de que la producción requiera de un menor caudal al diseñado, este se incrementaría. Vale destacar que, como se verá más adelante, el tanque se ha seccionado en tres partes. Así, cada sección del tanque tiene un respaldo independiente de 8 horas. Por último, se considera que 24 h es un periodo suficiente como para cumplir con un balance entre costo y suficiente tiempo de respaldo.

De esta forma, el volumen útil de agua de mar debe ser de 3218 m^3 . Este es el volumen que se debe de suministrar a los 3 módulos por un día. Ahora, para el dimensionamiento del tanque, inicialmente se supuso que el espacio a ocupar era un prisma. Así, el proceso para pasar de dicho volumen a tres valores correspondientes a sus dimensiones es iterativo. También se buscaron valores que pudieran maximizar el área que se tenía disponible en el terreno para dicho espacio. Finalmente, las dimensiones del volumen útil son 26,3 m x 20 m x 6,12 m. Vale destacar que este no contempla espesores de pared, sino solo espacio útil para el agua marina.

De estas dimensiones, la única que cambia con respecto a la dimensión final del tanque es la profundidad debido a varias razones que se detallan a continuación. La primera de ellas es la profundidad requerida para cumplir con ser un sistema de vasos comunicantes. En este caso, la exigencia es que el nivel del tanque sea, por lo menos, hasta el nivel de la marea más bajo registrado.

Otras razones se basan en las recomendaciones del Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones del Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA, 2017). Esta bibliografía sugiere que, para tanques subterráneos para almacenamiento de agua, se deben seguir las medidas y sugerencias según esquemas del mismo. Una de ellas es que el fondo debe de tener una pendiente no menor al 2 % del largo total. Asimismo, esta pendiente debe de descargar en un canal de 0,05 m de altura para depósito de sólidos de manera que se facilite la labor de limpieza del tanque. Como el largo de cada sección del tanque es de 20 m, la altura de dicha pendiente debe ser de por lo menos 0,2 m.

Por recomendación del código mencionado, se dejan 0,15 m de más de altura a partir del inicio de la pendiente. Dando así, una altura de 0,35 m desde el nivel máximo del canal. Ahora, 0,05 m debajo de dicho nivel, se encuentra el centro de las tuberías que vienen de la sección intermedia. De dicho centro para arriba, se ha dejado un espacio de 0,5 m de manera que el flujo que entra no llegue al mismo nivel que la descarga de la bomba. De esta forma, desde el nivel de 0,35 m se debe subir 0,45 m más. Todos estos detalles de la profundidad de pueden observar en la **Figura 5.7**.

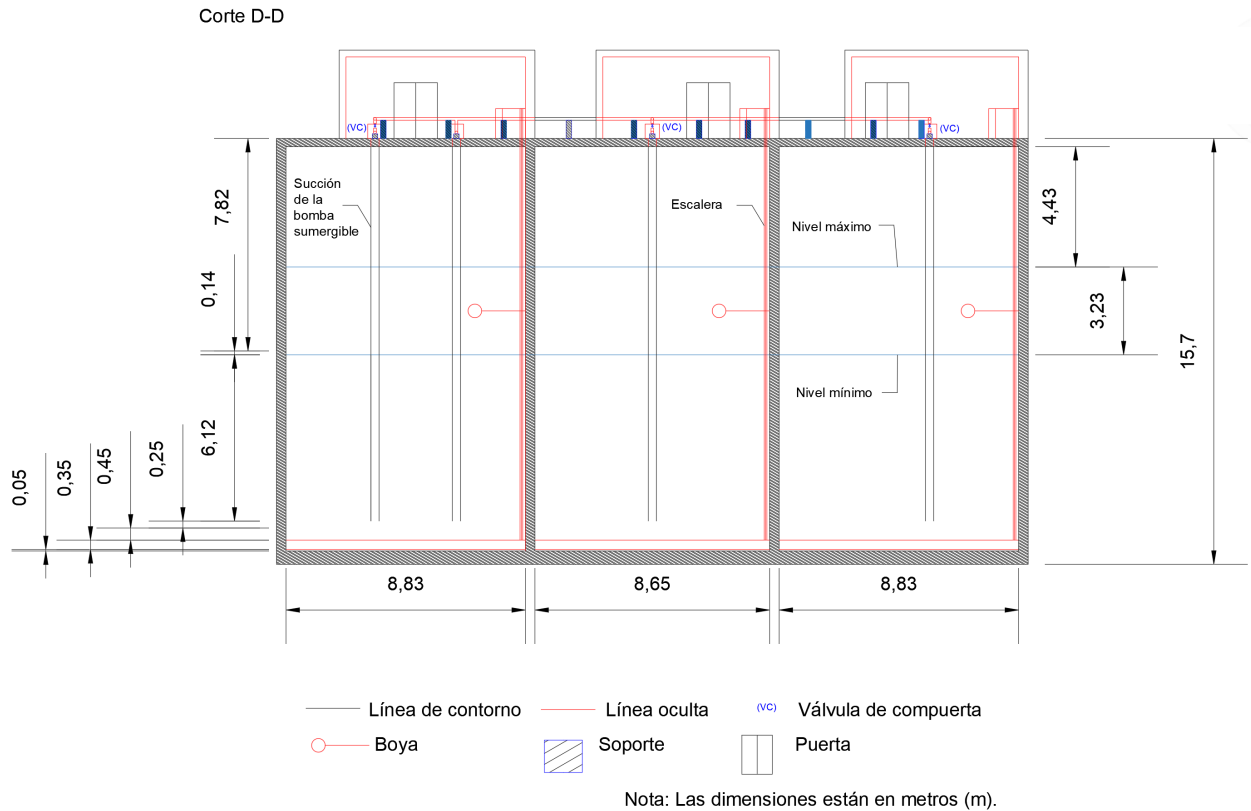


Figura 5.7: Profundidad total del tanque de suministro de agua marina (Elaboración propia, 2018)

Entre este último nivel y la succión de la bomba, se han dejado 0,25 m. Esto como una columna de agua libre de sólidos o basura de la cual la bomba pueda succionar. Según lo visto en el curso de Máquinas Hidráulicas (Murillo, 2016), se necesita dejar por lo menos la mitad del diámetro de succión. En este caso, este es de 100 mm (4 pulgadas), lo que da un espacio mínimo de 0,05 m. De esta forma, los 0,25 m están justificados.

Siguiendo con el trayecto hacia arriba, desde el nivel de succión hasta el nivel mínimo del tanque se dejan los 6,12 m de columna del volumen útil. Desde dicho nivel mínimo hasta el nivel batimétrico, hay 0,52 m. Desde dicho nivel, se debe sumar 2,71 m llegando así al máximo nivel de mareas en Playa Potrero. De esta forma, la diferencia entre el nivel mínimo y el máximo es de 3,23 m. Desde esta altura hasta el techo del tanque hay 4,43 m de espacio libre.

Finalmente, al hacer la trayectoria desde arriba hacia abajo, se verifica que se cumpla con los 7,82 m requeridos para que el sistema cumpla con ser un vaso comunicante. Al bajar dicha distancia desde el nivel del suelo (desde arriba de la loza superior del tanque o el suelo de la casa de máquinas) se llega a un nivel que está 0,14 m por encima del nivel mínimo del tanque. De esta forma, cada sección del tanque siempre cumplirá con ser un vaso comunicante, teniendo una profundidad total de 15,67 m.

Cada sección de tanque está equipada con una boya, la cual sería parte del sistema de control de nivel del tanque. Este se ha pensado que sea electrónico. No se ha ahondado en su diseño ya que no es parte de los objetivos de este trabajo. Lo que sí se ha tenido en cuenta

es que la boya debe tener un radio de 1,62 m. De esta forma, estará pivotada en el medio de la zona entre el nivel mínimo y el máximo del tanque. Así, cuando la boya esté totalmente elevada indicará que se ha llegado al nivel máximo del tanque. De lo contrario, cuando esta se encuentre de forma vertical y hacia abajo, denotará que se ha alcanzado el nivel mínimo del tanque. Tanto cuando se llegue al nivel máximo como al mínimo, lo idea es mandar una señal para cerrar o abrir el suministro de agua al tanque. Estos se detalles se observan en la **Figura 5.8**.

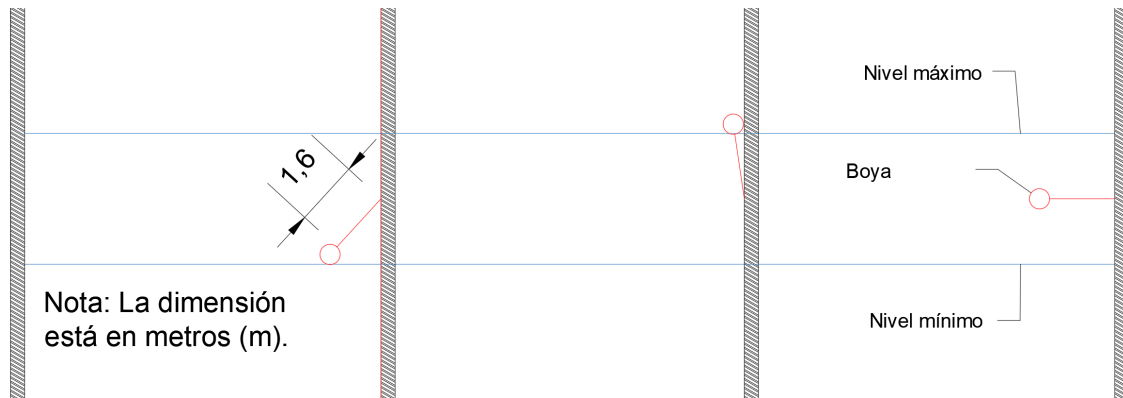
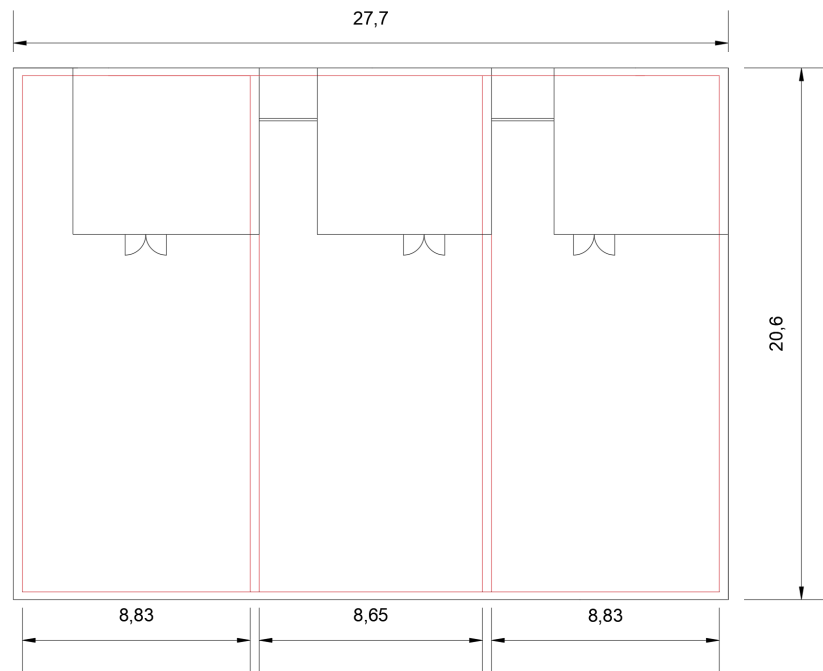


Figura 5.8: Funcionamiento de la boya (Elaboración propia, 2018)

5.1.5. Seccionamiento del tanque y aspectos constructivos

Siguiendo con el diseño de los tanques, inicialmente se propuso tener un solo tanque para alimentar a las 3 bombas que impulsan el fluido hasta los módulos de desalinización y a la bomba de respaldo. De esta forma, el tanque sería de 27,7 m x 20,6 m x 15,7 m como se puede ver en la **Figura 5.9**. Esta idea trae varias complicaciones debido a su gran tamaño. La primera de ellas se relaciona con el mantenimiento. A la hora de realizar labores de limpieza, se requería inicialmente cerrar por completo la válvula de mariposa de 700 mm (28 pulgadas) para cerrar el suministro de agua al proyecto. Esto se debe hacer con un día de antelación para que el agua que utilicen los módulos de desalinización sea la que se tiene como suministro en el tanque. Específicamente se debe cerrar con 24 h de antelación, ya que este es el tiempo de respaldo con el que fue diseñado este tanque.



— Línea de contorno — Línea oculta  Puerta

Nota: Las dimensiones están en metros (m).

Figura 5.9: Vista superior del seccionamiento del tanque de suministro de agua marina (Elaboración propia, 2018)

La siguiente complicación sería lavar un tanque con dimensiones tan grandes. Esta labor requeriría de más tiempo para poder llevarse a cabo en comparación con uno seccionado. Ahora, se podría pensar que al detener la operación de los módulos se detiene la entrega de agua a la red de la ASADA. Se debe recordar que, en el tanque de agua potable se tiene el agua suficiente para poder suministrar por 4 horas el fluido a la red de la ASADA sin necesidad de ingreso de fluido. Como probablemente la limpieza del tanque requeriría más de 4 horas, el suministro del agua potable se vería interrumpido, de manera que el sistema no estaría alcanzando su máximo objetivo. Se debe tener en cuenta que Playa Potrero es una zona que sufre de sequías, por lo que no suministrar agua es una acción que puede traer graves consecuencias para la población.

Por otro lado, al hacer un solo tanque, la inversión económica del mismo se debería desembolsar en su totalidad en los primeros años de construcción. Una última complicación sería en la parte estructural del tanque según lo comentado por la compañía ISR, pero no es parte de los objetivos de este proyecto profundizar en dicho tema (L. Mayer, comunicación personal, 17 de marzo de 2018).

Debido a todas las desventajas que conlleva la realización de un solo tanque, se ha decidido seccionar el tanque en tres partes iguales. De esta forma, hay dos secciones de 8,83 m (sin contemplar espesores de pared en esta dimensión) x 20,6 m x 15,7 m y una sección de 8,65 m

(sin contemplar espesores de pared en esta dimensión) x 20,6 m x 15,7 m como se apreciar en la **Figura 5.9**.

Con dicha configuración, cada módulo tiene una línea independiente. Así, se le puede dar mantenimiento a una sección del tanque sin detener por completo la producción de agua potable y para el invernadero. Estas acciones se deben programar para hacerlas en momentos adecuados. De esta manera, se reduce el tiempo requerido que se debe dejar de operar una sección para realizar dichas labores. Por más que la producción de agua baje, se debe recordar que en el tanque de distribución a la red de la ASADA se tiene una reserva de 4 h (en el caso de que las tres bombas de esta casa de máquinas estén trabajando, sino es mayor) que en caso de ser necesaria durante este tiempo se puede utilizar. Asimismo, se tiene contemplado construir las dos primeras secciones del tanque en el primer año y dejar la construcción de la última sección para el año 2033 (momento en que entrará el tercer módulo a trabajar). Así, el costo del tanque no se carga por completo al primer año, en el cual los costos de inversión son los más altos.

En la parte superior de cada sección del tanque se encuentra una casa de máquinas. Esta se ha propuesto seccionada para abaratar su costo. Vale destacar que estructuralmente no es el caso óptimo. De esta forma, como se puede observar en las **Figuras 5.10** y **5.11**, hay dos tramos de tubería que quedan expuestos y deben de vigilarse para cuidar de que se mantenga en buenas condiciones.

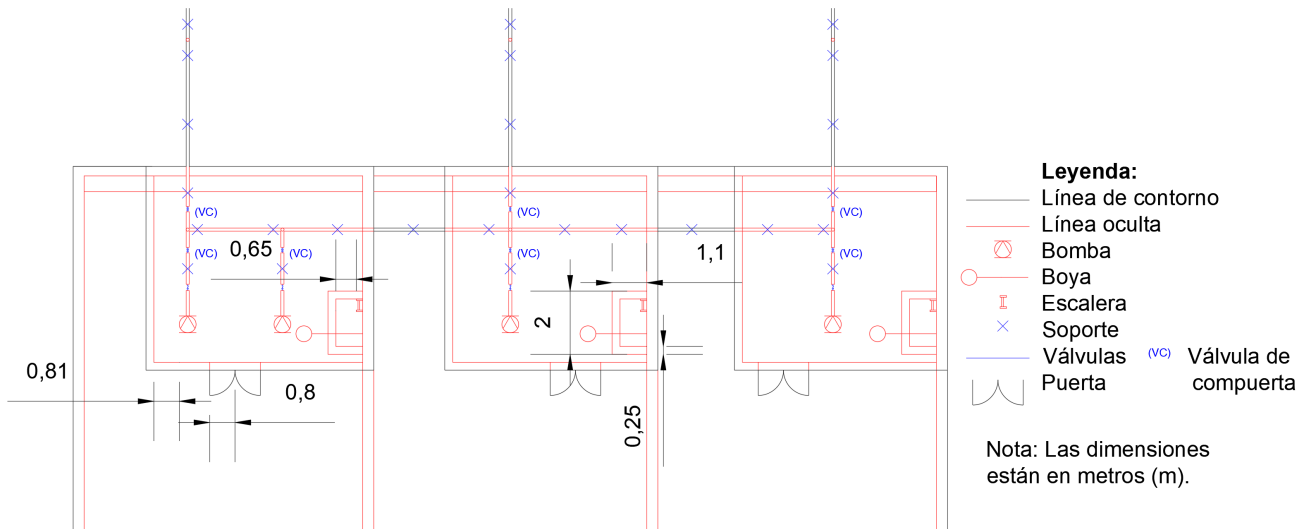


Figura 5.10: Vista superior de las casas de máquinas del tanque de suministro de agua marina (Elaboración propia, 2018)

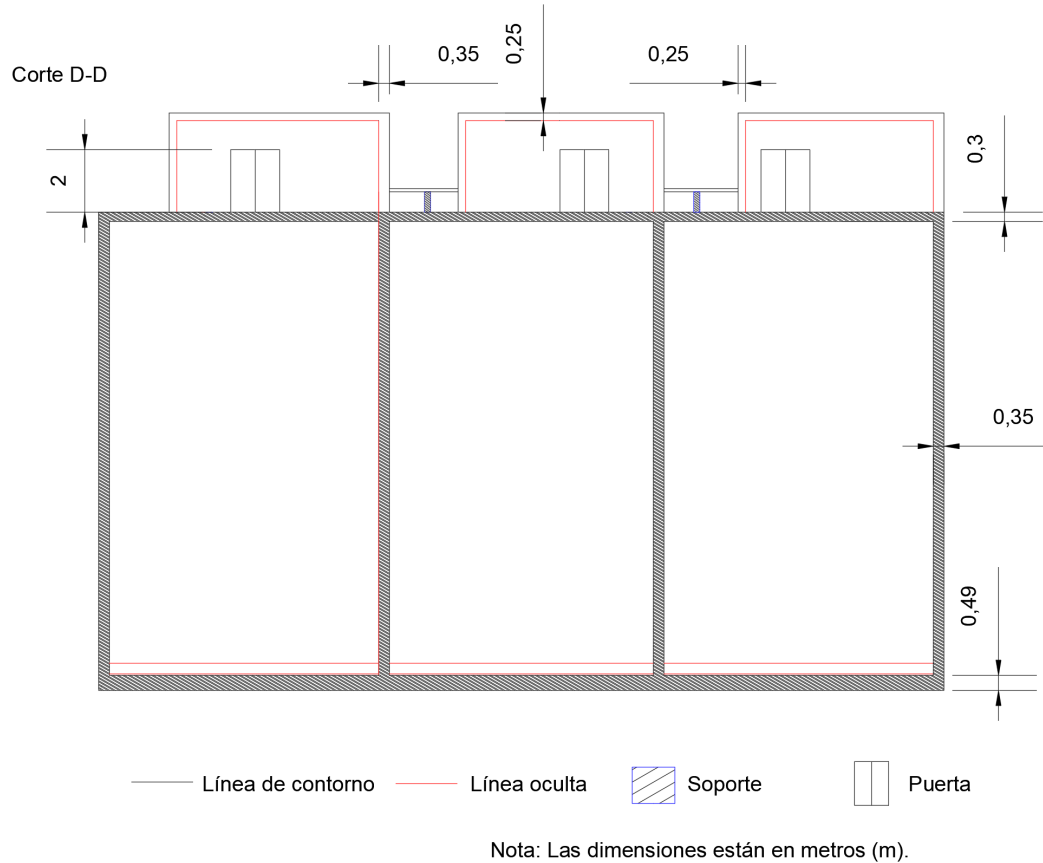


Figura 5.11: Recomendaciones de la obra civil de las casas de máquinas del tanque de suministro de agua marina (Elaboración propia, 2018)

Cada casa de máquinas está confeccionada con la misma metodología. En cuanto a los accesos, a estos se le han colocado puertas dobles de 2 m x 0,8 m cada una. En este caso, se ha hecho esta propuesta ya que, con puertas simples, no se tendría espacio suficiente para el ingreso o salida de las bombas. A lo interno de cada una de estos cuartos se pueden encontrar varios elementos constructivos. Entre ellos se observan las bombas y el sistema de tuberías respectivo. El espacio mínimo con el que se cuenta entre las bombas y entre las bombas y las paredes internas de la casa de máquinas es de 0,81 m; distancia mínima para que se puedan hacer arreglos y caminar de manera cómoda. Asimismo, las bombas se han posicionado del lado opuesto a la entrada del fluido al tanque por varias razones. Por un lado, se quiere darle el espacio suficiente al fluido para que este se asiente. También, se desea que la succión de la bomba no esté directamente en la descarga del fluido al tanque.

Asimismo, se cuenta con un acceso a la parte inferior de cada sección del tanque. Cada uno de ellos cuenta con una tapa hermética. Esta previene que el agua marina se llene de contaminantes y al mismo tiempo reduce el sonido que pueda escucharse en la casa de máquinas, producto de la acción de las bombas. Las dimensiones del acceso y de la tapa son de 2 m x 1,1 m dentro de lo cual se contempla un espesor de pared de 0,25 m. Al eliminar dicho espesor se deja un espacio útil de 1,5 m x 0,85 m. Dentro de este, se cuenta con una escalera vertical que llega hasta el piso del tanque. El espacio disponible entre la escalera y la pared del acceso es

de 0,65 m; espacio de ancho suficiente para que pase una persona de forma cómoda.

Como ya se indicó anteriormente, para la loza del piso la compañía ISR recomendó utilizar un espesor de entre 0,35 m a 0,5 m. En este caso, esta se definió de 0,49 m por elección de los diseñadores. Seguidamente, las paredes tienen un espesor de 0,35 m y el techo o la parte superior de la sección inferior tiene un espesor de 0,3 m. Esta última loza, sería el suelo de la parte inferior. En cuanto a las paredes y el techo de esta sección superior la recomendación es que su espesor sea de 0,25 m. Con excepción de las paredes coincidentes con la parte inferior (que se ha dejado con los 0,35 m para facilidad de construcción), los demás elementos constructivos han sido dejados con el valor recomendado (L. Mayer, comunicación personal, 17 de marzo de 2018). Estos detalles se pueden observar en la **Figura 5.11**.

5.2. Diseño del sistema de bombeo

En esta sección, se explicarán en detalle varios aspectos relacionados con el sistema de bombeo y de tuberías que permiten el flujo desde las secciones del tanque de suministro de agua marina hasta los módulos de desalinización. Entre ellos se ahondará en la selección del tipo de bomba, la configuración y los cálculos relacionados con del sistema de bombeo y de tuberías, entre otros.

5.2.1. Selección de bombas sumergibles multietapa

Al dar inicio con el proceso de selección del tipo de bomba por utilizar, se contempló la alternativa de que fuese horizontal y de una sola etapa. Entre los datos iniciales se encuentra la cabeza neta de succión disponible (NPSH), calculado según la ec. 5.1 en donde todos los términos están en unidades de metros de columna de líquido equivalente (mcl).

$$NPSH_a = P_B - V_P - h_c - L_s \quad (5.1)$$

En donde, $NPSH_a$ es la cabeza neta de succión positiva admisible o disponible; P_B es la presión absoluta sobre superficie del tanque de succión; V_P es la presión de vapor del fluido; h_c son las pérdidas en la tubería de succión; y L_s es la altura vertical desde la superficie del líquido hasta la succión de la bomba.

Debido a la configuración que se maneja, en la que la bomba se encuentra arriba del nivel de fluido, el único valor positivo en dicho cálculo es el de la presión atmosférica, que se toma como 10,06 m de columna. La presión de vapor para el agua de mar es de 0,308 m (International Towing Tank Conference, 2011) y el cálculo de las pérdidas totales por fricción en la tubería serían de 0,57 m (con una longitud total de tubería de 41,86 m, una velocidad de 1,5 m/s un diámetro de 100mm (4 pulgadas) y considerando tubería de HDPE).

El valor de la distancia entre la succión de la bomba y la línea de líquido puede tener varios valores, ya que depende del nivel de la marea. Por lo tanto, se plantean dos casos. El primero es el nivel máximo de marea. En dicho caso, esta distancia toma un valor de 4,73 m. De esta forma, al sustituir los valores en la ec. 5.1 el $NPSH_a$ para la bomba sería de 4,4 mcl. El segundo caso sería el nivel mínimo de marea. En esta situación, la distancia entre el nivel de líquido y la boca de succión de la bomba sería de 7,96 m. Así, al sustituir los valores en la ec. 5.1 el $NPSH_a$ para la bomba tendría un valor de 1,2 m.

Al valorar la opción de la bomba horizontal, surgen algunos inconvenientes. El primero de ellos es que el ámbito de $NPSH_a$ es muy bajo. Para que no se genere cavitación, el $NPSH_a$

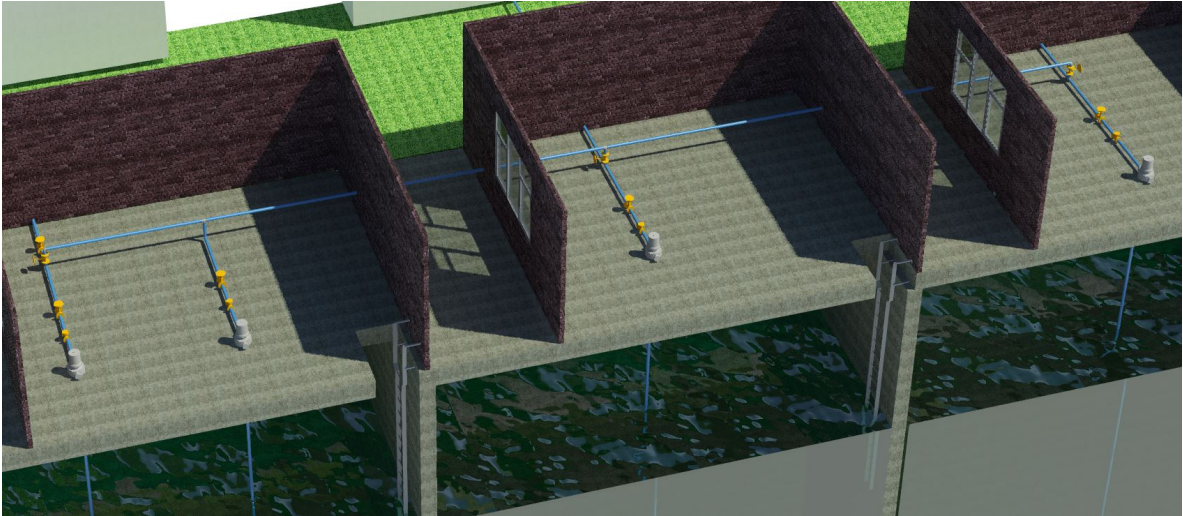


Figura 5.12: Configuración de bombeo de agua marina (elaboración propia, 2018)

debe ser mayor al NPSH requerido de las bombas. Por lo tanto, en este caso se requerirían bombas con un ámbito de NPSH más bajo que 1,2 mcl. Por más que es probable encontrar bombas que cumplan con dicha condición, se considera que utilizarlas sería tomar un gran riesgo que no vale la pena. Dicho riesgo se disminuye considerablemente teniendo bombas sumergibles. Esto ya que la succión de las bombas se realiza propiamente dentro del volumen de líquido a trasegar.

De esta forma la bomba siempre se encontrará cebada y no cavitará. Ahora, es importante notar que eso será cierto siempre y cuando el nivel del líquido no baje más allá del nivel al que está la succión de la bomba sumergible. Esto último es realmente improbable ya que el diseño contempla que la boca de succión se encuentra a 6,12 m por encima del nivel mínimo de marea de los últimos 50 años.

Por otro lado, al realizar la consulta a la empresa de venta de bombas Zebol S.A., su recomendación fue utilizar bombas de tipo turbina¹ sumergibles. Esto debido a las condiciones de riesgo de cavitación mencionadas y a que estas ya han sido probadas y utilizadas en otras plantas de desalinización con resultados positivo. Hay otras características propios del modelo seleccionado relacionados con la resistencia a la corrosión, su costo y otros temas que serán desarrollados más adelante.

Otras ventajas que influyeron en la decisión fue que esta bomba se presta para alturas de succión de más de 4 metros y no requiere válvulas de pie, omitiendo así un elemento más de pérdidas de presión en la tubería.

5.2.2. Configuración del sistema de bombeo y de tuberías

Sobre la configuración del sistema de bombeo, inicialmente se tenían cuatro opciones. De ellas, la más simple tanto a nivel de cálculos como a nivel de construcción y de operación es la que se describe a continuación. El diseño contempla una bomba por módulo y una bomba de respaldo. Dicha configuración se puede observar en la **Figura 5.12**.

¹Denominación informal costarricense para rotores centrífugos en general, incluyendo bombas centrífugas multietapa.

En cuanto a la bomba de respaldo, esta tiene la labor de entrar a funcionar cuando alguna de las otras tres bombas tenga que salir de servicio por algún motivo de fuerza mayor o por rotación de bombas para que sufran un desgaste similar. Por esta razón, las cuatro bombas están conectadas por medio del sistema de tuberías. Esto genera una ventaja, ya que en caso que la bomba de respaldo sufra algún fallo y no se esté operando al 100 %, cualquiera de las otras bombas podría entrar a suplirla. Más adelante se detallará sobre la colocación de válvulas que hace posible esta acción. Ahora, también hay que considerar que no todas las bombas estarán desde el inicio del proyecto. Según se tiene presupuestado, el primer año ingresan dos, con el segundo módulo ingresa una más y con el tercero la restante. De esta forma, siempre se cuenta con una bomba de respaldo.

Se ha considerado tener una bomba de respaldo instalada y no una bomba de repuesto en la bodega por varios motivos. El primero es que, en caso de que una de las bombas falle, la respuesta o el respaldo es inmediato. De esta forma, no se necesita esperar a que los operarios estén listos para hacer el cambio de bomba ni se depende de las condiciones externas que podía influir en el tiempo requerido para realizar dicho cambio.

Otro motivo de dicha decisión es el hecho de que se puede operar alternando las bombas para tener un desgaste similar. Si se parte del hecho de que estas bombas son caras, no es conveniente tener una bomba de repuesto sin darle uso, teniendo que revisarla antes de ponerla a funcionar y dejando que con el tiempo se devalúe. De esta forma, se entiende que alternar la operación de las bombas aproximadamente un día es un ciclo de operación aceptable. También, se aprovecha tener cuatro bombas, de forma tal que no se le da un uso excesivo a cada una, sino que se reparte de la mejor manera. Es importante destacar que se ha optado por tener una bomba de respaldo para todo el sistema y no una bomba de respaldo por módulo (sistema dúplex) debido al alto costo que esto generaría. Finalmente se debe decir que cada casa de máquinas cuenta con una bomba con la excepción de la ubicada a la izquierda en la **Figura 5.12**. Esta última cuenta también con la bomba de respaldo como ya ha sido mencionado anteriormente.

5.2.3. Condiciones de frontera

El primer paso para entender los cálculos de bombeo y de tuberías es conocer las constantes iniciales. De esta forma, las distancias necesarias se muestran en las **Figuras 5.13, 5.14 y 5.15** en el **Cuadro 5.5**.

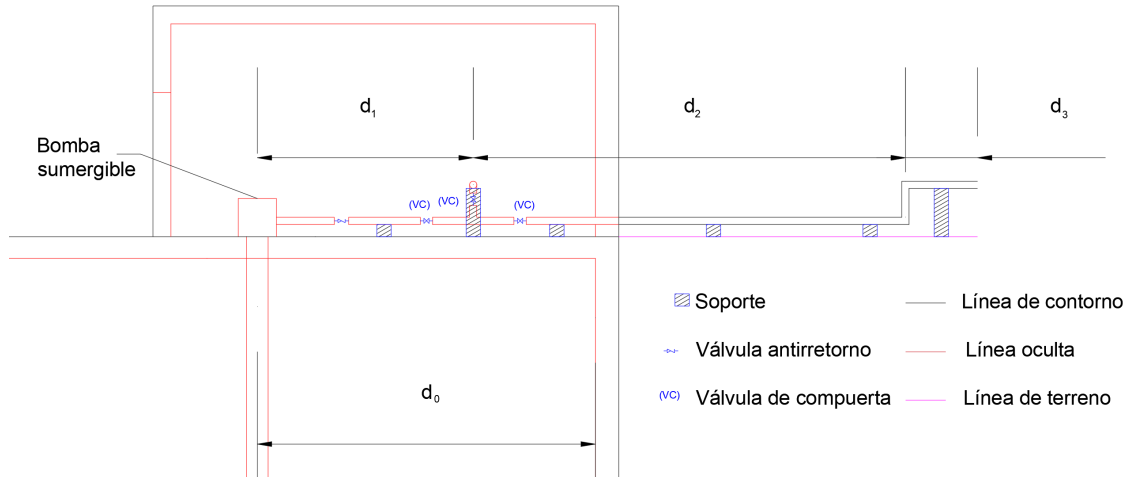


Figura 5.13: Distancias horizontales referentes las constantes iniciales (Elaboración propia, 2018)

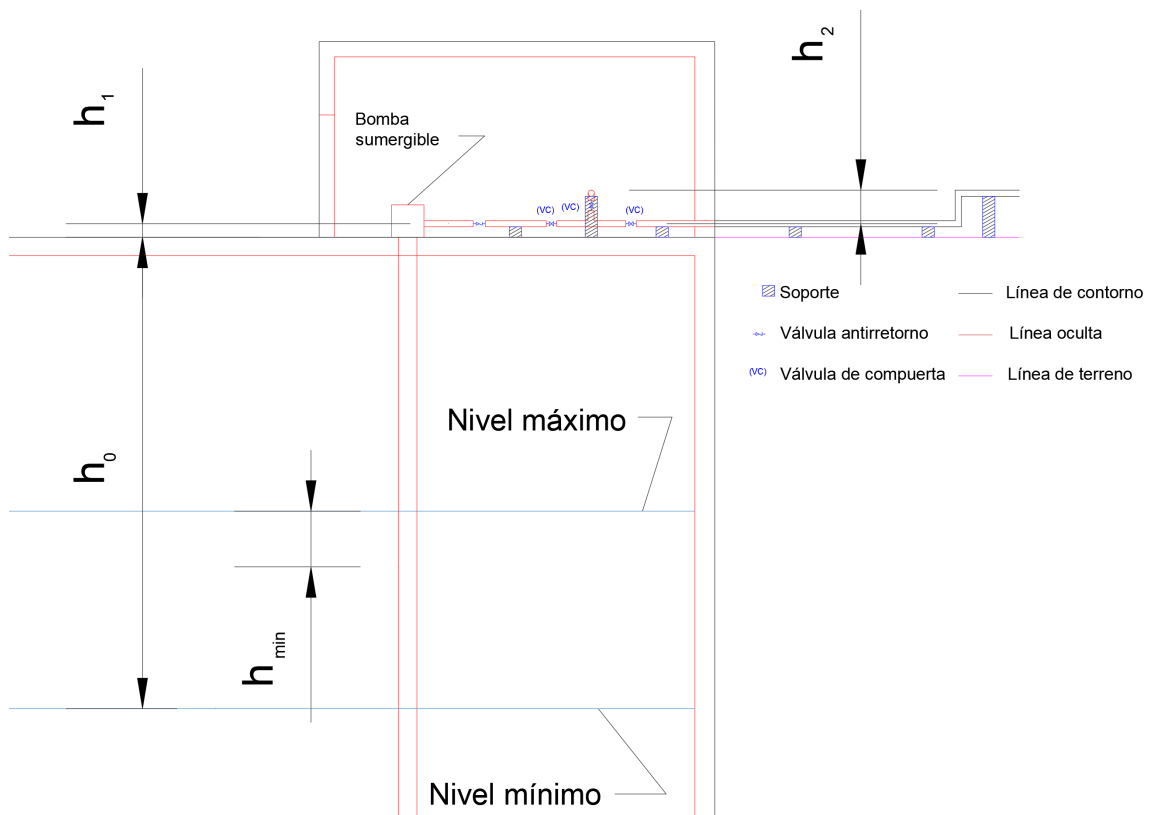


Figura 5.14: Distancias verticales referentes las constantes iniciales (Elaboración propia, 2018)

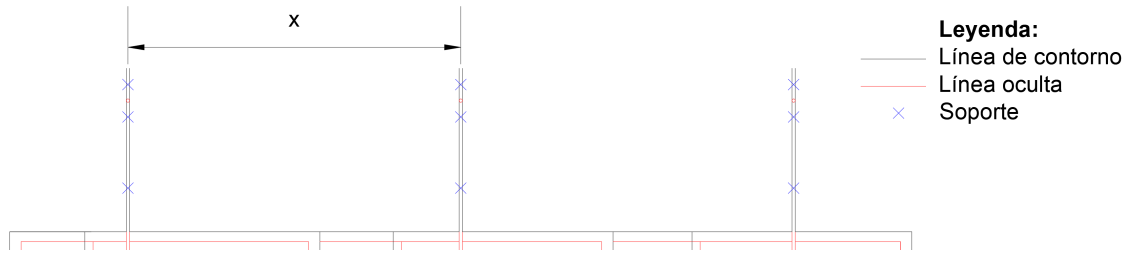


Figura 5.15: Distancia entre módulos de desalinización (Elaboración propia, 2018)

Cuadro 5.5: Valores de las distancias conocidas inicialmente (Elaboración propia, 2018)

Distancias (m)	
Constante	Magnitud
d_0	4,7
d_1	3
d_2	6
d_3	1
h_0	7,96
h_1	0,22
h_2	0,55
h_{min}	0,91
x	10,22

La explicación de cada una de ellas se detalla a continuación:

- d_0 : distancia horizontal entre la succión de la bomba y pared del tanque. Esta debe ser como mínimo 1,5 veces el diámetro de succión comercial (Murillo, 2016), lo cual da 0,152 m.
- d_1 : distancia horizontal entre el centro de la bomba y el centro de la tubería de comunicación entre líneas independientes. Esta distancia se escogió menor a d_0 de manera que las válvulas necesarias para manejar el sistema, se encuentren dentro de la casa de máquinas.
- d_2 : distancia horizontal entre el centro de la tubería de comunicación entre líneas independientes y el centro de la tubería de subida para la conexión a los módulos. De ella, se han dejado 2 m dentro de la casa de máquinas y 4 m afuera. Esto, considerando que son medidas suficientes para trabajar cómodamente en caso de tener que realizar algún arreglo.
- d_3 : distancia horizontal entre el centro de la tubería de subida para la conexión a los módulos y la conexión a los módulos. Esta distancia junto con los 4 m que se tienen fuera de la casa de máquinas de la distancia d_2 , generan los 5 m de espacio para tuberías que se había mencionado como espacio para “carretera de tuberías”. Esta es una dimensión que se cree suficiente para que el módulo no se encuentre demasiado cerca al tanque, de manera que se pueda trabajar con comodidad y no genera pérdidas de presión excesivas.

- h_0 : distancia vertical libre en el tanque. Se define como la distancia entre la línea de líquido en el caso de marea más baja (tomando así el peor escenario posible) y el suelo de la casa de máquinas.
- h_1 : distancia vertical entre el suelo de la casa de máquinas y la mitad de la tubería de descarga de la bomba.
- h_2 : distancia vertical entre la mitad de la tubería de descarga de la bomba y el punto máximo de la tubería de conexión entre líneas independientes. Esta es coincidente con la distancia entre el centro de la tubería de subida para la conexión a los módulos y la conexión a los módulos. Según se comentó por parte del vendedor de los módulos Aqua Pro, se considera que con 0,55 m es una distancia aceptable para poder hacer la conexión entre el módulo y la tubería de descarga. Asimismo, es suficiente para poder operar las válvulas con comodidad.
- h_{min} : Es la distancia vertical mínima que debe existir desde la línea de líquido y hasta la succión de manera que se evite la generación de vórtices o de entrada de gases a la columna de líquido. Esta se determina a partir de un gráfico visto en el curso de Máquinas Hidráulicas (Murillo, 2016) y depende de la velocidad de succión.
- x : distancia horizontal entre líneas que conectan con los módulos de desalinización. Se descompone en 7,12 m de distancia necesarios por cada módulo y 3,1 m de espacio entre ellos.

Por otro lado, se cuenta con otras constantes que no son distancias. Estas se muestran en el **Cuadro 5.6**. De ellas, vale aclarar que el diseño se hace para una bomba que alimenta a un módulo esto ya que, el sistema de bombeo y de tuberías funciona por líneas independiente. De esta manera, la instalación y la operación son lo más simples posible. Así, como todas las bombas trabajan bajo los mismos parámetros, el cálculo que se hace para una de ellas, funciona para las demás. Ahora, es por ello que el caudal considerado en esta oportunidad, es el que requiere un módulo de desalinización a la entrada. Por último, la presión de entrada al módulo es la que solicita Aqua Pro como fabricante de los módulos de desalinización.

Cuadro 5.6: Constantes iniciales para cálculos de bombeo y tuberías (Elaboración propia, 2018)

Constante	Valor
Caudal (m^3/d)	1 072,67
Caudal (gal/min)	196,8
Caudal (m^3/s)	0,0124
Viscosidad cinemática (m^2/s)	$9,37 \times 10^{-7}$
Rugosidad polietileno (m)	$1,5 \times 10^{-6}$
Densidad del agua de mar ρ_{mar} (kg/m^3)	1 027
Densidad del agua de mar ρ_{mar} (lb/in^3)	0,037
Presión atmosférica (Pa)	10 1325
Presión de entrada al módulo (psig)	60
Presión de entrada al módulo (Pa)	413 685,6
Aceleración de la gravedad g (m/s^2)	9,81

Una verificación que se debe hacer en esta parte, es revisar que el nivel mínimo de sumergencia de la bomba esté dentro de la altura útil mínima del tanque. Para ello, se conoce de la ficha técnica de las bombas tipo turbina la cual se puede ver en el Anexo E.5 que dicha sumergencia debe ser de 0,4 m (15,65 pulgadas). Claramente, esta distancia está dentro de los 6,12 m de columna útil mínima, por lo que se confirma que se cumple con dicho requisito.

5.2.4. Cálculo de diámetros y velocidades

Inicialmente vale aclarar que debido a que se ha decidido seleccionar una bomba sumergible de tipo turbina, solo se realiza los cálculos relacionados con la tubería de descarga. Esto ya que no se cuenta con tubería de succión. Por lo tanto, se ha comenzado suponiendo que el diámetro de la tubería de descarga de la bomba será de 100 mm (4 pulgadas). Para utilizar un valor comercial, se ha revisado la tabla del fabricante WL Plastic (ver Anexo E.2). De esta forma, al repasar la fila de la tubería con un tamaño IPS de 100mm (4 pulgadas), con un diámetro interno promedio de 0,10 m (3,998 pulgadas) y un DR 19.

Al despejar de la ecuación de definición del caudal para la velocidad y sustituir los valores del caudal y del diámetro mencionados, se obtiene que esta es de 1,5 m/s. Dicha velocidad forma parte del ámbito propuesto por la norma técnica *Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial* (2017), por lo que se toma como suficiente.

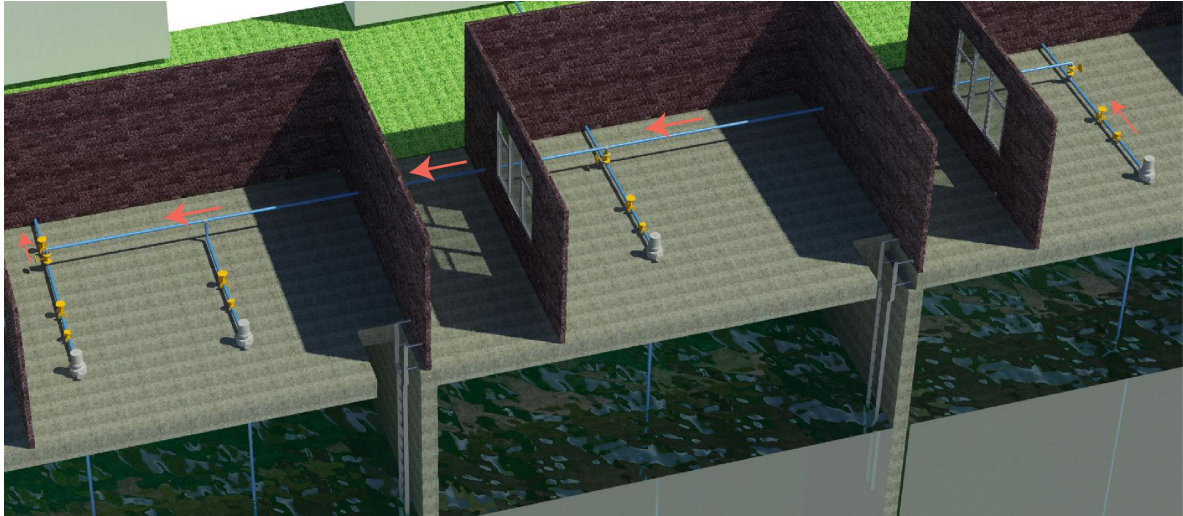


Figura 5.16: Detalle de ruta crítica del bombeo de agua marina (elaboración propia, 2018)

5.2.5. Estimadores de pérdidas

Seguidamente, en los cálculos hidráulicos de bombeo se deben conocer las pérdidas de presión generadas en el sistema de tuberías que debe contrarrestar la bomba. Se comienza por calcular el número de Reynolds. Su ecuación es la 4.23. Al sustituir los valores correspondientes este da como resultado $1,66 \times 10^5$.

Conociendo este valor, se puede calcular el factor de fricción f (este es adimensional). En este caso, la ecuación utilizada es la de Churchill, esta es la 4.22. Se ha utilizado este criterio debido a que ella se puede utilizar para cuando se tienen números de Reynolds mayores a 4000 y es relativamente simple de calcular. Como en este cálculo se cumple con dicha condición, se ha hecho uso de ella. Al sustituir los valores correspondientes se ha tenido un resultado de 0,017.

A continuación, se debe seguir con el cálculo de pérdidas de presión por fricción. Este se divide en dos partes. La primera de ellas es la que tienen que ver con las pérdidas en tubería recta. Para ello se trabaja con la fórmula de Darcy Weisbach. En este punto se debe aclarar que, para el cálculo de las pérdidas de presión por fricción en tubería recta, se ha tomado el peor de los casos. Así, si el sistema de bombeo cumple con suplir la energía necesaria para contrarrestarlo, podrá hacerlo con el resto de los casos. Este sería, considerar que la bomba que se encuentra más a la derecha le entrega el fluido al módulo que se encuentra más a la izquierda (ver **Figura 5.16**). De esta forma, el fluido tendría que recorrer el trayecto más largo. Este se muestra en la ec. 5.2 dando como resultado 42,31 m. Al sustituir los valores correspondientes en la ec. 4.21, se obtiene como resultado 0,85 m.

$$d_1 + 2 \cdot h_2 + 3 \cdot x + d_2 + h_2 + d_3 \quad (5.2)$$

Por otro lado, la segunda parte del cálculo de pérdidas de presión por fricción tiene que ver con los accesorios que forman parte del tramo más largo del sistema de tuberías recientemente mencionado. En este caso, el método de cálculo utilizado es el del coeficiente de fricción K . Asimismo, los valores de dicho coeficiente han sido tomados del *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones* (CFIA, 2017). De esta forma se ha confeccionado el

Cuadro 5.7, en el cual se puede observar el cálculo de las pérdidas por accesorios en la tubería de descarga.

Cuadro 5.7: Pérdidas en accesorios en tuberías de trasiego (Elaboración propia, 2018)

Cálculo de las pérdidas por accesorios en la tubería de descarga			
n	accesorio 100 mm bridado	K	$n \cdot K$
2	Unión (de bomba y a módulo)	0,03	0,06
1	Válvula antirretorno bridada	2,00	2,00
4	Válvula compuerta bridada	0,16	0,64
3	Codo bridado 90 (RC)	0,31	0,93
1	Unión en T bridada (FL)	0,14	0,14
3	Unión en T bridada (FT)	0,67	2,01
Total			5,78
$h_{f_{acc}}$			0,69

Se debe aclarar que, por más que el sistema de tuberías es de polietileno de alta densidad, las uniones serán termo-soldadas según especifica el vendedor Asahi. Este tipo de unión no se considera dentro del método del coeficiente de fricción K. La técnica de unión más cerca en cuenta a comportamiento que se tiene es el de un sistema bridado, esto según recomendación del Ing. Andrés Caldera. Por lo tanto, la aproximación se hace tomando los accesorios como bridados.

En cuanto a la selección de las válvulas antirretorno, estas cumplen la función de permitir el flujo solo desde la bomba hacia el sistema y no en el sentido contrario. De esta forma, se protege a la bomba de sufrir algún tipo de golpe debido a algún fallo en el sistema de tuberías. Seguidamente, las válvulas de compuerta cumplen múltiples funciones, por ello se han ubicado en varios puntos del sistema. Por un lado, hay unas que se han puesto posterior a las válvulas antirretorno. Esto para poder aislar el sistema en caso de tener que cambiar las válvulas antirretorno, que suelen ser las que se dañan más frecuentemente. Asimismo, se han posicionado en zonas donde se deba interrumpir o dejar el paso completo del flujo. De esta manera, el sistema es tan dinámico que cualquier bomba le puede entregar agua de mar a cualquier módulo. Esto último bajo la condición de que solo una bomba puede estar con un módulo a la vez, como se mencionó anteriormente.

La justificación de porqué se utilizan válvulas de compuerta para esta labor fue explicada anteriormente en este trabajo. Por último, los codos de 90° y las uniones en T se han colocado para redireccionar el flujo en los puntos necesarios.

Para convertir el valor de la pérdida de presión por accesorios a una distancia lineal que sea compatible con la pérdida de presión por tubería recta, el método del coeficiente de fricción K utiliza la ec. 4.20. Sustituyendo valores en dicha ecuación, se obtiene una pérdida de 0,69 m. Así, al sumar la pérdida por tubería recta y la de los accesorios se obtiene una pérdida total en el sistema de 1,54 m.

5.2.6. Carga dinámica y presión de succión

Al seleccionar una bomba, se requiere conocer de dos parámetros importantes. Estos son: la carga dinámica total (TDH por sus siglas en inglés) y la carga de succión neta positiva disponible en el sistema (NPSH por sus siglas en inglés). Como ya ha sido mencionado, en este caso en particular no se cuenta con una tubería de succión debido a que la bomba es sumergible. Por lo tanto, solo es necesario calcular el TDH.

Para el cálculo de este parámetro, se debe plantear una ecuación de energía entre dos puntos y poner un nivel de referencia. En este caso, se han seleccionado como punto inicial, la línea de líquido del nivel de marea más bajo y el punto de entrega de fluido al módulo. Esto se puede observar en la **Figura 5.17**.

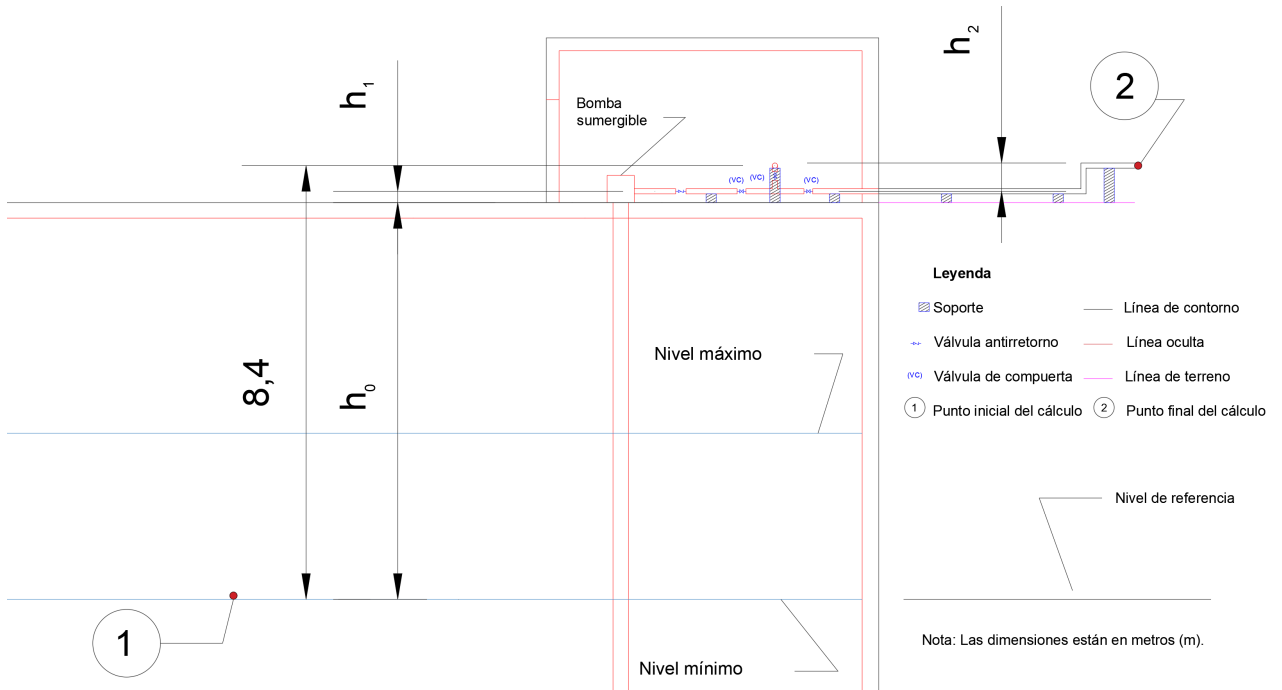


Figura 5.17: Cálculo del TDH para el sistema de bombeo de trasiego a los módulos (Elaboración propia, 2018)

La selección se ha hecho de esta forma ya que se conocen los siguientes parámetros:

- $P_1 = 0$ Pa (ya que el cálculo se hace con presiones manométricas y en este caso se tiene presión atmosférica).
- $V_1 = 0$ m/s (ya que es despreciable).
- $H_1 = 0$ m (ya que es el punto de referencia).
- $P_2 =$ presión necesaria a la entrada del módulo, la cual es conocida.
- $V_2 =$ velocidad en la tubería de descarga, la cual ya fue calculada.
- $H_2 = h_0 + h_1 + h_2$, lo cual da 8,4 m.

- H_f = las pérdidas totales de presión recientemente calculadas.

De esta forma, al despejar la ecuación de energía y sustituir estos valores en la ec. 5.3 se conoce que la bomba debe poder levantar una cabeza de 51,20 mcl. Al multiplicar dicho valor por la densidad del agua de mar y por la aceleración de la gravedad se obtiene que esta equivale a 515,8 kPa.

$$TDH = \frac{P_2}{\rho_{mar} \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + H_2 + H_f \quad (5.3)$$

5.2.7. Soportería y dimensionado de tuberías

Antes de hablar de la selección de la bomba, es importante terminar los cálculos relacionados con el sistema de tuberías. En este caso el cálculo del espaciamiento entre soportes es fundamental para que dicho sistema pueda tener un buen sustento y trabajar de la mejor forma. A la hora de comenzar con este cálculo¹, se debe conocer el peso lineal de la tubería de descarga. Este se encuentra en la tabla del fabricante WL Plastic (ver Anexo E.2) como 19,8 N/m. Para poder sustituir el valor en la ec. 5.7, se debe convertir el valor para que sus unidades sea lb/pulg, lo que resulta en 0,115 lb/pulg.

Seguidamente se debe conocer el peso lineal del fluido. Para ello se considera un cilindro con un largo de 1 pulgada y un área circular considerando el diámetro interno de 3,998 pulgadas. Al sustituir valores en la ec. 5.4, se obtiene un valor de 0,465 lb/pulgada. De esta forma, al sumar el peso lineal de la tubería y del fluido se conoce que el peso lineal total W_{total} es de 0,579 lb/pulgada.

$$W_{fluido} = \rho_{mar} \cdot \pi \cdot \frac{d^2}{4} \quad (5.4)$$

Donde W_{fluido} es el peso lineal del fluido, en lb/pulgada y d es el diámetro interno de la tubería, en pulgadas.

Otro valor que se debe conocer a la hora de calcular el espaciamiento entre soportes de la tubería de descarga, es el esfuerzo máximo permisible del polietileno de alta densidad. Para ello, se ha encontrado que el esfuerzo de fluencia según el fabricante WL Plastics es de 3500 lb/pulgada² (WL Plastics, 2017). Para conocer el esfuerzo máximo permisible, se debe dividir el esfuerzo de fluencia por un factor de seguridad. La Guía de ingeniería y diseño para tubería de polietileno de alta densidad de la empresa Policonductos recomienda utilizar un factor de seguridad de 2 (Policonductos S.A. de C.V., s.f) De esta forma, se tiene que el esfuerzo máximo permisible (S) es de 1750 lb/pulgada².

A continuación, se debe conocer el momento de inercia de la sección. Para ello se sustituyen en la ec. 5.5 el diámetro externo de la tubería con un valor de 0,114 m (4,5 pulg) y el interno con 0,102 m (3,998 pulg).

$$I = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\left(\frac{D}{2} \right)^4 - \left(\frac{d}{2} \right)^4 \right) \quad (5.5)$$

¹ Este método requiere que los datos que se introduzcan en sus fórmulas tengan unidades del sistema imperial, de lo contrario no da resultados verídicos. Por esta razón se omitirá el uso del Sistema Internacional de Unidades (SI) durante la explicación de la sección en cuestión. Aún así el resultado final del cálculo se convierte a unidades del SI y de ahí en adelante se sigue trabajando con dicho valor.

Donde, I es el momento de inercia de la sección, en m^4 y D el diámetro externo de la tubería, en metros.

De esta forma, se tiene un momento de inercia de 7,59 *pulgada*⁴. El último valor por calcular antes de conocer el espaciamiento entre soportes es el módulo de la sección. Para ello se deben sustituir los valores correspondientes en la ec. 5.6.

$$Z = 2 \cdot \frac{I}{D} \quad (5.6)$$

Donde Z es el módulo de la sección, en *pulgada*³. De esa manera, se obtiene como resultado un módulo de sección de 3,37 *pulgada*³. Finalmente se calcula el espaciamiento entre soportes utilizando la ec. 5.7.

$$L = \sqrt{\frac{8 \cdot Z \cdot S}{W_{total}}} \quad (5.7)$$

Donde, L es el espaciamiento entre soportes, en *pulgada*.

Se debe avisar que esta omite el hecho de que la tubería es continua y se considera cada tramo como si tuviera un apoyo simple a cada uno de sus extremos. Esta consideración da como resultado un valor conservador. De esta manera, se requieren mayor cantidad de soportes y por lo tanto un mayor costo en la parte presupuestaria. En caso de querer realizar un cálculo más detallado, se debe considerar dicha característica en el cálculo. Al sustituir los valores en esta última ecuación, se conoce que el espaciamiento debe ser de 285,5 *pulgadas*, lo cual es equivalente a 7,25 m.

En este punto es importante notar que, toda obra de ingeniería aparte de ser funcional, debe tener un buen aspecto visual. Para esto se debe corroborar que, con el espaciamiento recientemente calculado, la pendiente de la tubería no sea mayor a un 1%. Un valor de pendiente mayor al mencionado es apreciable a simple vista, por lo que se debe evitar en la etapa de diseño. Para ello se debe comenzar por conocer el módulo de elasticidad del polietileno de alta densidad (E). De la hoja del fabricante Performance Pipe se sabe que esta debe ser mayor a 175 000 lb/ *pulgada*², de esta forma se ha tomado como valor 176 000 lb/*pulgada*² (Performance Pipe, 2006).

Luego del cálculo anterior, se debe calcular la deflexión que sufre la tubería. Para ello se sustituyen los valores correspondientes en la ec. 5.8.

$$\Delta = \frac{5 \cdot W_{total} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \quad (5.8)$$

Donde, Δ es la deflexión, en *pulgada*. Con ello se obtiene tiene una deflexión de 37,52 *pulgadas* lo cual es equivalente a 0,95 m. Finalmente, para conocer la pendiente de la tubería con dicho espaciamiento entre soportes, se deben sustituir los valores en la ec. 5.9. Esto da como resultado una pendiente del 26,28 %.

$$m = \frac{2 \cdot \Delta \cdot 100}{L} \quad (5.9)$$

Donde, m es la pendiente de la tubería, es un porcentaje (%), y dado que se sobrepasa el límite de pendiente del 1%, se debe recalculer el espaciamiento entre soportes. Para ello se despeja la ecuación de la pendiente en función del espaciamiento y se sustituyen los valores correspondientes, tomando la pendiente requerida como aparece en la ec. (5.10).

$$L_{\text{corregido}} = \left(\frac{384 \cdot 1 \cdot E \cdot I}{1\,000 \cdot W_{\text{total}}} \right)^{1/3} \quad (5.10)$$

Donde $L_{\text{corregido}}$ es el espaciamiento entre soportes corregido, en pulgadas, y es entonces conocido que el espaciamiento entre soportes debe ser de 96,02 pulgadas o su equivalente en el Sistema Internacional que serían 2,4 m. Tomando este valor o cualquier espaciamiento menor, hay certeza que la tubería estará debidamente soportada.

Se debe indicar que los soportes se han ubicado en la **Figura 5.10** de tal forma que se cumpla el espaciamiento recientemente calculado. Asimismo, se ha considerado que, al haber accesorios tales como válvulas, codos, entre otros, los soportes deben estar cerca a ellos. Esto ya que dichos elementos entregan un peso extra que debe ser soportado. Lo mínimo que se ha dejado en estos casos han sido 0,3 m. De esta forma se tiene un balance entre un espacio suficiente para poder hacer reparaciones y que los soportes no están tan lejos de dichos accesorios.

La mayoría de soportes se encuentran a por lo menos 0,8 m de las paredes. Como se ha mencionado es para que una persona pueda pasar cómodamente. Solo en el caso de los soportes que están cerca de la pared que da a los módulos de desalinización, ahí se tiene un espaciamiento de 0,54 m entre la pared y el soporte. Esto se debe a que como la pared no cumple la función de soporte (debido a que debe haber un espacio mínimo para que la tubería y el concreto se expandan), esta interfiere en el espaciamiento entre el soporte siguiente y el comentado.

Vale recalcar que todos los soportes se han considerado como de apoyo simple y por lo tanto van desde el suelo hasta la tubería. Esta decisión recae en que, de esta forma se tiene un mayor orden en el cuarto, evitando tener grandes longitudes de soportes que se apoyan en el techo.

5.2.8. Dimensionado de las bombas

Con lo elaborado en las secciones previas, se puede proceder a la selección final de las bombas. Hay que tener en mente que a estas máquinas están fabricadas principalmente en metales, y algunas de sus partes estarán en contacto con el agua de mar. Por otro lado, las piezas externas tendrán una parte sumergida en agua de mar y otra en contacto con aire. Esto plantea dos grandes desafíos debido a lo corrosivo que es un medio como el agua de mar (por la gran concentración de sales que contiene) o el aire que se encuentra en una zona costera (por las mismas sales que contiene, así como diferentes gases, entre ellos oxígeno). El primero de ellos, tienen que ver con la corrosión general que se pueda dar para las partes en contacto solo con agua de mar o las secciones rodeadas solo por aire.

El segundo de los desafíos se da en la zona límite de la línea de líquido. En ella, la carcasa está en contacto con dos medios con potenciales eléctricos distintos. Este hecho hace que la corrosión en este tramo sea más agresiva. Asimismo, esta es la sección en donde, debido a la fluctuación del nivel del tanque por las mareas y por la misma succión de la bomba, se genera movimiento por lo que a largo plazo, este hecho puede llegar a causar corrosión por erosión.

Para mitigar los efectos mencionados, inicialmente se planteó la idea de utilizar un sistema de ánodos de sacrificio. Según se conversó con el proveedor Zebol S.A., la carcasa de las bombas seleccionadas son de una aleación de Níquel, Aluminio y Bronce. Esta aleación junto con un recubrimiento superficial, son suficientes para mitigar el efecto corrosivo del agua de mar. Esta

información fue detallada por el vendedor por medio de un mensaje que se puede observar en el Anexo E.6.

Se toma esta como una mejor solución, ya que de esta forma no se necesita estar revisando el estado de los ánodos de sacrificio ni tener que hacer la inversión de comprarlos periódicamente. Con el recubrimiento se logra un control de la corrosión ya que este funciona como un aislamiento del electrolito en contacto con el metal.

En cuanto a la parte interna de la bomba, como se cuenta con gran cantidad de partes se tienen varios materiales. El desglose completo se puede observar en la información técnica de la bomba en el Anexo E.5. Dos de las partes más importantes como lo son el impulsor y el eje son fabricados a partir de acero inoxidable 316 y 416 respectivamente.

Sobre el primero se puede decir que este “es un acero inoxidable de cromo níquel austenítico que contiene molibdeno. Esta adición aumenta la resistencia a la corrosión general, mejora la resistencia a picaduras de soluciones de iones de cloruro” (NKS de México, s.f). Como bien se conoce, el agua de mar contiene grandes cantidades de iones de cloruro, por lo que de esta forma se entiende la importancia de fabricar el impulsor con este material. Por otro lado, el acero inoxidable 416 es “martensítico de cromo cuyos elementos han sido añadidos para mejorar su maquinabilidad (. . .) es menos resistente a la corrosión que los aceros cromo-níquel y es magnético” (Soluciones integrales de importación S.A., s.f). De esta forma se entiende que el eje sufrirá un mayor efecto por parte de la corrosión, pero esto se debe al sacrificio que se hace por la maquinabilidad que se necesita tener para fabricarlo.

En cuanto al rendimiento en términos de caudal y presión de descarga, éstos constituyen junto con la presión de succión el punto de operación de la bomba. La selección se realiza una vez que se encuentre un modelo de bomba, que dentro de su curva contenga este punto de operación. En este caso, por ser una bomba especial, esta selección la ha hecho el vendedor Zebol S.A. por medio de un software especializado.

En este caso, el punto de operación se compone de un caudal de $0,0124 \text{ m}^3/\text{min}$ (196,8 GPM (galones por minuto)) y un TDH de 51,45 mcl (168,8 pies). El programa especializado dio como resultado de la búsqueda un punto de operación de $0,0124 \text{ m}^3/\text{min}$ (197,0 GPM) y un TDH de 55,78 m (183 pies). De esta forma, se cumple satisfactoriamente las condiciones necesarias y más bien se tendrá la opción de entregar una mayor presión en caso de ser necesario. Una vez hecha la selección, el programa realiza un reporte del resultado con la información técnica. Este se puede apreciar en el Anexo E.5. En ella se puede observar la curva de la bomba y el par de operación indicado.

De esta información se pueden corroborar gran parte de las características propias de esta bomba. Las más importantes se muestran a continuación:

- Marca: Goulds.
- Modelo: DWT-DITM.
- Etapas: 6. Esta bomba requiere de varias etapas de impulsión para poder entregar el TDH solicitado.
- Diámetro del impulsor: 131,76 mm (5,1875 pulgadas).

- Diámetro de descarga: 101,6 mm (4 pulgadas) ²³
- Diferencia con caudal de máxima eficiencia: -13,97 %. Según la teoría vista en el curso de Máquinas Hidráulicas, el ámbito ideal es que se encuentre entre -10 % y 10 % y el ámbito permitido es entre -40 % y 20 % . De esta forma por más que no cumple con la zona ideal, se toma como satisfactorio ya que entra en el ámbito permitido (Murillo, 2016).
- Eficiencia: 81,1 %.
- Potencia: 8,35 kW (11,2 HP).

Finalmente se debe hacer la aclaración de que con la compra de la bomba se incluye el motor. Debido a que en la ficha técnica enviada no se muestra información sobre esta máquina eléctrica, se ha buscado un motor con características compatibles con la bomba seleccionada para poder conocer los requerimientos de alimentación eléctrica que la bomba tendría. Vale decir que se ha buscado un motor eléctrico que dentro de su ámbito de acción contemple 1800 rev/min y que entregue una potencia de 11,16 kW (15 HP). Esto último debido a que el valor comercial inmediatamente superior a 8,35 kW (11,2 HP) es el mencionado. Así se conoce que el requerimiento de potencia será subsanado efectivamente. Asimismo, se puede decir que es un motor trifásico que cumple con tener una frecuencia de 60 Hz y que su requerimiento de tensión sería 208 V-230 V/ 460 V.

Otra característica importante de mencionar es el tipo de sello que tiene la bomba. Según comentó el vendedor, este tipo de bombas no son ni centrífugas ni de desplazamiento positivo, sino de tipo turbina. Por esta razón utiliza un sello de empaquetadura.

5.3. Tuberías de interconexión entre módulos y tanques

5.3.1. Configuración de tuberías entre módulos y tanques de la planta

En esta sección se explicarán detalles relacionados con la configuración elegida para las tuberías que trasiegan los diferentes fluidos de los módulos de desalinización hacia los diferentes tanques. Asimismo se detallarán los cálculos hidráulicos y los cálculos relativos a la colocación de soportes para dichos sistemas de tuberías.

Este diseño, lo que pretende es conocer si la presión de salida de los módulos es suficiente para lograr que el fluido de trabajo llegue al tanque respectivo o si hay necesidad de instalar un sistema de bombeo para lograr esta tarea. Para ello se debe verificar que la configuración propuesta y el comportamiento hidráulico funcionen correctamente. De esta forma, la configuración propuesta es la que se muestra en las **Figuras 5.19, 5.20 y 5.21**. Asimismo, en la **Figura 5.18** se puede ver la distribución de planta de las tuberías.

²Se confirma de esta manera que el diámetro de la tubería de descarga calculado en la sección 5.5.2 es razonable. Además, según comentó por parte del vendedor de módulos Aqua Pro, esta es un diámetro aceptable con el cual se puede hacer la conexión entre la tubería de descarga y la tubería de entrada al módulo.

³La información técnica de la bomba dice erróneamente que el diámetro es de 304,8mm (12 pulgadas), pero el vendedor ha hecho la aclaración que es de 101,6 mm (4 pulgadas) por medio de un correo que se puede ver en el Anexo E.6.

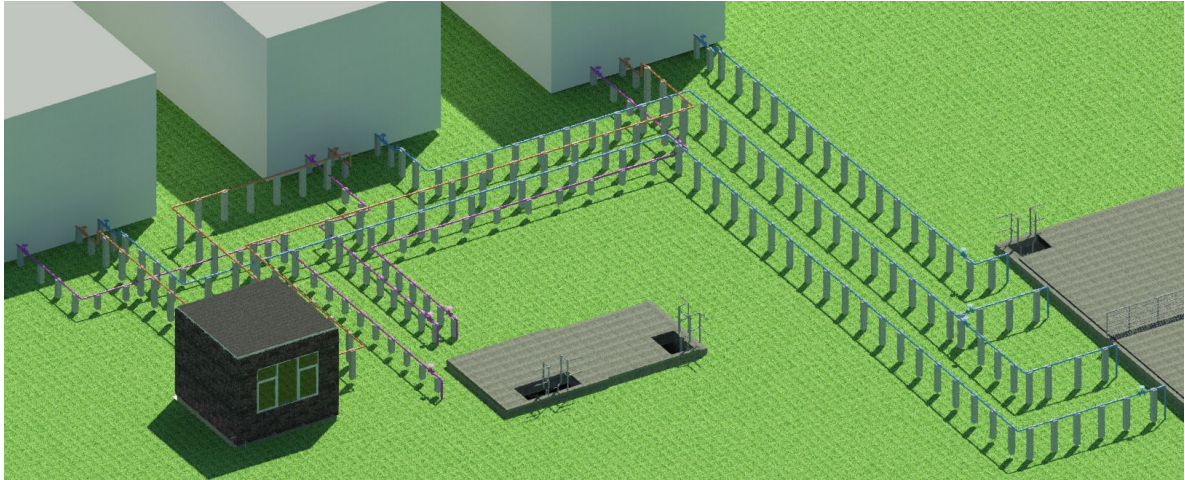


Figura 5.19: Vista de la red de tuberías desde el módulo a respectivos tanques Parte 1 (elaboración propia, 2018).

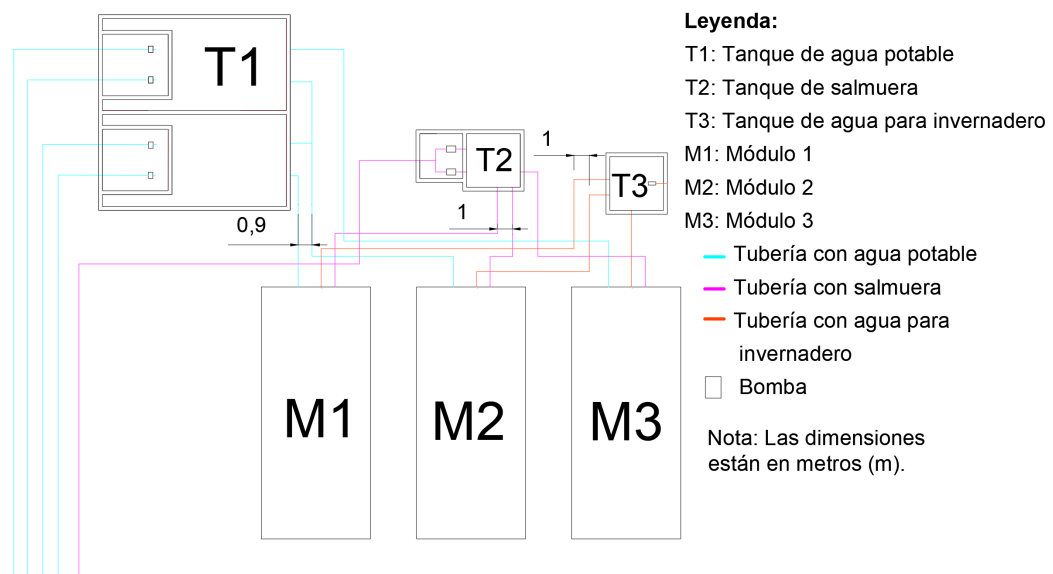


Figura 5.18: Distribución de planta de las tuberías que trasiegan los diferentes fluidos a sus respectivos tanques (Elaboración propia, 2018)

Según se comentó con el vendedor de los módulos de desalinización Aqua Pro, la dualidad del sistema se puede generar dentro del módulo. Más específicamente, esto quiere decir que, una vez que el agua permeada ha salido de las membranas de ósmosis inversa, se podrá realizar una bifurcación del flujo. De esta manera, el caudal necesario para la sección del invernadero saldrá en este punto y el resto del flujo se dirigirá hacia el proceso de potabilización.

De esta forma, se plantea que de cada módulo saldrán tres tuberías: una con agua potable que se dirige hacia el tanque de distribución a la red de la ASADA, otra con salmuera hacia el tanque de distribución de este fluido al mar y por último una con agua para el invernadero. Así, se tienen tres tuberías independientes de cada uno de los fluidos que se trasiegan a cada

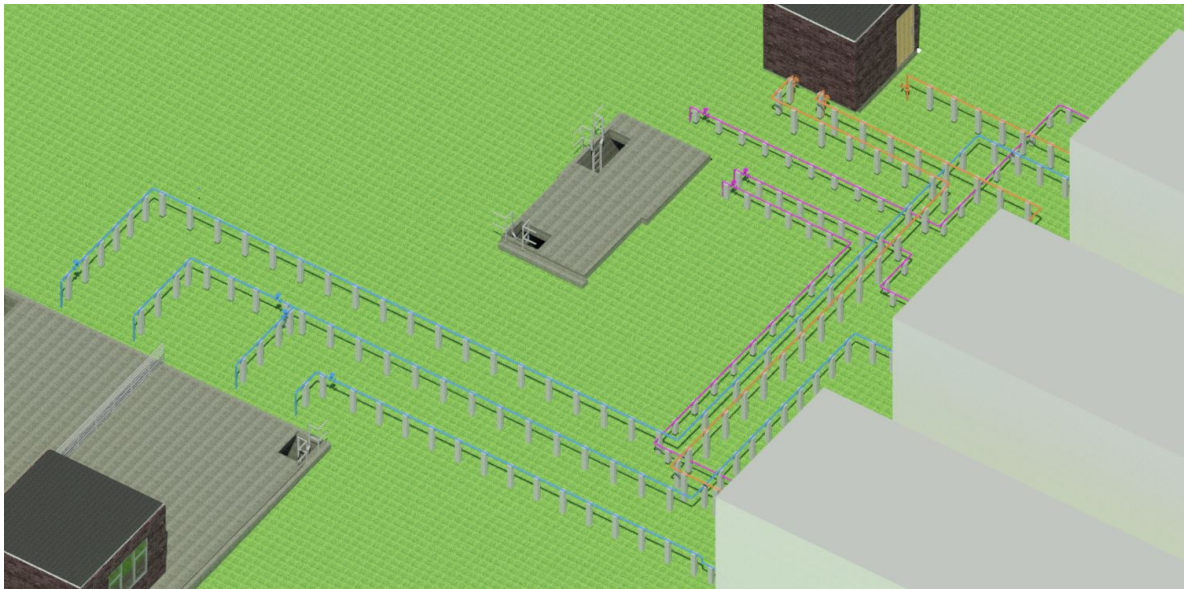


Figura 5.20: Vista de la red de tuberías desde el módulo a respectivos tanques Parte 2 (elaboración propia, 2018).

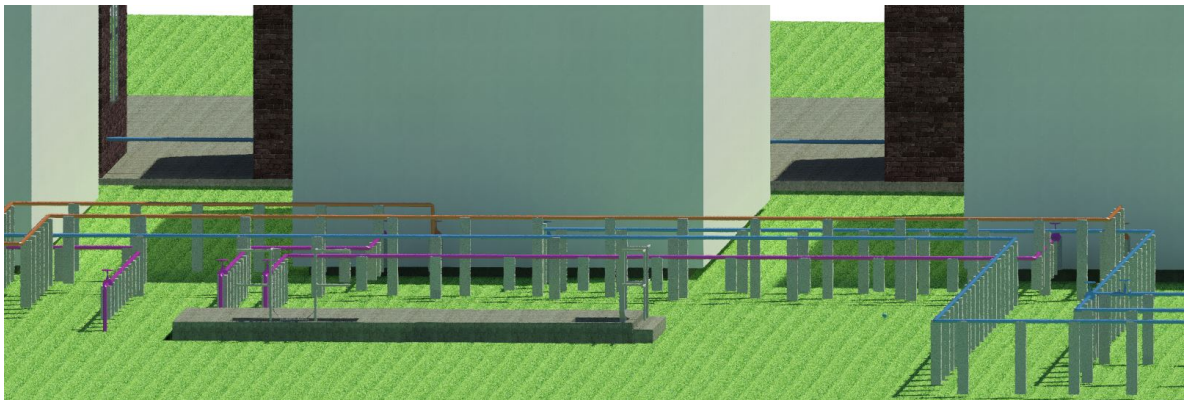


Figura 5.21: Vista de la red de tuberías desde el módulo a respectivos tanques Parte 3 (elaboración propia, 2018).

tanque. Esto se ha elegido así, para tener mayor seguridad de que por un fallo en una tubería, el suministro no se cese, sino que solo se disminuye. Estos detalles se pueden observar en la Figura 5.22.

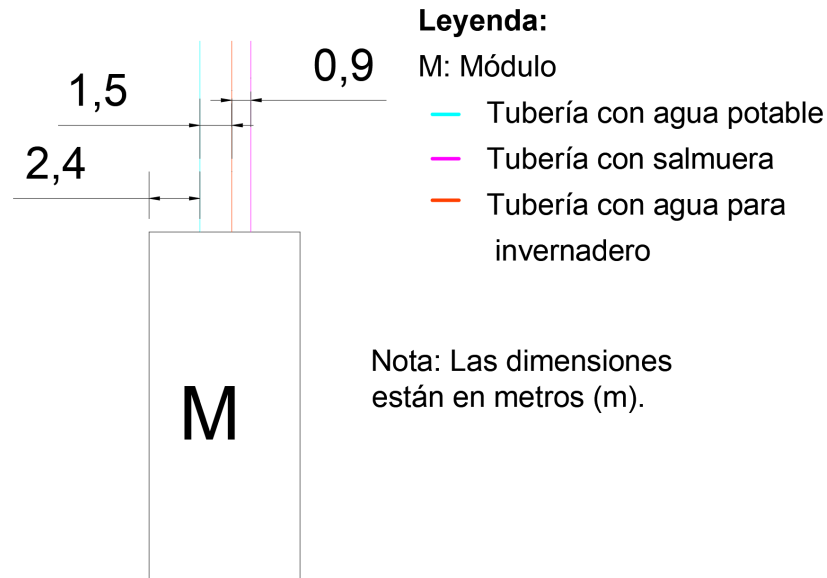


Figura 5.22: Tuberías salida de módulos de desalinización (Elaboración propia, 2018)

Según se comentó con Aqua Pro, estas tuberías pueden ser de polietileno de alta densidad con un tamaño mínimo IPS 4. Para poder cumplir con la norma técnica *Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial* (2017), se necesita utilizar por lo menos tuberías con un tamaño IPS 3 y un DR 7. Es por esto que más adelante, al mencionar los accesorios utilizados, se tendrán reducciones que se instalarán luego de la conexión con el módulo. Al consultar la ficha técnica del fabricante WL Plastics (ver Anexo E.2), dichas especificaciones corresponden a una tubería con un diámetro interior promedio de 61,98 mm (2,440 pulgadas). Asimismo, la conexión entre dicha tubería de distribución y la tubería de salida de los módulos se hará a 0,5 m sobre el nivel del suelo.

Debido a la modularidad del sistema de desalinización y con el objetivo de realizar el cálculo, se ha propuesto una ubicación horizontal de la salida de las tres tuberías desde el módulo. De esta forma, desde el extremo izquierdo y hasta la tubería que trasiega agua potable se dejan 2,4 m. Entre esta tubería y la que transporta agua para el invernadero se han dejado 1,5 m. Finalmente entre esta última y la tubería por la que viaja salmuera hay un espacio de 0,9 m.

De manera que las diferentes tuberías no interfieran entre ellas, se ha considerado que según sea el fluido que trasiega, cada una de las tuberías se ubicará a una altura diferentes con respecto al suelo. En este caso, se ha seleccionado que las tuberías viajen a una distancia sobre el suelo y no de manera subterránea debido a los factores que se enlistan a continuación:

- Se permite vigilar el estado de las mismas sin tener que excavar. Con ello, el proceso de encontrar posibles fugas será más rápido y eficiente.

- Se presenta una disminución de costos. De enterrar las tuberías, se debería invertir en realizar las zanjas respectivas y en poner registros para las válvulas.
- Se cuenta con un mayor orden al trabajar con diferentes alturas sobre el suelo y no con diferentes profundidades.

Como mayor desventaja se tiene el posible daño que pueden sufrir las tuberías. Por un lado, al ser de polietileno de alta densidad tienen una buena resistencia a los efectos del sol. Con respecto a daños que puedan sufrir realizados por personas, estos se mitigan teniendo un efectivo control de entrada al proyecto. Así, se justifica la colocación de las tuberías a diferentes alturas.

De esta forma, se ha determinado que la tubería que trasiega agua potable viajará a una altura de 0,25 m sobre el nivel de la conexión esto es 0,75 m del suelo, la de agua al invernadero a 0,5 m sobre el nivel de la conexión lo cual representa 1 m sobre el suelo y la de salmuera a 0 m de la conexión lo cual significa 0,5 m del suelo . Esto se puede observar en las **Figuras 5.23, 5.24 y 5.25**.

Estas han sido seleccionadas en base a dos criterios. El primero es dejando que los fluidos con mayores densidades se mantengan a una menor altura de forma que, la energía requerida para moverlos no se incremente. El segundo criterio tiene que ver con dejar el espacio suficiente para que al considerar los diámetros de las tuberías que viajan por un mismo punto, pero a diferentes alturas, no sufran una interferencia.

Se debe indicar que la conexión con cada uno de los tanques se ha hecho de forma subterránea. Esto como manera de evitar la contaminación de cada uno de los fluidos por cualquier tipo de agente externo. Este hecho favorece a los cálculos hidráulicos, ya que el fluido tiene mayor energía potencial. Es por ello que la parte final de tubería, se ha dejado a una profundidad de 0,3 m en el caso de la tubería que se conecta con el tanque de agua potable y 0,55 m en el caso de los otros dos tanques. La diferencia en estas profundidades tiene que ver con que para los tanques de salmuera y agua para el invernadero la loza que divide la casa de máquinas con el tanque restringe la profundidad a la que se puede conectar con el tanque.

Finalmente, hay varias constantes que se mantienen con los mismos valores que se tenían para el agua marina. Estos serían, la viscosidad cinemática, la rugosidad del polietileno y la presión atmosférica. Asimismo, la presión de salida del módulo para todos los fluidos es de 68,95 kPa (10 psi) según fue indicado por Aqua Pro. En cuanto a la densidad del agua, esta ha sido tomada como $1\ 000\ kg/m^3$ para el agua potable y la del invernadero y como $1\ 027\ kg/m^3$ para la salmuera, los cuales son valores estándar para agua potable y para agua de mar.

5.3.2. Sistema de tuberías entre módulos y tanque de distribución

Inicialmente se debe comentar que, la configuración especial de este sistema de tuberías se puede ver en la **Figura 5.18**. En ella se puede observar como la distancia mínima entre tuberías es de 0,9 m. Esta distancia es suficiente para poder realizar labores cómodamente, así como poder transitar para realizar inspecciones entre tuberías.

En lo referente a las constantes iniciales relacionadas con las tuberías que transportan el agua potable a su respectivo tanque se cuenta con dos. Por un lado, el caudal de suministro sería $300,75\ m^3/d$. Este se ha obtenido luego de restarle al caudal que entrega un módulo, el necesario para abastecer el invernadero. En esta sección también se hace el cálculo para una sola línea de tubería saliendo de un módulo. En especial se toma el caso más crítico, el cual en esta ocasión sería la tubería que va del módulo más a la derecha (M3) hasta el tanque de

abastecimiento de agua para la ASADA. Esto ya que sería la que tiene el tramo más largo horizontalmente, siendo este de 36,25 m. Por lo tanto, en el que se generan mayores pérdidas de presión. Si este caso da resultados satisfactorios, los demás también lo harán.

Seguidamente se lleva a cabo el mismo proceso de cálculo visto en la sección anterior sobre el cálculo de tuberías para el sistema que trasiega agua de mar. Así, la velocidad obtenida en esta ocasión, considerado el diámetro y el caudal ya mencionados, es de 1,2 m/s. Dicha velocidad forma parte del ámbito propuesto por la norma técnica (*Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial*, 2017); por lo que se toma como suficiente.

A la hora de calcular el número de Reynolds está da como resultado $7,63 \cdot 10^4$. De esta se cumple con la condición para poder calcular el factor de fricción f con el método de Churchill. Al utilizar dicha ecuación se obtiene un valor de 0,02. En cuanto al cálculo de pérdidas de presión por tubería recta, se conoce que el trayecto de la tubería más larga de esta sección sube 0,25 m, se mantiene de forma horizontal en un trayecto total de 36,25 m y luego baja 1,05 m (desglosados en 0,25 m de altura, 0,5 m hasta el suelo y 0,3 m de profundidad hasta llegar al tanque). Al sustituir los valores correspondientes en la ecuación de Darcy Weisbach se obtiene una pérdida de 0,82 m.

Sobre los accesorios utilizados en esta ocasión se tienen los observados en el **Cuadro 5.8**. De ellos los codos y las uniones en T cumplen la función de redirigir el fluido. Sobre la reducción ya se comentó anteriormente. En cuanto a las válvulas de compuerta estas tienen la labor de permitir o detener el paso completo de agua. Ahora, en este punto vale hacer la aclaración de que en dos de las tres líneas se tiene dos válvulas, una a la entrada y otra a la salida de la tubería.

De esta forma se regula más cómodamente el sistema. En cuanto a la línea del módulo que se encuentra en el centro este cuenta con una válvula a la entrada y dos a la salida, así como una bifurcación en este punto. Esto se debe a que, el diseño contempla tener el menor descenso en el caudal de suministro a la red por razones relacionadas con el mantenimiento del tanque que almacena agua para la ASADA. De esta manera, este segundo módulo tendrá la opción de descargar a las dos secciones del tanque, pero solo a una a la vez. De esta forma, en los momentos en donde se realicen labores de mantenimiento en una de las secciones de este tanque, el caudal suministrado será del 66,7%.

Cuadro 5.8: Pérdidas por accesorios hacia el tanque de ASADA (Elaboración propia, 2018)

Cálculo de las pérdidas por accesorios en la tubería de descarga			
n	Accesorio bridado 75mm (3 pulg)	K	$n \cdot K$
7	Codos 90	0,33	2,31
2	Válvula de compuerta abierta	0,22	0,44
1	Unión (de módulo)	0,04	0,04
1	Unión en T bridada (FL)	0,16	0,16
1	Reducción de 100mm (4 pulg) a 75mm (3 pulg)	0,22	0,22
		Total	3,17
		$h_{f_{acc}}$	0,22

Nuevamente, en este cálculo se hace uso del método del coeficiente de fricción K . Asimismo, los valores de dicho coeficiente han sido tomados del Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones (CFIA, 2017), para accesorios bridados de 75mm (3 pulgadas). Luego de aplicar dicho método, se obtiene una pérdida de presión por accesorios de 0,22 m obteniendo como pérdidas totales en el sistema 1,04 m.

Finalmente, se debe proponer una ecuación de energía para conocer la presión final del fluido. Si está da un valor mayor 0 Pa (debido a que se trabaja con presiones manométricas) significa que flujo existirá y por lo tanto el diseño se concluiría satisfactoriamente.

En este caso, se han seleccionado como punto inicial, el punto de descarga de fluido del módulo y el punto final sería la línea de líquido del nivel del tanque de distribución. Esto se puede observar en la **Figura 5.23**. La selección se ha hecho de esta forma ya que se conocen los siguientes parámetros:

- $P_1 = 68,95$ kPa (10 psig), correspondientes a 7,03 m (presión de salida del módulo).
- $V_1 = V_2$ por la ecuación de continuidad. Como la sección se mantiene, la velocidad también. Por lo tanto, en la ecuación de energía se eliminan, por lo que nos y toman en cuenta en el cálculo.
- $H_1 = 0,8$ m. Esto se desglosa en 0,5 m desde la salida del módulo al suelo y 0,3 m del suelo hasta el punto de conexión con el tanque. En este caso solo se toman las distancias que bajan desde el punto 1 hasta 2 y no en tramo que sube ya que el comportamiento de esta última sección es como la de un sifón y el verdadero cambio de alturas es solo hacia abajo.
- $P_2 =$ es la presión por conocer.
- $H_2 = 0$ m (ya que está en el nivel de referencia).
- $H_f =$ las pérdidas totales de presión recientemente calculadas.

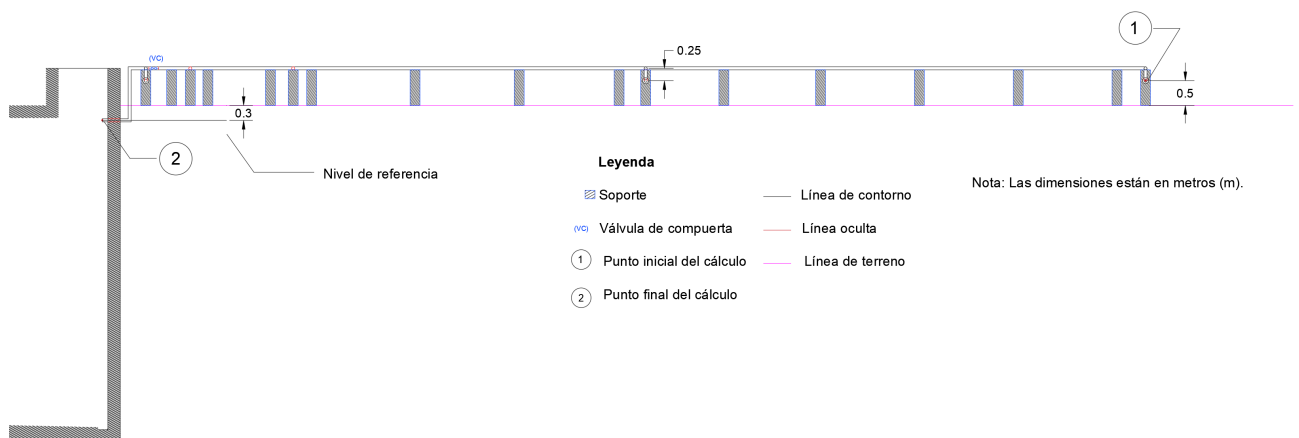


Figura 5.23: Diagrama representativo para proponer la ecuación de energía para el caso de la tubería que trasiega agua potable (Elaboración propia, 2018)

De esta forma, al despejar la ecuación de energía y sustituir estos valores en la ec. 5.11 se conoce que la presión que tiene el fluido al llegar al tanque es de 66,6 kPa (9,66 psig). De esta forma se comprueba que el cálculo realizado es correcto.

$$P_2 = P_1 + H_1 - H_f \quad (5.11)$$

5.3.3. Sistema de tuberías entre módulos y tanque de salmuera

Sobre la configuración especial de este sistema de tuberías, este se puede apreciar en las **Figuras 5.18, 5.19, 5.20 y 5.21**. Al hablar de las constantes iniciales relacionadas con las tuberías que transportan salmuera a su tanque, se debe mencionar primeramente el caudal trasegado. Este es de $578,23 \text{ m}^3/d$ y se ha obtenido de la ficha técnica de los módulos de desalinización vista en el Anexo B.3. El caso más crítico en esta ocasión sería la tubería que va del módulo más a la izquierda (M1) hasta el tanque de salmuera. El resto de cálculos se realizan igual que en la Sección 5.3.2. Los resultados obtenidos se muestran en los **Cuadros 5.9, 5.10 y 5.11**.

Cuadro 5.9: Distancias de tuberías entre módulos y tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)

Distancias (m)	
Horizontal máxima	17,08
Altura sobre la conexión con el módulo	0
Subterráneo	0,55
Altura sobre el suelo de la conexión con el módulo	0,5
Total de bajada	1,05
Distancia mínima entre tuberías	1

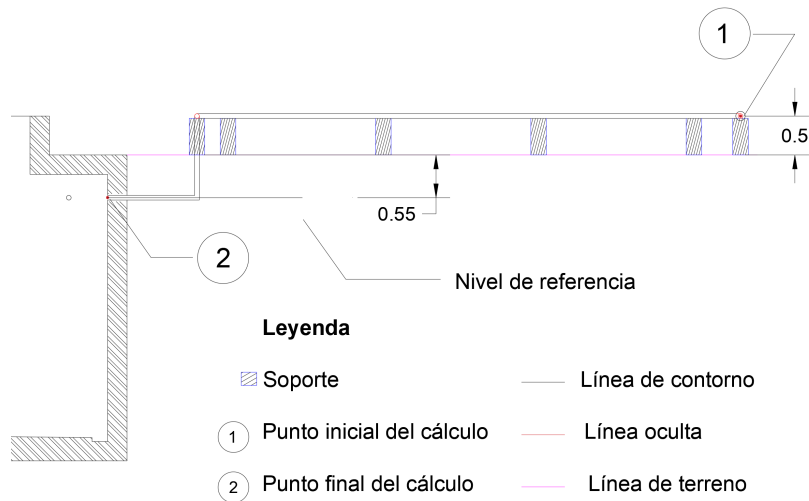
Cuadro 5.10: Variables de las tuberías entre los módulos al tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)

Cálculos varios	
Velocidad (m/s)	2,2
Diámetro interno (m)	0,06
Número de Reynolds	$1,47 \times 10^5$
Factor de fricción f	0,017
Pérdidas por tubería recta (m)	1,28
Pérdidas totales (m)	1,79

Cuadro 5.11: Pérdidas por accesorios hacia el tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)

Cálculo de las pérdidas por accesorios en la tubería de descarga			
n	accesorio bridado 75mm (3 pulg)	K	$n \cdot K$
4	Codos 90	0,33	1,32
2	Válvula de compuerta abierta	0,22	0,44
1	Unión (de módulo)	0,04	0,04
1	Reducción de 100mm (4 pulg) a 75mm (3 pulg)	0,22	0,22
		Total	2,02
		$h_{f_{acc}}$	0,51

Finalmente, al proponer la ecuación de energía se ha seleccionado como punto inicial, el punto de descarga de fluido del módulo y el punto final sería la línea de líquido del nivel del tanque de distribución. Esto se puede observar en la **Figura 5.24**. En este punto todos los parámetros son iguales al caso anterior de las tuberías que descargan en el tanque de abastecimiento a la red de la ASADA, con excepción de las pérdidas de presión recientemente calculadas.



Nota: Las dimensiones están en metros (m).

Figura 5.24: Diagrama representativo para proponer la ecuación de energía para el caso de la tubería que trasiega salmuera (Elaboración propia, 2018)

De esta forma, al despejar la ecuación de energía se conoce que la presión que tiene el fluido al llegar al tanque es de 61,5 kPa (8,93 psig). De esta forma se comprueba que el cálculo realizado es correcto.

5.3.4. Sistema de tuberías entre módulos y tanque del invernadero

La configuración especial de este sistema de tuberías se puede observar en las **Figuras 5.18, 5.19, 5.20 y 5.21**. Al comentar sobre las constantes iniciales relacionadas con las tuberías que trasladan el agua para el invernadero a su tanque, se debe mencionar el caudal trasegado. Este es de $172,92 \text{ m}^3/d$ y se ha obtenido del cálculo de la demanda total anteriormente explicado en la sección 4.1.2. El caso más crítico en esta ocasión sería la tubería que va del módulo más a la izquierda (M1) hasta el tanque de distribución de agua al invernadero. El resto de cálculos se realizan igual que en las Secciones 5.3.2 y 5.3.3. Los resultados obtenidos se muestran en los **Cuadros 5.12, 5.13 y 5.14**.

Cuadro 5.12: Distancias efectivas de las tuberías de los módulos al tanque del invernadero (Elaboración propia, 2018)

Distancias (m)	
Horizontal	25,78
Altura sobre la conexión con el módulo	0,5
Subterráneo	0,55
Altura sobre el suelo de la conexión con el módulo	0,5
Total de bajada	1,55
Distancia mínima entre tuberías	1

Cuadro 5.13: Resultados de cálculos hidráulicos de tuberías de los módulos al tanque para el invernadero (Elaboración propia, 2018)

Cálculos varios	
Velocidad (m/s)	0,7
Diámetros internos (m)	0,06
Número de Reynolds	$4,39 \times 10^4$
Factor de fricción f	0,023
Pérdidas por tubería recta (m)	0,23
Pérdidas totales (m)	0,30

Cuadro 5.14: Cálculo de las pérdidas por accesorios en la tubería hacia el tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)

Cálculo de las pérdidas por accesorios en la tubería de descarga			
n	acesorio bridado 75mm (3 pulg)	K	$n \cdot K$
7	Codos 90	0,33	2,31
2	Válvula de compuerta abierta	0,22	0,44
1	Unión (de módulo)	0,04	0,04
1	Reducción de 100mm (4 pulg) a 75mm (3 pulg)	0,22	0,22
Total			3,01
$h_{f_{acc}}$			0,07

Finalmente, al proponer la ecuación de energía se han seleccionado como punto inicial, el punto de descarga de fluido del módulo y el punto final sería la línea de líquido del nivel del tanque de distribución. Esto se puede observar en la **Figura 5.25**. En este punto todos los parámetros son iguales al caso anterior de las tuberías que descargan en el tanque de abastecimiento a la red de la ASADA, con excepción de las pérdidas de presión recientemente calculadas.

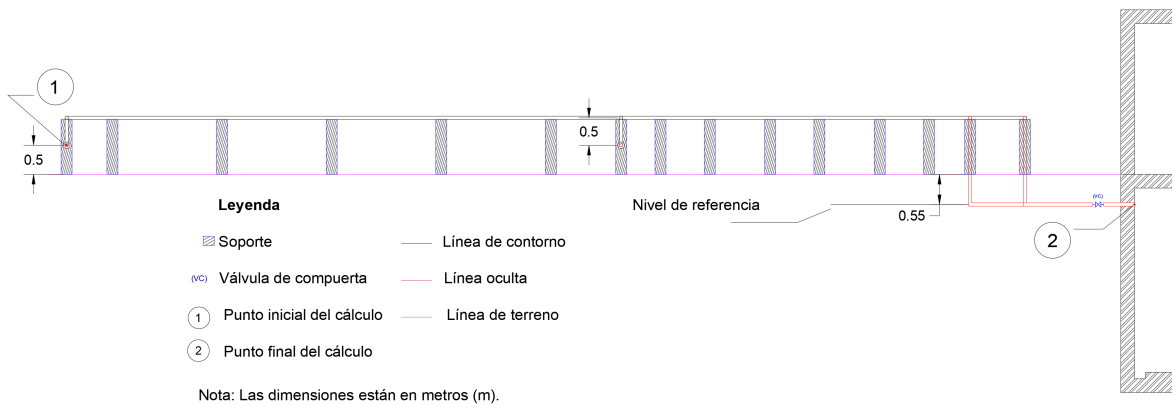


Figura 5.25: Diagrama representativo para proponer la ecuación de energía para el caso de la tubería que trasiega agua al invernadero (Elaboración propia, 2018)

De esta forma, al despejar la ecuación de energía se conoce que la presión que tiene el fluido al llegar al tanque es de 76,4 kPa (11,07 psig). De esta forma se comprueba que el cálculo realizado es correcto ya que es una presión mayor a cero y por lo tanto mayor a la atmosférica por tratarse de presiones manométricas.

5.3.5. Cálculos de espaciamento entre soportes

En cuanto a los cálculos ¹ de espaciamento entre soportes se sigue el mismo método utilizado en la Sección 5.2.7. Vale destacar que para los tres casos de tuberías que van desde los módulos hacia los diferentes tanques, el cálculo es muy parecido, solo cambia por el peso lineal de la tubería de descarga. Esto debido a la densidad de los fluidos. Al final, al redondear el valor final del espaciamento, para todos los casos se tiene el mismo resultado. Por ello, para no ser redundante, se explicará solo el caso de la salmuera, el cual es el más crítico por ser el que tiene la mayor densidad. Así, al revisar la tabla del fabricante WL Plastic (ver Anexo E.2), el peso lineal de la tubería es de 2,040 lb/pie. Para poder sustituir el valor en la ecuación, se debe convertir para que sus unidades sea lb/in, siendo así de 0,170 lb/pulgada.

Debido a que el procedimiento es el mismo que en la Sección 5.2.7, a continuación, en el **Cuadro 5.15** se muestran las constantes necesarias que se deben ingresar en la ec. 5.4, ec. 5.5, ec. 5.6, ec. 5.7, ec. 5.8, ec. 5.9 y la ec. 5.10 y los resultados que estas entregan. En este caso, el resultado final que se llega a conocer es que el espaciamento entre soportes debe ser de 103,48 pulgadas o su equivalente en el Sistema Internacional que serían 2,6 m. Tomando este valor o cualquier espaciamento, se conoce que la tubería estará debidamente soportada y visualmente apreciable. Por comodidad de instalación se ha tomado como mayor valor de espaciamento 2 m.

¹ Este método requiere que los datos que se introduzcan en sus fórmulas tengan unidades del sistema imperial, de lo contrario no da resultados verídicos. Por esta razón se omitirá el uso del Sistema Internacional de Unidades (SI) durante la explicación de la sección en cuestión. Aún así el resultado final del cálculo se convierte a unidades del SI y de ahí en adelante se sigue trabajando con dicho valor.

Cuadro 5.15: Espaciamiento entre soportes para tubería del módulo al tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)

Cálculos de soportería		
Detalle del cálculo	Valor	
Peso lineal de la tubería de descarga (lb/pie)	2,04	
Peso lineal de la tubería de descarga (lb/pulgada)	0,170	
Peso lineal del fluido (lb/pulgada)	0,173	
Peso lineal total (lb/pulgada)	0,343	
Esfuerzo máximo permisible (<i>lb/pulgada</i> ²)	1750	
Momento de inercia de la sección (<i>pulgada</i> ⁴)	5,63	
Módulo de la sección (<i>pulgada</i> ³)	3,22	
Cálculo del espaciamento (<i>pulgada</i>)	362,2	
Cálculo del espaciamento (m)	9,20	
Módulo de elasticidad (<i>lb/pulgada</i> ²)	176000	
Cálculo de la deflexión (<i>pulgada</i>)	77,64	
Cálculo de la deflexión (m)	1,97	
Pendiente	42,87	
Recálculo por pendiente	Cálculo del espaciamento (<i>pulgada</i>)	103,48
	Cálculo del espaciamento (m)	2,6
	Cálculo de la deflexión (<i>pulgada</i>)	0,52
	Cálculo de la deflexión (m)	0,01
	Pendiente	1,00

Se debe indicar que la ubicación de los soportes se puede ver en las **Figuras 5.26, 5.27 y 5.28**. Vale destacar que se ha considerado que, al haber accesorios tales como válvulas, codos, entre otros, los soportes deben estar cerca de ellos. Esto ya que dichos elementos entregan un peso extra que debe ser soportado. Lo mínimo que se ha dejado en estos casos han sido 0,3 m. De esta forma se tiene un balance entre un espacio suficiente para poder hacer reparaciones y que los soportes no están tan lejos de dichos accesorios.

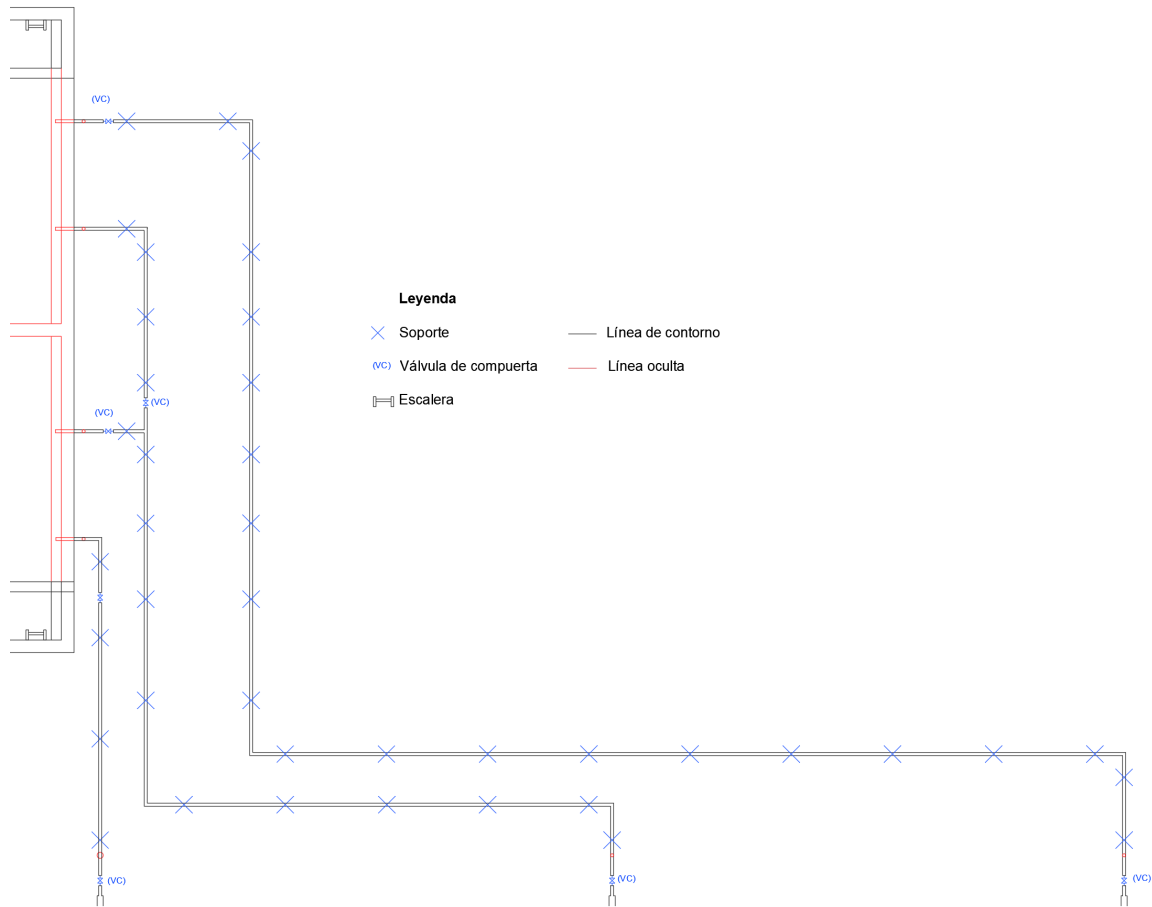


Figura 5.26: Colocación de soportes en las tuberías que conectan los módulos con el tanque de agua para la red de la ASADA (Elaboración propia, 2018)

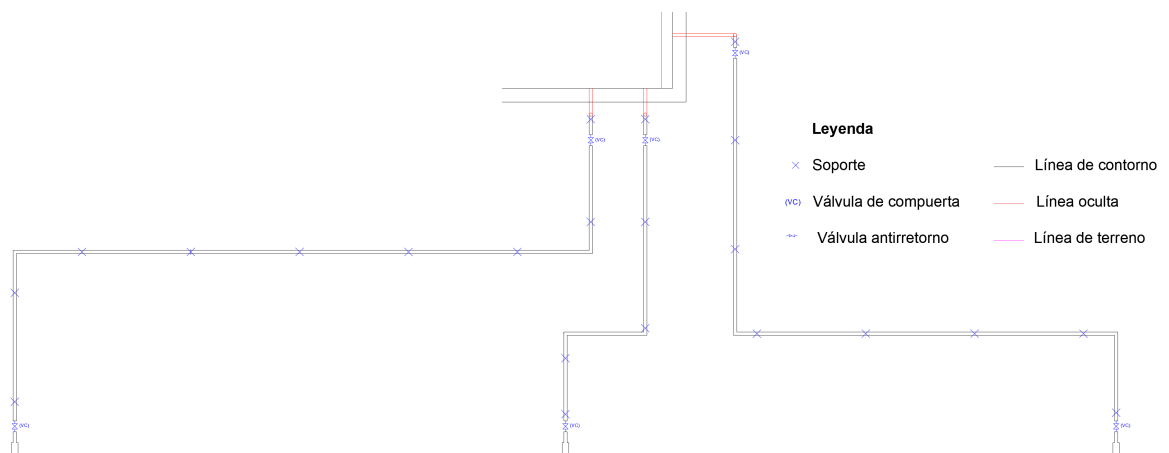


Figura 5.27: Colocación de soportes en las tuberías que conectan los módulos con el tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)

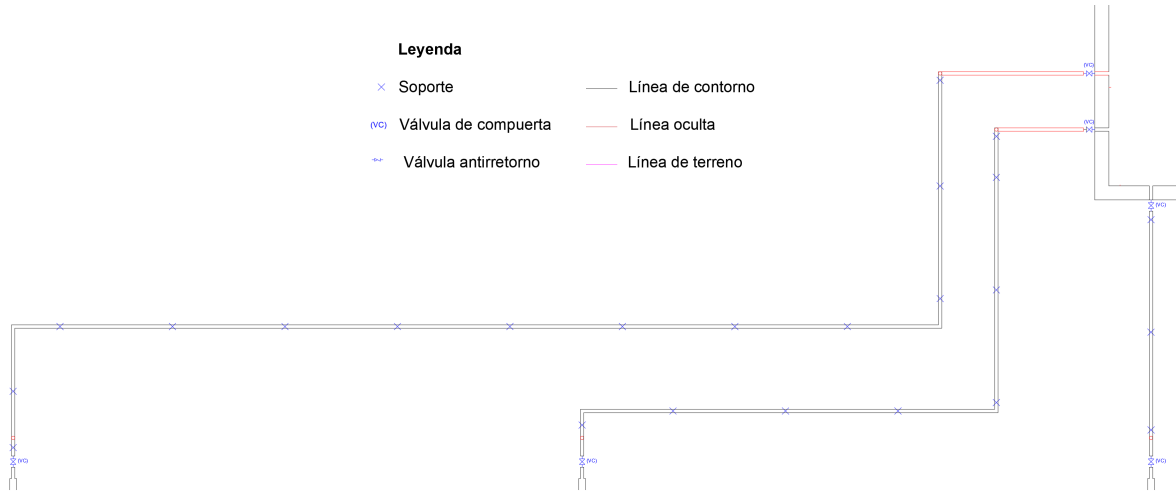


Figura 5.28: Colocación de soportes en las tuberías que conectan los módulos con el tanque de agua para el invernadero (Elaboración propia, 2018)

5.4. Diseño del tanque y sistema de bombeo de agua potable

Durante esta sección se propone describir el proceso de diseño para el tanque de agua potable del complejo. Se busca dar detalle de la razón de su configuración así como los equipos empleados.

5.4.1. Tanque de almacenamiento

Primeramente se procede a realizar el cálculo del volumen útil requerido por parte del tanque a instalar. De acuerdo con el documento *Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial* (AyA, 2017), los proyectos de abastecimiento de agua, como lo es el de este estudio, deben contar con una capacidad de producto de reserva suficiente para atender una serie de circunstancias. La primera de ellas consiste en un volumen de reserva para poder cubrir interrupciones de la producción. La segunda procura poder dar abasto a variaciones horarias que se tengan respecto al consumo promedio diario.

Respecto al primer caso, el documento decreta que se deberá tener siempre disponibilidad de un volumen de agua para cubrir hasta 4 horas del caudal promedio diario utilizado en el diseño. De esta manera, se calcula por ejemplo el volumen necesario para el primer año de producción con una tasa diaria de $613,5 \text{ m}^3/\text{d}$ de la siguiente manera:

$$V_{\text{interrupciones}} = 613,5 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot \frac{4 \text{ h} \cdot \text{d}}{24 \text{ h}} = 102,3 \text{ m}^3 \quad (5.12)$$

Por otra parte, el volumen para regulación del consumo por variaciones horarias debe de establecerse según curvas existentes de consumo reales. El detalle es que estos datos no son monitoreados por la ASADA y por lo tanto no se tienen disponibles. Ante ello, el decreto establece que se permite el uso de un volumen que abarque el 14 % del volumen promedio diario, es decir, $613,5 \text{ m}^3/\text{día}$ para el primer año de operación por ejemplo. Su volumen equivalente en el mismo periodo está dado por la siguiente ecuación:

$$V_{\text{regulación}} = 613,5 \frac{m^3}{d} \cdot 0,14 = 85,9 m^3 \quad (5.13)$$

Si la misma operación se repite año con año se tiene como resultado un volumen acumulado en aumento conforme el proyecto crezca en capacidad. El **Cuadro 5.16** muestra el volumen requerido en tanques de reserva necesario año con año bajo estos parámetros legislativos. Para la finalización del proyecto, se necesitará operar con un tanque de alrededor de $432 m^3$, siendo el valor tomado para el diseño.

Cuadro 5.16: Volúmenes de reserva requeridos año con año (Elaboración propia, 2018)

Año	Caudal promedio diario (m^3/d)	Volumen de regulación de consumo (m^3)	Volumen de reserva por interrupciones (m^3)	Total de volumen (m^3)
2020	613,5	85,9	102,2	188,1
2021	616,7	86,3	102,8	189,1
2022	638,3	89,4	106,4	195,7
2023	660,6	92,5	110,1	202,6
2024	683,7	95,7	114,0	209,7
2025	707,7	99,1	117,9	217,0
2026	732,4	102,5	122,1	224,6
2027	758,1	106,1	126,3	232,5
2028	784,6	109,8	130,8	240,6
2029	812,1	113,7	135,3	249,0
2030	840,5	117,7	140,1	257,8
2031	869,9	121,8	145,0	266,8
2032	900,4	126,1	150,1	276,1
2033	931,9	130,5	155,3	285,8
2034	964,5	135,0	160,7	295,8
2035	998,3	139,8	166,4	306,1
2036	1 033,2	144,6	172,2	316,8
2037	1 069,4	149,7	178,2	327,9
2038	1 106,8	154,9	184,5	339,4
2039	1 145,5	160,4	190,9	351,3
2040	1 185,6	166,0	197,6	363,6
2041	1 227,1	171,8	204,5	376,3
2042	1 270,1	177,8	211,7	389,5
2043	1 314,5	184,0	219,1	403,1
2044	1 360,5	190,5	226,8	417,2
2045	1 408,1	197,1	234,7	431,8

A partir del volumen útil requerido se procede a dimensionar según los requerimientos del sistema de bombeo, temas de mantenimientos y accesos al tanque. En la **Figura 5.29** se puede apreciar una distancia de 0,43 m del fondo del tanque a la toma de la tubería. De igual manera se posee una distancia de 0,76 m desde la toma de la tubería hasta el menor nivel de agua en el tanque. Los espacios mencionados anteriormente se definen para evitar la

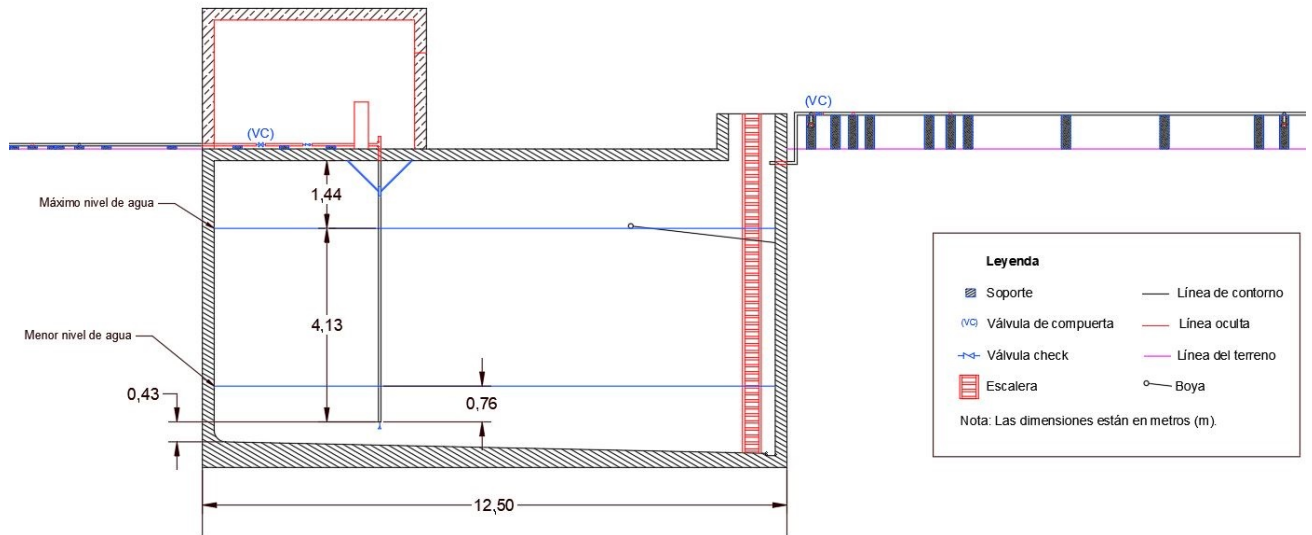


Figura 5.29: Vista lateral del tanque de agua potable (Elaboración propia, 2018).

entrada de contaminantes o burbujas de aire al impulsor de la bomba. Eventualidades como estas generarían daños en el álabe por impacto de sólidos o por cavitación respectivamente. Al tomar estos aspectos en cuenta, se requiere una estructura de mayor tamaño para poder proporcionar el volumen calculado anteriormente.

Al tratarse de un recurso básico e importante para la comunidad, como lo es el agua potable, el mantener un servicio constante y de calidad es un aspecto de peso en el diseño del sistema. Es por esto que se decidió mantener la misma idea que se indicó para el tanque de almacenamiento de agua marina, dividiendo el tanque en secciones. En esta versión, se divide en dos compartimientos. Esta configuración permite realizar el lavado o reparación de cada compartimiento por aparte, permitiendo disminuir la producción a un 66 % en lugar de un paro completo durante mantenimientos o posibles fallas. En la misma **Figura 5.29** y en la **Figura 5.30** se puede ver el tanque enterrado que cuenta con dimensiones de 12,5 m x 12,8 m con una profundidad de 6,8 m. La división simétrica del tanque se realiza por medio de una pared de concreto de 0,25 m de espesor en el largo de la estructura.

Dentro de la parte constructiva del tanque, se deben tomar en cuenta las observaciones realizadas para el tanque de agua marina en la sección 5.1. El fondo del tanque cuenta con una pendiente del 2 % cuyo propósito es lograr una dirección definida del flujo de agua en ciclos de vaciado y lavado en mantenimientos. Adicionalmente, la pendiente facilita el deshecho de suciedades y químicos empleados durante las limpiezas. El tanque cuenta con una boya, la cual se utiliza para tener una noción del nivel en el tanque. La ubicación de la boya se define igual que en el diseño de los tanques anteriores, el cual es por visibilidades y accesibilidad. Al igual que los otros casos, el diseño se basa en recomendaciones dadas por el manual técnico del CFIA (2017).

La distribución del espacio en las casas de máquinas toma en cuenta la comodidad para realizar labores de mantenimiento. El espacio entre las paredes paralelas a la tubería y esta misma es de aproximadamente 1 m, al igual que la distancia entre la pared y la válvula más cercana. Es importante resaltar la instalación de la tubería de succión de las bombas, ya que requiere de una estructura de soporte. Debido a que no se cuenta con una pared o base para

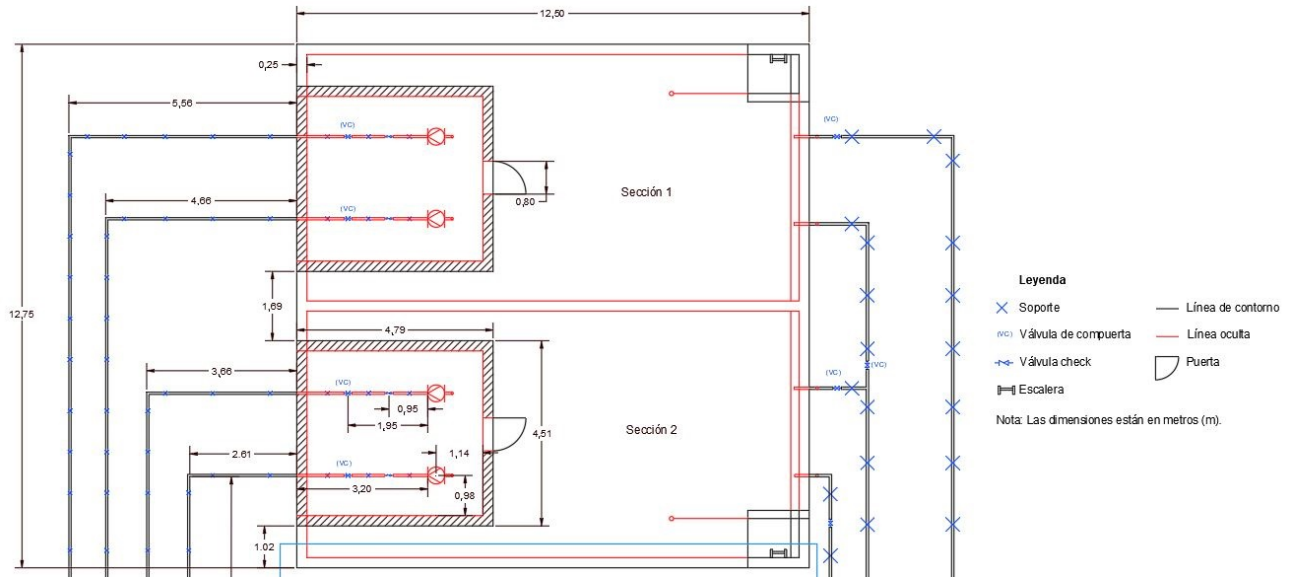


Figura 5.30: Vista superior del tanque de agua potable (Elaboración propia, 2018).

anclar la tubería, se propone un elemento de sujeción anclado en el intermedio del tanque y la casa de máquinas.

5.4.2. Sistema de bombeo y tuberías

El arreglo de bombas para este tanque contempla dos unidades por compartimiento. El análisis de carga hidráulica se procede a realizar únicamente para la bomba más alejada de la tubería de suministro de la ASADA. La decisión se debe a que este equipo es el caso crítico, por lo que se puede asegurar que los resultados obtenidos son utilizables en los otros 3 casos. Las distancias determinadas para la tubería de agua potable se pueden apreciar en la **Figura 5.31**. Mientras que las constantes importantes para el diseño se pueden apreciar en el **Cuadro 5.17**.

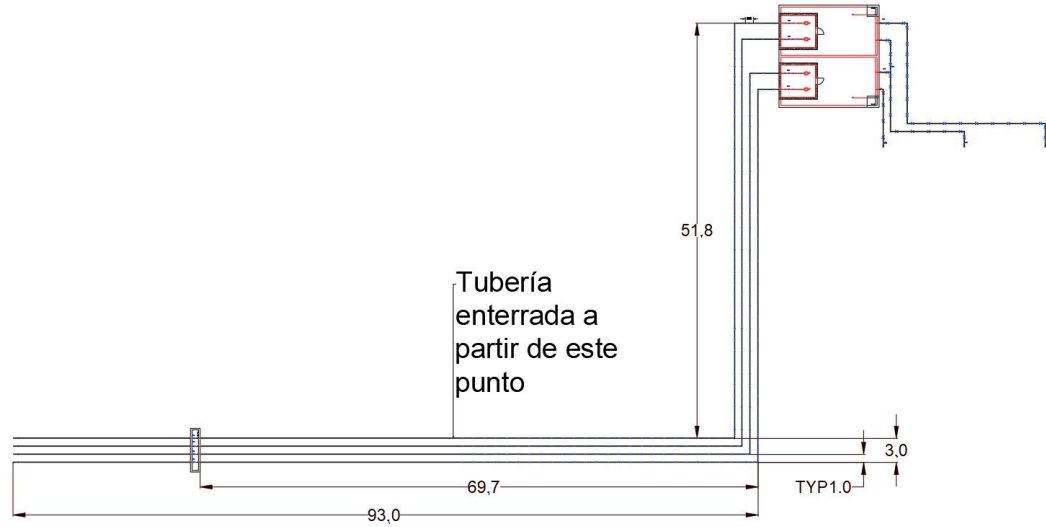


Figura 5.31: Vista superior de la red de tuberías del tanque de agua potable (Elaboración propia, 2018).

Cuadro 5.17: Constantes iniciales para cálculos de bombeo y tuberías (Elaboración propia, 2018).

Constante	Valor
Caudal (m^3/d)	423,13
Caudal (gal/min)	77,62
Caudal (m^3/s)	0,0049
Viscosidad cinemática (m^2/s)	$1,007 \times 10^{-6}$
Rugosidad polietileno (m)	$1,5 \times 10^{-6}$
Densidad del agua dulce ρ_{agua} (kg/m^3)	1 000
Densidad del agua dulce ρ_{agua} (lb/in^3)	0,036
Presión atmosférica (Pa)	101 325
Presión de entrada a la tubería de la ASADA (psig)	77
Presión de entrada a la tubería de la ASADA (Pa)	530 896,52
Aceleración de la gravedad ($\frac{m}{s^2}$)	9,81

El diámetro resultante se obtuvo de los cálculos realizados siguiendo el procedimiento que se mencionó en la sección 5.2.4. Se verifica el cumplimiento de los ámbitos de velocidades

estipulados por el AyA ya mencionados, obteniendo un diámetro de 50 mm (2 pulgadas), operando a 2,2 m/s. De la tabla del fabricante WL Plastic (ver Anexo E.2), con el tamaño IPS de mencionado anteriormente, con un diámetro interno de 52,81 mm (2,079 pulgadas) y un DR de 17.

El cálculo de Reynolds utilizando la ec. 4.23 a partir de estas dimensiones resulta en $1,17 \times 10^5$ con el método visto en la sección 5.2.5. Con este valor se confirma que es viable utilizar el cálculo del factor de fricción por el método de Churchill. El valor resultante es de 0,018. Como el cálculo se realiza para un caso nada más, las dimensiones para el cálculo de pérdidas de tubería recta corresponden a la denominada tubería crítica en la **Figura 5.31**. El cálculo de las pérdidas por la ec. 4.21 de Darcy Weisbach es de 0,53 m para la tubería de succión, y de 13,26 m para la tubería de descarga. En cuanto a las pérdidas por accesorios por el método coeficiente de fricción K, los valores utilizados para los coeficiente se obtuvieron del manual del CFIA (2017). Los accesorios utilizados y las pérdidas generadas por los mismos se puede observar en el **Cuadro 5.18** y el **Cuadro 5.19**.

Cuadro 5.18: Pérdidas por accesorios en la tubería de succión de agua potable (Elaboración propia, 2018).

Cálculo de las pérdidas por accesorios en la tubería de succión			
n	Accesorio bridado 50mm (2 pulg)	K	$n \cdot K$
1	Válvula de pie colador	1,95	1,95
1	Unión en T bridada (FT)	0,73	0,73
1	Unión (a la bomba)	0,05	0,05
Total			2,73
$h_{f_{acc}}$			0,7

Cuadro 5.19: Cálculo de las pérdidas por accesorios en la tubería de descarga de agua potable (Elaboración propia, 2018).

Cálculo de las pérdidas por accesorios en la tubería de descarga			
n	Accesorio bridado 50mm (2 pulg)	K	$n \cdot K$
1	Unión (de bomba a tubería)	0,05	0,05
2	Válvula antirretorno bridada	2,00	4,00
2	Válvula compuerta bridada	0,34	0,68
2	Codo bridado 45°	0,2	0,4
2	Codo bridado 90°	0,3	0,6
1	Unión en T bridada (FT)	1,72	1,72
Total			7,45
$h_{f_{acc}}$			1,90

Por medio de los valores mostrados anteriormente y los resultados de los cuadros de pérdidas por accesorios se obtienen las pérdidas totales. Estas corresponden a 1,23 m para la tubería de succión, y 15,15 m para la tubería de descarga.

El cálculo del $NPSH_a$ se realizó por medio de los métodos ya mencionados en la sección 5.2.6 con la ec. 5.1, teniendo como resultado 7,05 m de columna de líquido para esta configu-

ración (referencia dimensional del cálculo con la **Figura 5.29**). Adicionalmente, el cálculo del TDH, partiendo de los puntos de análisis mostrados en la **Figura 5.32** se obtiene la ec. 5.14.

$$TDH = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + (H_2 - H_1) + H_f \quad (5.14)$$

- $P_1 = 0$ (presión atmosférica).
- $v_1 = 0$, por velocidad despreciable del punto de la superficie del tanque.
- $H_1 = d_1 + (d_2 - d_4)$, correspondiente a 0,09m.
- $P_2 = 530$ kPa (77 psi), presión de entrada a la red de la ASADA.
- $H_2 = d_3$, correspondiente a 1,1m.
- $v_2 = 2,2$ m/s correspondiente a la velocidad de inyección a la tubería de la ASADA.
- $H_f =$ las pérdidas totales de presión recientemente calculadas.

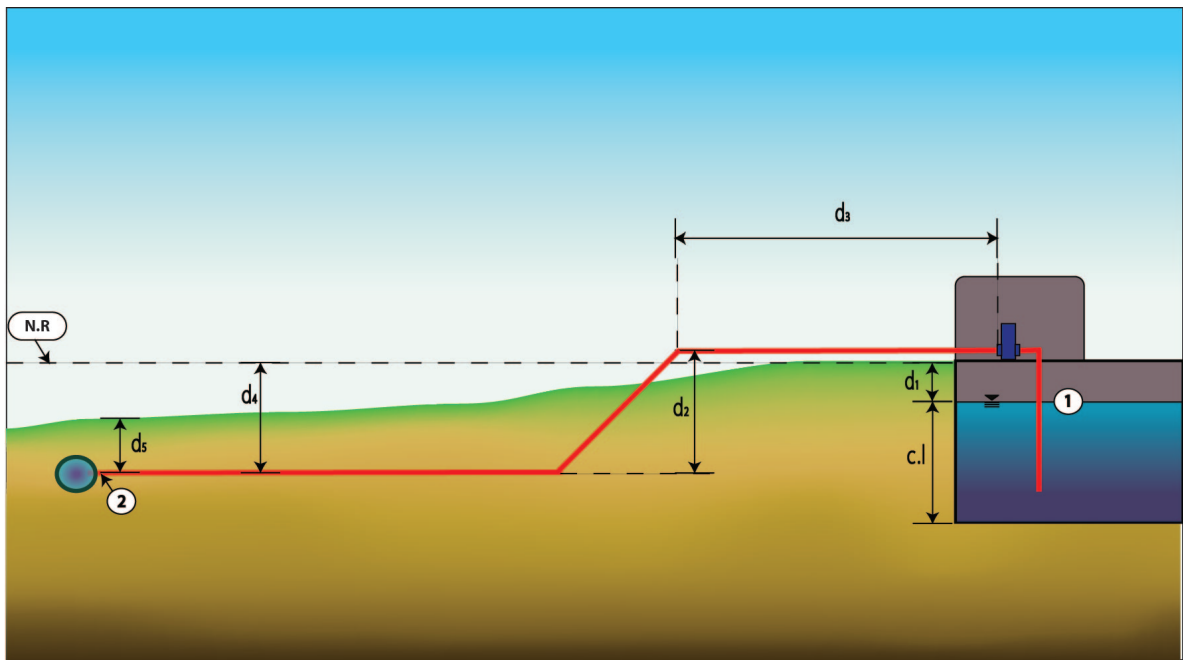


Figura 5.32: Puntos de análisis para el TDH en el sistema de bombeo de la ASADA (Elaboración propia, 2018).

El cálculo determina una presión requerida de 71,32 m de columna de líquido (101,48 psig) para movilizar un caudal ya mencionado de $423,13 \text{ m}^3/\text{d}$. Cabe destacar que la presión para entregar el fluido en el punto de conexión debe ser de mayor magnitud que la presión en la tubería principal de la ASADA. Para esto se le consulta al personal técnico de la ASADA de Playa Potrero su valor. Se indica que la presión a la que se trasiega el flujo en esta tubería es de 482,63 kPa (70 psig) aproximadamente. El detalle de los valores de los puntos de análisis para el cálculo del TDH se detallan a continuación:

Ante estos parámetros requeridos, el proveedor Zebol S.A ofrece como opción a utilizar una bomba Goulds, estilo vertical, modelo 15SV (ver cotización en Anexo G.3). La corroboración de la selección se realiza a partir del manual del fabricante, con las curvas de operación de los equipos. En el Anexo E.7 se puede encontrar el gráfico de operación de la bomba y observar el punto de operación. Si bien es cierto, el punto de operación está por encima de la curva, Zebol S.A (Comunicación personal, 15 de febrero del 2018) indicó que las bombas pueden trabajar hasta un 15% más sobre la curva de operación. Es importante destacar que el tipo de bomba vertical fue definida por el vendedor como la que mejor se ajusta al punto de operación. Lo anterior se puede respaldar por el hecho de que opera en el punto de máxima eficiencia de la curva, apreciable en (ver Anexo E.7) y mencionado en el **Cuadro 5.22**. El resumen del punto de operación de la bomba se puede ver en el **Cuadro 5.20**.

Cuadro 5.20: Valores finales de la operación de la bomba de agua potable (Elaboración propia, 2018)

Detalle	Valor
TDH (m)	71,32
Presión (kPa)	699,7
$NPSH_a$ (m)	10,33

La configuración del sistema de bombeo se puede apreciar en la **Figura 5.33**. Durante las etapas de implementación del proyecto, se pretende siempre tener una bomba más de la requerida a nivel operacional. Lo mencionado anteriormente se debe a que se desea tener un equipo de respaldo presente siempre para evitar paros operacionales totales. Inicialmente, en la primera etapa del proyecto, se tendría una bomba en la “sección 1”, y la otra en la “sección 2”. Esta configuración permite tener disponible ambos tanques, cuyos mantenimientos no interrumpirán la operación. Se debe denotar que la operación de las bombas se realizaría de manera alternada para propiciar un desgaste homogéneo en ambas.

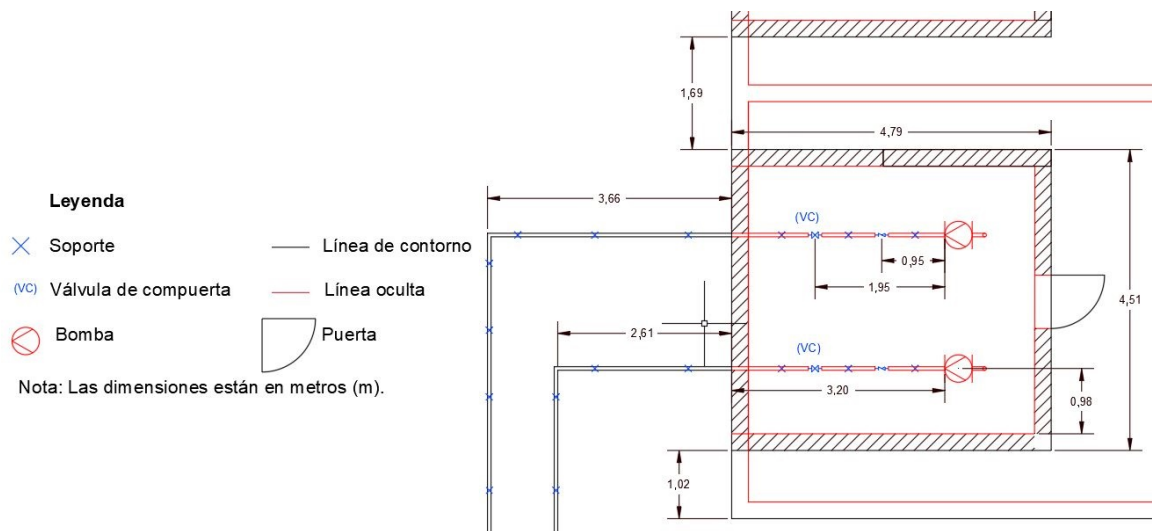


Figura 5.33: Vista de planta del tanque de agua potable (Elaboración propia, 2018).

En cuanto a las tuberías de trasiego de agua potable, se evaluó la opción de redirigir

todo el bombeo a una tubería de mayor diámetro. Posteriormente, se pretendía alimentar a la tubería principal de la red de la ASADA. Después de analizarse, se determinó que es preferible mantener líneas independientes para cada bomba. Con este diseño se logra que el servicio de la planta se mantenga aún si una de las cuatro tuberías se daña, puesto que entraría a operar la bomba de respaldo. El impacto en la producción se empezaría a generar únicamente si se tienen dos tuberías dañadas, volviendo menos probable el impacto a producción.

El despliegue de estas tuberías inicia de manera superficial y posteriormente se entierran. Lo mencionado anteriormente se aprecia en la **Figura 5.31**, en la sección de tuberías que no posee apoyos. Esto se realiza para acoplarse a la tubería principal de la ASADA, la cual se encuentra a 0,80 m bajo tierra. De manera adicional, se incluyó en el diseño una cámara de acceso a un arreglo de válvulas que se encuentran en cada línea de tubería. El propósito de las mismas es dividir los tramos de tubería para facilitar el cambio de ellas en caso de falla o por alguna eventualidad dentro o fuera de la planta que requiera aislar el sistema.

Cabe destacar que el cálculo de la distancia entre soportes de la tubería se realizó de igual manera que en la sección 5.2.7 con los datos mostrados en el **Cuadro 5.21**. Se tuvo como resultado después de las correcciones 1,4 m de distancia entre cada soporte. En la instalación de los mismos se ubicaron a 1 m de distancia entre cada uno, tal y como muestra la **Figura 5.34**.

Cuadro 5.21: Soportes para tubería entre módulos de desalinización y la red de la ASADA (Elaboración propia, 2018)

Cálculos de soportería														
		Valor												
Peso lineal de la tubería de descarga (lb/pie)		1,374												
Peso lineal de la tubería de descarga (lb/pulgada)		0,115												
Peso lineal del fluido (lb/pulgada)		0,122												
Peso lineal total (lb/pulgada)		0,237												
Esfuerzo máximo permisible ($lb/pulgada^2$)		1000												
Momento de inercia de la sección ($pulgada^4$)		0,64												
Módulo de la sección ($pulgada^3$)		0,54												
Cálculo del espaciamiento ($pulgada$)		123,6												
Cálculo del espaciamiento (m)		3,14												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 70%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">176000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Módulo de elasticidad ($lb/pulgada^2$)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cálculo de la deflexión ($pulgada$)</td> <td></td> <td style="text-align: center;">6,35</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Cálculo de la deflexión (m)</td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,16</td> </tr> </tbody> </table>					176000	Módulo de elasticidad ($lb/pulgada^2$)			Cálculo de la deflexión ($pulgada$)		6,35	Cálculo de la deflexión (m)		0,16
		176000												
Módulo de elasticidad ($lb/pulgada^2$)														
Cálculo de la deflexión ($pulgada$)		6,35												
Cálculo de la deflexión (m)		0,16												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 70%;"></td> <td style="width: 20%;"></td> <td style="width: 10%; text-align: center;">10,27</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Pendiente</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					10,27	Pendiente								
		10,27												
Pendiente														
Recálculo por pendiente	Cálculo del espaciamiento ($pulgada$)	56,87												
	Cálculo del espaciamiento (m)	1,4												
	Cálculo de la deflexión ($pulgada$)	0,28												
	Cálculo de la deflexión (m)	0,01												
	Pendiente	1,00												

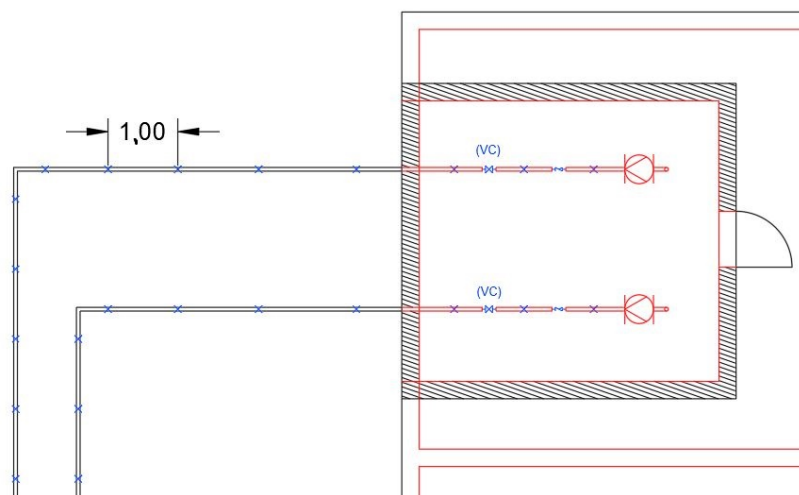


Figura 5.34: Soportería en la tubería de agua potable (Elaboración propia, 2018).

5.4.3. Detalle de la bomba seleccionada

La bomba mencionada anteriormente cuenta con sello mecánico que permite que no se tengan tantas fugas del fluido en comparación con tipo empaquetadura. Ya que con lo que se trata aquí es el producto final, dígame el agua potable, este aspecto es relevante ya que el perder parte del fluido debe ser evitado en lo posible. El sello mecánico es de carbón en contraste con carburo de silicio y elastómeros en viton. En cuanto a los materiales que componen a la bomba no requieren ser tan especializados ya que se trata de agua potable, la cual es un fluido menos agresivo que el agua marina o la salmuera. Las partes que están en contacto con el fluido como lo es la cámara del rodete y el rodete son de acero inoxidable AISI 316L. Mientras tanto que otras partes como la carcasa exterior son de hierro forjado (ver Anexo E.7). El motor de la bomba posee una potencia de 5,59 kW (7,5 HP), de tipo monofásico y operando en un ámbito de diferencia de potencial de 115 V a 230 V y con una frecuencia de 60 Hz. De modo resumen, se presenta a continuación la información más importante de la bomba seleccionada:

- Marca Goulds serie eSV
- Modelo 15SV
- 4 etapas
- Diámetro de entrada 50mm (2 pulgadas)
- Diámetro de descarga 50mm (2 pulgadas)
- Se opera con caudal de máxima eficiencia
- Eficiencia de 70 %
- Potencia de 5,59 kW (7,5 HP)
- $NPSH_r$ de 1,99 metros de columna de líquido

Cuadro 5.22: Valores finales de la operación de la bomba de agua potable (Elaboración propia, 2018)

Detalle	Valor
Eficiencia (%)	70
Cantidad de etapas	4
$NPSH_r$ (m)	1,99

5.5. Diseño del tanque y sistema de bombeo de salmuera

Esta sección expone las particularidades, cálculos y selección de componentes relacionados al sistema de extracción de la salmuera hacia el mar. Esto incluye su tanque de almacenamiento, su sistema de bombeo y diseño de su tubería.

5.5.1. Tanque de salmuera

Este tanque cumple dos funciones principales: retener la salmuera para su posterior descarga mar adentro y servir como compartimiento vacío para el posible almacenamiento de salmuera en caso de tener una falla en los sistemas de extracción. Cuando la descarga del vertido o salmuera se realiza a través de sistemas de bombeo, el mismo debe tener la capacidad de retener 15 min de producción, en caso de alguna avería en el sistema (*Especificación técnica para desalinización y potabilización de agua marina nacional* del AyA, 2016).

Este tiempo, para una producción máxima de salmuera (proyecto operando a capacidad plena) equivaldría a un volumen de $7,81 m^3$ de salmuera de acuerdo con la ec. 5.15. Este valor toma en cuenta que se tenga un rechazo del 55 % del agua introducida a cada módulo.

$$V_T = 3 \cdot 1072,67 m^3/d \cdot 55\% \cdot \frac{1d}{1440min} \cdot 15min = 18,44 m^3 \quad (5.15)$$

Al igual que los demás tanques, este será enterrado. Como su bombeo se da hacia el mar, que está a una menor altura vertical que el tanque, se decide que las bombas estarán en el fondo del mismo para aprovechar la profundidad ya generada por el mismo. El detalle de las mismas se muestra en la siguiente sección. Además de ello, con el fin de contar con una columna de líquido para operar las bombas, se decide que el tanque tendrá el doble de profundidad necesaria para almacenar el volumen requerido (AyA, 2016).

Así, se tiene un volumen total de $36,87 m^3$, el doble del resultante de la ec. 5.15. Se elige una profundidad útil de 3 m con lo que se obtiene un área superior en forma de cuadrado con aristas de 3,5 m. El diseño final se muestra en la **Figura 5.35** junto con otros detalles.

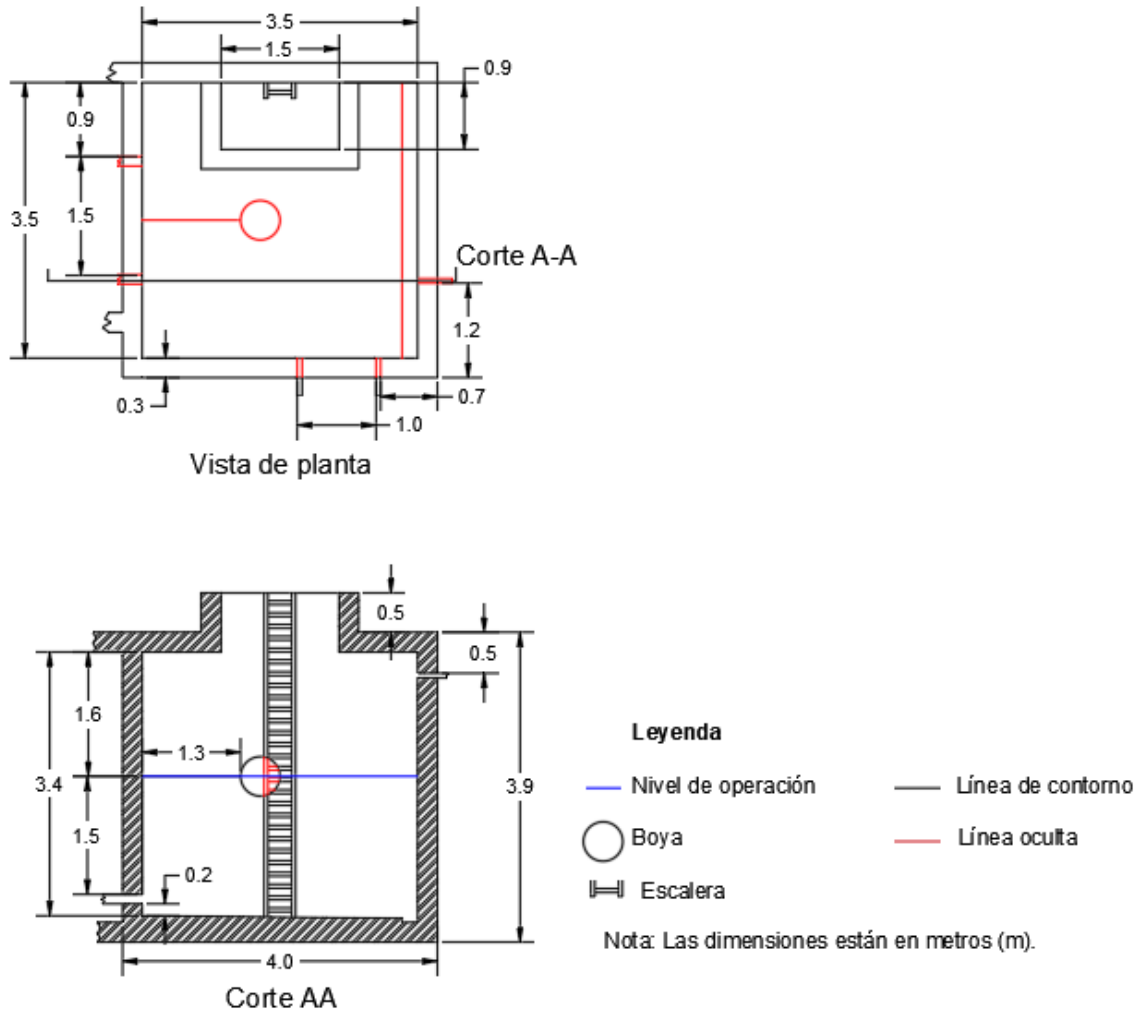


Figura 5.35: Detalle esquemático y dimensional del tanque de salmuera (Elaboración propia, 2018)

Como puede observarse se tiene al final un tanque de perfil cuadrado con aristas de 3,5 m. La profundidad total de líquido de 3,4 m involucran un nivel de 1,5 m de salmuera que siempre se encontrará arriba de la toma de descarga para servir como columna de líquido a la bomba. Se tiene un restante 1,6 m que sirven para suplir el espacio vacío de posible almacenamiento requerido por reglamento.

La tubería de descarga se encuentra a 0,20 m del fondo del tanque y se cuentan con otros 0,20 m de espacio vertical entre el máximo nivel del tanque y su pared superior, dimensión para la cual se recomienda 0,15 m como mínimo (CFIA, 2017). Estas terminan conformando la distancia vertical de 3,4 m. En cuanto a su fondo, se cuenta con una pendiente de 2% y un compartimiento final para recolección de depósitos, también estipulados en tamaño por el CFIA (2017) con dimensiones similares a otros tanques ya especificados.

Tal y como se indicó anteriormente, las tubería de entrada al tanque se instalan a una profundidad de 0,5 m. Estas se observan en la esquina inferior izquierda de la vista de planta

de la **Figura 5.35**. Las tuberías de salida del tanque se ubican centradas del lado izquierdo del mismo, con una distancia de 1,5 m entre ellas. Se coloca también una boya con su respectivo brazo de 1,3 m para monitoreo del nivel y una escalera de acceso con dimensiones de entrada de 1,5 m por 0,90 m, similar a otras construcciones bajo tierra ya especificadas. También se mantiene la especificación de grosores de concreto de 0,30 m que se han venido detallando.

La siguiente sección procederá a especificar el diseño de la casa de máquinas y el sistema de bombeo general, adyacentes al tanque de salmuera.

5.5.2. Sistema de bombeo y tuberías

Hay varias consideraciones a tomar en cuenta para este sistema de bombeo. En primer instancia se deberá bombear el fluido mar adentro, aprovechando la columna de líquido del tanque con una bomba en el recinto subterráneo. También se aprovechará la fuerza de la gravedad debido a que el punto final de descarga se encuentra verticalmente más abajo que el punto inicial. A pesar de ello, hay que vencer una presión dada por la columna de agua de mar en la descarga del vertido y las pérdidas correspondientes durante el trasiego. De esta manera, los puntos de análisis para el bombeo en la **Figura 5.36**.

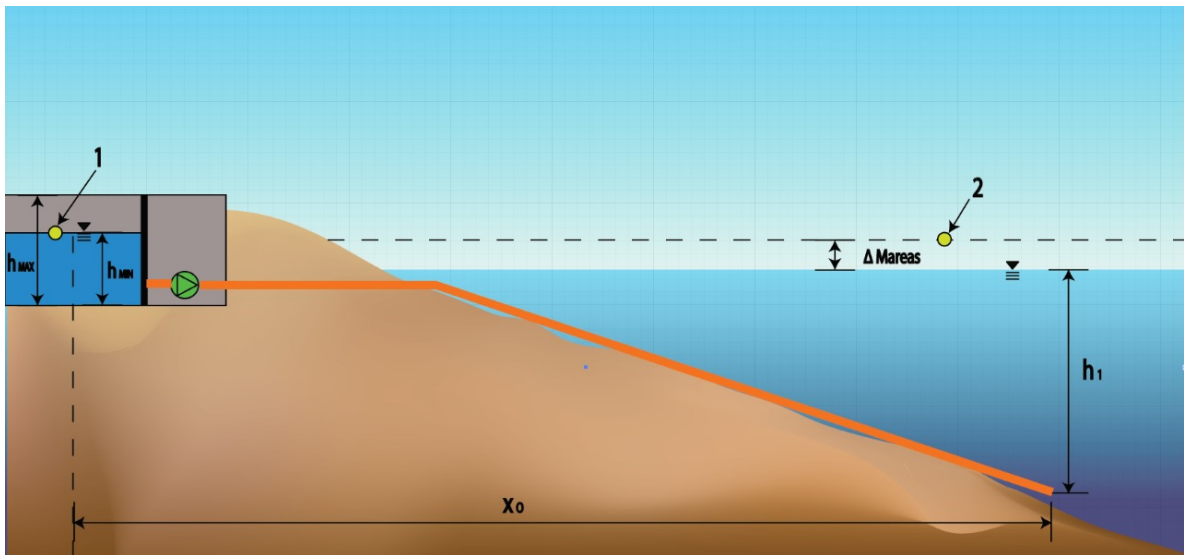


Figura 5.36: Diagrama de análisis de puntos para el sistema de bombeo de salmuera (Elaboración propia, 2018)

Donde cada punto corresponde a lo siguiente:

- h_{max} : altura máxima de la columna de líquido en el tanque, correspondiente a 3 m.
- h_{min} : altura mínima de la columna de líquido en el tanque, correspondiente a 1,5 m.
- h_0 : diferencia entre el cero topográfico y batimétrico detallado en la **Figura 5.2**, de 7,3 m.
- Δmareas : máxima diferencia de altura de mareas en los últimos 50 años, de 2,71 m (Lizano, 2017).

- h_1 : profundidad batimétrica de la descarga, de 18,3 m (Navionics, 2017).
- x_0 : distancia horizontal desde el terreno hasta la descarga, de 1900 m.

El punto para descargar la salmuera, tal y como es el caso de la toma de agua de mar se ubican en los puntos más favorables para este proyecto según la ubicación del proyecto (Lizano, 2017). Este se encuentra seleccionado de tal forma que las corrientes marinas lleven la salmuera en dirección contraria hacia la toma y puede ser observado en la **Figura 4.19**, en la sección 4.6. Al contrario de casos anteriores, esta profundidad toma en cuenta la suma del mayor nivel de mareas de los últimos 50 años, ya que esto representa el caso de mayor esfuerzo para el sistema de bombeo. Como se puede apreciar en la **Figura 5.36**, se tiene una porción enterrada hasta alcanzar una profundidad de 1 m para luego sobresalir por el lecho marino, al igual que la tubería de suministro.

El otro factor a tomar en cuenta es que, de acuerdo con la normativa vigente, el sistema de bombeo de salmuera debe poseer un respaldo completo (AyA, 2016). Es por esto que se diseña con un sistema de bombeo paralelo, que tendrá una sola bomba operando a la vez, con la segunda de respaldo. Un concepto general del diseño se puede apreciar en la **Figura 5.37**.

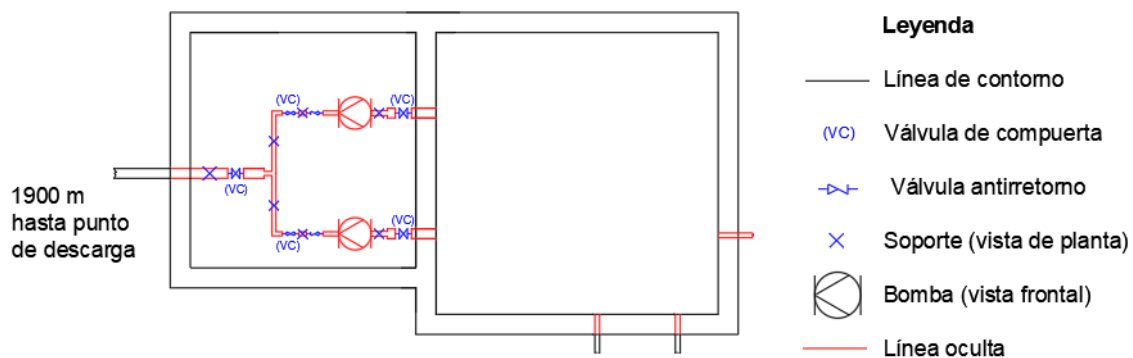


Figura 5.37: Concepto de la colocación del sistema de bombeo junto al tanque de almacenamiento de salmuera (Elaboración propia, 2018)

Este diseño presenta un reto importante a la hora de la selección de componentes. A diferencia de los demás, no se tiene una bomba con su sistema adyacente por cada etapa introducida o módulo operando. Esto se debe principalmente a que la instalación de la tubería de 1900 m hasta el mar se realizará únicamente una vez para todo el proyecto, por motivo de costos. A causa de esto, cada vez que se instale un nuevo módulo a través de las etapas del proyecto, el caudal y las condiciones de operación variarán, como se muestra en el **Cuadro 5.23**.

Cuadro 5.23: Diferentes caudales de salmuera a extraer a lo largo del proyecto (Elaboración propia, 2018)

Etapa del proyecto	Caudal de salmuera a extraer (m^3/d)	Año de cambio
1	578,2	2020
2	1 156,5	2023
3	1 734.7	2033

Se propone abarcar esta problemática instalando un nuevo sistema de bombeo en la casa de máquinas cada vez que se tenga la instalación de una de las nuevas etapas. Esto involucra únicamente el cambio de la bomba y lo próximo a ella, mas no la tubería de 1 900 m que se diseña para todo el proyecto. La **Figura 5.38** muestra los elementos del sistema que cambiarían con cada etapa.

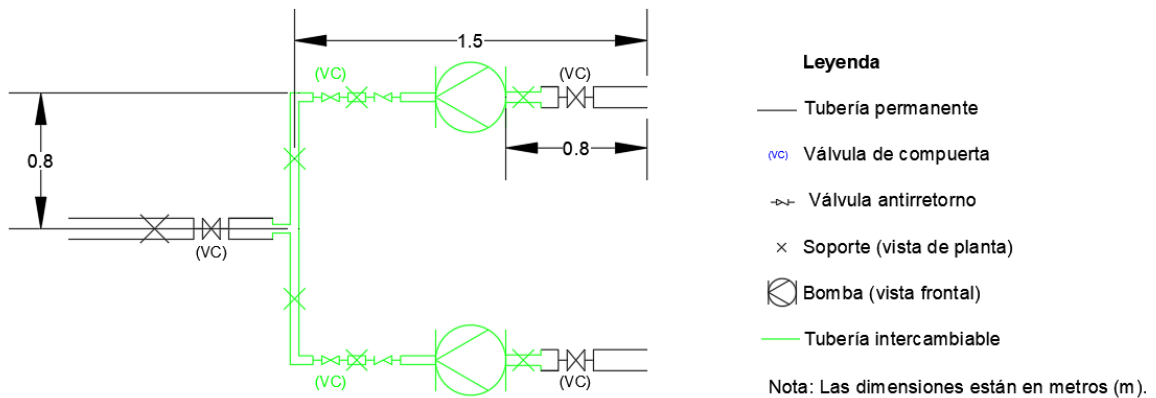


Figura 5.38: Elementos a cambiar en el sistema de bombeo de salmuera con cada introducción de una nueva etapa de producción (Elaboración propia, 2018)

Tal y como se verá más adelante en la sección de cálculo de costos (capítulo 6.4), la introducción de estas bombas en el presupuesto total del proyecto no serán significativas en comparación al costo total. Además, se considera prudente su cambio con cada etapa ya que son aquellas que trasiegan el fluido más corrosivo de todo el proyecto, generando un mayor desgaste (D. Murillo, comunicación personal, 15 de febrero del 2018).

De esta manera, se comienza diseñando el sistema y elección de bomba para la última etapa, ya que esta dictará el tamaño del tubo de salida del tanque y del tubo de 1900 m que llegará hasta la descarga. Este tiene como constantes iniciales de cálculos las presentadas en el **Cuadro 5.24**.

Cuadro 5.24: Constantes iniciales para cálculos de bombeo y tuberías (Elaboración propia, 2018)

Constante	Valor
Caudal (m^3/d)	1 734,7
Caudal (gal/min)	318,2
Caudal (m^3/s)	0,02
Viscosidad cinemática (m^2/s)	$9,37 \times 10^{-7}$
Rugosidad polietileno (m)	$1,5 \times 10^{-6}$
Densidad del agua de mar (kg/m^3)	1 027
Factor de corrección para salmuera en densidades	1,021
Presión atmosférica (Pa)	101 325

Se elige una tubería comercial de HDPE de 127,02 mm (5,001 pulgadas) de diámetro interno (5 pulgdas IPS) para la succión de la bomba y de 102,76 mm (4,046 pulgadas) DR (4 pulgdas IPS) para la descarga del Anexo E.2. Además se elige una tubería de 127,02 mm (5,001 pulgadas) de diámetro interno también para el tramo de 1900 m, el cual quedará permanente durante todo el proyecto. Utilizando la ecuación de caudal 4.25 estas dan como resultado velocidades de 2,4 m/s y 1,6 m/s para las tuberías de 100 mm (4 pulgadas) y 125 mm (5 pulgadas) respectivamente. Esto cumple plenamente con los ámbitos ya estipulados por el AyA (2017) para este tipo de proyectos. Además, de acuerdo con Voutchkov (2013) las velocidades de estas instalaciones deben circundar el valor de 1 m/s para lograr una adecuada dilución del vertido en el mar.

Aplicando las ecuaciones de Reynolds y de factor de fricción 4.23 y 4.22 se obtienen valores del primero de 214 746 y 265 434 para las tuberías de 125 mm (5 pulgadas) y 100 mm (4 pulgadas) respectivamente, y factores de fricción de 0,016 y 0,015 de forma análoga. Con esto es posible calcular las pérdidas de presión por fricción y accesorios en la tubería. Para ello se toman en cuenta también las distancias dentro de la casa de máquinas de la **Figura 5.38**. Utilizando la ecuación de Darcy Weisbach 4.21 estas resultan en 0,01 m para la tubería de succión y 34, m para la tubería de descarga. Nótese que las pérdidas en la descarga involucran el pequeño tramo de tubería de 100 mm (4 pulgadas) y el tramo largo de 125 mm (5 pulgadas).

En cuanto a las pérdidas por accesorios, se encuentran los mostrados en la **Figura 5.38** además de 4 codos en la tubería de 125 mm (5 pulgadas) enterrada que sale de la casa de máquinas, necesarios para llegar a la salida del terreno como se ve en la distribución general de la planta de la **Figura 4.18** en el detalle de la distribución. El **Cuadro 5.25** muestra los datos de los mismos (CFIA, 2017). Es importante notar que los accesorios de 75 mm (3 pulgadas) se deben a uniones propias a los diámetros de la bomba seleccionada, que se especificará más adelante. Los caudales tratados no necesitan de un difusor a la salida del tubo para lograr una difusión adecuada debido a su baja magnitud, por lo cual no se consideran accesorios al final de este, tomándose la salida como un simple extremo abierto de la tubería (Voutchkov, 2013).

Cuadro 5.25: Accesorios en sistema de bombeo de salmuera y sus pérdidas (tercera etapa) (Elaboración propia, 2018)

Tubería	Número de accesorios n	Accesorio	Factor K	Multiplicación de variables $n \cdot K$	Total
Succión	1	Salida de tanque (125 mm)	0,5	0,5	0,87
	1	Válvula de compuerta (125 mm)	0,16	0,16	
	1	Reducción a bomba (125 mm a 100 mm)	0,18	0,18	
	1	Unión a bomba de 100 mm	0,03	0,03	
Descarga	1	Unión a bomba de 75 mm a 100 mm	0,04	0,04	4,89
	1	Válvula antirretorno bridada (100 mm)	2,00	2,00	
	1	Válvula compuerta bridada (100 mm)	0,16	0,16	
	5	Codo bridado (RC) (125 mm)	0,31	1,55	
	1	Unión en T bridada (FT) (125 mm)	0,67	0,67	
	1	Expansión de 100 mm a 125 mm	0,32	0,32	
	1	Válvula compuerta bridada (125 mm)	0,16	0,16	

Aplicando la ecuación del método K 4.20 para pérdidas, se tiene un total de 0,11 m para la tubería de succión y de 1,46 m para la de descarga. Junto a las pérdidas por longitud de tubería, se tiene un total de 36,49 m de líquido que debe vencer la bomba en este criterio, descrita por la variable h_f .

Ahora se procede a calcular el TDH que deberá proveer la bomba en total. Para este caso se convierte en el equivalente de las pérdidas anteriormente calculadas, menos la diferencia de altura entre los puntos de análisis de la **Figura 5.36** que proveen energía potencial para el trasiego del fluido. Así, el TDH final se comporta según la ec. 5.16 con las mismas variables de la **Figura 5.36**.

$$TDH = h_f - (h_0 - \Delta Mareas - (h_{max} - h_{min})) \quad (5.16)$$

Este da un total de 33,40 m de columna de líquido a vencer. Convirtiendo este valor con las variables propias del caso mostradas en el **Cuadro 5.24**, esto es equivalente a una presión de 343,63 Pa (49,84 psi).

En cuanto al cálculo del $NPSH_a$, se toma la ec. 5.1 con una ligera modificación en el signo de la variable L_s , que ahora sería positivo debido a la posición inferior de la bomba respecto al tanque. Este caso da como resultado un $NPSH_a$ de 11,2 m de columna de líquido. Es importante recalcar que se utiliza la presión de vapor del agua de mar a pesar de trabajar

con una salmuera, ya que no se considera que existan diferencias significativas (A. Caldera, comunicación personal, 1 de febrero del 2018).

Ahora se debe repetir el proceso para los casos de la primer y segunda etapa. En estos se repiten los datos del **Cuadro 5.24**. pero ahora con caudales de $578,2 \text{ m}^3/d$ y $1156,5 \text{ m}^3/d$ respectivamente. Es importante recordar que el tramo de 1 900 m de tubería de descarga y la sección de unión al tanque se mantienen en 125 mm (5 pulgadas) de diámetro nominal (IPS). Los diámetros que varían son aquellos presentados en verde en la **Figura 5.38**. El **Cuadro 5.26** presenta esos nuevos diámetros, con sus velocidades, número de Reynolds y factor de fricción calculados bajo la misma metodología.

Cuadro 5.26: Variables hidráulicas de tubería de salmuera para la primer y segunda etapa (Elaboración propia, 2018)

Etapa	Etapa 1	Etapa 2
Caudal (m^3/d)	578,2	1156,4
Diámetro de succión interno (mm) (IPS)	63,5	4,0
Diámetro de succión externo (mm)(IPS)	63,91	3,939
Diámetro de descarga interno (mm)(IPS)	50,8	3,0
Diámetro de descarga externo (mm)(IPS)	52,81	3,064
Velocidad de succión (m/s)	2,1	1,7
Velocidad de descarga (m/s)	3,1	2,8
Velocidad en tubería de 125 mm (m/s)	0,53	1,1
Número de Reynolds en succión	142 275	181 763
Número de Reynolds en descarga	172 181	233 670
Número de Reynolds en tubería de 125 mm	71 579	143 165
Factor de fricción en succión	0,018	0,017
Factor de fricción en descarga	0,017	0,016
Factor de fricción en tubería de 125 mm	0,020	0,017

Nótese que la velocidad en la tubería de 125 mm (5 pulgadas) en la primera etapa se encuentra levemente por debajo del límite de 0,6 m/s requerido por el AyA (2017) para proyectos de abastecimiento, así como la recomendación de 1 m/s (Voutchkov, 2013). En este caso, el decreto nacional permite realizar excepciones con justificaciones técnicas de diseño debidamente revisadas y aprobadas por un panel propio de la institución.

Para este escenario radica en la necesidad de elegir un diámetro de tubería que cumpla funciones durante las tres etapas del proyecto con sus tres configuraciones distintas. Respecto al costo, esta opción es más barata que intercambiar esos 1900 m de tubería. En cuanto a la dilución, no se tendría problema debido a que esto se da con un volumen sumamente pequeño de vertido y, además, solo durante los 3 primeros años del proyecto. Esta selección garantiza que el resto de los 22 años se operará no solo con valores en norma, si no cercanos a las medias recomendadas.

Con estos valores se obtienen resultados de pérdidas por tubería recta en la primer etapa de 0,04 m en la succión y de 4,51 m en la descarga. En el caso de la segunda etapa, las pérdidas en la succión se mantienen igual, mientras que las pérdidas en descarga hacen a 5,07 m. Para las pérdidas en accesorios, se tienen los **Cuadros 5.27** y **5.28** dando los valores de cada accesorio. Nótese que al igual que en la tercera etapa, uno de los accesorios de unión a la bomba en la segunda etapa posee un cambio de diámetro por las características inherentes de

la misma.

Cuadro 5.27: Accesorios en sistema de bombeo de salmuera y sus pérdidas (primer etapa)
(Elaboración propia, 2018)

Tubería	Número de accesorios n	Accesorio	Factor K	Multiplicación de variables $n \cdot K$	Total
Succión	1	Salida de tanque (125 mm)	0,5	0,5	1,01
	1	Válvula de compuerta (125 mm)	0,16	0,16	
	1	Reducción (125 mm a 100 mm)	0,32	0,32	
	1	Unión a bomba (de 100 mm a 75 mm)	0,03	0,03	
Descarga	1	Unión a bomba de 62,5 mm a 75 mm	0,06	0,06	7,96
	1	Válvula antirretorno bridada (75 mm)	2,00	2,00	
	1	Válvula compuerta bridada (75 mm)	0,22	0,22	
	5	Codo bridado (RC) (125 mm)	0,33	1,65	
	1	Unión en T bridada (FT) (75 mm)	0,73	0,73	
	1	Expansión de 75 mm a 125 mm	3,16	3,16	
	1	Válvula compuerta bridada (125 mm)	0,16	0,16	

Cuadro 5.28: Accesorios en sistema de bombeo de salmuera y sus pérdidas (segunda etapa)
(Elaboración propia, 2018)

Tubería	Número de accesorios n	Accesorio	Factor K	Multiplicación de variables $n \cdot K$	Total
Succión	1	Salida de tanque (125 mm)	0,5	0,5	1,1
	1	Válvula de compuerta (125 mm)	0,16	0,16	
	1	Reducción a bomba (125 mm a 62,5 mm pulg)	0,38	0,38	
	1	Unión a bomba de 62,5 mm	0,06	0,06	
Descarga	1	Unión a bomba de 50 mm	0,05	0,05	5,80
	1	Válvula antirretorno bridada (50 mm)	2,00	2,00	
	1	Válvula compuerta bridada (50 mm)	0,34	0,34	
	5	Codo bridado (RC) (125 mm)	0,38	1,9	
	1	Unión en T bridada (FT) (50 mm)	0,54	0,54	
	1	Expansión de 50mm a 125 mm	0,81	0,81	
	1	Válvula compuerta bridada (125 mm)	0,16	0,16	

Con los datos anteriores se obtienen las pérdidas totales mostradas en el **Cuadro 5.29**. Estas también se calculan con la ecuación del método K 4.20 como en los cálculos de la etapa 3.

Cuadro 5.29: Pérdidas totales en el bombeo de salmuera para las etapas 1 y 2 (Elaboración propia, 2018)

Etapa	Etapa 1	Etapa 2
Pérdidas por accesorios en succión (m)	0,24	1,01
Pérdidas por accesorios en descarga (m)	2,76	3,21
Pérdidas totales en succión (m)	0,29	0,17
Pérdidas totales en descarga (m)	7,27	20,10
Pérdidas totales (m)	7,56	20,27

Con estos valores, se pueden volver a calcular los datos de TDH y $NPSH_a$ con la ec. 5.16 y la ec. 5.1 tal y como se realizó previamente. Esto permitirá realizar la selección posterior de las bombas en la siguiente sección. Los resultados se muestran den el **Cuadro 5.30**.

Cuadro 5.30: Variables para selección de bomba en etapas 1 y 2 de extracción de salmuera (Elaboración propia, 2018)

Etapa	Etapa 1	Etapa 2
TDH (m)	4,47	17,17
Presión (kPa)	45,92	176,51
<i>NPSH_a</i> (m)	10,96	11,08

5.5.3. Selección de bombas para extracción de la salmuera

De forma similar a los anteriores, la información de las bombas seleccionadas para cumplir los requisitos que fueron calculados anteriormente son suministradas a través del distribuidor Zebol S.A. Todas son de la marca comercial Goulds Water Technology, de tipo booster. En el **Cuadro 5.31** se aprecia la información básica de las mismas.

Cuadro 5.31: Datos de bombas seleccionadas para extracción de salmuera (Elaboración propia, 2018)

Etapa	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
Caudal requerido (m^3/d)	578,2	1156,5	1734,7
<i>NPSH_a</i> (m)	10,96	11,08	11,2
TDH requerido (m)	4,47	17,17	33,4
Modelo	SSH/5SH	SSH/22SH	SSH/28SH
<i>NPSH_r</i> (m)	2,13	1,83	2,44
TDH suministrado (m)	4,6	17,5	34,1
Diámetro del impulsor	112,78 mm	209,55 mm	270,00 mm
Diámetro del impulsor	4, 44 pulg	8,25 pulg	10,63 pulg
Eficiencia	64 %	64 %	70 %
Diferencia con caudal de máxima eficiencia	-33,8 %	-5,7 %	-33 %
Potencia del motor (kW)	0,56	3,72	11,19
Potencia del motor (HP)	3/4	5	15

En el Anexo E.8 se observa la ficha técnica para los tres diferentes modelos de bombas seleccionadas para este propósito, así como sus curvas de operación. Al ser bombas booster de 1 etapa, son más económicas que otros tipos y accesibles a la hora de realizar tareas de mantenimiento (Murillo, 2015). También es elemental que, al estar en el cuarto de máquinas subterráneo, estas sean de un volumen pequeño.

En cuanto a los materiales, para las tres se cuenta con acero inoxidable tipo AISI 316L, ideal para combatir el ambiente corrosivo al cual estarán expuestas. Este es el mismo material utilizado para los impulsores de las bombas de agua de mar que alimentan a los módulos de desalinización y por lo tanto ofrece sus mismos beneficios, sin necesidad de instalar ánodos de sacrificio. Con respecto al sellado, se cuenta con sellos de tipo mecánico John Crane Tipo 21 en cada una de las bombas que restringiendo las fugas.

5.5.4. Soportería del sistema de bombeo de salmuera y esquema final de casa de máquinas

En cuanto a la soportería¹, esta se divide en aquella para el sistema dentro de la casa de máquinas subterránea y la necesaria para la tubería de 125 mm (5 pulgadas) de diámetro una vez que esta se encuentre mar adentro. Para el primer caso se utilizó el mismo procedimiento de casos anteriores, utilizando los datos brindados por WL Plastics respecto a su tubería. También se toma en cuenta el factor de corrección por densidad de la salmuera respecto al agua de mar presentado en el **Cuadro 5.24**.

También es importante mencionar que se selecciona como criterio de diseño el caso de la etapa 3 de extracción de salmuera. Para este se tendrán las mayores presiones y trasiegos de fluido, por lo que se considera como el peor escenario. El **Cuadro 5.32** presenta los primeros cálculos para este detalle.

Cuadro 5.32: Datos para espaciamiento de soportería en casa de máquinas de extracción de salmuera (Elaboración propia, 2018)

Detalle	Valor
Peso lineal de la tubería de descarga (lb/pie)	1,909
Peso lineal de la tubería de descarga (lb/pulg)	0,159
Peso lineal del fluido (lb/pulg)	0,742
Peso lineal total (lb/pulg)	0,901
Esfuerzo máximo permisible ($lb/pulg^2$)	1 000,0
Factor de Seguridad	1,2
Esfuerzo máximo permisible ($lb/pulg^2$)	833,33
Momento de inercia de la sección (in^4)	16,31
Módulo de la sección ($pulg^3$)	5,86
Cálculo del espaciamiento (pulg)	208,3
Cálculo del espaciamiento (m)	5,29
Módulo de elasticidad ($lb/pulg^2$)	176 000
Cálculo de la deflexión (pulg)	7,69
Cálculo de la deflexión (m)	0,20
Pendiente	7,39 %

Como se puede observar, este espaciamiento de 5,29 m entre cada soporte resulta en un valor de pendiente inaceptable, al ser mayor a 1%. Bajo este panorama, se recalcula el espaciamiento con la ec. 5.10 tal y como se realizó en casos anteriores. Esto da como resultado un espaciamiento de 2,7 m entre soportes, con una deflexión de 0,01 m.

Con estos datos, se puede presentar ya el diagrama final de la distribución de los elementos dentro de la casa de máquinas. La misma corresponde a la presentada en la **Figura 5.39**.

¹ Este método requiere que los datos que se introduzcan en sus fórmulas tengan unidades del sistema imperial, de lo contrario no da resultados verídicos. Por esta razón se omitirá el uso del Sistema Internacional de Unidades (SI) durante la explicación de la sección en cuestión. Aún así el resultado final del cálculo se convierte a unidades del SI y de ahí en adelante se sigue trabajando con dicho valor.

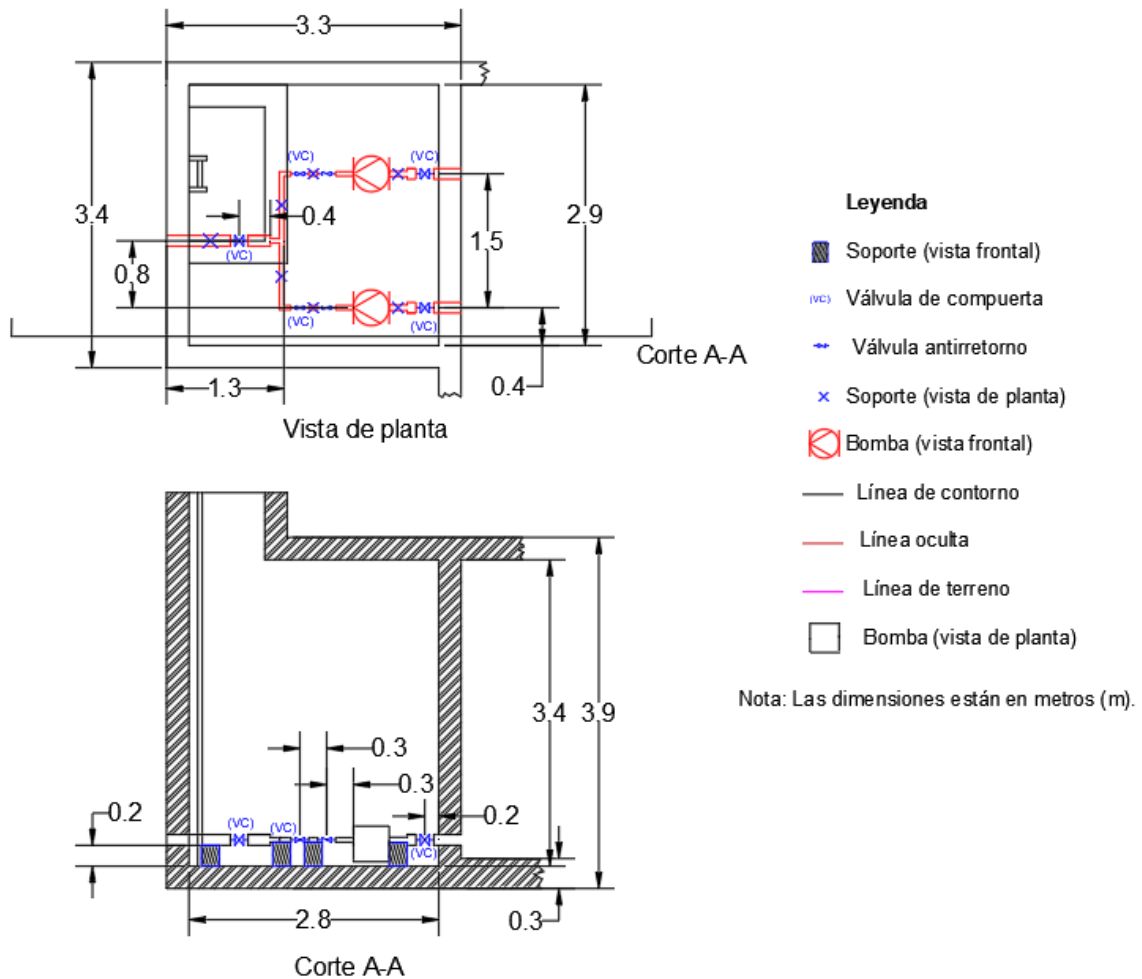


Figura 5.39: Diagrama de la distribución final de elementos y dimensiones dentro de la casa de máquinas de bombeo de salmuera (Elaboración propia, 2018)

Se aprecia que se tienen dimensiones totales de 3,4 m x 3,3 m de compartimiento, suficientes como para realizar labores de mantenimiento cotidiano. Se mantienen los espesores de concreto de 0,30 m. También posee un acceso con escalera y escotilla de las mismas dimensiones que otras ya diseñadas en otros tanques anteriores. Este recinto deberá estar sellado para evitar el ingreso de aguas pluviales que puedan dañar las bombas, así como poseer un sistema de ventilación que permita evacuar el calor producido por las mismas.

Se cuenta con válvulas de compuerta para intervenir las bombas de ser el caso y también para realizar el cambio en cada etapa del sistema. También se colocan válvulas antirretorno con el objetivo de no perder fluido trasegado ante eventuales sustituciones. Todos estos accesorios se ubican al menos a distancias de dos veces el diámetro de la tubería respecto a la bomba para no afectar el comportamiento del fluido. Toda la soportería se ubica a menos distancia del espaciado que se calculó anteriormente.

En el caso de la soportería del tramo submarino para la tubería de descarga de salmuera, esta lleva consigo el mismo procedimiento del PPI que el utilizado en la sección 4.7.4 para el caso de la tubería de suministro de agua marina a la planta. Así, se tiene un diámetro externo

de 5,563 pulgadas (ver Anexo E.2) y un DR de 21,0. Los valores de fluido trasegado se siguen tomando como agua de mar, debido al poco cambio de propiedades en la salmuera respecto a la misma. El peso del balasto en el aire ahora es de 30 lb de acuerdo a PPI (2018) para el diámetro de tubería. Las demás variables se conservan.

De este modo, los resultados de espaciamento se presentan en el **Cuadro 5.33**. Para este se vuelven a tomar los primeros 500 m con un porcentaje de aire del 20 % y los últimos 1 100 m a 10 %.

Cuadro 5.33: Espaciamento de soportería para tubería de descarga de salmuera (Elaboración propia, 2018)

Tramo de Tubería	Fuerza Boyante (lb/pie)	Espaciamento (pie)	Espaciamento (m)	Cantidad de Soportes
Tramo 1 (500 m)	1,88	9,12	2,78	180
Tramo 2 (1100 m)	1,01	17,02	5,19	212
Total				392

5.6. Diseño del tanque y sistema de bombeo de agua para invernadero

Este segmento trata los elementos correspondientes al sistema de bombeo y almacenamiento de agua semitratada para suministrar al invernadero. Estos corresponden a los últimos de carácter hidráulico en el diseño total.

5.6.1. Tanque de agua semitratada

La función única de este depósito será la de contener una reserva de producto para suplir al invernadero en caso de tener un paro en los sistemas previos al mismo. En este caso no existe una designación del tiempo estimado de respaldo, por lo que se adoptan las mismas 4 h establecidas para el tanque de agua potable. se considera que al ser este último más crítico para el público, también debería ser suficiente para la aplicación secundaria del invernadero.

El agua para el invernadero tendrá una producción tope de $211,35 \text{ m}^3/d$ para el año 2045, por lo que se diseñará el volumen equivalente a 4 h de producción con este caso crítico. El mismo se tiene en la ec. 5.17.

$$V_T = 211,35 \text{ m}^3/d \cdot \frac{1d}{24h} \cdot 4h = 35,22 \text{ m}^3 \quad (5.17)$$

De esta manera, el volumen útil deberá ser de alrededor de 35 m^3 . A diferencia de otros tanques, este no posee divisiones por su menor escala, además de considerarse menos crítico a la hora de sacar de operación para labores de mantenimiento. Así, su diseño se muestra en la **Figura 5.40**.

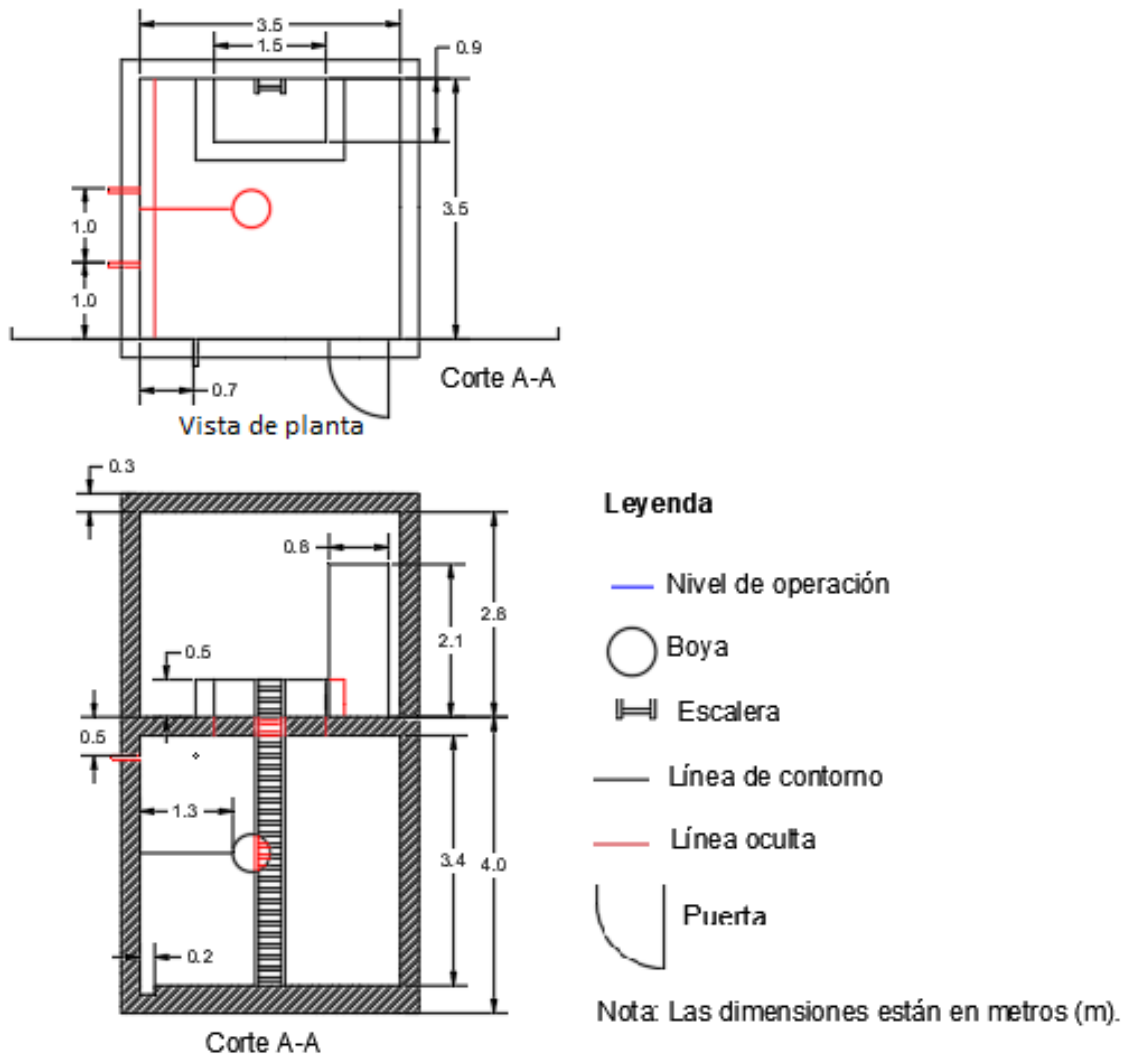


Figura 5.40: Detalle esquemático y dimensional del tanque de agua para el invernadero (Elaboración propia, 2018)

Con este se tiene una profundidad total de construcción bajo tierra de 4 m, con una profundidad de tanque total de 3,4 m para dejar espacios no útiles de succión. Al igual que otros tanques, se tiene una pendiente de 2 % en su fondo y un espacio de recolección de sólidos (CFIA, 2017). Se tienen aristas laterales de 3,5 m en cada lado, con espesores de pared de 0,30 m como otros diseños anteriores.

Se añade también una escalera con su acceso y una boya con dimensiones similares a las de tanques anteriores. En la sección superior se tiene una casa de máquinas con los mismos espesores para construcción y una altura total de 2,8 m. Esta posee una puerta estándar y es donde más adelante se presentará el sistema de bombeo.

5.6.2. Sistema de bombeo, tuberías y soportería interna

Para esta sección del proyecto se procederá a elegir únicamente una bomba capaz de trasegar el caudal necesario para la última etapa. De nuevo, se habla de un valor de 211,35 m^3/d . En cuanto al destino, si bien es cierto no se tiene una ubicación fija del invernadero, se seleccionará una bomba capaz de trasladar el fluido a una distancia horizontal de 500 m y con un cambio de altura de 12 m, respecto al nivel de agua del tanque. Para este ámbito, existen varios territorios locales que podrían ser potencialmente utilizados como instalaciones agrícolas en Playa Potrero.

Se toma en cuenta una bomba horizontal que extraiga el fluido desde la parte superior del tanque, a una altura de 3,7 m. Al igual que en ocasiones anteriores, se asumen las variables del **Cuadro 5.34**.

Cuadro 5.34: Constantes iniciales para cálculos de bombeo y tuberías para el invernadero (Elaboración propia, 2018)

Constante	Valor
Caudal (m^3/d)	211,38
Caudal (gal/min)	38,8
Caudal (m^3/s)	0,0024
Viscosidad cinemática (m^2/s)	$1,01 \cdot 10^{-6}$
Rugosidad polietileno (m)	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Densidad del agua de mar (kg/m^3)	1 000
Presión atmosférica (Pa)	101 325

Con los anteriores datos, se elige una tubería de 63,91 mm (2,516 pulgadas) de diámetro interno con DR 17 (27,5 mm (2,5 pulgadas) IPS) para la carga y de 27,08 mm (2,079 pulgadas) de diámetro interno con DR 17 (27 mm (2 pulgadas) IPS) para la descarga de la bomba. Esto da como resultado velocidades de 0,8 m/s y 1,2 m/s respectivamente, utilizando la ec. 4.25, cumpliendo con la normativa del AyA (2017).

Se proceden a aplicar las ecuaciones de Reynolds (ec. 4.23) y de Churchill (ec. 4.22) para encontrar los valores de factor de fricción. Los resultados son resultan en un número de Reynolds de 49 019 para la carga y de 63 289 para la descarga, con valores de factor de fricción de 0,022 y 0,021 respectivamente. Usando la ecuación de Darcy Weisbach (ec. 4.21) con estos valores, se tienen pérdidas por tubería recta de 0,04 m en la carga y de 14,98 m en la descarga. Estas toman en cuenta una distancia recorrida de 3,7 m en la succión y el supuesto trasiego de 500 m en la descarga.

En cuanto a los accesorios, el **Cuadro 5.35** muestra sus resultados de pérdidas (CFIA, 2017). Aquellos accesorios de diámetro de 25 mm (1 pulgada) y 31,25 mm (1,25 pulgadas) corresponden a uniones requeridas por los diámetros de la bomba, que se especificará más adelante.

Cuadro 5.35: Accesorios instalados en el sistema de bombeo de invernadero y sus pérdidas (Elaboración propia, 2018)

Tubería	Número de accesorios n	Accesorio	Factor K	Multiplicación de variables $n \cdot K$	Total
Succión	1	Válvula de pie con colador (62,5 mm)	1,75	1,75	2,535
	1	Codo bridado RL (62,5 mm)	0,35	0,35	
	1	Reducción (62,5 mm a 31,25 mm)	0,375	0,375	
	1	Unión a bomba (31,25 mm)	0,06	0,06	
Descarga	1	Unión a bomba (25 mm)	0,06	0,06	11,74
	1	Expansión (25 mm a 50 mm)	9	9	
	1	Válvula antirretorno bridada (50 mm)	2	2	
	2	Válvula compuerta bridada (50 mm)	0,34	0,68	

Aplicando la ecuación de pérdidas por el método K 4.20 con los datos del **Cuadro 5.35** se tiene un valor total de 0,08 m para la succión y de 0,87 m para la descarga. En conjunto con las pérdidas por tubería recta, se tienen 0,12 m totales en la succión y 15,85 m en la descarga, formando un total de 15,97 m. Al plantear la ecuación para el TDH correspondiente, se tiene que los valores a vencer son los dos anteriores conformando h_f , más la diferencia de altura de 12 m establecida y señalada por Δh .

$$TDH = h_f + \Delta h \quad (5.18)$$

Lo anterior da como resultado un TDH total de 27,97 m. En relación al $NPSH_a$, se aplica la ec. 5.1 con un valor de columna de agua L_c de 3,7 m y sus correspondientes pérdidas en la succión. Esto da como resultado un total de 6,19 m. En este caso, al igual que para el bombeo de agua a la red de la ASADA, se toma el valor de presión de vapor del agua dulce de 0,323 m.

Con estos últimos dos valores, se procede a seleccionar una bomba de la marca comercial Goulds Water Technology modelo NPE 316L SS serie 1ST. Esta es de tipo centrífuga y otras de sus características, en relación con las necesidades finales, se aprecian en el **Cuadro 5.36**.

Cuadro 5.36: Bomba para el sistema de agua semitratada (Elaboración propia, 2018)

Etapa	Bomba seleccionada
Caudal requerido (m^3/d)	211,35
$NPSH_a$ (m)	6,19
TDH requerido (m)	27,97
Modelo	NPE 316L SS 1ST
$NPSH_r$ (m)	2,44
TDH suministrado (m)	29
Diámetro del impulsor	5,75 pulg
Eficiencia	53 %
Diferencia con caudal de máxima eficiencia	17,0 %
Potencia del motor (kW)	1,47

Algunas otras características de la bomba se observan en el anexo E.9, dentro de estas sus curvas de operación. En cuanto a sus materiales, esta también cuenta con un impulsor y ejes de acero inoxidable serie 316. También posee un sello mecánico John Crane tipo 21. Este modelo está especialmente recomendado para el trasiego de agua, como es el caso.

En relación a la soportería¹, esta se calcula para la instalación del cuarto de máquinas. No se toma en cuenta la soportería del trasiego de los 500 m ya que no se tiene definido el punto específico de destino. El cálculo se realiza para el caso de la mayor tubería, que en este caso sería la de 2,5 pulgadas de diámetro nominal. Los datos utilizados se muestran en el **Cuadro 5.37**.

Cuadro 5.37: Datos para soportería en casa de máquinas del sistema de agua para invernadero (Elaboración propia, 2018)

Detalle	Valor
Peso lineal de la tubería de descarga (lb/pie)	0,622
Peso lineal de la tubería de descarga (lb/pulg)	0,052
Peso lineal del fluido (lb/pulg)	0,179
Peso lineal total (lb/pulg)	0,231
Esfuerzo máximo permisible ($lb/pulg^2$)	1 000,0
Factor de Seguridad	1,2
Esfuerzo máximo permisible ($lb/pulg^2$)	833,33
Momento de inercia de la sección (in^4)	1,39
Módulo de la sección ($pulg^3$)	0,96
Cálculo del espaciamiento (pulg)	166,9
Cálculo del espaciamiento (m)	4,24
Módulo de elasticidad ($lb/pulg^2$)	176 000
Cálculo de la deflexión (pulg)	9,56
Cálculo de la deflexión (m)	0,24
Pendiente	11,45 %

¹Este método requiere que los datos que se introduzcan en sus fórmulas tengan unidades del sistema imperial, de lo contrario no da resultados verídicos. Por esta razón se omitirá el uso del Sistema Internacional de Unidades (SI) durante la explicación de la sección en cuestión. Aún así el resultado final del cálculo se convierte a unidades del SI y de ahí en adelante se sigue trabajando con dicho valor.

Al igual que en casos anteriores, el valor de pendiente para este espaciamento es mayor a 1%. Así, se recalcula el espaciamento con la ec. 5.10 dando como resultado 1,9 m de espacio entre soportes, con una deflexión de 0,01 m.

Con todos los datos anteriores, la **Figura 5.41** muestra los valores finales de dimensionamiento en ese espacio.

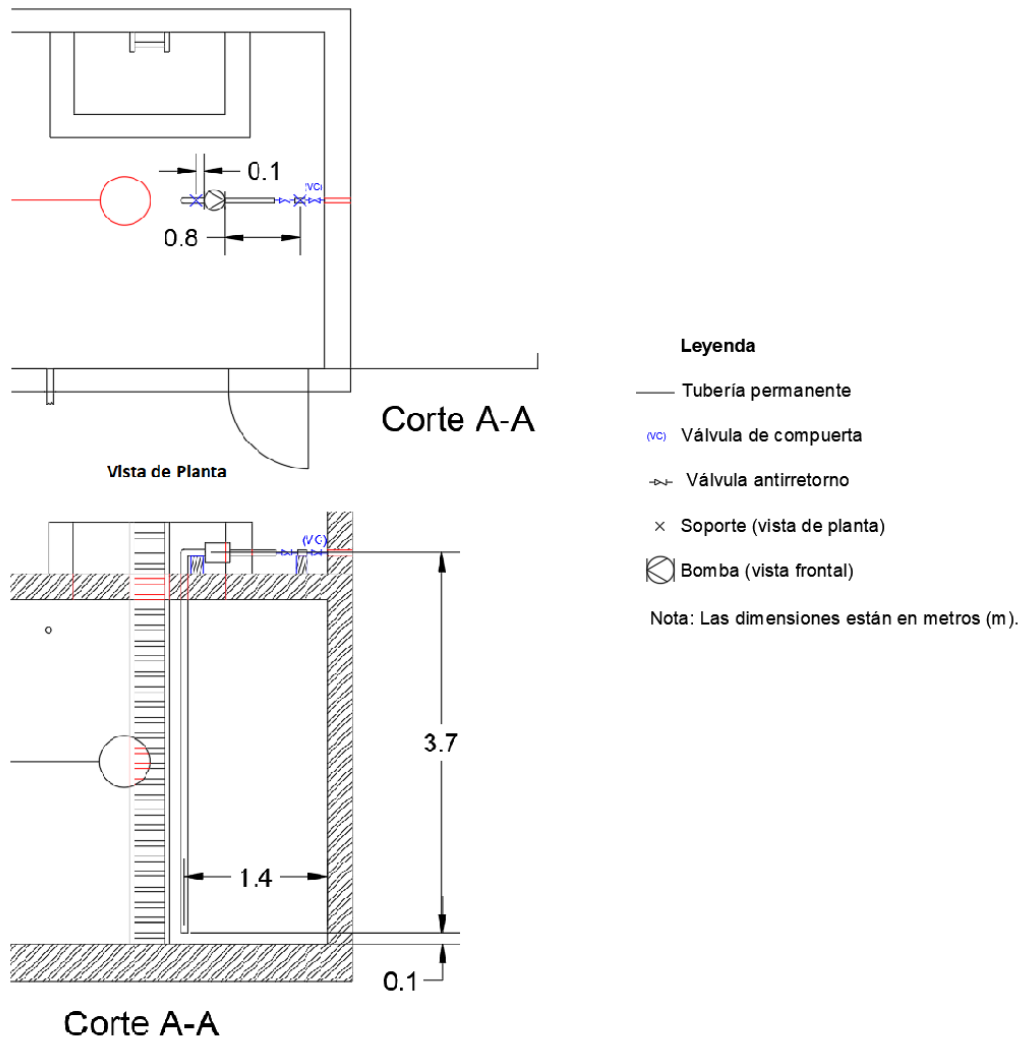


Figura 5.41: Dimensiones y accesorios del sistema de bombeo de agua para invernadero (Elaboración propia, 2018)

En esta se aprecia como se succiona a 1,4 m de la pared más próxima del tanque. También se dejan espacios muy inferiores a los necesarios entre soportería. Las dimensiones lineales entre codos y accesorios también se procuran para que haya un espacio de al menos 2 veces el diámetro nominal entre ellas.

De esta forma concluye con lo referente al diseño de los sistemas de almacenamiento, hidráulicos y su interconexión con los demás elementos mecánicos y de ósmosis inversa. Seguidamente se detallarán aspectos fundamentales para el correcto funcionamiento de los equipos y se mencionarán temas financieros.

Capítulo 6

Aspectos energéticos, operacionales y económicos del proyecto

En el presente capítulo se desarrollará sobre la alimentación energética de los equipos mecánicos. Asimismo se mencionarán aspectos relevantes relacionados con la operación y el mantenimiento de los elementos contemplados hasta el momento. Finalmente se hará un análisis económico del proyecto.

6.1. Demanda energética del proyecto

La presente sección pretende obtener una proyección del consumo eléctrico que la planta de desalinización puede llegar a tener. Adicionalmente se plantea una comparación entre diversas tecnologías relacionadas a energías renovables y su compatibilidad con el proyecto. El propósito es evaluar la viabilidad de alimentar la demanda energética del proyecto en gran parte de manera independiente a la red de energía nacional.

Primeramente se debe obtener el requerimiento energético, el cual se obtiene por medio de la potencia instalada y los tiempos de operación respectivos. Se procedió así a recopilar el consumo de los equipos que se tienen contemplados en el diseño. A partir de la información de potencias, se procedió a realizar el **Cuadro 6.1**. En la información presentada se agrega además de los equipos, un estimado del consumo por iluminación con ayuda del criterio profesional de la empresa Ecoenergía S.A. Seguidamente, por medio del cálculo de cantidad de horas anuales con la aproximación realizada, se compara contra un consumo continuo. Lo mencionado anteriormente se puede apreciar en el **Cuadro 6.2**.

Cuadro 6.1: Potencias de los equipos utilizados en la planta (elaboración propia, 2018)

Elemento	Cantidad	Potencia unitaria (HP)	Potencia total (HP)	Potencia total (kW)
Válvula de mariposa	1	—	—	0,1
Bomba sumergible de pozo de agua marina	3	15	45	33,6
Módulo	3	69,73	209,19	156,0
Bomba de salmuera	1	15	15	11,2
Bomba de agua potable	3	7,5	22,5	16,8
Bomba de invernadero	1	2	2	1,5
Alumbrado público, iluminación y enchufes de cuartos de máquinas	6	9,4	56,3	42,0
Total				261,1

Se plantearon dos escenarios que podían cuantificar la cantidad de energía requerida por la planta. Se consideró, por un lado, una operación continua durante el año (esto es, que todos los equipos trabajen 24 horas al día, todos los días del año) y por otro, se buscó comparar con una aproximación de horas de operación en relación a la demanda de agua a partir de datos históricos.

Para lograr relacionar el tiempo de operación de los equipos con el consumo de datos históricos de ciertos meses desde el 2014 al 2017, se definió un valor de referencia. Este valor se obtuvo al tomar el consumo máximo de cada mes en los datos presentes, y de ellos se obtuvo un promedio general. Con el valor obtenido se analizó cuál era el porcentaje del consumo de cada mes en relación al promedio. Con esto se encuentran meses por encima del 100 % y otros por debajo. Con esta información se supone así que los meses con mayor consumo al promedio reflejan una operación continua (24 h) en el día de los equipos. En el caso de los meses por debajo de este valor, el porcentaje del consumo promedio obtenido se multiplica por 24 horas de un día. Con este cálculo se busca obtener una estimación del tiempo de operación por parte

de los equipos en un día como se puede apreciar en el **Cuadro 6.2** (tiempo anual de trabajo de los equipos).

Cuadro 6.2: Cálculo de demanda energética anual (Elaboración propia, 2018)

kWh anuales	kWh anuales 24/7	Diferencia de consumos
2 050 611,63	2 287 276,58	236 664,95

Analizando los valores obtenidos es posible ver una relación entre los consumos y el clima en esos meses durante el año en Costa Rica. Los primeros meses corresponden al verano, reflejándose en altos consumos. En el caso de los meses inferiores al 100 % es posible establecer una conexión con la transición a la época lluviosa, por ende, menores consumos del recurso hídrico.

Observando los resultados obtenidos, se puede apreciar una diferencia importante entre las dos aproximaciones. Lograr un vínculo entre la demanda del recurso hídrico y la demanda energética permite conocer un valor más cercano a la realidad de la zona. Este punto mencionado, junto al ahorro energético mostrado, hace que se descarte la aproximación de operación de 24/7 y se utilice el resultado de la aproximación detallada previamente.

Entre las alternativas para suplir esta demanda, hay que considerar que el país cuenta con varios recursos naturales en temas de energías renovables. Este proyecto busca analizar, de manera general, las energías que tengan mayor compatibilidad con las características de la zona. El objetivo es lograr un grado de independencia por parte del proyecto en temas energéticos. Adicionalmente se busca evaluar el ahorro monetario que se puede lograr al explotar recursos disponibles en comparación de una conexión directa a la red. Se contemplaron las siguientes energías:

- Eólica
- Solar térmica
- Fotovoltáica
- Undimotriz
- Geotérmica

Para el caso de la energía undimotriz, la cual consiste en el movimiento de las olas, es una metodología relativamente nueva. Es importante tomar en cuenta que las tecnologías de desalinización implementadas en este proyecto son recientes. Combinar con este tipo de tecnologías podría incrementar de manera innecesaria el costo del proyecto. Adicionalmente, se encuentra en una bahía, donde las corrientes no presentan mayor energía en comparación con el mar abierto, resultando en un mal recurso.

Analizando por otro lado la energía geotérmica, Costa Rica tiene experiencia con estas tecnologías y es parte de la matriz energética. Ahora bien, la comunidad de Playa Potrero no posee recursos aprovechables para este tipo de tecnologías, por lo que tampoco es viable para el proyecto.

Para las tecnologías restantes, es necesario realizar un análisis más profundo para poder concretar la tecnología con mejor compatibilidad. A continuación, se presentan ventajas y desventajas de las mismas para poder seleccionar con criterio la mejor para el proyecto.

6.1.1. Análisis de factibilidad para la energía eólica

En cuanto a la energía eólica, esta presenta varias ventajas que se enuncian a continuación (Villarubia, 2012):

- No genera gases contaminantes ni requiere agua, que en este proyecto es de gran importancia.
- Tiene un período de recuperación energética pequeño. Esto quiere decir que la inversión realizada en su montaje se recobra en cuestión de meses.
- No tiene un gran impacto ambiental, aunque suele afectar a las aves.
- Al depender del viento y no directamente del sol, tiene el potencial de producir energía tanto en el día como en la noche.

Asimismo, presenta algunas desventajas, estas se mencionan a continuación (Villarubia, 2012):

- Tiene una ocupación de suelo de 3 hectáreas/MW a 6 hectáreas/MW para parques con aerogeneradores de entre 1 MW y 3 MW.
- El viento es un recurso aleatorio y variable en dirección y en velocidad. De esta forma, no es recomendable depender en un 100 % de esta fuente.
- Para arrancar, la mayoría de las turbinas requieren velocidades de viento aproximadamente de 3 m/s a 4 m/s (equivalente al ámbito entre 10,8 km/h y 14,4 km/h). Asimismo, alcanzan su potencia nominal con velocidades entre 12 m/s y 15 m/s (equivalente al ámbito entre 43,2 km/h y 54 km/h). Debido a que la potencia eólica es proporcional al cubo de la velocidad del viento, este es un parámetro fundamental.

En el cuadro climático del Anexo F.1, obtenido del Instituto Meteorológico Nacional, para la estación de Playa Pinilla (la más cercana a Playa Potrero en una zona costera), se pueden observar las velocidades de viento promedio por mes desde el año 2004 hasta el 2016. Al comparar estas con los ámbitos mencionados, se concluye que hay meses en donde los aerogeneradores arrancarían solo algunos días y otros meses en donde su producción sería muy baja. Esto último ya que no llegan a estar cerca del ámbito de velocidades en los que se alcanza la potencia nominal de las máquinas. De instalar estas máquinas, estas deben de trabajar la mayoría del tiempo en el nivel de la potencia nominal. Por lo tanto, por las condiciones encontradas con respecto a las velocidades del viento, se descarta la utilización de esta tecnología para alimentar el proyecto.

6.1.2. Análisis de factibilidad para la energía solar térmica

Existen varias metodologías para aprovechar la energía térmica disponible del sol, sin embargo este trabajo se enfoca en los más aptos a complementar el proyecto. El método evaluado es el de colectores solares los cuales consisten, explicado de manera general, en redirigir los rayos solares a un ducto donde se trasiega agua. Este flujo se convierte a la fase de vapor, y este se dirige a una turbina de vapor, generando así la transformación a energía eléctrica (Sharon et al, 2015).

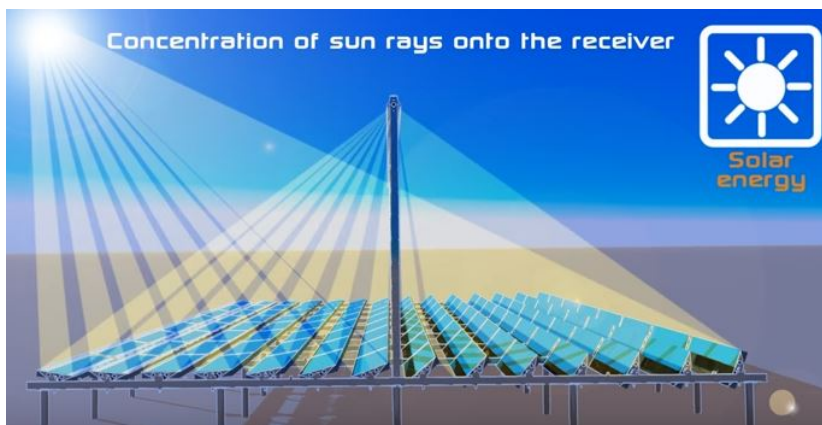


Figura 6.1: Representación de un colector Fresnel (Groupe CNIM, 2014)



Figura 6.2: Representación de un colector parabólico (SoliClima: Energía Solar, s.f)

Los más empleados se conocen como colectores Fresnel y colectores parabólicos (ver **Figura 6.1** y **Figura 6.2** respectivamente). Debido al requerimiento que poseen los colectores de dirigir el rayo de luz al recolector energético (el fluido de trabajo), estos equipos requieren preferiblemente de un seguidor. Este permite seguir la trayectoria del sol para mantener los estándares de eficiencia (Groupe CNIM, 2014). Las eficiencias registradas para este tipo de tecnologías son muy dependientes del ámbito de temperaturas que se trabaje. Estos sistemas operan comúnmente con ciclos Rankine, o ciclos Rankine orgánicos (CRO). La diferencia entre ellos es el fluido de trabajo, pues unos operan con vapor de agua, mientras que el CRO con fluidos como el R134a o siloxanos (Davies, 2016). Cada ámbito de temperatura implica un tipo de colector. La máxima eficiencia para temperaturas entre los 150°C y los 200°C registrada es de 13,1%. Para el ámbito de 275°C y 350°C es de 28,2%, mientras que para valores entre 350°C y 400°C llega hasta un 30,5%. Destacar que estas eficiencias son definidas para configuraciones

con sistemas de seguidores integrados, la máxima eficiencia para un sistema sin seguidores es de un 10 % (Buenaventura y García, 2018).

Si bien es cierto que en algunos ámbitos de temperaturas se excede la mayor eficiencia actual para paneles fotovoltaicos de 20 % según indica los autores Buenaventura y García, estas instalaciones requieren de equipos de mayor complejidad. La inversión requerida no está enfocada nada más en los colectores, sino que se debe considerar la compra del turbogenerador que se integra al ciclo. Adicionalmente, debido al enfoque del proyecto de generar agua potable, el emplear un ciclo Rankine con vapor se considera contraproducente. El utilizar agua marina tampoco es una opción ya que la vida útil de los equipos se vería afectada por lo corrosivo del fluido. Dejando como opción el CRO, consistiendo en el uso de fluidos como el ya mencionado R134a. Debido a la complejidad del sistema y del ciclo térmico, se requiere capacitaciones con mayor detalle del funcionamiento para el personal involucrado. Estos aspectos son importantes a tomar en cuenta ya que se debe de contemplar las capacidades técnicas actuales que posee el personal de la ASADA y la inversión que se requeriría para capacitarlos.

Como punto de quiebre para estas tecnologías está el costo, puesto que para una producción de 2 500 m^3 al día, el costo de inversión general de esta tecnología es un 75 % más que con paneles fotovoltaicos (Buenaventura et al, 2018). Este costo se traduciría en una tarifa más alta del servicio, perjudicando la viabilidad del proyecto.

6.1.3. Análisis de factibilidad para la energía solar fotovoltaica

Como ya se ha analizado, las energías solar térmica y eólica no parecen ser una opción rentable como energía alternativa para la operación del proceso de desalinización bajo los volúmenes de producción que se plantean en el proyecto. Queda así por analizar la solar fotovoltaica como opción.

En general, el uso de este tipo de energía se ve limitado por la falta de capacidad de generación durante las noches. Esta, al igual que la solar térmica, necesita de baterías para poder conllevar una operación completamente independiente. Estas baterías, no solo requieren gran espacio dentro de la planta para las magnitudes necesarias, si no que su costo es relativamente elevado y la tecnología para volverlas más accesibles y compactas aún se encuentra en desarrollo (IRENA, 2012).

El tema de los paneles como tal también se debe considerar. Si bien es cierto estos no son tan costosos como los sistemas de baterías, requieren de una alta inversión inicial en comparación a la alternativa de utilizar energías convencionales ya conectadas a las redes nacionales (Sharon y Reddy, 2014). Sin embargo, también lo es el caso en las instalaciones requeridas por las energías eólicas y solar térmica. El motivo del espacio disponible también conlleva una desventaja, ya que el área requerida por los paneles tiende a ser grande dependiendo de la demanda.

A pesar de estos aspectos, esta opción es la mayormente utilizada en conjunto con plantas de desalinización por ósmosis inversa a nivel mundial, con un 43 % (IRENA, 2012). Uno de los casos es la planta de ósmosis inversa de la ciudad de Jeddah, Arabia Saudita, con una capacidad de 65 m^3/d , así como otros ejemplos en España y Japón con producciones pequeñas. Nuevas tecnologías en sistemas de seguidores han permitido incrementar su producción hasta en un 25 % y se prefieren en zonas remotas a otras tecnologías por su portabilidad e independencia (Sharon y Reddy, 2014).

Actualmente su desarrollo se encuentra en crecimiento. Recientemente, se ha trabajado el proyecto de una planta de desalinización en la ciudad de Al Khafji, Arabia Saudita, con una capacidad total de 30 000 m^3/d . Esta se encuentra planteada para trabajar por completo con

energía solar fotovoltaica, siendo auspiciada por una nueva tecnología de paneles en conjunto con la empresa International Business Machine Corp (IBM) (Ghaffour, Bundschuh, Mahmoudi y Goosen, 2014).

En el caso de Costa Rica, hay que llevar a cabo el análisis de que lo que se entiende por energía convencional en realidad son energías limpias en su mayoría, provenientes de plantas hidroeléctricas. En este caso, su costo continúa siendo mayor que lo que usualmente a nivel mundial se entiende por energía convencional, siendo estas provenientes de combustibles fósiles o alternativas nucleares. En Costa Rica hay un potencial solar no aprovechado aún, sobre todo en la región Pacífico Norte (Morales, 2015). Estos datos, para el caso de Playa Potrero, han sido confirmados a través del software Solargis cuyos resultados se pueden observar en el Anexo A.2.

De esta manera se tiene como mejor alternativa, al menos dentro de las energías limpias analizadas, la energía solar fotovoltaica. Esta para ser utilizada total o parcialmente en la producción de la planta de desalinización que se ha desarrollado hasta el momento. A continuación se plantea la opción de su uso de manera parcial, buscando un sistema dual de conexión con la red para evitar los costos adicionales de almacenamiento de energía en baterías. Al final de esta sección, se realizará una proyección de esta alternativa en comparación al uso de la red nacional como única fuente de energía, con el fin de analizar su viabilidad económica.

6.2. Cuantificación de la la instalación fotovoltaica

6.2.1. Selección de los paneles

Toda instalación dedicada a la alimentación energética de equipos electromecánicos, debe basarse en una demanda de energía . Esta fue calculada anteriormente, dando un resultado de 2,05 GWh anuales. Todo equipo generador tiene una potencia nominal, la cual tomando en cuenta el tiempo y la calidad del recurso con el cual se crea la electricidad, entregará determinada energía . En este caso, dicha demanda se ha introducido en el software Solargis por medio de Grupo Ecoenergía VL S.A.

Este programa, contempla varias variables como por ejemplo la disponibilidad del recurso según la ubicación dada (para ello tiene una gran base de datos) y otros parámetros. Así, convierte la demanda de energía en una potencia a ser instalada en paneles. Esto quiere decir que, con dicha potencia instalada, se logrará cumplir con la demanda solicitada, bajo la suposición de que, en los años futuros, se seguirá el patrón del registro de datos históricos del programa. Finalmente, este genera un reporte el cual se puede observar en el Anexo A.2. Así, se conoce que la potencia a instalar en paneles solares es de 1 270 kWp.

Por recomendación de Grupo Ecoenergía VL S.A. se ha seleccionado paneles de 330 Wp, de tecnología policristalina y que serán instalados con la inclinación recomendada por el software para nuestro país (13 °). En este caso, la recomendación de los paneles de 330 Wp se deben a que son paneles que comercialmente se pueden encontrar con facilidad en el mercado. Asimismo, la tecnología policristalina es la de punta actualmente.

Por último, la decisión de ubicar los paneles a nivel de suelo con a la inclinación recomendada recae sobre varias razones. Inicialmente se tiene como opciones ubicarlo a nivel de suelo sin inclinación, con inclinación recomendada o poner seguidores solares. El inconveniente que presenta esta última opción es que es efectivo para producciones de energía a gran escala, no para el caso en cuestión. Esto debido a que tiene un consumo energético, por lo que parte de la energía útil que se transforma a energía eléctrica se le debe proporcionar a los seguidores.

Asimismo, estos requieren de un mayor mantenimiento, ya que como son móviles, involucran cojinetes y demás piezas. De esta forma, las labores de mantenimiento son más complicadas.

Por otro lado, ubicar el panel con la inclinación recomendada es una mejor opción por sobre ubicarlo con una inclinación nula. Esto último debido a la forma de nuestro planeta. Para captar la mayor cantidad de energía del sol, el panel debe estar perpendicular a los rayos que este emana. Debido a la morfología de la Tierra y a que Costa Rica se ubica en el hemisferio norte, dicha perpendicularidad se obtiene cuando el panel se inclina 13° hacia el sur. Por lo tanto, para maximizar la energía de entrada al panel, se elige utilizar dicha inclinación.

Conociendo esta información, se puede calcular el número de paneles requeridos para alimentar el 100 % del proyecto, según la proyección mencionada anteriormente. Esto se hace dividiendo la potencia a instalar en paneles entre la potencia por panel. Así, se encuentra que el proyecto requiere de 3849 paneles con las características mencionadas. Con motivo de poder continuar con los cálculos relacionadas a la instalación fotovoltaica, se ha seleccionado el panel JKM335PP-72-V de la marca Jinko Solar. Su ficha técnica se puede observar en el Anexo F.2.

6.2.2. Ubicación de los paneles en el proyecto

A la hora de ubicar los paneles en el proyecto, se desea hacer un uso eficiente y maximizar el espacio disponible. Es por ello que se ha elegido formar “camas” de paneles. Cada una de ellas consta de 9 unidades, desglosadas en 3 filas y 3 columnas, como se puede observar en la **Figura 6.3**. Al dividir el número de paneles totales del proyecto por el número de paneles por cama, se obtiene la cantidad de camas, dando como resultado 428 camas.

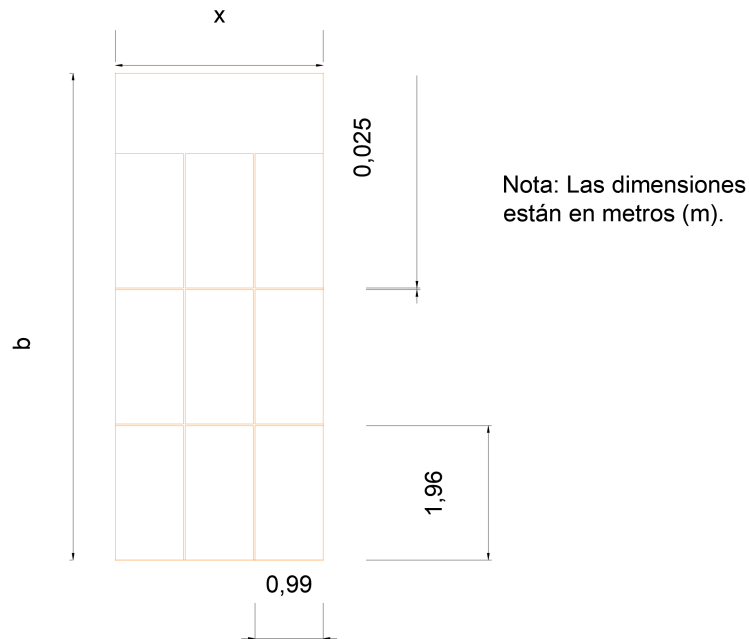


Figura 6.3: Configuración de un conjunto de paneles (Elaboración propia, 2018)

Seguidamente, se debe conocer el espacio requerido por cada cama. Para ello, se ha hecho uso del método de cálculo de sombras de la Universitat De VIC- Universitat Central de Catalunya. Dicho procedimiento pretende calcular “la distancia “d” medida sobre la horizontal,

entre filas de módulos obstáculos, de altura “h” de esta forma “deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno” (U Science Tech Facultat De Ciencies I Tecnologia UVIC-UCC, s.f).

Este cálculo consta de varias partes. La primera de ellas es conocer la configuración propia del panel en la cama. Como se puede observar en la **Figura 6.3**, se ha dejado el lado más largo en el borde que se eleva. De esta forma, se hace un uso eficiente del terreno. Seguidamente, se ha dejado una distancia de 0,2 m entre la estructura que soporta a la cama y el suelo, así como 0,025 m entre paneles. Esto último por recomendación del método.

A continuación, se desean conocer las distancias “h”, “a”, “b”, “d” y “x” que se muestran en las **Figuras 6.4** y **6.3**. De esta manera, la distancia “h” se conoce utilizando la relación trigonométrica vista en la ec. 6.1. Al sustituir los valores en dicha ecuación se obtiene como resultado que la distancia es de 1,38 m. Luego, se desea conocer la distancia mínima entre filas “d”. Para ello se debe conocer la latitud del terreno seleccionado en grados. Esta ha sido tomada del programa Google Earth y convertida a sus unidades respectivas, teniendo un valor de 10,46 °. Seguidamente, para conocer la distancia “d” se deben sustituir los valores correspondientes en la ec. 6.2. Así, se obtiene que dicha distancia es de 1,13 m.

$$h = \sin(\theta) \cdot l \cdot n + d_1 + d_2 \cdot (n - 1) \quad (6.1)$$

Donde,

- θ es el ángulo de inclinación recomendado, en °.
- l es el largo del panel, en m . En este caso es de 1,96 m.
- n es el número de paneles por columna, es adimensional.
- d_1 es la distancia entre la estructura que soporta a la cama y el suelo, en m.
- d_2 es la distancia entre paneles, en m.

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \phi)} \quad (6.2)$$

- ϕ es la latitud del proyecto, en °.

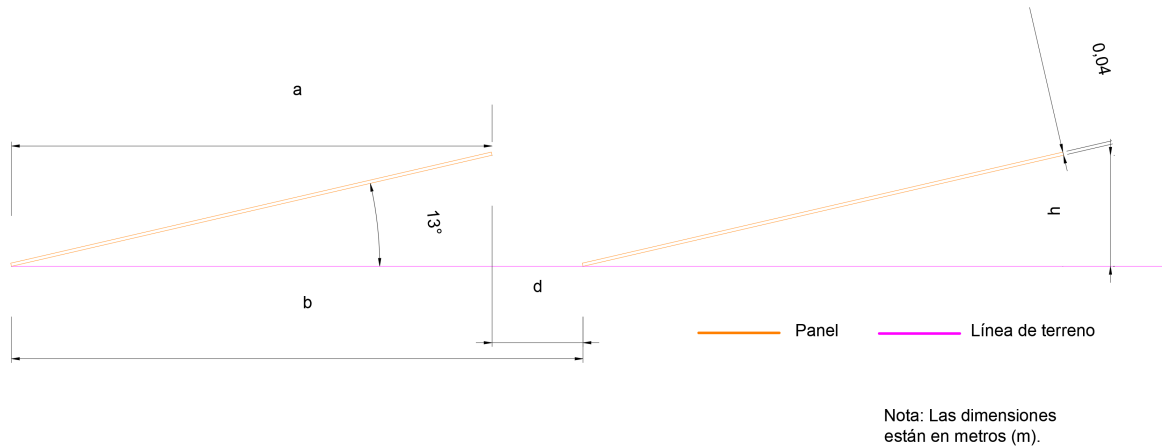


Figura 6.4: Configuración de la ubicación de los paneles en el terreno (Elaboración propia, 2018)

En cuanto al cálculo de la distancia “a” esta se realiza mediante la razón trigonométrica vista en la ecuación 6.3. De esta manera se obtiene una distancia de 5,96 m. Para conocer la distancia “b”, solo se debe hacer la suma de “a” y “d” dando como resultado 7,09 m. La distancia “x” se encuentra sustituyendo los valores correspondientes en la ec. 6.4. Esta da como resultado 3,03 m. Estos se pueden ver en las **Figuras 6.5 y 6.6**.

$$a = \cos(\theta) \cdot l \cdot n + d_1 + d_2 \cdot (n - 1) \quad (6.3)$$

$$x = m \cdot w + (m - 1) \cdot d_2 \quad (6.4)$$

Donde,

- m es el número de paneles por fila, es adimensional.
- w es el ancho del panel, en m . En este caso es de 0,99 m.

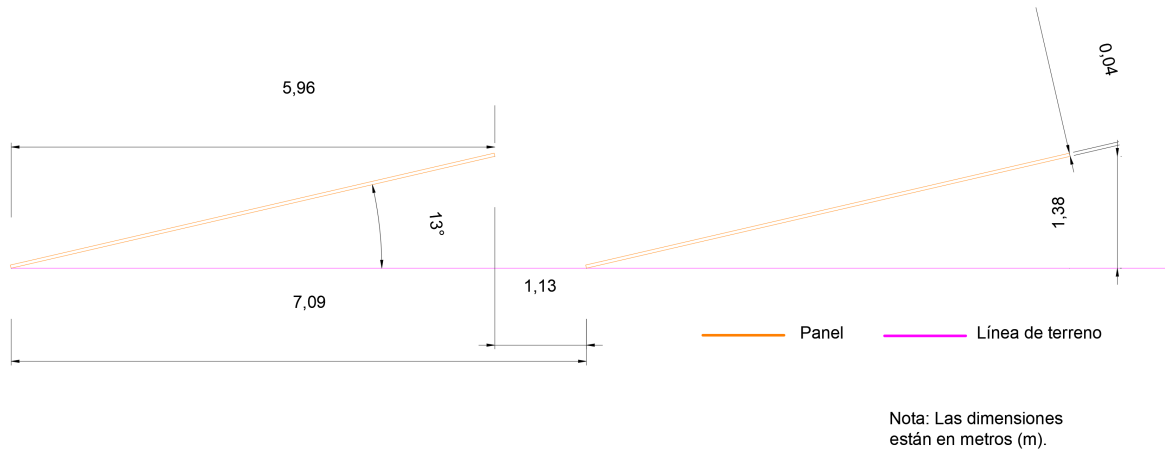


Figura 6.5: Configuración de la ubicación de los paneles en el terreno con valores calculados (Elaboración propia, 2018)

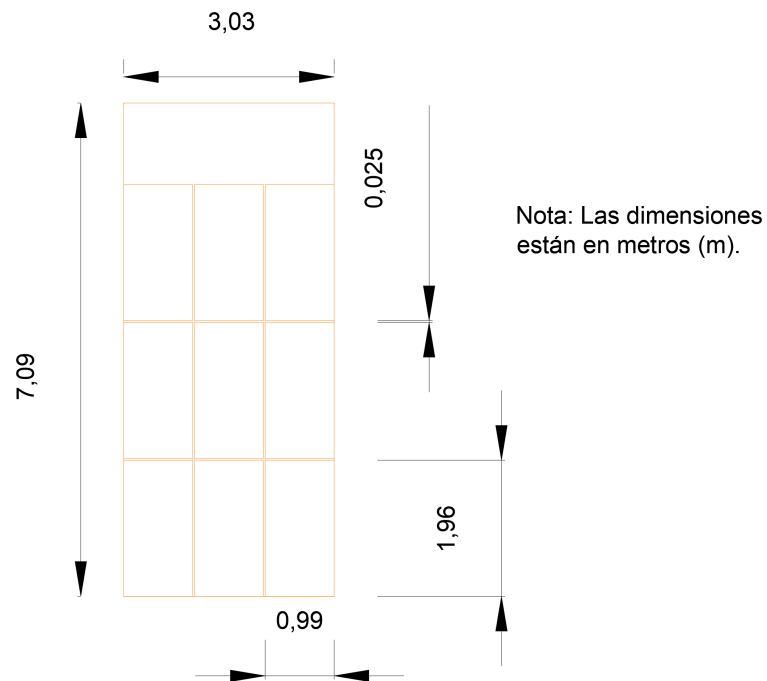


Figura 6.6: Configuración de una "cama" de paneles con valores calculados (Elaboración propia, 2018)

Se desea conocer el área requerida por cada cama, contabilizando la requerida para que no haya sombras. Así, se deben multiplicar las distancias "b" y "x", dando un resultado de $21,5 \text{ m}^2$ por cama. Al multiplicar esta área por cama por el número de camas, se conoce que el área total requerida para paneles es de $9\ 188 \text{ m}^2$.

Seguidamente se debe hacer el acomodo de las camas en el espacio destinado para la instalación fotovoltaica. Dicho espacio es de $9\ 952,8 \text{ m}^2$, pero este contempla lo requerido para caminos. Luego de varios reacomodos, se ha llegado a la solución vista en la **Figura**

4.18. Esta tiene un camino con un ancho de 3 m, lo cual es beneficioso. Esto ya que no solo permite que pase un vehículo para dar mantenimiento a las secciones, sino que admite tener un espacio suficiente para no dejar a los paneles colindando con los vecinos, ayudando a disminuir las sombras que ellos pueden generar. Asimismo, cuenta con dos secciones donde cada una tienen 14 camas por fila y 14 filas. Estas dos secciones en conjunto contienen 392 camas. De esta forma, ha sido necesario destinar la sección aledaña la cual contempla 9 camas por fila y 4 filas. Así, se agrupan las 36 camas restantes para completar las 428 camas requeridas en el proyecto.

6.2.3. Inversores y transformadores

Se debe recordar que los paneles solares trabajan en corriente directa. Por otro lado, los equipos como bombas, módulos de desalinización y el actuador de la válvula de mariposa trabajan con corriente alterna. De esta forma, el proyecto debe contemplar la utilización de inversores de corriente directa a alterna. Para ello, se ha contactado a la empresa ABB, la cual ha recomendado utilizar inversores de 120 kWp. La información de este equipo eléctrico se muestra en el Anexo F.3. Al dividir la potencia instalada en paneles entre la potencia por inversor, se obtiene que se requieren 10 inversores de este tipo. Debido a sus dimensiones, estos podrán ser colocados en la parte trasera de las camas de paneles o bien en el espacio vacío al lado izquierdo de los paneles solares.

Asimismo, se ha verificado que la tensión de salida de los inversores no es la misma que la de los equipos a alimentar. Para ello se comenzó por conocer la tensión de salida de los inversores. Según se observa en la ficha técnica de los inversores en el Anexo F.3, esta tensión oscila en un ámbito. En este caso se ha tomado el límite menor, siendo este de 384 V. Seguidamente, se ha compuesto el **Cuadro 6.3**, en donde se muestra que todos los equipos trabajan a tensiones distintas a las mencionadas. Por lo tanto, se necesita tener un transformador para poder realizar dicho cambio de tensiones.

Cuadro 6.3: Tensiones de los equipos que requieren alimentación energética (Elaboración propia, 2018)

Elemento	Modelo	Serie	Sistema	Diferencia de potencial (V)	Fase del motor
Bomba vertical multi-etapa	e-SV series	15SV	ASADA	115-230	Monofásico
Bomba centrífuga	NPE 316L SS	1ST	Invernadero	230	Monofásico
Bomba centrífuga	BSSH R6	5SH	Salmuera	230/460	Trifásico
Bomba centrífuga	BSSH R6	22SH	Salmuera	230	Monofásico
Bomba centrífuga	BSSH R6	28SH	Salmuera	230/460	Trifásico
Bomba sumergible	DWT-DITM	7CHC (6 Etapas)	Agua marina	208-230/460	Trifásico
Equipo RO	N/A	N/A	N/A	230/460	Trifásico
Actuador de la válvula de mariposa		N/A	Agua marina	400V	Trifásico

Para la selección y cotización del transformador se ha contactado a la empresa Proveeduría Industrial Proin S. A. Ellos han sugerido utiliza un transformador tipo seco trifásico de 150 KVA, 60 Hz, clase 600 V con un voltaje primario 480 V delta y voltaje secundario 460 V/230 V delta.

Finalmente se debe decir que, a la hora de hacer la instalación de los equipos eléctricos, se debe verificar que los inversores tengan sincronizadores. Esto para poder conectar los 10 inversores a un solo transformador. De lo contrario el equipo puede sufrir un corto circuito y por lo tanto quemarse.

6.2.4. Viabilidad económica del uso de paneles solares

A diferencia de los demás elementos para los que se calcula su estimación de costo posteriormente en el Capítulo 6.4, se presentará un pequeño análisis del costo operativo y por instalación de la red de paneles. Esto con el fin de decidir si esta opción es viable o no para el proyecto.

Para ello, se realiza el mismo análisis con el que se obtuvo el valor del requerimiento económico de 2,05 GWh anuales en la última etapa. Contabilizando los equipos por utilizar durante la etapa 1 y 2 del proyecto, estas consumirán 886,9 MWh y 1 451,9 MWh de manera anual, respectivamente. Este consumo será utilizado para el cálculo de costo energético operativo.

En caso de suplir esta energía de manera tradicional, o sea directamente de la red regional, se tiene una tarifa de 69,36 colones/kWh. Este valor sería el tarifado por Coopeguanacaste (2018), quien le suministra energía a la región y corresponde al periodo valle en tarifa de media tensión. Suponiendo que este valor se mantiene a través del tiempo, debido a la imposibilidad de estimar su crecimiento dentro de los parámetros de este escrito, se obtiene el **Cuadro 6.4**

con los costos acumulados a través del tiempo en materia de energía.

Cuadro 6.4: Costo acumulado por consumo energético con tarifa Coopeguanacaste (Elaboración propia, 2018)

Año	Consumo anual (kWh)	Costo anual con tarifa de CoopeGuana (colones)	Costo acumulado (colones)
2020	886 880,4	61 514 021,68	61 514 022
2021	886 880,4	61 514 021,68	123 028 043
2022	886 880,4	61 514 021,68	184 542 065
2023	1 451 908,8	100 704 391,39	285 246 456
2024	1 451 908,8	100 704 391,39	385 950 848
2025	1 451 908,8	100 704 391,39	486 655 239
2026	1 451 908,8	100 704 391,39	587 359 631
2027	1 451 908,8	100 704 391,39	688 064 022
2028	1 451 908,8	100 704 391,39	788 768 413
2029	1 451 908,8	100 704 391,39	889 472 805
2030	1 451 908,8	100 704 391,39	990 177 196
2031	1 451 908,8	100 704 391,39	1 090 881 588
2032	1 451 908,8	100 704 391,39	1 191 585 979
2033	2 050 611,6	142 230 422,64	1 333 816 402
2034	2 050 611,6	142 230 422,64	1 476 046 824
2035	2 050 611,6	142 230 422,64	1 618 277 247
2036	2 050 611,6	142 230 422,64	1 760 507 669
2037	2 050 611,6	142 230 422,64	1 902 738 092
2038	2 050 611,6	142 230 422,64	2 044 968 515
2039	2 050 611,6	142 230 422,64	2 187 198 937
2040	2 050 611,6	142 230 422,64	2 329 429 360
2041	2 050 611,6	142 230 422,64	2 471 659 783
2042	2 050 611,6	142 230 422,64	2 613 890 205
2043	2 050 611,6	142 230 422,64	2 756 120 628
2044	2 050 611,6	142 230 422,64	2 898 351 051
2045	2 050 611,6	142 230 422,64	3 040 581 473

Este cálculo indica que se gastarán un poco más de 3 040 millones de colones en consumo energético durante todo el proyecto. Este será el costo a reducir utilizando paneles como una alternativa. Para obtener el mismo valor proveniente de la energía solar se debe primero obtener el costo total de instalación de los paneles. Partiendo de la idea de obtener una instalación para el 100 % de capacidad nominal como se ha venido planteando, estos se elevan a \$568 023, equivalentes a poco más de 327 millones de colones. Este valor contempla los inversores, transformadores y paneles y su desglose se tratará en la sección 6.5.

Respecto al costo operativo, se debe entender la manera en que operaría el sistema, acorde con la legislación nacional y limitantes de la misma red de Coopeguanacaste. Un máximo del 49 % de lo generado a través de esta alternativa puede ser inyectado a la red para uso posterior (*Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables Modelo de Contratación Medición Neta Sencilla*, 2015). Este porcentaje estará disponible para el cliente a una tarifa reducida, conocida como tarifa de generación distribuida que en el caso de

Coopeguanacaste es de 21,8 colones por kWh.

Ante este panorama surge la posibilidad de autoconsumir el 100 % de lo consumido por los paneles sin necesidad de interconectarse con la red. Esto es poco viable debido a que, si bien es cierto el recurso solar de la zona es bueno, siempre existe la posibilidad de tener días con baja producción solar. Además, disponer de la opción energética en la red común da la posibilidad de obtener energía de la misma cuando no se esté produciendo por medio de la solar; ya sea a través de la tarifa de generación distribuida (como reclamo de la energía que se inyectó) o bajo tarifa regular. Esto eliminaría por completo la necesidad de baterías, que son los elementos más costosos y más limitantes en el uso de esta alternativa, según se analizó anteriormente.

Tomando esto en cuenta, se siguen una serie de recomendaciones para modelar el consumo renovable en combinación con consumo ordinario (K. Fernández, comunicación personal, 20 de noviembre del 2017). Se parte del hecho de que se tiene una instalación que suministra el 100 % de la energía requerida en razón del tiempo. Así, durante el día los paneles funcionan al 100 % y entregarán un 51 % de su producción a los sistemas de la planta, mientras que un 49 % será suministrado a la red nacional para lograr la suplencia completa. El restante que se necesite para las labores de la planta (de un 0 % a un 49 %) se obtendrá de manera ordinaria, pagando la tarifa de 69,36 colones/kWh.

Durante la noche no se contará con almacenamiento de energía, si no que se dispondrá del porcentaje inyectado a la red durante el día, de hasta un 49 % a la tarifa diferenciada de 21,8 colones/kWh. Si se necesitara más, se adquiriría por el precio de tarifa regular.

De esta forma se tienen como fuentes primarias de energía la solar tanto en el día como en la noche. La primera de ellas generándose gratuitamente y la segunda bajo una tarifa diferenciada mucho más económica. En ambos casos el restantes que se necesitará sería adquirido de manera ordinaria con tarifas regulares. En el peor de los casos, se plantea que se necesite del 49 % de la energía con tarifa ordinaria durante el día y un 51 % con esta misma forma de adquisición durante la noche, partiendo del supuesto de que se necesite producir la misma cantidad de agua durante el día y la noche. Cualquier otro escenario bajaría el porcentaje adquirido por tarifa regular. De esta manera, los costos anuales que se necesitarían pagar a Coopeguanacaste estarían dados por lo ec. 6.5. En esta la variable C_a corresponde al consumo anual en kWh.

$$\begin{aligned}
 Total &= Diurno + Nocturno \\
 &= (49\% \cdot C_a/2 \cdot 69,36 \text{colones/kWh}) \\
 &\quad + (49\% \cdot C_a/2 \cdot 21,80 \text{colones/kWh} + 51\% \cdot C_a/2 \cdot 69,36 \text{colones/kWh})
 \end{aligned}
 \tag{6.5}$$

Con esta ecuación, se obtienen ahora los costos operativos proyectados durante todo el plazo del proyecto. Estos se muestran en el **Cuadro 6.5**.

Cuadro 6.5: Costo acumulado por consumo energético con planificación solar (Elaboración propia, 2018)

Año	Consumo anual (kWh)	Costo anual (colones)	Costo acumulado (colones)
2020	886 880,4	35 493 838,83	35 493 839
2021	886 880,4	35 493 838,83	70 987 678
2022	886 880,4	35 493 838,83	106 481 517
2023	1 451 908,8	58 106 840,36	164 588 357
2024	1 451 908,8	58 106 840,36	222 695 197
2025	1 451 908,8	58 106 840,36	280 802 038
2026	1 451 908,8	58 106 840,36	338 908 878
2027	1 451 908,8	58 106 840,36	397 015 718
2028	1 451 908,8	58 106 840,36	455 122 559
2029	1 451 908,8	58 106 840,36	513 229 399
2030	1 451 908,8	58 106 840,36	571 336 239
2031	1 451 908,8	58 106 840,36	629 443 080
2032	1 451 908,8	58 106 840,36	687 549 920
2033	2 050 611,6	82 067 528,04	769 617 448
2034	2 050 611,6	82 067 528,04	851 684 976
2035	2 050 611,6	82 067 528,04	933 752 504
2036	2 050 611,6	82 067 528,04	1 015 820 032
2037	2 050 611,6	82 067 528,04	1 097 887 560
2038	2 050 611,6	82 067 528,04	1 179 955 088
2039	2 050 611,6	82 067 528,04	1 262 022 616
2040	2 050 611,6	82 067 528,04	1 344 090 144
2041	2 050 611,6	82 067 528,04	1 426 157 672
2042	2 050 611,6	82 067 528,04	1 508 225 200
2043	2 050 611,6	82 067 528,04	1 590 292 729
2044	2 050 611,6	82 067 528,04	1 672 360 257
2045	2 050 611,6	82 067 528,04	1 754 427 785

El costo total operativo en este caso sería de 1 754 millones de colones, que es cerca de un 57% de lo obtenido en el **Cuadro 6.4** con únicamente la tarifa regular. Esto sumado al costo de instalación de paneles, resultaría en un valor de 2 082 millones de colones durante todo el proyecto. Lo anterior quiere decir que el plan de uso de energía distribuida que se propone es viable desde un punto de vista económico y genera ahorros. Específicamente, para el año 2028 el ahorro generado ya superaría a lo invertido inicialmente en paneles.

Adicional a esto, se debe decir que existe un porcentaje máximo de la red principal que puede estar alimentada por energía distribuida. Este corresponde a un 15% y para el caso de Coopeguanacaste equivalen a 1020 kW de generación de los cuales actualmente solo 86 kW se encuentran ocupados (C. Cascante, comunicación personal, 10 de abril del 2018). La producción total de la planta se estima en unos 234 kW, por lo se vuelve factible conectar esta capacidad de producción a la red. Aún con disponibilidad, por recomendación externa se prefiere hacer la compra inicial de todos los módulos solares al principio del proyecto, con el fin de reservar este espacio en la red (K. Fernández, comunicación personal, 20 de noviembre

del 2017).

6.3. Aspectos de operación y mantenimiento

Durante este capítulo se presentan sugerencias de parte de los diseñadores en temáticas relacionadas a la implementación de la planta como tal. Los temas involucrados son mantenimientos importantes de los equipos, identificación de elementos críticos en la planta y detalle de los respaldos presentes en el diseño.

6.3.1. Sistemas de respaldo

Ante la importancia de mantener un servicio continuo, el diseño de la planta de desalinización se enfocó en este aspecto. El resumen de los elementos y su respectivo plan de contingencia ante las fallas consideradas se presentan en el **Cuadro 6.6** y en el **Cuadro 6.7**. Es importante resaltar que los tiempos están calculados para la última etapa del proyecto, por lo que en las etapas previas se estaría hablando de mayor cantidad de horas disponible en varios de los elementos.

Cuadro 6.6: Detalle de los planes de contingencia 1 (elaboración propia, 2018)

Elemento vulnerable	Plan de contingencia	Tiempo de respaldo (h)
Toma de agua marina Tubería de la toma de agua marina Válvula reguladora Desarenador	Espacio en el tanque de agua marina	24
Tanque de agua marina	Seccionamiento del tanque	8
Bombas de agua marina	Bomba de respaldo	El que sea necesario
Sistema de tuberías y valvulería de agua marina	Sistema de tubería y valvulería de bomba de respaldo	El que sea necesario
Módulo de desalinización	Espacio en el tanque de distribución	4

Cuadro 6.7: Detalle de los planes de contingencia 2 (elaboración propia, 2018)

Elemento vulnerable	Plan de contingencia	Tiempo de respaldo (h)
Tubería y valvulería al tanque de distribución	Espacio en el tanque de distribución	4
Tanque de distribución	Seccionamiento del tanque	2
Bombas de distribución y tuberías del tanque a la red de la ASADA	Bomba de respaldo	El que sea necesario
Tuberías y valvulería al tanque de invernadero	Espacio en el tanque de invernadero	4
Tanque del invernadero	No hay	No hay
Bombas de invernadero y tuberías del tanque al invernadero	No hay	No hay
Tuberías y valvulería al tanque de salmuera	Espacio en el tanque de distribución	4
Tanque de la salmuera	Espacio en el tanque de distribución	4
Bombas de salmuera	Espacio en el tanque de distribución	4
	Espacio en el tanque de salmuera	0,25
	Bomba de respaldo	El que sea necesario
Tubería de descarga de salmuera al mar	Espacio en el tanque de salmuera	0,25
	Espacio en el tanque de distribución	4

Las dimensiones del tanque de agua marina se decidieron en gran parte por el tiempo de respaldo que posee. Se considera que 24 horas permite al personal de la planta poder responder ante la mayoría de eventualidades que se puedan presentar. El respaldo que se tenga es afectado por las mareas por el principio de vaso comunicante. En la primera etapa del proyecto, partiendo de una demanda de $1\,072,67\text{ m}^3/\text{d}$ para el año 2022 (año final de la primera etapa) y en marea baja, se calcula un tiempo de respaldo de 48,5 horas aproximadamente. Con esto se busca mostrar el robusto respaldo que posee el proyecto durante la vida útil del mismo. En caso de que se genere alguna avería de alguno de los elementos que se consideran, en el peor de los escenarios se contará con 24 horas para detectar la falla y proceder con las reparaciones antes de detener producción.

Las particiones realizadas en el tanque son importantes a la hora del mantenimiento a realizar en ellos. El seccionamiento del almacenamiento del agua permite realizar el lavado o reparación de una de las secciones manteniendo aún el servicio. Este mismo diseño se implementa en el tanque de agua potable como se ha mencionado antes. En este caso, este aspecto opera como respaldo en varios elementos que requieren detener el módulo de desalinización. Aspectos como el tanque de salmuera, el módulo de desalinización, o inclusive daños en tuberías de distribución son algunos de los componentes del sistema que son respaldados por el tanque de agua potable.

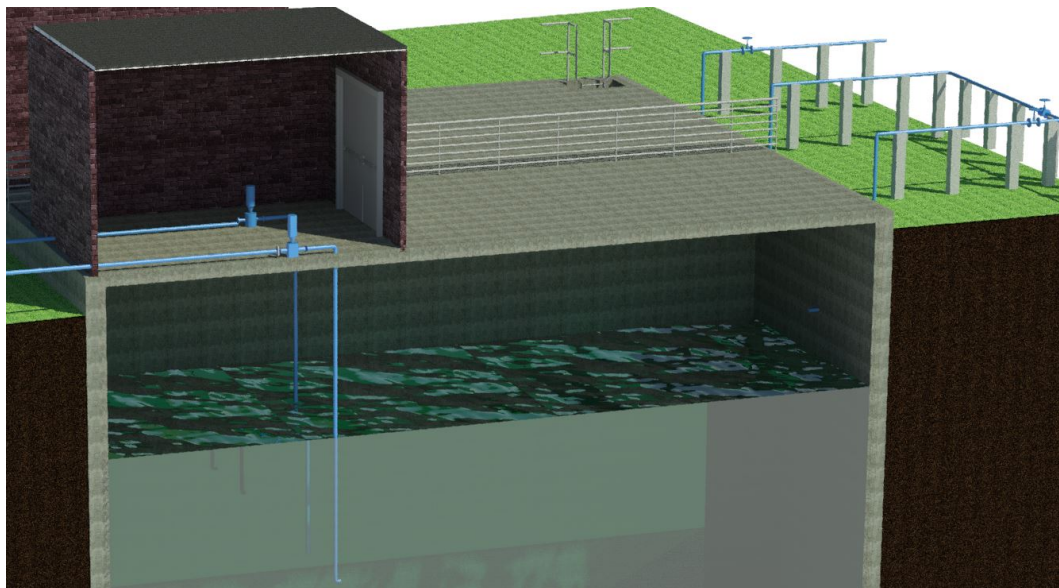


Figura 6.7: Sistema de bombeo de agua potable (elaboración propia, 2018)

En el caso de las bombas, en todas las configuraciones que requieran bombeo, excepto por el invernadero, se tiene un respaldo. La configuración que se presenta en la **Figura 6.8** permite alternar entre los equipos para poder operar, aunque alguno de los equipos falle. De manera similar se diseña la red en el tanque de agua potable. La tubería que trasiega el flujo desde los módulos está contemplada en este diseño, ya que como se comentó antes, permite enfocar el 66 % del flujo total en uno de los compartimientos. Este sería el que posea dos bombas operando de manera simultánea, manteniendo así una tasa de entrada de agua igual a la tasa de salida ver **Figura 6.7**.

El caso del bombeo de salmuera, es el único sistema que requiere de un respaldo por legislación detallado en la *Especificación técnica para desalinización y potabilización de agua marina* (AyA, 2016). Se trabaja con un sistema dúplex, consistiendo en dos bombas que operan alternándose como ya se mencionó antes. El tanque presenta un respaldo de 15 min de operación de la planta. En este caso se posee un almacenamiento del líquido durante alguna avería ya que es producto de deshecho. En caso de algún daño en la tubería de trasiego del fluido, se cuenta con el tanque de salmuera, así como el tanque de distribución de agua potable. Este último se incluye como respaldo ya que permite mantener producción de agua potable aún después de detener el módulo. El suspender la actividad del módulo, permite cortar el flujo de salmuera, habilitando el espacio para reparaciones en caso de ser necesario.

Para el sistema de bombeo del invernadero, el tanque participa como elemento de contención en caso de daños en válvulas o tuberías del sistema. Sin embargo, en esta sección del proyecto no se agregan respaldos para el tanque como tal, así como las bombas del mismo. Debido a que la prioridad del proyecto es el servicio de agua potable, se enfocaron los recursos en tener un sistema de distribución robusto. La complejidad de los equipos involucrados y por ende el costo obligan a tener un diseño con mayor nivel de prevención.

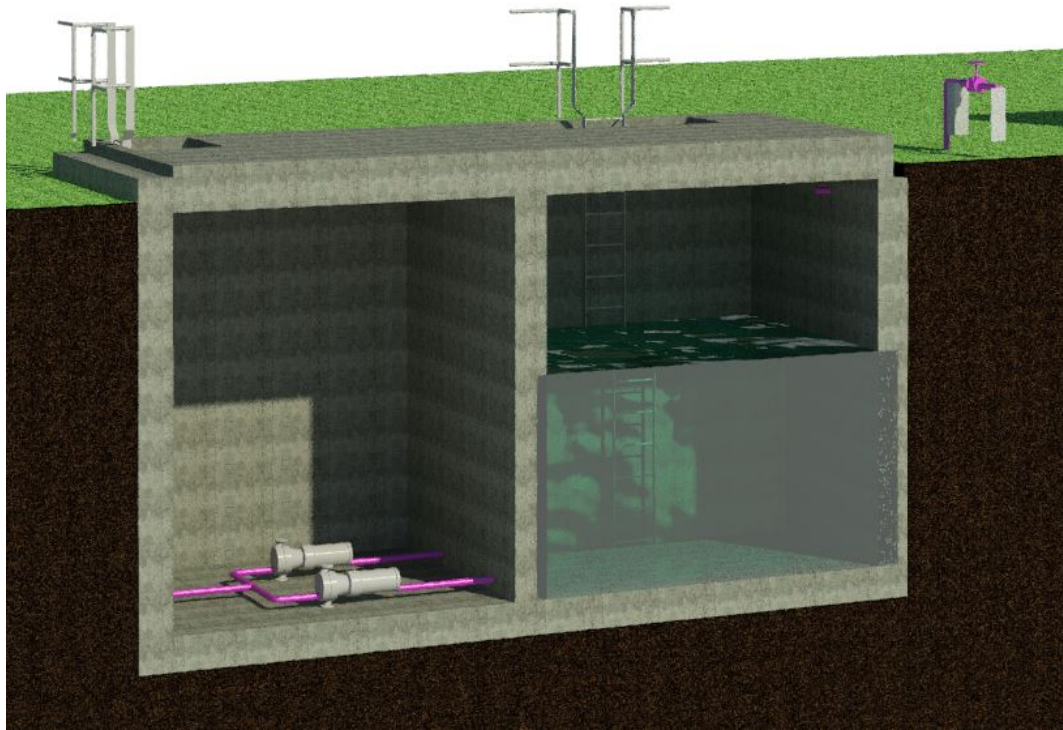


Figura 6.8: Sistema de bombeo de la salmuera (elaboración propia, 2018)

6.3.2. Mantenimientos predictivos y preventivos

Se procede elaborar una propuesta de los mantenimientos que los diseñadores consideraron pertinentes, más no totales por parte de la mayoría de los componentes presentes en el proyecto. Se busca dar una idea de lo aspectos importantes que requieren los elementos mecánicos mencionados para poder tener un funcionamiento aceptable.

La toma marina es un elemento que se encuentra en un ambiente agresivo para los metales. Si bien es cierto que los materiales de los que está compuesta se definieron para trabajar en este entorno, aún requiere de revisiones periódicas. Bajo recomendación de la marca Johnson Screens, se debe de realizar una revisión con la ayuda de un buzo y limpiar de manera manual cualquier cúmulo de suciedad presente. Inicialmente se recomienda de manera semestral, sin embargo, se debe realizar un estudio más profundo de la proliferación de vida marina en este tipo de componentes específicamente en Playa Potrero. Si bien es cierto que la profundidad a la que se encuentra permite una menor velocidad con la que se ensucia la toma, es importante evaluarlo ya en sitio. Conociendo estos parámetros se podría hacer los periodos de revisión más largos o más cortos.

Para el caso de los tanques en general, aspectos como la impermeabilización interna y los lavados son cruciales para poder operar de manera óptima. Debido al tamaño de los tanques, estas actividades detendrían por varias horas la producción. El vaciado del tanque, las revisiones, el lavado entre algunas de las actividades, detiene por completo la producción. Lo mencionado anteriormente explica así la necesidad de crear compartimientos para el almacenamiento del agua. Esto vuelve los paros completos en paros parciales, permitiendo la

continuidad del servicio (L. Mayer, comunicación verbal, 17 de Marzo del 2018).

Las bombas son los elementos que requieren de mayor cantidad de mantenimientos debido a la complejidad de sus componentes. Tareas como la revisión del impulsor para el caso de las bombas de agua marina es un tema importante para controlar la degradación generado por la corrosión. Adicionalmente tareas que involucran la lubricación, revisión de cojinetes, cambio de sellos, entre otros, todas son actividades ya conocidas por el personal de la ASADA. Si bien es cierto que no son las mismas bombas, los requerimientos no varían mucho entre equipos. Es por esto que las bombas en general poseen las mismas actividades de mantenimiento ya mencionadas (Daniel Murillo, 2015). Es importante mencionar que aquí se incluye el cuidado de las bombas de alta presión que se encuentran en los módulos de desalinización.

Los módulos de desalinización son los elementos con mantenimientos más especializados. Posterior a una entrevista con el fabricante, se procedió a definir tareas de cuidados preventivos importantes. Una actividad básica es la limpieza de las membranas de ósmosis inversa. La velocidad con la que se ensucien depende de las características del agua marina del sitio, sin embargo, inicialmente se recomienda hacerla cada 3 meses. Estas tienen la ventaja de que se hace el lavado en sitio, por lo que no es necesario retirarlas. Durante la limpieza de las membranas se debe de verificar el estado físico de las mismas, ya que su vida útil es de alrededor de 2 a 3 años (Aqua Pro, comunicación verbal, 3 de marzo 2018).

Una tarea de control importante son las pruebas químicas del agua permeada. Con esto se tiene un control de la calidad del producto y puede funcionar como una primera señal de falla de algún componente o proceso. Dentro de los sistemas de filtros que posee el equipo están los filtros de cartucho, los cuales es uno de los medios de filtración previos a la bomba de alta presión. La vida útil, al igual que las membranas, lo define las características que tenga el agua. Por recomendación del fabricante, se indica que se debería hacer el cambio mensual inicialmente.

En el tema de las válvulas y tuberías, se resume a una inspección diaria durante las operaciones. Ya de manera más detallada se proponen inspecciones por fugas en las tuberías de manera semanal. En el caso de las válvulas se propone una revisión del correcto funcionamiento durante operación y más detallado de manera mensual.

Las tareas correspondientes a lo descrito anteriormente se puede apreciar en el Anexo D.1. En este documento se divide por secciones cada elemento que requiere ser tomado en cuenta junto a la frecuencia recomendada por los autores.

6.3.3. Análisis de efecto y modos de falla

La herramienta del diagrama de análisis del modo y efecto de fallas, o FMEA por sus siglas en inglés (Failure Mode Effect Analysis) se utiliza para detectar los elementos de mayor criticidad en caso de falla. El FMEA realizado para este proyecto se puede apreciar en el Anexo D.2, y es una propuesta general. Se debe destacar que su contenido no ha de considerarse como los únicos fallos posibles en la planta desalinizadora. En concreto, la herramienta analiza los fallos potenciales que se asignan a cada componente y el resultado que se pueda tener ante esta falla. Este evento se califica con una severidad asignada por los diseñadores. En la siguiente columna se determinan causas potenciales de la falla junto con una ocurrencia estimada de la misma. Dentro del FMEA se termina por asignar controles que se tengan para prevenir los fallos mencionados, y a su vez se califica la eficiencia que se considere para este control con una escala en este caso inversa a las demás. Esto quiere decir que la calificación que posea menores valores indica mayores eficiencias del control. Ultimamente se multiplican todas las

calificaciones y se obtiene el número de prioridad de riesgos (NPR). Los números de mayor magnitud, indicaran así que este rubro representa un caso crítico en caso de falla, y se debe buscar disminuir en lo posible. En caso de que no exista esta posibilidad, es necesario definir un monitoreo constante de este elemento durante la operación. Para el caso de la planta de desalinización, se tiene que los elementos de mayor criticidad son los mostrados en la **Figura 6.8**.

El elemento más crítico que muestra el FMEA es el fallo y paro completo de las bombas en la planta de desalinización. Este fallo específicamente se atribuye a la falta de energía eléctrica, ya que impacta directamente el flujo de trabajo. El problema puede generarse prácticamente en cualquier estación de bombeo de la planta que igualmente es perjudicial. El hecho de que sea un fallo eléctrico cobra mayor relevancia que los demás ya que este parámetro detiene totalmente la operación de la bomba. De manera adicional, se destaca que está fuera del control de la planta en caso de que se deba por la misma red energética de la zona o por fallos en la alimentación eléctrica generada por los paneles solares. Estos últimos tampoco poseen un sistema de respaldo en caso de falla, por lo que, si algo impacta la operación de los paneles fotovoltaicos, repercute directamente en los equipos.

Cuadro 6.8: Elementos críticos detectados resultantes del FMEA (Elaboración propia, 2018)

Elemento	Modos de falla potenciales	Efectos de posibles fallas	Causas potenciales de la falla	Controles de la falla	NPR
Válvula reguladora	Incorrecto funcionamiento del actuador eléctrico	Regulación incorrecta de la velocidad requerida	Fallo eléctrico	Mantenimientos y revisiones	24
Válvula reguladora	Deterioro del material de la válvula	Incorrecto funcionamiento del accesorio	Corrosión	Accionamiento periódico	36
Bombas	El equipo no inicia	Interrupción del suministro de agua	Fallo eléctrico	Mantenimientos y revisiones	48

Los siguientes NPR de mayor valor son para un mismo elemento, que es la válvula reguladora. Este componente se encuentra en la entrada de la tubería que proviene del mar, regulando el flujo tal y como se explicó en la sección 4.7.3. Ambos modos de falla están relacionados a un paro total de la válvula, que si fuera el caso que quedó cerrada, interrumpe el flujo de la planta. Adicionalmente, como su posición se define para generar una cierta cantidad de pérdidas determinada, también lo vuelve un elemento sensible ante fallas de activación. Aunque este elemento no posee el mayor NPR, cabe destacar que dos de los tres valores más altos se le atribuyen. Es por esto que el mantenimiento de esta válvula debe de ser riguroso y procurar valorar tener un repuesto de la misma en inventario.

6.4. Balance de costos totales

En este capítulo se iniciará explicando los aspectos más importantes del presupuesto del proyecto. Asimismo se hará un desglose de los costos de los diferentes elementos que conforman

el diseño explicado en las secciones anteriores. Finalmente se hará una comparación con otros proyectos a manera de conocer la viabilidad del proyecto y si se encuentre en un ámbito aceptable en cuanto a costo.

Sobre los costos de los diferentes elementos que conforman el diseño, se debe indicar que estos han sido consultados con diferentes empresas comerciales a manera de tener un costo aproximado de su valor en el mercado ya sea nacional o internacional. Es por ello que se debe aclarar que son solo referencias y sugerencias, mas no la única opción a instalar en el proyecto. Esto debe ser valorado por el grupo de ingenieros que lleven a cabo su ejecución. A continuación se explicará el detalle del proceso de estimado de costo para cada tipo de componente, para al final mostrar un desglose del valor para cada uno.

6.4.1. Equipos mecánicos

Se debe dejar claro que este presupuesto contempla solo costos de compra de los equipos. La única excepción serían los módulos de desalinización, los cuales incluyen el precio de los equipos, del transporte, de la instalación y de la puesta en marcha. Las cotizaciones de los equipos mecánicos tomados en cuenta en el proyecto se pueden ver en:

- Toma de agua marina: Anexo G.1
- Válvula de mariposa y su actuador eléctrico: Anexo G.2.
- Bombas del sistema de tuberías del tanque de agua marina: Anexo E.6.
- Módulos de desalinización seleccionados: Anexo B.3
- Bombas del sistema de distribución de agua a la red de la ASADA: Anexo G.3.
- Bombas de la primera etapa del sistema de salmuera (5SH): Anexo G.4.
- Bombas de la segunda etapa del sistema de salmuera (22SH): Anexo G.3.
- Bombas de la tercera etapa del sistema de salmuera (28SH): Anexo G.3.
- Bomba del sistema del invernadero: Anexo G.3.

6.4.2. Tuberías y sus accesorios

Con respecto a las tuberías, los accesorios y la soportería solo se ha contemplado el costo de compra de estos elementos. Para el caso de las tuberías y los accesorios se ha considera el costo por metro y el costo unitario respectivamente, que viene viene en la cotización del Anexo G.5. En base a estos valores, se ha hecho el cálculo de los costos finales propiamente y no se ha utilizado el valor total que se muestra dicha cotización.

Sobre los elementos de sujeción, los costos se han dividido en dos grupos. Por un lado, están los costos de la soportería de las tuberías marinas y por otro lado las tuberías que se encuentran en el terreno del proyecto. Estas últimas han sido valoradas bajo recomendación como un 10 % del precio de la tubería que soporta (S. Ferreto, comunicación personal, 1 de marzo de 2018).

En cuanto a los soportes de la parte marina, estos han sido aproximados con la compañía ISR. Esto ya que deben ser fabricados especialmente para el proyecto y a base de concreto

reforzado. Los mismos a su vez se dividen en dos costos diferentes, ya que las tuberías tienen diferentes dimensiones. Vale recalcar que estas tuberías tienen algunas secciones subterráneas y otras submarinas por lo tanto, solo requieren soportes en esta última parte. Ahora, sobre los soportes que trabajarán con la tubería de agua marina, el precio de cada uno se estima en \$150. Esto ya que se debe hacer un molde metálico para colarlo, lo que conlleva bastante mano de obra y material. Por otro lado, el costo unitario de los soportes de la tubería de desecho de salmuera al mar se estima en \$100 por las mismas razones mencionadas (L. Mayer, comunicación personal, 17 de marzo de 2018).

Sobre el costo de la zanja requerida para las tuberías que tienen contacto con el mar vale destacar que tanto la tubería de descarga de salmuera al mar como la de abastecimiento de agua marina, se muestran a una distancia cercana ya que se aprovecha que ambas deben estar entre el terreno seleccionado y el mar, para hacer una sola zanja. De esta forma, se abaratan costos de mano de obra.

Asimismo, la zanja se divide en tres partes, las cuales se observan en la **Figura 6.9**. De ellas, la “1” corresponde a el tramo que se debe excavar para poder pasar la tubería de abastecimiento de agua marina desde el mar y hasta la entrada al tanque correspondiente. Por otro lado, la “2a” se refiere a la sección por la cual va la tubería de descarga de salmuera. Finalmente la “3” corresponde a la sección en la cual los tramos “1” y “2a” se unen de manera que las tuberías puedan tener contacto con el mar. En la **Figura 6.10** y **Figura 6.11** se muestra la lateral y el perfil de la zanja.

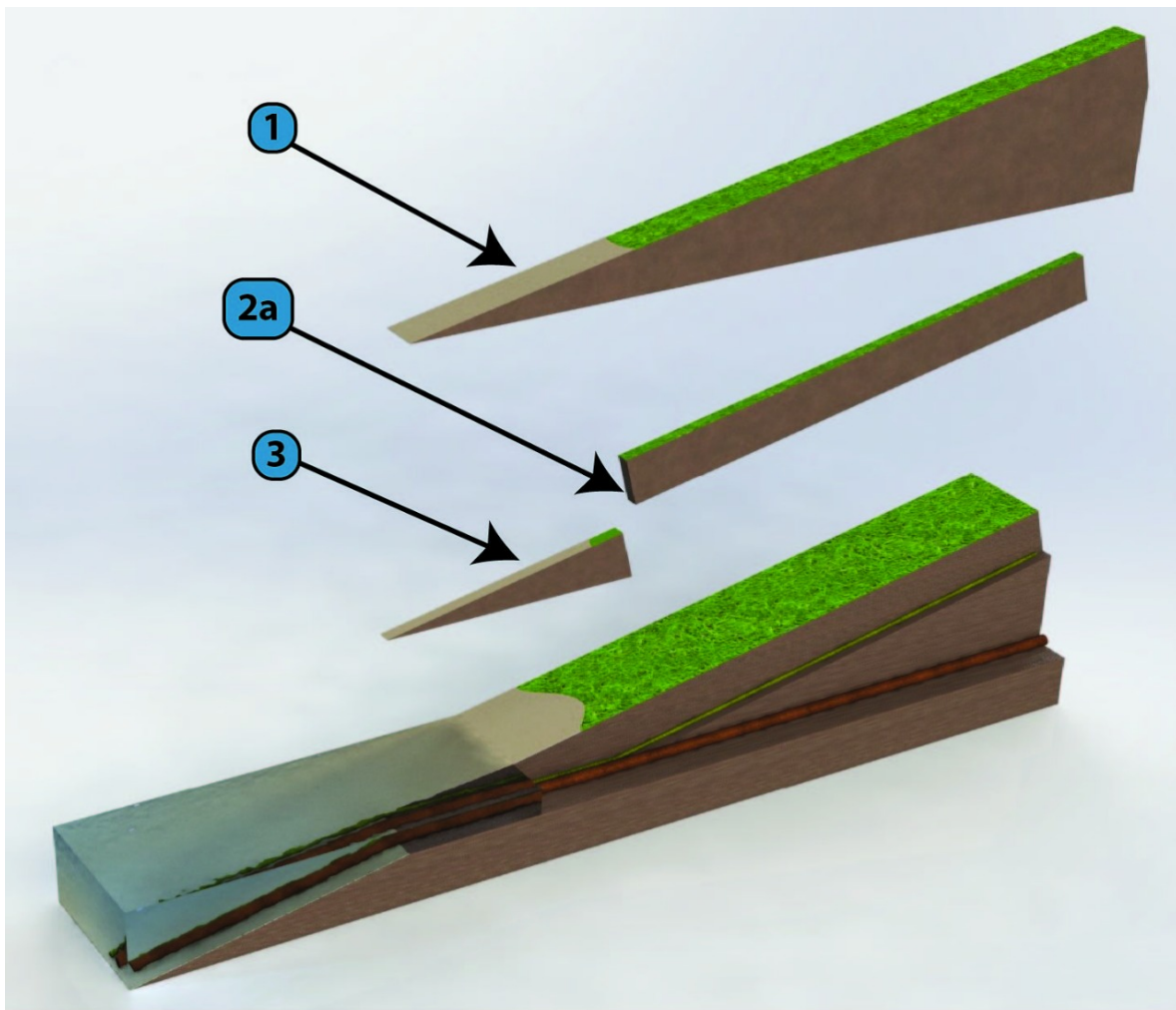


Figura 6.9: Vista en 3D de las zanjas (Elaboración propia, 2018)

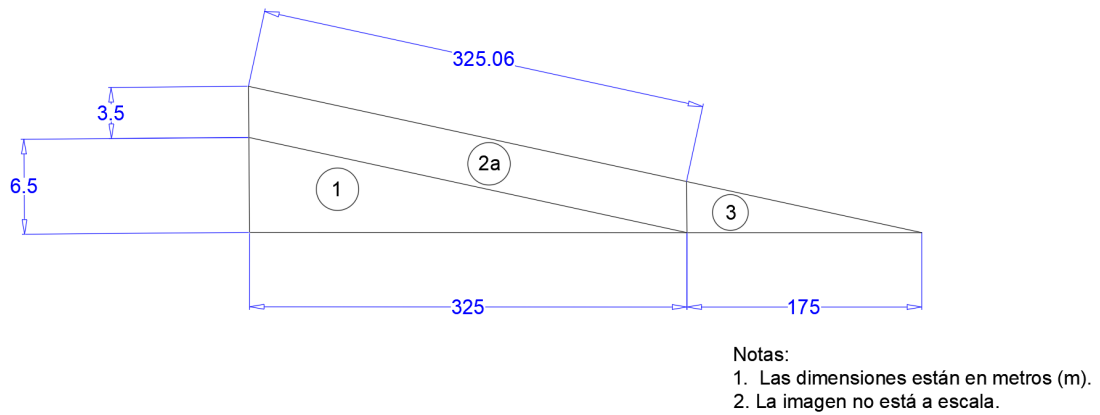
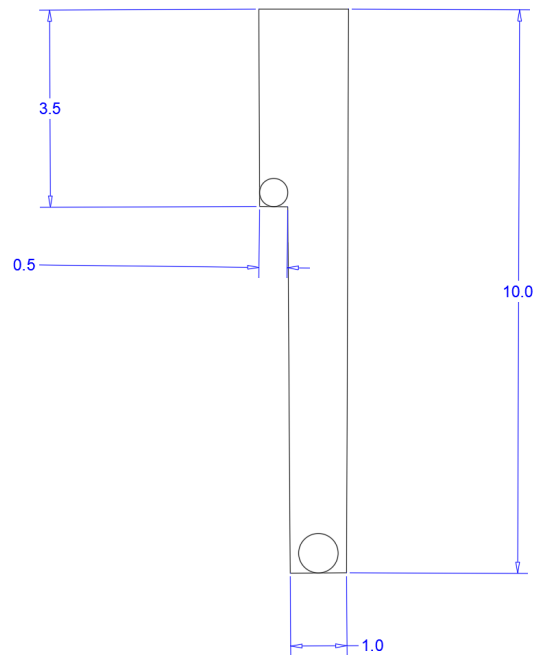


Figura 6.10: Vista lateral de la zanja que comunica el mar con el terreno (Elaboración propia, 2018)



Notas: Las dimensiones están en metros (m).

Figura 6.11: Vista de perfil de la zanja que comunica el mar con el terreno (Elaboración propia, 2018)

En la **Figura 6.10** se puede ver la representación trigonométrica de donde se obtienen la mayoría de las dimensiones correspondientes a las secciones de la zanja. De ellas, los 500

m corresponden a la distancia entre el punto donde las tuberías pasan del mar al continente o viceversa. Esto fue medido con el software Google Earth. Seguidamente se conoce que la totalidad de la zanja debe tener 10 m ya que esta es la distancia que hay entre el nivel del terreno y la parte más baja de la tubería de abastecimiento de agua marina. De ellos 3,5 m corresponden a la sección “2” debido a la razón recientemente explicada solo que para la tubería de salmuera. Por otro lado, en cuanto a los anchos, la sección “1” cuenta con 1 m debido a que el diámetro de la tubería de abastecimiento de agua marina es de 0,70 m. Asimismo, para las secciones “2” y “3” se ha dejado 0,5 m ya que en estos casos el diámetro de la tubería de salmuera es de 0,13 m.

Hasta el momento solo se ha contemplado la zanja que va desde el mar hasta la entrada del tanque de abastecimiento de agua de mar. Hace falta contemplar dos zanjas más dentro del proyecto. La primera de ellas es una extensión de la sección “2” para poder conectar hasta el tanque de salmuera. De esta forma, la sección extra mantiene sus dimensiones transversales, con excepción del largo, que en este caso es de 72 m. La segunda zanja que hace falta contemplar es la de la tubería que conecta con la tubería principal de la ASADA. En este caso sus dimensiones han sido tomadas a partir de las distancias correspondientes en la **Figura 5.31** donde el largo tiene que ver con la sección de dicha tubería que va enterrada y la altura con la distancia entre la línea del nivel del terreno y la parte más baja de la tubería de descarga de agua potable (1,82 m).

Finalmente para poder determinar el costo total por excavación se deben conocer los volúmenes de las zanjas. En el **Cuadro 6.9** se muestran las dimensiones mencionadas y necesarias para el cálculo de los volúmenes. Asimismo, los resultados se muestran en el **Cuadro 6.10**. Para determinar los costos reales se debe hacer un estudio de suelos, pero como en este caso no es parte de los objetivos del trabajo realizarlo, se ha utilizado una relación supuesta de la composición del suelo. Esta ha sido sugerida por la compañía ISR y es de 30 % roca y 70 % arena. Asimismo, el costo de trabajar con un suelo rocoso se ha estimado en \$60/m² y en suelo arenoso en \$20/m². Esta suposición se toma para todas las zanjas con excepción de la relacionada con la tubería de la ASADA, ya que, esta última no está a gran profundidad. Por ello se supone que el terreno en la que esta se encuentra va a ser plenamente arenoso. De esta forma, los costos de cada zanja y el costo total de la excavación se muestran en el **Cuadro 6.10** (L. Mayer, comunicación personal, 17 de marzo de 2018).

Cuadro 6.9: Dimensiones necesarias para el cálculo de los volúmenes de excavación (Elaboración propia, 2018)

Zanja	1	2a	2b	3	ASADA
Largo (m)	500	325,06	72	175	55
Ancho (m)	1	0,5	0,5	0,5	4
Altura (m)	10	3,5	3,5	3,5	1,82

Cuadro 6.10: Cálculo de los volúmenes y costos de excavación (Elaboración propia, 2018)

Volumen (m^3)		Costo de excavación en arena (\$)	Costo de excavación en roca (\$)	Costo total (\$)
V_1	2 500,0	\$ 35 000,00	\$ 45 000,00	\$ 80 000,00
V_{2a+b}	694,9	\$ 9 727,97	\$ 12 507,39	\$ 22 235,36
V_3	153,1	\$ 2 143,75	\$ 2 756,25	\$ 4 900,00
V_{ASADA}	400,4	\$ 8 008,00	-	\$ 8 008,00
			Costo total	\$115 143,36

6.4.3. Tanques, casas de máquinas y compartimentos especiales

Debido a que los tanques elegidos requieren ser construidos en el sitio y por ello son parte del ámbito de la ingeniería civil, el método de cálculo y los valores mencionados a continuación, han sido sugeridos por la compañía ISR (L. Mayer, comunicación personal, 17 de marzo de 2018). Vale destacar que este es un método que permite conocer un dato rápido del costo, por lo que puede variar con respecto al dato real. En caso de querer un dato más preciso se debe consultar con ingenieros estructurales para que hagan el diseño detallado del tanque. Este no es el objetivo del trabajo por lo que no se realizó de esta manera. Asimismo, los valores que se mencionarán contemplan tanto la mano de obra, como el alquiler de equipos (bombas de achique, entre otros) y los materiales necesarios para realizar la obra. En general toman en cuenta lo que se llama proyecto de “llave en mano”.

De esta forma, el método sugiere dividir el cálculo en tres partes. La primera de ellas tiene que ver con los costos de excavación necesarios para construir el tanque. En este caso, se debe calcular el volumen de las secciones a excavar y multiplicar dicho valor por un factor de $\$30/m^3$. Este valor es diferente a los mencionados para excavación de la zanja ya que, en este caso, es más fácil estimar un costo por las mayores dimensiones y por ello la disposición de trabajo. La segunda parte del método contempla los costos constructivos totales del tanque. Para ello se debe calcular el área de cada pared, piso y techo. Cada una de esas áreas se debe multiplicar por el factor de $\$300/m^2$ (esto serían m^2 de concreto reforzado). Los valores resultantes se deben sumar para conocer el costo constructivo total de cada tanque. Ahora, al sumar este costo y el de excavación se puede conocer el costo propio del tanque.

Seguidamente se debe averiguar el costo de la casa de máquinas. Dicho cálculo es la tercera parte del método. Para ello, se debe calcular el área de construcción. Esto quiere decir, la proyección que se observa desde la vista de planta. Dicho valor se debe multiplicar por el factor de $\$600/m^2$. Este factor considera tanto la obra gris como puertas, tapas herméticas, escaleras, bajantes pluviales y demás instalación mecánica básica, artefactos eléctricos como bombillos, enchufes, entre otros.

A continuación, se deben sumar dichos valores para conocer el costo constructivo total por casa de máquinas. Para conocer el costo final de la obra civil por sección, se debe sumar este último valor calculado con el costo total del tanque. En el **Cuadro 6.11**, se muestra un resumen con los costos mencionados anteriormente para cada una de las secciones del diseño.

Cuadro 6.11: Costos de los tanques y las casas de máquinas (Elaboración propia, 2018)

Sección	Costos constructivos totales del tanque	Costos de excavación totales del tanque	Costos constructivos totales de la casa de máquinas	Costo total
Agua marina	\$ 1 531 934,10	\$ 335 329,38	\$ 73 916,40	\$ 1 941 179,88
ASADA	\$ 224 145,00	\$ 32 512,50	\$ 22 080,00	\$ 278 737,50
Invernadero	\$ 21 462,00	\$ 1 234,80	\$ 7 350,00	\$ 30 046,80
Salmuera	\$ 34 305,30	\$ 2 052,81	-	\$ 36 358,11

Finalmente, se deben considerar los costos de los compartimentos para las válvulas enterradas. En este caso se cuenta con dos compartimentos: el de las válvulas que se colocan al final de la tubería de descarga que va hacia la red de la ASADA y el de la válvula de mariposa de la tubería de abastecimiento de agua de mar y su actuador eléctrico. La estimación del costo se hace de la misma forma que los dos primeros pasos explicados en el método para los tanques. De esta forma, en el **Cuadro 6.12** se observa un resumen de los costos relacionados a la construcción de estos compartimentos.

Cuadro 6.12: Costos de los compartimentos para válvulas (Elaboración propia, 2018)

Compartimento	Costo constructivo total	Costo de excavación	Costo total
Válvulas al final de la tubería de descarga hacia la red de la ASADA	\$ 9 795,00	\$ 254,52	\$ 10 049,52
Válvula de mariposa de la tubería de abastecimiento de agua de mar	\$ 35 944,02	\$ 1 807,90	\$ 37 751,92
Costo total por compartimentos			\$ 47 801,44

6.4.4. Alimentación energética

En cuanto al costo de la alimentación energética esta se divide en dos partes. Por un lado, el costo de la compra de los equipos requeridos y por otro lado el costo operativo que se le debe pagar a Coopeguanacaste por consumo energético. El primer rubro contempla la compra de los paneles, los inversores y el transformador. Su desglose se muestra en el **Cuadro 6.13**.

Cuadro 6.13: Desglose de costos de los equipos de la alimentación energética (Elaboración propia, 2018)

Elemento	Costo
Costo total paneles	\$ 469 962,90
Costo total de inversores	\$ 93 710,00
Costo total transformador	\$ 4 350,50
Costo total	\$ 568 023,40

Asimismo, el costo total de estos equipos se muestra en el presupuesto de la instalación del proyecto en el **Cuadro 6.17**. Las cotizaciones respectivas a estos equipos se pueden ver en los Anexos G.6 y G.7. Con respecto a los paneles, estos han sido estimado por la empresa Ecoenergía VL S.A. en \$ 0,37/Wp.

El segundo rubro es el relacionado con la operación de la planta por los 25 años. Los cálculos relacionados con este costo se pueden ver en la Sección 6.2.4. Vale recalcar que esta es una estimación en donde se plantea el peor escenario posible. Asimismo, considera tanto la energía comprada a Coopeguanacaste, como el costo por la tarifa de acceso. Su valor se muestra en el **Cuadro 6.18**.

6.5. Análisis del presupuesto total

Como se ha mencionado, el presupuesto se divide en dos partes. La primera de ellas son los costos de compra y construcción de los elementos requeridos en el proyecto. Estos se muestran en los **Cuadros 6.14, 6.15, 6.16 y 6.17**. Vale destacar que esta estimación de costos no contempla los siguientes aspectos:

- Compra de equipos de instrumentación.
- Construcción del camino dentro del proyecto, obra civil de la bodega y las oficinas.
- Compra de algún artefacto o servicio que se necesite dentro de la bodega o las oficinas. Tampoco se contempla el costo de la valla del perímetro del proyecto.
- Compra de equipos de acceso como portones principales y tecles.
- Costo de pruebas que se muestran en la sección de recomendaciones.
- Solo se contempla el costo de mano de obra para la construcción de los tanques. Demás servicios que requieren de mano de obra como colocación de tuberías en terreno o en el mar, colocación de soportería en el mar y en el terreno, colocación de la toma de agua marina, obra civil de caminos, de parqueos, de colocación de equipos mecánicos y eléctricos, entre otros no se consideran.

CAPÍTULO 6. ASPECTOS ENERGÉTICOS, OPERACIONALES Y ECONÓMICOS DEL PROYECTO

Cuadro 6.14: Costos de compra y construcción de los elementos en el proyecto (Parte 1)
(Elaboración propia, 2018)

Compras	2017-2020	2023	2033	Total	Porcentaje
Toma de agua marina	\$ 22 261,00	-	-	\$ 22 261,00	0,42 %
Tubería de la toma de agua marina	\$ 656 487,48	-	-	\$ 656 487,48	12,37 %
Soportería de la tubería de la toma de agua marina	\$ 69 000,00	-	-	\$ 69 000,00	1,30 %
Válvula y actuador eléctrico de la toma de agua	\$ 12 531,70	-	-	\$ 12 531,70	0,24 %
Tanque de agua marina y su casa de máquinas	\$ 1 531 025,65	-	\$ 410 154,23	\$ 1 941 179,88	36,57 %
Bombas de tipo turbina y sus motores	\$ 60 000,00	\$ 30 000,00	\$ 30 000,00	\$ 120 000,00	2,26 %
Tubería para trasegar agua marina a los módulos	\$ 375,90	\$ 187,95	\$ 187,95	\$ 751,80	0,01 %
Soportería de la tubería para trasegar agua marina a los módulos	\$ 37,59	\$ 18,80	\$ 18,80	\$ 75,18	0,00 %
Valvulería de la tubería para trasegar agua marina a los módulos	\$ 1 275,42	\$ 637,71	\$ 637,71	\$ 2 550,84	0,05 %
Módulos de desalinización	\$ 429 908,50	\$ 429 908,50	\$ 429 908,50	\$ 1 289 725,50	24,30 %
Tubería hacia el tanque de salmuera	\$ 99,77	\$ 99,77	\$ 99,77	\$ 299,1	0,01 %

Cuadro 6.15: Costos de compra y construcción de los elementos en el proyecto (Parte 2)
(Elaboración propia, 2018)

Compras	2017-2020	2023	2033	Total	Porcentaje
Valvulería de la tubería hacia el tanque de salmuera	\$ 328,05	\$ 328,05	\$ 328,05	\$ 984,15	0,02 %
Soportes de la tubería hacia el tanque de salmuera	\$ 9,98	\$ 9,98	\$ 9,98	\$ 29,93	0,00 %
Tanque de salmuera y su casa de máquinas	\$ 36 358,11	-	-	\$ 36 358,11	0,68 %
Bombas de salmuera	\$ 4 282,70	\$ 9 408,38	\$ 12 622,10	\$ 26 313,18	0,50 %
Tubería de desecho de salmuera al mar	\$ 17 477,94	\$ 42,85	\$ 52,04	\$ 17 572,82	0,33 %
Valvulería de la tubería de desecho de salmuera al mar	\$ 1 366,32	\$ 753,73	\$ 1 038,56	\$ 3 158,61	0,06 %
Soportes de la tubería de desecho de salmuera al mar	\$ 39 202,28	\$ 4,28	\$ 5,20	\$ 39 211,77	0,74 %
Tubería hacia el tanque del invernadero	\$ 120,18	\$ 120,18	\$ 120,18	\$ 360,54	0,01 %
Valvulería de la tubería hacia el tanque del invernadero	\$ 333,90	\$ 333,90	\$ 333,90	\$ 1 001,71	0,02 %
Soportes de la tubería hacia el tanque del invernadero	\$ 12,02	\$ 12,02	\$ 12,02	\$ 36,05	0,00 %
Tanque del invernadero y su casa de máquinas	\$ 30 046,80	-	-	\$ 30 046,80	0,57 %

Cuadro 6.16: Costos de compra y construcción de los elementos en el proyecto (Parte 3)
(Elaboración propia, 2018)

Compras	2017-2020	2023	2033	Total	Porcentaje
Bombas del tanque del invernadero	\$ 1 231,70	-	-	\$ 1 231,70	0,02 %
Tubería desde el tanque hacia el invernadero	\$ 30,28	-	-	\$ 30,28	0,00 %
Valvulería de la tubería desde el tanque hacia el invernadero	\$ 335,77	-	-	\$ 335,77	0,01 %
Soportes de la tubería desde el tanque hacia el invernadero	\$ 3,03	-	-	\$ 3,03	0,00 %
Tubería hacia el tanque de distribución de agua de la ASADA	\$ 172,33	\$ 172,33	\$ 172,33	\$ 517,00	0,01 %
Valvulería hacia el tanque de distribución de agua de la ASADA	\$ 413,95	\$ 413,95	\$ 413,95	\$ 1 241,84	0,02 %
Soportes de la tubería hacia el tanque de distribución de agua de la ASADA	\$ 17,23	\$ 17,23	\$ 17,23	\$ 51,70	0,00 %
Tanque de distribución de agua a la ASADA y su casa de máquinas	\$ 278 737,50	-	-	\$ 278 737,50	5,25 %

CAPÍTULO 6. ASPECTOS ENERGÉTICOS, OPERACIONALES Y ECONÓMICOS DEL PROYECTO

Cuadro 6.17: Costos de compra y construcción de los elementos en el proyecto (Parte 4)
(Elaboración propia, 2018)

Compras	2017-2020	2023	2033	Total	Porcentaje
Bombas de distribución de agua a la ASADA	\$ 9 910,10	\$ 4 955,05	\$ 4 955,05	\$ 19 820,20	0,37 %
Tubería desde el tanque hacia la tubería de distribución a la ASADA	\$ 1 939,44	-	-	\$ 1 939,44	0,04 %
Valvulería de la tubería desde el tanque hacia la tubería de distribución a la ASADA	\$ 3 431,40	-	-	\$ 3 431,40	0,06 %
Soportes de la tubería desde el tanque hacia la tubería de distribución a la ASADA	\$ 193,94	-	-	\$ 193,94	0,00 %
Excavación de zanjas de tuberías subterráneas	\$ 115 143,36	-	-	\$ 115 143,36	2,17 %
Costos de los compartimentos para las válvulas enterradas	\$ 47 801,44	-	-	\$ 47 801,44	0,90 %
Instalación de alimentación energética	\$ 568 023,40	-	-	\$ 568 023,40	10,70 %
Total	\$ 3 939 926,16	\$ 477 424,66	\$ 891 087,55	\$ 5 308 438,37	100,00 %
Porcentaje	74,22 %	8,99 %	16,79 %	100,00 %	

Asimismo, en los Cuadros 6.14, 6.15, 6.16 y 6.17 se muestran en forma de filas los costos por elemento del diseño y el porcentaje que representa cada uno de estos rubros del presupuesto final de compra y construcción de los elementos requeridos en el proyecto. De esta forma, los elementos más caros (que superan el 10 % del proyecto individualmente) son: el tanque de

agua marina y su casa de máquinas con un 36,57%, los módulos de desalinización con un 24,30%, la tubería de la toma de agua marina con un 12,37% y la instalación fotovoltaica con un 10,70%.

También, en los **Cuadros 6.14, 6.15, 6.16 y 6.17** se muestran en columnas, los costos relacionados con el año en el cual se debe hacer cada una de las inversiones. Esto lo que quiere decir es que, en dicho año, se debe hacer la compra de los equipos o la construcción de los elementos requeridos. El dinero se puede recolectar en el transcurso de tiempo entre inversiones. Estos años corresponden a los indicados en el plan de introducción de módulos visto en la Sección 4.3.4. De esta forma, se aliviana la carga de la inversión inicial, teniendo aproximadamente un 74% en el 2020, un 9% en el 2023 y un 17% en el 2033.

Vale destacar que todos los costos contemplan el impuesto de ventas que se aplica en el país (13%). Debido a que no todas las cotizaciones vienen con el impuesto de ventas, los valores que se puede apreciar en los **Cuadros 6.14, 6.15, 6.16 y 6.17** y en los anexos con las cotizaciones que se han mencionado, pueden ser distintos. Asimismo, hay varios equipos, como por ejemplo las bombas, que se cotizan dos o más por etapa de introducción. Por lo tanto, algunos de costos vistos en el presupuesto están multiplicados por diferentes factores dependiendo de la cantidad de equipos comprados al mismo tiempo.

La segunda parte del presupuesto considera el costo total de este último cuadro y el costo operativo por consumo energético tomando en cuenta la instalación fotovoltaica. De esta forma, se tiene un panorama más real de los costos de la parte mecánica del proyecto. Esto se muestra en el **Cuadro 6.18**. Vale destacar que para convertir el valor de consumo energético de colones a dólares se usó un tipo de cambio de 571 colones/\$.

Cuadro 6.18: Comparación de costos tomando en cuenta la instalación fotovoltaica (Elaboración propia, 2018)

Detalle	Valor	Porcentaje del proyecto
Total por instalación	\$ 5 308 438,37	63 %
Total por consumo energético con paneles solares	\$3 072 553,04	37 %
Total	\$ 8 380 991,41	100 %

Cuadro 6.19: Comparación de costos solo con energía de la red de Coopeguanacaste (Elaboración propia, 2018)

Detalle	Valor	Porcentaje del proyecto
Total por instalación	\$ 5 308 438,37	50 %
Total por consumo energético sin paneles solares	\$ 5 325 011,34	50 %
Total	\$ 10 633 449,71	100 %

A manera de comparación del ahorro generado por optar por la opción de la instalación fotovoltaica, se muestra el **Cuadro 6.19**. En él se aprecia el costo del proyecto en caso de optar

por utilizar solo la energía de la red de Coopeguanacaste. De esta forma se puede observar que la diferencia de costos es de aproximadamente \$2,2 millones, lo cual equivale a un 27 % del costo del proyecto tomando en cuenta la instalación fotovoltaica. Asimismo, se puede ver cómo de un caso al otro, el costo de la compra de equipos y de construcción de elementos civiles pasa de un 63 % a un 50 %. Asimismo, el costo por consumo energético se mueve de un 37 % a un 50 %. Esto último, indica que la decisión de utilizar la instalación fotovoltaica parece generar grandes ahorros y una relación lógica entre costos.

6.6. Cotejo con indicadores de rendimiento

Para poder tener una idea objetiva del resultado del diseño propuesto, se necesita realizar una comparación con los resultados obtenidos en otros proyectos. Estos funcionan como una referencia y permiten discernir si el diseño es competitivo o no. Para ello, se plantea comparar el costo del proyecto propuesto con otros proyectos que tengan la misma finalidad. En este caso, se ha elegido realizar la comparación con proyectos que tiene el gobierno de Costa Rica para atacar la problemática de la falta de agua en la zona de Playa Potrero. Estos fueron explicados en la sección 2.3.2. Asimismo, se hace la comparación del costo por metro cúbico para plantas desalinizadoras por ósmosis inversa, con un ámbito propuesto en el libro *Desalination Engineering Planning and Design* (Voutchkov, 2013).

6.6.1. Cálculo del costo del agua por metro cúbico

Para conocer el costo por metro cubico, se comienza por recordar el precio del proyecto considerando la compra y construcción de varios elementos del sistema o costo por instalación. Asimismo también se debe tener presente el costo total del proyecto que considera este último precio más el operativo por energía de la planta. Estos valores se calcularon en la sección 6.5 y se muestran en el **Cuadro 6.20**.

Cuadro 6.20: Costos iniciales del proyecto diseñado (Elaboración propia, 2018)

Detalle	Valor
Costo por instalación	\$ 5 308 438,37
Costo por instalación y operativo por energía	\$ 8 395 578,38

Para poder obtener el costo del metro cúbico de agua producida en el proyecto, además de los costos ya conocidos, se debe estimar un costo por imprevistos, el costo de mantenimiento y el costo de la compra del lote. Vale recalcar que estos tres, se estiman por medio de un porcentaje basado en la experiencia. Estos no son calculados técnicamente ya que su valor depende de la operación propia de la planta. De esta forma, variará según sea el manejo, el uso y el mantenimiento que se le dé. Asimismo, también variará según otros factores externos que dependerán de la economía y no son predecibles. Por ello, esta estimación que se presenta a continuación se hace en base al criterio profesional y la experiencia del Ing. Sergio Ferreto (S. Ferreto, comunicación personal, 17 de abril de 2018).

Para estimar los imprevistos se ha asumido un 10 % del costo por instalación. Este valor puede oscilar entre 3 % y 10 % según la dimensión y la experiencia que se tenga en proyectos a fines al diseñado. Como en este caso se trata de un proyecto del cual no se tiene mucha

experiencia en el país, se ha optado por el límite superior de dicho ámbito. Asimismo, el costo de mantenimiento se ha considerado como un 5 % anual del costo por instalación. Se debe recordar que la vida útil proyectada es de 25 años. Este valor es considerado en el cálculo del costo de mantenimiento. Por último, para estimar el costo de la compra del lote, se debe tener presente que el área del mismo es de $19\,659\text{ m}^2$ según se mencionó en la sección 4.4.1. Se ha considerado un precio de $\$30/\text{m}^2$. Esto tomando en cuenta que es un terreno en las cercanías de la costa. Al multiplicar dicha área por el precio por metro cuadrado, se tiene dicho costo. Todos ellos se pueden observar en el **Cuadro 6.21**.

Cuadro 6.21: Costos estimados relacionados al proyecto diseñado (Elaboración propia, 2018)

Detalle	Valor
Costo por imprevistos	\$ 530 844
Costo por mantenimiento	\$6 635 548
Costo por compra del lote	\$ 589 770

Por último, para conocer el costo final estimado del proyecto se debe hacer la suma del costo de la compra y construcción de varios elementos del sistema, del costo operativo por energía, del costo por imprevistos, del costo por mantenimiento y del costo por la compra del lote. El resultado obtenido es de \$16 151 740,18.

Para conocer el costo del metro cúbico de agua del proyecto, se debe conocer también la producción total generada a lo largo de los 25 años. Esta se obtiene sumando la demanda total de agua de todos los años mostrados en el **Cuadro 4.17**, dando como resultado $24\,634\text{ m}^3/d$. Al multiplicar este valor por 365 días que tiene el año se obtiene que la producción total es de $8\,991\,410\text{ m}^3$. Finalmente, al dividir el costo final estimado entre la producción total se obtiene un costo por metro cúbico de $\$1,8/\text{m}^3$.

6.6.2. Comparación del costo del diseño con los costos de otros proyectos

Los dos proyectos del gobierno con los que se comparará el diseño propuesto serán el Acueducto Regional Costero Cantón de Santa Cruz-Acueducto Nimboyores y PAACUME. El primero de ellos tiene un costo inicial de \$13 000 000, esto según lo mencionado en la sección 2.3.2. A este costo se le debe sumar un costo del 5 % por imprevistos. Este porcentaje se elige, conociendo que es un proyecto a fin y del que se tiene experiencia en el país, aparte que es de gran magnitud. Por lo tanto, se cumple con tomar un valor bajo del porcentaje mencionado anteriormente para la estimación de este tipo de costos. Para mantenimientos se opta por estimar un 5 % anual. Nuevamente, este último se ha proyectado por los 25 años de vida útil del diseño. Se debe destacar que estos porcentajes son con base en el costo inicial. La suma de estos costos adicionales al inicial es de \$ 16 900 000. De esta forma, al sumar todos los costos, se tiene uno final de \$29 900 000.

Seguidamente se conoce de la sección 2.3.2 que el proyecto tiene un caudal total de 188,8 L/s ($16\,312,32\text{ m}^3/d$). De esta forma, al realizar la proyección para los 25 años, se cuenta con una producción total de $148\,849\,920\text{ m}^3$. Así, al dividir el costo total entre la producción se obtiene un costo de $\$0,20/\text{m}^3$.

El proyecto PAACUME cuenta con un costo inicial de \$450 000 000 según lo mencionado en la sección 2.3.2. En este caso también se deben considerar los mismos costos mencionados en el proyecto anterior. Se han tomado los mismos porcentajes, dando como resultado \$585 000 000 de costos adicionales. Al totalizar se tiene un costo final de \$1 035 000 000. El caudal manejado en este proyecto es de 20 000 L/s ($1\,728\,000\text{ m}^3/d$) según la sección 2.3.2. Al proyectar la producción total por 25 años se obtiene como resultado $15\,768\,000\,000\text{ m}^3$. Así, se obtiene un costo de $\$0,07/\text{m}^3$.

Como se puede apreciar, los costos por metro cúbico de agua producida de estos dos proyectos del gobierno son 9 y 26 veces menores correspondientemente que el respectivo costo del diseño planteado. Esto avisa que económicamente es más barato construir los proyectos del gobierno. Este resultado se debe en parte a que al ser proyectos de producción de agua a gran escala, sus costos se diluyen.

Viendo solo estos resultados, se podría pensar que el proyecto diseñado es caro. Sin embargo, al compararlo con proyectos de ósmosis inversa, estos se encuentran en un ámbito entre $\$0,5/\text{m}^3$ y $\$3,0/\text{m}^3$ (Voutchkov, 2013). Por lo tanto, se aprecia que el costo final por metro cúbico del diseño, se encuentra a la mitad de dicho ámbito. Así, se puede decir que el diseño propuesto cumple con los costos normales que tienen los proyectos de desalinización por ósmosis inversa. Por lo tanto, la decisión de ejecutar el proyecto se debe basar en un análisis de los beneficios y perjuicios que tiene la instalación de un proyecto de desalinización, en comparación con los que tiene el gobierno. En dicho cotejo entran factores relacionados con la independencia en la administración del proyecto y en el suministro del agua, los tiempos de construcción de cada proyecto, la disponibilidad del recurso inicial (sea agua de mar o agua dulce de alguna fuente en especial), entre otros.

De esta manera se finaliza el capítulo referente a la alimentación energética de los equipos mecánicos y los aspectos relacionados con la operación y el mantenimiento de los elementos contemplados en el diseño. En este también se realizó el análisis económico del proyecto. Seguidamente se desarrollarán los aprendizajes que ha dejado este trabajo. Esto en forma de conclusiones.

Capítulo 7

Conclusiones

A continuación se muestran las conclusiones del proyecto. Estas se agrupan en seis temas afines al trabajo y que se derivan de sus objetivos. De esta manera, se pretende tener mayor orden y claridad del cumplimiento de los mismos.

7.1. Caracterización de la población meta

- De acuerdo a los datos suministrados por el personal de la ASADA, los consumos hídricos de la comunidad de Playa Potrero obtenidos desde mediados del 2014 hasta mediados del 2017, presentan dos épocas con diferencias marcadas. La época lluviosa, que va de junio a octubre arroja bajos consumos hídricos, mientras que la época seca que va de noviembre a abril proyecta consumos más altos, que en el año 2017 llegaron a $19\,366\ m^3$ en el mes de marzo. Por lo tanto, a la hora de operar la planta de desalinización, se debe tener presente que la época seca será la de mayor funcionamiento de la misma.
- Según los datos obtenidos de Solargis y la opinión de expertos consultados en el tema de instalaciones fotovoltaicas, el cantón de Santa Cruz es una zona que presenta excelente recurso de irradiación solar, teniendo un valor de irradiación global anual en plano inclinado de $2\,126\ kWh/m^2$. De esta forma, desde el punto de vista del recurso disponible, la zona es apta para llevar a cabo proyectos de generación de electricidad por medio de energía fotovoltaica, no necesariamente relacionados con la alimentación de plantas de desalinización.
- La comunidad de Playa Potrero presenta un gran potencial en cuanto a los recursos disponibles para aumentar su baja e indefinida actividad socioeconómica y con ello su calidad de vida. Aparte del recurso solar ya mencionado, presenta grandes cantidades de terrenos baldíos y un recurso hídrico abundante en el mar debido a ser una zona costera, como materia prima para la desalinización. Al poner en marcha un proyecto como el propuesto, y poder convertir dichos recursos en agua utilizable por el ser humano, las oportunidades de atraer actividades turísticas en la zona, de hacer alianzas relacionadas con el agua y la venta de tomate con comunidades aledañas, traerá grandes beneficios a la misma. Asimismo, tiene las condiciones necesarias para ser una comunidad pionera en proyectos de desalinización para comunidades costeras en el país.
- Por las características socioeconómicas que presenta la comunidad de Playa Potrero, se deben buscar soluciones prácticas, que no requieran de gran cantidad de personal y que

no sean técnicamente complejas. De esta forma, a la hora de seleccionar los métodos de desalinización a ser tomados en cuenta para su implementación en el proyecto, se consideraron los métodos más comercialmente utilizados. Estos son MED, MSF, CV y RO.

- La zona de Playa Potrero cuenta con las condiciones necesarias para poder cultivar tomate en un invernadero, según lo estudiado en las temperaturas y humedades de la misma. El diseño propuesto cumple con proveer abastecimiento para un invernadero de 2 653 m^2 iniciales en el 2020, utilizando agua desalinizada, mas no remineralizada.

7.2. Selección del método de desalinización

- Luego de utilizar una herramienta de decisión objetiva, como lo es una matriz de decisión de criterios múltiples, la tecnología comercial de desalinización que mejor se adapta a los propósitos del proyecto es RO. Esto debido a que presenta una gran vida útil y es la tecnología que tiene el menor consumo energético por cantidad de agua producida, las cuales fueron las características con mayor peso en la decisión.

7.3. Determinación de las condiciones de frontera del proceso

- El diseño propuesto es dependiente de las condiciones iniciales dadas por un estudio fisicoquímico realizado al agua de alimentación, en este caso, el agua marina de Playa Potrero. El análisis de la relación entre esta alimentación y la calidad del producto final es llevada a cabo por el fabricante del módulo únicamente y no existe ninguna normativa nacional que determine cómo llevarlo a cabo.
- El producto final del módulo de desalinización seleccionado cumple con los contenidos de las normativas que regulan este tema a nivel nacional, como lo son la Ley Constitutiva del AyA (Ley 2726, 1961), Ley General de la Salud (Ley 5395, 1973), Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Norma 38914, 2015) y el Reglamento para la calidad del agua para consumo humano en establecimientos de salud (Norma 37083, 2012), entre otras.
- Al ser una tecnología relativamente nueva en el país, la legislación existente para plantas de desalinización es vaga y desactualizada con la realidad nacional. Esta requiere de mayor trabajo para adaptarla a las capacidades de las plantas a instalar en el país y a las condiciones de las costas costarricenses. Estas normativas también deben estar al día con los lineamientos internacionales en esta materia de manera que el país no quede rezagado o se le dificulte el desarrollo de este tipo de iniciativas.

7.4. Dimensionamiento del sistema

- La estimación de demanda hídrica para el año 2045 es de 1 408 m^3/d , considerando el valor máximo de cada mes según los consumos obtenidos de la ASADA y el porcentaje de crecimiento anual para comunidades rurales. A su vez, se concluye que existe un faltante de datos necesarios para realizar una proyección más detallada, tales como cantidad de

habitantes que abastece la ASADA y porcentaje o historial de crecimiento de la población o de los servicios de agua potable.

- De la proyección de demanda de consumo hídrico total, un 88 % pertenece a agua para consumo humano, un 9 % para la climatización del invernadero y un 3 % para el riego del invernadero. De esta forma se muestra que destinar el remanente de la capacidad del sistema a un invernadero, una vez atendida la demanda de agua potable, puede llegar a generar más oportunidades de desarrollo económico en la comunidad.
- Las ubicaciones propuestas para la toma de agua marina y la descarga de salmuera son determinadas por los estudios batimétricos, de suelos y de comportamiento de las corrientes marinas, fundamentales para llevar a cabo proyectos de desalinización.
- La planta de desalinización diseñada tiene la capacidad de abastecer a 1440 personas al inicio del período en el año 2020 y, de mantenerse el porcentaje de crecimiento, a 3405 personas al final de la proyección del mismo, en el año 2045. De esta forma el proyecto produce $8\,991\,401\,m^3$ de agua desalinizada a lo largo de los 25 años, requiriendo 852,8 GWh. Asimismo, se necesitan aproximadamente $19\,659\,m^2$ de terreno para abarcar el área requerida para la totalidad del proyecto, incluyendo etapas de alimentación energética y de trabajos misceláneos.
- Para el cálculo de la demanda energética de los equipos, se ha hecho una estimación de las horas de operación con base en los consumos máximos obtenidos del personal de la ASADA. La planta operará ajustada a la demanda, de manera variable y no siendo siempre 24 horas diarias, llegando así a un resultado más apegado a la realidad de la comunidad y obteniendo mayores ahorros económicos, en comparación con una operación continua de la planta.
- El diseño requiere de grandes construcciones subterráneas, debido a lo estipulado en la legislación nacional sobre el uso de zonas aledañas a las costas y por optar por una configuración de vasos comunicantes.

7.5. Selección de equipos

- El sistema diseñado requiere de cuatro sistemas de bombeo y cinco sistemas de tuberías. Ellos contemplan la implementación de 15 bombas (la mayoría centrífugas) y la construcción de 4 tanques con sus respectivas casas de máquinas. Asimismo, se requiere la utilización de una toma de agua submarina, una tubería de alimentación de agua marina y una válvula de mariposa de 700 mm (28 pulgadas) a la entrada al tanque principal. Las bombas están elaboradas a base de acero inoxidable y las tuberías de HDPE.
- Para la planta propuesta, se requieren 3849 paneles solares, 10 inversores y 1 transformador eléctrico.
- El módulo de desalinización presentado por la empresa Aqua Pro ofrece las mejores condiciones que demanda la realidad de la ASADA de Playa Potrero, principalmente considerando los costos de la entrega “llave en mano” del producto y los consumos eléctricos. A pesar de que en otras opciones comerciales se pueden obtener mejores calidades de agua, porcentajes de recuperación y capacidad, el módulo presentado por Aqua Pro

cumple con todos los requisitos y normativas necesarias. Esta es la opción más viable para la ASADA, en cuanto a economía se refiere.

- Para poder cubrir la demanda hídrica estimada se necesitan tres módulos de desalinización como el seleccionado. Estos entran a operar según un plan establecido de introducción. Este a su vez ayuda a diluir la compra y construcción de varios componentes que no se requieren al inicio del proyecto.
- Los tanques más grandes del sistema, correspondientes a los de agua marina y agua potable, requieren ser divididos por secciones independientes. Esto con el objetivo de poder facilitar su mantenimiento, de no interrumpir por completo el funcionamiento de la planta al realizar dichas labores y para tener los respaldos requeridos, minimizando los paros operativos.
- Basado en un análisis de riesgos, se determinó que el incorrecto funcionamiento de la válvula de mariposa reguladora, ubicada a la entrada del tanque de agua marina, es el que traería las consecuencias más severas al proyecto. Lo anterior se debe a que generaría una interrupción de la alimentación del recurso básico para desalinizar, categorizando este elemento como el más crítico del proyecto. Adicionalmente, los cortes prolongados en el fluido eléctrico son la mayor vulnerabilidad que posee el sistema, debido a la falta de un respaldo energético.
- La energía renovable más compatible con el proyecto de desalinización es la fotovoltaica, en comparación con las demás valoradas. Esto debido a su alto recurso solar y a que las épocas de mayor y menor demanda de agua coinciden con las de irradiación solar respectivamente.

7.6. Estimación del costo de construcción de una planta piloto

- El costo por compra de equipos electromecánicos y construcciones de tanques y zanjas es de \$5 308 438. Al considerar el consumo energético, los imprevistos, mantenimiento y compra del lote, el costo total del proyecto se estima en \$16 151 740. Esto cubre instalación y 25 años de operación de la planta. De esta forma, el primer rubro mencionado representa un 33 % del total. Vale destacar que conforme pasa el tiempo, las tecnologías de desalinización y de energía fotovoltaica se irán desarrollando y serán comercialmente más accesibles.
- La combinación de energía fotovoltaica y red eléctrica ordinaria como fuentes energéticas primaria y secundaria, respectivamente, trae ahorros económicos de hasta \$2,2 millones a lo largo de todo el proyecto. Esto en comparación con la utilización de únicamente la energía de red de Coopeguanacaste. Esta decisión toma en consideración la legislación nacional, costos actuales de la tarifa de generación distribuida y tarifa regular, la gran demanda energética que requiere la planta y el excelente recurso solar que presenta la zona.
- La realización de proyectos de desalinización en terrenos lo más cercano posible a la costa abarata sus costos. Esto debido a que se tienen menores distancias y se requieren menores diámetros de tuberías, bombas de menor capacidad, menor alimentación energética, menores tamaños de zanjas, entre otros.

- El elemento más costoso del proyecto es la construcción del tanque de alimentación de agua marina. Este acapara el 36,57% del costo por compra de equipos electromecánicos y construcciones de tanques y zanjas. Dicho resultado se debe a que presenta grandes dimensiones para poder cumplir con la configuración de vaso comunicante y poder cumplir con el tiempo de respaldo de 24 h. Los siguientes tres elementos de mayor costo son los módulos de desalinización, la tubería de la toma de agua marina y la instalación de alimentación energética, con un porcentaje conjunto del 47,37%.
- El costo de producción del agua desalinizada en el proyecto es de \$1,8/m³. Al compararla con los costos de producción del agua unitarios de los proyectos del Acueducto Nimboyores y del PAACUME, esta es respectivamente 9 y 26 veces más cara. Esto se debe a que dichos proyectos son de producciones de agua a gran escala. Por lo tanto, se rigen bajo economías de escala y hacen que este proyecto no pueda competir con ellos.
- La instalación de la planta de desalinización es una solución real a la problemática actual que presenta la comunidad de Playa Potrero. Algunas de las razones que lo justifican son: obtener una solución en un tiempo relativamente corto en comparación con los proyectos de Gobierno, aprovechar la gran capacidad de agua del océano como fuente de agua permitiendo una operación continua de ser necesario e independencia en el suministro de agua para la comunidad de Playa Potrero. Asimismo es una solución planificada a mediano plazo. Por más que la inversión inicial es alta, esta se ha diluido en tres períodos, teniendo que desembolsar aproximadamente un 74% del presupuesto en la primera etapa, un 9% en la segunda y un 17% en la tercera.

Se concluye así, con el diseño de una planta de desalinización que puede suministrar las demandas establecidas, escogiendo además la energía solar fotovoltaica como mejor opción de alimentación, debido a sus ahorros económicos e impacto ambiental. La decisión de importar las máquinas desalinizadoras en contraste con usar diseños locales, recae en varios aspectos. Por más que en el país se cuenta con la capacidad para realizar este tipo de diseños, se requieren varios años de investigación y de prueba para conocer el "know-how" del diseño y la manufactura de las piezas. Esto atrasaría la puesta en marcha del componente central de un proyecto de necesidad.

Asimismo se debe tener claro que el tipo de proyecto de desalinización planteado en esta ocasión solo es útil para suplir la demanda de pueblos cercanos a las costa con problemas de sequía. Es por ello que, se considera que en el país no se cuenta con suficiente demanda como para que sea económicamente viable la generación de este tipo de máquinas. Si se desea explorar esta campo a nivel de desarrollo y no de implementación, la de desalinización a pequeñas escalas y de manera no comercial es un área con mayor espacio de crecimiento dentro de la realidad nacional.

Capítulo 8

Recomendaciones

En el presente capítulo se realizan una serie de recomendaciones finales. Estas sirven de guía para futuras líneas de desarrollo y además se tratan temáticas a considerar en una futura valoración y ejecución del proyecto en Playa Potrero.

8.1. Recomendaciones referentes a la continuación de los estudios preliminares y de factibilidad

Estas involucran futuras acciones para complementar los estudios de factibilidad previos a la construcción de la planta, que por cuestiones de alcances o recursos no se llevan a cabo en este documento.

1. Verificación de legislaciones: la *Especificación técnica para desalinización y potabilización de agua marina* (2016) fue creada a raíz de la necesidad de legislar la construcción de futuras plantas, sin embargo, esta es una primera iteración basada en referencias internacionales que aún necesita depurarse con experiencia local. Por ello, es necesario estar en constante atención a cambios en la misma de continuar el proyecto.

También se deberán presentar estos y otros datos en los formatos estipulados por este y por las *Normas para el diseño de proyectos de abastecimiento de agua potable* (2017). Además es importante, por el eje temático de energías alternativas del proyecto, prestar atención a cambios en las actuales legislaciones sobre materia de aprovechamiento de energía y verificar si la disponibilidad para conectar fuentes generadoras fotovoltaicas a la red de Coopeguanacaste todavía es factible.

2. Planificación y estudios pendientes: en primer lugar, se deben de afinar las bases sobre las cuáles se calcularon las demandas a futuro para tener más seguridad en la proyección. Esto involucra realizar un censo para determinar la cantidad de población, obtener patrones de consumo horario e investigar sobre futuros proyectos de desarrollo urbanístico y turístico en la zona. A esto debe sumársele un estudio profundo sobre la capacidad restante de los pozos actualmente en uso para determinar su tiempo remanente de producción.

Referente a estudios técnicos, queda pendiente realizar un análisis fisicoquímico del agua justo en el lugar en donde se elija colocar la toma, mar adentro y a diferentes profundidades midiendo temperatura, nivel de aceites y otras variables. A esto debe agregarse

también un estudio particular de corrientes en el lugar, de turbidez de agua y los estudios de dilución y dispersión de la salmuera. También se deben verificar los parámetros de salida del equipo para ser corroborados con lo permitido por la legislación actual en materia de vertidos. Los estudios ambientales tanto en la toma como la descarga también son críticos antes de considerar siguientes pasos.

3. Información referente al terreno: para el terreno seleccionado es elemental investigar los datos legales relacionados, con el fin de analizar su adquisición y precio. Esto involucra la adquisición del plano catastrado, información sobre el propietario, medición de distancias a límites marítimos, entre otros. También se debe verificar cómo afectaría la torre de comunicaciones y si esta es posible de trasladar. A nivel técnico, estudios de geología también deben ser realizados, sobre todo para verificar su relación con el cero batimétrico.
4. Respecto a los estudios de obra civil e instalación: hay varios detalles civiles y de instalación que deben ser sometidos a estudios y cotizaciones más detalladas como la construcción de tanques y la inclusión de elementos como escaleras e iluminación. Es crítico estudiar la viabilidad y la metodología de construcción de los tanques por su gran profundidad, en especial el riesgo de flotación debido al contacto con los mantos freáticos. También se deben de generar planes operativos para los elementos mecánicos bajo tierra, debido a su falta de ventilación.
Respecto a instalación mecánica, también se deben tener cotizaciones más exactas respecto a la soportería de la tubería y los elementos de casa de máquinas. Además, es importante verificar las alturas sobre el lecho marino en la toma y diseñar la metodología de instalación de esta y las tuberías submarinas y subterráneas.
Además de esto, se deben tomar en cuenta aspectos arquitectónicos y de seguridad ocupacional en el desarrollo del proyecto. Vulnerabilidades sísmicas también deben de ser consideradas.
5. Recomendaciones referentes al invernadero: con el fin de continuar la viabilidad y poder concluir un plan de construcción detallado, es necesario ubicar y dimensionar el invernadero en algún terreno disponible de la zona delimitada. También se debe estudiar más a fondo las temperaturas y humedades locales para afinar los cálculos de demanda. Es recomendable realizar un estudio socioeconómico para determinar si el cultivo seleccionado (tomate) es el adecuado para la zona o si se debe valorar otra opción.
6. Posibles fuentes de abaratamiento en el costo del proyecto: el proyecto tiene varios espacios en los que se puede abaratar su costo con el fin de volver el mismo más accesible. Estos se presentan a continuación.
 - El diseño propuesto valora tiempos de respaldo muy conservadores que pueden ser reducidos mediante la reducción en el volumen de los tanques, abaratando uno de los rubros más significativos del costo inicial.
 - Con los estudios respectivos de batimetría, corrientes y otros, se puede valorar acortar las tuberías de succión y descarga de agua de suministro y salmuera. Esto abarataría los costos por tubería de manera significativa. De ser posible, también sería recomendable volver a valorar los sistemas de limpieza de la toma por aire comprimido.

- Se deben de verificar los ahorros operativos debido a la producción de agua semitratada para el invernadero. Esto conlleva una ganancia al no utilizar químicos para la remineralización de agua que generará ingresos con la actividad agropecuaria.
- Si se retoma el proyecto en algunos años, también será necesario realizar de nuevo las cotizaciones de los elementos presentados aquí. Estos pueden abarataarse, al encontrarse esta y otras tecnologías de desalinización en pleno desarrollo.
- Se deben de buscar posibles crecimientos turísticos en la zona que impulsen la demanda de agua de calidad con el fin de abaratar el proyecto por cuestiones de escalas de producción. También se debe de realizar una investigación de proyectos de desalinización cercanos con el fin de buscar unir demandas y abaratar el costo unitario. Esto último también con el fin de no generar una densidad alta de succiones y descargas en la bahía que puedan generar un impacto ambiental negativo.

8.2. Recomendaciones a tomar en cuenta durante la operación de la planta potabilizadora

Las siguientes observaciones deben considerarse a la hora de operar el sitio, con el fin de facilitar su día a día y futuros proyectos relacionados:

1. Generación de históricos de consumo y valoración de expansiones: la nueva planta deberá mantener un estricto control del consumo y demanda del recurso hídrico. Esto no solo para gestionar recursos y administrar las alternaciones de energía solar con la alimentación ordinaria, si no también para facilitar posibles expansiones y proyectos futuros. Esta generación de datos determinará cambios en la línea temporal de los planes de introducción de etapas. Es importante destacar que, a pesar de diseñar el proyecto entero contemplando tres etapas, las características de la tubería de suministro de agua y el espacio disponible del terreno pueden soportar la introducción de un cuarto módulo de desalinización en caso de necesitarlo. Este espacio se presenta en la **Figura 8.1**. De presentarse esta situación, se deben de realizar cálculos de bombeo para determinar nuevas condiciones operativas.

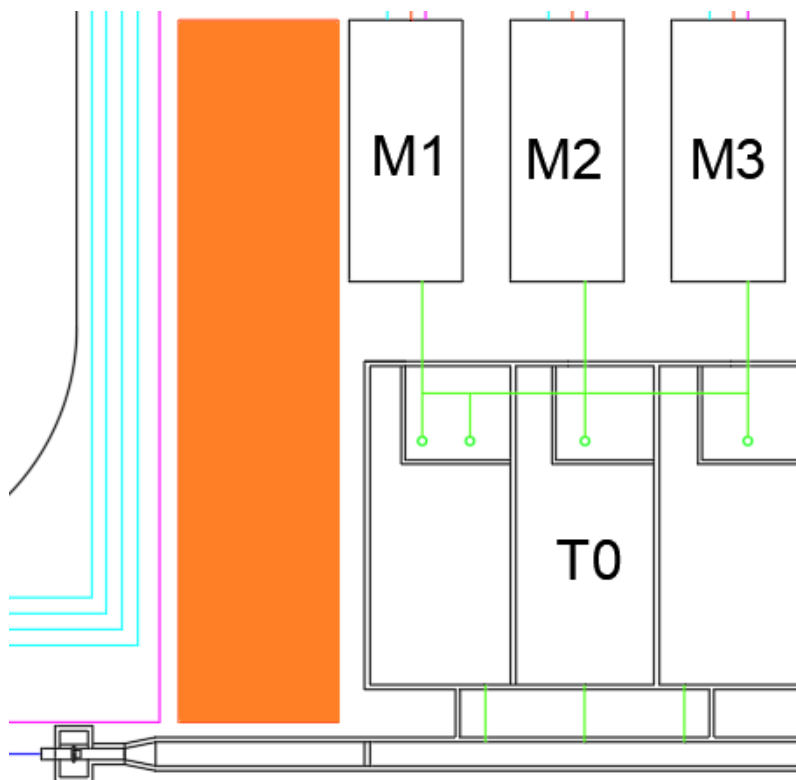


Figura 8.1: Vista del sector principal de la planta, en naranja se marca el espacio para ampliación de un cuarto módulo y tanque de suministro (Elaboración propia, 2018)

2. Vida útil y mejora continua en planes de mantenimiento: es elemental recordar que los planes de mantenimiento propuestos son iniciales y deberán de ser mejorados conforme se dé la operación de la planta a través del tiempo. Los mismos deben enfocarse en combatir la corrosión por el alto ambiente salino y verificar los cambios y manejo de consumibles en los equipos de los módulos como tal, al ser la tecnología más diferente a lo usual en el país. Es vital establecer el cambio periódico de membranas, ya que de estas solo se tiene un ámbito teórico de cambio, de 3 a 5 años operativos.
3. Concientización de la población meta: al ver el costo de inversión que requiere producir agua potable de fuentes alternativas, como lo es la desalinización, vinculando además lo anterior a la escasez de agua que se presenta a nivel mundial, se requiere un esfuerzo de concientización a la población sobre el uso racional de este recurso.

8.3. Futuras campos de estudio referentes a lo analizado

Esta sección abarcará una lista de oportunidades de investigación y desarrollo que se observaron a lo largo del proyecto, con el fin de que se tomen en cuenta en futuros proyectos de generación de conocimiento. Esto involucra mayormente el área de ingeniería, pero también otras temáticas:

- Desalinización por medio de barcas flotantes.

- Implementación de tecnologías no comerciales de desalinización en pueblos costeros aislados.
- Investigación y desarrollo de tecnologías no comerciales de desalinización en pequeñas escalas (hogares).
- Desarrollo de almacenamiento de energía solar utilizando aguas salobres.
- Estudio de materiales especiales para evitar la corrosión en elementos mecánicos de plantas de desalinización.
- Optimización de metodologías de construcción de tanques de almacenamiento para vasos comunicantes costeros.
- Desarrollo de sistemas técnicos de mantenimiento en ASADAs.
- Diseño de los sistemas de climatización de invernaderos en zonas costeras como alternativa agropecuaria.
- Diseño de tomas de agua marinas para desalinización para plantas de baja producción.
- Métodos de excavación para instalación de tubería subterránea.

De esta manera se concluye el capítulo referente a las recomendaciones finales del proyecto.

Bibliografía

- [1] *Acciones Inmediatas para Atención de la Gestión Sostenible de Agua ante la Sequía y Acceso de Agua a las Poblaciones y Producción en la Vertiente Pacífico Norte Propuesta de Decreto Ejecutivo No. 40-MINAE-MAG-TUR*. Presidente de la República, Ministro del Ambiente y Energía, Ministro de Agricultura y Ganadería y Ministro de Turismo, San José, Costa Rica, 9 de septiembre de 2016.
- [2] Acuerdos y Alcantarillados (2001). *Normas para el diseño de proyectos de abastecimiento de agua potable en Costa Rica*. Acuerdo AN-2001-248.
- [3] Acuerdos y Alcantarillados (2017). *Diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial*. Acuerdo AN-2017-281.
- [4] Acuerdos y Alcantarillados (2016). *Especificación técnica para desalinización y potabilización de agua marina*. Acuerdo 2016-543.
- [5] Adelfang, J. (14 de marzo de 2017). *Proyecto de riego en Guanacaste avanza a paso firme*. La República, págs. 10, 11.
- [6] Agropinos (2014). *Los cultivos más lucrativos bajo invernadero*. Obtenido de agropinos.com: <https://www.agropinos.com/cultivo-lucrativo-bajo-invernadero>
- [7] Arafat, H.A, Akther, N., Daer, S., Giwa, A., Hasan, S.W y Sodiq, A. (2015). Recent advancements in forward osmosis desalination: A review. *Chemical Engineering Journal*, 281, 502-522. doi:10.1016/j.cej.2015.05.080
- [8] Araya, A. (21 de abril de 2017) Entrevista a Andrés Araya (C. A. De la Rocha Salas, G. A. Vargas Chacón, y D. Mayer Weisleder, Entrevistadores).
- [9] Arellano, F y Vargas, A. (2001). Casos e Contaminación por Intrusión en Acuíferos Costeros de la Península de Nicoya (Costa Rica). *Revista Geológica de América Central*.(25)77-84. Recuperado el 19 de mayo del 2017 de <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/8540/8065>
- [10] Arias, O y Denyer, P. (1992) Mapa geológico de las hojas Matapalo y Punta Gorda, Guanacaste, Costa Rica. [ca. 1:50 000]. Escuela de geología, Universidad de Costa Rica.
- [11] Astorga, Y. (2009). *Décimo Quinto Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible: Situación del Recurso Hídrico*. Obtenido de Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible: http://estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/015/Astorga_2009.pdf

- [12] Astorga, Y. (2016). *Gestión del recurso hídrico en Costa Rica*. Ambientico, 17-24.
- [13] Ávalos, R. A. (24 de agosto de 2016). *Cinco empresas planean construir desalinizadoras tras primer proyecto de Guanacaste*. Obtenido de La Voz de Guanacaste: <http://www.vozdeguanacaste.com/es/articulos/2016/08/24/cinco-empresas-planean-construir-desalinizadoras-tras-primer-proyecto-de>
- [14] Ayoub, G. y Malaeb, L. (2011) Reverse osmosis technology for water treatment: State of the art review. *Desalination*, 1-8. doi:10.1016/j.desal2010.06.001
- [15] Barquero, M. (24 de abril de 2014). *Familias consumen más frutas y hortalizas* Obtenido de nacion.com: http://www.nacion.com/economia/consumidor/Familias-consumen-frutas-hortalizas_0_1410458966.html
- [16] Barrios, C. Torres, R y Lampoglia, T. (2009). *Guía de Orientación en Saneamiento Básico para Alcaldías de Municipios Rurales y Pequeñas Comunidades*. Obtenido el 24 de Abril del 2017 de Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-1sas.htm#arrib>
- [17] Belvaux, E.; Coates, D.; Pierre-Louis, K.; Blumenfeld, S. & Lu, C. (2010). *Guía de Buenas Prácticas: Agua Potable, Diversidad Biológica y Desarrollo*. Convenio sobre la Diversidad Biológica.
- [18] Benavides, C.; López, A y Alfaro, M. (2016). *Diseño, evaluación y operación de ambientes protegidos en función del clima*. Escuela de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Costa Rica.
- [19] Bosque, D. (24 de julio de 2014). *Guanacaste está sedienta*. Obtenido de nacion.com: http://www.nacion.com/nacional/infraestructura/Guanacaste-sedienta_0_1428657137.html
- [20] Buenaventura, A. y García, L. (2018). Solar thermal-powered desalination: A viable solution for a potential market *Desalination*, 60-69 doi:10.1016/j.desal.2017.12.025.
- [21] Campos, C. (s.f). *The Economics of Desalination for Various Uses*. Recuperado de CETAqua Water Technology Center: <http://www.rac.es/ficheros/doc/00731.pdf>.
- [22] Cárdenas, J. P. (2004). *Procesos de Privatización de los servicios de agua potable y saneamiento en Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- [23] Castilla, N. (2013). *Greenhouse Technology and Management*. 2da ed. Croydon: CABI
- [24] Cervantes, M. (2015). *Nebulización en invernaderos*. Recuperado el 16 de julio del 2017 de https://www.youtube.com/watch?v=W49RBR_Xzn0
- [25] Chandrashekhara M. y Yadav A. (2017). Water desalination system using solar heat: A review. *ScienceDirect*, (67), 1308-1330.
- [26] CIMAR. (2017) *Corrientes marinas*. Recuperado el 25 de octubre del 2017 de <http://miocimar.ucr.ac.cr/corrientes-marinas>
- [27] Cipollina, A, Micale, G y Rizzuti, L. (2009). *Seawater Desalination: Conventional and Renewable Energy Processes*. Palermo: Springer.

- [28] Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (2017). *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones*.
- [29] Contraloría General de la República. (2013). *Informe de la auditoría de carácter especial sobre la razonabilidad del control ejercido por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados sobre la gestión de las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillado Comunales*. San José, Costa Rica.
- [30] Cooley, H., Gleick, P. y Wolff, G. (2006). *Desalination, with a grain of salt: A California perspective*. Recuperado de Pacific Institute: <http://pacinst.org/wp-content/uploads/2015/01/desalination-grain-of-salt.pdf>
- [31] CoopeGuanacaste, R.L (2017). *Generación Distribuida*. CoopeGuanacaste: <http://www.coopeguanacaste.com/es/servicios/generacion-distribuida>
- [32] CoopeGuanacaste, R.L (2017). *Tarifas ARESEP*. CoopeGuanacaste: <http://www.coopeguanacaste.com/es/servicios/facturacion-de-energia/tarifas-aresep>
- [33] Coto Hernández, M. (2016). *Paacume: más que un proyecto de infraestructura, un proyecto de desarrollo*. *Ambientico*, 32-37.
- [34] Council Directive 98/83/EC: Directive Drinking Water. 3 de noviembre de 1998.
- [35] Custodio, E. y Bruggeman, G. (1987) *Groundwater problems in Coastal Areas*. Recuperado el 2 de mayo del 2017 de <http://unesdoc.unesco.org/images/0007/000745/074510eo.pdf>
- [36] Çengel, Y. A. y Boles, M. A.. (2012) *Thermodynamics: An engineering approach*. 7th ed. Boston: McGraw-Hill.
- [37] Groupe CNIM. (2014, 25 de marzo) *Compact Linear Fresnel Reflector technology by CNIM-Concentrating solar power plant*. Recuperado el 2 de abril del 2018 de <https://www.youtube.com/watch?v=pP48pAb8sec>
- [38] Davies, P. (2016). *Sustainable Energy Systems for Seawater Reverse Osmosis Desalination*.
- [39] *Declaratoria de Interés Público del Programa Integral para el Abastecimiento de Agua para Guanacaste (Pacífico Norte) conocido como PIAAG No. 39145-MP-MIDEPLAN-MINAE-MAG*. Presidente de la República, Ministro de la Presidencia, Ministra de Planificación Nación y Política Económica, Ministro del Ambiente y Energía y Ministro de Agricultura y Ganadería, Nicoya, Guanacaste, Costa Rica, 25 de julio de 2015.
- [40] Departamento de Prevención y Mitigación del Sistema de Información para Emergencias de la Comisión Nacional de Emergencias. (2003). *Mapa de Amenazas Naturales Potenciales del Cantón de Santa Cruz*.
- [41] Departamento de sostenibilidad y Ambiente, Victoria, Australia. (2006). *Water salinity tolerance of different crops and stock*.
- [42] Dévora, G.; González, R. y Ruiz, S. (2013). Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4(3), 27-46.

- [43] Goykovic, V. y Saavedra de Real, G. (2007). Algunos efectos de la salinidad en los cultivos de tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA*, 25 (3), 47-58.
- [44] De Vos, A.; Bruning, B.; Van Straten, G.; Oosterbaan, R.; Rozema, J. y Van Bodegom, T. (2016). *Crop salt tolerance under controlled field conditions in The Netherlands, based on trials conducted by Salt Farm Texel*. Salt Farm Texel.
- [45] Escobar, H. y Lee, R. (2009). *Manual de producción de tomate bajo invernadero*. Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- [46] Environmental Protection Agency. (2015). *Understanding the Safe Drinking Water Act*. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-04/documents/epa816f04030.pdf>
- [47] El-Dessouky, H. T., y Ettouney, H. (2002). *Fundamentals of Salt Water Desalination*. Amsterdam, Holanda: Elsevier Science B.V.
- [48] European Union Environment. (2016). *Directive Drinking Water: The Directive Overview*. http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/legislation_en.html.
- [49] Equipo de proyectos de FUNDES. (2017). *Impacto del gestión comunitaria del agua en el desarrollo de Costa Rica: retos y oportunidades de las OCSAS*. Costa Rica: Fundación Avina.
- [50] Fernández, M.; Aguilar, M.; Carrique, J.; Tortosa, J.; García, C.; López, M. y Pérez, J. (2014). *Suelo y medio ambiente en invernaderos*. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural.
- [51] Fitchette, T. (4 de enero del 2016). *Could coastal desalination efforts help farmers?*. Obtenido de Western Farm Press: <http://www.westernfarmpress.com/blog/could-coastal-desalination-efforts-help-farmers>
- [52] Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T. y Melin, T. (2007). State-of-the-art of reverse osmosis desalination. *Desalination*, 1-76. doi:10.1016/j.desal.2006.12.009
- [53] García, M.; Zermeño, A.; Lee, V.; Castro, B.; Briones, F. y Aguirre, M. (2004). Efecto de la nebulización en la temperatura y humedad del aire y su relación con el cuajado y rendimiento de frutos de naranjo navel. *Agrociencia*, 38, 643-651.
- [54] Ghaffour, N; Bundschuh, J; Mahmoudi, H y Goosen, M. (2014). Renewable energy-driven desalination technologies: A comprehensive review on challenges and potential applications of integrated systems. *Desalination*, 94-114.
- [55] Giwa, A., Dufour, V., AlMarzooqi, F., AlKaabi, M., y Hasan, S. W. (2016). Brine management methods: Recent innovations and current status. *Desalination*, Under revi, 1-23. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.12.008>
- [56] Gobierno de la República de Costa Rica. (2016). *Guanacaste: Mesa de Trabajo*. Obtenido de <http://presidencia.go.cr/guanacaste/>
- [57] Google Earth (versión 7.3.0.3832 (64-bit)) [Software]. (2017). Google Inc. Descargado de: <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>

- [58] Greenlee, L., Lawler, D., Freeman, B., Marrot, B. y Moulin P. (2009). Reverse osmosis desalination: water resources, technology and today's challenges. *Water Research*, 2317-2348. doi:10.1016/j.watres.2009.03.010
- [59] Hamed, O. (s.f.). *Scale Control in Multi Stage Flash (MSF) Desalination Plants – Lessons Learnt*. Desalination Technologies Research Institute.
- [60] Hernández, L. (2006). *Cálculo de Redes de Agua Potable Considerando Flujo Permanente*. (Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México). Recuperado el 23 de mayo del 2017 de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/817/Tesis-Maestr%C3%ADa.pdf?sequence=1>
- [61] Holdridge, L. (2000) *Ecología basada en Zonas de Vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica: IICA.
- [62] Holdridge, L. (2000) *Ecología basada en Zonas de Vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica: IICA.
- [63] Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2015). *Política de organización y fortalecimiento de la gestión comunitaria de los servicios de agua potable y saneamiento*. San José, Costa Rica.
- [64] Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (s.f.). *Manual Informativo: Aspectos básicos para la gestión de las nuevas Juntas Directivas de las ASADAs*. San José.
- [65] Instituto Geológico y Minero de España. (s.f.). *Obras de Captación: Pozos y Sondeos*. Recuperado el 25 de mayo del 2017 de: http://www.igme.es/ZonaInfantil/MateDivul/guia_didactica/pdf_carteles/cartel4/CARTEL%204_4-5.pdf
- [66] Instituto Geográfico Nacional. (s.f.). *Geoportal del Sistema Nacional de Información Territorial*. Recuperado el 23 de octubre de 2017 de: <http://www.snitcr.go.cr/Visor/index?p=cHJveWVjdG860mxbW10ZXM=>
- [67] Instituto Meteorológico Nacional. (2017) *Promedios mensuales de datos climáticos*.
- [68] Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa. (n.d.). *Biblioteca Digital del ILCE*. Recuperado el 3 de marzo de 2017 de La Hidrosfera. Desalinización del agua de mar: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/097/htm/sec_10.htm
- [69] Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas (IUPA). (s.f) *Lección 12. Piezometría(I). Tipos de nivel piezométrico. Fluctuaciones del nivel piezométrico. Superficie piezométrica*. España: Grupo de Gestión de Recursos Hídricos de la Universitat Jaume. Recuperado el 20 de mayo del 2017 de <http://www.agua.uji.es/pdf/leccionRH12.pdf>
- [70] ITTC (International Towing Tank Conference). (2011) *Fresh Water and Seawater Properties*. Recuperado el 20 de enero de 2018 de <https://ittc.info/media/4048/75-02-01-03.pdf>
- [71] IRENA (International Renewable Energy Agency). (2012) *Water Desalination using Renewable Energy: Technology Brief*.

- [72] Jacobsen, R. (2016). *Israel Proves the Desalination Era Is Here*. Scientific American. Recuperado el 15 de julio del 2017 de <https://www.scientificamerican.com/article/israel-proves-the-desalination-era-is-here/>
- [73] Jimenez, H. (1980) *Anatomía del Sistema de Clasificación de Holdridge*. Cartago: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- [74] Jiménez, M. (2013). *Manual para el diseño de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario*. Recuperado 24 de Abril del 2017 de Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Veracruzana: <https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>
- [75] Kabeel, A. E., y El-Said, E. M. S. (2015). Water production for irrigation and drinking needs in remote arid communities using closed-system greenhouse: A review. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18(2), 294-301. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2014.12.003>
- [76] Kabeel, A. E., Hamed, M. H., Omara, Z. M., y Sharshir, S. W. (2013). Water Desalination Using a Humidification-Dehumidification Technique—A Detailed Review. *Natural Resources*, 4(3), 286-305. <https://doi.org/10.4236/nr.2013.43036>
- [77] Kacira, M. (2016). *Control ambiental en invernaderos*. XI Congreso Internacional del Tomate.
- [78] Karagiannis, I. C., y Soldatos, P. G. (2008). Water desalination cost literature: review and assessment. *Desalination*, 223(1-3), 448-456. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.071>
- [79] Khawaji, A. D., Kutubkhanah, I. K., y Wie, J. M. (2008). Advances in seawater desalination technologies. *Desalination*, 221(1-3), 47-69. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.067>
- [80] KOCH Membrane Systems Inc. (2017) *Membrane Configurations* Recuperado el 14 de julio del 2017 de <http://www.kochmembrane.com/Learning-Center/Configurations.aspx>
- [81] Kotb, O. (2015). Optimum numerical approach of a MSF desalination plant to be supplied by a new specific 650 MW power plant located on the Red Sea in Egypt. *Ain Shams Engineering Journal*, (6), 257-265.
- [82] KSB. (s.f.). *Seawater desalination system*. Recuperado el 12 de julio del 2017 de <https://www.ksb.com/centrifugal-pump-lexicon/seawater-desalination-system/191728/>
- [83] *La Constitución de la Comisión de Alto Nivel para la Ejecución del Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste (Pacífico Norte) No. 38665-MP-MIDEPLAN-MINAE-MAG*. Presidente de la República, Ministra de Planificación Nacional y Política Económica, Ministro de Agricultura y Ganadería y Ministro del Ambiente y Energía, San José, Costa Rica, 8 de octubre de 2014.
- [84] Lara, J. F. (8 de septiembre de 2016). Falta de datos impide levantar plantas para potabilizar agua del océano. *La Nación*, pág. 7A.

- [85] Lara, J. F. (4 de enero de 2017). *Salinización de acuíferos pasa factura a áreas costeras*. Obtenido de nacion.com: http://www.nacion.com/nacional/servicios-publicos/Salinizacion-acuiferos-factura-areas-costeras_0_1607639237.html
- [86] Ley N 6043. Ley sobre la Zona Marítimo Terrestre, San José, Costa Rica, 16 de marzo de 1977.
- [87] Ley 93-523: Safe Drinking-water Act. 16 de diciembre de 1974.
- [88] Lattemann, S. (2010). Seawater desalination processes. *Development of an Environmental Impact Assessment and Decision Support System for Seawater Desalination Plants* (pp. 21-56).doi: 10.1201/b10829
- [89] Ley Constitutiva del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados No. 2726. Dirección Sectorial de Energía, San José, Costa Rica, 27 de agosto de 1961.
- [90] Ley N° 5395. Ley General de Salud y sus reformas. Publicada en La Gaceta N°222, San José, Costa Rica, 24 de noviembre de 1973.
- [91] Lizano, O. (23 de octubre de 2017) Entrevista a Omar Lizano (C. A. De la Rocha Salas, G. A. Vargas Chacón, y D. Mayer Weisleder, Entrevistadores).
- [92] Loaiza, N. (1998). *Tres décadas colaborando con el desarrollo rural costarricense*. San José, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- [93] López, A. P. (2010). *Abastecimiento de agua potable: disposición y eliminación de excretas*. México, D.F., MX: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado el 23 de abril del 2017 de <http://www.ebrary.com>
- [94] Maulbetsch, J. y Di Filippo, M. (2008). *Using Salt water in cooling Towers*. University of California.
- [95] Mashaly, A. F., Alazba, A. A., Al-Awaadh, A. M., y Mattar, M. A. (2015). Area determination of solar desalination system for irrigating crops in greenhouses using different quality feed water. *Agricultural Water Management*, 154, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.02.009>
- [96] Maas, E.V. y Hoffman, G.J. (1977). *Crop salt tolerance - current assessment*. J. Irrig. and Drainage Div., ASCE 103 (IR2): 115-134.
- [97] Mesa de Agua e Infraestructura Hídrica del PIAAG. (2016) *Cartera de Proyectos Desarrollada en la Mesa de Trabajo por Guanacaste*. San José, Costa Rica.
- [98] Micale, G.; Cipollina, A y Rizzuti, L. (2009) *Green Energy and Technology: Seawater Desalination*. Palermo, Italia: Springer.
- [99] Miller, J. (2003). *Review of Water Resources and Desalination Technologies* Recuperado de ocw.mit.edu.
- [100] Ministerio de Obras Públicas del Gobierno de Chile (2005). *Estudio de Intrusión Salina en Acuíferos Costeros: Sector Costa Quebrada los Choros, IV Región (N°109)*. Recuperado el 20 de mayo del 2017 de <http://documentos.dga.cl/SUB4438.pdf>

- [101] Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica. (2014). *Plan Nacional de Desarrollo 2015-2018*. Alberto Cañas Escalante". San José, Costa Rica: MIDEPLAN.
- [102] MINAE. (19 de marzo de 2016). *Gobierno invierte 176 mil millones de colones en desarrollo de Guanacaste*. Obtenido de <http://www.minae.go.cr/index.php/es/220-gobierno-invierte-176-mil-millones-en-desarrollo-de-guanacaste>
- [103] MINAE (2015). *Reglamento Generación Distribuida para Autoconsumo con Fuentes Renovables Modelo de Contratación Medición Neta Sencilla*. Acuerdo 39220-MINAE.
- [104] Missimer, T. M., Jones, B., & Maliva, R. (2015). *Intakes and Outfalls for Seawater Reverse-Osmosis Desalination Facilities*. Florida: Springer.
- [105] Mohameed, H. y Banat, F. (2008). Solar thermal desalination technologies. *ScienceDirect*, (220), 633-644.
- [106] Monge, E., Paz, L., y Ovares, C. (Agosto de 2013). *Transparencia y Rendición de Cuentas en las ASADAs: Manual para las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Sanitarios (ASADAs) de Costa Rica*. San José, Costa Rica. Recuperado el 2 de Abril de 2017, de <https://www.aya.go.cr/ASADAS/documentacionAsadas/Manual%20para%20las%20ASADAS%20-%20Cedarena%20-%20Transparencia%20y%20Rendici%3%B3n%20de%20Cuentas.pdf>
- [107] Montagnini, F. (2013) *Introducción a los bosques secos de Centroamérica*. Yale University.
- [108] Montaña, B. (2011). *Análisis económico de la desalinización*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- [109] Morales, E. (2002) *Biología 11*. Costa Rica: Santillana S.A.
- [110] Morales, M. (2015) *De luz a luz*. TEDx Talks. Recuperado el 21 de abril del 2018 de <https://www.youtube.com/watch?v=FjCFNkHbSlo&feature=youtu.be>
- [111] Mott, R. (2006) *Mecánica de Fluidos*. Sexta ed. México: Pearson Educación.
- [112] Murillo, D. (2015). Bombas Centrífugas. *Curso de Máquinas Hidráulicas*. Lección llevada a cabo en la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, Montes de Oca, Costa Rica.
- [113] Murillo, D. (2016). Diseño de tanques de abastecimiento. *Curso de Máquinas Hidráulicas*. Lección llevada a cabo en la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, Montes de Oca, Costa Rica.
- [114] Navionics. (2017) *Mapa batimétrico de Bahía Potrero*. Recuperado el 25 de octubre del 2017 de <https://webapp.navionics.com/#boating@12&key=wtx~%40juqj0>
- [115] NALCO. (2013) *Cooling Water treatment*. Recuperado el 16 de julio del 2017 de <http://www.nalco.com/documents/Brochures/B-34.pdf>
- [116] NKS de México. (s.f) *Aceros inoxidables 316 y 316L*. Recuperado el 28 de marzo de 2018 de http://www.nks.com/es/distribuidor_de_acero_inoxidable/aceros_inoxidables_316.html

- [117] National Oceanic and Atmospheric Administration (2015). *Ocean Explorer*. Office of Ocean Exploration and Research. Recuperado el 20 de abril del 2018 de <https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/deep-habitat.html>
- [118] Norma 37083. Reglamento para la Calidad del Agua para consumo humano en establecimientos de salud y sus reformas. Publicada en La Gaceta N°87, San José, Costa Rica, 7 de mayo del 2012.
- [119] Norma 38914. Reglamento para la Calidad del Agua Potable y sus reformas. Publicada en La Gaceta N°170, San José, Costa Rica, 1 de setiembre del 2015
- [120] Orellana, J. A. (2005). *Abastecimiento de Agua Potable*. Ingeniería Sanitaria: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rosario. Recuperado el 23 de abril del 2017 de https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_05_Abastecimiento_de_Agua_Potable.pdf
- [121] Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Recuperado el 10 de febrero del 2018 de <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>
- [122] Penn Stainless Products, INC. (2018, Abril 1). *DUPLEX 2205 Stainless Steel*. Recuperado el 4 de abril del 2018 de Penn Stainless Steel: <http://www.pennstainless.com/stainless-grades/duplex-grades/duplex2205-stainless-steel/>
- [123] Performance Pipe (septiembre de 2006). *DriscoPlex PE4710/(PE3408) Pipe and Fittings Data Sheet* Plano, Texas. Recuperado el 27 de enero de 2018 de <https://hdpe.ca/wp-content/uploads/2016/03/PE4710-DATASHEET.pdf>
- [124] Phocaidés, A. (2007). *Handbook on pressurized irrigation techniques*. Food and Agriculture Organization, United Nations.
- [125] PPI. (s.f). *Second edition Handbook of PE Pipe* Plastics Pipe Institute. Recuperado el 25 de abril de 2018 de <https://plasticpipe.org/publications/pe-handbook.html>
- [126] Policonductos S.A. de C.V. (s.f). *Guía de ingeniería y diseño para tubería de polietileno de alta densidad* San Luis Potosí, México. Recuperado el 27 de enero de 2018 de <http://www.policonductos.com/descargas/Guia-de-Ingenieria.pdf>
- [127] Portilla, K., López, G. (2015) Infraestructura de la Red de Agua Potable ASADA Potrero [Mapa de infraestructura].
- [128] Prakash, S., Shannon, M., y Bellman, K. (2015). Water Desalination: Emerging and Existing Technologies. *Aquananotechnology Global Prospects*. (pp. 533-562). Boca Raton, Florida, Estados Unidos: Taylor & Francis Group.
- [129] Programa Integral para el Abastecimiento de Agua para Guanacaste (Pacífico Norte) . (2016). *Proyecto: Acueducto Regional Costero Cantón de Santa Cruz- Acueducto Nimboyores*. San José, Costa Rica.
- [130] Protti, R. (10 de octubre de 2017) Entrevista a Roberto Protti (C. A. De la Rocha Salas, G. A. Vargas Chacón, y D. Mayer Weisleder, Entrevistadores)

- [131] Pulido, A. (s.f). *Sobreeplotación de Acuíferos y Desarrollo Sostenible*. España: Departamento de Hidrogeología de la Universidad de Almería. Recuperado el 20 de mayo del 2017 de [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-PGA-c10/\\\$File/PGA-c10.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-PGA-c10/\$File/PGA-c10.pdf)
- [132] Quesda, R. (2007) *Los Bosques de Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. IX Congreso Nacional de Ciencias.
- [133] Redacción La República. (16 de marzo de 2016). *Proyecto de acueductos eliminaría sequía en Guanacaste*. Obtenido de larepublica.net: https://www.larepublica.net/noticia/proyecto_de_acueductos_eliminaría_sequía_en_guanacaste
- [134] Reglamento de las Asociaciones Administradoras de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunales No. 32529-S-MINAE. Presidente de la República, Ministra de Salud y Ministro del Ambiente y Energía, San José, Costa Rica, 5 de agosto de 2005.
- [135] Retana, K. y Cambronero, N. (1 de diciembre de 2008). *Falta de planificación desata guerra por agua en Guanacaste*. Obtenido de larepublica.net: <https://www.larepublica.net/noticia/guanacaste-en-disputa-por-agua>
- [136] Rice University. (2017) *Molecular Transport Phenomena: Diffusion, Osmosis, and Related Processes* Recuperado el 11 de julio del 2017 de <http://cnx.org/contents/Od7JkTgM@4/Molecular-Transport-Phenomena->
- [137] Rincón, C. A. (s.f.). *Colegio de Biólogos de Costa Rica*. Retrieved Marzo 2, 2017, from Guía Práctica para el Uso Eficiente del Agua: http://www.colegiobiologos.com/wp-content/uploads/Gu%C3%ADa_Uso-eficiente-del-agua.pdf
- [138] Roa, F. (2014). *Compresión de Vapor*. Recuperado el 12 de julio del 2017 de <https://desalinizaciondelagua.wordpress.com/2014/07/13/termo-compresion-de-vapor/>
- [139] Rojas, U. (2015). *CATIE: Agricultura bajo techo reduce consumo de agua a la mitad*. Obtenido de catie.ac.cr: <https://www.catie.ac.cr/nicaragua/es/81-agricultura-bajo-techo-reduce-consumo-de-agua-a-la-mitad.html>
- [140] Rossi, L. (1992). *Refrigeración - carta psicrométrica AHSRAE* Obtenido de ebah.com.br: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAUwYAF/refrigeracao-carta-psicrometrica-ashrae>
- [141] Rottenberg. (2006). *Manejo de la salinidad en la solución del sustrato* Haifa Group.
- [142] Schorr, M. (2011). *Desalination, Trends and Technologies*. Rijeka, Croatia: InTech.
- [143] Senara. (Recuperado el 25 de mayo de 2017). *Paacume*. Obtenido de <http://www.senara.or.cr/proyectos/paacume/Paacume.aspx>
- [144] Shamshiri, R. e Ishak, W. (2013). A Review of Greenhouse Climate Control and Automation Systems in Tropical Regions. *Journal of Agricultural Science and Applications*, 2 (3), 176-183.
- [145] Sharon H y Reddy, K. (2013). A review of solar energy driven desalination technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1080-1118.

- [146] Sica, Y.; Kenny, E.; Portella, K.; Campos, D. (2007) *Atmospheric corrosion performance of carbon steel, galvanized steel, aluminum and copper in the North Brazilian coast*. Recuperado de Scientific Electronic Library Online: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-50532007000100017
- [147] Smartgridcostarica.com. (21 de noviembre de 2012) *Arranca Parque Solar Miravalles y Proyecto Solar ICE Sabana*. Recuperado el 23 de octubre de 2017 de: <http://www.smartgridcostarica.com/2012/11/21/arranca-parque-solar-miravalles-y-proyecto-solar-ice-sabana/>
- [148] Solargis. (2016). iMaps. Tomado el 23 de octubre de 2017 de: <https://solargis.info/imap/#loc=10.462211,-85.776436&c=10.462211,-85.776436&z=9>
- [149] SoliClima: energía solar. (s.f).Energía solar termoeléctrica con colectores cilíndrocos-parabólicos. Tomado el 25 de abril de 2018 de: <https://www.soliclima.es/energia-solar-termoelectrica-con-colectores-cilindrico-parabolicos>
- [150] Soluciones integrales de importación S.A. (s.f). Tomado el 28 de marzo de 2018 de: <http://sisacr.com/content/acero-inoxidable-especial-416>
- [151] Sommariva, C. (2015). *Water Arabia 2015*. ILF Consulting Engineers.
- [152] Subramani, A., y Jacangelo, J. G. (2015). Emerging desalination technologies for water treatment: A critical review. *Water Research*, 75, 164-187. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.02.032>
- [153] Tanji, K. y Kielen, N. (2003). *Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas*. Food and Agriculture Organization, United Nations.
- [154] Tejero, I. G. (s.f). *Los Acuíferos de la provincia de Segovia*. Extraído de Escuela Universitaria de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Valladolid el 26 de abril del 2017 de http://lan.inea.org:8010/web/materiales/web/riego/anuncios/trabajos/webs/Iv\C3%A1n\20Gonzalo\20Tejero/los_acu\C3%ADferos_de_la_provincia_de.htm
- [155] TomTom. (2017). Mapas [Aplicación móvil]. Descargado de: <https://www.apple.com/es/ios/maps/>
- [156] Torres, A. (2012) *Manual de cultivo del tomate bajo invernadero*. Santiago, Chile. INIA.
- [157] Toshifumi, K. (24 de noviembre de 2014). Shift to Floating Seawater Desalination [Presentación en pdf]. Revisado el 23 de octubre de 2017 de: <https://www.oecd.org/sti/ind/oecd-shipbuilding-workshop-kokubun.pdf>
- [158] Tosi, J. (1969) *República de Costa Rica: Mapa Ecológico según la clasificación de zonas de vida del mundo de L. R. Holdridge*. San José, Costa Rica Instituto Geográfico Nacional.
- [159] Tsiourtis, N. X. (2008). Criteria and procedure for selecting a site for a desalination plant. *Desalination*, 221(1-3), 114-125. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.01.073>
- [160] Tristar Water Solutions. (2012). *Reverse Osmosis*. Recuperado de Tristar Water Solutions: <http://www.tristarwater.com.au/reverse-osmosis/>.

- [161] U Science Tech Facultat De Ciencies I Tecnologia UVIC-UCC (s.f). *Dimensionamiento eléctrico de parque fotovoltaico de 4MW de potencia en la Sierra de Loarre (Huesca)*.
- [162] Valero, A., Uche, J., y Serra, L. (2001). *La desalación como alternativa al PHN*. Zaragoza, España: Universidad de Zaragoza.
- [163] Vela, J. A. (2015). *Análisis de Fenómenos Hidráulicos Transitorios en la Línea de Conducción que une al Pozo III de Ciudad Universitaria con los Tanques de Regularización del Vivero Alto*. (Universidad Nacional Autónoma de México). Recuperado el 23 de mayo del 2017 de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7425/Tesis.pdf?sequence=1>
- [164] Villarubia, M. (2012). *Ingeniería de la Energía Eólica*. Barcelona, España: Marcombo,S.A.
- [165] Voutchkov, N. (2013). *Desalination Engineering Planning and Design*. McGraw-Hill.
- [166] Voutchkov, N.; Sommariva, C.; Pankratz, T.; Tonner, J. (2010). *Desalination Technology: Health and Environmental Impacts*. United States of America: Taylor & Francis Group.
- [167] Wa-chong, T. G. (16 de febrero de 2017). Alto costo del agua golpea a la industria turística de Guanacaste. *La República*, págs. 10, 11.
- [168] Water Desalination Report. (s.f) *Supplier Directory* Recuperado el 13 de julio del 2017 de <https://www.desalination.com/desalination-suppliers> %empresas desalinización
- [169] WaterRight. (27 de julio del 2016). *How do reverse osmosis drinking water systems work?*. Recuperado el 12 de julio del 2017 de <http://www.water-rightgroup.com/blog/how-do-reverse-osmosis-drinking-water-systems-work/>
- [170] WL Plastics. (junio de 2017). *Typical Physical Properties for WL Plastics PE4710 Pipe Compound*. Recuperado el 27 de enero de 2018 de <http://www.wlplastics.com/pdf/WL106-0617\%20PE4710\%20Compound.pdf>
- [171] World Health Organization. (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. 4th Ed. Malta: World Health Organization.
- [172] Zarzo, D.; Campos, E y Terrero, P. (2012). Spanish experience in desalination for agriculture. *Desalination and water treatment* ., 2102, 1-14.
- [173] Zeledón, J. M. (2016). *Agua para Guanacaste: PIAAG*. Ambientico, 25-31. http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=80176&nValor3=101637&strTipM=TC#up

Anexos

Anexos A

Estudios preliminares

A.1. Estudio físicoquímico de la muestra de agua de mar



Tels.: 2286-1168 / 2226-4462 • Fax: (506) 2226-4462 • Apartado: 877-1011 San José, Costa Rica

e-mail: lambda@raesa.co.cr • www.laboratoriolambda.com RESULTADO DE ANÁLISIS # 417,683



---RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO---



FECHA: 27 DE SEPTIEMBRE DE 2017

SOLICITANTE: DANIEL MAYER

ATENCIÓN: Sr. DANIEL MAYER/CARLOS DE LA ROCHA/GABRIEL VARGAS

REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA DE MAR DE PLAYA POTRERO. RECIBIDA POR PERSONAL DEL LABORATORIO LAMBDA EL DIA 18 DE SEPTIEMBRE DE 2017.

<u>ANÁLISIS:</u>	<u>RESULTADO PROMEDIO</u>
pH ^(a) (25°C)*	8,00
SÓLIDOS TOTALES*	2868 mg/L
SÓLIDOS DISUELTOS*	2244 mg/L
SÓLIDOS SUSPENDIDOS*	< 6,0 mg/L
TURBIDEZ*	0,21 NTU
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA*	48000 µS/cm
ALCALINIDAD (FF expresada como CaCO ₃)*	< 1,0 mg/L
ALCALINIDAD TOTAL (RM expresada como CaCO ₃)*	1184 mg/L
DUREZA TOTAL (expresada como CaCO ₃)*	6242 mg/L
DUREZA DE CARBONATOS (expresada como CaCO ₃)*	1184 mg/L
DUREZA DE NO-CARBONATOS (expresada como CaCO ₃)**	5058,2mg/L
CALCIO (Ca ⁺²)*	1524 mg/L
MAGNESIO (Mg ⁺²)*	591 mg/L
CLORUROS (Cl ⁻)*	14462 mg/L
SILICE (SiO ₂)*	3,0 mg/L
SULFATOS (SO ₄ ⁻²)*	2599 mg/L
AMONIO (NH ₄ ⁺)*	1,0 mg/L
HIERRO (Fe)*	< 0,01 mg/L
COLOR APARENTE*	<3 CU

OBSERVACIONES:

- ** ENSAYO NO ACREDITADO
- *ENSAYO ACREDITADO
- VER ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL LABORATORIO LAMBDA EN LA DIRECCION ELECTRONICA: www.eca.or.cr
- PROCEDIMIENTOS ÚNICAMENTE DE REFERENCIA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 22nd 2012
- ^(a) SE ESTABLECEN RANGOS PERMISIBLES Y NO VA (Valor Alerta), NI VMA (Valor Máximo Admisible), SEGÚN REGLAMENTO PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE N° 38924-S
- ^(b) EN AGUAS SUBTERRÁNEAS, DONDE SE ENCUENTRAN ESTOS DOS METALES, EL VMA (Valor Máximo Admisible) (Fe + Mn) ES 0,3 mg/L SEGÚN REGLAMENTO PARA LA CALIDAD AGUA POTABLE N°38924-S
- DIGITADO POR: ugs
- MUESTRA CODIGO LAMBDA: 9223-R00

RAFAEL I. AMÓN PÉREZ
NI COCR 537

NOTA: Refiérase al código Lambda para cualquier consulta
Resultados de análisis válidos únicamente para la muestra enviada al laboratorio por el interesado

LAMBDA R-04



---RESULTADO DE ANÁLISIS QUÍMICO---

FECHA: 27 DE SEPTIEMBRE DE 2017

SOLICITANTE: DANIEL MAYER

ATENCIÓN: Sr. DANIEL MAYER/CARLOS DE LA ROCHA/GABRIEL VARGAS

REFERENCIA: MUESTRA DE AGUA DE MAR DE PLAYA POTRERO. RECIBIDA POR PERSONAL DEL LABORATORIO LAMBDA EL DIA 18 DE SEPTIEMBRE DE 2017.

<u>ANÁLISIS:</u>	<u>RESULTADO PROMEDIO</u>
SODIO (Na ⁺) *	14 562 mg/L
POTASIO (K ⁺) *	252 mg/L
ESTRONCIO (Sr) *	< 0,10 mg/L
BARIO (Ba) *	< 0,10 mg/L
FLUORURO (F) *	< 0,006 mg/L
BORO (B)	4,60 mg/L
BICARBONATOS (HCO ₃)**	1444 mg/L
NITRATO (NO ₃) *	< 0,05 mg/L
CARBONATOS *	<1 mg/L

OBSERVACIONES:

- ** ENSAYO NO ACREDITADO
- VER ALCANCE DE ACREDITACIÓN DEL LABORATORIO LAMBDA EN LA DIRECCION ELECTRONICA: www.eca.or.cr
- PROCEDIMIENTOS ÚNICAMENTE DE REFERENCIA: STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER 22nd 2012
- ^(a) SE ESTABLECEN RANGOS PERMISIBLES Y NO VA (Valor Alerta), NI VMA (Valor Máximo Admisible), SEGÚN REGLAMENTO PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE N° 38924-S
- ^(b) EN AGUAS SUBTERRÁNEAS, DONDE SE ENCUENTRAN ESTOS DOS METALES, EL VMA (Valor Máximo Admisible) (Fe + Mn) ES 0,3 mg/L SEGÚN REGLAMENTO PARA LA CALIDAD AGUA POTABLE N°38924-S
- DIGITADO POR: ags
- MUESTRA CODIGO LAMBDA: 9223-R00



RABAEI, LAMÓN PÉREZ
NICOCR 537

NOTA: Refiérase al código Lambda para cualquier consulta
Resultados de análisis válidos únicamente para la muestra enviada al laboratorio por el interesado

A.2. Estudio de recurso fotovoltaico en el terreno elegido

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA

Número del informe: PV-33843-1803-11
Fecha: 05 de marzo de 2018 16:28 (UTC)

1. Descripción del emplazamiento

Nombre del sitio: Potrero, Costa Rica

Coordenadas: **10° 27' 24.0" N, 85° 46' 10.0" W**
Elevación: 7 m
Pendiente: 0°
Orientación: 211° sudoeste

Irradiación global anual en plano inclinado: **2126 kWh/m²**
Temperatura ambiente anual a 2 m: **27.1 °C**

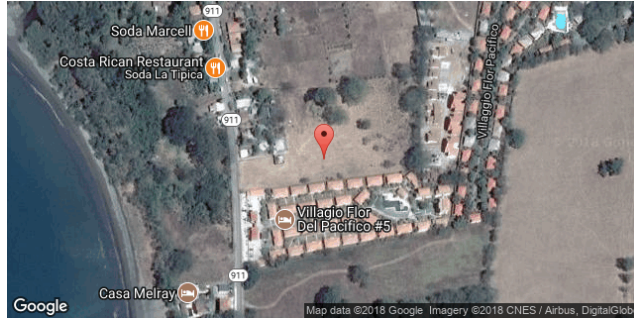
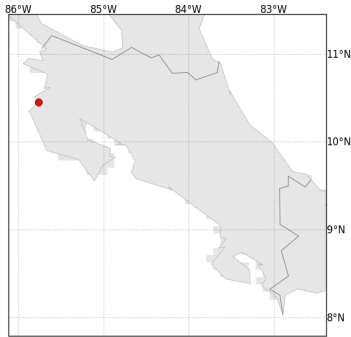
Localización en el mapa: <http://solargis.info/imaps/#tl=Google:satellite&loc=10.456667,-85.769444&z=17>

2. Descripción del sistema FV

Potencia instalada: **1270.0 kWp**
Tipo de módulos: silicio cristalino (c-Si)
Estructura: **estructura fija, sobreelevada**
Orient./Incl.: **180° (sur) / 13°**
Efic. (Euro) inversor: 97.5%
Pérdidas DC/AC: 5.5% / 1.5%
Disponibilidad: 99.0%

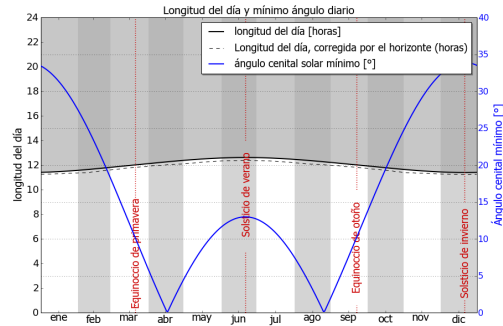
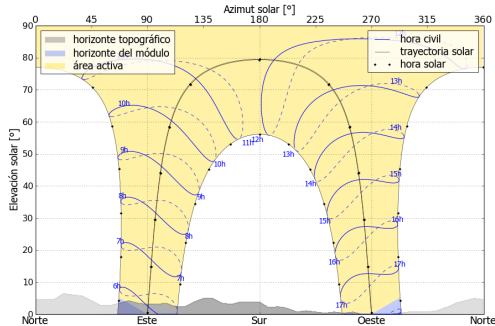
Producción eléctrica anual media: **2052.8 MWh**
Rendimiento medio: **75.9%**

3. Localización geográfica



Google Maps © 2018 Google

4. Horizonte topográfico y longitud del día



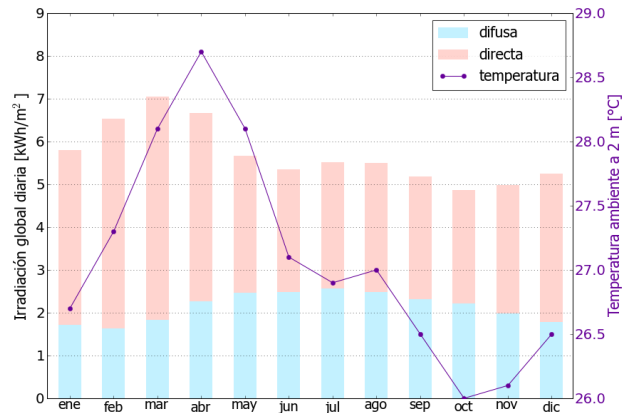
Izquierda: Trayectoria solar anual. El horizonte topográfico (en gris) y el horizonte del módulo (en azul) pueden dar lugar a ocultaciones solares. Los puntos negros muestran el tiempo solar verdadero. Las etiquetas en azul indican la hora civil local.

Derecha: Duración del día y ángulo cenital solar a lo largo del año. Si el horizonte local no es nulo, la duración real del día (tiempo en que el Sol está por encima del horizonte local) es menor que la duración astronómica.

Sitio: Potrero, Costa Rica, lat/lon: 10.4567°/-85.7694°
 sistema FV: 1270.0 kWp, silicio cristalino, sobreelevada, azim. 180° (sur), inclinación 13°

5. Irradiación global horizontal y temperatura ambiente - referencia climática

Mes	Gh _m	Gh _d	Dh _d	T ₂₄
ene	180	5.80	1.72	26.7
feb	183	6.54	1.64	27.3
mar	219	7.05	1.84	28.1
abr	200	6.66	2.27	28.7
may	175	5.66	2.47	28.1
jun	161	5.35	2.49	27.1
jul	171	5.51	2.57	26.9
ago	171	5.50	2.49	27.0
sep	155	5.18	2.32	26.5
oct	151	4.87	2.21	26.0
nov	150	4.98	1.98	26.1
dic	163	5.25	1.79	26.5
año	2077	5.69	2.15	27.1



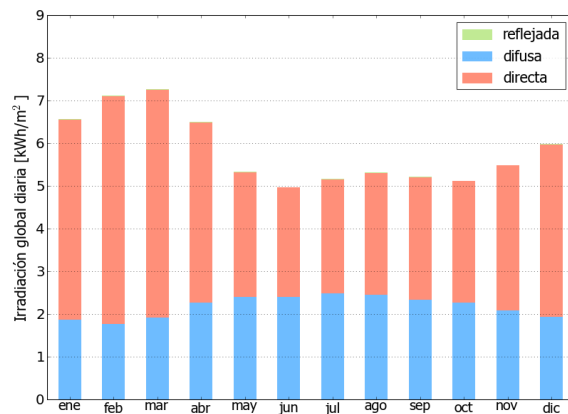
Medias anuales:

- Gh_m Irradiación global mensual [kWh/m²]
- Gh_d Irradiación global diaria [kWh/m²]
- Dh_d Irradiación difusa diaria [kWh/m²]
- T₂₄ Temperatura ambiente diaria (diurna) [°C]

6. Irradiación global en plano inclinado

Superficie fija, azimut 180° (sur), inclinación. 13°

Mes	Gi _m	Gi _d	Di _d	Ri _d	Sh _{loss}
ene	203	6.56	1.87	0.01	0.1
feb	199	7.11	1.76	0.01	0.1
mar	225	7.26	1.91	0.01	0.1
abr	195	6.50	2.26	0.01	0.2
may	165	5.33	2.40	0.01	0.2
jun	149	4.97	2.40	0.01	0.3
jul	160	5.16	2.49	0.01	0.3
ago	165	5.31	2.45	0.01	0.3
sep	156	5.21	2.34	0.01	0.3
oct	159	5.12	2.27	0.01	0.3
nov	165	5.49	2.09	0.01	0.2
dic	185	5.98	1.94	0.01	0.2
año	2126	5.83	2.18	0.01	0.2



Medias mensuales:

- Gi_m Irradiación global mensual [kWh/m²]
- Gi_d Irradiación global diaria [kWh/m²]
- Di_d Irradiación difusa diaria [kWh/m²]
- Ri_d Irradiación reflejada diaria [kWh/m²]

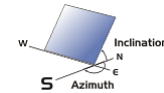
Sh_{loss} Pérdidas de irradiación global por sombreado topográfico [%]

Irradiación global anual media para diferentes tipos de superficie:

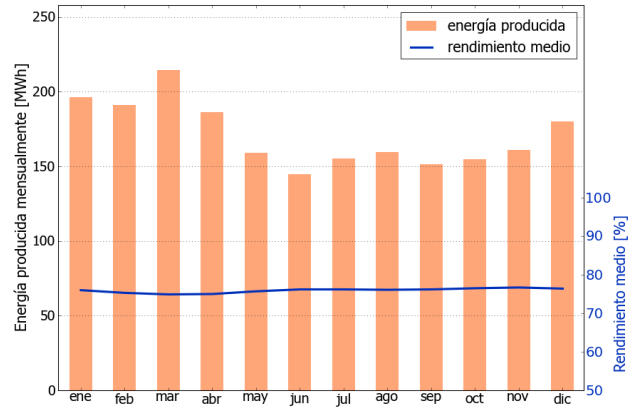
	kWh/m ²	relativo a la inclinación óptima
Horizontal	2077	97.7%
Con inclinación óptima (13°)	2126	100.0%
Seguimiento a 2 ejes	2739	128.8%
Su opción	2126	100.0%

Sitio: Potrero, Costa Rica, lat/lon: 10.4567°/-85.7694°
 sistema FV: 1270.0 kWp, silicio cristalino, sobreelevada, azim. 180° (sur), inclinación 13°

7. Producción eléctrica FV inicial



Mes	Es _m	Es _d	Et _m	E _{share}	PR
ene	155	4.99	196.3	9.6	76.0
feb	150	5.37	190.9	9.3	75.3
mar	169	5.45	214.4	10.4	74.9
abr	147	4.88	186.1	9.1	75.0
may	125	4.04	159.1	7.8	75.7
jun	114	3.80	144.8	7.1	76.2
jul	122	3.94	155.1	7.6	76.2
ago	126	4.05	159.4	7.8	76.1
sep	119	3.97	151.4	7.4	76.2
oct	122	3.93	154.6	7.5	76.5
nov	127	4.22	160.8	7.8	76.7
dic	142	4.57	180.1	8.8	76.4
año	1616	4.43	2052.8	100.0	75.9



Medias mensuales:

- Es_m Producción eléctrica específica mensual total [kWh/kWp]
- Es_d Producción eléctrica específica diaria total [kWh/kWp]
- Et_m Producción eléctrica mensual total [MWh]
- E_{share} Porcentaje mensual de producción eléctrica [%]
- PR Rendimiento [%]

8. Pérdidas y rendimiento del sistema

Fase en la conversión de energía	Energía producida [kWh/kWp]	Pérdidas [kWh/kWp]	Pérdidas [%]	Rendimiento [parcial %]	Rendimiento [acumul. %]
1. Irrad. global incidente en la superficie (entrada)	2131	-	-	100.0	100.0
2. Irrad. global reducida por el sombreado topográfico	2126	-4	-0.2	99.8	99.8
3. Irrad. global reducida por la reflectividad	2066	-60	-2.8	97.2	97.0
4. Conversión DC en los módulos	1799	-267	-12.9	87.1	84.4
5. Otras pérdidas DC	1700	-99	-5.5	94.5	79.8
6. Inversores (conversión DC/AC)	1658	-43	-2.5	97.5	77.8
7. Pérdidas en AC en el transformador y el cableado	1633	-25	-1.5	98.5	76.6
8. Disponibilidad reducida	1616	-16	-1.0	99.0	75.9
Rendimiento total del sistema	1616	-514	-24.1	-	75.9

Fases de conversión de la energía y pérdidas asociadas:

- Se asume una producción inicial bajo condiciones estándar de operación,
- Reducción de la irradiación global debido a obstrucciones por el horizonte topográfico y otros módulos FV,
- Proporción de irradiación global que es reflejada por la superficie de los módulos FV (típicamente, cristalinos),
- Pérdidas en los módulos debido a la conversión de radiación solar en corriente continua (DC); cambio de la eficiencia por desvío de las condiciones estándar de operación,
- Pérdidas DC: desajuste entre módulos FV, pérdidas de calor en los cables y conexiones, pérdidas debidas a suciedad, nieve, hielo y auto-sombreado de los módulos FV,
- Este paso considera la eficiencia (Euro) para aproximar las pérdidas promedio en el inversor,
- Las pérdidas en la sección AC y el transformador (donde sea aplicable) dependen de la arquitectura del sistema,
- El parámetro de disponibilidad asume pérdidas debido a periodos de inactividad causados por operaciones de mantenimiento o fallos.

Las pérdidas en los pasos 2 y 4 están modeladas numéricamente en pvPlanner. Las pérdidas en los pasos 5 y 8 deben ser calculadas por el usuario. Los modelos de simulación tienen incertidumbres inherentes que no se contemplan en este informe. Si desea evaluar posibles riesgos, puede encontrar información adicional sobre los métodos de simulación empleados y las incertidumbres asociadas en <http://solargis.com/products/pvplanner/>.

Anexos B

Cotizaciones de módulos de desalinización

B.1. Cotización de Fluence Inc.

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.



1

24 de abril de 2017

XXXXX

Desalación de agua de mar

Propuesta: CMC-889

Ing. XXXXXXXX,

Nosotros Desarrollos Internacionales de Salud S.A., cédula jurídica número 3-101-105863-09 con oficinas en Guachipelín de Escazú, teléfono 2228-8191, correos: ingenieria@deinsacr.net, servicioalcliente@deinsacr.net, ventas@deinsacr.net; ponemos a su consideración la siguiente propuesta para el tratamiento de agua proveniente del mar, y llevarla a calidades de agua potable.

Este Proyecto se dimensionó en función de los datos proporcionados para tratar 500 m³/día de agua de mar, de forma modular.

Esta oferta tiene una vigencia de 120 días.

Muy atentamente,

Ing. José Asan Li
Gerente Ingeniería



1. Descripción general del sistema

NIROBOX™ SW-M está diseñado para funcionar dentro de los parámetros de agua de mar:

- Turbidez hasta 20 NTU.
- Sólidos totales disueltos (STD) de hasta 42,000 ppm.
- Temperatura de 5°C hasta 35°C.
- Carbono orgánico total (TOC) de hasta 40 ppm.
- Aceites y grasas hasta 1.5 ppm.

Para realizar la desalinización en agua de mar con algún parámetro fuera de este rango, será necesario agregar equipo periférico como tratamiento previo.

La capacidad de producción dependerá de las combinaciones de los parámetros, temperatura mínima del agua y (STD), como puede ser observado en las tablas abajo:

Recuperación máxima (%) permitida en la combinación del STD y temperatura							
Temperatura mínima del agua de mar (C°)							
STD (ppm)	5	10	15	20	25	30	35
42000	41	43	45	46	47	48	49
40000	43	45	47	49	50	50	50
38000	45	48	50	50	50	50	50
36000	47	50	50	50	50	50	50
34000	49	50	50	50	50	50	50
32000	50	50	50	50	50	50	50

NIROBOX™ SW-M	Recuperación %	m3/h	m3/día	GPD
	50	21.0	504	133,000
	49	20.2	484	127,000
	48	19.4	465	122,000
	47	18.6	446	117,000
	46	17.9	429	113,000
	45	17.2	412	108,000
	44	16.5	396	104,000
	43	15.8	380	100,000
	42	15.2	364	96,000
	41	14.6	350	92,000
	40	14.0	336	88,000

Calidad del Agua Tratada

El contenido de sólidos totales disueltos en el agua tratada siempre será inferior a 500 mg / l, a cualquier temperatura dentro de los rangos de operación preestablecidos. La siguiente tabla muestra la composición del agua desalinizada (Permeado) y de la salmuera generada (Concentrado) cuando el sistema es alimentado con agua de mar de 38,000 mg / l de sólidos totales disueltos a 25 ° C:

Species	Raw Water	Adj. Feed	Concentrate	Permeate
			Stage 1	Stage 1
Ammonium	0	0	0	0
Sodium	11,577	11,577	23,097	66.87
Potassium	503.98	503.98	1,005	3.4
Magnesium	1,413	1,413	2,825	1.81
Calcium	431.75	431.75	863.32	0.55
Strontium	7.38	7.38	14.76	0.01
Barium	0.01	0.01	0.02	0
Fluoride	1.29	1.29	2.57	0.01
Chloride	20,848	20,848	41,603	110.61
Sulfate	3,052	3,052	6,106	1.62
Nitrate	0	0	0	0
Bromide	0	0	0	0
Carbonate	2.56	2.56	5.12	0
Bicarbonate	154.78	154.78	308.58	1.1
Boron	4.78	4.78	8.5	1.06
TDS	37,999	37,999	75,839	187.05
pH	7.8	7.8	7.79	6.71

En el caso de que el agua desalada sea utilizada como agua potable, se puede incluir un sistema opcional para potabilización, compuesto de re-mineralización y cloración, haciendo el producto adecuado para cumplir las normas internacionales de agua potable.

3. Alcance de los suministros

Suministrado por RWL:

- Equipos y servicios especificados en la propuesta comercial.
- Supervisión de instalación, puesta en marcha y entrenamiento de operadores.
- Manual de instrucciones, reglamentos y planes de diseño en Inglés / Español.

Suministrado por el cliente:

- Instalaciones de energía eléctrica 440V @ 60 Hz. Y instalación eléctrica 220 V @ 60 Hz
- Área plana con fundación de hormigón o losa para la instalación del contenedor.
- Agua de mar a alimentar al sistema y el sistema de bombeo.
- Colector de agua de rechazo del sistema (UF y concentrado OI).
- Depósito para el agua desalada producida (permeado).
- Conexiones a red fija para la transmisión de datos.
- Productos químicos para el funcionamiento del sistema.
- Las tuberías fuera del sistema de contenedores.
- Los conductos y cableado externo de la planta.
- Iluminación de plantas fuera del sistema de contenedores.

4. Costos operacionales

Costo con energía eléctrica:

Entre todos los costos operacionales la energía eléctrica es el más alto, en cualquier planta de desalación de agua de mar. Debido al diseño innovador bien como la utilización de los equipos de bombeo y recuperación de energía más avanzados disponibles en el mercado el modulo básico **NIROBOX™ SW-M** tiene un consumo de apenas 2.45 kWh/m³ cuando el sistema es alimentado con agua de mar de 38,000 mg / l de sólidos totales disueltos a 25 ° C para producir 21.0m³/h de agua desalada.

En la gran mayoría de los países hay diferenciación de la tarifa de energía eléctrica, de acuerdo con las horas del día. Se esté fuera el caso en su país, es recomendable adquirir equipos **NIROBOX™** para mayor capacidad de producción horaria y producir la cantidad de agua requerida para el día, solamente durante las horas de tarifa con menor costo. En corto tiempo el ahorro en electricidad pagara la inversión adicional.

Costo con productos químicos:

El consumo de productos químicos tiende a variar de acuerdo con las condiciones locales, pero en ningún caso el **NIROBOX™ SW-M** va consumir más que: 90 kg de hipoclorito de sodio (NaOCl), 10 kg de ácido clorhídrico (HCl), 84 kg de Sodio meta bi-sulfito (SMBS) y 84 kg de inhibidor -incrustaciones (AS) por mes operando en capacidad máxima.

Costo con reposición de consumibles:

Por su exclusivo diseño con alimentación directa del sistema de ultrafiltración al sistema de osmosis reversa, **NIROBOX™ SW-M** dispensa la utilización de filtros de cartuchos, no teniendo de este modo consumible a ser cambiados con frecuencia. Las membranas de UF tienen vida útil estimada de 10 años y las de OI de 5 años.

5. Propuesta comercial

Unidad de desalinización de agua de mar

1	NIROBOX™ SW-M , de acuerdo con la condición de venta CIF <small>(Incoterms 2010)</small> .	INCLUIDO
---	---	----------

Equipos periféricos opcionales para el **NIROBOX™ SW-M**:

	Bomba para pozo playero.	INCLUIDO
	Pre tratamiento adicional por filtros multe media (MMF).	
	Sistema de alimentación para bombeo desde el tanque de agua cruda.	
	Re-mineralización por inyección de solución mineral.	INCLUIDO
	Sistema de re-mineralización con filtros de calcita (CaCO3).	
	Post-cloración por inyección de hipoclorito de sodio (NaOCl).	INCLUIDO
	Pulidor de permeado por OI de segundo paso.	
	Pulidor de permeado por CEDI.	

Servicios, impuestos y tasas

	Flete Internacional y seguro	INCLUIDO
	Transportación en el país de destino	INCLUIDO
	Impuestos y tasas	
	Gastos con transportación y hospedaje del técnico.	INCLUIDO
	Supervisión remota	

TOTAL \$ 620,975.00

Validez

El precio indicado en esta propuesta se ofrece para su aceptación hasta el 1 de julio del 2017 Los precios están sujetos a revisión a partir de entonces. Los precios pueden ser prorrogados por otros treinta (30) días tras la recepción de una copia firmada de una carta de intención por parte del CLIENTE.

Tiempo de entrega

El tiempo de entrega del equipo y la puesta en marcha es de 18-22 semanas después de recibido el anticipo, con 2 semanas de instalación y una semana de puesta en marcha.

Garantías

DEINSA/RWL Water garantiza que cada sistema de tratamiento de agua ha sido probado para funcionar de acuerdo con las especificaciones publicadas en el momento de la entrega. La empresa además garantiza que cada planta estará libre de cualquier y todos los defectos en los materiales y mano de obra por un período de (1) año a partir de la fecha de puesta en marcha o (18) meses a partir de la fecha de entrega, lo que ocurra primero.

B.2. Cotización de Pure Aqua

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.



2230 S. Huron Dr., Santa Ana, CA 92704 USA
 Tel: (714) 432-9996 | Fax: (714) 432-9898
 sales@pureaqua.com | www.pureaqua.com

QUOTATION 92192-0

November 6, 2017

Prepared by: **May Higazy**

Company: Gabriel Vargas Chacon	Country: Costa Rica
Name: Gabriel Vargas Chacon	Phone: 83625723
Email: gabov93@gmail.com	Fax:

Qty	Part No.	Description	Unit Price (\$)	Ext Price (\$)
2X 136,000 GPD Sea Water Reverse Osmosis System				
Recommended Pre-treatment:				
2	CDS30	Prechlorination Dosing System, 30 GPD, Adjustable Metering Pumps, Polyethylene Solution Tank, Manual, 110V/1Ph/60Hz	\$633.00	\$1,266.00
2	FP	Feed Pump , MFG: Ampco USA, duplex 2205 SS, TEFC, 460V/3Ph/60Hz, (skid mounted - wired by others to main panel on RO skid)	\$11,758.00	\$23,516.00
2	BP	Back wash Pump , MFG: Ampco USA, duplex 2205 SS, TEFC, 460V/3Ph/60Hz, (skid mounted - wired by others to main panel on RO skid)	\$11,758.00	\$23,516.00
1	MLF48-A-F-9	48" FRP tank automatic multimedia filter complete with media, valve, 3" pipe size, 110V/1Ph/60Hz (8 duty and one standby)	\$95,670.00	\$95,670.00
2	CDS30-2-ORP	Dechlorination Dosing System, 30 GPD, Adjustable Metering Pumps, Polyethylene Solution Tank, Manual, 110V/1Ph/60Hz	\$1,291.00	\$2,582.00
2	CDS30	Antiscalant Dosing System, 30 GPD, Adjustable Metering Pumps, Polyethylene Solution Tank, Manual, 110V/1Ph/60Hz	\$633.00	\$1,266.00
SWRO System:				
2	SW-136K-6680	Sea Water Reverse Osmosis System modified to produce 136,000 GPD at maximum 42,000 ppm feed water TDS, 460V/3Ph/60Hz. It includes the following: <ul style="list-style-type: none"> · Powder coated carbon steel frame. · (6) FRP pressure vessels (Protec or codeline) rated at 1200 PSI. · (36) 8" TFC spiral wound sea water membranes (Filmtec or Hydranautics) · VFD. · (5) Pressure gauges. · Low & high pressure switches in duplex SS. · (2) Flow meters for reject and product line. · High pressure pump with energy recovery turbine (FEDCO or equal) · (2) 5 micron pre-filter with PVC housing (Pure Aqua or equal) · PLC control panel (Siemens S7-1200). · High pressure piping in duplex SS and low pressure piping in SCH 80 PVC. 	\$196,900.00	\$393,800.00
Recommended Post-treatment:				
2	CDS12-2	Postchlorination Dosing System, 12 GPD, Adjustable Metering Pumps, Polyethylene Solution Tank, Manual, 110V/1Ph/60Hz	\$428.00	\$856.00

QUOTATION 92192-0

November 6, 2017

Prepared by: **May Higazy**

Qty	Part No.	Description	Unit Price (\$)	Ext Price (\$)
2	CDS30-2-pH	Post pH (caustic) Chemical Dosing System, 30 GPD, Adjustable Metering Pump, Polyethylene Solution Tank, automatic 110V/1Ph/60Hz	\$1,291.00	\$2,582.00
1	CS8-3	Cleaning/Flushing Skid for 8" membranes, to clean (6) pressure vessels at a time, 460V/3Ph/60Hz	\$12,500.00	\$12,500.00
1	TT	Wire Transfer Fee	\$35.00	\$35.00
1	container	Containerization all the above equipment, (3) 40' ISO shipping containers including: interconnecting piping and wiring (within container), lights, paint & AC.	\$112,500.00	\$112,500.00

Terms and Conditions	
Payment:	50% down/50% at shipping
Lead Time:	14-16 weeks
Validity:	30 days
FRT Terms:	Exworks Santa Ana, CA – USA

Sub Total:	\$670,089.00
Discount 0%:	\$0.00
Tax 0%:	\$0.00
Freight:	\$0.00
Total (USD):	\$670,089.00

No Credit Card Payments, Only Check or Wire Transfer.

B.3. Cotización de Aqua Pro

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.



Propuesta Técnico Económica GuanacasteHCR_KER_01_17_V2

Ave. Prolongación Madero 4066; Col. Fierro
Monterrey, N.L México C.P. 64590
Tel: 52-(81)88656710
www.aquaproing.com

11/12/2017

Tabla 1. Calidad de Agua Producto esperada a la salida del sistema desalador de acuerdo a los resultados obtenidos de la simulación con el Software de membranas.

Corrientes	1	2	3	4
Parámetros/ Equipos	Inlet	Outlet	Outlet	Outlet
	Agua Mar	FAL	FZA	RO
Flujo Promedio (L/s)	12.42	12.29	12.17	5.48
Flujo Promedio (m3/d)	1072.67	1061.95	1051.33	473.10
Flujo Promedio (m3/h)	44.69	44.25	43.81	19.71
Flujo Promedio (gpm)	196.82	194.85	192.90	86.81
pH	8.00	8.00	8.00	8.00
Dureza de Calcio (mg/L)	1524.00	1524.00	1524.00	3.254
Dureza de Magnesio (mg/L)	591.00	591.00	591.00	1.26
Sodio (mg/L)	11562.00	11562.00	11562.00	95.96
Bario (mg/L)	0.10	0.10	0.10	0.00
Potasio (mg/L)	252.00	252.00	252.00	2.71
Fe++ (mg/L)	0.01	0.01	0.01	0.00
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	1.00	1.00	1.00	0.00
Sulfatos (mg/L)	2599.00	2599.00	2599.00	5.75
Cloruros (mg/L)	19659.00	19659.00	19659.00	137.2
HCO3 (mg/l)	1444.00	1444.00	1444.00	31.72
Flúor total (mg/L)	0.01	0.01	0.01	0.00
Nitratos (mg/L)	0.05	0.05	0.05	0.00
Carbonatos (mg/L)	39.74	39.74	39.74	0.193
CO2 (mg/L)	15.45	15.45	15.45	0.495
Sílice (mg/L)	3.00	3.00	3.00	0.029
SDT (mg/L)	37690.36	37690.36	37690.36	251.9
Dureza total (mg/L CaCO3)	6233.10	6233.10	6233.10	10.06
Conductividad (mS/cm)	56277.00	56277.00	56277.00	542.9
Temperatura (°C)	25.00	25.00	25.00	25.00
Sólidos sedimentables (mg/L)	6.00	6.00	6.00	0.06
Turbidez(NTU)	0.21	0.01	0.00	0.00

PLANTA DESALADORA PARA HOTEL EN COSTA RICA

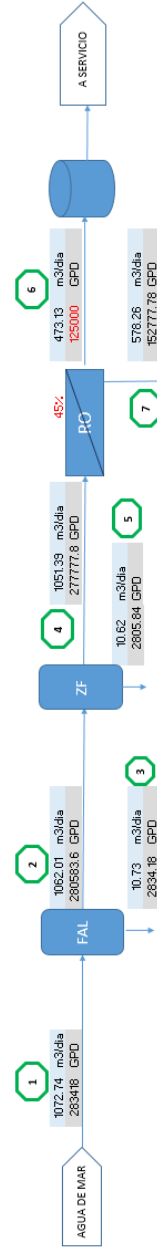


Figura 1. Diagrama de Bloques del proceso de tratamiento de agua de mar.

Descripción de Equipos principales

→ Filtros de Zeolita y cartucho

Se les incluye dentro de la cotización filtro (s) de Zeolita para remover sólidos suspendidos que se encuentran en el agua de pozo para que después el filtro pulidor de cartuchos termine de remover los de menor tamaño.

Se trabajara un filtro por equipo, teniendo uno de respaldo para cada planta.

NATURALEZA Y VENTAJAS DE LA ZEOLITA COMO MEDIO FILTRANTE:

La Zeolita es un compuesto inorgánico proveniente de minas ubicadas en lugares desérticos principalmente. Por experimentos y aplicaciones ya trabajadas desde hace varios años en la industria de la filtración se observa que el FLUX (GPM/pie 2 de área). Las especificaciones técnicas nos avisan un FLUX entre 10 y 20 gpm por pie cuadrado. Nuestro diseño se hace tomando un flux cercano a 10 gpm/pies cuadrado por lo que se puede decir que es un diseño seguro y conservador.

Su costo de operación es similar al ofrecido por un filtro de antracita-arena sílica, ya que estos dos medios sí son más baratos pero se requiere del doble de medio filtrante y su vida es similar a la de ZEOLITA (8 años), la vida de antracita es de 2 años y la de arena sílica es de 8 años.

Con la combinación de estos dos métodos de filtración que se incluyen (zeolita y cartuchos filtrantes) se pretende alcanzar valores de SDI<3 (grado de ensuciamiento bajo en el agua), de manera que permita trabajar al equipo de Osmosis Inversa en condiciones óptimas y asegurar una vida larga a las membranas, (limpiezas menos frecuentes dan como resultado menos desgaste a las membranas).

→ Sistema de Osmosis Inversa para agua de mar

Cada sistema de Osmosis Inversa es de una etapa utilizando membranas marca TORAY de 8" x 40", en un arreglo 10:0 y recuperaciones de 45%. En esta oferta se colocaron recipientes de presión con 7 membranas cada uno.

Dentro de las grandes ventajas que presenta un equipo de Osmosis Inversa está la de ofrecer una operación continua en su funcionamiento y la de brindar un agua con un nivel muy bajo de sales así como un agua estéril, libre de bacterias y virus.

La membrana TORAY que ofrecemos es la conocida como TM 820-400 de poliamida y con configuración en espiral; actualmente es reconocida a nivel mundial por su gran eficiencia y resistencia a contaminaciones orgánicas e inorgánicas, así como por su alto rechazo de sales.

Cada módulo de ósmosis inversa incluye 1 Filtro de cartuchos de 1 micra, así como instrumentación del sistema el cual se incluye en un tablero de control, (Ej.: medidores-controladores de: conductividad, presiones, flujos, interruptores de presión, presión diferencial).

Además dentro del Tablero de Control se cuenta con un Microprocesador Programable que permite tomar acciones correctivas y preventivas contra cualquier desviación de cualquier parámetro que pueda surgir, brindando así una protección a su equipo y proceso productivo.

La bomba de alta presión es centrífuga de multi-etapas y cuenta con impulsores de acero inoxidable que garantizan una eficiente y larga operación de la misma. Esta bomba fue seleccionada para cumplir con dos de los parámetros de operación de más importancia en el diseño de planta: flujo y presión.

La tubería de alta presión se presenta en acero inoxidable, de igual manera el filtro pulidor. Los recipientes de presión son de la marca CODELINE, los cuales son fabricados en base de fibra de vidrio, material que brinda alta resistencia a la corrosión. Su estética realza las ventajas técnicas que estos productos ofrecen como es la de estar certificados bajo código ASME.

→ Opción Turbocharger

En nuestro caso, usando la turbina “turbocharger” de PEI, el motor sería cerca de un 40% de menor caballaje, pues la energía hidráulica (del rechazo) es pasada por una turbina que trabaja como “bomba booster” misma que levanta la presión de alimentación a un 40-45% aproximadamente. La “bomba booster” sería movida por un motor hidráulico siendo alimentado por el agua de rechazo del sistema.

RESUMEN: Usando la turbina “turbocharger” de FEDCO se ahorra en energía y además en inversión por comprar una bomba con motor de menor caballaje.

CÁLCULO DE KWH/M3

Realidades:

Flujo de cada unidad:	19.7 m3/h (473 m3/d)
HP de alta presión:	90 reales a consumir en bomba centrífuga a 70% eficiencia
KW de alta presión:	67.05 KW

Ave. Prolongación Madero 4066
Fierro.CP.64590; Monterrey N.L., México.

Tel. 52-(81) 88-656710 Col.

www.aquaproing.com

Kw de bomba booster con VFD:	NA
Total de Kw:	67.05 KW
KWH/m3 =	3.40

→ Opción ERI

Qué es ERI. Es un sistema de recuperación de energía que presenta ventajas vs “turbocharger” en cuanto ahorros de energía. Estos llegan a ahorrar hasta 55%. Su forma de trabajo es diferente. Es por medio de un intercambiador de presión. Se tienen cuatro corrientes.

1. La proveniente de la bomba alta presión a presión alta de diseño (43% del flujo de entrada a membranas).
2. La proveniente del rechazo,
3. La de agua cruda (57% del flujo que entra a membranas) que sale del intercambiador de presión (empujada por el agua de rechazo) a presiones ligeramente inferiores a la de la bomba de alta presión. Después, esta corriente 3, con otra bomba centrífuga “booster” alcanza presiones de la bomba de alta presión y une en forma perpendicular su corriente a la línea de alta presión.

Las presiones de la bomba de alta presión dependen de la salinidad y temperatura del agua cruda, pero pueden ser de 600 psi a 1000 psi.

CÁLCULO DE KWH/M3

Realidades:

Flujo de cada unidad:	19.7 m3/h (473 m3/d)
HP de alta presión:	65 reales a consumir en bomba centrífuga a 65% eficiencia
Kw de alta presión:	48.425 kw
Kw de bomba booster con VFD:	3.725 kw
Total de Kw:	52.145 kw
KWH/m3=	2.64

Por qué presentamos dos opciones y no una? Somos una empresa que vende soluciones, siempre enfocados a manejar equipos de calidad que cumplan con las expectativas del cliente. Sin embargo nos hemos topado con clientes que han tenido experiencias con ambos equipos y, en ambos tecnologías, hemos visto que son rechazadas o aprobadas.

Sabemos que bien aplicadas y diseñadas, cualquiera de las dos trabajan muy bien, teniendo sus ventajas y desventajas una con otras. Deseamos que el cliente se sienta seguro y satisfecho de la compra de sus equipos.

Si no han tenido experiencia con ninguna de estas tecnologías o desean conocerlas más a fondo, con mucho gusto les hacemos una presentación.

Propuesta Económica

Partida	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio total
I	SISTEMA DOSIFICADOR Y MEDIDOR-CONTROLADOR DE CLORO LIBRE EN LINEA PARA AGUA DE MAR. INCLUYE TANQUE DE POLIETILENO DE 140 LTS	1	\$ 4,900.00	\$ 4,900.00
II	SISTEMA DE FILTROS AUTOLIMPIABLES 100 MICRAS MODELO FAL-1.5-40-AQP-FRP-B DE 5 CUERPOS CON CAPACIDAD DE 196 GPM (1072 M3/DIA)	1	\$ 19,500.00	\$ 19,500.00
III	FILTRO ZEOLITA, MODELO FZA-63-67-AQP-DW-FRP-32-B CON CAPACIDAD DE 195 GPM (1062 M3/DIA)	1	\$ 14,500.00	\$ 14,500.00
IV	SISTEMA DE DOSIFICADORES DE METABISULFITO DE SODIO, INHIBIDOR DE INCRUSTACIONES. INCLUYE 2 TANQUES DE POLIETILENO DE 140 LTS	1	\$ 4,500.00	\$ 4,500.00
V	PLANTA DESMINERALIZADORA POR EL PROCESO DE OSMOSIS INVERSA MARCA A-PRO MODELO OI-50-9-7-SW-B-1X DE OPERACION AUTOMATICA, PARA UNA CAPACIDAD NOMINAL DE 473.13 m3/día (86.8 GPM). CON SISTEMA RECUPERADOR DE ENERGIA TURBOCHARGER	1	\$ 217,000.00	\$ 217,000.00
VI	EQUIPO DE LIMPIEZA EN SITIO (CIP) PARA MEMBRANAS DE OSMOSIS INVERSA, MODELO: LM-250, MARCA: AQUA PRO. CON BOMBA DE CIP DE 15 HP, FILTRO CARTUCHO PARA CIP Y TANQUE DE LIMPIEZA DE 2.5M3 EN HDPE.	1	\$ 18,500.00	\$ 18,500.00
VII	SISTEMA DE DOSIFICADOR EN LINEA DE SOSA CAUSTICA. INCLUYE TANQUE DE POLIETILENO DE 140 LTS	1	\$ 5,500.00	\$ 5,500.00
VIII	SISTEMA DE DOSIFICADOR EN LINEA DE CaCl ₂ . INCLUYE TANQUE DE POLIETILENO DE 140 LTS Y AGITADOR MECANICO	1	\$ 4,500.00	\$ 4,500.00
IX	MEDIDOR-CONTROLADOR DE pH-ORP CON SALIDA DE ALARMA EN AGUA PERMEADA	1	\$ 4,500.00	\$ 4,500.00

X	SISTEMA DOSIFICADOR y MEDIDOR DE CLORO LIBRE AGUA PRODUCTO. INCLUYE TANQUE DE POLIETILENO DE 140 LTS.	1	\$ 4,900.00	\$ 4,900.00
XI	CONTENEDOR INDUSTRIAL DE 40 PIES TIPO HIGH CUBE DE 12.190 MTS DE LARGO X 2.438 MTS DE ANCHO POR 2.90 MTS DE ALTO (30M2 DE SUPERFICIO INTERIOR).	1	\$ 6,700.00	\$ 6,700.00
XII	TUBERIA DE INTERCONEXIÓN EN PVC. (TUBERÍA, VÁLVULAS, BRIDAS Y CONECTORES)	1	\$ 12,900.00	\$ 12,900.00
XIII	TRABAJOS DE INTERCONEXION E INSTALACION MECANICA CONSIDERANDO TRABAJOS REALIZADOS EN GUANACASTE, COSTA RICA.	1	\$ 9,300.00	\$ 9,300.00
XIV	TABLERO DE ARRANCADORES	1	\$ 18,650.00	\$ 18,650.00
XV	TRABAJOS DE INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE	1	\$ 3,200.00	\$ 3,200.00
XVI	FLETES, SEGUROS Y FIANZAS	1	\$ 13,400.00	\$ 13,400 .00

SUBTOTAL \$ 362,450.00 USD + IVA

→ **Notas**

Los precios se cotizan en dólares y deben sumar los impuestos, sin embargo se les puede cobrar en moneda local considerando el tipo de cambio controlado para la venta en el momento del pago. La partida de FLETES estará sujeta a los cambios necesarios una vez que se tenga la ubicación exacta del sitio.

Nota:

1. En caso de desear el recuperador de Energía ERI, este costaría **US\$ 18,000.00 dlls** extra al total presentado.
2. Nuestra oferta **INCLUYE** como apoyo a la operación de sus equipos y, como muestra de nuestro deseo de trabajar a largo plazo con ustedes, un operador por **UN mes** para el apoyo a la operación de éstos una vez arrancado el sistema desalador. Este servicio se ofrece sin cobro alguno y tiene un valor en el mercado de alrededor de **US\$ 3,000.00 dlls**.


→ **Política de ventas**

Tiempo de entrega:	14-16 semanas a partir de aprobación de la ingeniería
Condiciones de pago:	30% DE ANTICIPO 20% CONTRA ENTREGA DE INGENIERIA 40% CONTRA RECIBIMIENTO DE EQUIPOS 10% CONTRA MONTAJE, INSTALACIÓN Y ARRANQUE DE EQUIPOS Ó 15 DIAS DESPUÉS DE HABER INSTALADO. LO QUE OCURRA PRIMERO...
Vigencia de cotización:	60 días calendario
Términos de pago:	Cada Hito de pago es a 7 días después de facturado, excepto el Anticipo que es de inmediato.
L.A.B. :	Guanacaste, Costa Rica


→ **La oferta incluye**

- ✓ Juego de Planos (2)
- ✓ Manual de operación (original y copia)
- ✓ Entrenamiento personal (8)
- ✓ Planta ensamblada
- ✓ Se dejarán bridas para las interconexiones de tuberías de entrada y distribución de agua producto (por otros). La energización a tablero y cualquier obra civil no mencionada en este documento deberá ser realizada por terceros.

→ **Garantía y Control de Calidad**

 **AQUA-PRO**, bajo el nombre de “Ingeniería y Proyectos Integrales de Agua SA de CV” garantiza que el equipo provisto estará libre de defectos (en materiales usados o fabricación) y funcionará correctamente por 12 meses después del arranque o 18 meses después del envío, lo que venga primero.

→ **Garantía de Desempeño del Sistema**

 **AQUA-PRO**, bajo el nombre de la compañía “Ingeniería y Proyectos Integrales de Agua SA de CV” garantiza, de acuerdo a los términos de garantía incluidos, que el Sistema de tratamiento de aguas instalado cumple con las especificaciones de un rendimiento óptimo por un (1) año después de su primer uso.

Description de Partidas

EQUIPOS PARA UNA PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR MEDIANTE 1 SKID DE OSMOSIS INVERSA CON CAPACIDAD PARA PRODUCIR 473.13 m3/d (125000 GPD).**Partida I****SISTEMA DOSIFICADOR Y MEDIDOR-CONTROLADOR DE CLORO LIBRE EN LINEA PARA AGUA DE MAR. INCLUYE TANQUE DE POLIETILENO DE 140 LTS****BOMBA DOSIFICADORA**

Cantidad	2 pzas
Marca de bomba dosificadora	Pulsafeeder
Flujo	29.46 LPD
Material de cabeza	Polipropileno
Corriente	115 VAC
Válvula de pie	Incluida
Válvula de inyección	Incluida
Tanques de día con conexiones y soporte	Incluidos
Material	Polietileno AD
Marca	PROMINENT
Capacidad	140 L
Tiempo de retención	6 DIAS
Soportes	Incluidos

MEDIDOR DE CLORO LIBRE CON SALIDA DE ALARMA

Cantidad/	1 pza
Marca	FISHER ROSEMOUNT
Serie	1054
Modelo	1054A
Corriente	115/230 V CA, 60 Hz
Cable para energía aprobado UL/CSA 1.8m	Incluido
Sensor	499-ACL-01-54
Caja a prueba de agua NEMA 4X	Incluido
Dos circuitos de alarmas para set-points	Incluidos

Partida II**SISTEMA DE FILTROS AUTOLIMPIABLES 100 MICRAS MODELO FAL-1.5-40-AQP-FRP-B DE 5 CUERPOS CON CAPACIDAD DE 196 GPM (1072 M3/DIA)****Filtro (s) autolimpiables**

Número de equipos trabajando	1.00
Número de equipos en sitio	1.00

Flujo de operación (gpm)	196.8 GPM
Tipo de filtro	Tubular autolimpiable
Modelo de filtros (recipiente presión)	DXSN-FTA
Marca	DIOXISAN
Micraje	100
Material de recipiente	FRP
Material de elemento filtrante	FRP
Número de tubos por recipiente	4
Diámetro de tubos	1.50
Altura de tubos	40"
Diámetro de entrada/salida del recipiente de presión (")	2.00
Diámetro de cabezal de entrada principal (")	2.00
Diámetro de cabezal de producto (")	2.00
Diámetro de cabezal de retrolavado (")	2.00
Flujo de retrolavado (gpm) /equipo	60.00
Presion de trabajo de retrolavado (psi)	40.00

Indicador- controlador digital de flujo para agua de entrada/producto.

Medidor de flujo entrada

Cantidad/modulo	1
Marca	GEORG FISCHER
Serie	3 2551
Modelo	3 2551 PO
Salida	4-20 mA
Indicador de alarma LED	Incluida
Rango	PD
Tipo	Magnético
Flujo de operación (gpm)	38.84
Ubicación	Entrada

Sensor de flujo

Cantidad	1
Marca	GEORG FISCHER
Modelo	3 2551 PO
Silleta de flujo entrada	Incluido
Tipo	Magnético
Rango	PD
Diámetro de tubería (")	1.5
Flujo de operación (gpm)	38.84

Medidor de flujo producto

Cantidad/modulo	1
Marca	GEORG FISCHER

Serie	2551
Modelo	3 2551 PO
Salida	4-20 mA
Indicador LED con alarma	Incluido
Rango	PD
Tipo	Magnético
Flujo de operación (gpm)	38.84
Ubicación/aplicación	Producto de UF

Partida III

FILTRO ZEOLITA, MODELO FZA-63-67-AQP-DW-FRP-32-B CON CAPACIDAD DE 195 GPM (1062 M3/DIA)

Diámetro de tanque	160 cms. (63")
Altura del cuerpo recto	170 cms. (67")
Material del tanque	FRP
Presión de diseño	150 psig
Recubrimiento interior	Polietileno
Registro hombre	Incluido
Distribuidor inferior	PVC y tob. Johnson ABS
Distribuidor superior	PVC y tob. Johnson ABS
Flujo de servicio deseado	183.46 gpm @ 50 psi
Flujo de retrolavado	Hasta 12 gpm/ft2 de área
Rango del flujo de servicio	8-10 gpm/ ft2 de área
Flujo de enjuague	5 gpm/ft2 de área
Válvulas de control de operación	Incluidas
Tipo de operación	Manual
Marca de Válvulas	HAYWARD
Controlador	MANUAL
Tubería exterior	PVC cédula 80
Medio filtrante	ZEOLITA MINERAL
Manómetros tipo bourdon	2 piezas
Indicador-interruptor de presión diferencial	Incluido

Partida IV

SISTEMA DE DOSIFICADORES DE METABISULFITO DE SODIO, INHIBIDOR DE INCRUSTACIONES. INCLUYE 2 TANQUES DE POLIETILENO DE 140 LTS

BOMBA DE INHIBIDOR DE INCRUSTACIONES	BD 2 A/B
Unidades instaladas	2
Unidades en función	1
Dosis en ppm	3
Kgs por día de concentrado	3.15
Densidad del producto	1.20

Lts por día de concentrado por un equipo	2.63
Lts por día de concentrado por los equipos en función	2.63
Dilución del producto (SI ES EL CASO, < 10 LPD EN CUADRO ANT)	0.50
Lts por día de inhibidor diluido/EQUIPO	5.26
lts/día de inhibidor diluido por todos los equipos en función	5.26
Lts en 7 días para todos los equipos en función	36.799
KW	0.1
Marca	DOSIM
Material de cabeza/Válvula/Asiento	PP/teflón/teflon
Corriente	115 VAC
Válvula de pie	Incluida
Válvula de inyección	Incluida

Modelo

TANQUE DE INHIBIDOR EN COMUN	TQ-02
Cantidad	1
Tiempo de retención en días	10
Volumen (m3)	0.140
Altura (m)	0.86
Área (m2)	0.31
Diámetro (m)	0.5
Material	HDPE
Marca	Prominent

Modelo

BOMBA DE BISULFITO DE SODIO

Unidades instaladas	2
Unidades en función	1
Dosis en ppm	4
Kgs por día de concentrado	4.21
Densidad del producto	1.48
Lts por día de concentrado por un equipo	2.84
Lts por día de concentrado por los equipos en función	2.84
Dilución del producto (SI ES EL CASO, < 10 LPD EN CUADRO ANT)	20%
Lts por día de químico diluido	14.21
lts/día de químico diluido por todos los equipos en función	28.42

Lts en 7 días para todos los equipos en función	198.9
KW	0.1
Marca	DOSIM
Material de cabeza/Válvula/Asiento	PP/teflón/teflon
Corriente	115 VAC
Válvula de pie	Incluida
Válvula de inyección	Incluida

Modelo

TANQUE DE BISULFITO	TQ -03
Cantidad	1
Tiempo de retención en días	14
Volumen (m3)	0.140
Altura (m)	0.86
Área (m2)	0.15
Diámetro (m)	0.5
Material	HDP
Marca	Prominent

Partida V

PLANTA DESMINERALIZADORA POR EL PROCESO DE OSMOSIS INVERSA MARCA A-PRO MODELO OI-50-9-7-SW-B-1X DE OPERACION AUTOMATICA, PARA UNA CAPACIDAD NOMINAL DE 473.13 m3/día (86.8 GPM). CON SISTEMA RECUPERADOR DE ENERGIA TURBOCHARGER

1.0 PARAMETROS DE DISEÑO :

Número de módulos	1
Arreglo	5:00
Flujo entrada (GPM)	192.9032732
Flujo entrada (M3/H)	43.81
Flujo de agua permeado (GPM)	86.80647292
Flujo de agua permeado (m3/h)	19.71375
Flujo de agua de rechazo (GPM)	106.0968002
Flujo de agua de rechazo (m3/h)	24.09
Porcentaje de recuperación	45%
Calidad de agua de alimentación (en SDT)	32000
Calidad de agua permeada (en SDT)	<340 ppm como SDT
Presión (PSI)	870
Temperatura del agua	25°C
Índice de ensuciamiento (SDI)	< 3
Turbidez máxima permisible a la entrada	1 N.T.U.

Ave. Prolongación Madero 4066 Fierro.CP.64590; Monterrey N.L., México. www.aquaproing.com	Tel. 52-(81) 88-656710 Col.
--	-----------------------------

Concentración de cloro libre en agua de alimentación	0 ppm
Dosis de inhibidor de incrustaciones (ppm)	2

1.0 ALCANCE DE LA PLANTA :

1.0 ALCANCE DE LA PLANTA :

2.0 Filtro de cartuchos

Cantidad de recipientes	1
Marca	EDEN EXCEL
Modelo	40EFCS4 3C150
Material de recipiente	FRP
Número de cartuchos mercado	10
Diámetro de cartuchos/bolsa mercado	2.5
Altura de cartuchos/bolsa mercado	40
Material	Polipropileno extruido
Retención	5 micras
Modelo cartucho CIP (5m)	GWTW 5 A 40
Serie cartucho	GWTW
Marca cartucho	GLOBAL FILTER
Flujo de transferencia (GPM)	192.9

2.1 Bomba de alta presión (BAP-01):

Número de bombas instaladas	1
Número de bombas en función	1
Marca	Fedco
Modelo	MSS
Tipo	Centrifuga vertical multipasos
Material de carcaza	DUPLEX 2205
Material de internos-impulsores	DUPLEX 2205
Flujo entrada (GPM)	192.90
Flujo entrada (M3/H)	43.81
Presión dinámica esperada (psi)	565
Presión dinámica esperada (BAR)	38.9
Tamaño de motor (HP)	100
Marca de motor	BALDOR
Válvula (s) de succión	Incluidas
Tipo y marca	Bola /Warren

Material, diámetro y cantidad	Acero Inoxidable 316
Válvula (s) reguladora de flujo y presión a la descarga	Incluidas
Tipo y marca	Bola /Warren
Material, diámetro y cantidad	Acero inoxidable 316/ 2" / 1
Válvula check	Acero Inoxidable
Material, diámetros y marca	Acero inox. 316L/ 2" / SHARPE

2.1.3 Turbina recuperadora de energía

Tipo	TURBO CHARGER
Entrada en baja presión (GPM)	192.90
Salida alta presión a OI (GPM)	192.90
Entrada alta presión de rechazo de OI (GPM)	106.10
Salida de rechazo de OI, baja presión (GPM)	106.10
Material	DUPLEX 2205
Cantidad	1

2.2.2 VARIADOR DE FRECUENCIA

Marca	Baldor or Automation Direct
Modelo	Vector Control
VAC/fases/ Hz	220-440V / 3 / 60
Frecuencia salida	0-500 Hz
Capacidad de sobrecarga	150% para 60 segundos, 170-200% para 3 segundos de torque constante/ 115% por 60 segundos de torque variable
Temperatura	-10 grC a 40gr. C

2.2 Banco de Osmosis Inversa:

2.2.1 Membranas de Osmosis Inversa

Número de membranas por cada modulo	35
Marca	TORAY
Modelo	TM820-400
Material de membrana	Poliamida
Tipo de configuración	Espiral
Área (ft)	400
Diámetro de membrana (")	8"
Largo de membrana (")	40"

2.2.2 Recipientes de presión

NUMERO DE RECIPIENTES de OI/MODULO	5
Marca	PROTEC
Material de recipiente	FRP
Diámetro de recipiente (")	8
Presión de diseño (psi)	1000
Código de fabricación	ASME
Tapas de extremos	Incluidos
Conectores internos	Incluidos
2.3.3 Cabezales de 3" alimentación al banco de O.I.	Duplex 2205 C-40
2.3.4 Cabezales de 2" rechazo	Duplex 2205 C-40
2.3.5 Cabezales de 2.5" agua producto	PVC cédula 80
2.3.6 Válvulas tipo aguja de muestreo en 1/4"	PVC cédula 80
2.3.7 Válvulas de venteo	Duplex 2205
2.3.8 Válvula bola de control de rechazo en 2"	Duplex 2205
2.3.9 Conectores para limpieza en 2.5"	Incluidos
2.3.10 Válvula 3" aisladora entrada y check 2.5" a la salida	Incluidas

2.5 Instrumentación:

2.5.1 Indicador- controlador digital de flujo para agua de entrada, producto, rechazo, bomba booster.

Marca	+GF+ SIGNET
Serie	2537
Modelo	2537-6-C-+0
Salida	4-20 mA
Indicador alarma LED	Incluido
Sensor	Incluido
Cantidad	Cuatro (4)
Marca	+GF+
Modelo	515
Accesorio de montaje	Incluido

2.5.2 Transmisor 4-20 conductividad para agua entrada y de producto

Cantidad	1 pza
Marca	GEORGE FISHER
Serie	8750
Modelo	3-8750-1
Señal de salida	4-20 Ma
Salidas para alarma	Dos (2)

Ave. Prolongación Madero 4066	Tel. 52-(81) 88-656710 Col.
Fierro.CP.64590; Monterrey N.L., México. www.aquaproing.com	

Compensación por temperatura	0-100°C
Requerimientos de poder	10 a 30 VDC
Gabinete	NEMA 4X
Sensores	Incluido
Cantidad	Dos (2)
Marca	+GF+
Modelo	3--2820 y 3-2822-1

2.5.3 Indicador/controlador digital de pH para agua producto

Cantidad/	1 pza
Marca	GEORGE FISHER
Serie	2850
Modelo	2850-5X-X
Corriente	115/230 V CA, 60 Hz
Cable para energía aprobado UL/CSA 1.8m	Incluido
Sensor	2757
Caja a prueba de agua NEMA 4X	Incluido
Dos circuitos de alarmas para set-points	Incluidos

2.5.4 Transmisor de ORP para agua entrada

Cantidad/	1 pza
Marca	George Fisher
Serie	2750
Modelo	3-2750-1
Corriente	115/230 V CA, 60 Hz
Cable para energía aprobado UL/CSA 1.8m	Incluido
Sensor	2757
Caja a prueba de agua NEMA 4X	Incluido
Dos circuitos de alarmas para set-points	Incluidos

2.5.5 Manómetro de presión diferencial en Osmosis Inversa y filtros pulidores

Cantidad	1 pza
Marca	DEWIT
Modelo	4404
Rango	0-100 psi
Carátula	4"
Material partes húmedas	Acero Inoxidable

2.5.6 Manómetros para pre-post filtro, alta presión bomba alta, salida bomba booster, presión rechazo final

Cantidad	5 piezas
Marca	DEWIT
Modelo	55V/ 100 psi y 0-1000 psi
Rango	0-100 psi, 0-1000 psi
Material partes húmedas	Acero Inoxidable
Sello químico	Incluido

2.5.7 Interruptor de presión (bajo/alto) y presión diferencial en filtros pulidores y en unidad de Osmosis Inversa

Marca	ASHCROFT
Modelo	43230S
Rango	0-80 psi
Material partes húmedas	Acero Inoxidable

2.5.8 Transmisor de presión a la descarga de la bomba de alta

Cantidad	1 pza
Marca	Danfoss o Ashcroft
Rango	0-1000 psi
Material partes húmedas	Acero Inoxidable

2.5.9 Transmisor de temperatura

Cantidad	1 pza
Marca	+GF+ Signet
Modelo	3-2350-3
Rango	0-100 gC
Material partes húmedas	Acero Inoxidable

2.6 Control para enjuagues

Cantidad	1 jgo
Tipo	Automático
Válvula solenoide	Incluida
Programación	Incluida

2.6.1 Tablero de control con microprocesador (PLC).

Total	1
Microprocesador programable	Incluido
Marca	Automation Direct
CPU Automation Direct para serie FX2N	Automation Direct
Rack 8 slots	Automation Direct
Fuente de poder para PLC	Automation Direct
Módulo para entradas digitales 16 pts	Automation Direct
Módulo de salidas digitales 16 pts	Automation Direct
Módulo de entradas analógicas de 8 pto	Automation Direct
Terminal	Automation Direct
1 transformador 440 a 110V	Incluido
Protección contra sobre carga en poder de alimentación	Incluido
Fusible y alambreado	Incluido
Fuente de poder no reg. de 120 VCA a 24 VCD a 1 AMP	Incluido
Gabinete metálico fabricado en lámina rollada en frío	Incluido
Código	NEMA 12X
Ingeniería, Dibujos, Configuración y Programación	Incluida

ARRANCADORES/ PLANTA

Cantidad		Marca
Ave. Prolongación Madero 4066 Tel. 52-(81) 88-656710 Col.		
Fierro.CP.64590; Monterrey N.L., México. www.aquaproing.com		

1	Arrancadores de 15 HP, 220 VAC	HITACHI
1	Arrancadores de 100 HP, 220 VAC	HITACHI
1	Transformador de control de 3 KVA, 440 VAC-220 VAC	AUTOMATION DIRECT
1	Gabinete Poliester	AUTOMATION DIRECT
1	Inversor de 100 HP, 220 VAC	Control Technics

Indicadoras de los siguientes parámetros y alarmas (incluye mímico):

- Encendido
- Retardo
- Operación
- Alta conductividad (alarma y paro)
- Alarma y paro por alta presión en alimentación
- pH fuera de rango (alarma y paro)
- Enjuague automático
- Baja presión de alimentación (alarma y paro)
- Alta presión diferencial (alarma y paro)
- Encendido de bomba de transferencia y dosificadoras
- Bajo flujo de alimentación (alarma y paro)
- CIP automático, nivel de tanque

Operación: Automática con opción a manual.

2.7 Soporte estructurales para recipiente de presión, bombas de alta presión y dosificadores:

Material: Acero estructural
 Acabado: Pintura epóxica

Partida VI

EQUIPO DE LIMPIEZA EN SITIO (CIP) PARA MEMBRANAS DE OSMOSIS INVERSA, MODELO: LM-250, MARCA: AQUA PRO. CON BOMBA DE CIP DE 15 HP, FILTRO CARTUCHO PARA CIP Y TANQUE DE LIMPIEZA DE 2.5M3 EN HDPE.

Descripción de componentes:

1.1 Bomba de recirculación (BT-05).

Número de bombas instaladas	1.00
Número de bombas en función	1.00
Tipo	Centrifuga
Marca	FYBROC
Serie	1530
Modelo	N.E.
Material de carcaza	Acero inox 316
Material de impulsores e internos	Acero inox 316
Flujo de transferencia (GPM)	250
Flujo de transferencia (m3/h)	56.775
Presión (PSI)	50

Presión (BAR)	3.448
Motor eléctrico	Incluido
HP REAL	15
Soporte	Incluido
Características de motor:	
VOLTAJE	220/440
HZ	60
FASES	3
Válvula de bola manual	Incluida
Marca	SHARP
Material	Acero Inoxidable 316
Válvula de retención	Incluida
Marca	DANFOSS FLOMATIC
Material	Acero inoxidable 316

1.2 Filtro de cartuchos (FC-3)

Cantidad de recipientes	1
Marca	EDEN EXCEL
Modelo	40EFCS4 3C150
Material de recipiente	FRP
Número de cartuchos mercado	10
Diámetro de cartuchos/bolsa mercado	2.5
Altura de cartuchos/bolsa mercado	40
Material	Polipropileno extruido
Retención	5 micras
Modelo cartucho CIP (5m)	GWTW 5 A 40
Serie cartucho	GWTW
Marca cartucho	GLOBAL FILTER
Flujo de transferencia (GPM)	250
Flujo de transferencia (m3/h)	56.775
Diámetro de entrada/salida del recip (")	3
Tubería de interconexión a bombas de alta presión	Incluida

1.3 Tanque de solución de limpieza (T5).

Cantidad	1
Tiempo de retención (minutos)	3
Volumen (m3)	2.5
Altura (m)	1.76

Área (m2)	
Diámetro (m)	1.55
Marca	ROTOPLAS
Modelo	PD
Material	HDPE

Transmisor de nivel

Cantidad	1
Tipo	CONTACTO-CONDUCTIVIDAD
Marca	IFM EFECTOR
Modelo	PD
Señal	4-20 MA
SUMINISTRO	24 VCD

1.4 Válvulas, tubería de interconexión y mangueras a conexiones de tuberías

1.4a. -

Válvulas tipo bola en PVC (control de flujo)	15 piezas
Diámetro de válvulas	3"
Marca	ASAHI
Material	PVC
Libras de presión de diseño	1034 KPa (150 PSI)
Material de asiento	Teflón
Material de tubería	PVC cédula 80
Conexiones en PVC cédula 80	Incluido

1.4b.-

Válvula check	3
Diámetro de válvulas	3"
Fabricante	ASAHI
Material	PVC
Libras de presión de diseño	1034 KPa (150 PSI)

1.4c.-

Válvula bola electroactuada	1
Diámetro de válvulas	3"

Fabricante	GEORGE FISHER
Material	PVC
Libras de presión de diseño	1034 KPa (150 PSI)

1.5 Manómetros pre-post filtro cartucho

Cantidad	1
Marca	WIKA
Modelo	233.55
Rango	0-100 PSI
Material partes húmedas	Acero Inoxidable
Líquido amortiguador	GLICERINA
TIPO	LINEA
Diámetro de manómetro	2.5"
Conexión inferior	1/4"

1.6 Estructura de acero al carbón recubierta con resina epóxica.

1.7 Sistema Eléctrico: Pre-alambrado con tablero de control con interruptor ON/OFF y luces indicadoras.

Partida VII

SISTEMA DE DOSIFICADOR EN LINEA DE SOSA CAUSTICA. INCLUYE TANQUE DE POLIETILENO DE 140 LTS

Cantidad/módulo	2 pza
Marca de bomba dosificadora	Pulsafeeder
Material de cabeza	Polipropileno
Corriente	115 VAC
Flujo	4 LPD
Válvula de pie	Incluida
Válvula de inyección	Incluida
Tanques de día con conexiones y soporte	Incluidos (1)
Material	Poliétileno AD
Capacidad	140 L
Soportes	Incluidos
Agitador mecánica maraca Pulsafeeder de ¼ HP	Incluido

Partida VIII

SISTEMA DE DOSIFICADOR EN LINEA DE CaCl₂. INCLUYE TANQUE DE POLIETILENO DE 140 LTS Y AGITADOR MECANICO

Cantidad/módulo	2 pza
Marca de bomba dosificadora	Pulsafeeder
Material de cabeza	Polipropileno
Corriente	115 VAC
Válvula de pie	Incluida
Válvula de inyección	Incluida
Tanques de día con conexiones y soporte	Incluidos (1)
Material	Polietileno AD
Capacidad	140 L
Soportes	Incluidos
Agitador mecánico marca Pulsafeeder de ¼ HP	Incluido

Partida IX

MEDIDOR-CONTROLADOR DE pH-ORP CON SALIDA DE ALARMA EN AGUA PERMEADA

Cantidad/	1 pza
Marca	FISHER ROSEMOUNT
Serie	1054
Modelo	1054BPH-01
Corriente	115/230 V CA, 60 Hz
Cable para energía aprobado UL/CSA 1.8m	Incluido
Sensor	389PH011-054
Caja a prueba de agua NEMA 4X	Incluido
Dos circuitos de alarmas para set-points	Incluidos

Partida X

SISTEMA DOSIFICADOR y MEDIDOR DE CLORO LIBRE AGUA PRODUCTO. INCLUYE TANQUE DE POLIETILENO DE 140 LTS.

DOSIFICADOR

Cantidad	2 pzas
Marca de bomba dosificadora	Pulsafeeder
Flujo	9 lpd
Material de cabeza	Polipropileno
Corriente	115 VAC
Válvula de pie	Incluida
Válvula de inyección	Incluida
Tanques de día con conexiones y soporte	Incluidos
Material	Polietileno AD
Marca	PROMINENT
Capacidad	140 L
Tiempo de retención	7 DIAS

Soportes

Incluidos

MEDIDOR DE CLORO LIBRE CON SALIDA DE ALARMA

Cantidad/	1 pza
Marca	FISHER ROSEMOUNT
Serie	1054
Modelo	1054A
Corriente	115/230 V CA, 60 Hz
Cable para energía aprobado UL/CSA 1.8m	Incluido
Sensor	499-ACL-01-54
Caja a prueba de agua NEMA 4X	Incluido
Dos circuitos de alarmas para set-points	Incluidos

Partida XI

CONTENEDOR INDUSTRIAL DE 40 PIES TIPO HIGH CUBE DE 12.190 MTS DE LARGO X 2.438 MTS DE ANCHO POR 2.90 MTS DE ALTO (30M2 DE SUPERFICIO INTERIOR).

Partida XII

TUBERIA DE INTERCONEXIÓN EN PVC. (TUBERÍA, VÁLVULAS, BRIDAS Y CONECTORES)

- 1.1 Tubería de PVC Ced. 80. Presión de diseño 150 psi. Conexiones: "T", codos, reducciones., bridas. Función conexión según diagramas de
- Cabezal de agua cruda a cabezal de Filtros Multimedia
 - Cabezal de Filtros Multimedia a cada Filtro
 - Cabezal de agua cruda a cabezal de línea de retrolavado
 - Cabezal de línea de retrolavado a cada Filtro Multimedia.
 - De Filtros Multimedia a Cabezal de Salida
 - Línea de bypass de agua filtrada.

- 1.2 Tubería de PVC Ced. 80. Presión de diseño 150 psi. Conexiones: "T", codos, reducciones., bridas. Función conexión según diagramas de
- De Cabezal de salida de Filtros Multimedia a cabezal de Ósmosis Inversa
 - De Cabezal de O.I. a cada línea de O.I. hasta la entrada de bombas de alta presión.
 - Del Sistema de Limpieza a cada módulo de OI
 - De cada módulo de OI a tanque de limpieza
 - De salida módulos OI a cabezal de agua mezclada.

- 1.3 Tubería de Acero Inoxidable 2205 Duplex. Presión de diseño 1000 psi. Conexiones: "T", codos, reducciones., bridas. Función conexión según diagramas de
- De salida de Bombas de alta presión a entrada a módulos de O.I.,
 - Rechazos de Osmosis Inversa

Partida XIII

TRABAJOS DE INTERCONEXION E INSTALACION MECANICA CONSIDERANDO TRABAJOS REALIZADOS EN GUANACASTE, COSTA RICA.

Instalación electromecánica e Ingeniería.

Dentro del alcance de la instalación de los equipos se considera:

Instalación eléctrica

-> Instalación eléctrica de fuente de potencia a tablero a distancia considerada en ingeniería a entregar.

-> Control e instrumentación.

-> Conexión a arrancadores de motor, instalados en SKID de equipos.

La acometida eléctrica es por parte de EL CLIENTE. Que deberá ser proporcionada directamente al lugar donde estará el tablero de control en 230/460 V, 3 PH, 60 HERTZ

Instalación Mecánica

-> Instalación mecánica de equipos dentro del SKID/estructura

-> Tubería, válvulas y accesorios de interconexión de equipos

-> Interconexión mecánica de equipos

-> Barrido de tuberías

Nota 1: Consideramos que la interconexión a los servicios antes mencionados será de acuerdo a la trayectoria definida en la ingeniería a entregar. El resto deberá ser considerado por otros.

Partida XIV

TABLERO DE ARRANCADORES

Especificaciones:

- 440VCA
- Monitor de Energía
- Cumple con la IEC
- Tipo TS8 por SIEMENS o Similar

- Envoltente tipo NEMA 1(Para interiores)
- Envoltente para zona NO húmeda Acero al carbono
- Dimensiones de 2200mm x 800mm x 600mm con una base de 100 mm.
- La estructura está fabricada de lámina de acero de al menos los siguientes calibres:
 - Calibre lamina 16ga
 - Puerta 14ga
 - Panel de montaje 11ga

- La acometida de cables y electroductos es por la parte superior o inferior ,cuenta con 20% de tablillas de reserva,Todos los planos y dibujos en sistema métrico decimal,El interruptor principal deberá estar soportado para resistir una falla de corriente de corriente de corto circuito de 42000, 65000, 100000 RMS ampers simétricos.
- Indicadores tipo LED de 22mm IP6
- Cada unidad cuenta con relevadores de sobre carga.

Partida XV

TRABAJOS DE INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE

Ingeniería

- > Arreglo General de Equipos
- > DTI (Diagrama de tubería e instrumentación)
- > Diagramas eléctricos: Unifilares, Tierras, Sistema de control, canalización eléctrica
- > Planos Mecánicos: arreglo de tuberías
- Resumen de Diseño (memoria de cálculo)
- > Especificaciones del equipo (pesos, dimensiones, componentes, curvas de bombas)
- > Listado de repuestos requeridos
- > Manual de operación y mantenimiento
- > Características y manuales de instrumentos
- > Programa de fabricación, instalación y arranque
- > Instalación, comisionamiento, arranque y ajuste de los equipos
- > Capacitación al personal

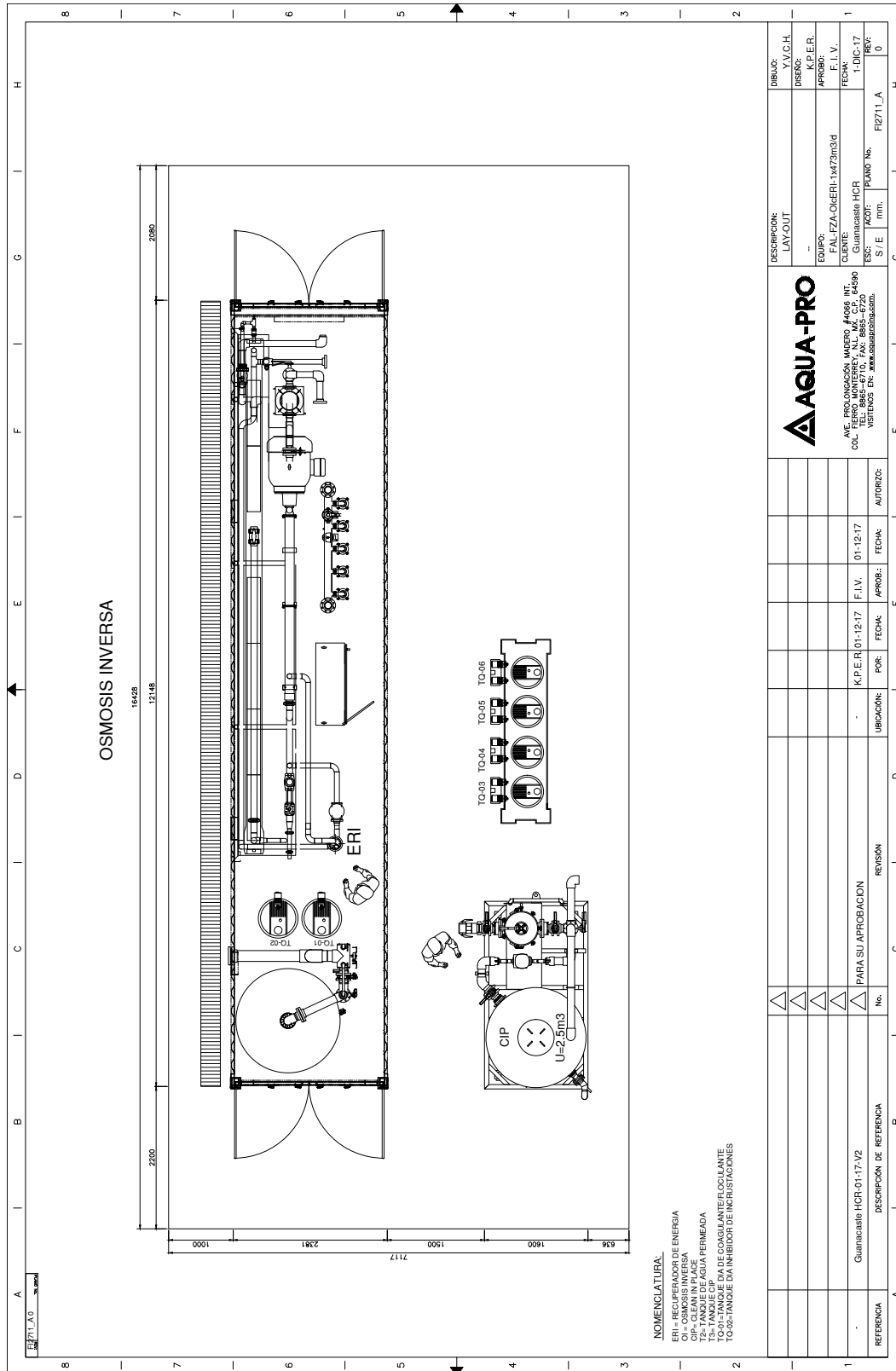
Partida XVI

FLETES, SEGUROS Y FIANZAS. (ENTREGA A GUANACASTE, COSTA RICA)

Anexos C

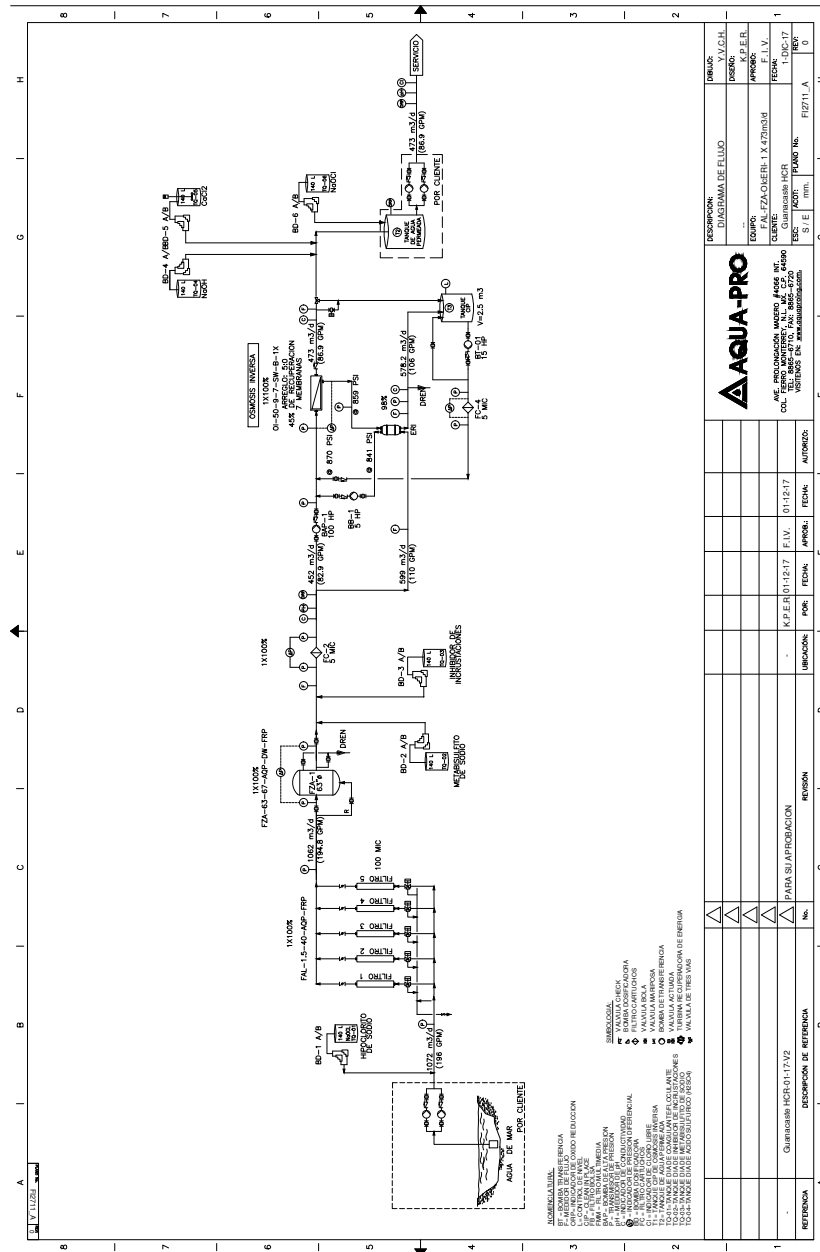
Información adicional del sistema de desalinización de Aqua Pro

C.1. Layout de componentes para módulo de desalinización



C.2. Diagrama de flujo del módulo de desalinización.

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.



REFERENCIA	DESCRIPCION DE REFERENCIA	UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR
1	Guarumará HCR-0117A2	PARA SU REPRODUCCION	K.P.E.R. 01-217	F.I.V.	01-217
2		REPOSICION			
3		REPOSICION			
4		REPOSICION			
5		REPOSICION			
6		REPOSICION			
7		REPOSICION			
8		REPOSICION			
9		REPOSICION			
10		REPOSICION			
11		REPOSICION			
12		REPOSICION			
13		REPOSICION			
14		REPOSICION			
15		REPOSICION			
16		REPOSICION			
17		REPOSICION			
18		REPOSICION			
19		REPOSICION			
20		REPOSICION			
21		REPOSICION			
22		REPOSICION			
23		REPOSICION			
24		REPOSICION			
25		REPOSICION			
26		REPOSICION			
27		REPOSICION			
28		REPOSICION			
29		REPOSICION			
30		REPOSICION			
31		REPOSICION			
32		REPOSICION			
33		REPOSICION			
34		REPOSICION			
35		REPOSICION			
36		REPOSICION			
37		REPOSICION			
38		REPOSICION			
39		REPOSICION			
40		REPOSICION			
41		REPOSICION			
42		REPOSICION			
43		REPOSICION			
44		REPOSICION			
45		REPOSICION			
46		REPOSICION			
47		REPOSICION			
48		REPOSICION			
49		REPOSICION			
50		REPOSICION			
51		REPOSICION			
52		REPOSICION			
53		REPOSICION			
54		REPOSICION			
55		REPOSICION			
56		REPOSICION			
57		REPOSICION			
58		REPOSICION			
59		REPOSICION			
60		REPOSICION			
61		REPOSICION			
62		REPOSICION			
63		REPOSICION			
64		REPOSICION			
65		REPOSICION			
66		REPOSICION			
67		REPOSICION			
68		REPOSICION			
69		REPOSICION			
70		REPOSICION			
71		REPOSICION			
72		REPOSICION			
73		REPOSICION			
74		REPOSICION			
75		REPOSICION			
76		REPOSICION			
77		REPOSICION			
78		REPOSICION			
79		REPOSICION			
80		REPOSICION			
81		REPOSICION			
82		REPOSICION			
83		REPOSICION			
84		REPOSICION			
85		REPOSICION			
86		REPOSICION			
87		REPOSICION			
88		REPOSICION			
89		REPOSICION			
90		REPOSICION			
91		REPOSICION			
92		REPOSICION			
93		REPOSICION			
94		REPOSICION			
95		REPOSICION			
96		REPOSICION			
97		REPOSICION			
98		REPOSICION			
99		REPOSICION			
100		REPOSICION			

Anexos D

Programas de mantenimiento y análisis del modo efecto falla

D.1. Tareas de mantenimiento recomendadas

Elemento: Toma de agua marina/Salida de salmuera

Tarea	Frecuencia
Limpieza manual de las ranuras y el interior de la toma	Semestral
Revisión de salida de la tubería de salmuera	Semestral

Elemento: Válvula reguladora

Tarea	Frecuencia
Limpieza de la válvula	Bianual
Inspección visual y del funcionamiento	Bianual
Revisión de sellos y terminales de cables en el actuador	Anual
Cambio del lubricante del actuador	6-8 años
Revisión y retoque de la pintura en el actuador	Anual

Elemento: Tanque primario con agua marina

Tarea	Frecuencia
Impermeabilización interna del tanque	Bianual
Limpieza de los sólidos del tanque	Semanal
Inspección del correcto funcionamiento de la tapa hermética	Diario
Inspecciones para detectar fisuras	Mensual
Revisión de estabilidad del suelo	Diario
Revisión del nivel del tanque	Diario
Vaciado y limpieza del tanque	Semestral

Elemento: Bomba tipo turbina para trasegar agua marina

Tarea	Frecuencia
Cambio del líquido del sello	100 horas operacionales
Revisión del goteo en el sello	Diario
Revisión de drenajes del sello	Anual
Inspección del impulsor	Anual
Inspección de la carcasa interior	Anual
Inspección de la carcasa exterior (revisión de la pintura, etc)	Semestral
Limpieza de las rejillas de ventilación del motor	Mensual
Revisión del acoplamiento de la bomba	Anual
Inspección del eje de la bomba	Anual
Limpieza e inspección de la canasta de succión	Anual
Cambio del líquido de lubricación	2000 horas operacionales o anualmente
Inspección del nivel de lubricación de la bomba y del motor	Diario
Revisión del motor de la bomba	Mensual
Cebas las bombas antes de ponerlas a operar	Diario
Revisión de posibles sonidos	Diario
Revisión de variaciones de temperatura en el cojinete	Diario
Revisión de cambios repentinos en instrumentación	Diario
Verificar el alineamiento de la bomba y del impulsor	Anual
Cambio del aceite de cojinetes	Anual
Limpieza y revisión de cojinetes	Anual
Medición de juego permitido por los cojinetes	Anual

Elemento: Sistema de tuberías a manejar agua marina

Tarea	Frecuencia
Limpieza exterior y pintura	Semestral
Inspección por posibles fugas	Semanal
Revisión del correcto funcionamiento de los soportes	Semanal

Elemento: Valvulería para la tubería a manejar agua marina

Tarea	Frecuencia
Revisión del correcto accionamiento de las válvulas	Mensual

Elemento: Módulo de desalinización

Tarea	Frecuencia
Limpieza de membranas	Trimestral
Revisión del estado del motor de la bomba de alta presión.	Anual
Cambio de filtros de cartucho de polipropileno termofusionado.	Mensual
Cambio de membranas de ósmosis inversa	Revisión durante limpieza trimestral
Pruebas químicas del agua permeada	Mensual
Impulsor de la bomba.	Revisión a los 5 años operacionales

Elemento: Sistemas de tuberías de distribución

Tarea	Frecuencia
Limpieza exterior y pintura	Semestral
Inspección por posibles fugas	Semanal
Revisión del correcto funcionamiento de los soportes	Semanal

Elemento: Valvulería para las tuberías de distribución

Tarea	Frecuencia
Revisión del correcto accionamiento de las válvulas	Mensual

Elemento: Tanque de salmuera

Tarea	Frecuencia
Impermeabilización interna del tanque	Bianual
Limpieza de los sólidos del tanque	Semanal
Inspección del correcto funcionamiento de la tapa hermética	Diario
Inspecciones para detectar fisuras	Mensual
Revisión de estabilidad del suelo	Diario
Revisión del nivel del tanque	Diario
Limpieza del desagüe de la casa de máquinas	Semanal
Verificación del correcto funcionamiento del sistema de ventilación de la casa de máquinas	Semanal
Vaciado y limpieza del tanque	Semestral

Elemento: Bomba horizontal para trasegar salmuera

Tarea	Frecuencia
Inspección del impulsor	Anual
Inspección de la carcasa interior	Anual
Inspección de la carcasa exterior	Semestral
Revisión del acoplamiento de la bomba	Anual
Inspección del eje de la bomba	Anual
Lubricación de partes móviles	2000 horas operacionales o 3 meses
Inspección del sistema de lubricación	Diario
Revisión del motor de la bomba	Mensual
Cebiar las bombas antes de ponerlas a operar	Diario
Revisión de posibles sonidos	Diario
Revisión de variaciones de temperatura en el cojinete	Diario
Revisión de cambios repentinos en instrumentación	Diario
Verificar el alineamiento de la bomba y del impulsor	Semestral
Cambio del aceite de cojinetes	Semestral
Limpieza y revisión de cojinetes	Anual
Medición de juego permitido por los cojinetes	Anual
Revisión de drenajes del sello	Anual

Elemento: Tanques del invernadero y de distribución a la Asada

Tarea	Frecuencia
Impermeabilización del tanque	Bianual
Limpieza de los sólidos del tanque	Semanal
Inspección del correcto funcionamiento de la tapa hermética	Diario
Inspecciones para detectar fisuras	Mensual
Revisión de estabilidad del suelo	Diario
Revisión del nivel del tanque	Diario
Vaciado y limpieza del tanque	Mensual

Elemento: Bomba horizontal para trasegar agua al invernadero

Tarea	Frecuencia
Inspección del impulsor	Anual
Inspección de la carcasa interior	Anual
Inspección de la carcasa exterior	Semestral
Revisión del acoplamiento de la bomba	Anual
Inspección del eje de la bomba	Anual
Lubricación de partes móviles	2000 horas operacionales o 3 meses
Inspección del sistema de lubricación	Diario
Revisión del motor de la bomba	Mensual
Cebiar las bombas antes de ponerlas a operar	Diario
Revisión de posibles sonidos	Diario
Revisión de variaciones de temperatura en el cojinete	Diario
Revisión de cambios repentinos en instrumentación	Diario
Verificar el alineamiento de la bomba y del impulsor	Semestral
Cambio del aceite de cojinetes	Semestral
Limpieza y revisión de cojinetes	Anual
Medición de juego permitido por los cojinetes	Anual
Revisión de drenajes del sello	Anual

Elemento: Bomba horizontal para trasegar agua a la red de la Asada

Tarea	Frecuencia
Inspección del impulsor	Anual
Inspección de la carcasa interior	Anual
Inspección de la carcasa exterior	Semestral
Revisión del acoplamiento de la bomba	Anual
Inspección del eje de la bomba	Anual
Lubricación del motor	Cada 3 meses
Inspección del sistema de lubricación	Mensual
Revisión del motor de la bomba	Diario
Cebiar las bombas antes de ponerlas a operar	Diario
Revisión de posibles sonidos	Diario
Revisión de variaciones de temperatura en el cojinete	Diario
Revisión de cambios repentinos en instrumentación	Diario
Verificar el alineamiento de la bomba y del impulsor	Semestral
Cambio del aceite de cojinetes	Semestral
Limpieza y revisión de cojinetes	Anual
Medición de juego permitido por los cojinetes	Anual
Revisión de drenajes del sello	Anual

D.2. Tabla de análisis del modo y efecto de falla

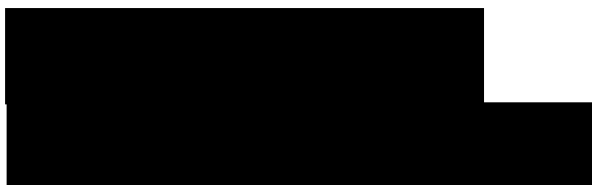
Elemento vulnerable	Modo de falla potenciales	Efectos de posibles fallas	Severidad del efecto	Causas potenciales de la falla	Ocurrencia de la falla	Controles de la falla	Determinación de la falla	NPR
Toma de agua marina Tubería de la bomba de agua marina Válvula reguladora	Reducción del caudal de suministro	No se entrega el caudal requerido	3	Suciedad en las cámaras	2	Limpieza periódicas	2	12
	Entrada de agua con características anormales	Contaminación del agua marina por sedimentos	1	Dañe estructural	2	Procedimiento de instalación	4	8
	Reducción del caudal de suministro	No se entrega el caudal requerido	2	Acumulación de suciedad o vida marina/ daño estructural	2	Velocidad de autolimpieza en la tubería	2	2
	Deterioro del material de la válvula	Incorrecto funcionamiento del accesorio	5	Corrosión	3	Accionamiento periódico	3	45
	Incorrecto funcionamiento de la válvula	Contaminación del agua marina por corrosión	2	Sólidos interrumpiendo el correcto accionamiento	3	Limpieza periódicas	1	6
	Incorrecto funcionamiento del actuador eléctrico	Regulación incorrecta de la velocidad requerida	2	Acumulación de suciedad o vida marina	3	Limpieza periódicas	1	2
			2	Trasacorrimiento del sistema de accionamiento	2	Accionamiento periódico	3	6
			2	Fallo eléctrico	3	Mantenimientos y revisiones	4	24
			4	Pérdida de la estructura	1	Manteniendo un mínimo nivel de líquido en el tanque	1	4
			1	Inspecciones visuales	3	Tanque	3	3
Tanques y desarenador	Suciedad excesiva del tanque o desarenador	Contaminación del agua marina por sedimentos	3	Mayor entrada de sedimentos	2	Limpieza periódicas	1	6
	Inundación de la casa de máquinas (tanque de salmuera)	Dañe en bombas	3	Acumulación de agua de lluvia en la casa de máquinas	2	Limpieza de los drenajes	1	6
	Entrada de contaminantes	Contaminación del fluido	5	Mala hermeticidad de la tapa del tanque	2	Sistema de alarma	2	20
	Incorrecto funcionamiento de los equipos en casa de máquinas	Sobrecalentamiento de los equipos	3	Ventilación insuficiente en casa de máquinas	1	Limpieza de los tueros y equipo de ventilación	1	3
	El equipo no inicia	Interrupción del suministro de agua	4	Fallo eléctrico	3	Mantenimientos y revisiones	4	48
			4	Baja velocidad en la bomba	1	Instrumentación	2	8
			4	Incorrecto sentido de giro de la bomba	1	Revisión periódica	3	12
			4	Bajo nivel de líquido en el tanque	2	Instrumentación	1	8
			4	Cavitación	2	Instrumentación	2	16
			2	Obstrucción de la cámara en la succión	2	Limpieza periódicas	1	8
Bombas			2	Corrosión	2	Instrumentación	3	12
			4	Fallo del acople	1	Instrumentación	3	12
			4	Fallo del sello de empaquetadura	2	Instrumentación	3	24
			4	Trasacorrimiento de una de las etapas	1	Instrumentación	3	24
			4	Fallo en el sistema de lubricación	2	Inspecciones visuales	3	24
			4	Desgaste de los cojinetes	2	Inspecciones visuales	3	24
			4	Pérdida de viscosidad del fluido del sello	1	Instrumentación	3	24
			3	Cavitación	2	Instrumentación	2	12
			3	Dañe de pieza móvil	2	Inspecciones visuales	3	18
			3	Rotura del eje	1	Inspecciones visuales	3	9
La bomba genera ruido excesivo		Dañe estructurales de la bomba	2	Resonancia	1	Inspecciones visuales	4	8
		Excesiva vibración	4	Requiere potencia excesiva	1	Instrumentación	2	8
		Interrupción del suministro de agua	4	Fallo en partes mecánicas	2	Inspecciones visuales	3	24
			4	Desalineamiento	1	Inspecciones visuales	3	12
			4	Mayor viscosidad del fluido de la diseñada	1	Instrumentación	2	8
			2	Dañe en el impulsor	2	Instrumentación	1	4
			2	Objeto extraño entre el impulsor y la carcasa	1	Inspecciones visuales	1	2
			2	Sello se encuentra a una mayor presión que la	2	Inspecciones visuales	3	6
			2	Fallo del cojinete	3	Instrumentación	2	12
			3	Fugas	3	Instrumentación e inspecciones visuales	3	27
Sistemas de tuberías	Reducción del caudal de suministro	No se entrega el caudal requerido	3	Acumulación de suciedad o vida marina	2	Desarenador, filtros previos y pendientes en tanques	1	6
	Incorrecto funcionamiento de la válvula	No se entrega el caudal requerido	3	Sólidos interrumpiendo el correcto accionamiento	1	Tanques	1	3
	Reducción del caudal de suministro	Mayor velocidad de ensuciamiento de filtro	3	Acumulación de suciedad o vida marina	3	Pruebas químicas del agua	2	12
	Mala dosificación de los químicos	Mala calidad al final del producto	5	Inyectores dañados	2	Pruebas químicas del agua	2	20
		Dañe en membranas	4		3		1	12
		Dañe en bombas	4		3	Cambio periódico de filtros	1	12
		Mala calidad al final del producto	5	Fallo en filtros de cartuchos o scollita	3		1	15
			4	Dañe en la bomba de alta presión	1	Instrumentación	2	8
		No se entrega el caudal o la presión requerida a las membranas de RO	No entrega agua permeada	4	Fallo del ERI (Energy Recovery Incorporated)	1		8
	Módulos de desalinización		Menor capacidad de producción	4	Ensuciamiento de las membranas	2	Tanque CIP (Clean in place)	2
		Caudal disminuido en la salida de las membranas	4	Falla mecánica de la membrana	1	Revisión periódica	1	4

Anexos E

Información técnica sobre los sistemas de tuberías, bombeo y otros componentes hidráulicos

E.1. Datos técnicos de la toma de agua marina

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.



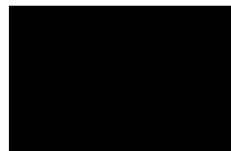
Subject:
Cotización Referencial – Filtro Johnson Screens® Passive Intake T16HC para toma de agua de mar en Super Duplex 2205 Rev 0

24 de Enero 2018



Junto con saludarle, adjunto cotización referencia de Johnson Screen® Water Intakes para la captación de agua de mar para desaladora de acuerdo a su solicitud.

Nuestros filtros de captación cuentan con tecnología patentada de doble modificador de flujo de cañería abierta, que permiten un óptimo control de la velocidad en la superficie del filtro, logrando un perfil de velocidad homogéneo (dif velocidad máxima vs media de 11%) y con bajas caídas de presión .0035 psi)



Esperando que la cotización le sea de utilidades y atento sus consultas.

Saludos cordiales,



Trademarks of reliable performance:
Passavant® - Johnson Screens® - Diemme® Filtration - Geiger® - Roediger® - Airvac® - Noggerath®

Latest Information:

Our new website is online! - Clearer, faster and responsive.
Check out our new look under www.aqseptence.com!





0 Specification

A continuación se presentan la opción de filtro propuesto para actuar como filtro para el sistema de captación de aguas

La solución propuesta considera un filtro Johnson Screens® T16HC diseñado para un caudal de 1.420 m³/día, que puede operar con un 20% de superficie bloqueada en material: Super Duplex 2205. Con opción de sistema de limpieza automático por descarga de aire comprimido Hydroburst® proyectado y personalizado para este proyecto.

VELOCIDAD

JOHNSON SCREENS® Passive intake tiene tecnología propietaria de un modificador doble de flujo de cañería abierta que permite un control de la velocidad máxima y media en toda la superficie del filtro.

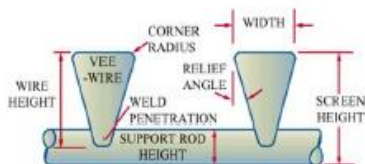
Este diseño propietario evita el ingreso de algas y peces a través de una baja velocidad y una ranura menor. En la figuras 1 y 2 aparece un filtro funcionado, la velocidad es tan baja que una bolsa plástica no se pega y los peces nadan libremente en la superficie del filtro.



MALLA VEE WIRE® DE JOHNSON SCREENS®

La esencia es una malla diseñada para no bloquearse a través de un diseño con un alambre Vee Wire®, cuya forma de V, se inicia con la ranura especificada y luego se ensancha, creando de esta forma un efecto antibloqueo.

Por tratarse de un malla rodeada por alambre Vee Wire® presenta un alto porcentaje de área abierta después de bloqueo (20%).

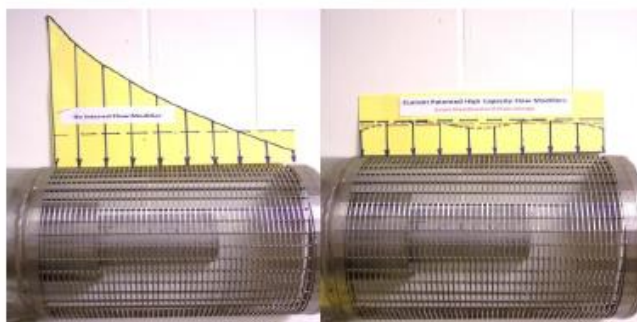




DOBLE MODIFICADOR DE FLUJO

Tecnología Patentada de Doble Modificador de Flujo de Cañería Abierta, que permite un óptimo control de la velocidad en la superficie del filtro logrando

- a) Bajas caídas de presión .0035 psi para el filtro propuesto
- b) Perfil Homogéneo de Velocidad, que evita zonas de alta velocidad que atraiga objetos, logrando.
- c) Modificado de Cañería Abierta, sin posibilidades de atacamiento



CORROSION RESISTANCE

JOHNSON SCREENS® manufactura con procedimientos controlados de soldadura y materiales que evitan la corrosión intersticial.

E.2. Tamaños estándar y datos técnicos de tubería de HDPE

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.



WL102 – IPS PIPE SIZES AND RATINGS



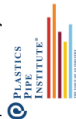
IPS SIZE ^a	PE4710 PE3608/PE3408 AVG OD, in	PR ^b , psi		DR		200		140		110		100		80		65			
		PC ^b , psi	265	7	7.3	250	160	11	13.5	15.5	17	19	21	26	26	32.5			
3/4	1.050	Min wall, in	0.150	0.144	0.117	0.085													
		Avg ID ^c , in	0.732	0.745	0.803	0.848													
		Weight, lb/ft	0.187	0.177	0.148	0.124													
1	1.315	Min wall, in	0.188	0.180	0.146	0.120													
		Avg ID ^c , in	0.917	0.933	1.005	1.062													
		Weight, lb/ft	0.288	0.278	0.232	0.195													
1 1/4	1.660	Min wall, in	0.237	0.227	0.184	0.151													
		Avg ID ^c , in	1.157	1.178	1.269	1.340													
		Weight, lb/ft	0.459	0.442	0.369	0.310													
1 1/2	1.900	Min wall, in	0.271	0.260	0.211	0.173													
		Avg ID ^c , in	1.325	1.348	1.452	1.534													
		Weight, lb/ft	0.600	0.580	0.485	0.406													
2	2.375	Min wall, in	0.339	0.325	0.264	0.216													
		Avg ID ^c , in	1.656	1.685	1.816	1.917													
		Weight, lb/ft	0.939	0.906	0.758	0.634													
2 1/2	2.875	Min wall, in	0.411	0.394	0.319	0.261													
		Avg ID ^c , in	2.004	2.040	2.198	2.321													
		Weight, lb/ft	1.377	1.329	1.109	0.928													
3	3.500	Min wall, in	0.500	0.479	0.389	0.318													
		Avg ID ^c , in	2.440	2.484	2.676	2.825													
		Weight, lb/ft	2.040	1.968	1.646	1.376													
4	4.500	Min wall, in	0.643	0.616	0.500	0.409													
		Avg ID ^c , in	3.137	3.193	3.440	3.633													
		Weight, lb/ft	3.372	3.253	2.720	2.275													
5	5.563	Min wall, in	0.795	0.762	0.618	0.506													
		Avg ID ^c , in	3.878	3.947	4.253	4.491													
		Weight, lb/ft	5.154	4.975	4.156	3.479													
6	6.625	Min wall, in	0.946	0.908	0.736	0.602													
		Avg ID ^c , in	4.619	4.701	5.064	5.348													
		Weight, lb/ft	7.305	7.059	5.894	4.930													
8	8.625	Min wall, in	1.232	1.182	0.958	0.784													
		Avg ID ^c , in	6.013	6.120	6.593	6.963													
		Weight, lb/ft	12.385	11.963	9.988	8.359													
10	10.750	Min wall, in	1.536	1.473	1.194	0.977													
		Avg ID ^c , in	7.494	7.628	8.218	8.678													
		Weight, lb/ft	19.245	18.581	15.515	12.983													
12	12.750	Min wall, in	1.821	1.747	1.417	1.159													
		Avg ID ^c , in	8.889	9.047	9.747	10.293													
		Weight, lb/ft	27.062	26.138	21.837	18.267													
14	14.000	Min wall, in	2.000	1.918	1.566	1.273													
		Avg ID ^c , in	9.760	9.934	10.702	11.302													
		Weight, lb/ft	32.635	31.511	26.329	22.030													

PE4710 PE3608/PE3408 IPS SIZE ^A	AVG OD, in	PR ^B , psi	320	250	200	160	140	125	110	100	80	65
		PC ^C , psi	255	200	160	130	110	100	90	80	65	50
DR		7	7.3	9	11	13.5	15.5	17	19	21	26	32.5
16	Min wall, in	2.286	2.192	1.778	1.455	1.185	1.032	0.941	0.842	0.762	0.615	0.492
	Avg ID ^D , in	11.154	11.353	12.231	12.916	13.487	13.812	14.005	14.215	14.385	14.695	14.956
	Weight, lb/ft	42.629	41.157	34.384	28.777	23.872	21.005	19.269	17.355	15.789	12.866	10.375
18	Min wall, in	2.571	2.466	2.000	1.636	1.333	1.161	1.059	0.947	0.857	0.692	0.554
	Avg ID ^D , in	12.549	12.773	13.760	14.531	15.173	15.538	15.992	16.183	16.532	16.826	16.826
	Weight, lb/ft	53.940	52.089	43.513	36.403	30.210	26.584	24.395	21.959	19.977	16.286	13.142
20	Min wall, in	2.857	2.740	2.222	1.818	1.481	1.290	1.176	1.053	0.952	0.769	0.615
	Avg ID ^D , in	13.943	14.192	15.289	16.145	16.859	17.265	17.506	17.768	17.981	18.369	18.695
	Weight, lb/ft	66.599	64.307	53.715	44.947	37.294	32.820	30.102	27.129	24.658	20.109	16.211
22	Min wall, in	3.143	3.014	2.444	2.000	1.630	1.419	1.294	1.158	1.048	0.846	0.677
	Avg ID ^D , in	15.337	15.611	16.818	17.760	18.545	18.991	19.256	19.545	19.779	20.206	20.565
	Weight, lb/ft	80.591	77.812	64.991	54.391	45.149	39.712	36.433	32.818	29.858	24.335	19.629
24	Min wall, in	3.429	3.288	2.667	2.182	1.778	1.548	1.412	1.263	1.143	0.923	0.738
	Avg ID ^D , in	16.731	17.030	18.347	19.375	20.231	20.717	21.007	21.322	21.577	22.043	22.434
	Weight, lb/ft	95.916	92.603	77.365	64.735	53.726	47.260	43.369	39.049	35.525	28.963	23.344
26	Min wall, in		3.562	2.889	2.364	1.926	1.677	1.529	1.368	1.238	1.000	0.800
	Avg ID ^D , in		18.449	19.876	20.989	21.917	22.444	22.758	23.099	23.375	23.880	24.304
	Weight, lb/ft		110.769	92.535	77.440	64.261	56.532	51.856	46.701	42.486	34.648	27.940
28	Min wall, in			3.111	2.545	2.074	1.806	1.647	1.474	1.333	1.077	0.862
	Avg ID ^D , in			21.404	22.604	23.603	24.170	24.508	24.876	25.173	25.717	26.174
	Weight, lb/ft			107.312	89.785	74.522	65.563	60.154	54.189	49.266	40.187	32.421
30	Min wall, in			3.333	2.727	2.222	1.935	1.765	1.579	1.429	1.154	0.923
	Avg ID ^D , in			22.933	24.218	25.289	25.897	26.653	26.971	27.554	28.043	28.543
	Weight, lb/ft			123.183	103.076	85.543	75.264	69.068	62.196	56.585	46.135	37.196
32	Min wall, in			3.556	2.909	2.370	2.065	1.882	1.684	1.524	1.231	0.985
	Avg ID ^D , in			24.462	25.833	26.975	27.623	28.009	28.770	29.091	29.913	30.568
	Weight, lb/ft			140.183	117.285	97.324	85.672	78.557	70.755	64.370	52.494	42.340
34	Min wall, in			3.778	3.091	2.519	2.194	2.000	1.789	1.619	1.308	1.046
	Avg ID ^D , in			25.991	27.447	28.661	29.350	29.760	30.206	30.568	31.228	31.782
	Weight, lb/ft			158.244	132.411	109.905	96.714	88.700	79.865	72.657	59.264	47.773
36	Min wall, in			4.000	3.273	2.667	2.323	2.118	1.895	1.714	1.385	1.108
	Avg ID ^D , in			27.520	29.062	30.347	31.076	31.511	31.983	32.366	33.065	33.652
	Weight, lb/ft			177.399	148.454	123.208	108.424	99.457	89.571	81.446	66.444	53.581
42	Min wall, in					3.111	2.710	2.471	2.211	2.000	1.615	1.292
	Avg ID ^D , in					35.404	36.255	36.762	37.314	37.760	38.575	39.260
	Weight, lb/ft					167.675	147.568	135.372	121.925	110.874	90.393	72.893
48	Min wall, in						3.097	2.824	2.526	2.286	1.846	1.477
	Avg ID ^D , in						41.435	42.014	42.644	43.154	44.086	44.869
	Weight, lb/ft						192.774	176.813	159.198	144.833	118.082	95.233
54	Min wall, in							3.176	2.842	2.571	2.077	1.662
	Avg ID ^D , in							47.266	47.975	48.549	49.597	50.478
	Weight, lb/ft							223.713	201.502	183.253	149.464	120.556

CONTACT WL PLASTICS PLANT CUSTOMER SERVICE TO CONFIRM AVAILABILITY AND FOR SIZES AND DR'S NOT SHOWN. A. Sizes below IPS 4 per ASTM D3035/Sizes IPS 4 and larger per ASTM F714. See WL106B Pipe Compound and WL116 Pipe Standards. B. Pressure Rating (PR) and pressure class (PC) for water at 73°F. Ratings will vary for other fluids and temperatures. See WL118 Pressure Rating. C. Calculated Avg ID = Avg OD - (2.12 x min wall), and is for estimating fluid flow. Pipe ID is approximate, not a specification dimension. D. All dimensions in inches. E. NSF-61 Certification for potable water service available on request. F. See WL101 and WL124 for fusion, mechanical and electrofusion joining information. G. The information in this publication does not constitute a guarantee or warranty for piping installations and cannot be guaranteed because the conditions of use are beyond our control. See WL125 Terms and Conditions of Sale. The user of this information assumes all risk associated with its use. Changes to this publication may occur from time to time without notice. Contact WL Plastics Corporation to determine if you have the most current edition. Copying without change permitted.



ISO 9001:2008 Certified



E.3. Especificaciones de válvula de mariposa marca Bray, serie 36

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.

FEATURES

22"-72" (550mm-1800mm)
Bray Controls proudly offers this line of heavy duty, large diameter, resilient seated butterfly valves. The Series 32/33 valves are wafer versions with the Series 32 valve rated for 75 PSI and the Series 33 designed for a higher rating of 150 PSI. The Series 35/36 are full-flanged versions rated at 75 and 150 PSI respectively. This valve series has many of the design features and benefits of the smaller Bray valves, such as high Cv ratings, minimum parts exposed to the line media, greater reliability

and a proven record of long service life. Engineering innovation and exceptional quality are the focus of Bray's unique design features.

BODY (A)

One piece wafer or full flanged style. All bodies are drilled to be compatible with ANSI 125/150 or other international flange standards. The Series 35/36 may be bolted to allow downstream flange removal or cross-bolted for maximum resistance to line stresses.

DISC (B)

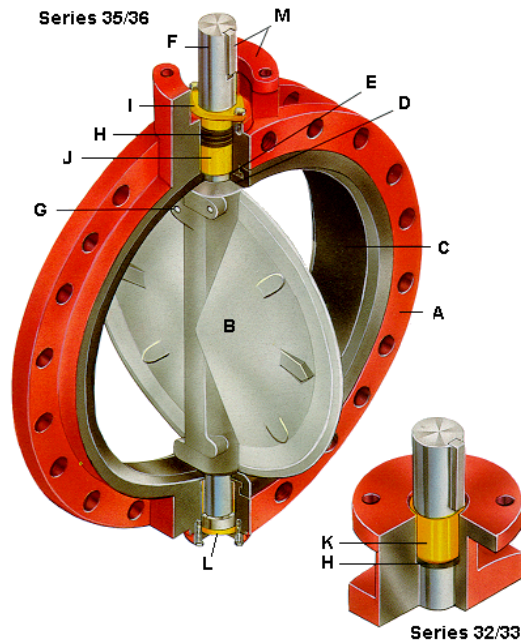
The high strength casting is spherically machined, hand polished to provide 360° concentric seating bi-directional bubble-tight shut off, minimum torque and longer seat life. The symmetrical disc profile enhances valve performance - the C_v values are higher, turbulence is reduced and pressure recovery is increased. The disc O.D. clearance is designed to work with all standard piping.

SEAT (C)

One of the valve's key elements is Bray's unique *tongue and groove* seat design which fully isolates the body from line media. The Bray resilient seat offers lower torque than many valves on the market today, and is excellent for most vacuum services. The *tongue and groove* seat to body retention method is the most advanced design in the industry, making field replacement simple and fast. The strategically located molded-in O-ring completely eliminates the requirement of flange gaskets. The seat isolates the valve body and stem from line media and has been specifically designed to seal with slip-on or weld-neck flanges.

PRIMARY SEAL (D)

The primary seal is achieved by preloaded contact of spherically machined hand polished disc hubs with unique molded seat flat surfaces. This sealing method isolates the flowing media from the stem and body material at all angles of valve disc seating.



SECONDARY SEAL (E)

A secondary seal is achieved by an interference fit of the stem and seat hole diameters.

STEM (F)

Bray's one piece through stem design is completely isolated from the flowing media and achieves high torsional strength. The stem ends are standardized for direct mounting and interchangeability with Bray actuators.

TAPER PINS (G)

Tangential taper pins of 17-4 PH stainless steel are driven and mechanically locked for maximum torsional capacity and resistance to vibration. O-rings are installed with the driven-in taper pins to insure bubble-tight shutoff under pressure or vacuum conditions.

STEM PACKING (H)

This advanced V-Type packing design in the Series 35/36 is self-adjusting with bi-directional sealing which prevents external substances from entering the upper stem bore. This packing is externally adjustable and functions well for vacuum applications as well as third pressure seal in emergency situations. The stem packing in the Series 32/33 is a V-cup self-adjusting design.

ADJUSTABLE PACKING GLAND (I)

A bronze gland allows for field adjustment of stem packing without removing manual operators or power actuators. (Series 35/36 only)

STEM BEARING (J)

To minimize bearing friction and operating torque, heavy wall bronze sleeve bearings are utilized. (Series 35/36 only)

STEM BUSHING (K)

Heavy wall bronze bushing absorbs actuator side thrusts. (Series 32/33 only)

VERTICAL THRUST BEARING (L)

A bronze vertical thrust bearing eliminates disc displacement due to the weight of the stem and disc.

ACTUATOR MOUNTING FLANGE AND STEM CONNECTION (M)

Due to a modular concept of design, all Bray manual gear operators and pneumatic or electric actuators mount directly to Bray valves.

SPECIFICATIONS

RECOMMENDED SPECIFICATIONS FOR BRAY SERIES 32/33, 35/36 SHALL BE:

- Cast iron, wafer or double flanged bodies.
- Tongue-and-groove seat design with primary hub seal and a molded O-ring suitable for weld-neck and slip-on flanges.
- No field adjustments necessary to maintain optimum field performance.
- Seat totally encapsulates the body with no flange gaskets required.
- Spherically machined, hand polished disc edge and hub for minimum torque and maximum sealing capability.
- Equipped with non-corrosive bushing and self-adjusting stem seals for pressure or vacuum on wafer valves.
- On flanged valves, equipped with packing glands and upper/lower bronze bearings. The packing gland to be adjustable without removing manual operator or actuator.
- Bi-directional and tested to 110% of full pressure rating.
- Disc stem connected by 17-4 PH tangential taper pins driven, O-ring sealed, and mechanically locked.

MATERIALS SELECTION

22"-72" (550mm-1800mm)

BODY:

- Cast Iron ASTM A126 Class B
- Ductile Iron ASTM A536 Gr. 65-45-12
- Cast Steel ASTM A216 Gr. WCB
- 316 Stainless Steel ASTM A351 CF8M

DISC:

- Cast Iron ASTM A126 Class B
- Nylon 11 Coated, Cast Iron ASTM A126 Class B
- ENP Cast Iron ASTM A126 Class B
- Ductile Iron ASTM A536 Gr. 65-45-12
- Nylon 11 Coated, Ductile Iron ASTM A536
- Aluminum Bronze ASTM B148 Alloy C95400
- 316 Stainless Steel ASTM A351 CF8M

- Hastelloy® C-276 ASTM B575 Alloy N10276

SEAT:

- EPDM
- BUNA-N
- FKM*

STEM:

- Carbon Steel, Coated
- 304 Stainless Steel ASTM A276 Type 304
- Hastelloy® C-276 ASTM B575 Alloy N10276

C_v VALUES-VALVE SIZING COEFFICIENT BRAY SERIES 32/33, 35/36

Valve Size		Disc Position (degrees)									
ins	mm	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	
22	550	27,168	22,028	14,562	9,036	5,640	3,510	2,070	916	103	
24	600	33,154	27,186	18,235	11,040	6,962	4,244	2,387	1,028	259	
26	650	36,220	29,700	19,921	12,496	7,824	4,890	2,752	1,141	289	
28	700	41,619	34,683	22,578	13,838	8,636	5,399	3,133	1,324	295	
30	750	52,443	43,003	28,844	18,090	11,328	7,080	3,986	1,652	420	
32	800	60,658	48,558	32,591	20,410	12,743	7,983	4,636	2,026	550	
36	900	77,089	59,667	40,086	25,053	15,572	9,790	5,936	2,775	740	
40	1000	90,175	73,990	50,406	30,636	19,307	11,862	6,925	2,971	757	
42	1050	102,989	83,421	54,584	35,016	21,010	12,997	7,879	3,502	783	
44	1100	112,960	87,430	58,740	36,712	22,818	14,346	8,698	4,066	904	
48	1200	132,888	108,968	70,431	43,853	27,242	17,010	10,365	4,651	1,023	
54	1400	168,700	138,334	89,411	55,671	34,583	21,594	13,158	5,904	1,299	
60	1500	190,000	154,000	102,000	63,200	39,400	24,500	14,500	6,400	1,480	
66	1650	211,000	171,000	113,000	70,200	43,800	27,300	16,100	7,110	1,650	
72	1800	244,000	198,000	131,000	81,200	50,700	31,500	18,600	8,220	1,900	

INSTALLATION

Position the disc in the partially open position, maintaining the disc within the body face-to-face. Place the body between flanges and install flange bolts. Do not use flange gaskets. Before tightening flange bolts, carefully open the disc to the full open position to ensure proper alignment and clearance of the disc O.D. with the adjacent pipe I.D. Leave the disc in the full open position and tighten flange bolts per required specification. Once bolts are tightened, carefully rotate disc to closed position to ensure disc O.D. clearance.

PRESSURE RATINGS

For bi-directional bubble tight shut off, disc in closed position.

- Series 32 : 22"-36" 75 psig
- Series 33 : 22"-36" 150 psig
- Series 35 : 22"-72" 75 psig
- Series 36 : 22"-72" 150 psig

All valves are factory tested to 110% of their specified pressure rating.

TAPER PINS:

- 17-4 PH Stainless Steel ASTM A564 Type 630 Condition H900

Packing:

- Buna-N

Bearings:

- Luberized Bronze (Series 35/36)

Bushing:

- Luberized Bronze (Series 32/33)

Thrust Bearing:

- Bronze

TEMPERATURE RANGE OF SEATS

Type	Max	Min
EPDM	+250°F (121°C)	-40°F (-40°C)
Buna-N	+212°F (100°C)	0°F (-18°C)
FKM*	+400°F (204°C)	0°F (-18°C)

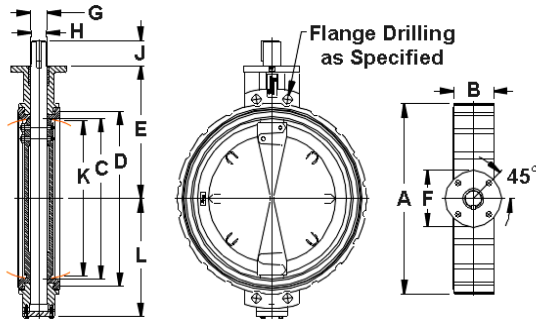
For other seat types consult factory

*FKM is the ASTM D1418 designation for Fluorinated Hydrocarbon Elastomers (also called Fluoroelastomers.)
Hastelloy® is a registered trademark of Haynes International, Inc.

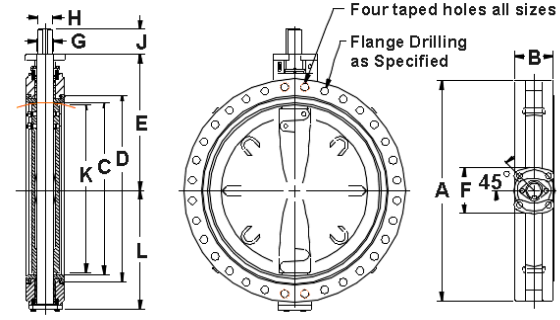
COMPONENTS

Item No.	Quantity		Item Description
	S.32/33	S.35/36	
1	1	1	Body
2	1	1	Seat
3	1	1	Disc
4	1	1	Stem
5	1	1	Bottom Plate
6	1	1	Packing
7	-	2	Bearing
8	2	2	Taper Pin
9	2	2	O-ring
10	2	2	Nut
11	2	2	Lock Washer
12	1	1	Thrust Bearing
13	1	1	Gasket
14	4	6	Screw
15	1	1	Key
16	-	1	Packing Gland
17	1	1	Retainer
18	1	-	Bushing

SERIES 32 / 33



SERIES 35 / 36



SERIES 32/33 Wafer*

Valve Size									Mtg. Flange Drig.			SERIES 32				SERIES 33				Wt (lb.)	
ins	mm	A	B	C	D	E	F	PCD	No. Holes	Hole Dia.	G	H	J	Key Size	K	H	J	Key Size	K		L
22	550	25.50	6.06	21.25	24.06	20.12	8.27	6.50	4	.81	2.50	2.50	4.00	.62x.62	20.51	2.50	4.00	.62x.62	20.56	16.50	400
24	600	27.94	5.94	23.25	25.75	19.50	8.27	6.50	4	.81	2.50	2.50	4.00	.62x.62	22.64	2.50	4.00	.62x.62	22.69	17.56	420
26	650	29.36	6.50	24.46	27.83	21.83	11.81	10.00	8	.75	2.50	2.50	4.00	.62x.62	23.67	2.50	4.00	.62x.62	23.71	18.83	540
28	700	31.34	6.50	26.59	29.76	22.82	11.81	10.00	8	.75	2.50	2.50	4.00	.62x.62	25.74	2.50	4.00	.62x.62	25.78	19.28	580
30	750	34.19	6.56	29.25	32.00	23.00	8.27	6.50	4	.81	3.00	2.50	4.00	.62x.62	28.67	3.00	4.00	.75x.75	28.73	20.81	660
32	800	35.555	7.48	30.39	33.70	26.37	11.81	10.00	8	.75	3.00	2.50	4.00	.62x.62	29.57	3.00	4.00	.75x.75	29.61	21.88	785
36	900	40.69	7.88	35.25	38.25	27.75	10.75	8.50	4	1.25	3.50	3.00	4.00	.75x.75	34.54	3.50	5.25	.88x.62	34.60	24.94	1025

SERIES 35/36 Double Flanged*

Valve Size									Mtg. Flange Drig.			SERIES 35				SERIES 36				Wt (lb.)	
ins	mm	A	B	C	D	E	F	PCD	No. Holes	Hole Dia.	G	H	J	Key Size	K	H	J	Key Size	K		L
22	550	29.50	6.06	21.25	24.06	20.12	8.27	6.50	4	.81	2.50	2.50	4.00	.62x.62	20.51	2.50	4.00	.62x.62	20.56	16.50	475
24	600	33.25	5.94	23.25	25.75	19.50	8.27	6.50	4	.81	2.50	2.50	4.00	.62x.62	22.64	2.50	4.00	.62x.62	22.69	17.56	500
26	650	35.75	6.50	24.46	27.83	21.83	11.81	10.00	8	.75	2.50	2.50	4.00	.62x.62	23.67	2.50	4.00	.62x.62	23.71	18.83	675
28	700	37.80	6.50	26.59	29.76	22.82	11.81	10.00	8	.75	2.50	2.50	4.00	.62x.62	25.74	2.50	4.00	.62x.62	25.78	19.78	735
30	750	38.75	6.56	29.25	32.00	23.00	8.27	6.50	4	.81	3.00	2.50	4.00	.62x.62	28.67	3.00	4.00	.75x.75	28.73	20.81	855
32	800	41.75	7.48	30.39	33.70	26.37	11.81	10.00	8	.75	3.00	2.50	4.00	.62x.62	29.57	3.00	4.00	.75x.75	29.61	21.88	1010
36	900	46.00	7.88	35.25	38.25	27.75	9.50	8.50	4	1.25	3.50	3.00	4.00	.75x.75	34.54	3.50	5.25	.88x.62	34.60	24.94	1320
40	1000	50.75	8.50	38.37	41.58	30.78	13.78	11.73	8	.81	4.00	3.50	5.25	.88x.62	37.45	4.00	5.25	1.0x.75	37.49	26.56	2140
42	1050	53.00	9.88	41.25	44.25	32.00	9.50	8.50	4	1.25	4.00	3.50	5.25	.88x.62	40.20	4.00	5.25	1.0x.75	40.25	27.81	2550
44	1100	55.25	9.88	43.25	46.25	33.12	13.78	11.73	8	.81	4.00	3.50	5.25	.88x.62	42.20	4.00	5.25	1.0x.75	42.25	29.06	2800
48	1200	59.50	10.88	47.25	50.62	36.00	10.75	8.50	4	1.25	5.00	4.00	5.25	1.0x.75	46.13	5.00	6.00	1.25x.88	46.18	31.06	3200
54	1400	69.00	15.36	54.12	57.50	40.62	13.78	11.73	8	.81	6.00	5.00	5.25	1.25x.88	51.88	-	-	-	-	37.19	6000
54	1400	69.00	15.36	54.12	57.50	40.62	16.34	14.02	8	1.30	6.00	-	-	-	-	6.00	6.50	1.50x1.0	51.88	37.19	6000
60^	1500	73.00	15.00	59.25	63.88	42.62	16.34	14.02	8	1.30	7.00	6.00	6.50	1.5x1.0	57.51	-	-	-	-	40.88	7000
60^	1500	73.00	15.00	59.25	63.88	42.62	18.70	15.98	8	1.56	7.00	-	-	-	-	7.00	6.50	1.75x1.5	57.56	40.88	7000
66	1650	80.00	18.00	65.14	69.89	48.62	16.34	14.02	8	1.30	7.00	6.00	6.50	1.5x1.0	62.91	-	-	-	-	44.56	8000
66	1650	80.00	18.00	65.14	69.89	48.62	18.70	15.98	8	1.56	7.00	-	-	-	-	7.00	6.50	1.75x1.5	62.98	44.56	8000
72	1800	86.50	18.00	69.24	73.75	52.25	18.70	15.98	8	1.56	8.50	7.50	8.00	1.75x1.5	67.03	-	-	-	-	47.44	11250
72	1800	86.50	18.00	69.24	73.75	52.25	22.05	19.02	12	1.56	8.50	-	-	-	-	8.50	10.00	2.0x1.5	67.08	47.44	11250

* Dimensions for the Series 36 valve are the same except for a larger key Size, H, J and K dimension. Dimensions for the 46" and 54"-72" Series 35 and Series 36 valves differ and are listed separately.
 ^ Dimensions are for reference only. Consult factory for exact dimensions. Bray reserves the right to change product dimensions without notice.
 All statements, technical information, and recommendations in this bulletin are for general use only. Consult Bray representatives or factory for the specific requirements and material selection for your intended application.
 The right to change or modify product design or product without prior notice is reserved.
 Patents applied for in U.S. and foreign countries. Bray® is a registered trademark of BRAY INTERNATIONAL, Inc.

E.4. Especificaciones de actuador marca AUMA, modelo 14.2

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.

SQR 05.2 – SQR 14.2

Electrical data Part-turn actuators for modulating duty with 1-phase AC motors
Intermittent duty S4 - 20 %, 110 V – 120 V/60 Hz

auma[®]

Part-turn actuator			Motor										
Type	Operating time for 90° in seconds	Max. torque [Nm]	Motor type	Nominal power ¹⁾ P _N [kW]	Speed [rpm]	Operating capacitor ²⁾ [µF]	Nominal current ³⁾ I _N [A]	Max. current ⁴⁾ I _{max} [A]	Starting current I _s [A]	cos φ	Over-current protection device setting [A]	Contact-	AUMA power class switchgear
												tor-	Thyristor
SQR 05.2	6	150	VWOR063-4-0,04	0.04	1,680	50	2.8	3.1	6.2	0.94	3.1	A1	B1
	9						2.8	3.1	6.2	0.94	3.1	A1	B1
	12		SWOR063-4-0,01	0.02	1,680	35	2.2	2.3	5.5	0.91	2.3	A1	B1
	17						2.2	2.3	5.5	0.91	2.3	A1	B1
	25						1.6	1.7	4.9	0.82	1.7	A1	B1
50	SWOR063-8-0,01	0.01	840	25	1.8	1.8	2.1	0.99	1.8	A1	B1		
SQR 07.2	6	300	VWOR063-4-0,06	0.06	1,680	90	4.7	5.6	11	0.96	5.6	A1	B1
	9						4.7	5.4	11	0.96	5.4	A1	B1
	12		SWOR063-4-0,03	0.03	1,680	50	2.8	3.1	6.2	0.94	3.1	A1	B1
	17						2.8	3.1	6.2	0.94	3.1	A1	B1
	25						1.6	1.9	4.9	0.82	1.9	A1	B1
50	SWOR063-8-0,01	0.01	840	25	1.8	1.9	2.1	0.99	1.9	A1	B1		
SQR 10.2	9	600	VWOR063-4-0,10	0.10	1,680	90	4.9	6.3	11	0.96	6.3	A1	B1
	12						3.6	4.3	9.8	0.98	4.3	A1	B1
	17		SWOR063-4-0,06	0.06	1,680	70	3.6	3.9	9.8	0.98	3.9	A1	B1
	25						2.8	3.3	6.2	0.94	3.3	A1	B1
	35						2.8	3.1	6.2	0.94	3.1	A1	B1
50	SWOR063-4-0,02	0.02	1,680	35	2.2	2.3	5.5	0.91	2.3	A1	B1		
SQR 12.2	12	900	VWOR063-4-0,10	0.10	1,680	90	4.9	6.2	11	0.96	6.2	A1	B1
	17						4.9	6.3	11	0.96	6.3	A1	B1
	25		SWOR063-4-0,06	0.06	1,680	70	3.6	4.3	9.8	0.98	4.3	A1	B1
	35						3.6	3.9	9.8	0.98	3.9	A1	B1
	50						2.7	3.2	5.4	0.98	3.2	A1	B1
75	SWOR063-4-0,04	0.04	1,680	50	2.7	3.2	5.4	0.98	3.2	A1	B1		
108	SWOR063-4-0,02	0.02	1,680	35	1.7	1.8	4.9	0.84	1.8	A1	B1		
SQR 14.2	30	1,800	VWOR063-4-0,10	0.10	1,680	90	4.9	6.2	11	0.96	6.2	A1	B1
	40						4.9	6.3	11	0.96	6.3	A1	B1
	60		SWOR063-4-0,06	0.06	1,680	70	3.6	4.3	9.8	0.98	4.3	A1	B1
85	3.6	3.9					9.8	0.98	3.9	A1	B1		

1) – 4) Refer to Notes on Electrical data SQ .2/SQR .2 part-turn actuators with 1-phase AC motors

We reserve the right to alter data according to improvements made. Previous documents become invalid with the issue of this document.

SQR 05.2 – SQR 14.2



Electrical data Part-turn actuators for modulating duty with 1-phase AC motors

Intermittent duty S4 - 20 %, 110 V – 120 V/60 Hz

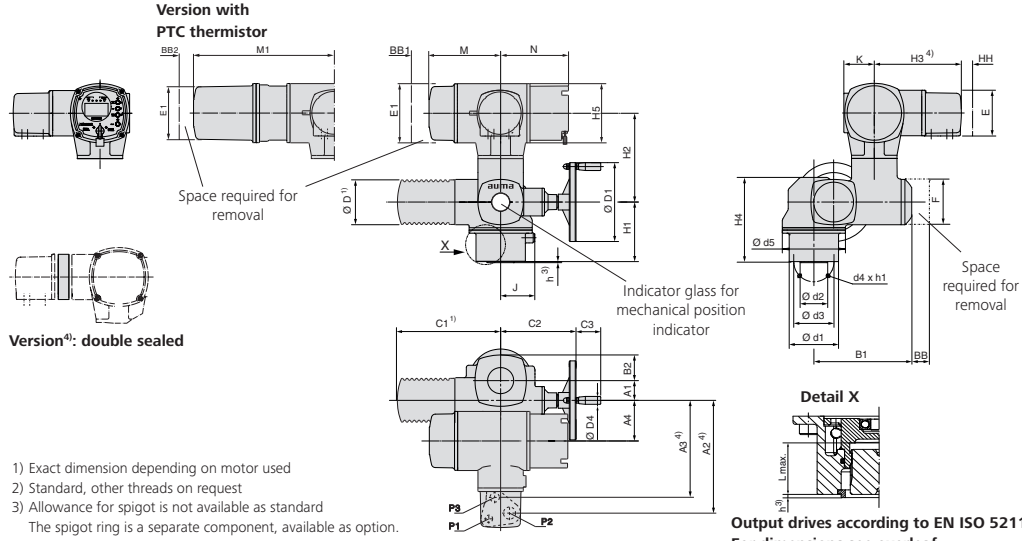
Installation and sizing																		
Motor data	Motor data is approximate. Due to usual manufacturing tolerances, there may be deviations from the values given.																	
Motor protection	<p>To protect against overheating, thermostats or PTC thermistors are embedded in the motor windings.</p> <p>Actuators without integral actuator controls (AUMA NORM): Thermostats or PTC thermistors have to be considered within the external controls (refer to terminal plan).</p> <p>Note: Failure to connect thermostats or PTC thermistors shall void the warranty for the motor.</p> <p>Rating of the thermostats</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">AC current</th> <th colspan="2">DC current</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>250 V, 50 – 60 Hz</td> <td></td> <td>60 V</td> <td>1.0 A</td> </tr> <tr> <td>cos φ = 1</td> <td>2.5 A</td> <td>42 V</td> <td>1.2 A</td> </tr> <tr> <td>cos φ = 0.6</td> <td>1.6 A</td> <td>24 V</td> <td>1.5 A</td> </tr> </tbody> </table> <p>Actuators with AM or AC integral actuator controls: Thermal motor protection is already integrated.</p>	AC current		DC current		250 V, 50 – 60 Hz		60 V	1.0 A	cos φ = 1	2.5 A	42 V	1.2 A	cos φ = 0.6	1.6 A	24 V	1.5 A	
AC current		DC current																
250 V, 50 – 60 Hz		60 V	1.0 A															
cos φ = 1	2.5 A	42 V	1.2 A															
cos φ = 0.6	1.6 A	24 V	1.5 A															
Mains voltage, mains frequency	<p>Permissible variation of mains voltage: ±10 %</p> <p>Permissible variation of mains frequency: ±5 %</p>																	
Terminal plan	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Part-turn actuators</th> <th>Motor (type)</th> <th>Terminal plan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SQ 05.2 – SQ 14.2</td> <td>VW.../SW...</td> <td>TPA01R1AA-101-000</td> </tr> <tr> <td>SQR 05.2 – SQR 14.2</td> <td>VW.../SW...</td> <td>TPA01R1AA-001-000</td> </tr> </tbody> </table> <p>For further information refer to "Technical data Part-turn actuators SQ 05.2 – SQ 14.2 / SQR 05.2 – SQR 14.2 with 1-phase AC motors"</p>	Part-turn actuators	Motor (type)	Terminal plan	SQ 05.2 – SQ 14.2	VW.../SW...	TPA01R1AA-101-000	SQR 05.2 – SQR 14.2	VW.../SW...	TPA01R1AA-001-000								
Part-turn actuators	Motor (type)	Terminal plan																
SQ 05.2 – SQ 14.2	VW.../SW...	TPA01R1AA-101-000																
SQR 05.2 – SQR 14.2	VW.../SW...	TPA01R1AA-001-000																
Switchgear sizing	<p>For motor operation, reversing contactors (mechanically, electrically and electronically locked) or thyristors (electronically locked) can be used.</p> <p>Actuators without integral actuator controls (AUMA NORM): Switchgear are supplied by the customer. We recommend specification of switchgear suitable for their rated operating power/motor power in compliance with the assigned AUMA power class.</p> <p>Switchgear assignment to AUMA power classes:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">AUMA power class</th> <th rowspan="2">Reversing contactor Rated operating power acc. to EN 60947-4-1 Utilization category AC-3</th> <th colspan="2">Reversing contactor Motor power according to UL/CSA at</th> </tr> <tr> <th>480 V AC</th> <th>600 V AC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A1</td> <td>400 V AC 4.0 kW</td> <td>5.0 hp</td> <td>5.0 hp</td> </tr> <tr> <th rowspan="2">AUMA power class</th> <th rowspan="2">Thyristor Rated operating current acc. to EN 60947-4-2 Utilization category AC-53a</th> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td>400 V AC 6 A</td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table> <p>Actuators with AM or AC integral actuator controls: Required switchgear in power classes A1 or B1 are directly integrated in AM or AC actuator controls.</p>	AUMA power class	Reversing contactor Rated operating power acc. to EN 60947-4-1 Utilization category AC-3	Reversing contactor Motor power according to UL/CSA at		480 V AC	600 V AC	A1	400 V AC 4.0 kW	5.0 hp	5.0 hp	AUMA power class	Thyristor Rated operating current acc. to EN 60947-4-2 Utilization category AC-53a			400 V AC 6 A		
AUMA power class	Reversing contactor Rated operating power acc. to EN 60947-4-1 Utilization category AC-3			Reversing contactor Motor power according to UL/CSA at														
		480 V AC	600 V AC															
A1	400 V AC 4.0 kW	5.0 hp	5.0 hp															
AUMA power class	Thyristor Rated operating current acc. to EN 60947-4-2 Utilization category AC-53a																	
		400 V AC 6 A																

Notes on Electrical data SQ .2/SQR .2 part-turn actuators with 1-phase AC motors	
1) Nominal power P_N	Mechanical power output at motor shaft at run torque of part-turn actuator (corresponds to approx. 35 % of maximum torque).
2) Permanent split/starting capacitor	For VW/SW motors, permanent split capacitors are integrated within the motor.
3) Nominal current I_N	Current at run torque
4) Max. current I_{max}	Current at maximum torque

We reserve the right to alter data according to improvements made. Previous documents become invalid with the issue of this document.

Dimensions Part-turn actuators with AC integral controls (also for HART)

With AUMA plug/socket connector and 3-phase AC motor



Version⁴⁾: double sealed

- 1) Exact dimension depending on motor used
- 2) Standard, other threads on request
- 3) Allowance for spigot is not available as standard
The spigot ring is a separate component, available as option.
- 4) Option: Enclosure protection IPxx-DS, cover for electrical connection with additional frame
- 5) Combined flange F05/F07 without spigot (standard). As an alternative an individual flange F07 can be ordered with/without spigot

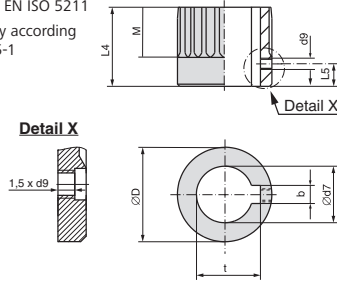
Output drives according to EN ISO 5211
For dimensions see overleaf

Dimensions	SQ 05.2/AC 01.2		SQ 07.2/AC 01.2		SQ 10.2/AC 01.2		SQ 12.2/AC 01.2		SQ 14.2/AC 01.2		
	F05 ⁵⁾	F07 ⁵⁾	F05 ⁵⁾	F07 ⁵⁾	F10	F10	F12	F12	F14	F14	F16
EN ISO 5211											
A1		40					50		50		50
A2 ⁴⁾			287 (314 ⁴⁾)				287 (314 ⁴⁾)		287 (314 ⁴⁾)		287 (314 ⁴⁾)
A3 ⁴⁾			247 (274 ⁴⁾)				247 (274 ⁴⁾)		247 (274 ⁴⁾)		247 (274 ⁴⁾)
A4		103					103		103		103
B1		238					248		248		248
B2		50					65		65		65
C1 ¹⁾		265					265		265		265
C2		186					191		191		191
C3		63					63		63		63
Ø D ¹⁾		101					101		101		101
Ø D1		160					200		200		200
Ø D4		20					20		20		20
E		115					115		115		115
E1		150					150		150		150
F		115					115		115		115
H1		134		134	160	151	183	175	215	210	260
H2			225				225		225		225
H3 ⁴⁾			220 (247 ⁴⁾)				220 (247 ⁴⁾)		220 (247 ⁴⁾)		220 (247 ⁴⁾)
H4		193		193	217	214	246	238	278	273	323
H5			150				150		150		150
J			69				86		109		128
K			75				75		75		75
L max.		40		40	66	50	82	61	101	75	125
M			265				265		265		265
M1			349				349		349		349
N			173				173		173		173
P1 ²⁾			M20 x 1.5				M20 x 1.5		M20 x 1.5		M20 x 1.5
P2 ²⁾			M32 x 1.5				M32 x 1.5		M32 x 1.5		M32 x 1.5
P3 ²⁾			M25 x 1.5				M25 x 1.5		M25 x 1.5		M25 x 1.5
BB min.			180				180		180		180
BB1 min.			70				70		70		70
BB2 min.			90				90		90		90
HH min.			30				30		30		30
Ø d1		90		90	125	125	150	150	175	175	210
Ø d2		-		-	70	70	85	85	100	100	130
Ø d3		50	70	50	70	102	102	125	125	140	140
d4		4 x M6	4 x M8	4 x M6	4 x M8	4 x M10	4 x M10	4 x M12	4 x M12	4 x M16	4 x M16
Ø d5			125				160		210		225
h ³⁾		-		-	2.5	2.5	2.5	2.5	3.5	3.5	4.5
h1		12	15	15	16	18	19	22	25	29	32

We reserve the right to alter data according to improvements made. Previous documents become invalid with the issue of this document.

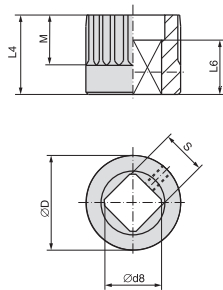
Dimensions Couplings according to EN ISO 5211

Bore acc. to EN ISO 5211
With keyway according to DIN 6885-1



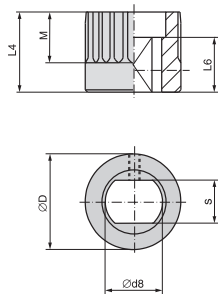
Dimensions	SQ 05.2		SQ 07.2		SQ 10.2		SQ 12.2		SQ 14.2	
EN ISO 5211	F05	F07	F07	F10	F10	F12	F12	F14	F14	F16
Ø D	41.75		41.75		51.75		67.6		81.6	
b JS9 ¹⁾	6		6		8		10		14	
Ø d7 H8 ²⁾	18		22		28		36		48	
Ø d7 max.	25.4		25.4		38		50		60	
d9 ³⁾	M5		M5		M6		M6		M6	
L4	35		35	60	45	75	55	95	65	115
L5 ³⁾	8		8		10		10		10	
M	20		20		30		40		47	40
t ¹⁾	20.8		24.8		31.3		39.3		51.8	

Square bore according to EN ISO 5211



Dimensions	SQ 05.2		SQ 07.2		SQ 10.2		SQ 12.2		SQ 14.2	
EN ISO 5211	F05	F07	F07	F10	F10	F12	F12	F14	F14	F16
Ø D	41.75		41.75		51.75		67.6		81.6	
Ø d8 min. ²⁾	18.1		22.2		28.2		36.2		48.2	
Ø d8 max.	28.2		28.2		40.2 ⁴⁾		48.2		60.2	
L4	35		35	60	45	75	55	95	65	115
L6 min.	30		30		30		30		40	
M	20		20		30		40		47	40
s H11 ²⁾	14		17		22		27		36	
s H11 max.	22		22		30 ⁴⁾		36		46	

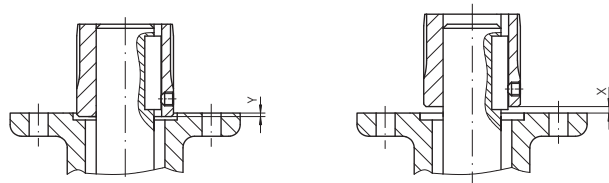
Bore with two-flats according to EN ISO 5211



Dimensions	SQ 05.2		SQ 07.2		SQ 10.2		SQ 12.2		SQ 14.2	
EN ISO 5211	F05	F07	F07	F10	F10	F12	F12	F14	F14	F16
Ø D	41.75		41.75		51.75		67.6		81.6	
Ø d8 min. ²⁾	18.1		22.2		28.2		36.2		48.2	
Ø d8 max.	28.2		28.2		36.2		48.2 (48 ⁵⁾)		60.2	
L4	35		35	60	45	75	55	95	65	115
L6 min.	25		25		25		30		40	
M	20		20		30		40		47	40
s H11 ²⁾	14		17		22		27		36	
s H11 max.	22		22		27		36 (41 ⁵⁾)		46	

Mounting position of coupling

X max.		3		4		5		8	
Y max.		2		5		10		10	



- 1) Dimensions depend on Ø d7, refer to DIN 6885-1
- 2) Recommended size according to EN ISO 5211
- 3) Thread with grub screw
- 4) According to DIN 79
- 5) According to DIN 475

We reserve the right to alter data according to improvements made. Previous documents become invalid with the issue of this document.

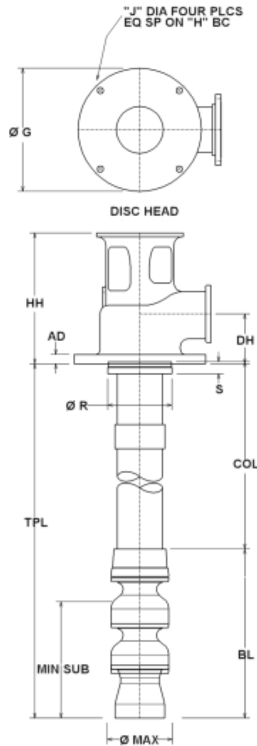
E.5. Especificaciones técnicas de la bomba sumergible de tipo turbina

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.

		HYDRAULIC ANALYSIS Quote Number: 9001-170615-020:4 Model: DWT-DITM Size: 7CHC 6 Stage(s)	
OVERALL PUMP PARAMETERS			
Capacity:	197.00 USGPM	Total Dynamic Head:	183.00 ft
Total Pump Length:	0.000 M	Impeller Trim:	5.1875 inch
Pump Type:	DWT - Deep Well Lineshaft Turbine	Head Type:	Type DI (Ductile Iron Head)
Pump K-Factor:	3.5000 lbs/ft	Number of Stages:	6
Additional Pump K-Factor:	3.5000 lbs/ft	Pumping Level:	0.000 ft
Pump Operating Speed [RPM]:	1770		
LINE SHAFT RELATED DATA			
Shaft Diameter:	1.0000 inch	Shaft Limit :	71 Hp
Shaft Material:	416SS	Material Correction Fact:	1.18
Line Shaft Length:	6.00 inch	Shaft Elongation:	0.00017 inch
Line Shaft Type:	Water (Open Lineshaft)	Impeller Running Clearance:	0.13 inch
BOWL DATA			
Total Bowl Length:	47.46 inch	Bowl Shaft Limit:	123 Hp
Bowl Shaft Diameter:	1.1875 inch	Bowl Shaft Material:	416SS
Bowl Diameter:	7.120 inch		
COLUMN DATA			
Column Diameter:	4 inch	Column Elongation:	0.00010 inch
Column Wall Thickness:	0.370 inch	Shut Off Column Elongation:	0.00010 inch
Column Load:	7151.90 lb		
HORSEPOWER DATA			
Shaft Friction Loss:	0.00266 Hp	Thrust Load Loss:	0.08932 Hp
Bowl Hp at Design:	11 Hp	Rating:	15 Hp [11.2 kW]
OTHER DATA			
Hydraulic Thrust:	640.40 lb	Thrust at Design:	699.40 lb
Thrust at Shut Off:	768.46 lb	Actual Head Above Grade:	183.00 ft
Available Lateral:	0.50 inch	Design Lateral:	0.13007 inch
Shut Off Lateral:	0.13008 inch		
Suction Head:	0.00 ft	Shut Off Discharge Pressure:	87.44 psi
Column Loss:	0.00 ft	NPSH Actual:	32.59 ft
Head Loss:	0.00 ft	NPSHr:	3.76 ft @design
Total Loss:	0.00 ft	NPSH Margin:	28.83 ft
EFFICIENCY DATA			
Bowl Efficiency:	82.60 %	Overall Efficiency:	0.00 %
Motor Efficiency:	0.00 %	KWH per 1000 gallons:	0.00
Pump Efficiency:	80.40 %		
FLUID DATA			
Fluid Type:	Water	Specific Gravity:	0.9999
Temperature:	70°F	Viscosity:	0.9695 cP
COMPONENT WEIGHTS			
Bowl Weight:	190 lbs	Column Weight:	0 lbs
Head Weight:	0 lbs	Can Weight:	0 lbs
Driver Weight:	0 lbs	Total Pump Weight:	190 lbs
DO NOT USE FOR CONSTRUCTION UNLESS CERTIFIED			
Certified by			
Date of certification			
Pump serial number			
Project Name		BORRADOR	
Tag			

OUTLINE DRAWING

Quote Number: 9001-170615-020:4
Model: DWT-DITM
Size: 7CHC 6 Stage(s)



DIMENSIONS

AD	0.88	inch
AG	0.00	inch
BD	0.0	inch
BL	47.46	inch
CD	0.00	inch
CL	0.00	inch
COL	0.00	inch
DD	14.50	inch
MIN SUB	15.65	inch
DH	9.00	inch
G	21.00	inch
H	18.75	inch
HH	21.00	inch
J	0.75	inch
L	0.00	inch
M		
R	12.25	inch
S	2.06	inch
SL	0.00	inch
SU	0.00	inch
SUT	0.00	inch
TUBE	0.00	inch
TP	0.00	inch
UG	0.00	inch
V	0.00	inch
W	0.00	inch
X	0.00	inch
XC	0.00	inch
Y	0.00	inch
Z	0.00	inch
Max Dia	7.12	inch
	(150 #)	
Discharge	12"	inch
	[305mm]	
Suction	(150 #) 14	inch

Weights

Total bowl	190.00	lb
Total column	0	lb
Discharge head	0.00	lb
Driver	0.00	lb
Approx weight	190.00	lb

PUMP DATA

No. of Units	1.00
Model:	DWT-DITM 7CHC
Stages:	6
Col Size:	4"
Shaft:	1.0000 in dia
Flow:	197.00 USGPM
Head:	183.00 ft
Driver Mfr:	NA
Driver Type:	VHS
Rating:	15 Hp [11.2 kW]
Speed:	1800 RPM
Phase:	0
Frequency:	60 Hz
Voltage:	0

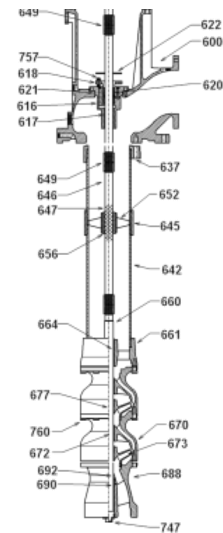
No.	NOTES
1	Total Pump Length \pm 1.0 inch.
2	Tolerance on all dimensions is .12 or \pm .12 inch per 5 ft, whichever is greater.
3	All dimensions shown are in inches unless otherwise specified.
4	Drawing not to scale.
5	1/2" NPT - Gauge Conn (plugged)
6	Driver may be rotated at 90° intervals about vertical centerline for details refer to driver dimension drawing.
7	Refer to product IOM for impeller setting requirements.
8	This assembly has been designed so that its natural frequency responses avoid the specific operating speeds by an adequate safety margin. The design has assumed the foundation to be rigid.

DO NOT USE FOR CONSTRUCTION UNLESS CERTIFIED

Certified by	
Date of certification	
Pump serial number	
Project Name	BORRADOR
Tag	

BILL OF MATERIAL

ITEM	Part Name	CODE	MATERIAL	ASTM#
Discharge Head Assembly				
600	Head – Discharge	1018	Ductile Iron	A536-84(1999)e1
602	Head – Base Plate	N/A	Not Included	N/A
604	Nut – Adjusting	2242	Carbon Steel 1018	A108-99
608	Headshaft	2227	416SS	A582M-95b
616	Housing	1003	Cast Iron CL30	A48-94-ae1
617	Bearing-Housing	1109	Bronze C90300 "G" Modified	B584-00
618	Gland-Split	1203	316SS	A744M-00
620	Packing	5026	Acrylic yarn and graphite	ML402-99
621	O-Ring	5302	Nitrile Buna N	D4322-96
622	Slinger	5121	Rubber EPDM	D3568-98
648	Head Sleeve	N/A	None	N/A
730	Key-Motor Gib	2242	Carbon Steel 1018	A108-99
757	Screw-Gland Adj	2229	SST 316	A276-00a
Column and Lineshaft Assembly				
637	Hanger Flange	N/A	Not Included	N/A
642	Column Pipe	9645	Carbon Steel	A53
645	Column-Coupling	N/A	Not Applicable	N/A
646	Lineshaft	2227	416SS	A582M-95b
649	Lineshaft Coupling	2265	416SS	A582M-95b
652	Retainer-Bearing	N/A	Not Applicable	N/A
656	Lineshaft Bearing	N/A	Not Applicable	N/A
Bowl Assembly				
660	Bowl-Shaft	2227	416SS	A582M-95b
664	Bearing – Disc Bowl	1109	Bronze C90300 "G" Modified	B584-00
670	Bowl-Inter	6911	Cast Iron CL30 Enamel	A48-94e1
672	Bearing-Int Bowl	1109	Bronze C90300 "G" Modified	B584-00
673	Impeller	1203	316SS	A744M-00
677	Collet-Impeller	2242	Carbon steel	A108-99
674	Key-Impeller	N/A	None	N/A
680	Wear Ring-Bowl	N/A	Not Included	N/A
681	Wear Ring-Impeller	N/A	Not Included	N/A
688	Bowl-Suction	690	Cast Iron CL30	1003
690	Bearing-Suction	1109	Bronze C90300 "G" Modified	B584-00
692	Sandcollar	1205	304SS	A744M-00
698	Not Included	N/A	None	N/A
747	Plug-Pipe	1046	Malleable Iron	A197
760	Capscrew-Hex	2298	Steel Bolting Gr8	J429-99

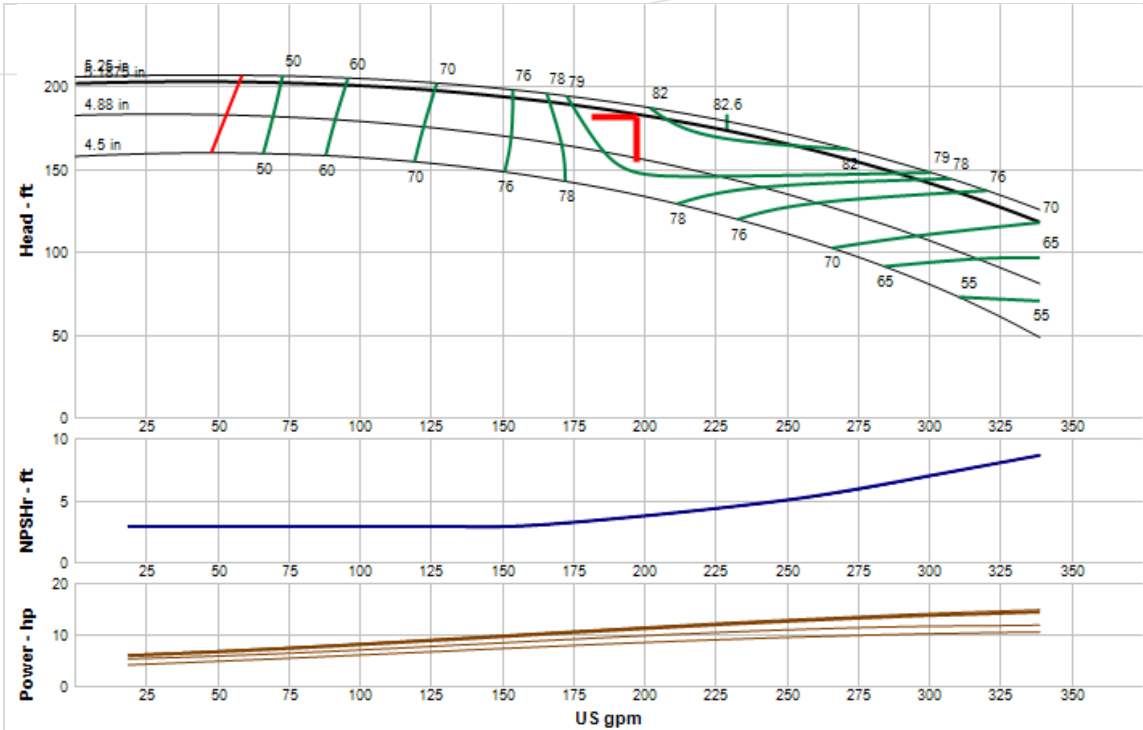


DO NOT USE FOR CONSTRUCTION UNLESS CERTIFIED	
Certified by	
Date of certification	
Pump serial number	
Project Name	BORRADOR
Tag	



PERFORMANCE CURVE

Quote Number: 9001-170615-020:4
 Model: DWT-DITM
 Size: 7CHC 6 Stage(s)



Driver Size Criteria:	Max power on design curve (NOL)	Best Efficiency:	82.60 %
Speed:	1770	Flow at BEP:	229.00 USGPM
Impeller Trim:	5.1875 inch	Min Flow:	57.20 USGPM
Frequency:	60 Hz	Derate Factor:	0.0000
Additional Impeller Trim:	5.188 inch	NPSH Required:	3.76 ft
Impeller Maximum Trim:	5.2500 inch	NPSH Actual:	32.59 ft
Specified Flow:	197.00 USGPM	Shut-Off Head:	202.00 ft
Specified Head:	182.00 ft	Fluid Type:	Water
Head at Design:	183.00 ft	Temperature / Specific Gravity:	70°F / 1.00
Efficiency at Design:	81.10 %	Viscosity:	0.9695 cP
Power at Design:	11.20 Hp	Allowable Sphere Size:	0.56 inch
Flow on Design Trim at Max Power:	339 USGPM	Thrust K Factor:	3.5000 lbs/ft
Max Power on Design Curve:	14.50 Hp	Additional Thrust K Factor:	3.5000 lbs/ft
Run-Out Flow:	0.00 USGPM	Max Lateral:	0.50 inch
Run-Out Head:	0 ft		

DO NOT USE FOR CONSTRUCTION UNLESS CERTIFIED	
Certified by	
Date of certification	
Pump serial number	
Project Name	BORRADOR
Tag	

E.6. Corrección sobre la información de la ficha técnica de la bomba sumergible de tipo turbina

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.

 **Carlos Jose Arrieta Vargas** <carrieta@zebol.com>
to me

Feb 13

Spanish > English Translate message Turn off for: Spanish x

Daniel, esta es la bomba que mejor se ajusta al punto de operación.
Solo que tuve dos problemas con el cálculo que no pude resolver rápidamente, para que lo tomes en cuenta a la hora revisar:

- La información indica que es columna de 12" y no es así, la columna y cabezal de descarga es de 4".
- El material del Bowl (tazón) el correcto es: aleación de níquel-aluminio-bronce. Este fue el utilizado en Conchal. Los demás materiales se mantienen igual.
- La tubería de columna puede ser acero con recubrimiento especial, o en acero inoxidable.
- Precio total de cada bomba aproximadamente \$30.000.

Saludos

 Descripción: cid:image001.png@01D0E960.E59A47D0

CARLOS ARRIETA VARGAS
ASESOR EXTERNO
Tel central: +(506) 2437-7900 Ext 7919
Tel directo: +(506) 2437-7919
Fax: +(506) 2453-3196
Cel: +(506) 8352-8687
www.zebol.com

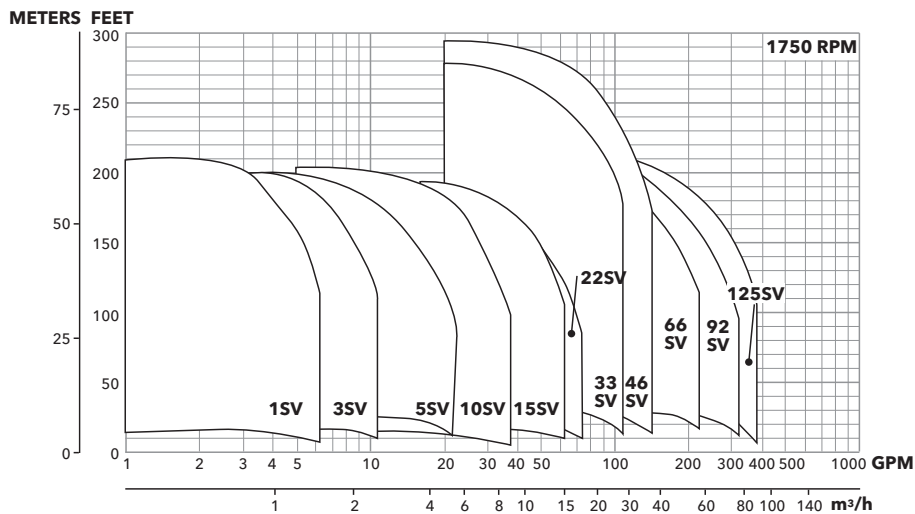
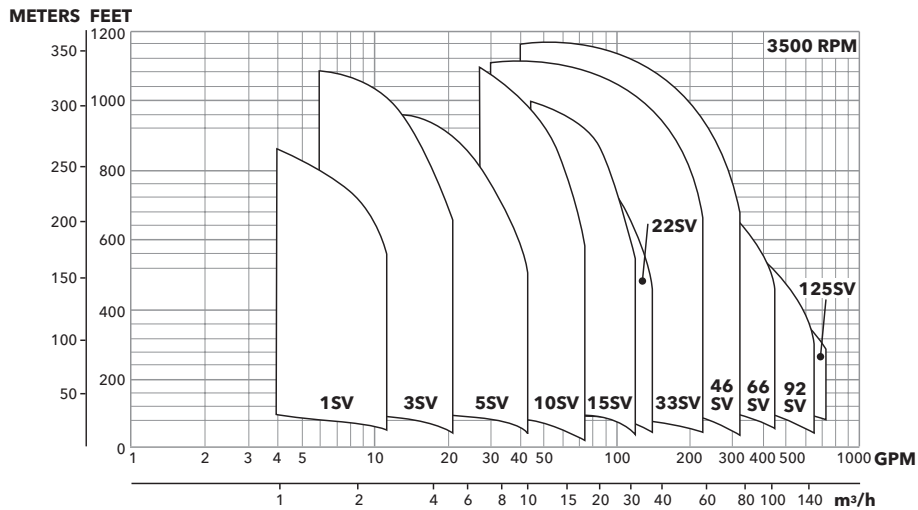
E.7. Especificaciones técnicas para bombas de agua potable

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.

Goolds Water Technology

Commercial Water

e-SV Coverage Curve



e-SV General Market Specifications

MUNICIPAL, AGRICULTURAL, LIGHT INDUSTRY,
WATER TREATMENT, HEATING AND AIR CONDITIONING

Applications

- Handling of water, free of suspended solids, in the municipal, industrial and agricultural markets
- Pressure boosting and water supply systems
- Fire fighting jockey pumps
- Irrigation systems
- Wash systems
- Water treatment plants: reverse osmosis
- Handling of moderately aggressive liquids, demineralized water, water and glycol, etc.
- Circulation of hot and cold water for heating, cooling and conditioning systems
- Boiler feed

Specifications

PUMP

The e-SV pump is a non-self priming vertical multistage pump coupled to a standard motor.

The liquid end, located between the upper cover and the pump casing, is held in place by tie rods. The pump casing is available with different configurations and connection types.

- Delivery: up to 725 GPM
- Head: up to 1200 feet
- Temperature of pumped liquid:
-20°F to 250°F (-30°C to 120°C) standard version
- Optional temperature range up to 300°F (149°C) high temperature version
- Maximum operating pressure
 - SV1-22 with oval flanges: 230 PSI (16 bar)
 - SV1-22 with round flanges or Victaulic: 360 or 575 PSI (25 or 40 bar)
 - SV33, 46: 360 or 580 PSI (25 or 40 bar)*
 - SV 66, 92: 360 or 580 PSI (25 or 40 bar)*
 - SV 125: 360 or 580 PSI (25 or 40 bar)
- Direction of rotation: clockwise looking at the pump from the top down (marked with an arrow on the adapter and on the coupling).

MOTOR

- Standard NEMA TC Frame motors in open drip proof or totally enclosed fan cooled.
- 3500 RPM nominal
- Standard voltage:
 - Single phase version: 115-208/230 V, 60 Hz up to 3 HP or 208-230 V for 5 HP
 - Three phase version, 2 pole: 208-230/460 V, 60 Hz up to 75 HP

* Based on pump staging

e-SV Characteristics

1SV, 3SV, 5SV, 10SV, 15SV, 22SV Series

- Vertical multistage centrifugal pump. All metal parts in contact with the pumped liquid are made of stainless steel.
- The following versions are available:
 - F - ANSI flanges, in-line delivery and suction ports, AISI 304
 - T - Oval flanges (NPT), in-line delivery and suction ports, AISI 304
 - R - ANSI flanges, delivery port above the suction port, with four adjustable positions, AISI 304
 - N - ANSI flanges, in-line delivery and suction ports, AISI 316
 - P - Vitalic couplings, in-line delivery and suction ports, AISI 316
 - G - ANSI flange, in-line delivery and suction ports, Class 35/40B cast iron.
 - C - ISO clamp, AISI 316
- Innovative axial load compensation system on pumps with higher head. This ensures reduced axial thrusts and enables the use of standard NEMA TC motors that are easily found in the market.
- Seal housing chamber designed to prevent the accumulation of air in the critical area next to the mechanical seal
- Mechanical seal according to EN 12756 (ex DIN 24960) and ISO 3069
- Versions with ANSI flanges that can be coupled to ANSI raised face counter-flanges
- Threaded oval counter-flanges made of stainless steel are standard supply for the T versions
- Easy maintenance. No special tools required for assembly or disassembly
- Standard version for temperatures ranging from: -20°F to 250°F (30°C to 120°C)

33SV, 46SV, 66SV, 92SV, 125SV Series

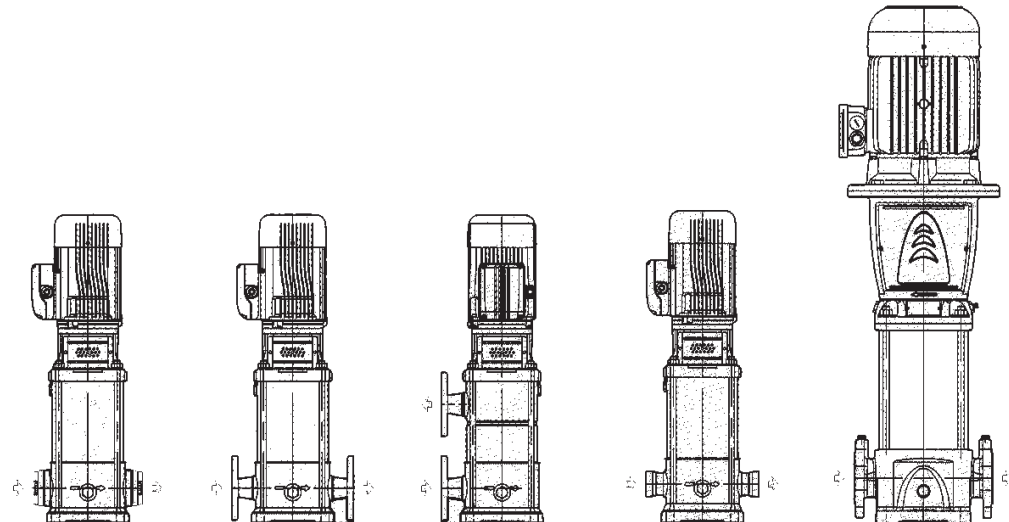
- Vertical multistage centrifugal pump with impellers, diffusers and outer sleeve made entirely of stainless steel, and with pump casing and motor adapter made of cast iron in the standard version
- Rotating components made entirely of AISI 316 stainless steel
- High heads and capacities five sizes: 33SV, 46SV, 66SV, 92SV, 125SV
- Re-designed liquid end provides improved efficiency and energy savings
- Innovative axial load compensation system on pumps with higher head. This ensures reduced axial thrusts and enables the use of standard NEMA TC motors that are easily found in the market.
- Balanced mechanical seal according to EN 12756 (ex DIN 24960) and ISO 3069, which can be replaced without removing the motor from the pump
- Seal housing chamber designed to prevent the accumulation of air in the critical area next to the mechanical seal
- Standard version for temperature ranging from: -20°F to 250°F (-30°C to 120°C)
- Pump body fitted with taps for installing pressure gauges on both suction and delivery flanges
- In-line ports with ANSI flanges that can be coupled to counter-flanges, in compliance with ANSI raised face.
- Mechanical sturdiness and easy maintenance. No special tools required for assembly or disassembly.

Optional Features

- Horizontal version
- Special voltages, 50 Hz frequency
- Special materials for the mechanical seal, gaskets and elastomers
- Tropicalized motors
- Premium E and explosion proof motors
- 1750 RPM, 4 pole motors
- Passivation

Commercial Water

General Characteristics - 2-pole



SERIES SVT
1SV, 3SV, 5SV,
10SV, 15SV, 22SV

SERIES SVF, SVN
1SV, 3SV, 5SV,
10SV, 15SV, 22SV

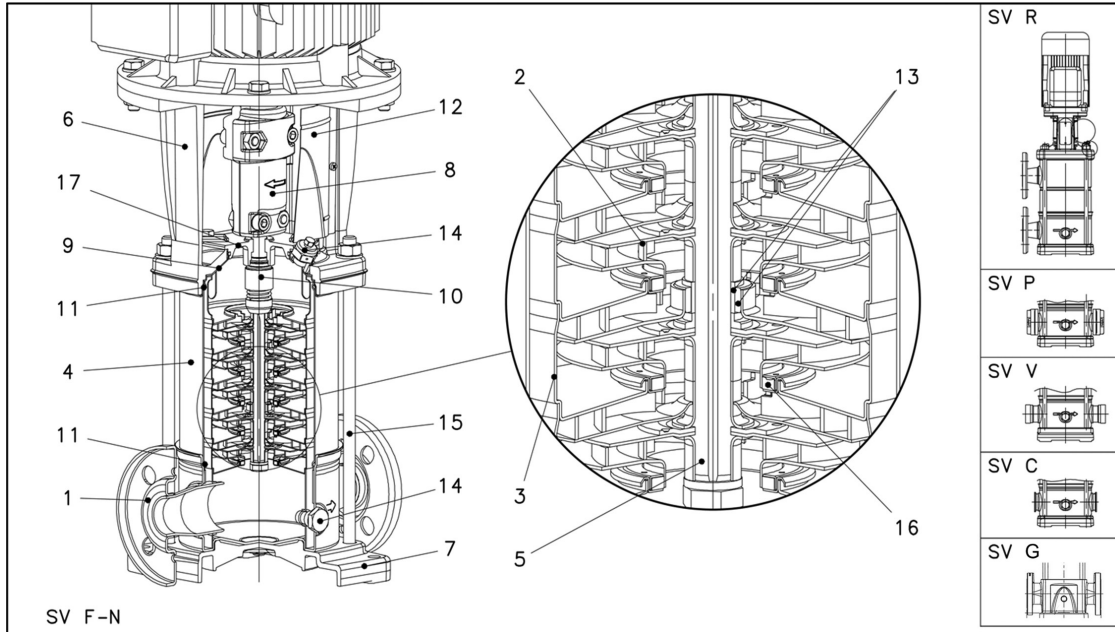
SERIES SVR
1SV, 3SV, 5SV,
10SV, 15SV, 22SV

SERIES SVP
VICTAULIC
1SV, 3SV, 5SV,
10SV, 15SV, 22SV

SERIES SVG, SVN
33SV, 46SV, 66SV,
92SV, 125SV

e-SV Product Range	1SV	3SV	5SV	10SV	15SV	22SV	33SV	46SV	66SV	92SV	125SV
Nominal Flow (GPM)	9	15	30	50	80	110	150	220	350	450	600
Flow Range(GPM)	2-12	3-22	7-45	9-75	18-125	21-150	30-195	45-285	70-420	90-580	120-700
Max. Head (Ft)	860	1085	975	1150	1060	880	1125	1210	850	715	570
Max. Working Pressure (PSIG)	580						360/580				
Temperature Range (°F)	Standard -20°F - 250°F (-30°C - 121°C)										
High Temp Option	up to 300°F (150°C)						-				
Motor Power [HP]	½ - 5 HP	½ - 7½	¾ - 10	¾ - 20	2 - 25	3 - 30	3 - 60	7½ - 75	10 - 75	15 - 75	20 - 75
Max Pump Efficiency	51%	60%	70%	70%	70%	71%	76%	78%	78%	80%	79%
Materials of Construction											
SVT	304 SS						-				
SVF	304 SS						-				
SVN	316L SS						Cast Stainless Steel / 316L SS				
SVR	304 SS						-				
SVP	316L SS						-				
SVC	316L SS						-				
SVG	ASTM Class 35/40B Cast Iron / 304 SS										
Connection Sizes											
SVT - Oval NPT	1¼"	1¼"	1¼"	2"	2"	2"	-				
SVF - Round ANSI Size/Class	1¼" 300#	1¼" 300#	1¼" 300#	2" 300#	2" 300#	2" 300#	-				
SVN - Round ANSI Size/Class	1¼" 300#	1¼" 300#	1¼" 300#	2" 300#	2" 300#	2" 300#	2½" 150/300#	3" 150/300#	4" 150/300#	4" 150/300#	5" 150/300#
SVR - Top/Bottom Round ANSI Size/Class	1¼" 300#	1¼" 300#	1¼" 300#	2" 300#	2" 300#	2" 300#	-				
SVP - Victaulic	1¼"	1¼"	1¼"	2"	2"	2"	-				
SVC - Clamp	1½"	1½"	1½"	2"	2"	2"	-				
SVG - Cast Iron Size/Class	1¼" 250#	1¼" 250#	1¼" 250#	2" 250#	2" 250#	2" 250#	2½" 125/250#	3" 125/250#	4" 125/250#	4" 125/250#	5" 125/250#

Base Models: 1-22SV – Major Components



Commercial Water

Base Models: 1-22SV – Major Components

F, G, P, R VERSIONS

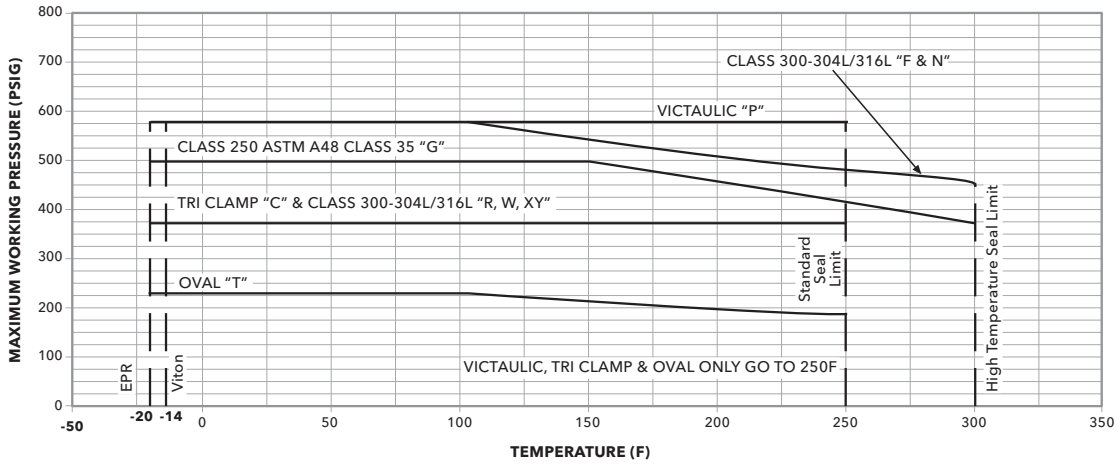
Ref. No.	Name	Material	Reference Standards	
			USA	Europe
1	Pump Body	Stainless Steel (F, P, R)	AISI 304	EN 10088-1-X5-CrNi18-10 (1.4301)
		Cast Iron (G)	ASTM Class 35/40B	EN 1561 GJL 250 (JL1040)
2	Impeller	Stainless Steel	AISI 304	EN 10088-1-X5-CrNi18-10 (1.4301)
3	Diffuser	Stainless Steel	AISI 304	EN 10088-1-X5-CrNi18-10 (1.4301)
4	Casing	Stainless Steel	AISI 316L	EN 10088-1-X2-CrNiMo17-12-2 (1.4404)
5	Shaft	Stainless Steel	AISI 316	EN 10088-1-X2-CrNiMo17-12-2 (1.4401)
6	Adapter	Cast Iron	ASTM Class 35/40B	EN 1561-GJL-250 (JL1040)
7	Base	Aluminum (F, P, R)	A384.0-F	EN 1706-AC-AISI11Cu2(Fe)(AC46100)
		N/A (G)	N/A	N/A
8	Coupling	Aluminum	A384.0-F	EN 1706-AC-AISI11Cu2(Fe)(AC46100)
9	Seal Plate	Stainless Steel	AISI 316L	EN 10088-1-X2-CrNi17-12-2 (1.4404)
10	Mechanical Seal	Silicon Carbide / Carbon / Viton (opt. EPDM)		
11	Elastomers	Viton (opt. EPDM)		
12	Coupling Guard	Stainless Steel	AISI 304	EN 10088-1-X5-CrNi18-10 (1.4301)
13	Shaft Sleeve and Bushing	Tungsten Carbide		
14	Fill/Drain Plugs	Stainless Steel	AISI 316	EN 10088-1-X2-CrNiMo17-12-2 (1.4401)
15	Tie Rods	Carbon Steel / Zinc Plated	A29 Gr. 1045	EN 10277
16	Wear Ring	PPS		
17	Seal Gland	Stainless Steel	AISI 316	EN 10088-1-X2-CrNiMo17-12-2 (1.4401)

N, P, C VERSIONS

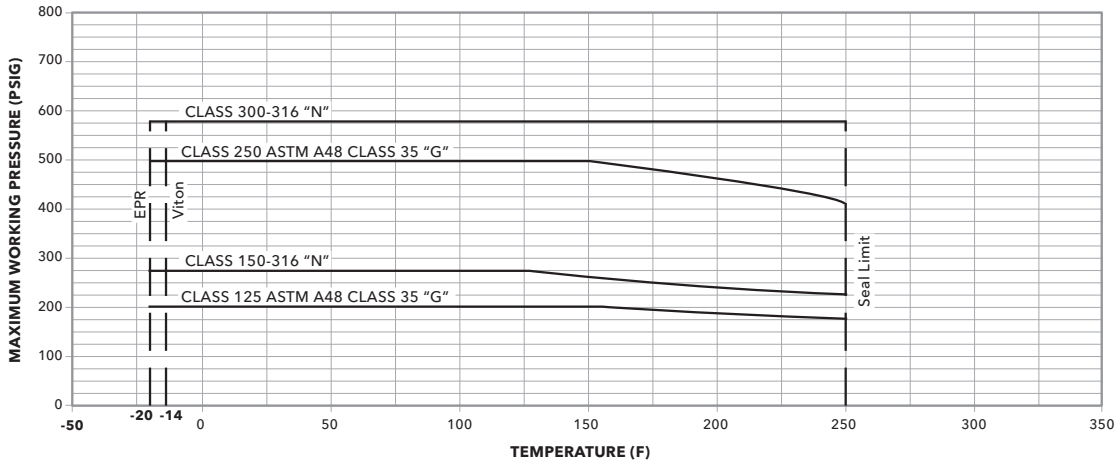
Ref. No.	Name	Material	Reference Standards	
			USA	Europe
1	Pump Body	Stainless Steel	AISI 316L	EN 10088-1-X2-CrNiMo17-12-2 (1.4404)
2	Impeller	Stainless Steel	AISI 316L	EN 10088-1-X2-CrNiMo17-12-2 (1.4404)
3	Diffuser	Stainless Steel	AISI 316L	EN 10088-1-X2-CrNiMo17-12-2 (1.4404)
4	Casing	Stainless Steel	AISI 316L	EN 10088-1-X2-CrNiMo17-12-2 (1.4404)
5	Shaft	Stainless Steel	AISI 316	EN 10088-1-X2-CrNiMo17-12-2 (1.4401)
6	Adapter	Cast Iron	ASTM Class 35/40B	EN 1561-GJL-250 (JL1040)
7	Base	Aluminum	A384.0-F	EN 1706-AC-AISI11Cu2(Fe)(AC46100)
8	Coupling	Aluminum	A384.0-F	EN 1706-AC-AISI11Cu2(Fe)(AC46100)
9	Seal Plate	Stainless Steel	AISI 316L	EN 10088-1-X2-CrNi17-12-2 (1.4404)
10	Mechanical Seal	Silicon Carbide / Carbon / Viton (opt. EPDM)		
11	Elastomers	Viton (opt. EPDM)		
12	Coupling Guard	Stainless Steel	AISI 304	EN 10088-1-X5-CrNi18-10 (1.4301)
13	Shaft Sleeve and Bushing	Tungsten Carbide		
14	Fill/Drain Plugs	Stainless Steel	AISI 316	EN 10088-1-X2-CrNiMo17-12-2 (1.4401)
15	Tie Rods	Carbon Steel / Zinc Plated	A29 Gr. 1045	EN 10277
16	Wear Ring	PPS		
17	Seal Gland	Stainless Steel	AISI 316	EN 10088-1-X2-CrNiMo17-12-2 (1.4401)

Maximum Allowable Working Pressure Charts

1SV-22SV



33SV-125SV



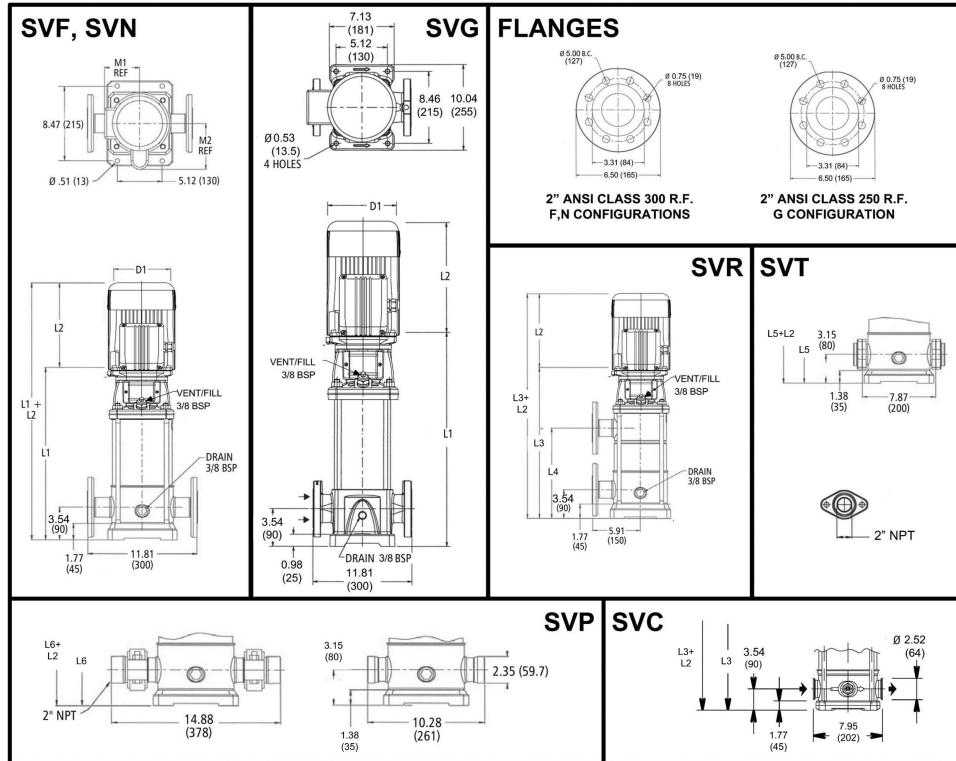
Goolds Water Technology

Commercial Water

Dimensions and Weights

15SV Series 3500 RPM

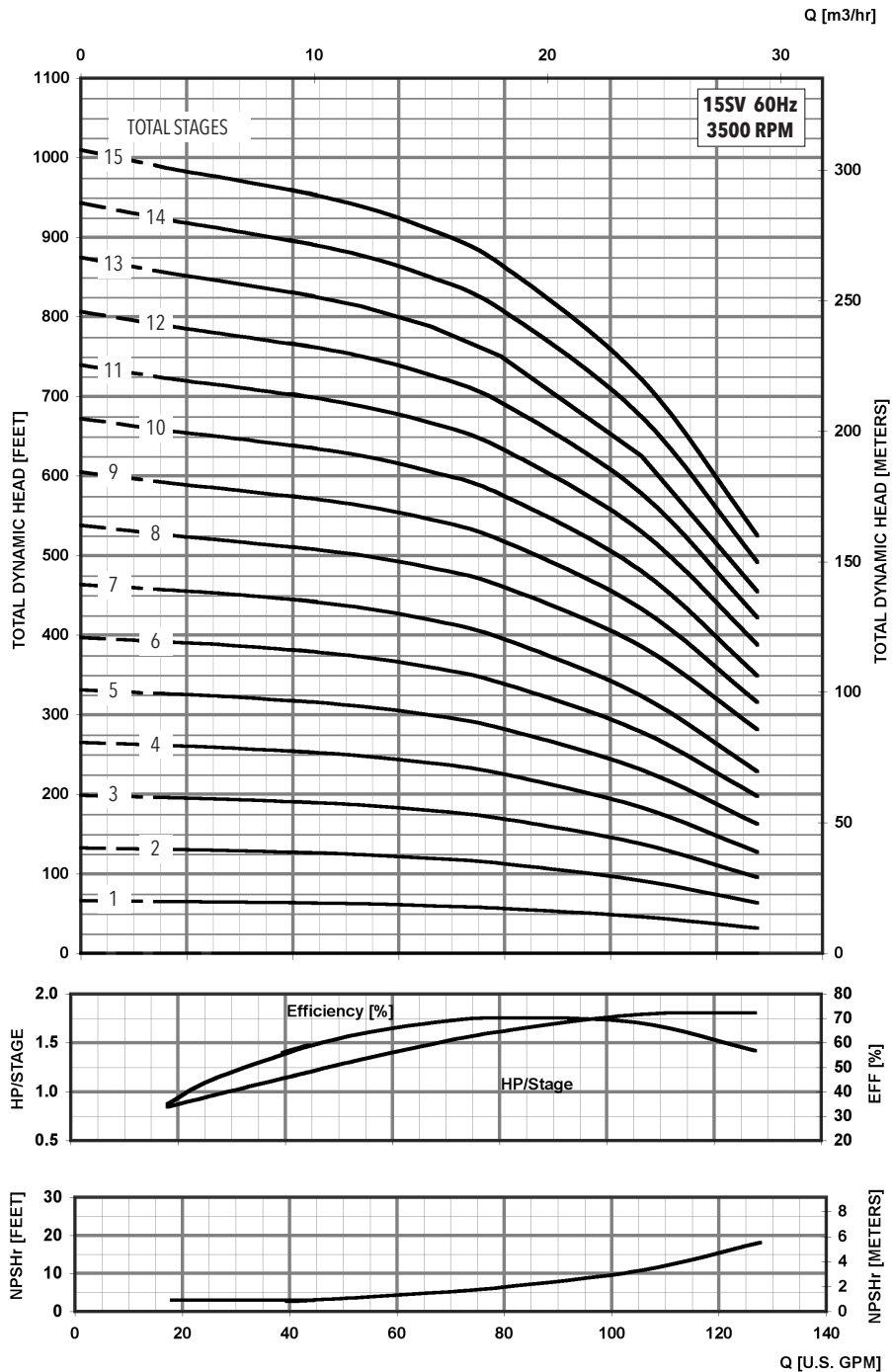
60 Hz



All dimensions are in inches (mm).

15SV SERIES – 60Hz, 3500 RPM ODP/TEFC Enclosures

Pump Type Stages	Motor				Dimensions (in)													Weight (lbs.)											
	NEMA Frame				L2				D1 (max.)					Motor				Pump/Motor											
	HP	ODP 10	TEFC 10	ODP 30	TEFC 30	L1	ODP 10	TEFC 10	ODP 30	TEFC 30	L3	L4	L5	L6	M (Ref.)	ODP 10	TEFC 10	ODP 30	TEFC 30	D2	Pump Only	ODP 10	TEFC 10	ODP 30	TEFC 30	ODP 10	TEFC 10	ODP 30	TEFC 30
15SV-01	2	56C				18.61	11.18	12.06	11.16	10.79	-	-	18.21	18.21	5.74	7.19	7.19	6.19	6.19	4.72	38	43	51	32	33	81	89	70	71
15SV-02	5	184TC	182TC	184TC	18.71	13.93	15.43	12.55	13.93	-	-	18.32	18.32	6.87	8.88	8.86	9.02	8.86	5.51	44	81	92	62	69	125	136	106	113	
15SV-03					20.60	13.93	15.43	12.55	13.93	-	-	20.21	20.21	6.87	8.88	8.86	9.02	8.86	5.51	47	81	92	62	69	128	139	109	116	
15SV-04					22.49	13.88	15.53	13.93	15.43	22.49	11.85	22.10	22.10	8.05	8.89	10.62	8.88	8.86	5.51	50	100	120	75	85	150	170	125	135	
15SV-05	10	215TC	213TC	215TC	24.95	16.63	16.68	15.55	15.51	24.95	13.74	24.56	24.56	8.77	10.62	10.18	10.18	10.28	5.51	59	132	145	107	122	191	204	166	181	
15SV-06					26.86	16.63	16.68	15.55	15.51	26.86	15.63	26.47	26.47	8.77	10.62	10.18	10.18	10.28	5.51	66	132	145	107	122	198	211	173	188	
15SV-07					29.38	-	-	15.55	16.57	29.38	17.52	28.99	28.99	9.22	-	-	10.18	10.28	5.51	74	-	-	125	195	-	-	199	269	
15SV-08	15	215TC	254TC	31.27	-	-	15.55	16.57	31.27	19.41	-	30.88	9.22	-	-	10.18	10.28	5.51	76	-	-	125	195	-	-	201	271		
15SV-09				33.16	-	-	15.55	16.57	33.16	21.30	-	32.77	9.22	-	-	10.18	10.28	5.51	79	-	-	125	195	-	-	204	274		
15SV-10				35.05	-	-	16.66	20.08	35.05	23.19	-	34.66	9.5	-	-	10.18	13.13	5.51	83	-	-	144	285	-	-	227	368		
15SV-11	20	256TC	36.94	-	-	16.66	20.08	36.94	25.08	-	36.55	9.5	-	-	10.18	13.13	5.51	86	-	-	144	285	-	-	230	371			
15SV-12			38.83	-	-	16.66	20.08	-	-	-	38.44	9.5	-	-	10.18	13.13	5.51	89	-	-	144	285	-	-	233	374			
15SV-13			41.35	-	-	21.44	19.54	-	-	-	40.96	12.94	-	-	11.63	12.94	5.51	100	-	-	185	283	-	-	285	383			
15SV-14	25	284TC	43.24	-	-	21.44	19.54	-	-	-	-	-	42.85	12.94	-	-	11.63	12.94	5.51	103	-	-	185	283	-	-	288	386	
15SV-15			45.13	-	-	21.44	19.54	-	-	-	44.74	12.94	-	-	11.63	12.94	5.51	106	-	-	185	283	-	-	291	389			



I. Scope

The contractor shall provide _____(quantity) multistage centrifugal pump unit/s, Model e-SV as manufactured by Goulds Water Technology, a Xylem brand, or equal. All pump units shall be from one manufacturer and provided complete including electric motor drive.

II. Conditions of Service

- A.** Equipment Item Number _____
- B.** Flange Inside Diameter _____
- Note:** Suction and discharge must be equal.
- C.** Primary Service Condition
 - Capacity (GPM) _____
 - Total Head (feet) _____
 - Efficiency (%) _____
- D.** Minimum Shutoff Head _____
- E.** Minimum Flow Allowed _____
- F.** Operating Speed _____
- G.** Maximum Motor HP _____

III. Pump Construction

Each pump shall include the following design features:

A. Pump End Components

A.1 Casing

The pump casing shall be of deep drawn, laser welded AISI 304L or 316L stainless steel (optional cast iron) and shall be capable of withstanding maximum working pressures of 360 psi or 580 psi. Number based on pump staging and flange selection. Piping connections shall be in-line (optional top/bottom) and shall be compatible with ANSI raised face flanges (optional NPT or Victaulic).

A.2 Wear Ring

Wear rings composed of PPS shall be provided within each stage. Wear rings must be self centering and easily replaceable.

A.3 Impeller

Impellers shall be of enclosed design and constructed of AISI 316L or AISI 304L stainless steel. Impellers shall provide internal thrust balance in each stage.

A.4 Diffuser Bowl

Each stage shall have a bowl with attached diffuser and be constructed of AISI 304L or 316L stainless steel.

A.5 Seal Housing

The seal housing shall be of concave design and shall hold the seal faces below the topmost part of the pump casing.

A.6 Mechanical Seal

The pump shaft seal shall be one of the following configurations as indicated.

Rotary Face	Stationary Face	Elastomer
High Temperature Carbon	Silicon Carbide Graphite Filled	Viton or EPR
Silicon Carbide Graphite Filled	Silicon Carbide Graphite Filled	EPR
Carbon	Silicon Carbide	Aflas

A.7 Shaft Sleeve and Bearing

The pump shall have shaft sleeves made of Tungsten Carbide and ceramic bearings. Shaft height shall be set with a standard spacer.

IV. Electric Motor

The pump drive motor shall be NEMA standard design TC frame suitable for vertical mounting and close coupled to the pump unit. Motors shall be of standard manufacturers catalog design and must not use special bearings as a thrust handling device. The motor rating shall be:

_____ HP, _____ RPM
 _____ phase, _____ Hz, _____ volts
 _____ Enclosure (ODP/TEFC/XP, WD, TEPE, DPPE)
 High Efficiency, 1.15 Service Factor

V. Testing

- A.** Each pump shall be hydrostatically tested by the manufacturer in accordance with Hydraulic Institute Standards at a minimum of 350 PSI.
- B.** Production performance testing will be conducted by the manufacturer on each pump unit. Head at three operating points (70% of BEP, BEP and 120% of BEP) will be measured to verify performance.

E.8. Especificaciones técnicas para bombas de extracción de salmuera

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.

Goulds Water Technology

Commercial Water

A FULL RANGE OF PRODUCT FEATURES, UNA GAMA TOTAL DE CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Superior Materials

of Construction: AISI Type 316L stainless steel pump parts for reduced corrosion and improved strength and ductility.

Frame Mounted Design: Flexibility of installation and driver arrangements.

Back Pull-Out Design: Simplifies maintenance when used with spacer type coupling.

Cast Iron Power Frame: Rigidly supported, grease lubricated ball bearing assembly.

Mechanical Seal:

Standard John Crane Type 21 mechanical seal.

Drive Motors: Standard NEMA design T-frame or JM motors in single or three phase.

Suction and Discharge Flanges: Mate with ANSI class 150 flanges.

Close-Coupled Design: Compact design saves space and simplifies maintenance.

NSF 61 Certification: Pumps assembled at the factory are certified to the NSF/ANSI 61 Drinking Water System Components Standard.



Materiales Superiores de Construcción: Partes de la bomba de acero inoxidable AISI Tipo 316L para corrosión reducida y fuerza y ductilidad mejoradas.

Diseño de Armazón Montado: Flexibilidad de instalación y colocación del motor.

Diseño de Extracción Trasera: Simplifica el mantenimiento cuando se usa con el acople tipo espaciador.

Armazón del Motor de Hierro Fundido: Rígidamente soportado, con ensamblaje de balineras de bolas lubricadas con grasa.

Sello Mecánico: Sello mecánico estándar John Crane Tipo 21.

Motores de Accionamiento: Motores de armazón-T NEMA estándar unifásicos o trifásicos.

Bridas de Succión y Descarga: Acoplan con bridas ANSI clase 150.

Diseño de Acople Cerrado: El diseño compacto ahorra espacio y simplifica el mantenimiento.

Certificación del NSF 61: Las bombas ensambladas en la fábrica se certifican a los componentes de consumo de agua de NSF/ANSI 61 estándar.

Goulds Water Technology

Commercial Water

SSH S/M-GROUP NUMBERING SYSTEM SISTEMA DE NUMERACIÓN DEL GRUPO-S/M SSH

Example Product Code, Ejemplo Código del Producto

24 SH 1 Q 1 2 A 0 R

Casing Rotation, Optional

R = 3 o'clock B = 6 o'clock L = 9 o'clock

NOTE: Rotation when viewed from suction end of pump. Standard discharge position is 12 o'clock.

Mechanical Seals and O-Ring

0 = Pre-engineered standard
For optional mechanical seal modify catalog order no. with seal code listed below.

Rotación de la cubierta, opcional

R = 3 hora B = 6 hora L = 9 hora

NOTA: Rotación cuando está visto del extremo de la succión de la bomba. La posición estándar de la descarga es las 12.

Sello Mecánico y Anillo 'O'

0 = Estándar aprobado. Para sello mecánico opcional modificar el número de orden del catálogo con el código del sello anotado abajo.

John Crane Type 21 Mechanical Seal, Sello Mecánico John Crane Tipo 21						
Seal Code, Código del Sello	Rotary, Rotativo	Stationary, Estacionario	Elastomers, Elastómeros	Metal Parts, Partes Metálicas	Part No., Pieza Número	
					180-210 Frames, Armazones	250-360 Frames, Armazones
0	Carbon	Sil-Carb	Viton	316 SS, 316 Acero inoxidable	10K27	10K45
2			EPR		10K19	10K20
5	Sil-Carb	Sil-Carb	Viton		10K64	10K65

Impeller Option Code - For optional impeller diameters modify catalog order no. with impeller code listed below. Select optional impeller diameter from pump performance curve.

NOTE: For trimmed impellers, use T for impeller code.

Código del Impulsor Opcional - Para diámetros del impulsor opcional modificar el número de orden del catálogo con el código del impulsor anotado abajo. Seleccionar el diámetro del impulsor opcional de la curva de funcionamiento de la bomba.

NOTA: Para los impulsores cortados, utilice T para el código del impulsor.

Impeller Code, Código del impulsor	Pump Size, Tamaño de la Bomba													
	9SH 1 x 2-6 Dia.	10SH 1 x 2-8 Dia.	11SH 1 x 2-10 Dia.	4SH 1 1/2 x 2 1/2-6 Dia.	7SH 1 1/2 x 2 1/2-8 Dia.	5SH 2 x 2 1/2-6 Dia.	8SH 2 x 2 1/2-8 Dia.	*6SH 2 1/2 x 3-6 Dia.	*22SH 2 1/2 x 3-8 Dia.	*23SH 3 x 4-8 Dia.	24SH 1 1/2 x 2 1/2-10 Dia.	25SH 2 x 2 1/2-10 Dia.	*27SH 2 1/2 x 3-10 Dia.	*28SH 3 x 4-10 Dia.
A	6 5/8	8 7/16	10 3/8	6 3/4	8 1/4	6 1/8	8 1/4	7 7/8	9 1/8	9 1/8	9 1/2	9 1/2	10 3/8	10 3/8
B	6 1/8	8 1/8	9 1/2	6 3/8	7 1/8	6 1/8	7 3/4	7 7/8	8 3/4	8 1/8	9 1/2	9 1/2	9 3/8	10 1/4
C	5 1/2	7 1/8	9 1/8	6 1/8	7	5 1/8	7 1/2	6 3/8	8 1/2	8 1/8	9 3/8	9 3/8	9 3/8	9 3/8
D	5 3/8	7 3/8	8 3/4	5 3/8	6 3/4	5 1/2	7 1/8	6 1/8	8 1/4	8 1/8	8 3/8	8 3/8	9 1/4	9 1/8
E		7 1/8		5 1/8	6 1/4	5 1/8	6 1/8	6 3/8	7 1/8	7 1/8	8 1/4	8 1/4	8 3/4	9 1/8
F				4 1/8	6 1/8	4 3/8	6 3/8	6 1/8	7 1/8	7 1/8	8 1/4	7 1/8	8 1/4	8 1/8
G				4 3/8		4 1/8		5 3/8	7 1/8	7 1/8		7 1/8		
H				4 3/8					6 1/8	6 1/8				
J									6 1/2	6 1/2				
K										6				
L										5 1/2				

NOTE: Impellers will be trimmed in 1/16" increments only. If you are ordering a trim within 1/16" of the standard impeller, you will receive the standard impeller trim.

* Indicates impellers that can be trimmed

NOTA: Los impulsores serán cortados en 1/16" incrementos solamente. Si usted está pidiendo un ajuste dentro de 1/16" del impulsor estándar, usted recibirá el ajuste estándar del impulsor.

* Indica los impulsores que pueden ser cortados

Motor Enclosure, Caja del motor

1 = ODP
2 = TEFC
3 = Explosion Proof, Prueba de explosiones
4 = 3PH, ODP PE
5 = 3PH, TE PE
6 = 3PH, XP PE
7 = Wash down, Lavado
8 = 3PH, WD PE
9 = 1PH, ODP PE
A = 1PH, TE PE

Motor Voltage, Voltaje del motor

1 = 115/208-230
2 = 115/230
3 = 230
4 = 230/460
5 = 208-230/460
6 = 460
7 = 575
X = Non Std.

HP Rating, Potencia nominal, HP

C = 1/2 F = 1.5 J = 5
D = .75 G = 2 K = 7.5
E = 1 H = 3 L = 10
M = 15 Q = 30 T = 60
N = 20 R = 40 U = 75
P = 25 S = 50 V = 100

Driver: Hertz/Pole/RPM, Fuerza motriz: Hertz/Polos/RPM

1 = 60/3500/1
2 = 60/3500/3
3 = 60/1750/1
4 = 60/1750/3
5 = 50/2900/1
6 = 50/2900/3

Material

SH = 316L Stainless steel, Acero inoxidable

Pump Size, Tamaño de la Bomba

9 = 1 x 2 - 6
10 = 1 x 2 - 8
11 = 1 x 2 - 10
23 = 3 x 4 - 8
27 = 2 1/2 x 3 - 10
4 = 1 1/2 x 2 1/2 - 6
7 = 1 1/2 x 2 1/2 - 8
5 = 2 x 2 1/2 - 6
24 = 1 1/2 x 2 1/2 - 10
28 = 3 x 4 - 10
8 = 2 x 2 1/2 - 8
6 = 2 1/2 x 3 - 6
22 = 2 1/2 x 3 - 8
25 = 2 x 2 1/2 - 10

Frame Options, Opciones de mando

Substitute, Substituto	Description, Descripción
FRM2	7/8" Imp. Bore, Diámetro interior del impulsor 7/8"
FRM3	1 1/4" Imp. Bore, Diámetro interior del impulsor 1 1/4"

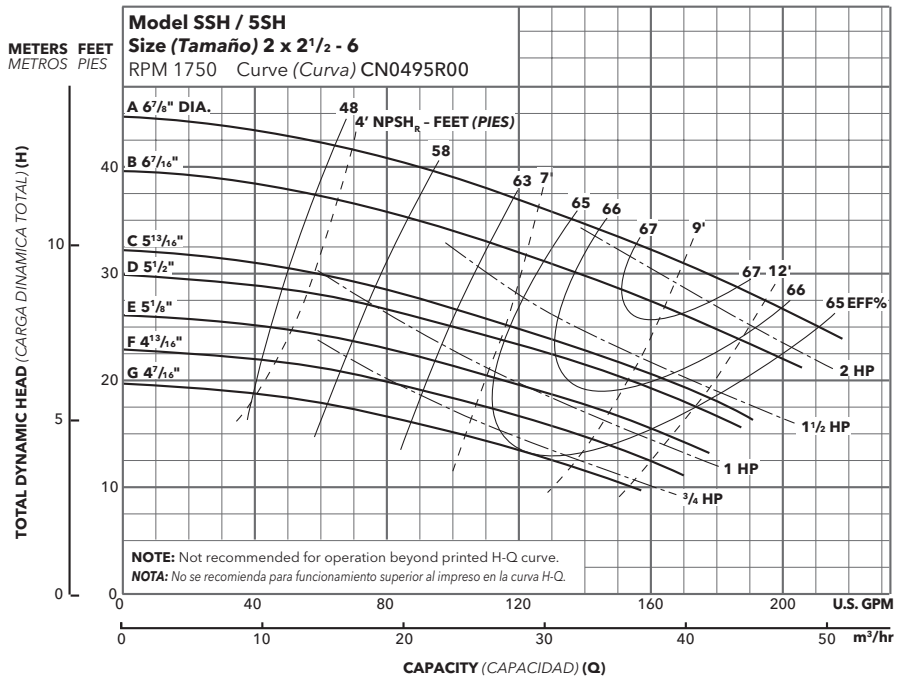
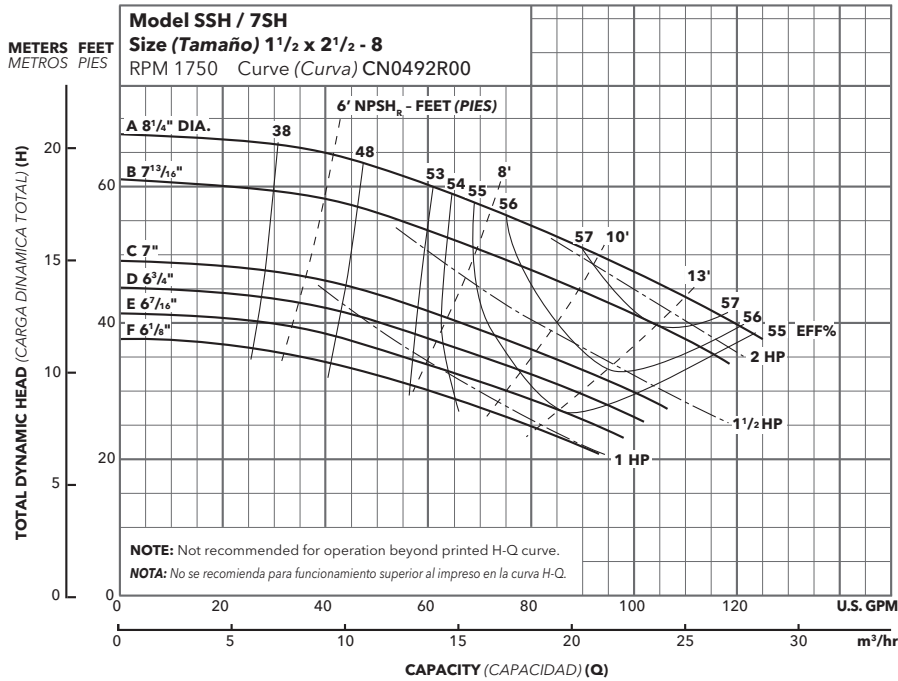
NOTE: Not all combinations of motor, impeller and seal options are available for every pump model. Please check with GWT on non-cataloged numbers.

NOTA: No todas las combinaciones de las opciones de motor, impulsor y sello están disponibles para cada modelo de bombas. Por favor verifique con GWT en los números no catalogados.

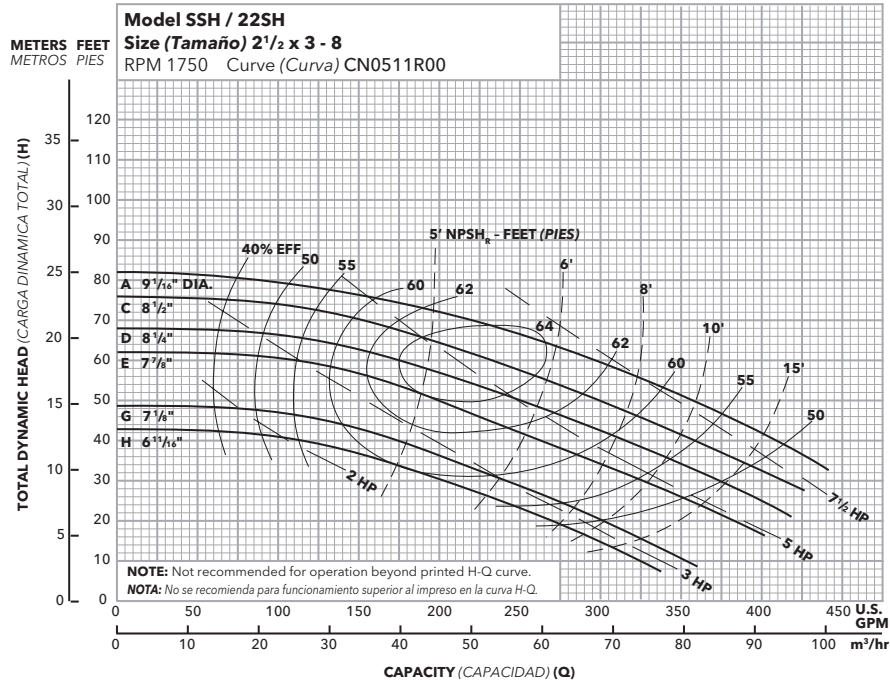
Goulds Water Technology

Commercial Water

PERFORMANCE CURVES - 60 HZ, 1750 RPM CURVAS DE FUNCIONAMIENTO - 60 HZ, 1750 RPM

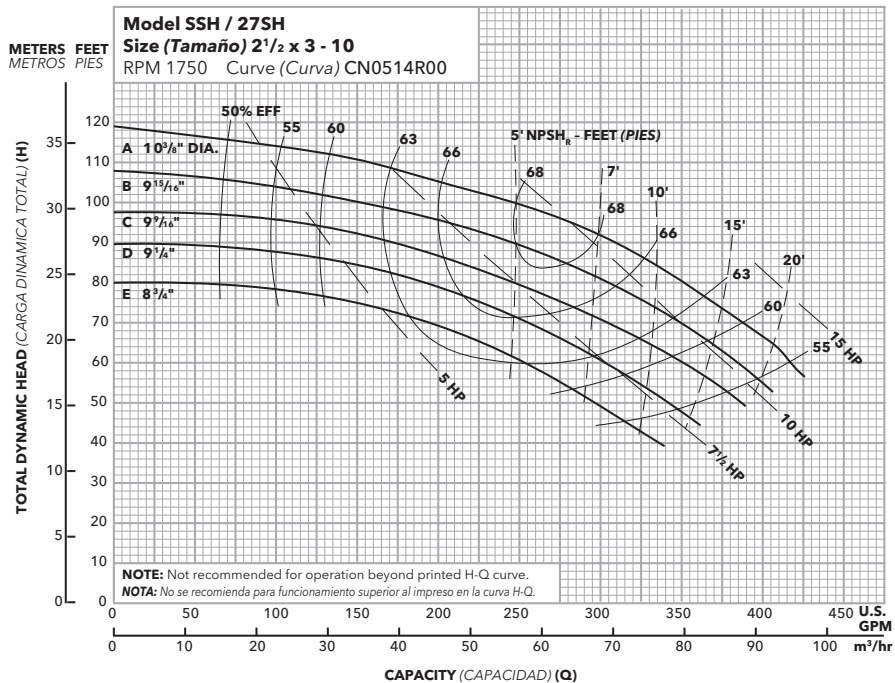


PERFORMANCE CURVES - 60 HZ, 1725 RPM CURVAS DE FUNCIONAMIENTO - 60 HZ, 1725 RPM



Optional Impeller, Impulsor Opcional		
Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diá.	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	9 1/16"	7 1/2
C	8 1/2"	7 1/2
D	8 1/4"	5
E	7 7/8"	5
G	7 7/8"	3
H	6 1/16"	3

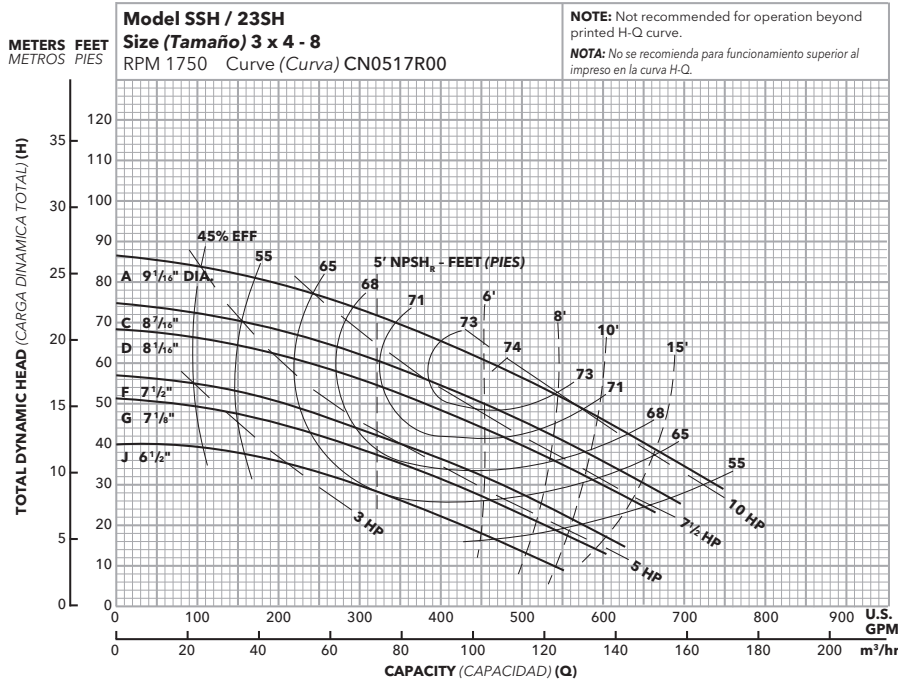
NOTE: Pump will pass a sphere to 1 1/32" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a 1 1/32" diámetro.



Optional Impeller, Impulsor Opcional		
Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diá.	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	10 3/8"	15
B	9 13/16"	10
C	9 7/16"	10
D	9 1/4"	7 1/2
E	8 3/4"	7 1/2

NOTE: Pump will pass a sphere to 1 1/32" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a 1 1/32" diámetro.

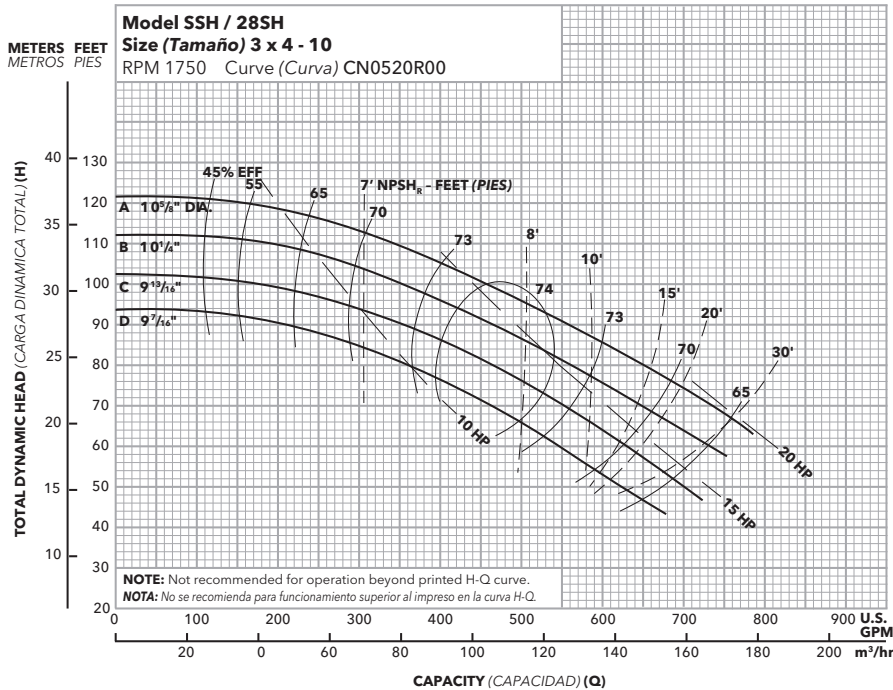
PERFORMANCE CURVES - 60 HZ, 1725 RPM CURVAS DE FUNCIONAMIENTO - 60 HZ, 1725 RPM



Optional Impeller, Impulsor Opcional

Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diámetro	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	9 1/8"	10
C	8 7/16"	7 1/2
D	8 1/16"	7 1/2
F	7 1/2"	5
G	7 1/8"	5
J	6 1/2"	3

NOTE: Pump will pass a sphere to 1/2" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a 1/2" diámetro.



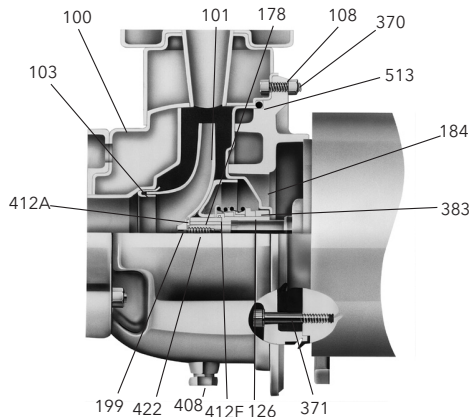
Optional Impeller, Impulsor Opcional

Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diámetro	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	10 5/8"	20
B	10 1/4"	15
C	9 13/16"	15
D	9 7/16"	15

NOTE: Pump will pass a sphere to 3/4" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a 3/4" diámetro.

Commercial Water

SSH CLOSE COUPLED - MATERIALS OF CONSTRUCTION SSH ACOPLE CERRADO - MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



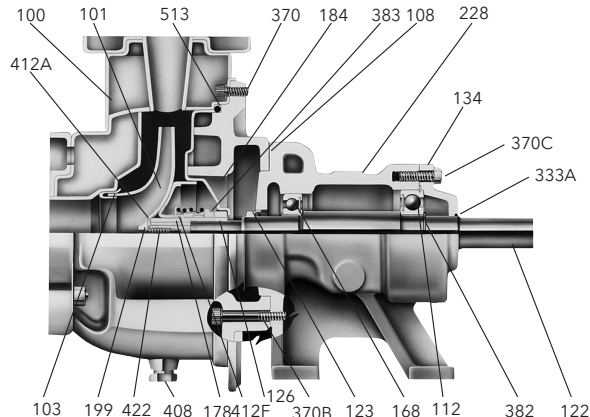
Item No., Parte No.	Description, Descripción	Materials, Materiales
100	Casing, Carcasa	
101	Impeller, Impulsor	
103	Wear ring, Anillo de desgaste	316L SS, 316L acero inox.
184	Seal housing, Alojamiento del sello	
126	Shaft sleeve, Camisa del eje	316 SS, 316 acero inox.
422	Impeller stud, Perno del impulsor	Steel, Acero
178	Impeller key, Llave del impulsor	Carbon steel, Acero al carbono
199	Impeller washer, Arandela del impulsor	316 SS, 316 acero inox.
370	Casing bolt with nut (casing to adapter), Tornillo de la carcasa con tuerca (carcasa para adaptador)	316L SS, 316L acero inoxidable
108	Adapter, Adaptador	Cast iron ASTM A48 CL20, Hierro fundido ASTM A48CL20
371	Hex head cap screw (adapter to motor), Tornillo de cabeza hexagonal (adaptador para motor)	Steel SAE 1200 series, Acero SAE series 1200
412A	O-ring, Impeller, Anillo en O, impulsor	
412F	O-ring, shaft sleeve, Anillo en O, camisa del eje	Viton
513	O-ring, Anillo 'O'	
408	Drain plug - 3/8 BSP, Válvula de drenaje - 3/8 BSP	316L SS, 316 acero inoxidable
383	Mechanical seal, Sello mecánico	See seal chart, Ver tabla del sello

Mechanical Seal, Sello Mecánico

John Crane Type 21 Mechanical Seal, Sello Mecánico John Crane Tipo 21							
Item, Parte	Part No., Pieza Número		Rotary, Rotativo	Stationary, Estacionario	Elastomers, Elastómeros	Metal Parts, Partes Metálicas	Intended Duty, Servicio Propuesto
	180-210 Frames, Armazones	250-360 Frames, Armazones					
383 Options, 383 Opciones	10K19	10K20	Carbon, Carbone	Silicon Carbide, Carburo de silicona	EPR	316 SS, 316 Acero inoxidable	Hot Water, Agua Caliente
	10K27	10K45					Mild Abrasive, Abrasivo Suave
	10K64	10K65	Sil-Carb.	Viton	Severe Duty, Deber Severo		

PAGE 26

SSH FRAME MOUNTED - MATERIALS OF CONSTRUCTION SSH ARMazón MONTADO - MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



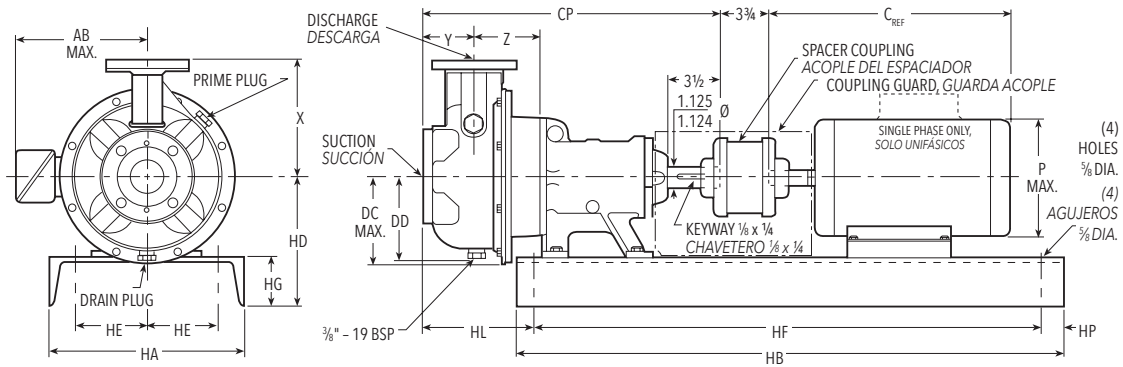
Item No., Parte No.	Description, Descripción	Materials, Descripción
100	Casing, Carcasa	
101	Impeller, Impulsor	
103	Wear ring, Anillo de desgaste	316L SS, 316L acero inox.
184	Seal housing, Alojamiento del sello	
126	Shaft sleeve, Camisa del eje	316 SS, 316 acero inox.
178	Impeller key, Llave del impulsor	Carbon steel, Acero al carbono
422	Impeller Stud, Perno del impulsor	
199	Impeller washer, Arandela del impulsor	316 SS, 316 acero inox.
370	Casing bolt with nut, Tornillo de la carcasa con tuerca	316L SS,
408	Drain plug - 3/8 NPT, Válvula de drenaje - 3/8 NPT	316L acero inox.
513	O-ring, Anillo 'O'	Viton
383	Mechanical seal, Sello mecánico	See seal chart, Ver tabla del sello
108	Adapter, Adaptador	Cast iron ASTM A48CL20,
228	Bearing frame, Armazón de balineras	Hierro fundido ASTM A48CL20
134	Bearing cover, Cubierta de balineras	
122	Pump shaft, Eje de la bomba	Carbon steel, Acero al carbono
168	Ball bearing (inboard), Balineras de bolas (interior)	
112	Ball bearing (outboard), Balineras de bolas (exterior)	
382	Retaining ring, Anillo de sujeción	
370B	Hex head cap screw (adapter to bearing frame), Tornillo de cabeza hexagonal (adaptador para armazón de balineras)	Steel, Acero
370C	Hex head cap screw (bearing frame to cover), Tornillo de cabeza hexagonal (armazón de balineras para cubierta)	
333A	Lip seal, Sello cubierto	BUNA-N
193	*Grease fitting, Accesorio de grasa	Steel, Acero
123	V-ring deflector, Deflector anillo 'V'	BUNA-N

* M-Group only

SSH - ENGINEERING DATA SSH - INFORMACIÓN TÉCNICA

S-GROUP GRUPO-S

Channel Steel Bedplate, Clockwise Rotation Viewed from Drive End;
Fundación de Acero, Rotación en Dirección de las Agujas del Reloj Visto desde el Extremo del Motor



Dimensions and Weights - Determined by Pump, Dimensiones y Pesos - Determinados por la Bomba

Pump, Bomba	Suction*, Sución*	Discharge*, Descarga*	CP	DC Max., DC Máx.	DD	X	Y	Z	Wt. (lbs.), Peso (lib.)	Dimension "HL" Determined by Pump and Bedplate, Dimensión "HL" determinada la bomba y el motor			
										143/145	183/184	213/215	254/256
9SH 1 X 2-6	2	1	16 1/16	5	4 3/8	6 3/8	3 3/8	3 3/8	56	9 1/8	7 3/8	3 3/8	
10SH 1 X 2-8				5 1/2	5 1/8	7 1/8		64					
11SH 1 X 2-10				6 1/8	6 3/8	8 3/8	4	86	10	8 1/2	4 3/4		
4SH 1 1/2 X 2 1/2-6	2 1/2	1 1/2	16 7/16	5	4 3/4	6 3/4	3 3/4		57	9 1/4	7 3/4	4	
7SH 1 1/2 X 2 1/2-8				5 1/8	5 1/8	7 1/8		66					
5SH 2 X 2 1/2-6				5	4 3/4		57						
8SH 2 X 2 1/2-8				5 1/8	4 3/4		68	10	8 1/2	4 3/4			
6SH 2 1/2 X 3-6	3	2 1/2		6	5 1/8	7 1/8		59					

* For use with ANSI Class 150 mating flanges.
* Para usar con bridas que casan ANSI clase 150.

NOTES:

- All pumps shipped in vertical discharge position. May be rotated in 90° increments. Tighten 3/8 - 16 casing bolts to 20 ft./lbs. torque.
- Dimensions in inches.
- Motor dimensions may vary with motor manufacturer.
- Not to be used for construction purposes.

NOTAS:

- Todas las bombas transportadas en posición de descarga vertical. Pueden rotarse en aumentos de 90°. Apretar 3/8 - 16 tornillos de carcasa a 20 pies/libras potencia.
- Las dimensiones en pulgadas.
- Las dimensiones puede que varíen con los fabricantes.
- No para propósitos de construcción.

Available Motor and Bedplate Dimensions and Weights, Pesos y Dimensiones Disponibles de la Fundación y del Motor

Motor Frame, Armazón del Motor	HP @ 3500 RPM, HP a 3500 RPM				HP @ 1750 RPM, HP a 1750 RPM				AB Max., AB Máx.	C _{REF}	P Max., P Máx.	Wt. Max., Peso Máx.	Bedplate Data, Datos de la Fundación										
	Single Phase, Monofásicos		Three Phase, Trifásicos		Single Phase, Monofásicos		Three Phase, Trifásicos						HA	HB	HD**	HE	HF	HG	HP*	Wt. (lbs.), Peso (libras)	Motor Shim	Bearing Frame Shim	
	ODP***	TEFC***	ODP***	TEFC***	ODP***	TEFC***	ODP***	TEFC***															
143T					1	1	1	1	5 1/4	13 3/8	6 1/8	45											
145T	2	2	2-3	2	1 1/2	1 1/2	1 1/2-2	1 1/2-2	5 1/4	14 1/4	6 3/8	53	10	28	8	3 3/4	24	2 3/4	3/4	48		-	
182T	3	3	5	3	2	2	3	3	5 1/8	16 1/8	7 1/8	74											
184T	5	5	7 1/2	5	3 or 5	3	5	3	5 1/8	18 1/8	7 1/8	95											
213T			10	7 1/2					7 3/8	18	9 1/8	116	12	31	8 1/4	4 1/4	29	3	1	65		-	
215T			15	10					7 3/8	19 1/8	9 1/8	136											
254T			20	15					10 1/8	21 1/8	13	266	13	42	10 1/4	5 1/4	38 1/2	4		110		1	
256T			25	20					10 1/8	23 3/8	13	264								110		-	1
284TS			30	25					12 1/8	24 1/8	15	392	15	44	10 1/2	5 3/4	40 1/2	3 1/2	1 3/4	124		-	1 3/4
286TS			40	30					12 1/8	26 1/8	15	432								124		-	1 3/4

Dimensions and weights vary with manufacturers. Dimensions in inches and weights in lbs.

* "HP" Dimensions at motor end only.

** "HD" Dimension for 254T/256T motor frame on 1 x 2-10 only is 11"; A 3/4" motor shim and a 1 3/4" bearing frame shim are required.

*** Premium efficiency where required by Department of Energy regulations.

Dimensiones y pesos varían con los fabricantes. Dimensiones en pulgadas y pesos en libras.

* Dimensiones "HP" sólo en el extremo del motor.

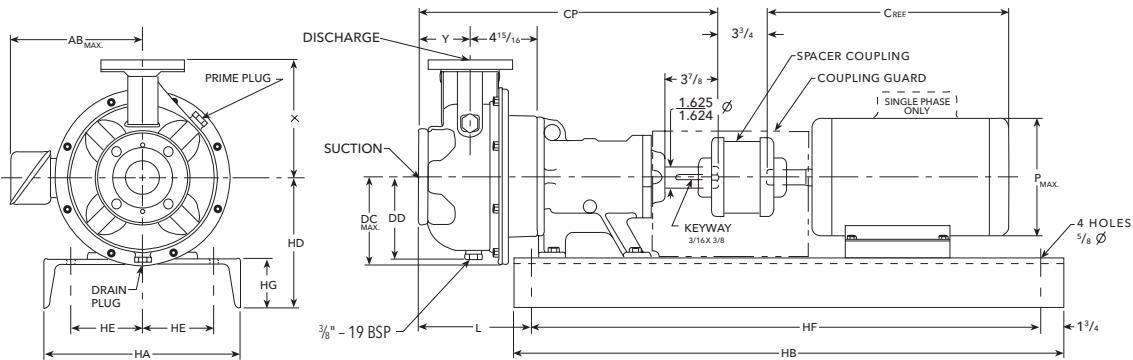
** La dimensión "HD" para el bastidor del motor 254T/256T de 1 x 2 - 10 es sólo 11"; se requieren una cuña del motor de 3/4" y una cuña del bastidor de apoyo de 1 3/4".

*** Eficacia superior donde se requiera por el Ministerio de regulaciones de la Energía.

SSH-F - ENGINEERING DATA SSH-F - INFORMACIÓN TÉCNICA

M-GROUP GRUPO-M

Channel Steel Bedplate, Clockwise Rotation Viewed from Drive End;
Fundación de Acero, Rotación en Dirección de las Agujas del Reloj Visto desde el Extremo del Motor



Dimensions and Weights - Determined by Pump, Dimensiones y Pesos - Determinados por la Bomba

Pump	Pump Size, Tamaño de la Bomba	Suction*, Succión*	Discharge*, Descarga*	CP	DC Max., DC Máx.	DD	L	X	Y	Wt. (lbs.), Peso (libras)
24SH	1½ x 2½-10	2½	1½	23	6⅞	6⅞	10⅞	8⅞	4	125
25SH	2 x 2½-10		2		6⅞	5⅞				125
22SH	2½ x 3-8	3	2½	23	6⅞	6⅞	10⅞	8⅞	4	125
27SH	2½ x 3-10				9⅞	134				
23SH	3 x 4-8	4	3	24	7⅞	7⅞	11⅞	11⅞	5	136
28SH	3 x 4-10				7⅞	7⅞				11⅞

* For use with ANSI class 150 mating flanges.
* Para usar con bridas que casan ANSI clase 150.

NOTE:

1. Pumps will be shipped with top vertical discharge as standard. For other orientations, remove casing bolts, rotate discharge to desired position and tighten ⅜ - 16 bolts to 20 ft./lbs., ½ - 13 bolts to 40 ft./lbs.

2. ALL dimensions in inches.

3. Not for construction purposes.

NOTA:

1. Las bombas se transportarán con la descarga vertical superior como estándar. Para otras orientaciones, retirar los tornillos de la carcasa, rotar la descarga a la posición deseada, y apretar ⅜ - 16 tornillos a 20 pies/libras, ½ - 13 tornillos a 40 pies/libras.

2. TODAS las dimensiones en pulgadas.

3. No para propósitos de construcción.

Available Motor and Bedplate Dimensions and Weights, Pesos y Dimensiones Disponibles de la Fundación y del Motor

Motor Frame, Armazón del Motor	HP @ 3500 RPM		HP @ 1750 RPM - T-Frame Only				AB Max., AB Máx.	C Ref.	P Max., P Máx.	Wt. Max., Peso Máx.	Bedplate Data, Datos de la Fundación						
	Three Phase, Trifásicos		Single Phase, Monofásicos		Three Phase, Trifásicos						HA	HB	HD	HE	HF	HG	Wt. (lbs.), Peso (libras)
	ODP	TEFC	ODP	TEFC	ODP	TEFC											
184T			3 or 5	3	5	5	5⅞	18⅞	7⅞	95	13	42	10¼	5¼	38½	4	111
213T					7½	7½	7⅞	18	116								
215T	15				10	10	9⅞	19⅞	136								
254T	20	15			15	15	9⅞	21⅞	266								
256T	25	20			20	20	9⅞	23⅞	264								
284TS/T	30	25			25	25	12⅞	24⅞	392	15	44	10½	5¾	40½	3½	124	
286TS/T	40	30					12⅞	26⅞	422								
324TS/T	50	40					14⅞	28¾	592	18	48	12	7¼	44½	4	183	
326TS/T	60	50					14⅞	30¼	634								
364TS/T	75	60					15⅞	31⅞	834								
365TS/T	100	75					15⅞	32⅞	1000								
405TS/T		100					18	36⅞	20⅞	1060	22	56	14	7¼	52½	4	214

Dimensions and weights vary with manufacturers. Dimensions in inches and weights in lbs.
Dimensiones y pesos varían con los fabricantes. Dimensiones en pulgadas y pesos en libras.

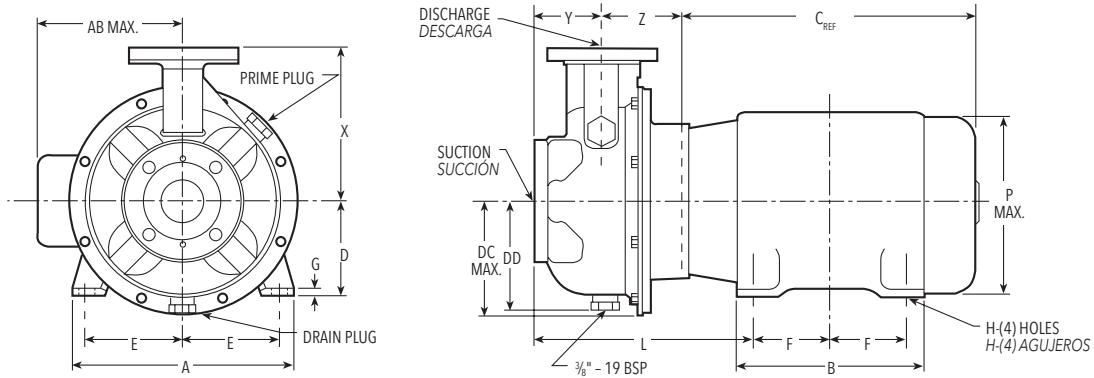
Goulds Water Technology

Commercial Water

SSH CLOSE COUPLED - DIMENSIONS AND WEIGHTS SSH ACOUPLE CERRADO - DIMENSIONES Y PESOS

S-GROUP
GRUPO-S

(All dimensions in inches and weights in lbs. Do not use for construction purposes.)
(Todas las dimensiones en pulgadas y pesos en libras. No usar para propósitos de construcción.)



Pump, Bomba	150 lb. Flange, Brida de 150 lib.		DC Max., DC Máx.	DD	X	Y	Z	DIM. "L" (Motor Frame Size) DIM. "L" (Tamaño del Armazón del Motor)				Wt. (lbs.), Pesos (libras)
	Suct.* Succ.*	Disch.* Desc.*						143/145	182/184	213/215	254/256	
9SH 1x2-6	2	1	5	4 ⁵ / ₈	6 ³ / ₈	3 ³ / ₈	3 ³ / ₈	9 ⁵ / ₈	10 ¹ / ₂	11 ¹ / ₂	-	36.5
10SH 1x2-8			5 ⁵ / ₈	5 ¹ / ₄	7 ¹ / ₈			10 ³ / ₄	11 ³ / ₈	12 ³ / ₈	12 ³ / ₈	49.2
11SH 1x2-10	2 ¹ / ₂	1 ¹ / ₂	6 ⁷ / ₈	6 ¹ / ₄	8 ⁷ / ₈	4	4	10 ³ / ₄	11 ³ / ₈	12 ³ / ₈	12 ³ / ₈	66
4SH 1 ¹ / ₂ x2 ¹ / ₂ -6			5	4 ⁵ / ₈	6 ³ / ₈	3 ¹ / ₄		9 ³ / ₄	10 ³ / ₈	11 ³ / ₈	-	37.7
7SH 1 ¹ / ₂ x2 ¹ / ₂ -8		5 ⁵ / ₈	5 ¹ / ₄	7 ¹ / ₈	4	3 ³ / ₈	10 ¹ / ₂	11 ¹ / ₈	12 ¹ / ₈	12 ¹ / ₈	48.2	
5SH 2x2 ¹ / ₂ -6		5	4 ⁵ / ₈				37.9					
8SH 2x2 ¹ / ₂ -8	2	6	5 ³ / ₄	7 ¹ / ₈	3 ³ / ₈	10 ³ / ₈	11 ³ / ₈	12 ³ / ₈	12 ³ / ₈	54.6		
6SH 2 ¹ / ₂ x3-6	3	2 ¹ / ₂	6	5 ³ / ₄	7 ¹ / ₈	3 ³ / ₈	10 ³ / ₈	11 ³ / ₈	12 ³ / ₈	12 ³ / ₈	61.8	

- NOTE:**
- Pumps shipped in vertical discharge as standard. For other orientations, remove casing bolts, rotate discharge to desired position, and tighten ³/₈ - 16 bolts to 20 ft./lbs., ¹/₁₆ - 14 bolts to 20 ft./lbs.
 - ALL dimensions in inches.
 - Motor dimensions may vary with motor manufacturer.
 - Not for construction purposes.

- NOTA:**
- Las bombas se transportarán en descarga vertical como estándar. Para otras orientaciones, retirar los tornillos de la carcasa, rotar la descarga a la posición deseada, y apretar ³/₈ - 16 tornillos a 20 pies/libras, ¹/₁₆ - 14 tornillos a 20 pies/libras.
 - TODAS las dimensiones en pulgadas.
 - Las dimensiones puede que varien con los fabricantes.
 - No para propósitos de construcción.

* For use with ANSI class 150 mating flanges.
* Para usar con bridas que casan ANSI clase 150.

Dimensions Determined by JM Motor Frame, Dimensiones Determinadas por el Armazón del Motor JM

JM Frame, JM Armazón	A	AB Max.	B	D	E	F	G	C Max.	H Di., H Diám.	P Max., P Máx.	Motor Wt. (lbs.) Peso Motor (lib.)
143JM	6 ¹ / ₂	5 ³ / ₄	6	3 ¹ / ₂	2 ³ / ₄	2	1 ¹ / ₈	11 ³ / ₁₆	11 ¹ / ₃₂	7 ¹ / ₁₆	50
145JM						2 ¹ / ₂	1 ¹ / ₈				54
182JM						2 ¹ / ₄	3 ¹ / ₁₆	13 ¹ / ₅		8 ⁵ / ₈	76
184JM	8 ⁵ / ₈	6 ⁷ / ₈	6 ¹ / ₂	4 ¹ / ₂	3 ³ / ₄	2 ³ / ₄	3 ¹ / ₁₆	15 ¹⁴ / ₂₅	13 ¹ / ₃₂		101
213JM	9 ¹ / ₂	8 ⁷ / ₅	8	5 ¹ / ₄	4 ¹ / ₄	3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₁₆			10 ⁷ / ₂₅	134
215JM						3 ¹ / ₂	3 ¹ / ₁₆				169
254TCZ	11 ¹ / ₂	10 ⁷ / ₅	11 ¹ / ₂	6 ¹ / ₄	5	4 ¹ / ₈	7 ¹ / ₈	20 ¹ / ₂₀	17 ¹ / ₃₂	13 ¹³ / ₅₀	276
256TCZ						5					298

Motor Frame Selections, Selecciones del Armazón del Motor

Motor Frame, Armazón del Motor	Motor Horsepower, Potencia del Motor							
	3500 RPM, 3500 RPM				1750 RPM, 1750 RPM			
	10, Monofásicos		30, Trifásicos		10, Monofásicos		30, Trifásicos	
ODP*	TEFC*	ODP*	TEFC*	ODP*	TEFC*	ODP*	TEFC*	
143JM	-	-	-	-	-	-	1	1
145JM	2	2	2-3	2	1-1 ¹ / ₂	1-1 ¹ / ₂	1 ¹ / ₂ -2	1 ¹ / ₂ -2
182JM	3	3	5	3	2	2-3	3	3
184JM	5	5	7 ¹ / ₂	5	3	-	5	5
213JM	7 ¹ / ₂	-	10	7 ¹ / ₂	5	-	7 ¹ / ₂	7 ¹ / ₂
215JM	10	-	15	10-15	-	-	-	-
254TCZ	-	-	20	15**	-	-	-	-
256TCZ	-	-	25	20	-	-	-	-

* Premium efficiency where required by Department of Energy regulations.
* Eficacia superior donde se requiera por el Ministerio de regulaciones de la Energía.

** Frame size for 208-230/460 Voltage TEPE motor.
** Talla de capitulo para 208-230/460 el motor del voltaje TEPE.

PAGE 29

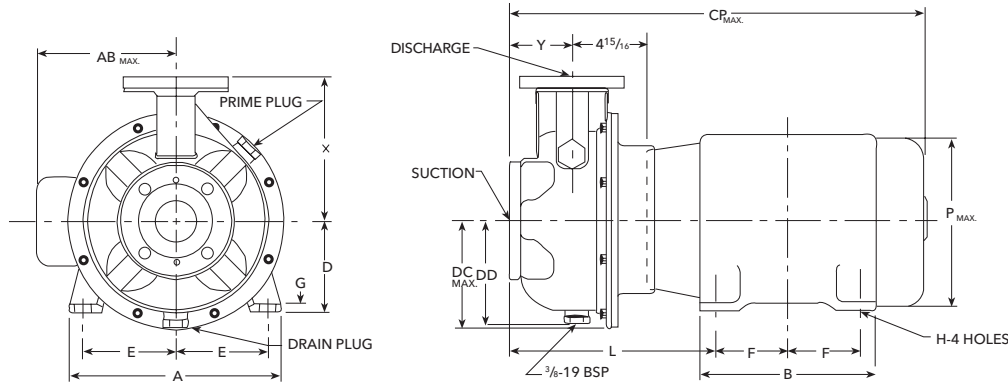
Goolds Water Technology

Commercial Water

SSH CLOSE COUPLED - DIMENSIONS AND WEIGHTS SSH ACOUPLE CERRADO - DIMENSIONES Y PESOS

M-GROUP GRUPO-M

(All dimensions in inches and weights in lbs. Do not use for construction purposes.) (Todas las dimensiones en pulgadas y pesos en libras. No usar para propósitos de construcción.)



Pump	Pump Size, Tamaño de la Bomba	Suction*, Succión*	Discharge*, Descarga*	CP Max., CP Máx.	DC Max., DC Máx.	DD	X	Y	Wt. (lbs.), Peso (libras)	Motor Frame Size, Tamaño del Armazón del Motor					
										140	180	210	250	280	320
24SH	1½ x 2½-10	2½	1½	34⅜	6⅞	6¼	8⅓	4	92.1	11⅞	12½	13½	13⅞	14⅞	15
25SH	2 X 2½-10		2	36¾	6⅞	6⅞			85.9						
22SH	2½ X 3-8	3	2½		36¾	6⅞	6⅞	9⅓	5	95.3	-	-	-	-	-
27SH	2½ X 3-10			108.3		12⅞	13½			-	-	-	-		
23SH	3 X 4-8	4	3	37¾	7⅞	7⅞	11⅞	5	113.2	-	-	14½	14⅞	15⅞	16
28SH	3 X 4-10				-	-			-	-	-	-	-		

* For use with ANSI class 150 mating flanges.
* Para usar con bridas que casan ANSI clase 150.

- NOTES:**
- Pumps shipped in vertical discharge as standard. For other orientations, remove casing bolts, rotate discharge to desired position, and tighten ⅜ - 16 bolts to 20 ft./lbs., ⅞ - 14 bolts to 20 ft./lbs., ½ - 13 bolts to 40 ft./lbs.
 - Motor dimensions may vary with motor manufacturer.
 - Not for construction purposes.

- NOTAS:**
- Las bombas se transportarán en descarga vertical como estándar. Para otras orientaciones, retirar los tornillos de la carcasa, rotar la descarga a la posición deseada, y apretar ⅜ - 16 tornillos a 20 pies/libras, ⅞ - 14 tornillos a 20 pies/libras, ½ - 13 tornillos a 40 pies/libras.
 - TODAS las dimensiones en pulgadas.
 - No para propósitos de construcción.

Dimensions Determined by JM Motor Frame, Dimensiones Determinadas por el Armazón del Motor JM

JM Frame, JM Armazón	A	AB Max.	B	D	E	F	G	H Dia., H Diám.	P Max., P Máx.
145JM	6½	5¾	6	3½	2¾	2½	⅞	11/32	7⅞
182JM	8⅞	6⅞	6½	4½	3¾	2¼	3/16	9/20	8⅞
184JM						2¾			
213JM	9½	8⅓	8	5¼	4¼	3½	3/16	17/32	10⅓
215JM						3½			
254JM	11½	10⅓	11½	6¼	5	4⅞	7/8	17/32	13¼
256JM						5			
284JM	12¾	16⅓	12⅓	7	5½	4¾	1⅓	17/32	15⅞
286JM						5½			
324JM	14½	14⅓	14	8	6¼	5¼	1/16	49/100	17⅞
326JM						6			
364TCZ	17	18⅓	15	9	7	5⅞	7/8		19½

364TCZ and 365TCZ frames are built with 326JM shaft extensions. Dimensions may vary with manufacturer.
Los armazones 364TCZ y 365TCZ se construyen con extensiones del eje 326JM. Las dimensiones puede que varíen con los fabricantes.

PAGE 30

Motor Frame Selections, Selecciones del Armazón del Motor

Frame, Armazón	Motor Horsepower, Potencia del Motor						Wt. Max., Peso Máx.
	3500 RPM		1750 RPM				
	3 PH, Trifásicos	1 PH, Monofásicos	3 PH, Trifásicos				
	ODP*	TEFC*	ODP*	TEFC*	ODP*	TEFC*	
145JM	-	-	-	-	2	2	57
182JM	-	-	2	2, 3	3	3	77
184JM	-	-	3	-	5	5	97
213JM	10	-	5	-	7½	7½	141
215JM	15	10	-	-	10	10	155
254JM	20	15	-	-	15	15	265
256JM	25	20	-	-	20	20	320
284JM	30	25	-	-	25	25	419
286JM	40	30	-	-	-	-	422
324JM	50	40	-	-	-	-	562
326JM	60	50	-	-	-	-	625
364TCZ	75	60	-	-	-	-	775
365TCZ	100	75, 100	-	-	-	-	905

364TCZ and 365TCZ frames are built with 326JM shaft extensions. Los armazones 364TCZ y 365TCZ se construyen con extensiones del eje 326JM.
* Premium efficiency where required by Department of Energy regulations.
* Eficacia superior donde se requiera por el Ministerio de regulaciones de la Energía.

E.9. Especificaciones técnicas para la bomba de trasiego de agua semitratada para el invernadero

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.

Goulds Water Technology

Commercial Water

A FULL RANGE OF PRODUCT FEATURES UNA GAMA TOTAL DE CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Superior Materials of Construction: Complete AISI 316L stainless steel liquid handling components and mounting bracket for corrosion resistance, quality appearance, and improved strength and ductility.

High Efficiency Impeller: Enclosed impeller with unique floating seal ring design maintains maximum efficiencies over the life of the pump without adjustment.

Casing and Adapter Features: Stainless steel construction with NPT threaded, centerline connections, easily accessible vent, prime and drain connections with stainless steel plugs. Optional seal face vent/flush available.

Mechanical Seal: Standard John Crane Type 21 with carbon versus silicon-carbide faces, Viton elastomers, and 316 stainless metal parts. Optional high temperature and chemical duty seals available.

Motors: NEMA standard open drip-proof, totally enclosed fan cooled or explosion proof enclosures. Rugged ball bearing design for continuous duty under all operating conditions.

NSF 61 Certification: Pumps assembled at the factory are certified to the NSF/ANSI 61 Drinking Water System Components Standard.

* Premium efficiency where required by Department of Energy regulations.

The various versions of the NPE are identified by a product code number on the pump label. This number is also the catalog number for the pump. The meaning of each digit in the product code number is shown at left.

PAGE 2

Materiales Superiores de Construcción: Componentes completos para manejo de líquidos en acero inoxidable AISI 316L y consola para el montaje para resistencia a la corrosión, apariencia de calidad, y fuerza y ductilidad mejoradas.

Impulsor de Eficiencia Superior: El impulsor encerrado con un diseño único de anillo del sello flotante, mantiene sin ajustes, la eficiencia máxima sobre la vida de la bomba.

Características de la Carcasa y del Adaptador: Construcción en acero inoxidable con NPT roscado, conexiones centrales, válvulas de fácil acceso, conexiones de cebado y drenaje con enchufes de acero inoxidable. Cara del sello válvula/chorro opcional disponible.

Sello Mecánico: Estándar John Crane Tipo 21 con carbón en contraste con caras de silicón-carbido, elastómeros de Viton, y partes metálicas de acero inoxidable 316. Sellos de alta temperatura y productos químicos están disponibles.

Motores: Estándar NEMA a prueba de goteo, ventilador totalmente encerrado o recintos a prueba de explosión. Diseño robusto de balineras de bolas para trabajo continuo en todas las condiciones de funcionamiento.

Certificación del NSF 61: Las bombas ensambladas en la fábrica se certifican a los componentes de consumición del circuito de agua de NSF/ANSI 61 estándar.

* Eficacia superior donde se requiera por el Ministerio de regulaciones de la Energía.

Las diferentes versiones de la NPE se identifican con un número de código del producto en la etiqueta de la bomba. Este número es también el número del catálogo para la bomba. El significado de cada dígito en el número de código del producto se muestra a la izquierda.

NPE PRODUCT LINE NUMBERING SYSTEM LÍNEA DE PRODUCTO NPE SISTEMA DE NUMERACIÓN

Example Product Code, Ejemplo Código del Producto

1 ST 2 C 1 A 4 F R

Casing Rotation, Optional
R = 3 o'clock L = 9 o'clock
B = 6 o'clock

NOTE: Rotation when viewed from suction end of pump. Standard discharge position is 12 o'clock.

Seal Vent/Flush Option, Opción de Sello Válvula/Chorro Seal Vent

Mechanical Seal and O-ring
4 = Pre-engineered standard
For optional mechanical seal modify catalog order no. with seal code listed below.

Rotación de la cubierta, opcional
R = 3 hora L = 9 hora
B = 6 hora

NOTA: Rotación cuando está visto del extremo de la succión de la bomba. La posición estándar de la descarga es las 12.

Sello Mecánico y Anillo 'O'
4 = Estándar aprobado
Para sello mecánico opcional modificar el número de orden del catálogo con el código del sello anotado abajo.

John Crane Type 21 Mechanical Seal ("%" seal), Sello Mecánico John Crane Tipo 21 (sello de "%")					
Seal Code, Código del Sello	Rotary, Rotativo	Stationary, Estacionario	Elastomers, Elastómeros	Metal Parts, Partes Metálicas	Part No., Pieza Número
2	Carbon, Carbón	Silicon Carbide, Carburo de silicón	EPR	316 SS, 316 Acero inoxidable	10K18
4	Carbon, Carbón		Viton		10K55
5	Carbon, Carbón		EPR		10K81
6	Silicon Carbide, Carburo de silicón	Silicon Carbide, Carburo de silicón	Viton	316 SS, 316 Acero inoxidable	10K62
8*	Silicon Carbide, Carburo de silicón		EPR		10K167
9	Carbon, Carbón	Ceramic, Cerámica	Teflon		10K52

* This is a JC Type 2100 unitized seal ideal for glycol applications.

Impeller Option ... No Adder Required
For optional impeller diameters modify catalog order no. with impeller code listed. Select optional impeller diameter from pump performance curve.

Código del Impulsor Opcional
Para impulsores con diámetros opcionales modificar el número de orden del catálogo con el código del impulsor anotado. Escoger el impulsor con diámetro opcional de la curva de funcionamiento de la bomba.

Impeller Code, Código del impulsor	Pump Size, Tamaño de la bomba		
	1 x 1 1/2 - 6 Diameter	1 1/2 x 1 1/2 - 6 Diameter	1 1/2 x 2 - 6 Diameter
K	-	6 1/2	-
G	-	5 1/2	5 1/2
H	-	5 1/2	5
A	6 1/2	5 1/2	4 1/2
B	5 1/2	5 1/2	4 1/2
C	5 1/2	4 1/2	4 1/2
D	4 1/2	4 1/2	4 1/2
E	4 1/2	4 1/2	3 1/2
F	4 1/2	3 1/2	-

Driver, Conductor

1 = 1 PH, ODP 7 = 3 PH, XP
2 = 3 PH, ODP 8 = 575 V, XP
3 = 575 V, ODP 9 = 3 PH, TE PE
4 = 1 PH, TEFC 0 = 1 PH, XP
5 = 3 PH, TEFC A = 3 PH, ODP PE
6 = 575 V, TEFC B = 3 PH, 575 ODP PE

C = 3 PH, 575 TE PE
D = 3 PH, XP PE
E = 3 PH, WD PE
F = 1 PH, ODP PE
G = 1 PH, TEFC PE
H = 1 PH, XP PE

For frame mounted version, substitute the letters "FRM" in these positions.

HP Rating, HP Potencia

C = 1/2 HP E = 1 HP G = 2 HP J = 5 HP
D = 3/4 HP F = 1 1/2 HP H = 3 HP

Driver: Hertz/Pole/RPM, Conductor: Hercios/Polo/RPM

1 = 60 Hz, 2 pole, 3500 RPM
2 = 60 Hz, 4 pole, 1750 RPM
3 = 60 Hz, 6 pole, 1150 RPM
4 = 50 Hz, 2 pole, 2900 RPM
5 = 50 Hz, 4 pole, 1450 RPM

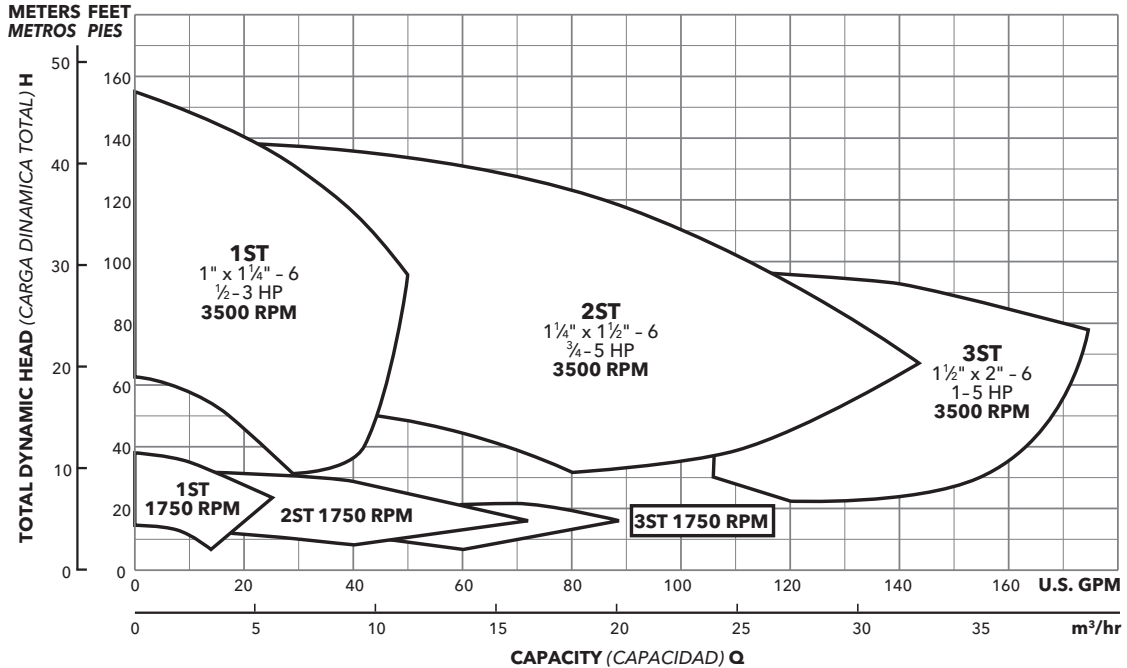
Material
ST = Stainless steel, Acero inoxidable

Pump Size, Tamaño de la Bomba

1 = 1 x 1 1/2 - 6 2 = 1 1/2 x 1 1/2 - 6 3 = 1 1/2 x 2 - 6

Para la versión con el armazón montado, sustituya las letras "FRM" en estas posiciones.

PERFORMANCE COVERAGE (60 HZ) ALCANCE DE FUNCIONAMIENTO (60 HZ)



NOTES:

Not recommended for operation beyond printed H-Q curve.

For critical application conditions consult factory.

Not all combinations of motor, impeller and seal options are available for every pump model. Please check with G&L on non-cataloged numbers.

All standard 3500 RPM ODP* and TEFC* motors supplied by Goulds Water Technology, have minimum of 1.15 service factor. Standard catalog units may utilize available service factor. Any motors supplied other than Goulds Water Technology check available service factor.

* Premium efficiency where required by Department of Energy regulations.

NOTAS:

No se recomienda para funcionamiento superior al impreso en la curva H-Q.

Para condiciones de aplicaciones críticas consultar con la fábrica.

No todas las combinaciones de las opciones de motor, impulsor y sello están disponibles para cada modelo de bombas. Por favor verifique con G&L en los números no catalogados.

Todos los motores estándar de 3500 RPM, ODP* (abiertos resguardados) y TEFC* (totalmente encerrados con enfriamiento forzado) provistos por Goulds Water Technology tienen un factor mínimo de servicio de 1,15. Las unidades estándar de catálogo pueden utilizar el factor de servicio disponible. Verificar el factor de servicio disponible de todo motor no provisto por Goulds Water Technology.

* Eficacia superior donde se requiera por el Ministerio de regulaciones de la Energía.

Goulds Water Technology

Commercial Water

SSH S/M-GROUP NUMBERING SYSTEM SISTEMA DE NUMERACIÓN DEL GRUPO-S/M SSH

Example Product Code, Ejemplo Código del Producto

24 SH 1 Q 1 2 A 0 R

Casing Rotation, Optional

R = 3 o'clock B = 6 o'clock L = 9 o'clock

NOTE: Rotation when viewed from suction end of pump. Standard discharge position is 12 o'clock.

Mechanical Seals and O-Ring

0 = Pre-engineered standard
For optional mechanical seal modify catalog order no. with seal code listed below.

Rotación de la cubierta, opcional

R = 3 hora B = 6 hora L = 9 hora

NOTA: Rotación cuando está visto del extremo de la succión de la bomba. La posición estándar de la descarga es las 12.

Sello Mecánico y Anillo 'O'

0 = Estándar aprobado. Para sello mecánico opcional modificar el número de orden del catálogo con el código del sello anotado abajo.

John Crane Type 21 Mechanical Seal, Sello Mecánico John Crane Tipo 21						
Seal Code, Código del Sello	Rotary, Rotativo	Stationary, Estacionario	Elastomers, Elastómeros	Metal Parts, Partes Metálicas	Part No., Pieza Número	
					180-210 Frames, Armazones	250-360 Frames, Armazones
0	Carbon	Sil-Carb	Viton	316 SS, 316 Acero inoxidable	10K27	10K45
2			EPR		10K19	10K20
5	Sil-Carb	Sil-Carb	Viton		10K64	10K65

Impeller Option Code - For optional impeller diameters modify catalog order no. with impeller code listed below. Select optional impeller diameter from pump performance curve.

NOTE: For trimmed impellers, use T for impeller code.

Código del Impulsor Opcional - Para diámetros del impulsor opcional modificar el número de orden del catálogo con el código del impulsor anotado abajo. Seleccionar el diámetro del impulsor opcional de la curva de funcionamiento de la bomba.

NOTA: Para los impulsores cortados, utilice T para el código del impulsor.

Impeller Code, Código del impulsor	Pump Size, Tamaño de la Bomba													
	9SH 1 x 2-6 Dia.	10SH 1 x 2-8 Dia.	11SH 1 x 2-10 Dia.	4SH 1½ x 2½-6 Dia.	7SH 1½ x 2½-8 Dia.	5SH 2 x 2½-6 Dia.	8SH 2 x 2½-8 Dia.	*6SH 2½ x 3-6 Dia.	*22SH 2½ x 3-8 Dia.	*23SH 3 x 4-8 Dia.	24SH 1½ x 2½-10 Dia.	25SH 2 x 2½-10 Dia.	*27SH 2½ x 3-10 Dia.	*28SH 3 x 4-10 Dia.
A	6⅝	8 ²⁷ / ₆₄	10 ³² / ₃₂	6¾	8¼	6⅝	8¼	7 ⁷ / ₈	9 ¹ / ₈	9 ¹ / ₈	9 ¹ / ₈	9 ¹ / ₈	10 ³ / ₈	10 ³ / ₈
B	6 ¹ / ₈	8 ¹ / ₈	9 ¹⁷ / ₃₂	6¾	7 ¹ / ₁₆	6 ¹ / ₈	7¾	7 ⁷ / ₈	8¾	8 ¹ / ₁₆	9 ¹ / ₂	9 ¹ / ₂	9 ¹ / ₁₆	10 ¹ / ₈
C	5 ¹¹ / ₁₆	7 ¹ / ₁₆	9 ¹ / ₈	6 ¹ / ₁₆	7	5 ¹ / ₁₆	7 ¹ / ₂	6 ³ / ₁₆	8 ¹ / ₂	8 ¹ / ₁₆	9 ¹ / ₁₆	9 ¹ / ₁₆	9 ¹ / ₁₆	9 ¹³ / ₁₆
D	5 ³ / ₈	7 ³ / ₈	8 ³ / ₄	5 ⁵ / ₈	6¾	5 ¹ / ₂	7 ¹ / ₁₆	6 ¹¹ / ₁₆	8 ¹ / ₄	8 ¹ / ₁₆	8 ⁷ / ₈	8 ¹³ / ₁₆	9 ¹ / ₄	9 ¹ / ₁₆
E		7 ¹ / ₈		5 ¹ / ₁₆	6 ¹ / ₁₆	5 ¹ / ₈	6 ¹ / ₈	6 ³ / ₈	7 ¹ / ₈	7 ¹ / ₁₆	8 ¹ / ₁₆	8 ³ / ₁₆	8 ³ / ₄	9 ¹ / ₁₆
F				4 ¹ / ₁₆	6 ¹ / ₈	4 ³ / ₁₆	6 ³ / ₁₆	6 ¹ / ₁₆	7 ¹ / ₂	7 ¹ / ₂	8 ¹ / ₄	7 ¹ / ₁₆		8 ¹ / ₁₆
G				4 ³ / ₈		4 ⁷ / ₁₆		5 ⁵ / ₈	7 ³ / ₈	7 ¹ / ₈		7 ¹ / ₁₆		
H				4 ³ / ₁₆					6 ¹ / ₁₆	6 ¹ / ₈				
J									6 ¹ / ₂	6 ¹ / ₂				
K										6				
L										5 ¹ / ₂				

NOTE: Impellers will be trimmed in 1/16" increments only. If you are ordering a trim within 1/16" of the standard impeller, you will receive the standard impeller trim.

* Indicates impellers that can be trimmed

NOTA: Los impulsores serán cortados en 1/16" incrementos solamente. Si usted está pidiendo un ajuste dentro de 1/16" del impulsor estándar, usted recibirá el ajuste estándar del impulsor.

* Indica los impulsores que pueden ser cortados

Motor Enclosure, Caja del motor

1 = ODP
2 = TEFC
3 = Explosion Proof, Prueba de explosiones
4 = 3PH, ODP PE
5 = 3PH, TE PE
6 = 3PH, XP PE
7 = Wash down, Lavado
8 = 3PH, WD PE
9 = 1PH, ODP PE
A = 1PH, TE PE

Motor Voltage, Voltaje del motor

1 = 115/208-230
2 = 115/230
3 = 230
4 = 230/460
5 = 208-230/460
6 = 460
7 = 575
X = Non Std.

HP Rating, Potencia nominal, HP

C = ½ F = 1.5 J = 5
D = .75 G = 2 K = 7.5
E = 1 H = 3 L = 10
M = 15 Q = 30 T = 60
N = 20 R = 40 U = 75
P = 25 S = 50 V = 100

Driver: Hertz/Pole/RPM, Fuerza motriz: Hertz/Polos/RPM

1 = 60/3500/1
2 = 60/3500/3
3 = 60/1750/1
4 = 60/1750/3
5 = 50/2900/1
6 = 50/2900/3

Material

SH = 316L Stainless steel, Acero inoxidable

Pump Size, Tamaño de la Bomba

9 = 1 x 2 - 6
10 = 1 x 2 - 8
11 = 1 x 2 - 10
23 = 3 x 4 - 8
27 = 2½ x 3 - 10
4 = 1½ x 2½ - 6
7 = 1½ x 2½ - 8
5 = 2 x 2½ - 6
24 = 1½ x 2½ - 10
28 = 3 x 4 - 10
8 = 2 x 2½ - 8
6 = 2½ x 3 - 6
22 = 2½ x 3 - 8
25 = 2 x 2½ - 10

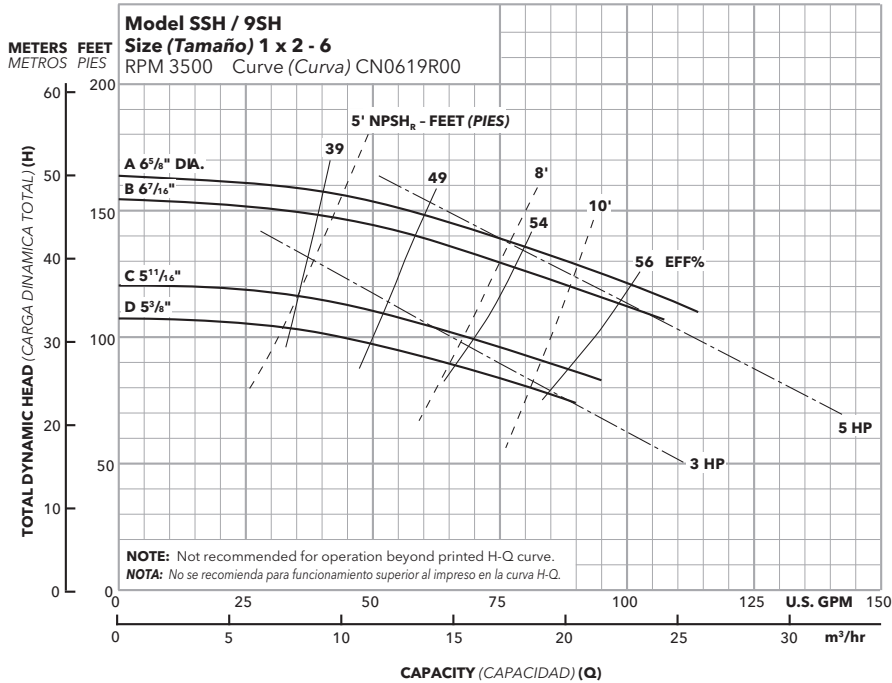
Frame Options, Opciones de mando

Substitute, Substituto	Description, Descripción
FRM2	7/8" Imp. Bore, Diámetro interior del impulsor 7/8"
FRM3	1¼" Imp. Bore, Diámetro interior del impulsor 1¼"

NOTE: Not all combinations of motor, impeller and seal options are available for every pump model. Please check with GWT on non-cataloged numbers.

NOTA: No todas las combinaciones de las opciones de motor, impulsor y sello están disponibles para cada modelo de bombas. Por favor verifique con GWT en los números no catalogados.

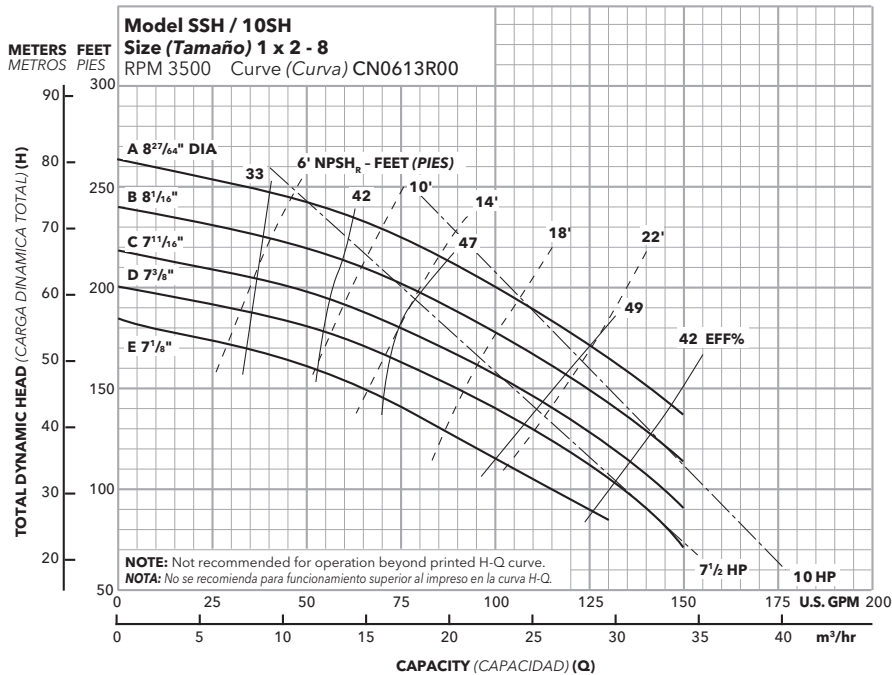
PERFORMANCE CURVES - 60 HZ, 3500 RPM CURVAS DE FUNCIONAMIENTO - 60 HZ, 3500 RPM



Optional Impeller, Impulsor Opcional

Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diá.	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	6 ⁵ / ₈ "	5
B	6 ⁷ / ₈ "	5
C	5 ¹¹ / ₁₆ "	3
D	5 ³ / ₈ "	3

NOTE: Pump will pass a sphere to ¹/₈" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a ¹/₈" diámetro.

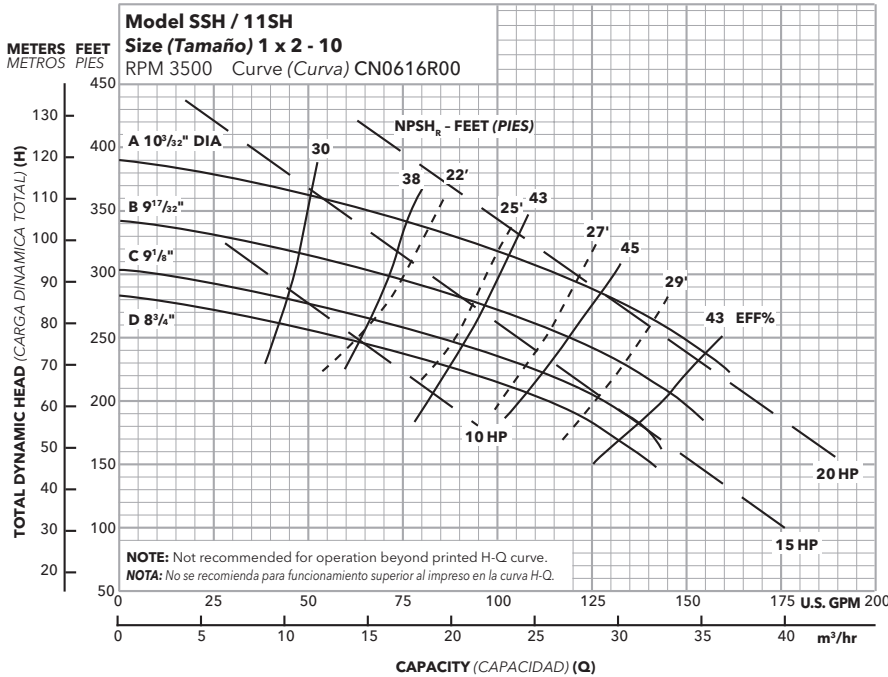


Optional Impeller, Impulsor Opcional

Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diá.	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	8 ²⁷ / ₆₄ "	10
B	8 ¹ / ₁₆ "	10
C	7 ¹¹ / ₁₆ "	7 ¹ / ₂
D	7 ³ / ₈ "	7 ¹ / ₂
E	7 ¹ / ₈ "	7 ¹ / ₂

NOTE: Pump will pass a sphere to ¹/₈" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a ¹/₈" diámetro.

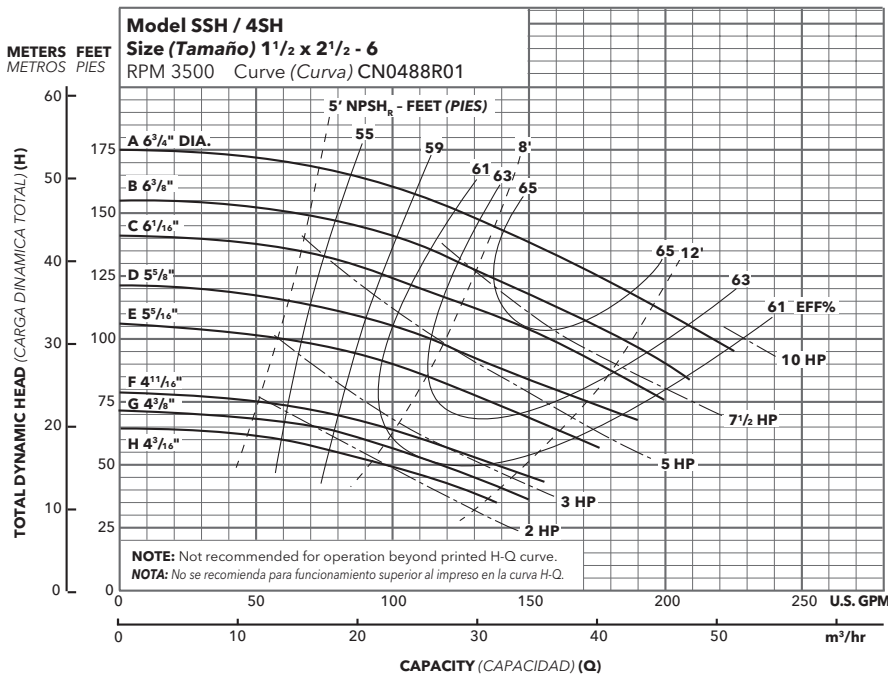
PERFORMANCE CURVES - 60 HZ, 3500 RPM CURVAS DE FUNCIONAMIENTO - 60 HZ, 3500 RPM



Optional Impeller, Impulsor Opcional

Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diá.	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	10 ³ / ₃₂ "	20
B	9 ¹⁷ / ₃₂ "	15
C	9 ¹ / ₈ "	15
D	8 ³ / ₄ "	15

NOTE: Pump will pass a sphere to ¹/₈" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a ¹/₈" diámetro.

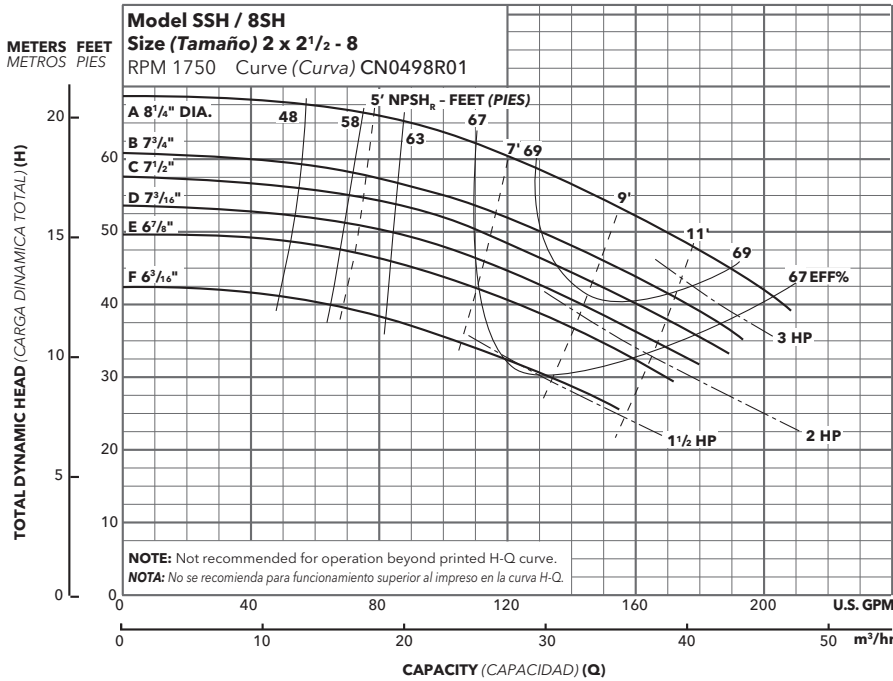


Optional Impeller, Impulsor Opcional

Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diá.	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	6 ³ / ₄ "	10
B	6 ³ / ₈ "	7 ¹ / ₂
C	6 ¹ / ₆ "	7 ¹ / ₂
D	5 ⁵ / ₈ "	5
E	5 ³ / ₆ "	5
F	4 ¹ / ₁₆ "	3
G	4 ³ / ₈ "	3
H	4 ³ / ₁₆ "	2

NOTE: Pump will pass a sphere to ³/₁₆" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a ³/₁₆" diámetro.

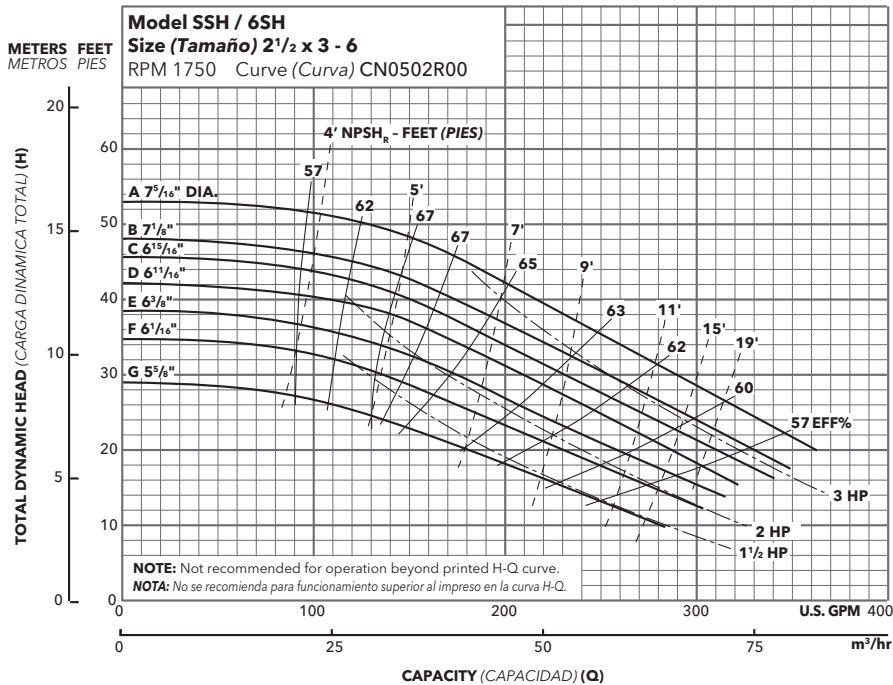
PERFORMANCE CURVES - 60 HZ, 1750 RPM CURVAS DE FUNCIONAMIENTO - 60 HZ, 1750 RPM



Optional Impeller, Impulsor Opcional

Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diá.	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	8 1/4"	3
B	7 3/4"	3
C	7 1/2"	2
D	7 1/8"	2
E	6 7/8"	1 1/2
F	6 3/8"	1 1/2

NOTE: Pump will pass a sphere to 7/32" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a 7/32" diámetro.

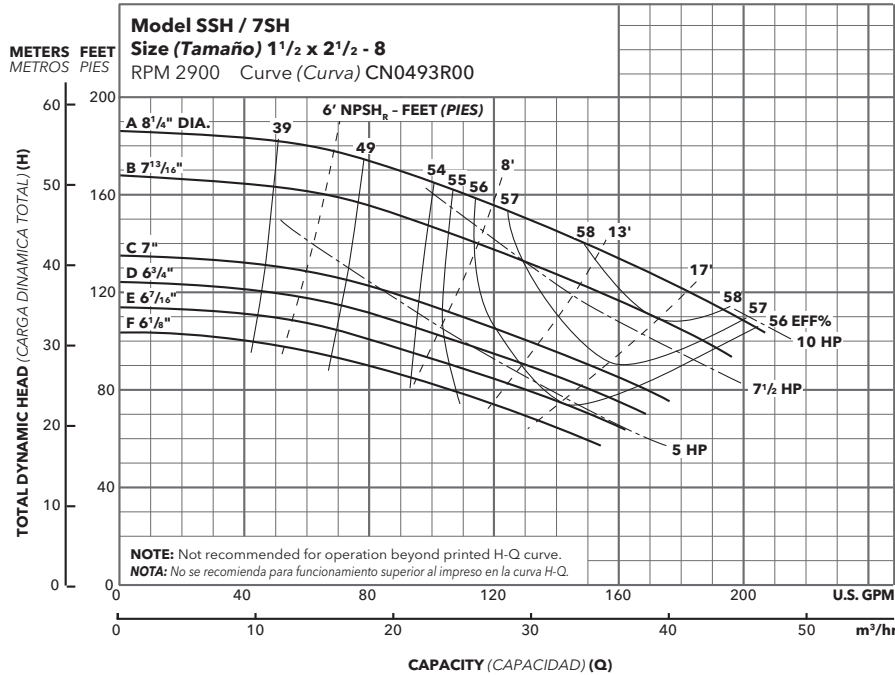


Optional Impeller, Impulsor Opcional

Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diá.	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	7 5/8"	3
B	7 1/8"	3
C	6 15/16"	3
D	6 1 1/16"	3
E	6 3/8"	2
F	6 1/16"	2
G	5 5/8"	1 1/2

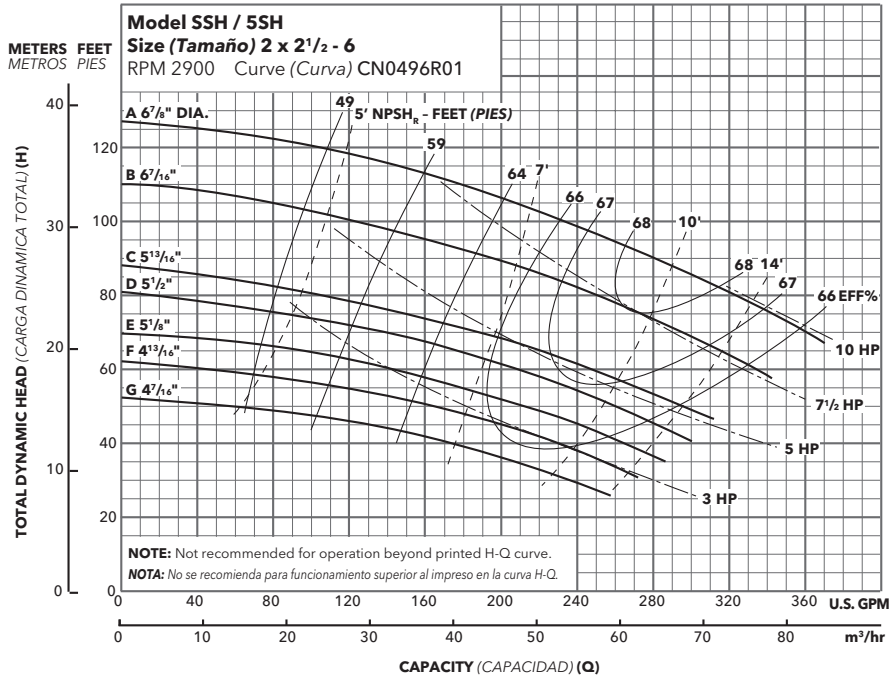
NOTE: Pump will pass a sphere to 1/16" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a 1/16" diámetro.

PERFORMANCE CURVES - 50 HZ, 2900 RPM CURVAS DE FUNCIONAMIENTO - 50 HZ, 2900 RPM



Optional Impeller, Impulsor Opcional		
Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diá.	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	8 1/4"	10
B	7 13/16"	7 1/2
C	7	7 1/2
D	6 3/4"	7 1/2
E	6 7/16"	5
F	6 1/8"	5

NOTE: Pump will pass a sphere to 3/16" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a 3/16" diámetro.



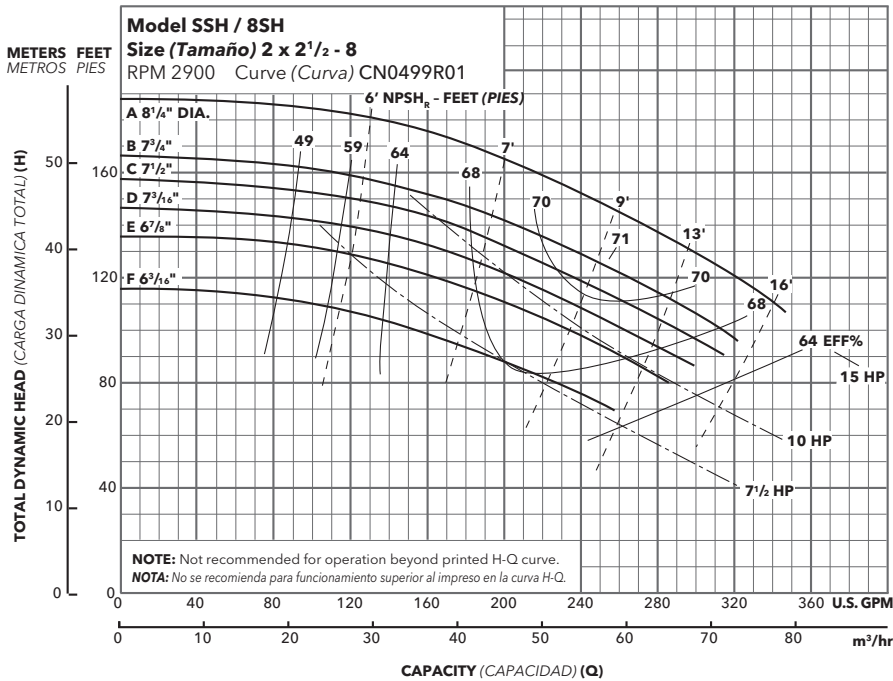
Optional Impeller, Impulsor Opcional		
Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diá.	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	6 7/8"	10
B	6 7/16"	7 1/2
C	5 13/16"	7 1/2
D	5 1/2"	5
E	5 1/8"	5
F	4 13/16"	3
G	4 7/16"	3

NOTE: Pump will pass a sphere to 5/32" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a 5/32" diámetro.

Goolds Water Technology

Commercial Water

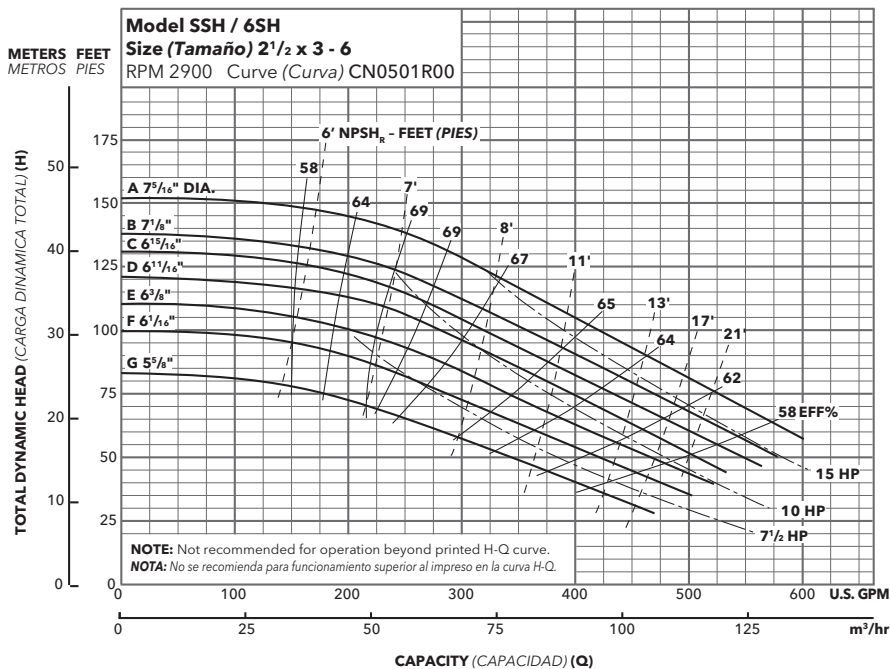
PERFORMANCE CURVES - 50 HZ, 2900 RPM CURVAS DE FUNCIONAMIENTO - 50 HZ, 2900 RPM



Optional Impeller, Impulsor Opcional

Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diá.	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	8 1/4"	15
B	7 3/4"	15
C	7 1/2"	10
D	7 3/8"	10
E	6 7/8"	7 1/2
F	6 3/4"	7 1/2

NOTE: Pump will pass a sphere to 7/32" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a 7/32" diámetro.



Optional Impeller, Impulsor Opcional

Impeller Code, Código del Impulsor	Dia., Diá.	Standard HP Rating, Estándar HP Potencia
A	7 5/8"	15
B	7 1/8"	15
C	6 5/8"	15
D	6 1 1/8"	10
E	6 3/8"	10
F	6 1/4"	7 1/2
G	5 7/8"	7 1/2

NOTE: Pump will pass a sphere to 3/16" diameter.
NOTA: La bomba pasará una esfera a 3/16" diámetro.

Anexos F

Material suplementario de selección
del tipo de energía renovable para
alimentar la planta

F.1. Datos climáticos del IMN para la estación de Playa Pinilla

INSTITUTO METEOROLOGICO NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INFORMACION
PROMEDIOS MENSUALES DE DATOS CLIMATICOS
(estaciones automáticas)

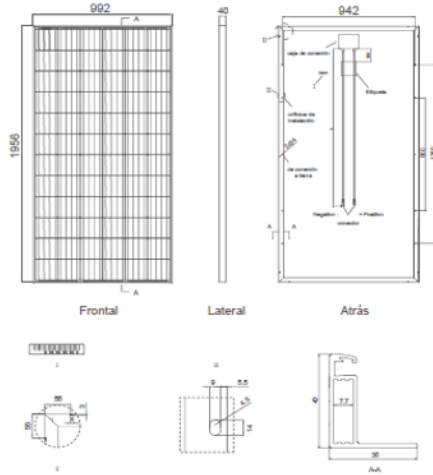
ESTACION: 72 149 SAN JOSE, PINILLA			Latitud: 10 ° 15 ' N Longitud: 85 ° 50 ' O Altitud. 15 m.s.n.m													
Elementos	Periodos		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.	Total
LLUVIA	2004	2016	4	8	3.1	25.5	162.8	153.2	153.6	241.8	280.7	384.8	81.1	16.5	125.3	1504.2
TEM.MAX.	2004	2016	33.2	34.0	34.6	34.7	32.9	31.5	31.9	31.5	30.9	30.1	30.9	32.1	32.4	
TEM.MIN.	2004	2016	23.6	24.2	24.8	25.1	24.3	23.7	23.5	23.3	23.2	23.2	22.8	22.8	23.7	
TEM.MED.	2004	2016	28.4	29.1	29.7	29.9	28.6	27.6	27.7	27.4	27.0	26.6	26.9	27.4	28.0	
HUMEDAD	2004	2016	61.7	58.5	58.6	63.9	76.1	82.8	80.0	83.6	86.4	87.1	79.5	70.8	74.1	
VIENTO VEL.	2004	2016	19.1	21.4	20.4	16.2	12.3	10.1	10.4	10.0	9.5	9.7	11.3	14.1	13.7	
RADIACION	2004	2016	21.8	22.4	19.4	22.1	17.9	17.6	15.8	17.4	15.2	14.0	12.2	19.1	17.9	

VIENTO DIR. PREDOMINANTE	2	2	3	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2
Promedio dias con lluvia >= 0.1 mm.	1	1	1	3	13	18	17	19	22	24	11	2	130 Total

Lluvia en milímetros: lmm = 1 litro de agua por m². Radiación Solar global en Megajulios (MJ/m²)
 Temperatura en Grados Celsius (°C). Evaporación en mm. Viento en km/h. Humedad Relativa en Porcentaje (%).
 VIENTO DIR PREDOM : 1 Norte, 2 Noreste, 3 Este, 4 Sureste, 5 Sur, 6 Suroeste, 7 Oeste, 8 Noreste, 9 Variable
 Brillo Solar en horas y décimas de horas. Presión hPa.

F.2. Ficha técnica del módulo solar Jinko Solar JKM335PP-72-V

Dibujos técnicos

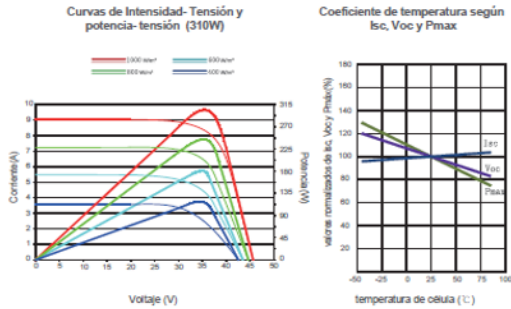


Embalaje

(Dos cajas = un palet)

26 pzs./caja, 52 pzs./caja, 624 pzs./40 'HQ contenedores

Rendimiento eléctrico y dependencia de la temperatura



Características mecánicas

Tipo de célula	Policristalina 156x156 mm (6 pulgadas)
Nº de células	72 (6x12)
Dimensiones	1956x992x40mm (77,01x39,05x1,57 pulgadas)
Peso	26,5 kg (58,4 libras.)
Vidrio frontal	4,0mm, alta transmisión, bajo contenido en hierro, vidrio templado
Estructura	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexión	Clase IP67
Cables de salida	TUV 1x4,0 mm ² , longitud:900 mm o Longitud personalizada

ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JKM315PP-72-V		JKM320PP-72-V		JKM325PP-72-V		JKM330PP-72-V		JKM335PP-72-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potencia nominal (Pmáx)	315Wp	235Wp	320Wp	238Wp	325Wp	242Wp	330Wp	248Wp	335Wp	250Wp
Tensión en el punto Pmáx-VMPP (V)	37.2V	34.3V	37.4V	34.7V	37.6V	35.0V	37.8V	35.3V	38.0V	35.6V
Corriente en el punto Pmáx-IMPP (A)	8.48A	6.84A	8.56A	6.86A	8.66A	6.91A	8.74A	6.97A	8.82A	7.02A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	46.2V	43.2V	46.4V	43.7V	46.7V	44.0V	46.9V	44.2V	47.2V	44.4V
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	9.01A	7.29A	9.05A	7.30A	9.10A	7.34A	9.14A	7.38A	9.18A	7.43A
Eficiencia del módulo (%)	16.23%		16.49%		16.75%		17.01%		17.26%	
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C									
Tensión máxima del sistema	1500VDC (IEC)									
VALORES máximos recomendados de los fusibles	15A									
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~+3%									
Coefficiente de temperatura de PMAX	-0.40%/°C									
Coefficiente de temperatura de VOC	-0.30%/°C									
Coefficiente de temperatura de ISC	0.06%/°C									
TEMPERATURA operacional nominal de célula	45±2°C									

STC: ☀ Radiación 1000 W/m² 🌡 Célula módulo 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Radiación 800 W/m² 🌡 Ambiente módulo 20°C ☁ AM=1.5 🌪 Velocidad del viento 1m/s

* TOLERANCIA de medición de potencia: ± 3%

F.3. Ficha técnica de los inversores

PRODUCT FLYER FOR PVS-100/120-TL ABB SOLAR INVERTERS

ABB string inverters

PVS-100/120-TL

100 to 120 kW

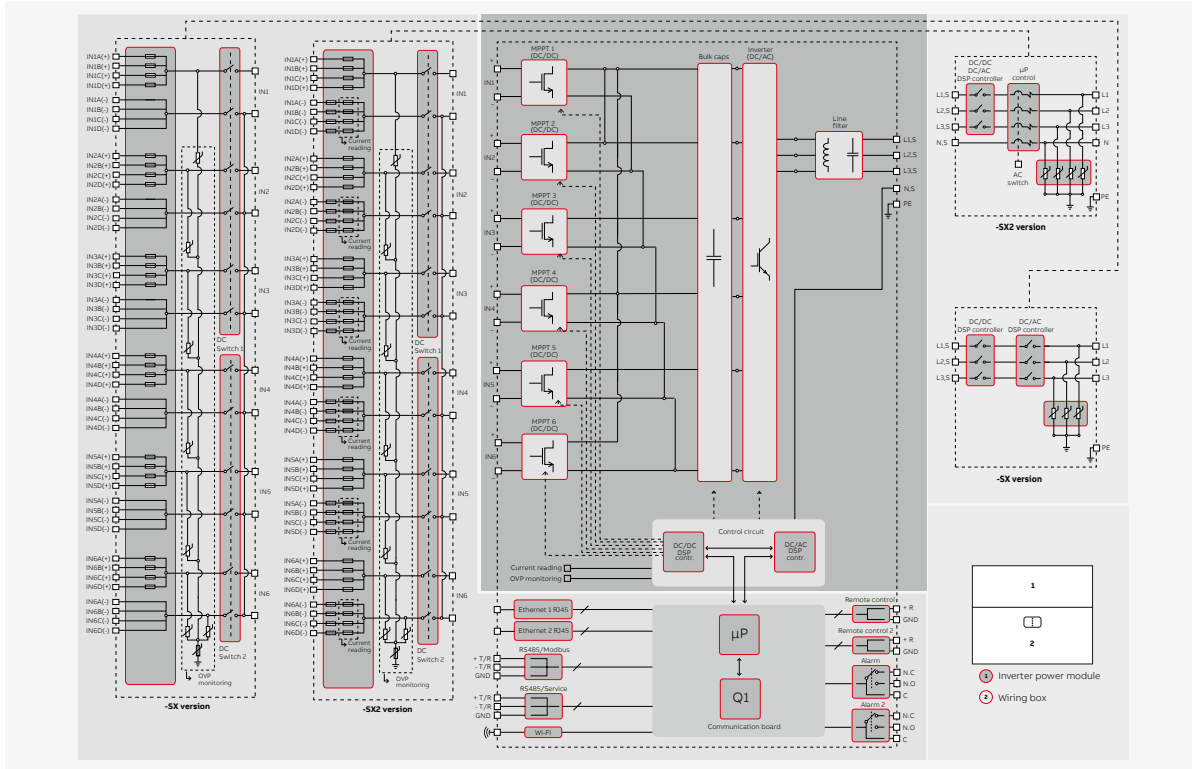


Technical data and types

Type code	PVS-100-TL	PVS-120-TL
Input side		
Absolute maximum DC input voltage ($V_{max,abs}$)	1000V	
Start-up DC input voltage (V_{start})	420V (400...500 V)	
Operating DC input voltage range ($V_{demin}...V_{dcmax}$)	360...1000 V	
Rated DC input voltage ($V_{dc,r}$)	620V	720V
Rated DC input power ($P_{dc,r}$)	102 000W	123 000W
Number of independent MPPT	6	
MPPT input DC voltage range at ($V_{MPPTmin}...V_{MPPTmax}$) at P_{acr}	480...850V	570...850V
Maximum DC input power for each MPPT ($P_{MPPT,max}$)	17500 W [480V≤ V_{MPPT} ≤850V]	20500 W [570V≤ V_{MPPT} ≤850V]
Maximum DC input current for each MPPT ($I_{dc,max}$)	36 A	
Maximum input short circuit current ($I_{sc,max}$) for each MPPT	50 A ¹⁾	
Number of DC input pairs for each MPPT	4	
DC connection type	PV quick fit connector ²⁾	
Input protection		
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source	
Input over voltage protection for each MPPT - replaceable surge arrester	Type 2 with monitoring	
Photovoltaic array isolation control	as per IEC62109	
DC switch rating for each MPPT	50 A / 1000 V	
Fuse rating (versions with fuses)	15 A / 1000 V ³⁾	
String current monitoring	SX2: (24ch) Individual string current monitoring; SX: (6ch) Input current monitoring per MPPT	
Output side		
AC Grid connection type	Three phase 3W+PE or 4W+PE	
Rated AC power ($P_{acr}@cos\phi=1$)	100 000 W	120 000 W
Maximum AC output power ($P_{ac,max}@cos\phi=1$)	100 000 W	120 000 W
Maximum apparent power (S_{max})	100 000 VA	120 000 VA
Rated AC grid voltage ($V_{ac,r}$)	400 V	480 V
AC voltage range	320...480 V ⁴⁾	384...576 V ³⁾
Maximum AC output current ($I_{ac,max}$)	145 A	
Rated output frequency (f_r)	50 Hz / 60 Hz	
Output frequency range ($f_{min}...f_{max}$)	45...55 Hz / 55...65 Hz ⁵⁾	
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, 0...1 inductive/capacitive with maximum S_{max}	
Total current harmonic distortion	< 3%	
Maximum AC cable	185mm ² Aluminum and copper	
AC connection type	Provided bar for lug connections M10, single core cable glands 4xM40 and M25, multi core cable gland M63 as option	
Output protection		
Anti-islanding protection	According to local standard	
Maximum external AC overcurrent protection	225 A	
Output overvoltage protection - replaceable surge protection device	Type 2 with monitoring	
Operating performance		
Maximum efficiency (η_{max})	98.4%	98.9%
Weighted efficiency (EURO)	98.2%	98.6%
Communication		
Embedded communication interfaces	1x RS485, 2x Ethernet (RJ45), WLAN (IEEE802.11 b/g/n @ 2,4 GHz)	
User interface	4 LEDs, Web User Interface	
Communication protocol	Modbus RTU/TCP (Sunspec compliant)	
Commissioning tool	Web User Interface, Mobile APP/APP for plant level	
Remote monitoring services	Aurora Vision [®] monitoring portal	
Advanced features	Embedded logging, direct telemetry data transferring to ABB cloud	
Environmental		
Ambient temperature range	-25...+60°C / -13...140°F with derating above 40°C / 104 °F	

PRODUCT FLYER FOR PVS-100/120-TL ABB SOLAR INVERTERS

ABB PVS-100/120-TL string inverter block diagram



Technical data and types

Type code	PVS-100-TL	PVS-120-TL
Relative humidity	4%...100% condensing	
Sound pressure level, typical	68dB(A) @ 1m	
Maximum operating altitude without derating	2000 m / 6560 ft	
Physical		
Environmental protection rating	IP 66 (IP54 for cooling section)	
Cooling	Forced air	
Dimension (H x W x D)	869x1086x419 mm / 34.2" x 42.8" x 16.5"	
Weight	70kg / 154 lbs for power module ; ~55kg / 121 lbs for wiring box Overall max 125 kg / 276 lbs	
Mounting system	Mounting bracket vertical & horizontal support	
Safety		
Isolation level	Transformerless	
Marking & EMC	CE conformity according to LV and EMC directives	
Safety	IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2	
Grid standard (check your sales channel for availability)	CEI 0-16, IEC 61727, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683, JORDAN IRR-DCC-MV	
Available products variants		
Inverter power module	PVS-100-TL-POWERMODULE-400	PVS-120-TL-POWERMODULE-480
24 ch quick input connections + fuses (both poles) + DC switches + individual string current monitoring (ch 24) + AC breaker + surge arresters Type 2, (DC & AC)	WB-SX2-PVS-100/120-TL	
24 ch quick input connections + fuses (single pole) + DC switches + input current monitoring per MPPT (ch 6) + surge arresters Type 2 (DC & AC)	WB-SX-PVS-100/120-TL	
Optional available		
Support for multi core AC cable M63 + M25 (PE)	MULTICORE AC PLATE	

1) Maximum number of opening 5 under overloading
 2) Please refer to the document "String inverters - Product manual appendix" available at www.abb.com/solarinverters for information on the quick-fit connector brand and model used in the inverter
 3) Maximum fuse size supported 20 A. Additionally one string input per MPPT supports

3) 32 A fuse sizes for connecting two strings per input
 4) The AC voltage range may vary depending on specific country grid standard
 5) Frequency range may vary depending on specific country grid standard
Remark: Features not specifically listed in the present data sheet are not included in the product

Anexos G

Cotizaciones de elementos mecánicos, hidráulicos y energéticos

G.1. Cotización de la toma de agua marina

4 PRECIOS

Los precios de la configuración propuesta se detallan a continuación.

Item	Qty	Designation of items in the scope of supply	Unit price in USD	Plazo Entrega
1.0	1	Filtro Pasivo Johnson Screens® T16HC Tecnología patentada de doble difusor de flujo Super Duplex 2205 20% Bloqueo Ranura 3 mm Cumple Norma EPA 316B	19.700	8 Semanas desde Aprobación de Planos
2.0	1	Hidroburst® Sistema de limpieza Tuberías en HDP (2800 Metros) incluye compresor Tanque de acumulación de 700 lts. Válvula, Manifold y panel de control incluidos.	89.831	8 Semanas desde OC.

Total ExWorks Santiago **USD 109.531**

Forma de Pago:

50 % anticipo junto a OC.
20 % con aprobación de planos
30% con aviso de material pronto para embarque.

Lugar de Entrega

EX WORKS Santiago

Validez de la oferta:

30 días a contar de la fecha de emisión. La presente cotización es válida por O/C completa. En caso de adjudicación parcial, rogamos consultarnos previamente. Precios y plazos sujetos a confirmación.

Garantía

Ver punto 4 de Términos y Condiciones

G.2. Cotización de la válvula de mariposa y su actuador eléctrico



Cotización

Vigente hasta: 2018-02-26

Número de cotización: 0000-180216-17-7325

Empresa: DANIEL MAYER WEISLEDER
Cédula jurídica: 1-1543-0951
Contacto: Daniel Mayer Weisleder
Solicitud N°:

Fecha: 2018-02-16 08:13:22
Teléfono: +506 2249-8348 / +506 8703-0051
Fax:
Correo: dmayerw@gmail.com

En atención a su solicitud, es un gusto presentarle la siguiente oferta:

Línea	Descripción	Cant.	U.M	Precio unitario	Precio total
1	Código: 0000 VM S36 CI NDI 416 EPDM 28" Válvula de mariposa serie S36 tipo, diámetro de 28" cuerpo de acero al carbón, vástago en acero inoxidable 416, disco en acero recubierto de Nylon11, asiento EPDM, marca Bray Con: Actuador AUMA SQR 14.2 Control AM 01.1 Torque max. 2400Nm Voltage 1ph/110-120 Enclosure Protection IP68 Opciones de velocidad al mismo precio: 40, 60, 85s/ cuarto de vuelta	1	CU	\$ 11.090,00	\$ 11.090,00
2	Código: 00000 VM S36 CI 316 416 EPDM 28" Válvula de mariposa serie S36 tipo, diámetro de 28" cuerpo de acero al carbón, vástago en acero inoxidable 416, disco en acero inoxidable 316, asiento EPDM, marca Bray Con: Actuador AUMA SQR 14.2 Control AM 01.1 Torque max. 2400Nm Voltage 1ph/110-120 Enclosure Protection IP68 Opciones de velocidad al mismo precio: 40, 60, 85s/ cuarto de vuelta	1	CU	\$ 14.565,00	\$ 14.565,00
				Sub-total	\$ 25.655,00
				Descuento	\$ 0,00
				I.V.	\$ 3.335,15
				Total	\$ 28.990,15

Observaciones

1. Toda anulación de pedido con trámite de importación directa, tiene un cargo de 25% sobre el valor total de la orden de compra si el pedido ya se encuentra procesado en fábrica o está listo para despacharse.
2. Cantidades sujetas a las existencias en bodega al momento de realizar la compra.
3. Precios válidos por las cantidades e ítems indicados en esta cotización.

G.3. Cotización de varias bombas

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.



Oferta de Ventas

No 23482

Fecha: 23/02/2018

Datos del Cliente

Cliente: CARLOS DE LA ROCHA

Telefono:

Atención:

Fax:

Referencia:

Email:

Condiciones de Venta

Tiempo de Entrega: 6 a 8 semanas luego de recibido orden de compra y adelanto cuando aplique

Validez de la oferta: 15 días

Termino de Entrega: BODEGAS CUENTE

Moneda: DOLARES

Condicion Pago: 50% CON OC, 50% CONTRA ENTREGA

Detalle de la cotización

Estimado (a) Sr. (a); por este medio me permito presentarle oferta según sus necesidades:

Artículo	Descripción	Cantidad	Precio Unidad	% Desc	Total (USD)
0009859	BOMBA GOULDS 28SH 20HP 3F	1	USD 5,585.00	0,00	USD 5,585.00
<p>Bomba horizontal marca Goulds de la serie 28SH, construida toda en acero inoxidable con succión en 4" y descarga en 3" ACOPLER TIPO FLANGER, impulsor en acero inoxidable, acoplada a motor de 20HP, 230V/460V, 3F, 1800RPM. Punto de operación estimado: 550GPM @90FT</p>					
0009859	BOMBA GOULDS 22SH DE 5HP 1F	1	USD 4,163.00	0,00	USD 4,163.00
<p>Bomba horizontal marca Goulds de la serie 22SH, construida toda en acero inoxidable con succión en 3" y descarga en 2 1/2" ACOPLER TIPO FLANGER, impulsor en acero inoxidable, acoplada a motor de 5HP, 230V, 1F, 1800RPM. Punto de operación estimado: 200GPM @50FT</p>					
0009859	BOMBA GOULDS 1 ST DE 2 HP 1F	1	USD 1,090.00	0,00	USD 1,090.00
<p>Bomba tipo horizontal marca Goulds modelo NPE, construida en acero inoxidable laminado con succión en 1 1/4" y descarga en 1" (ambas roscadas NPT), sello mecánico tipo 21 acoplada directamente a motor eléctrico de 2Hp, alimentación 230V, monofasico, 1800 RPM. Punto de operación: 35 GPM @ 100ft.</p>					
0009859	BOMBA VERTICAL 15SV DE 7.5HP MONOFASICA	1	USD 4,385.00	0,00	USD 4,385.00



Soluciones innovadoras en el manejo de fluidos y más...
Costa Rica • Panamá | Tel: (506) 2437-7900 • Fax: (506) 2453-3196 | www.zebol.com

Artículo	Descripción	Cantidad	Precio Unidad	% Desc	Total (USD)	
	Bomba centrifuga del tipo vertical multietapa, marca GOULDS, modelo e-SV 15SV de 4 etapas, carcasa e impulsores contruidos en acero inoxidable AISI-304, conexiones tipo bridas en hierro fundido de 2'' #250 R.F, con sello mecánico de carbón en contraste con carburo de silicio y elastómeros en viton, acoplada directamente a motor de 7.5HP, 115-230V Monofasico 60Hz, TEFC. Punto de operación: 85gpm @ 200 ft					
Atentos a cualquier consulta.					Subtotal USD	15,223.00
					Total Impuesto USD	1,978.99
					Total USD	17,201.99

Yisley Zuñiga
ventas2nicoya@zebol.com
8773-9486

Observaciones:

1. Datos suministrados por el cliente.

Notas:

1. Ordenes menores a \$50.00 o su equivalente en colonos, deberá cancelarse de contado.
2. Si la moneda de esta oferta es dólares, la cancelacion de la factura deberá realizarse en la misma moneda o de lo contrario debera utilizarse el tipo de cambio oficial de venta emitido por el BCCR el dia de la cancelacion de la factura.
3. Aplican Términos y Condiciones de venta de Zebol S.A. (Ver Anexo 1)
4. Toda orden de compra debe ser enviada al correo ordenes@zebol.com
5. Las facturas a crédito devengan un 3% de intereses moratorios, sin que esto signifique prorroga.



Soluciones innovadoras en el manejo de fluidos y más...
Costa Rica • Panamá | Tel: (506) 2437-7900 • Fax: (506) 2453-3196 | www.zebol.com

G.4. Cotización de las bombas para salmuera 5SH utilizadas en la primera etapa del proyecto

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.



Oferta de Ventas

No 23686

Fecha: 02/03/2018

Datos del Cliente

Cliente: CARLOS DE LA ROCHA

Telefono:

Atención:

Fax:

Referencia:

Email:

Condiciones de Venta

Tiempo de Entrega: 6 a 8 semanas luego de recibido orden de compra y adelanto cuando aplique

Validez de la oferta: 15 días

Termino de Entrega: BODEGA ZEBOL PALMARES

Moneda: DOLARES

Condicion Pago:

Detalle de la cotización

Estimado (a) Sr. (a); por este medio me permito presentarle oferta según sus necesidades:

Artículo	Descripción	Cantidad	Precio Unidad	% Desc	Total (USD)
0009859	BOMBA GOULDS 5SH DE 1 HP 3F,1800 RPM	1	USD 1,895.00	0.00	USD 1,895.00

Bomba horizontal marca Goulds modelo 5SSH, construida en acero inoxidable AISI tipo 316L con succión en 2-1/2" y descarga en 2" con bridas ANSI clase 150, impulsor en acero inoxidable, con sello mecánico marca John Crane tipo 21 con caras de carbón en contraste con carburo de silicio y elastómeros en vitón, acoplada directamente a motor eléctrico de 1Hp, 1800RPM, 3 fase, 230/460VAC, TEFC, de alta eficiencia.
Punto de operación: 120 GPM @ 20FT.



Soluciones innovadoras en el manejo de fluidos y más...
Costa Rica • Panamá | Tel: (506) 2437-7900 • Fax: (506) 2453-3196 | www.zebol.com

Página 1 de 3

Atentos a cualquier consulta.

Subtotal USD	1.895,00
Total Impuesto USD	246,35
Total USD	2.141,35

Yisley Zuñiga
ventas2nicoya@zebol.com
8773-9486

Observaciones:

1. Datos suministrados por el cliente.

Notas:

1. Ordenes menores a \$50,00 o su equivalente en colones, deberá cancelarse de contado.
2. Si la moneda de esta oferta es dólares, la cancelación de la factura deberá realizarse en la misma moneda o de lo contrario deberá utilizarse el tipo de cambio oficial de venta emitido por el BCCR el día de la cancelación de la factura.
3. Aplican Términos y Condiciones de venta de Zebol S.A. (Ver Anexo 1)
4. Toda orden de compra debe ser enviada al correo ordenes@zebol.com
5. Las facturas a crédito devengan un 3% de intereses moratorios, sin que esto signifique prórroga.



Soluciones innovadoras en el manejo de fluidos y más...
Costa Rica • Panamá | Tel: (506) 2437-7900 • Fax: (506) 2453-3196 | www.zebol.com

G.5. Cotización de las tuberías y sus accesorios

Este documento contiene unidades no pertenecientes o aceptadas por el Sistema Internacional de Unidades. Este se mantiene de esta forma para conservar la información tal y como fue proveída por su autor.



SERVICIOS ASahi, S.A.

TUBOSISTEMAS
Cédula Jurídica # 3-101-068844
Tel.:(506) 2240 - 8111 * Fax.:(506) 2297 - 0130
Plywood Park Bodega B1-1, Colima de Tibás
P.O. Box 258 - 1250 - San José, Costa Rica
asahi@asahicr.com www.asahicr.com

PROFORMA N°
036085

FECHA: 09/03/2018

Página: 1 de 2

CLIENTE: 000001 **DANIEL MAYER**
REFERENCIA: PLANTA DE DESALINIZACION ASADA
CONTACTO: Sr. Daniel Mayer
TELEFONO: 8703-0051
CELULAR:

	CANT.	CODIGO	DESCRIPCION	UNITARIO	TOTALES
1	18.00	102581	BRIDA PEAD BUTT SDR17 4"-100MM	21.81	392.58
2	18.00	102554	BRIDA PEAD (HD) DR17 4"-100MM	14.07	253.26
3	10.00	102579	BRIDA PEAD BUTT SDR17 2"-50MM	13.56	135.56
4	10.00	102550	BRIDA PEAD (HD) DR11 2"-50MM	11.68	116.81
5	6.00	102580	BRIDA PEAD BUTT SDR17 3"-75MM	19.64	117.84
6	6.00	102553	BRIDA PEAD (HD) DR11 3"-75MM	10.15	60.88
7	31.00	102410	VLV COMPUERTA HD DR NRS BRIDA 4"	105.00	3,255.00
8	2.00	102412	VLV COMPUERTA HD DR NRS BRIDA 8"	360.05	720.10
9	6.00	102403	VLV CHECK COL HF 200WOG BRIDA 4"	165.93	995.58
10	4.00	101431	VLV CHECK PASCON BR ROSCA 2"	27.30	109.20
11	63.00	102638	CODO 90 PEAD BUTT SDR17 4"-100MM	18.25	1,149.75
12	7.00	102804	TEE PEAD BUTT SDR17 4" - 100MM	25.65	179.55
13	1.00	107051	VLV MARIPOSA HF WAFER 8"	131.34	131.34
14	6.00	102806	TEE PEAD BUTT SDR17 8" - 200MM	175.18	1,051.08
15	11.00	171523	VLV CHECK COL HF 200WOG BRIDA 2"	62.50	687.50
16	8.00	102408	VLV COMPUERTA HD DR NRS BRIDA 2"	54.29	434.35
17	8.00	102610	CODO 45 PEAD BUTT SDR17 8"-200MM	145.99	1,167.92
18	14.00	102636	CODO 90 PEAD BUTT SDR17 2"-50MM	7.92	110.88
19	9.00	102682	RED. PEAD BUTT SDR17 6X4"	36.91	332.22
20	1.00	102681	RED. PEAD BUTT SDR17 4X2"	18.28	18.28
21	6.00	102411	VLV COMPUERTA HD DR NRS BRIDA 6"	207.03	1,242.21
22	7.00	102681	RED. PEAD BUTT SDR17 4X3"	18.28	127.96
23	3.00	102402	VLV CHECK COL HF 200WOG BRIDA 3"	105.48	316.43
24	2.00	102409	VLV COMPUERTA HD DR NRS BRIDA 3"	87.45	174.90
25	7.00	102637	CODO 90 PEAD BUTT SDR17 3"-75MM	15.54	108.76
26	1.00	102803	TEE PEAD BUTT SDR17 3" - 75MM	16.27	16.27
27	1.00	102670	RED. PEAD BUTT SDR17 2 X 1"	12.75	12.75
28	1.00	101435	VLV CHECK PASCON HF 200WVP BRIDA 3"	76.36	76.36
29	2.00	103035	ADAPT. MACHO DE COMPRESION PARA PEAD 1"	7.37	14.74
30	2,808.00	104596	TUBO PEAD SDR32.5 65 PSI 28"-700MM 1M	206.94	581,087.52

Condiciones de Venta:

- 1.- **Forma de Pago:** A NEGOCIAR
- 2.- **Tiempo de Entrega:** 8 SEMANAS
- 3.- **Lugar de Entrega:** PROYECTO
- 4.- **Validez de la Oferta:** 15 DIAS
- 5.- **Garantía:** 1 Año Contra Defectos de Fábrica.

SUB-TOTAL	\$	594,597.57
DESCUENTOS:	\$	0.00
IMP. VENTAS:		0.00
TOTAL:	\$	0.00

JENNIFER ARTETA



SERVICIOS ASAHI, S.A.

TUBOSISTEMAS
 Cédula Jurídica # 3-101-068844
 Tel.:(506) 2240 - 8111 * Fax.:(506) 2297 - 0130
 Plywood Park Bodega B1-1, Colima de Tibás
 P.O. Box 258 - 1250 - San José, Costa Rica
 asahi@asahicr.com www.asahicr.com

PROFORMA N°
036085

FECHA: 09/03/2018

Página: 2 de 2

CLIENTE: 000001 **DANIEL MAYER**
REFERENCIA: PLANTA DE DESALINIZACION ASADA
CONTACTO: Sr. Daniel Mayer
TELEFONO: 8703-0051
CELULAR:

	CANT.	CODIGO	DESCRIPCION	UNITARIO	TOTALES
31	12.00	104623	TUBO PEAD SDR9 255PSI 8"-200MM, 1MT	65.15	781.80
32	12.00	104607	TUBO PEAD SDR7 335PSI 8"-200MM 1M	80.58	966.96
33	2,153.00	171244	TUBO PEAD SDR21 100PSI 6"-150MM 1M	8.13	17,503.89
34	276.00	104565	TUBO PEAD SDR17 125PSI 4"-100MM 1M	9.93	2,740.68
35	24.00	104564	TUBO PEAD SDR17 125PSI 3"-75MM 1M	6.02	144.48
36	200.00	104560	TUBO PEAD SDR17 125PSI 2"-50MM 1M	2.72	544.00

Condiciones de Venta:

- 1.- Forma de Pago: A NEGOCIAR
- 2.- Tiempo de Entrega: 8 SEMANAS
- 3.- Lugar de Entrega: PROYECTO
- 4.- Validez de la Oferta: 15 DIAS
- 5.- Garantía: 1 Año Contra Defectos de Fábrica.

SUB-TOTAL	\$	617,279.38
DESCUENTOS:	\$	0.00
IMP. VENTAS:		80,246.32
TOTAL :	\$	697,525.70

 JENNIFER ARTETA

G.6. Cotización de los inversores

SUCURSAL PANAMÁ DE ABB, S.A.



R.U.C. 1485829-1-644679 DV 12

Via Porras con Miguel Paredes , Edificio Fidanque
Piso 2, Apartado 0816-01349, Ciudad de Panamá,
Panamá

Teléfonos: (507) 209-5400 Fax: (507) 209-5401

Correo Electrónico: salesap.cac@pa.abb.com

**Cotización
No. OPP-18-2018539**

Para: Daniel Mayer	De: Gerald Rocha
Empresa:	División/BU: EP
Departamento: Gerencia	Ciudad/ País: San José, Costa Rica
Ciudad/ País: San José, Costa Rica	Teléfono: +506 2288 5484
E-mail: <a href="mailto:Daniel.Mayer<dmayerw@gmail.com>">Daniel.Mayer<dmayerw@gmail.com>	Fax : +506 2288 5482
Teléfono: : 8703-0051	e-mail: gerald.rocha@pa.abb.com
Total Páginas: 1	

Estimados señores, de acuerdo a su amable solicitud, los suscritos **Sucursal Panamá de ABB, S.A.**, tenemos el agrado de presentarles nuestra oferta por el suministro de los equipos y/o materiales descritos a continuación:

Fecha	Su referencia	Tiempo estimado de entrega	Validez de la Oferta	Garantía	Entrega / Condiciones
16-Apr-18		8 semanas	30 días	1 Año	CPT San Jose

Ítem	Cantidad	Código	Tip o	Descripción	Empaque	Fabrica	Precio Unitario	Precio Total
------	----------	--------	-------	-------------	---------	---------	-----------------	--------------

1	10	PVS-120-TL-POWERMODULE	<p>PVS-120 Power Module</p> <ul style="list-style-type: none"> - 120 000 Wac @480Vac - 6 MPPT - IP66 (Fans IP54) - 5 year warranty - TO BE ASSEMBLED WITH WIRING BOX AND MOUNTING BRACKET 	5250.00	52500.00
2	10	WB-SX2-PVS-100/120-TL/24INPUTS	<p>PVS-100/PVS-120 SX2/24 model wiring box:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 24 + 24 DC input with 24 + 24 string fuses - Individual current monitoring of the DC inputs (24 ch) - Monitored&replaceable DC surge protection Type II - DC disconnect switch - AC disconnect switch - AC busbar connection (Cu/Al) - Monitored&replaceable AC surge protection Type II - Dual port ethernet (Modbus/SUNSPEC) - RS-485 communication interface (Modbus/Sunspec) - Wifi - SD card slot - IP66 - 5 year warranty - TO BE ASSEMBLED 	3715.00	37150.00

WITH POWER
MODULE AND
MOUNTING
BRACKET AND
DC CONNECTOR
COUNTER
PARTS

3	10	ACCESSORY;BRACKET;PVS-100/120	<p>- MOUNTING kit TO BE used WITH the inverter</p> <p>-</p> <p>Horizontal/vertical installation supported.</p> <p>- 10 WM connectors DC- per bag</p> <p>- 10 WM connectors DC- per bag</p>	75.00	750.00
4	60	WEIDMULLERDCCABLECONNECTOR KIT-1BAG	<p>- Compatible with TRIO-5.8/7.5/8.5- TL-OUTD, TRIO- 20.0/27.6-TL- OUTD, TRIO-50.0- TL-OUTD families only</p>	50.00	3000.00
5	2	PVI-USB-RS232_485converter	<p>- Adapter RS485 or RS232 to USB for PC interface</p> <p>- 2 year warranty</p>	85.00	170.00
6	2	HANDLINGKIT	<p>HANDLING KIT for TRIO models:- 4 handles- 2 eye bolts</p>	70.00	140.00
					0.00

0.00

Total US\$: 93,710.00

Notas:

- 1.- Aplican las Condiciones Generales de Ventas de **ABB**, salvo las condiciones particulares aquí incluidas.
- 2.- El Tiempo de Entrega indicado comienza después de recibida su orden de compra, aclarada técnica y comercialmente y recibido en cuenta el anticipo correspondiente (si aplica).
- 3.- Cualquiera que sea el método de pago (ver Nota 12), el mismo será considerado realizado una vez confirmado el depósito en nuestra cuenta.
- 4.- Los precios de esta oferta están en relación con la cantidad de equipos ofertados. En caso de modificación de renglones o cantidades nos reservamos el derecho de reajustar precios y tiempos de entrega indicados.
- 5.- Favor considerar que **ABB** no recibirá Órdenes de Compra inferiores a USD 2,000.00 por cada fábrica/origen indicado, salvo que se acepte pagar un incremento de USD 250.00 sobre el precio total de la oferta.
- 6.- Su Orden de Compra debe ser enviada a la dirección electrónica: **salesap.cac@pa.abb.com** a nombre de **Sucursal Panamá de ABB S.A.**, indicando sus números de RUC y DV, su dirección comercial, persona contacto, teléfonos, fax, e-mail.

7.- En su Orden de Compra agradecemos hacer referencia a esta oferta número:

**OPP-
18-
20185
39**

8.- Impuestos de cualquier tipo no están incluidos, salvo los expresamente indicados.

9.- **ABB** considera que la colocación de su Orden de Compra, haciendo referencia a esta oferta, indica la aceptación de nuestras condiciones .

10.- En caso de que los renglones ofertados tengan orígenes diferentes agradecemos indicarnos si aceptan o no despachos parciales. En el supuesto de que no aceptan. **ABB** deberá ratificar el tiempo de entrega.

11.- Los tiempos de entrega deben tomarse como referencias, sobre los cuales **ABB** tratará de cumplir estrictamente. Sin embargo, en caso de retraso en la entrega, **ABB** no aceptará cargos o penalizaciones por este concepto. Tampoco se aceptaran cargos o Notas de Crédito por conceptos tales como almacenamiento o gastos adicionales en la nacionalización de equipos.

12.- **Forma de pago: 100% con la colocación de la Orden de Compra.** Mediante transferencia bancaria o con cheque no endosable a nombre de Sucursal Panamá de ABB S.A.

13.- En caso de que el método de pago escogido sea transferencia bancaria los datos necesarios se indican a continuación. Favor considerar que todos los gastos asociados (comisiones bancarias, otros) serán por cuenta del comprador y no deberán ser descontados del pago a **ABB**.

G.7. Cotización del transformador



Proveeduría Industrial, PROIN S.A.

Tel: 2239-5271, 2239-6295 Fax: 2589-0280
Ced. Jurídica No. 3-101-236691

Proveeduría Industrial

SRS:
ATN: Daniel Mayer
TEL: 8703-0051
Email: dmayerw@gmail.com

FECHA: 09/04/18
REF: E-MAIL
COT. No.: 9660-0418 P

**REF: COTIZACIÓN DE TRANSFORMADOR MARCA ERMCO AMERICANO -
TOTALMENTE NUEVO**

Item	Cant.	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
1	1	Transformador tipo seco trifásico de 150 KVA , 60 Hz, clase 600V, para uso general, voltaje primario 480 V Delta , voltaje secundario 460/230 Delta . Autoventilado, Tipo SH 150 C Rise, gabinete tipo Nema 3R Sello de calidad UL . JE.	\$3,850.000	\$3,850.00
			Sub total	\$3,850.00
			13% I.V.	\$500.50
			Total en nuestras bodega en San Antonio de Belén	\$4,350.50
ERMCO USA: UNA EMPRESA ISO 9001				

CONDICIONES:
Precios: Dólares
Forma de Pago: 50% con orden de compra y el resto contra arribo al país
Entrega: 5-6 semanas
Valida hasta: 15 días

P/PROIN S.A:

Fernando Montalbert-Smith