



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE UNA PLANTA DESALINIZADORA EN LA LOCALIDAD DE LOS MOLLES, PROVINCIA DE PETORCA”

Memoria de titulación presentada por
FRANCISCO JAVIER ZÚÑIGA OYANADEL

Como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL

Profesor Guía
PATRICIO WINCKLER GREZ

Mayo 2017

TITULO DE LA MEMORIA:

“ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD DE UNA PLANTA DESALINIZADORA EN LA LOCALIDAD DE LOS MOLLES, PROVINCIA DE PETORCA”

AUTOR:

FRANCISCO JAVIER ZÚÑIGA OYANADEL

PROFESOR GUÍA:

PATRICIO WINCKLER GREZ

MEMORIA, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos para el TÍTULO DE INGENIERO CIVIL de la Universidad Técnica Federico Santa María.

*Dedicado a mis padres, mis hermanos, mi pareja y,
en especial, a mi hijo. Los amo.*

Agradecimientos

Quisiera agradecer a todas las personas que me han acompañado y guiado durante toda mi formación, tanto humana como profesional:

- A mis compañeros de carrera, de los cuales siempre tuve el apoyo cuando lo necesité, en especial a mi amigo Pedro Moraga.

Además, agradezco también a todos los que hicieron posible la realización de esta memoria:

- Al Profesor Patricio Winckler Grez, por su constante apoyo y buena disposición en el desarrollo de esta memoria.
- A mis compañeros de la Unidad de Agua Potable Rural de la Dirección de Obras Hidráulicas por todo el apoyo que me prestaron y por confiar siempre en mí.

Resumen Ejecutivo

La presente memoria aborda el problema de abastecimiento de agua potable en el litoral de la Provincia de Petorca, Región de Valparaíso. Para esto se estudia el estado actual de los sistemas de abastecimiento de agua potable en el sector, los cuales corresponden a Zapallar, Papudo, Las Salinas, Pichicuy, Quinquelles y Los Molles; y se define cuáles son los más vulnerables a eventos de sequía. Finalmente, de estos sistemas se elige a Los Molles para analizar la factibilidad técnica y económica para la ejecución de una planta desaladora versus un sistema de abastecimiento tradicional.

Los Molles fue definido principalmente por los múltiples problemas de abastecimiento de agua potable que ha tenido en los últimos años, en especial los problemas de continuidad y calidad que ocurrieron durante el año 2013; motivo por el cual la Superintendencia de Servicios Sanitarios caducó la concesión que existía en la localidad desde la década del 90'.

Para abordar el problema desde el punto de vista técnico, se analiza y cuantifica la cantidad de agua dulce disponible dentro de la cuenca en la cual se ubica Los Molles. Para esto se realiza un balance hídrico de la cuenca y un catastro de los derechos de aprovechamiento de agua existentes. Además, se analiza la posibilidad de traer agua desde las cuencas más próximas con disponibilidad de agua. Finalmente, se establecen tres alternativas de solución técnicamente viables que asegurarán un abastecimiento de agua potable permanente y continuo.

Estas tres alternativas propuestas son desarrolladas hasta un nivel de ingeniería básica, dimensionando los elementos más importantes del sistema, como estanques de acumulación, diámetros de conducción y equipos de bombeo.

De las alternativas de solución establecidas para el abastecimiento de Los Molles, se elige por un criterio costo-eficiencia una que consiste en suplir el futuro déficit del recurso hídrico mediante desalación de agua de mar. Dicha alternativa agrega una capacidad extra de producción de agua de 1.908 [m³/d]. Este aumento de capacidad, según los cálculos realizados, es suficiente para abastecer a Los Molles desde 2017-2032. Posteriormente, se calcula la tarifa recomendada para que el proyecto sea rentable analizado el proyecto con el criterio VAN – TIR, definiéndose una TIR requerida de 9,5%. El precio por metro cúbico calculado es \$1.840.

Finalmente, se dan recomendaciones para mejorar la rentabilidad del proyecto y, principalmente, reducir el precio del [m³].

Palabras claves: Producción de agua potable, desalinización, evaluación de proyectos.

Abstract

The present thesis addresses the problem of water supply on the coast of the Provincia de Petoca, Región de Valparaíso. For this we study the current state of the water supply systems in the area, which correspond to Zapallar, Papudo, Las Salinas, Pichicuy, Quinquelles and Los Molles; and it is defined which are the most vulnerable to drought events. Finally, these systems are chosen to Los Molles to analyze the technical and economic feasibility for the execution of a desalination plant versus a traditional supply system.

Los Molles was defined mainly by the multiple problems of supply of drinking water that has had in the last years, in particular the problems of continuity and quality that occurred during the year 2013; reason why the Superintendencia de Servicios Sanitarios expired the concession that existed in the locality from the decade of the 90'.

To address the problem from the technical point of view, the quantity of fresh water available within the basin in which Los Molles are located is analyzed and quantified. For this, a basin water balance and a cadaster of the existing water rights are realized. In addition, the 'possibility of bringing water from the nearest river basins with availability of water is analyzed. Finally, three technically viable solution alternatives are established to ensure a permanent and continuous drinking water supply.

These three proposed alternatives are developed to a level of basic engineering, dimensioning the most important elements of the system, such as accumulation ponds, conduction diameters and pumping equipment.

Of the solution alternatives established for the supply of Los Molles, it is chosen by a cost-efficiency criterion one that consists in supplying the future deficit of the water resource by means of desalination of sea water. This alternative adds an extra capacity of water production of 1.908 [m³/d]. This increase in capacity, according to the calculations made, is sufficient to supply Los Molles from 2017-2032. Subsequently, the recommended rate is calculated so that the project is profitable by analyzing the project with the NPV-IRR criterion, with a required IRR of 9,5 %. The price per cubic meter calculated is \$1.840.

Finally, recommendations are made to improve the project's profitability and, mainly, to reduce the price of [m³].

Keywords: Production of drinking water, desalination, project evaluation.

Glosario

Agua potable: Agua que cumple con los parámetros exigidos en la norma chilena NCh 409 of 2005.

Captación: Obra mediante la cual se extrae agua. Puede ser una bocatoma en la ribera de un río, o una noria o un pozo profundo cuando se trata de agua subterránea.

Caudal: Unidad de volumen por unidad de tiempo del agua que circula por un conducto abierto (río, estero, quebrada, canal, etc.) o por un conducto cerrado (tubería, bomba, alcantarilla, etc.). Generalmente se expresa en $[L/s]$, $[m^3/s]$, $[m^3/día]$, etc.

Cuenca: Área delimitada por la línea de las cumbres de cerros, en que sus aguas afluyen a un mismo punto en un río, lago o mar.

Estanque de regulación: Unidad de almacenamiento de agua potable, el cual está conectado a la red de distribución.

Pozo: Excavación de poco diámetro (máximo 50 [cm]), que se hace con máquinas especiales de percusión o retropropulsión, con la finalidad de alumbrar aguas subterráneas.

Sentina: Unidad de almacenamiento de agua que no está conectada a la red de distribución de agua potable.

Índice General

1	Introducción.....	18
2	Objetivos.....	19
2.1	Generales	19
2.2	Específicos.....	19
3	Definición de la localidad a estudiar	20
3.1	Características de las localidades costeras en el área de estudio.....	21
3.1.1	Las Salinas de Pullally	21
3.1.2	Pichicuy	22
3.1.3	Los Quinquelles.....	23
3.1.4	Los Molles.....	24
3.2	Criterios de decisión y localidad seleccionada para el estudio	25
4	Parámetros de diseño	26
4.1	Caudal de diseño.	26
4.1.1	Caudal requerido	26
4.1.2	Población abastecida	26
4.1.3	Aguas no contabilizadas	29
4.1.4	Coeficientes y factores de máximo consumo.....	30
4.1.5	Dotaciones de consumo y producción	31
4.1.6	Cálculo del caudal requerido.....	32
4.1.7	Análisis de fuentes disponibles.....	33
4.1.8	Cálculo del caudal de diseño	35
5	Diseño de las alternativas de solución	36
5.1	Alternativa 1.A. y 1.B.: Desalación de agua de mar.....	36
5.1.1	Dimensionamiento de la planta de osmosis.....	36
5.1.2	Alternativa 1.A: Desalación con captación mediante sifón.....	41
5.1.3	Alternativa 1.B: Desalación con captación mediante pozos playeros	63
5.2	Alternativa 2: Traer agua desde cuencas vecinas.....	71
6	Evaluación económica y selección de alternativa.....	72
6.1	Evaluación económica de la Alternativa 1.A.....	72
6.1.1	Inversión inicial de la Alternativa 1.A.....	72

6.1.2	Costos anuales de la Alternativa 1.A.....	79
6.1.3	Indicador económico de la Alternativa 1.A.	82
6.2	Evaluación económica Alternativa 1.B.....	82
6.2.1	Inversión inicial de la Alternativa 1.B.	82
6.2.2	Costos anuales de la Alternativa 1.B.	85
6.2.3	Indicador económico de la Alternativa 1.B.	87
6.3	Evaluación económica de la Alternativa 2.	88
6.3.1	Inversión inicial de la Alternativa 2.	88
6.3.2	Costos anual de operación de la Alternativa 2.	88
6.3.3	Indicador económico de la Alternativa 2.	89
6.4	Selección de alternativa.....	90
6.5	Rentabilidad del proyecto.....	92
7	Conclusiones.....	99
8	Referencias	100
	Anexo A: Balance hídrico de la cuenca en estudio.	104
	Anexo B: Estudio de precios de obras civiles.....	136
	Anexo C: Estudio de costos eléctricos.....	146
	Anexo D: Código Matlab utilizado en la Alternativa 1.A.	151

Índice de tablas

Tabla 4.1: Datos poblacionales. Elaboración propia a partir de datos SiSS e INE.....	28
Tabla 4.2: Tasas de crecimiento de Los Molles. Elaboración Propia.....	28
Tabla 4.3: Proyección de población para el periodo de previsión. Elaboración propia.....	29
Tabla 4.4: Datos de facturación mensual Los Molles en [m ³]. Fuente: SiSS.....	30
Tabla 4.5: Dotaciones de consumo. Elaboración propia.	31
Tabla 4.6: Caudal de diseño. Elaboración propia.....	32
Tabla 4.7: Características del acuífero de Los Molles en año 1994. Elaboración propia a partir de datos de (Cabrera, 1994).	34
Tabla 4.8: Balance oferta - demanda. Elaboración propia.	35
Tabla 5.1: Modelos de equipos de osmosis inversa. Fuente: Pure Aqua Inc.	37
Tabla 5.2 Cotización de equipos de osmosis. Fuente: Pure Aqua Inc.	38
Tabla 5.3: Factores de pérdida singular. (Stephenson, 1989)	44
Tabla 5.4: Rango mareal para los puertos secundarios cercanos a la zona de estudio. (SHOA, 2014)	47
Tabla 5.5: Cotas de terreno. Elaboración propia a partir de datos de Google Earth.	49

Tabla 5.6: Equipos de osmosis seleccionados. Elaboración propia a partir de datos Pure Aqua Inc.	54
Tabla 5.7: Datos de entrada al algoritmo "Alternativa1A.m". Elaboración propia.....	56
Tabla 5.8: Equipos de osmosis seleccionados. Elaboración propia a partir de datos Pure Aqua Inc.	67
Tabla 6.1: Costos de suministro de tubería por metro. Fuente: COSMOPLAS.	73
Tabla 6.2: Costo neto de la inversión para la captación de la Alternativa 1.A. Elaboración propia.	74
Tabla 6.3: Precios de las plantas de osmosis (con pre y postratamiento incluido). Fuente: Pure Aqua Inc.	75
Tabla 6.4: Costos de instalación de tubería por metro en zanja. Elaboración propia a partir de datos DOH.	77
Tabla 6.5: Costo de instalación de conducciones del proyecto. Elaboración propia.	77
Tabla 6.6: Costo de instalación del emisario. Elaboración propia.	78
Tabla 6.7: Resumen de inversión inicial para la alternativa 1.A. Elaboración propia.	78
Tabla 6.8: Potencia requerida para la instalación de los equipos proyectados. Elaboración propia.	79
Tabla 6.9: Demandas promedio para los días de verano en el periodo de operación del proyecto. Elaboración propia.	80
Tabla 6.10: Costos eléctricos asociados a la producción de agua por desalinización. Elaboración propia.	80
Tabla 6.11: Costos anuales del proyecto. Elaboración propia.	81
Tabla 6.12: Indicador VAC de la Alternativa 1.A. Elaboración propia.	82
Tabla 6.13: Inversión inicial para la Alternativa 1.B.	83
Tabla 6.14: Inversión inicial para la impulsión de la Alternativa 1.B. Elaboración propia.	84
Tabla 6.15: Inversión inicial para el emisario de descarga de la Alternativa 1.B. Elaboración propia.	84
Tabla 6.16: Resumen de inversión inicial para la alternativa 1.B. Elaboración propia.	85
Tabla 6.17: Potencia requerida para la instalación de los equipos proyectados. Elaboración propia.	86
Tabla 6.18: Costos eléctricos asociados a la producción de agua por desalinización. Elaboración propia.	86
Tabla 6.19: Costos anuales del proyecto. Elaboración propia.	87
Tabla 6.20: Indicador VAC de la Alternativa 1.B. Elaboración propia.	87
Tabla 6.21: Costo anual de la Alternativa 2. Elaboración propia.	88
Tabla 6.22: Indicador VAC de la Alternativa 1.B. Elaboración propia.	89
Tabla 6.23: Resumen de la evaluación económica para las alternativas estudiadas. Elaboración propia.	90
Tabla 6.24: Tasas de rentabilidad de la deuda pública. (Ministerio de Hacienda, 2016).	93
Tabla 6.25: Cálculo del volumen de producción de cada fuente en la situación con proyecto. Elaboración propia.	93
Tabla 6.26: Costo eléctrico de producción de agua potable a partir de las fuentes actuales del sistema. Elaboración propia.	94

Tabla 6.27: Volumen de agua a facturar durante el periodo de previsión del proyecto. Elaboración propia.	95
Tabla 6.28: Flujos netos para el cálculo del VAN. Elaboración propia.	96
Tabla A.1: Distribución de la Evapotranspiración Potencial. (CIREN - CNR, 1997)	107
Tabla A.2: Evapotranspiración Potencial Mensual "Hoya del Estero Los Molles", en [mm]. Elaboración propia.	107
Tabla A.3: Registro Pluviométrico "Estación Quebrada El Manzano", correspondiente al Estero Los Molles, en [mm]. Fuente: DGA.	108
Tabla A.4: Registro Pluviométrico "Estación Quilimarí", en [mm]. Fuente: DGA.	109
Tabla A.5: Registro Pluviométrico "Estación Longotoma", en [mm]. Fuente: DGA.	110
Tabla A.6: Registro Pluviométrico "Estación Los Cóndores", en [mm]. Fuente: DGA.	111
Tabla A.7: Registro extendido de la "Estación Quebrada El Manzano", en mm. Fuente: Elaboración propia.	114
Tabla A.8: Balance hídrico año 1977, unidades en [mm]. Elaboración propia.	115
Tabla A.9: Balance hídrico año 1978, unidades en [mm]. Elaboración propia.	116
Tabla A.10: Balance hídrico año 1979, unidades en [mm]. Elaboración propia.	116
Tabla A.11: Balance hídrico año 1980, unidades en [mm]. Elaboración propia.	117
Tabla A.12: Balance hídrico año 1981, unidades en [mm]. Elaboración propia.	117
Tabla A.13: Balance hídrico año 1982, unidades en [mm]. Elaboración propia.	118
Tabla A.14: Balance hídrico año 1983, unidades en [mm]. Elaboración propia.	118
Tabla A.15: Balance hídrico año 1984, unidades en [mm]. Elaboración propia.	119
Tabla A.16: Balance hídrico año 1985, unidades en [mm]. Elaboración propia.	119
Tabla A.17: Balance hídrico año 1986, unidades en [mm]. Elaboración propia.	120
Tabla A.18: Balance hídrico año 1987, unidades en [mm]. Elaboración propia.	120
Tabla A.19: Balance hídrico año 1988, unidades en [mm]. Elaboración propia.	121
Tabla A.20: Balance hídrico año 1989, unidades en [mm]. Elaboración propia.	121
Tabla A.21: Balance hídrico año 1990, unidades en [mm]. Elaboración propia.	122
Tabla A.22: Balance hídrico año 1991, unidades en [mm]. Elaboración propia.	122
Tabla A.23: Balance hídrico año 1992, unidades en [mm]. Elaboración propia.	123
Tabla A.24: Balance hídrico año 1993, unidades en [mm]. Elaboración propia.	123
Tabla A.25: Balance hídrico año 1994, unidades en [mm]. Elaboración propia.	124
Tabla A.26: Balance hídrico año 1995, unidades en [mm]. Elaboración propia.	124
Tabla A.27: Balance hídrico año 1996, unidades en [mm]. Elaboración propia.	125
Tabla A.28: Balance hídrico año 1997, unidades en [mm]. Elaboración propia.	125
Tabla A.29: Balance hídrico año 1998, unidades en [mm]. Elaboración propia.	126
Tabla A.30: Balance hídrico año 1999, unidades en [mm]. Elaboración propia.	126
Tabla A.31: Balance hídrico año 2000, unidades en [mm]. Elaboración propia.	127
Tabla A.32: Balance hídrico año 2001, unidades en [mm]. Elaboración propia.	127
Tabla A.33: Balance hídrico año 2002, unidades en [mm]. Elaboración propia.	128
Tabla A.34: Balance hídrico año 2003, unidades en [mm]. Elaboración propia.	128
Tabla A.35: Balance hídrico año 2004, unidades en [mm]. Elaboración propia.	129
Tabla A.36: Balance hídrico año 2005, unidades en [mm]. Elaboración propia.	129

Tabla A.37: Balance hídrico año 2006, unidades en [mm]. Elaboración propia	130
Tabla A.38: Balance hídrico año 2007, unidades en [mm]. Elaboración propia	130
Tabla A.39: Balance hídrico año 2008, unidades en [mm]. Elaboración propia	131
Tabla A.40: Balance hídrico año 2009, unidades en [mm]. Elaboración propia	131
Tabla A.41: Balance hídrico año 2010, unidades en [mm]. Elaboración propia	132
Tabla A.42: Balance hídrico año 2011, unidades en [mm]. Elaboración propia	132
Tabla A.43: Balance hídrico año 2012, unidades en [mm]. Elaboración propia	133
Tabla A.44: Balance hídrico año 2013, unidades en [mm]. Elaboración propia	133
Tabla A.45: Balance hídrico año 2014, unidades en [mm]. Elaboración propia	134
Tabla A.46: Derechos de agua constituidos en las cuencas en estudio. Elaboración propia a partir del registro de la DGA.....	135
Tabla B.1: Extracto del presupuesto de El Escorial con precios de instalación de tuberías. Fuente: DOH.....	137
Tabla B.2: Extracto del presupuesto de El Escorial con precio de estanque de regulación con capacidad de 75 m3. Fuente: DOH.....	138
Tabla B.3: Extracto del presupuesto de Ventana Alto con precios de instalación de tuberías. Fuente: DOH.....	140
Tabla B.4: Precios de movimientos de tierra para instalación de tuberías. Elaboración propia.	140
Tabla B.5: Costos de excavación por metro de tubería instalada. Elaboración propia.	140
Tabla B.6: Costo de la cama de arena por metro de tubería instalada. Elaboración propia.....	141
Tabla B.7: Costo del relleno por metro de tubería instalada. Elaboración propia.	141
Tabla B.8: Costo del retiro de excedentes por metro de tubería instalada. Elaboración propia. ..	142
Tabla B.9: Costos de instalación por metro de tubería. Elaboración propia.....	143
Tabla B.10: Presupuesto de Valle Hermoso con precio de construcción de pozo. Fuente: DOH...	145
Tabla C.1: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2006. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.....	146
Tabla C.2: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2007. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.....	146
Tabla C.3: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2008. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.....	146
Tabla C.4: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2009. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.....	146
Tabla C.5: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2010. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.....	147
Tabla C.6: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2011. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.....	147
Tabla C.7: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2012. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.....	147
Tabla C.8: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2013. Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.	147
Tabla C.9: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2014. Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.	148

Tabla C.10: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2015. Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.	148
Tabla C.11: Tarifica eléctrica estimada para el periodo de previsión del proyecto. Elaboración propia.	150

Índice de figuras

Figura 3.1: Mapa de la Región de Valparaíso. (ODEPA, 2014).....	20
Figura 3.2: Mapa de la Provincia de Petorca. (Instituto Nacional de Estadística, 2005).....	21
Figura 3.3: Las Salinas de Pullally. (Google Earth).	22
Figura 3.4: Pichicuy. (Google Earth).	22
Figura 3.5: Los Quinquelles. (Google Earth).	23
Figura 3.6: Los Molles. (Google Earth).	24
Figura 4.1: Plan regulador intercomunal Valparaíso, satélite borde costero norte. (Andrade J. & Hidalgo D., 1996)	27
Figura 4.2: Parámetros de la fórmula de Darcy. Fuente: Elaboración propia.	34
Figura 4.3: Domo de intrusión salina. (Cabrera, 1994).	34
Figura 5.1: Planta de osmosis inversa estándar. Fuente: Pure Aqua Inc.	37
Figura 5.2: Esquema de una captación costera. (Missimer, Hogan, & Pankratz, 2015)	39
Figura 5.3: Esquema de captación mar adentro, con transporte de agua mediante túneles. (Baudish, 2015)	39
Figura 5.4: Esquema de captación mar adentro, con transporte de agua mediante instalación de tuberías acostadas en lecho marino. (Fuente: www.conocedominga.cl).....	40
Figura 5.5: Esquema de pozos de captación.(Maliva & Missimer, 2015)	40
Figura 5.6: Captación costera mediante sifón considerados en la Alternativa 1.A. Elaboración propia.	41
Figura 5.7: Parámetros de cálculo de la Alternativa 1.A. Elaboración propia.	42
Figura 5.8: Pérdidas de carga por singularidades. Elaboración propia.	44
Figura 5.9: Nivel del mar debido a mareas en el Puerto de Valparaíso, estimación para 2015. Elaboración propia a partir de los datos de (SHOA, 2014).....	46
Figura 5.10: Comparación de la predicción de mareas del SHOA y la fórmula propuesta. Elaboración propia a partir de los datos del SHOA.....	48
Figura 5.11: Puntos de captación propuestos Alternativa 1.A. (Google Earth).....	49
Figura 5.12: Cotas de terreno. (Google Earth).....	50
Figura 5.13: Esquema de la sentina proyectada. Elaboración propia.	51
Figura 5.14: Ubicación en terreno de la captación proyectada.....	52
Figura 5.15: Esquema de la captación proyectada para la Alternativa 1.A. Elaboración propia.....	53
Figura 5.16: Ejemplo esquemático de una curva de funcionamiento alterada con un variador de frecuencia. Elaboración propia.....	58
Figura 5.17: Simulación del sistema en conjunto t = 15h 50m 10s, Alternativa 1.A. Elaboración propia.	59

Figura 5.18: Simulación del sistema en conjunto t = 44h 10m 10s, Alternativa 1.A. Elaboración propia.	60
Figura 5.19: Simulación del sistema en conjunto t = 95h 50m 10s, Alternativa 1.A. Elaboración propia.	61
Figura 5.20: Esquema de planta del recinto de tratamiento proyectado. Elaboración propia.	62
Figura 5.21: Ubicación propuesta para los sondeos. (Google Earth).	64
Figura 5.22: Selección de equipo de bombeo. Elaboración propia.	65
Figura 5.23: Esquema de la captación propuesta para la Alternativa 1.B. Elaboración propia.	66
Figura 5.24: Ejemplo de filtros para pretratamiento. Fuente: Pure Aqua Inc.	67
Figura 5.25: Trazado propuesto para la impulsión. Fuente: Google Earth.	68
Figura 5.26: Elección de equipo de bombeo para impulsión de agua producida. Elaboración propia.	69
Figura 5.27: Esquema de planta del recinto de tratamiento para la Alternativa 1.B. Elaboración propia.	70
Figura 6.1: Costo estimado de instalación de emisario por metro. (Reiff, 1986).	74
Figura 6.2: Corte de excavación de zanja. Elaboración propia a partir de NCH 2282/2	76
Figura 6.3: Resumen de la evaluación económica para las alternativas estudiadas.	90
Figura 6.4: Gráfico comparativo del valor actual de costos de las alternativas estudiadas. Elaboración propia.	91
Figura 6.5: Representación gráfica de los flujos de caja estimados para el proyecto. Elaboración propia.	97
Figura 6.6: Representación gráfica de los flujos de caja estimados para el proyecto con un subsidio del 50%. Elaboración propia.	98
Figura 6.7: Representación gráfica de los flujos de caja estimados para el proyecto con un subsidio del 100%. Elaboración propia.	98
Figura A.1: Precipitaciones anuales en la localidad de Los Molles. Fuente: Elaboración propia a partir de datos pluviométricos de la DGA.	104
Figura A.2: Bahía de Los Molles. Fuente: Google Earth.	104
Figura A.3: Cuencas en estudio. En blanco "Hoya del Estero Los Molles" y en amarillo "Hoya del Estero Villa Huaquén". Fuente: Google Earth.	105
Figura A.4: Esquema simplificado del modelo Thonthwaite-Mather. Elaboración propia.	106
Figura A.5: Cartografía de Evapotranspiración Potencial en la zona de interés. (CIREN - CNR, 1997)	107
Figura A.6: Estaciones Pluviométricas cercanas a la localidad de Los Molles. FUENTE: Google Earth.	108
Figura A.7: CDA Los Molles - Quilimarí. FUENTE: Elaboración propia a partir de los datos de la DGA.	112
Figura A.8: CDA Los Molles - Los Cóndores. FUENTE: Elaboración Propia a partir de los datos de la DGA.	113
Figura A.9: CDA Los Molles - Longotoma. FUENTE: Elaboración Propia a partir de los datos de la DGA.	113
Figura B.1: Formulario de oferta económica El Escorial. Fuente: DOH.	137

Figura B.2: Formulario de oferta económica Ventana Alto. Fuente: DOH.....	139
Figura B.3: Formulario de oferta económica Valle Hermoso. Fuente: DOH.	144
Figura C.1: Comportamiento histórico del cargo fijo para la tarifa AT 4.3. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.	148
Figura C.2: Comportamiento histórico del cargo por energía para la tarifa AT 4.3. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.	149
Figura C.3: Comportamiento histórico del cargo por demanda contratada para la tarifa AT 4.3. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.	149
Figura C.4: Comportamiento histórico del cargo por demanda en hora punta para la tarifa AT 4.3. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.	150

1 INTRODUCCIÓN

El abastecimiento de agua potable de manera permanente y continua es fundamental para el desarrollo de cualquier asentamiento humano, desde una gran ciudad a un caserío. Por esta razón, en un país en vías de desarrollo como Chile se debe asegurar el abastecimiento de agua potable en todos los centros urbanos del territorio nacional. Según los datos oficiales, la cobertura urbana alcanza un 99,9% (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2014). Sin embargo, este valor se refiere a la existencia de redes de abastecimiento dentro de las áreas de concesión, lo cual no necesariamente implica una buena calidad del servicio ni un abastecimiento seguro a todas las personas que habitan estas zonas.

En Chile el abastecimiento de agua potable está dividido en dos partes: i) las áreas de concesión a cargo de empresas sanitarias. Por ejemplo, en la región de Valparaíso operan cuatro (ESVAL, SASIPA, COOPAGUA y ESSSI) y son reguladas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios. ii) las áreas no reguladas que normalmente corresponden a localidades rurales donde los sistemas de agua potable son administrados por Comités y Cooperativas conformadas por los mismos habitantes de las localidades.

En los últimos años la mayor parte de Chile ha sufrido de una prolongada sequía, la cual ha comprometido el abastecimiento de agua potable en muchas zonas del país. Una de las zonas más afectadas es la Provincia de Petorca, la cual fue declarada zona de catástrofe derivada de la sequía en 2015. Dado este antecedente, se considera de vital importancia la búsqueda nuevas fuentes de abastecimiento, que aseguren un abastecimiento de agua potable y que le permitan a esta zona tener la oportunidad de desarrollarse.

La presente memoria se enfoca en analizar la situación del abastecimiento de agua en la zona litoral de la Provincia de Petorca, proponiendo soluciones dirigidas específicamente a la desalinización de agua de mar en Los Molles.

2 OBJETIVOS

2.1 GENERALES

- Analizar el estado actual de los sistemas de abastecimiento de agua potable en la zona litoral de la Provincia de Petorca, definiendo cuales son las localidades que se encuentran vulnerables a eventos de sequía.
- De los sistemas vulnerables, seleccionar uno para ahondar en una solución al problema enfocándose principalmente en desalinización de agua de mar.

2.2 ESPECÍFICOS

- Investigación de los métodos de desalinización existentes en la actualidad y los más convenientes de aplicar en este caso de estudio.
- Calcular los requerimientos de producción de agua potable.
- Calcular la disponibilidad de aguas subterráneas y superficiales de cuencas costeras mediante balances hídricos.
- Evaluar económicamente proyectos de desalación, en particular, en localidades costeras donde existe un gran consumo en un periodo acotado de tiempo (típicamente enero y febrero).
- Analizar la factibilidad de traer agua desde cuencas cercanas a la zona de estudio.
- Calcular la rentabilidad de un proyecto de desalación.
- Establecer recomendaciones para rentabilizar futuras implementaciones de estas tecnologías.

Nacional de Estadística, 2010). El clima, se clasifica como templado de tipo mediterráneo costero, donde las variaciones de temperaturas son bajas debido a la influencia del océano. El promedio anual es de 14° (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2015).

Dentro de la zona en estudio se encuentran 4 localidades costeras a analizar: Las Salinas de Pullally, Pichicuy, Los Quinquelles y Los Molles (Figura 3.2). La razón por la cual se han elegido localidades pequeñas y no las ciudades que también se encuentran en la misma zona, como Papudo o Zapallar, es que estas últimas pertenecen al área concesional de la empresa sanitaria ESVAL S.A. la cual tiene una conducción de agua que viene desde el Río Aconcagua y llega hasta La Ligua, abasteciendo sin problemas ambas ciudades. En consecuencia, se asume que para estas localidades el abastecimiento de agua potable está garantizado.



Figura 3.2: Mapa de la Provincia de Petorca. (Instituto Nacional de Estadística, 2005).

En este capítulo se da una breve descripción de cada una de las localidades y se presenta aquella que finalmente es seleccionada para estudiar en detalle la una solución al abastecimiento de agua potable.

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS LOCALIDADES COSTERAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1 LAS SALINAS DE PULLALLY

Esta localidad pertenece administrativamente a la Comuna de Papudo y sus coordenadas aproximadas son (32°26'11,11" S; 71°21'30.32" O). En 2007 contaba con 233 habitantes (IFARLE Ingenieros Civiles Consultores Ltda., 2007). Sus principales actividades económicas son la agricultura

y la pesca artesanal. Cabe destacar que esta zona no es de uso turístico, no encontrándose centros turísticos ni lugares donde esté permitido pernoctar.

En cuanto al abastecimiento de agua potable, posee un sistema administrado por el “Comité de agua potable rural Las Salinas”, el cual fue instalado por la Dirección de Obras Hidráulicas (En adelante DOH) el año 1998. Como fuente de agua posee una captación de agua subterránea. Hasta el momento, este sistema ha sido suficiente para satisfacer la demanda total de sus habitantes, de manera permanente y continua.



Figura 3.3: Las Salinas de Pullally. (Google Earth).

3.1.2 PICHICUY

Pichicuy pertenece administrativamente a la Comuna de La Ligua, se ubica en las coordenadas (32°20'26.65" S; 71°27'17.06" O).

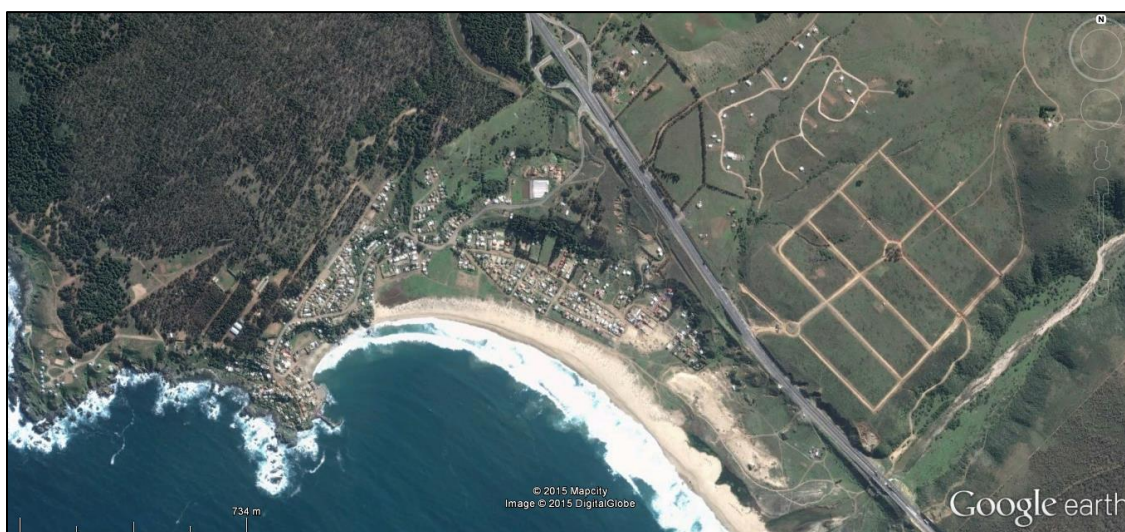


Figura 3.4: Pichicuy. (Google Earth).

En 2002 poseía una población de 625 habitantes (Instituto Nacional de Estadística, 2005). La actividad principal de sus habitantes es la pesca artesanal y el turismo, aunque a pesar de ser considerado un centro turístico no posee grandes centros recreacionales. Aun así, se puede apreciar un aumento considerable en la población flotante, la cual mayoritariamente acampa en la playa y el resto arrienda casas particulares del sector.

En cuanto al abastecimiento, la localidad posee un sistema de agua potable rural instalado por la DOH. Este servicio se encuentra en un estado deficitario y no es capaz de cubrir toda la demanda de la población. Durante el año 2015 se ejecutó una obra de emergencia por parte de la DOH, la cual consiste en una noria-dren en el lecho del Estero Huaquén. El caudal de explotación de la nueva captación es aproximadamente 10 l/s, suficiente para satisfacer la demanda de la población.

3.1.3 LOS QUINQUELLES

Los Quinquelles se ubica a un costado de la Ruta 5 Norte, con coordenadas aproximadas de (32°17'00.99" S, 71°28'06.52" O). Esta localidad pertenece administrativamente a la comuna de La Ligua.

Dentro de las cuatro localidades analizadas, ésta es la que tiene una mayor población flotante. En 2002 se contabilizaron 104 habitantes para 651 viviendas (Instituto Nacional de Estadística, 2005). A partir de esto se deduce que la gran mayoría de las casas son segunda vivienda o casas de verano. Sin embargo, en Los Quinquelles no existen grandes centros turísticos ni caletas de pescadores.



Figura 3.5: Los Quinquelles. (Google Earth).

La localidad posee un sistema de agua potable solo para un pequeño sector, el cual se abastece exclusivamente de camiones aljibes. En verano, donde la población aumenta explosivamente, el sistema solo cubre una hora de demanda por día. A finales de 2014 hasta mediados de 2015 la DOH ejecutó prospecciones en busca de fuentes naturales de agua dulce cerca de la localidad, pero los

resultados no fueron satisfactorios. Dados los malos resultados de la búsqueda de una fuente de agua dulce para Los Quinquelles, la DOH ha licitado de un diseño de ingeniería para estudiar una solución al problema de abastecimiento de agua de la localidad (D.S. N° 130, 2015).

3.1.4 LOS MOLLES

Los Molles es la localidad costera que se ubica más al norte en la Región de Valparaíso. Sus coordenadas aproximadas son (32°14'21.75" S; 71°30'42.46" O) y pertenece administrativamente a la Comuna de La Ligua.

Los últimos datos oficiales indican que esta localidad posee 636 habitantes y 678 viviendas (Instituto Nacional de Estadística, 2005). Esto indica que posee un explosivo aumento poblacional en la época estival debido a su atractivo turístico. Cuenta con centros recreativos, arriendos de cabañas, zonas de camping, etc., pero a diferencia de la localidad de los Quinquelles, esta localidad posee también una caleta de pescadores y está cerca de una empresa de acuicultura, donde varios habitantes del pueblo trabajan.



Figura 3.6: Los Molles. (Google Earth).

Actualmente en Los Molles existe un sistema de agua potable concesionado. Esta concesión originalmente era a favor de la Empresa de Agua Potable Los Molles S.A., la cual fue caducada por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (En adelante SiSS) en el año 2012 (SiSS, 2012), estableciéndose un administrador provisional para posteriormente realizar una nueva licitación pública y así adjudicar la concesión a otra empresa sanitaria. Finalmente, la nueva concesión fue adjudicada en junio de 2014 (D.S. N° 315, 2015) pero aún no se ha entregado una solución definitiva al abastecimiento de agua potable sobre todo en los meses de enero y febrero que son de alta demanda. La Gobernación de la Provincia de Petorca ha debido apoyar con camiones aljibes para mantener el servicio operativo. Como ayuda a este sistema, mientras se mantuvo con un administrador provisional, la Municipalidad de La Ligua presentó ante la Subsecretaría de Desarrollo

Regional (SUBDERE) una iniciativa que consistió en la instalación de una planta de osmosis inversa¹, la cual ha logrado mejorar notablemente la calidad del agua que consumen los habitantes del poblado. Sin embargo, persisten los problemas de abastecimiento debido a que la sequía que afecta la zona ha reducido la capacidad de producción de las fuentes actuales (Municipalidad de La Ligua, 2013).

3.2 CRITERIOS DE DECISIÓN Y LOCALIDAD SELECCIONADA PARA EL ESTUDIO

Los criterios a utilizar para definir cuál de las localidades presentadas en 3.1 se selecciona son los siguientes:

1. En caso de contar con un sistema operativo de manera permanente y continua se descarta la localidad.
2. En caso de que se esté evaluando invertir en la localidad en el corto plazo, ésta se descarta.
3. Finalmente se decide por la cantidad de habitantes a satisfacer, priorizando las localidades con mayor población permanente.

Después de analizar una a una las todas localidades presentadas en 3.1 y utilizando los criterios propuestos, la localidad seleccionada es Los Molles. La localidad de Las Salinas de Pullally se descartó debido a que poseen un sistema de abastecimiento que hasta el momento no ha tenido problemas de abastecimiento, por lo menos a nivel de fuentes. Pichicuy fue descartado, debido a que durante este año se ampliará la red de abastecimiento y se agregará una nueva captación de agua dulce construida durante el año 2015. La localidad de Los Quinquelles fue descartada también, pues en la actualidad existe una iniciativa de inversión por parte de la DOH, mediante la cual se estudiará una solución al abastecimiento de agua potable, que contemplaría la instalación de una planta de osmosis inversa. Finalmente, Los Molles pasó los tres criterios de decisión mencionados anteriormente, es decir, posee un sistema con problemas de abastecimiento a nivel de fuente, no posee iniciativas de inversión a corto plazo y es la localidad con mayor población permanente de todas las que están en análisis.

¹ La planta de osmosis inversa instalada para la producción de agua potable en Los Molles no es para desalinizar agua de mar, sino que para eliminar el exceso de cloruros y otros sólidos disueltos que posee el acuífero del cual se extrae el agua.

4 PARÁMETROS DE DISEÑO

Para el dimensionamiento de los componentes del sistema es necesario definir parámetros de diseño. Dado que el caudal es el parámetro que influye directamente en el cálculo de todas las alternativas se considera el más importante. Sin embargo, a lo largo de este trabajo se consideran parámetros de menor importancia como las mareas, la composición del agua y la topografía; los cuales serán abordados en el desarrollo de cada alternativa ya que difieren dependiendo de la alternativa de solución propuesta.

4.1 CAUDAL DE DISEÑO.

Para calcular el caudal de diseño a utilizar, es necesario en primera instancia determinar el caudal requerido para abastecer a la localidad y el caudal disponible, siendo el caudal de diseño la resta de ambos.

4.1.1 CAUDAL REQUERIDO

El cálculo del caudal requerido hará siguiendo el procedimiento de la norma chilena “NCh 691 of. 2015: Producción, conducción, almacenamiento y distribución – Requisitos de diseño”. La razón para seleccionar esta normativa es que la zona en estudio es un área de concesión regulada por la SiSS. Según esta normativa, se deben calcular los siguientes valores: i) Aguas no contabilizadas, ii) Coeficientes y factores de máximo consumo y iii) Dotaciones. Además, se debe tener el dato de la población abastecida y su respectiva proyección en el periodo de previsión.

Estos parámetros deben calcularse en base a estadísticas de al menos 5 años. Para este trabajo se utilizaron datos de los censos poblacionales oficiales de 1992 (INE, 1995) y 2002 (Instituto Nacional de Estadística, 2005), datos de facturación desde 2011 a 2014 entregados vía ley de transparencia por la SiSS (Folio 10224562) y datos utilizados en el informe técnico presentado por la Ilustre Municipalidad de La Ligua ante la Subdirección de Desarrollo Regional (SUDERE) para la gestión de fondos de la obra “Mejoramiento sistema de agua potable Los Molles, Comuna de La Ligua”.

4.1.2 POBLACIÓN ABASTECIDA

Para determinar la población abastecida se usan los datos de los censos 1992 y 2002; y los datos entregados por la SiSS.

Los datos entregados por la SiSS están en términos de cantidad de clientes conectados al sistema y los datos de los censos están en términos de viviendas. A falta de información, se asume que cada cliente corresponde a una vivienda. Esto se sustenta principalmente en el “Reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y alcantarillado”, que en su artículo 4° establece “Todo propietario de inmueble urbano edificado con frente a una red pública de agua potable o alcantarillado, deberá instalar a su costa, tanto las instalaciones domiciliarias de agua potable y alcantarillado, como el arranque de agua potable y la unión domiciliaria de alcantarillado...” (D.S. N° 50, 2003). Además, el Plan Regulador Intercomunal vigente establece la localidad como zona urbana, siendo aplicable la normativa antes citada (Figura 4.1).

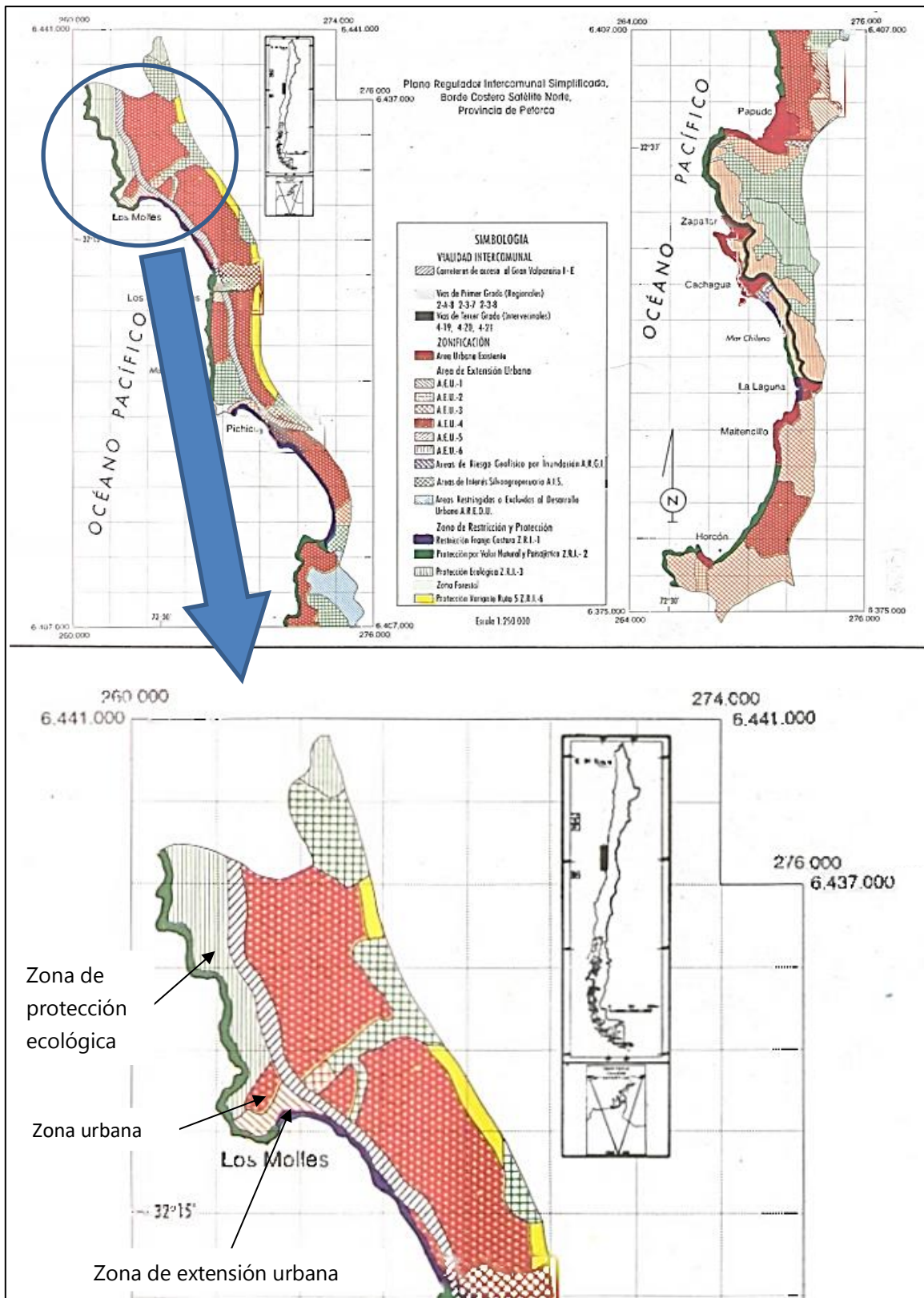


Figura 4.1: Plan regulador intercomunal Valparaíso, satélite borde costero norte. (Andrade J. & Hidalgo D., 1996)

Tabla 4.1: Datos poblacionales. Elaboración propia a partir de datos SiSS e INE.

Año	Población [hab]	Viviendas
1992	533	517
2002	636	678
2014	-	908

De la Tabla 4.1 se determina que la densidad poblacional era 1,03 [hab/viv] en 1992 y 0,94 [hab/viv] en 2002. Estas densidades tan bajas se explican por la condición de centro turístico que tiene Los Molles. Para este estudio se considera una densidad poblacional de 1 [hab/viv], como valor constante durante todo el periodo de previsión. En consecuencia, la población en el año 2014 se define como 908 habitantes. Se representa el comportamiento de la población mediante una proyección geométrica.

$$P_n = P_o \times (1 + i)^n \text{ [hab]} \quad (4.1)$$

Donde P_o es la población en el último año en que se tiene registro, i es la tasa de crecimiento, n es el año para el cual se está calculando la proyección de población y P_n población calculada para el año n . Despejando i de (4.1) se llega a (4.2).

$$i = \left(\frac{P_n}{P_o} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad (4.2)$$

Esta ecuación permite calcular la tasa de crecimiento media en un determinado periodo. En la Tabla 4.2 se muestran las tasas de crecimiento calculadas a partir de los datos poblacionales disponibles.

Tabla 4.2: Tasas de crecimiento de Los Molles. Elaboración Propia.

Tasa de crecimiento	
1992 - 2002	2,75%
2002 - 2014	2,46%

A partir de las tasas de crecimiento calculadas para los periodos 1992 a 2014, se toma la tasa de crecimiento para el periodo de previsión del proyecto como 3,0 %.

Hasta ahora se tiene la cantidad de población a abastecer en un año cercano al año de proyecto, su tasa de crecimiento prevista y un modelo de proyección de población adoptado. Con esto se realiza una proyección de población a 15 años, debido a que este tiempo es el horizonte de inversión exigido en la Ley General de Servicios Sanitarios (D.F.L. N° 318, 1988). El año de inicio se estima en 2017.

Tabla 4.3: Proyección de población para el periodo de previsión. Elaboración propia.

Año	Actividad	Clientes	Habitantes
2014	Último año con datos	908	908
2015	Año de estudio	935	935
2016	Año de estudio	963	963
2017	Año de la inversión inicial	992	992
2018	1° año de funcionamiento	1.022	1.022
2019	2° año de funcionamiento	1.053	1.053
2020	3° año de funcionamiento	1.084	1.084
2021	4° año de funcionamiento	1.117	1.117
2022	5° año de funcionamiento	1.150	1.150
2023	6° año de funcionamiento	1.185	1.185
2024	7° año de funcionamiento	1.220	1.220
2025	8° año de funcionamiento	1.257	1.257
2026	9° año de funcionamiento	1.295	1.295
2027	10° año de funcionamiento	1.333	1.333
2028	11° año de funcionamiento	1.373	1.373
2029	12° año de funcionamiento	1.415	1.415
2030	13° año de funcionamiento	1.457	1.457
2031	14° año de funcionamiento	1.501	1.501
2032	15° año de funcionamiento	1.546	1.546

Se estima al año 15 de la puesta en marcha del proyecto se atenderá a una población de 1.546 personas.

4.1.3 AGUAS NO CONTABILIZADAS

Las aguas no contabilizadas (ANC) son la diferencia entre la medición del agua producida y facturada. Esta diferencia siempre existe, y tiene varias causales como, por ejemplo, fugas por roturas en las redes, imprecisiones en los elementos de medición, consumos en incendios, etc. Se expresan como un porcentaje y se calcula según (4.3).

$$ANC = \frac{VAP - VAF}{VAP} \times 100 [\%] \quad (4.3)$$

Donde VAP es el volumen anual de agua producida en metros cúbicos y VAF es el volumen anual de agua facturada. Para este estudio la SiSS ha facilitado los datos de facturación, pero no los datos de producción. Ante esta falta de datos precisos se ha tomado el valor de las ANC como 34%, que se estima es el promedio a nivel nacional (A y S Consultores Ltda, 2014).

4.1.4 COEFICIENTES Y FACTORES DE MÁXIMO CONSUMO

Los coeficientes y factores de máximo consumo definidos en la NCh 691 son: Coeficiente del mes de máximo consumo (CMMC), Coeficiente del día de máximo consumo (CDMC), Factor del día de máximo consumo (FDMC) y Factor de hora de máximo consumo (FHMC). Las fórmulas para calcularlos son las siguientes.

$$CMMC = \frac{\text{consumo máximo mensual}}{\text{consumo medio mensual}} \quad (4.4)$$

$$CDMC = \frac{\text{consumo máximo diario}}{\text{consumo medio diario del mes de mayor consumo}} \quad (4.5)$$

$$FDMC = CMMC \times CDMC \quad (4.6)$$

$$FHMC = \frac{\text{consumo máximo horario}}{\text{consumo máximo diario}/24} \quad (4.7)$$

Los datos requeridos para realizar los cálculos de las ecuaciones mostradas anteriormente fueron solicitados a la SiSS, la cual solo entregó registros parciales. Estos registros se muestran en la Tabla 4.4.

Con los datos de la Tabla 4.4 solo se puede calcular con exactitud el CMMC de los años 2011 y 2013, dando como resultado 3,10 y 3,51 respectivamente. Se ha asumido el valor de 3,5 como constante para todo el periodo de previsión del proyecto.

Tabla 4.4: Datos de facturación mensual Los Molles en [m³]. Fuente: SiSS.

	2011	2012	2013	2014
Enero	10.600	12.577	8.158	
Febrero	16.122	14.902	22.285	
Marzo	3.458	5.041	6.990	
Abril	4.361	3.826	2.882	4.472
Mayo	2.964		4.139	3.942
Junio	2.744		2.260	2.844
Julio	1.856		4.305	3.823
Agosto	2.720		4.040	3.985
Septiembre	3.981		6.206	7.668
Octubre	5.442		4.166	6.859
Noviembre	2.932		6.359	5.122
Diciembre	5.274		4.315	7.814

Dado a que no se tiene información acerca de los consumos diarios de Los Molles, se debe asumir un valor del CDMC. En las normas de diseño de agua potable rural se recomienda un FDMC entre

1,2 a 1,5. A partir de esto se deduce que el CDMC está entre 1 y 1,5. Además, según estudios hechos en Estados Unidos, se determinó que en promedio el valor del FDMC es 1,8 (Hickey, 2008), por lo que el CDMC oscila entre 1 y 1,8. Con base en lo anterior, se asumirá el valor del CDMC como 1,5.

Finalmente, utilizando la ecuación (4.6) se establece el FDMC como un valor constante de 5,25.

El FHMC es un factor que se utiliza para el dimensionamiento de las redes de distribución. Por este motivo no se calcula para este estudio.

4.1.5 DOTACIONES DE CONSUMO Y PRODUCCIÓN

Algebraicamente se define la dotación de consumo como el cociente entre el volumen anualmente facturado y el promedio de la población abastecida en el año multiplicado por 365.

$$D. c. = \frac{VAF}{Pob. A \times 365} \text{ [L/hab/día]} \quad (4.8)$$

Conceptualmente este parámetro identifica el consumo diario promedio por habitante de la localidad abastecida.

A partir de la Tabla 4.4 se calcula el volumen facturado anual del año 2011 y 2013, dando como resultado 62.454 y 76.105 [m³/año] respectivamente. En cuanto a la población abastecida en estos años no se tiene el dato exacto, pero según el informe de la SUBDERE, la cantidad de clientes era 838 y 906 respectivamente. Manteniendo el supuesto de que la cantidad de clientes es igual a la cantidad de viviendas y la densidad poblacional de 1 [hab/viv], se calcula la dotación de consumo de los años que se tiene registro completo de los volúmenes facturados. Estas dotaciones se muestran en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Dotaciones de consumo. Elaboración propia.

Año	Dotación de consumo [L/hab/día]
2011	204
2013	239

A partir de dos datos no sería correcto asumir algún tipo de comportamiento, ya sea un crecimiento lineal o exponencial, por este motivo se asumirá arbitrariamente un valor constante para todo el periodo de previsión. El valor de la dotación de consumo impuesto es 250 [L/hab/día].

La dotación de producción se calcula según (4.9).

$$D. p. = \frac{D. c.}{1 - \left(\frac{ANC}{100}\right)} \text{ [L/hab/día]} \quad (4.9)$$

Para el periodo de previsión se calcula la dotación de producción constante, bajo el mismo criterio utilizado para calcular la dotación de consumo. Considerando la D. c. igual a 250 [L/hab/día] y ANC de 34%, se llega a una D. p. de 378,8 [L/hab/día].

4.1.6 CÁLCULO DEL CAUDAL REQUERIDO

Con los parámetros calculados anteriormente se tiene la información para calcular el caudal de requerido para abastecer a la población de Los Molles. Dado que el objetivo principal de este estudio es entregar una solución al abastecimiento de agua a nivel de producción, este es el valor más importante a considerar.

El caudal medio de producción se calcula con (4.10), donde se asume una cobertura del 100%.

$$Q_{md} = \frac{Pob \times A \times D. p.}{86.400} \text{ [L/s]} \quad (4.10)$$

A partir de esta expresión se calcula un caudal medio por cada año, ya que la población varía con el tiempo como se muestra en la Tabla 4.3. Este cálculo es un paso previo para calcular el caudal máximo diario ($Q_{máxd}$), que es el que finalmente se ocupa para diseñar las obras de asociadas a la producción de agua potable. $Q_{máxd}$ se calcula según (4.11).

$$Q_{máxd} = FDMC \times Q_{md} \text{ [L/s]} \quad (4.11)$$

Adicionalmente, se calcula el volumen diario de producción para satisfacer la demanda en el día de máximo consumo, pues los catálogos de las plantas de osmosis están en metros cúbicos por día. Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 4.6.

De estos resultados se desprende que al año 15 de previsión del proyecto el $Q_{máxd}$ será 35,6 [L/s]. Este caudal calculado depende de las horas de producción, pues si se tiene una producción continua durante las 24 horas del día se requiere un caudal de 35,6 [L/s]. Pero si se tiene una producción durante 12 horas, por dar un ejemplo, el caudal requerido sería 71,2 [L/s].

Tabla 4.6: Caudal de diseño. Elaboración propia.

Año	Habitantes	Q_{md} [L/s]	$Q_{máxd}$ [L/s]	Volumen máximo diario a producir [m³]
2017	992	4,3	22,8	1.973
2018	1.022	4,5	23,5	2.032
2019	1.052	4,6	24,2	2.092
2020	1.084	4,8	25,0	2.156
2021	1.117	4,9	25,7	2.221
2022	1.150	5,0	26,5	2.287
2023	1.184	5,2	27,3	2.355
2024	1.220	5,3	28,1	2.426

Tabla 4.6: Caudal de diseño. Continuación.

Año	Habitantes	Qmd [L/s]	Qmáxd [L/s]	Volumen máximo diario a producir [m³]
2025	1.257	5,5	28,9	2.500
2026	1.294	5,7	29,8	2.573
2027	1.333	5,8	30,7	2.651
2028	1.373	6,0	31,6	2.730
2029	1.414	6,2	32,5	2.812
2030	1.457	6,4	33,5	2.897
2031	1.500	6,6	34,5	2.983
2032	1.546	6,8	35,6	3.074

4.1.7 ANÁLISIS DE FUENTES DISPONIBLES

Para una toma de decisión acertada de la solución al problema de abastecimiento de agua potable de la localidad en estudio, es necesario analizar todas las posibles fuentes existentes en el sector.

En el Anexo A se analiza la disponibilidad de recursos hídricos realizando un balance entre la evapotranspiración y la precipitación. A partir de este análisis, se concluye que la cuenca no posee potencial para captar agua de manera superficial, ni siquiera con la construcción de un embalse, debido a la gran cantidad de meses y hasta años sin presencia de esorrentía superficial.

Las únicas alternativas técnicamente viables para la captación de agua potable en Los Molles son la construcción de norias o pozos, traer agua de cuencas vecinas (en camiones aljibes o por conducciones) o desalinizar agua de mar.

Estas alternativas no son excluyentes entre sí; es posible que la solución definitiva sea una combinación de todas las anteriores, lo cual se analiza en mayor detalle a lo largo del presente capítulo.

4.1.7.1 Aguas subterráneas

La construcción de norias significa aprovechar las aguas subterráneas disponibles en la cuenca. En una primera aproximación realizada en el Anexo A, se determinó que la cuenca del Estero Villa Huaquén, que donde se encuentran las captaciones actuales, tiene un caudal subterráneo potencial de 23,5 [L/s]. Sin embargo, dicho cálculo supone características ideales del acuífero, por lo tanto, la capacidad de producción real de una batería de pozos será menor a lo estimado en el Anexo A.

Para estimar de manera más realista el caudal de agua subterránea en un acuífero libre, se utiliza la ecuación de Darcy (Punmia & Kumar Jain, 1995).

$$Q_{\text{acuífero}} = k \times i \times A \quad (4.12)$$

Siendo k el coeficiente de permeabilidad de Darcy [m/s], i el gradiente hidráulico [m/m] y A el área media de la sección transversal al flujo en [m²]. Para un mejor entendimiento estos parámetros se ilustran en la Figura 4.2, simplificando el acuífero como un elemento cúbico de ancho medio $\bar{b}$ y profundidad media $\bar{h}$.

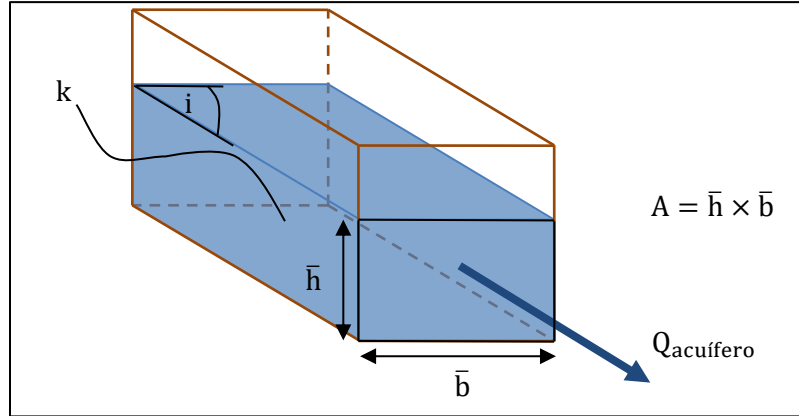


Figura 4.2: Parámetros de la fórmula de Darcy. Fuente: Elaboración propia.

Según estudios hechos a mediados de los años 90', las características del acuífero de Los Molles eran las que se muestran en la Tabla 4.7 (Cabrera, 1994).

Tabla 4.7: Características del acuífero de Los Molles en año 1994. Elaboración propia a partir de datos de (Cabrera, 1994).

k [m/s]	i [m/m]	$\bar{b}$ [m]	$\bar{h}$ [m]	$Q_{\text{acuífero}}$ [m ³ /s]
0,0014	0,002	350	16	0,0157

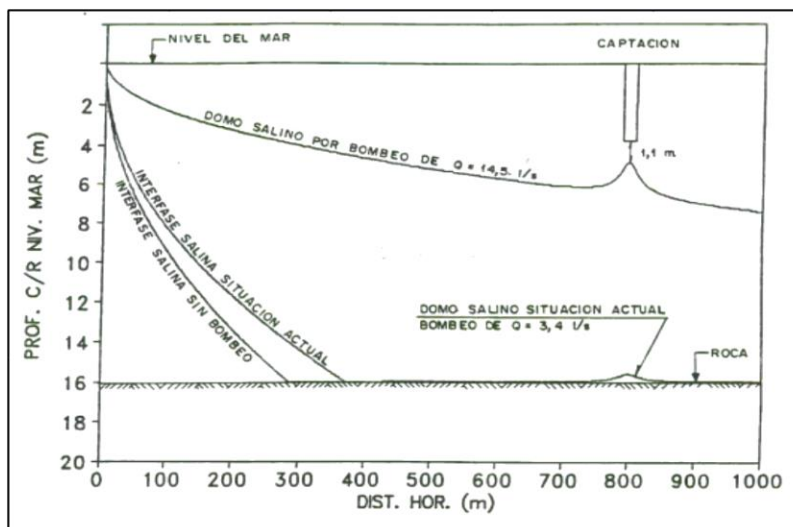


Figura 4.3: Domo de intrusión salina. (Cabrera, 1994).

Debido a que no se han podido recopilar datos más actualizados, se define $Q_{\text{acuifero}} = 15,7 \text{ [L/s]}$, como la cantidad máxima de agua dulce disponible en la cuenca. Sin embargo, en el mismo estudio se hace el análisis de la intrusión salina de las fuentes del sistema de agua potable, que son las mismas que se ocupan actualmente, llegando a la conclusión que el caudal máximo que se puede extraer sin correr el riesgo de intrusión salina es $Q_{\text{prod-máx}} = 14,5 \text{ [L/s]}$ (Figura 4.3). Si se lleva esto a volumen producido diario, el resultado es $1.253 \text{ [m}^3\text{]}$, siendo este valor el volumen máximo de agua dulce disponible en la zona en estudio.

4.1.8 CÁLCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO

Como se expone a lo largo de este capítulo, se requiere tener una capacidad de producción diaria de $3.074 \text{ [m}^3\text{/día]}$ para cubrir la demanda durante el periodo de previsión del proyecto. Pero como se determina en la sección 4.1.7, la capacidad máxima del acuífero es $1.253 \text{ [m}^3\text{/día]}$.

Tabla 4.8: Balance oferta - demanda. Elaboración propia.

Año	Oferta $[\text{m}^3\text{/día}]$	Demanda $[\text{m}^3\text{/día}]$	Déficit $[\text{m}^3\text{/día}]$
2017	1.253	1.973	720
2027	1.253	2.651	1398
2032	1.253	3.074	1.821

Por consiguiente, queda demostrado que la cantidad de agua presente en la cuenca no es suficiente para mantener el desarrollo de la localidad, siendo necesario analizar nuevas fuentes de abastecimiento. El déficit calculado en la Tabla 4.8 se considera como el caudal de diseño.

5 DISEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Durante el presente capítulo se aborda el diseño hidráulico de 3 alternativas de solución. Dado que dos alternativas corresponden a desalación de agua de mar, las cuales solo difieren en la forma de captar el agua cruda, se les llama Alternativas 1.A. y 1.B. La Alternativa 2 es la que actualmente está en uso por parte del concesionario, la cual corresponde a abastecer la localidad con el agua dulce disponible y suplementar en los periodos de escasez con camiones aljibe.

5.1 ALTERNATIVA 1.A. Y 1.B.: DESALACIÓN DE AGUA DE MAR.

La primera alternativa de solución propuesta es la implementación de un sistema desalinizador, capaz de suplir el déficit calculado en la Tabla 4.8.

En la actualidad, existen varios métodos para desalinizar agua de mar, por ejemplo: Osmosis Inversa, Electrodiálisis, Destilación Multi-Efecto (MED), Evaporación Multi-Etapa Flash (MSF), destilación por energía solar, etc. De estas tecnologías la más usada es la Evaporación Multi-Etapas Flash, debido principalmente a que fue una de las primeras tecnologías en desarrollarse para desalinizar agua. No obstante, la tendencia actual es la implementación de la Osmosis Inversa por su menor costo por metro cúbico de agua producida, 0,6 USD/m³ versus los 1,1 USD/m³ de la MSF (Lechuga, Rodríguez, & Lloveras M., 2007).

En Chile el método más utilizado para desalinizar agua de mar es la osmosis inversa (Montes, 2011), encontrándose empresas nacionales que ofrecen sistemas de desalinización por osmosis inversa. Esto representa una ventaja comparativa importante a la hora de elegir una tecnología de desalinización, pues al existir proveedores locales bajan los costos de mantención y posibles expansiones del proyecto en estudio.

En cuanto a las condiciones locales que puedan afectar la elección del sistema de tratamiento a utilizar, se ha determinado que las aguas del Océano Pacífico no presentan ninguna anomalía en su composición que pueda afectar alguno de los métodos de desalinización antes mencionados.

Dado que la osmosis inversa tiene el costo unitario de producción más bajo y que existen distribuidores locales para los equipos, se define como el proceso de desalación seleccionado para el presente estudio.

5.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE OSMOSIS.

La planta de osmosis se dimensiona para producir el déficit de caudal calculado en la Tabla 4.8, es decir, se debe instalar una planta que produzca 1.821 [m³/día].

Las plantas de osmosis son, para efectos prácticos, sistemas de filtración a presión, donde la presión requerida para su funcionamiento es proporcionada por bombas de alta presión. En este diseño se selecciona un periodo de operación de 15 años, asumiendo este tiempo como la vida útil estándar de una planta de osmosis, por lo tanto, no se requiere cambio de equipos durante la vida útil del proyecto.



Figura 5.1: Planta de osmosis inversa estándar. Fuente: Pure Aqua Inc.

Para definir el equipo se cotiza con empresas nacionales e internacionales, obteniendo el apoyo técnico de la empresa Pure Aqua Inc. de los Estados Unidos y Aguasin en Chile. En sus catálogos tienen varios sistemas de osmosis inversa disponibles. Para este estudio se seleccionan equipos de la gama SW ("Sea Water"), pues son los equipos diseñados especialmente para tratar el agua de mar.

Tabla 5.1: Modelos de equipos de osmosis inversa. Fuente: Pure Aqua Inc.

Model #	Permeate Flow Rate		Qty. of 8" Membranes (Single Stage)	Motor HP at 42,000 ppm		Approx. Weight (lbs)	Dimensions L"xW"xH"
	GPD	M ³ /D		60Hz	50Hz		
SW-8K-1280	8,000	30	2	15	15	2,600	120x42x72
SW-12K-1380	12,000	45	3	20	25	2,650	160x42x72
SW-16K-1480	16,000	61	4	25	30	2,700	195x60x72
SW-24K-2380	24,000	91	6	40	45	3,200	160x60x72
SW-32K-2480	32,000	121	8	60	65	4,200	195x72x72
SW-48K-2680	48,000	182	12	75	80	5,600	280x72x72
SW-64K-4480	64,000	242	16	60	65	6,500	195x72x72
SW-72K-3680	72,000	273	18	60	65	12,000	280x72x80
SW-96K-4680	96,000	363	24	85	100	13,000	280x72x80
SW-112K-4780	112,000	424	28	100	110	14,000	350x72x80
SW-136K-5680	136,000	515	30	110	120	15,000	280x72x80
SW-168K-6780	168,000	636	42	120	130	16,000	350x72x80
SW-196K-7780	196,000	742	49	130	150	16,500	350x72x80
SW-224K-8780	224,000	848	56	160	175	17,000	350x72x79
SW-252K-9780	252,000	954	63	175	190	18,000	350x72x79
SW-280K-10780	280,000	1,060	70	190	190	19,000	350x72x79
SW-317K-12780	317,000	1,200	84	190	290	20,000	350x85x80
SW-420K-15780	420,000	1,590	105	290	320	21,200	350x85x80
SW-500K-18780	500,000	1,893	126	320	320	22,000	350x85x81
SW-660K-18880	660,000	2,500	144	350	350	27,000	395x85x81

De la Tabla 5.1 se desprende que el aumento de caudal producido no tiene una proporcionalidad constante con respecto al aumento de potencia. Es decir, si se aumenta al doble el caudal producido se requiere un aumento cada vez menor de potencia.

Además, esta empresa entregó cotizaciones que se muestran en la Tabla 5.2, desde donde se concluye que aumentar el caudal producido al doble no significa que el precio del equipo aumenta al doble, sino que el aumento de precio es menor.

Tabla 5.2 Cotización de equipos de osmosis. Fuente: Pure Aqua Inc.

Modelo	Capacidad [m ³ /d]	Precio [USD] ²
SW-112K-4780	424	240.979
SW-280K-10780	1.060	502.456

Según lo expuesto hasta ahora no sería económico instalar varias plantas en paralelo. Por este motivo, se selecciona una configuración de dos plantas en paralelo solo por seguridad, es decir, que en caso de algún problema técnico en alguno de los equipos se pueda seguir produciendo agua, aunque sea en una cantidad menor.

Para el periodo de previsión del proyecto, que va desde 2017-2032, se requiere una capacidad de producción de 1.821 [m³/día]. Por lo tanto, se selecciona una planta modelo SW-224K-8780 y otra modelo SW-280K-10780. En conjunto estos equipos producen 1.908 [m³/día] y requieren de una potencia instalada de 265 [HP].

Hasta ahora se han seleccionado los equipos de osmosis inversa. Sin embargo, antes de pasar agua a través de cualquier equipo de osmosis inversa se requiere un tratamiento previo del agua bruta (pretratamiento), cuyo objetivo es eliminar cualquier material en suspensión, ya sea mineral u orgánico. El dimensionamiento del pretratamiento depende de la forma en que se capte el agua de mar, distinguiéndose dos formas de captar agua: superficial o subterránea.

Asimismo, las captaciones superficiales se distinguen en dos subgrupos: captaciones costeras y captaciones mar adentro. Las captaciones costeras, se instalan directamente en la costa. Tienen la ventaja que sus costos de instalación no son altos, pero la desventaja que su factibilidad depende en gran medida del comportamiento de la masa de agua a la que son conectadas (oleaje y mareas). Son recomendables para lagos salinos o zonas con poco oleaje. En Figura 5.2 se muestra un ejemplo de captación costera.

Las captaciones mar adentro, se instalan por lo general entre 100 y 1.000 metros aguas adentro. Este tipo de captaciones tienen la ventaja de proveer un caudal prácticamente ilimitado y una calidad del agua captada mejor que en las captaciones costeras. La desventaja es que los costos de construcción son altos debido a que se debe trabajar bajo la superficie del mar. El agua se transporta a través de tuberías las cuales pueden ser instaladas directamente sobre el lecho marino o mediante túneles. En las Figura 5.3 y Figura 5.4 se muestran esquemas de ambos tipos de instalación de tuberías de transporte.

² Los precios incluyen el pre y post tratamiento del agua. En este caso, el pretratamiento está dimensionado para una captación de agua a través de pozos playeros. No están incluidas las tasas de importe e impuestos.

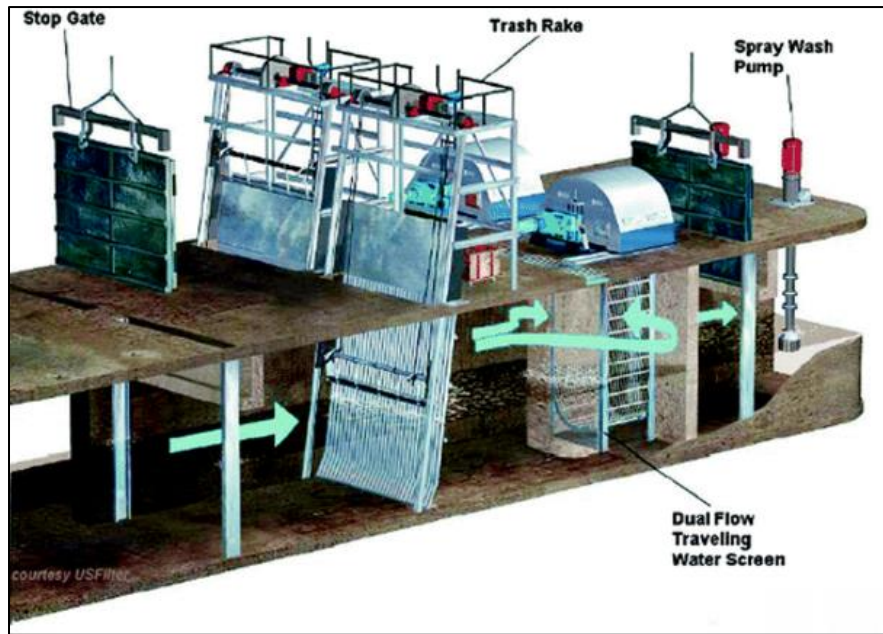


Figura 5.2: Esquema de una captación costera. (Missimer, Hogan, & Pankratz, 2015)

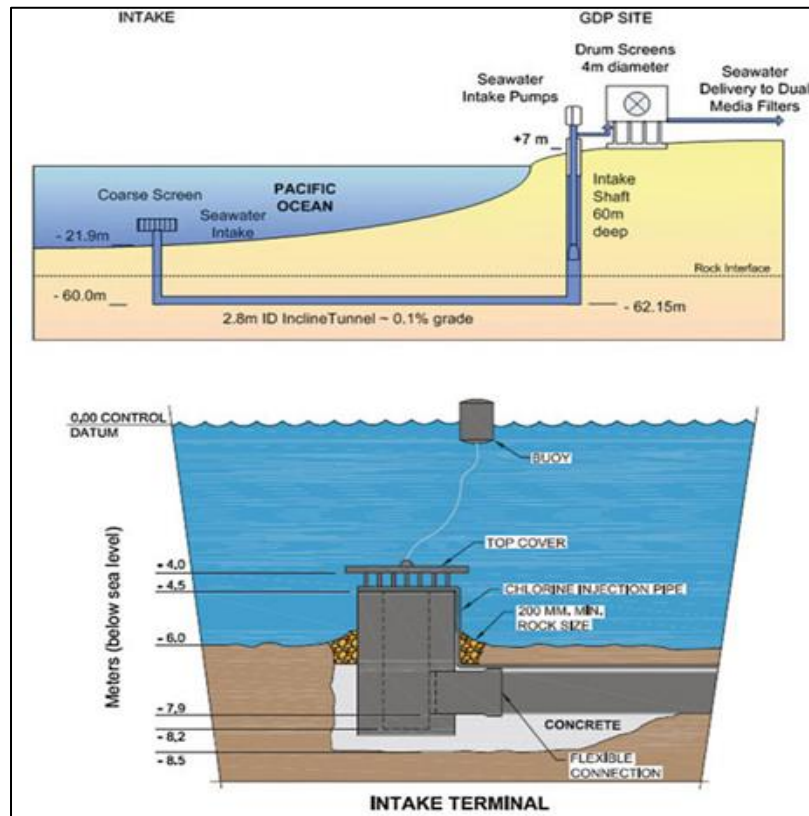


Figura 5.3: Esquema de captación mar adentro, con transporte de agua mediante túneles. (Baudish, 2015)

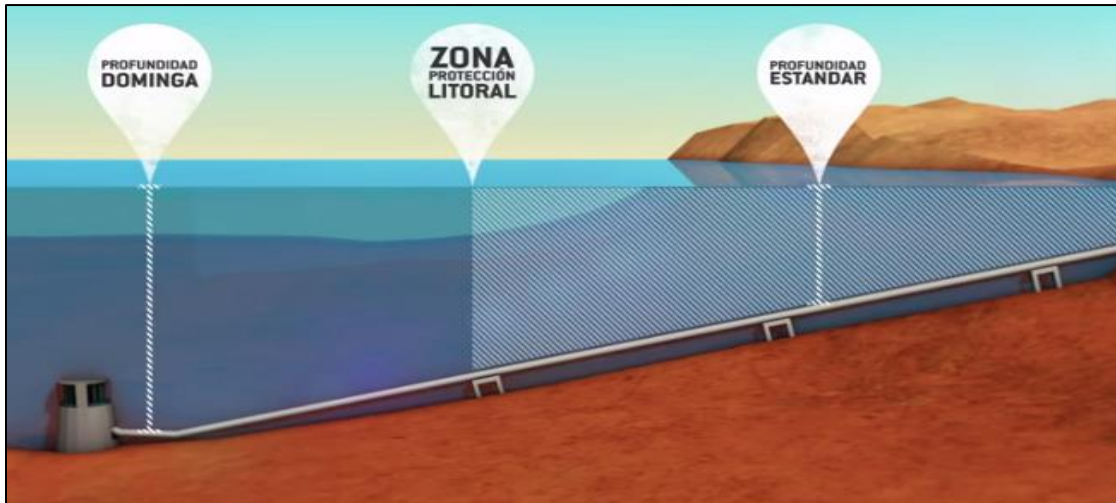


Figura 5.4: Esquema de captación mar adentro, con transporte de agua mediante instalación de tuberías acostadas en lecho marino. (Fuente: www.conocedominga.cl)

Las captaciones subterráneas son pozos de captación que aprovechan la intrusión salina del agua de mar. Sus ventajas son que para un caudal pequeño son más económicas y la calidad del agua captada es la mejor, comparándola con los otros sistemas de captación mostrados anteriormente. La desventaja es que su productividad depende de la permeabilidad. En la Figura 5.5 se muestra un esquema de captación mediante pozos.

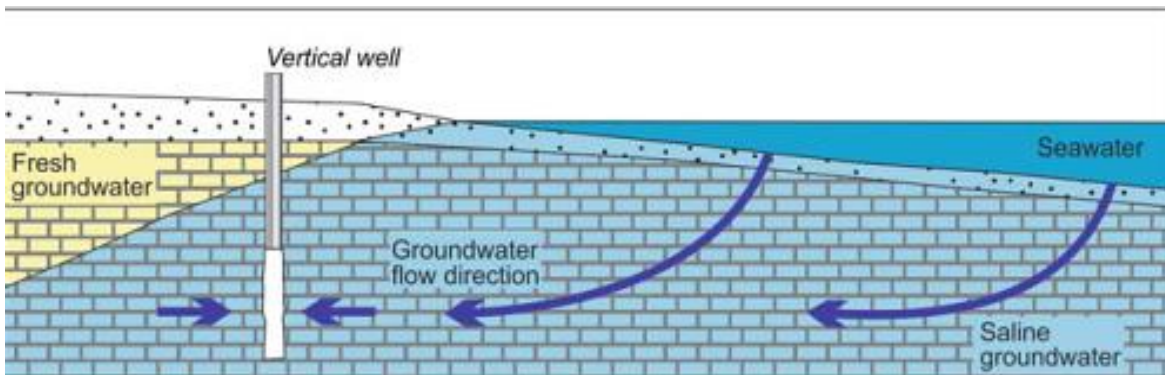


Figura 5.5: Esquema de pozos de captación. (Maliva & Missimer, 2015)

Cabe mencionar que existen algunas variantes para sistemas de captación subterránea, como por ejemplo pozos inclinados o galerías de infiltración.

La elección de la captación depende de varios factores como el volumen de agua a producir y las características geológicas del emplazamiento.

Las captaciones superficiales se ocupan comúnmente para plantas de osmosis con grandes producciones (sobre 20.000 [m³/día]) (Pankratz, 2015), y las captaciones subterráneas para

producciones menores. Esto se debe a que las captaciones subterráneas están limitadas por las condiciones de permeabilidad del sector, a diferencia de las captaciones superficiales que prácticamente poseen una recarga infinita. Las características geológicas de la costa también influyen en la selección del sistema de captación, pues para las captaciones subterráneas es necesario que exista un estrato con buena permeabilidad entre el punto de proyección del pozo y el mar. En el caso de captaciones como la que se muestra en la Figura 5.4 para instalar una tubería en el lecho del mar se requiere que este no sea rocoso.

Para el caso particular de esta memoria se requiere una producción de 1.821 [m³/día]. En consecuencia, la mejor opción sería una captación subterránea, dado que la producción de la planta sería menor a 20.000 [m³/día]. No obstante, también se analiza la alternativa de captación superficial. Estas alternativas se presentan en las secciones 5.1.2 y 5.1.3.

5.1.2 ALTERNATIVA 1.A: DESALACIÓN CON CAPTACIÓN MEDIANTE SIFÓN.

5.1.2.1 Captación Alternativa 1.A.

Como primera alternativa de desalación a analizar se propone una captación superficial tipo sifón, como se muestra en la Figura 5.6.

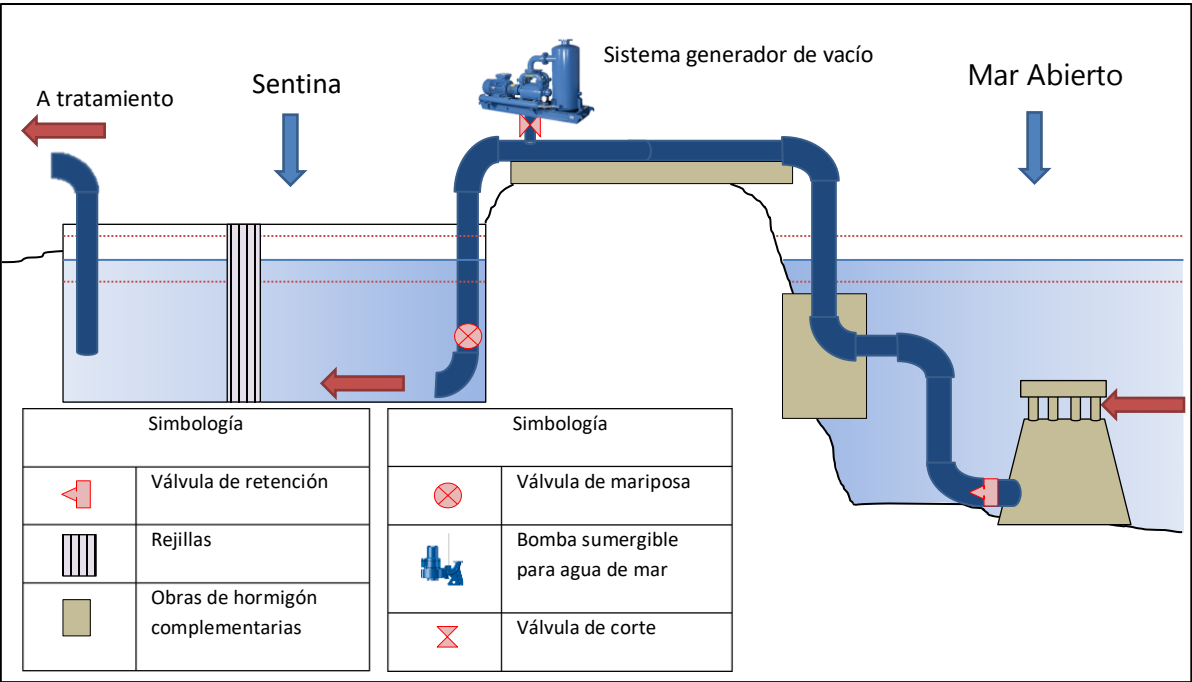


Figura 5.6: Captación costera mediante sifón considerados en la Alternativa 1.A. Elaboración propia.

Los motivos que llevaron a esta elección fueron: el bajo impacto visual que produce, ya que la mayoría de los elementos se instalan soterrados o sumergidos; y el menor costo de construcción comparado a soluciones similares a las mostradas en las figuras 5.2 y 5.3.

5.1.2.1.1 Bases de cálculo de la captación por sifón.

Para implementar este tipo de captación se debe encontrar un punto donde la diferencia de nivel entre el punto más alto de la tubería y el nivel mínimo de mareas sea menor a 10 [m], para evitar que el agua cavite dentro de la tubería. En la Figura 5.6 se identifica la mayoría de los elementos a proyectar.

Para dimensionar los elementos antes descritos se utilizan los siguientes parámetros:

z_1 = Nivel del mar.

z_2 = Altura de terreno.

z_3 = Nivel de descarga.

z_s = Nivel de la sentina.

Q_b = Caudal de bombeo.

ϕ = Diámetro de la tubería de captación.

Q = Caudal de la captación.

L = Largo de conducción.

En la Figura 5.7 se muestran estos parámetros. Además, se elimina para efectos de cálculo la campana de entrada del sifón, ya que ésta se dimensiona para tener aperturas de rejillas tales que la velocidad de entrada sea del orden de 0,15 [m/s], lo cual supone pérdidas de carga despreciables.

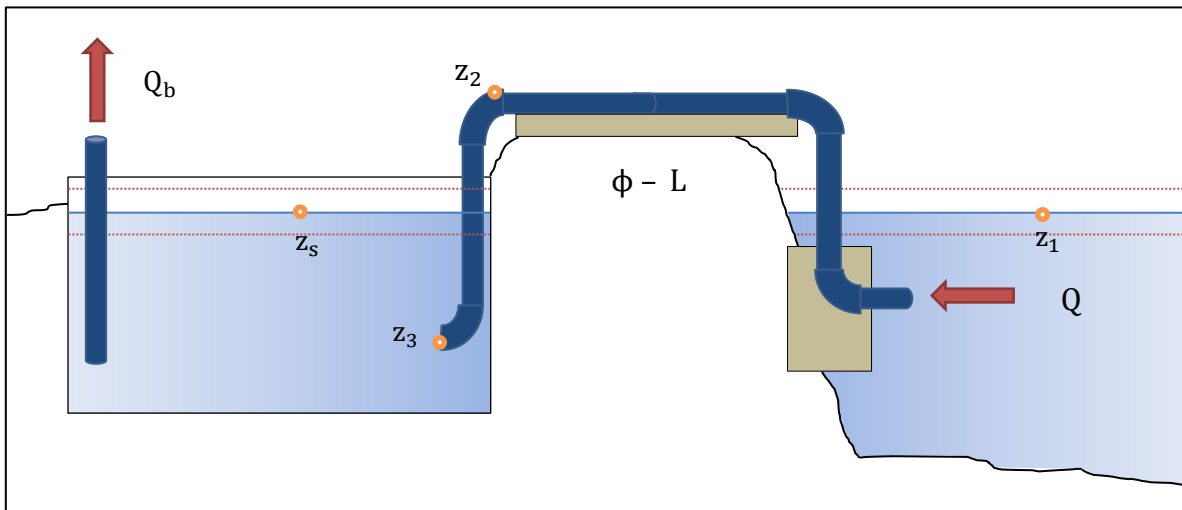


Figura 5.7: Parámetros de cálculo de la Alternativa 1.A. Elaboración propia.

De estos parámetros dos no pueden ser controlados por el diseñador: el nivel del mar (z_1) y el caudal de bombeo (Q_b). La idea es definir el resto de los parámetros para que z_s nunca sea menor que z_3 , donde z_3 está instalado a 2 metros bajo el nivel mínimo de la marea referido al nivel medio del mar.

Al lograr esto se evita recurrir a una sentina más profunda, facilitando su construcción y mantenimiento.

Existen algunas condiciones físicas que se deben considerar al momento de verificar los resultados del cálculo del comportamiento hidráulico del sifón. Estas condiciones son las siguientes:

- 1) $z_1 > z_3$
- 2) $P_{\text{absoluta}}(z_2) > P_{\text{vapor}}$

Para calcular el comportamiento hidráulico sifón se hace un balance de energía entre dos puntos. La expresión que define la energía en cada punto es conocida como ecuación de Bernoulli (5.1).

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z = E \quad (5.1)$$

Donde V es la velocidad del flujo, g es la aceleración de gravedad, P la presión, γ el peso específico del fluido, z la altura geométrica en relación a un punto de referencia y E es la energía calculada en el punto.

Nótese que (5.1) representa la energía de un punto específico, pero para comparar la energía de un punto con otro se debe considerar las pérdidas de energía en el recorrido (h_T), donde h_T tiene dos componentes: las pérdidas debido a la fricción en la conducción (h_f) y las pérdidas debido a alteraciones puntuales del flujo (h_s). En (5.2) se expresa la relación entre h_T , h_f y h_s .

$$h_T = h_f + h_s \quad (5.2)$$

Para calcular el término h_f se pueden usar varias fórmulas. Por simplicidad, y dado que estamos dentro del rango de aplicación, se usa en este caso la ecuación de Hazen-Williams, la cual tiene la siguiente forma:

$$h_{f(i-j)} = 10.67 \left(\frac{Q}{C_{HW}} \right)^{1.852} \frac{L_{i-j}}{\phi^{4.87}} \quad (5.3)$$

Donde Q es el caudal que pasa por la tubería de captación, C_{HW} es el coeficiente de Hazen-Williams, L_{i-j} es el largo de la tubería de conducción y ϕ es el diámetro de la tubería.

El C_{HW} depende de la viscosidad del fluido y la rugosidad del material de la tubería. La viscosidad del agua de mar se supondrá similar a la del agua dulce. El material de la tubería será HDPE, porque es uno de los materiales más usados en la actualidad por su resistencia a la corrosión, resistencia a la radiación, flexibilidad y precio.

El término h_s se determina mediante la siguiente expresión:

$$h_s = \sum_{i=1}^n k_i \frac{v^2}{2g} \quad (5.4)$$

Donde k_i es un factor empírico que cuantifica el efecto de cada alteración puntual en el flujo, como codos, reducción y/o válvulas. En la Tabla 5.3 se muestran los factores de pérdida de los elementos que debería incluir la captación proyectada.

Tabla 5.3: Factores de pérdida singular. (Stephenson, 1989)

Piezas que producen pérdidas	k_i
Codo en 90°	0,90
Codo en 45°	0,75
Entrada Extendida	1,00
Tee, con pasada directa	0,60
Válvula de retención	2,50
Válvula de corte o mariposa abierta	0,2

Para este caso se ha calculado un factor k de 7,9, debido a: cuatro codos en 90° ($k_i=3,6$), una entrada extendida ($k_i=1,0$), una Tee con pasada directa ($k_i=0,6$), una válvula de retención ($k_i=2,5$) y una válvula de mariposa abierta ($k_i=0,2$). En la Figura 5.8 se muestra gráficamente cuales fueron las singularidades consideradas para llegar al valor de k .

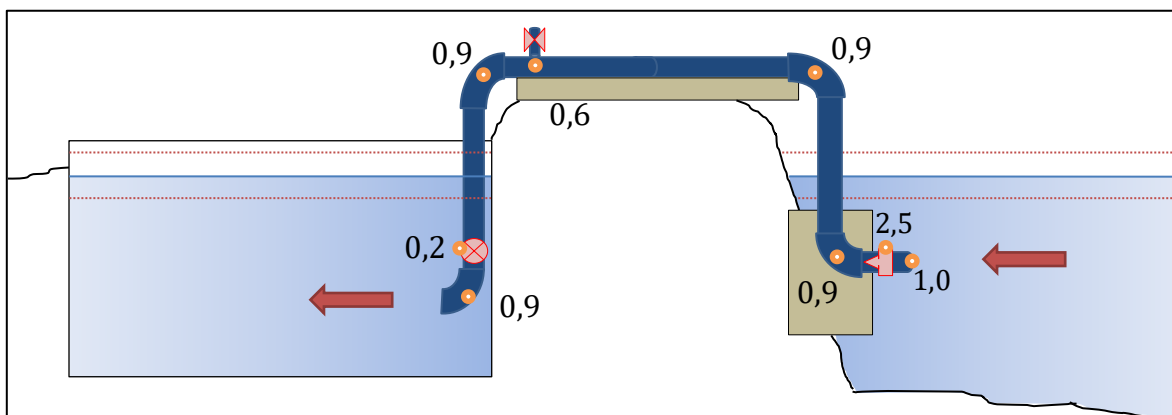


Figura 5.8: Pérdidas de carga por singularidades. Elaboración propia.

Nótese que el modelo de la Figura 5.8 fue simplificado, con respecto a la Figura 5.6, eliminando la campana de captación. Esto debido a que dicho elemento genera pérdidas de carga despreciables dadas las bajas velocidades de escurrimiento en éste, que como máximo debiesen ser 0,14 [m/s].

Con esto ya se tienen las bases teóricas para determinar el comportamiento hidráulico del sistema de captación propuesto.

Igualando energía entre la superficie del mar (En adelante z_1) y la salida del sifón (En adelante z_3), se obtiene una ecuación que permite determinar el caudal que escurre por la tubería cuando el nivel del agua en la sentina está bajo z_3 . Cuando z_s es mayor que z_3 , es decir que la salida del sifón está ahogada, se debe igualar la energía en z_1 con z_s .

Finalmente, las expresiones que permiten determinar el caudal que escurre por el sifón son:

$$\begin{cases} \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_3^2}{2g} + \frac{P_3}{\gamma} + z_3 + h_T & z_s < z_3 \\ \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_s^2}{2g} + \frac{P_s}{\gamma} + z_s + h_T & z_s > z_3 \end{cases} \quad (5.5)$$

Para simplificar el cálculo se harán las siguientes consideraciones:

- 1) La velocidad con que cambia el nivel del agua del mar y la sentina es insignificante en relación al resto de los parámetros.
- 2) Se toma el nivel medio del mar como el nivel de referencia.
- 3) En ambas superficies de agua actúa la misma presión atmosférica.

Con esto (5.5), queda como se muestra a continuación.

$$\begin{cases} z_1 = \frac{V_3^2}{2g} + z_3 + h_T & z_s < z_3 \\ z_1 = z_s + h_T & z_s > z_3 \end{cases} \quad (5.6)$$

Reemplazando en (5.6) el término h_T , por la suma de (5.3) y (5.4), se llega al conjunto de ecuaciones que describe de manera aproximada el funcionamiento del sistema de captación por sifón.

$$\begin{cases} z_1 = \frac{Q^2}{2gA^2} + z_3 + 10.67 \left(\frac{Q}{C_{HW}} \right)^{1.852} \frac{L_{1-3}}{\phi^{4.87}} + 7.9 \frac{Q^2}{2gA^2} & z_s < z_3 \\ z_1 = z_s + 10.67 \left(\frac{Q}{C_{HW}} \right)^{1.852} \frac{L_{1-3}}{\phi^{4.87}} + 7.9 \frac{Q^2}{2gA^2} & z_s > z_3 \end{cases} \quad (5.7)$$

Las ecuaciones deducidas en (5.7) permiten determinar el caudal que escurre por el sifón, dados los niveles de agua dentro de la sentina y en el mar.

Nótese que al determinar un caudal en un instante i , se puede suponer que en el instante $i + 1$ el nivel en la sentina está dado por la (5.8).

$$z_s(i+1) = \frac{(Q(i) - Q_b(i)) \times \Delta t}{(A_s)} + z_s(i) \quad (5.8)$$

Donde $Q(i)$ es el caudal que entra a la sentina en el instante i (es negativo si va desde la sentina al mar), $Q_b(i)$ se refiere al caudal de bombeo aspirado por la planta desaladora en el instante i , Δt es el tiempo entre el instante i y el instante $i+1$, A_s es el área de la sentina.

La ecuación (5.8) es más exacta a medida que el valor de Δt es más pequeño. En este caso se consideró $\Delta t = 30$ [s] como tiempo razonable.

Como se sabe el nivel del mar no es un valor fijo; éste varía principalmente por el efecto de las mareas. Como ejemplo, en la Figura 5.9, se muestra la predicción del comportamiento de las mareas para el Puerto de Valparaíso.

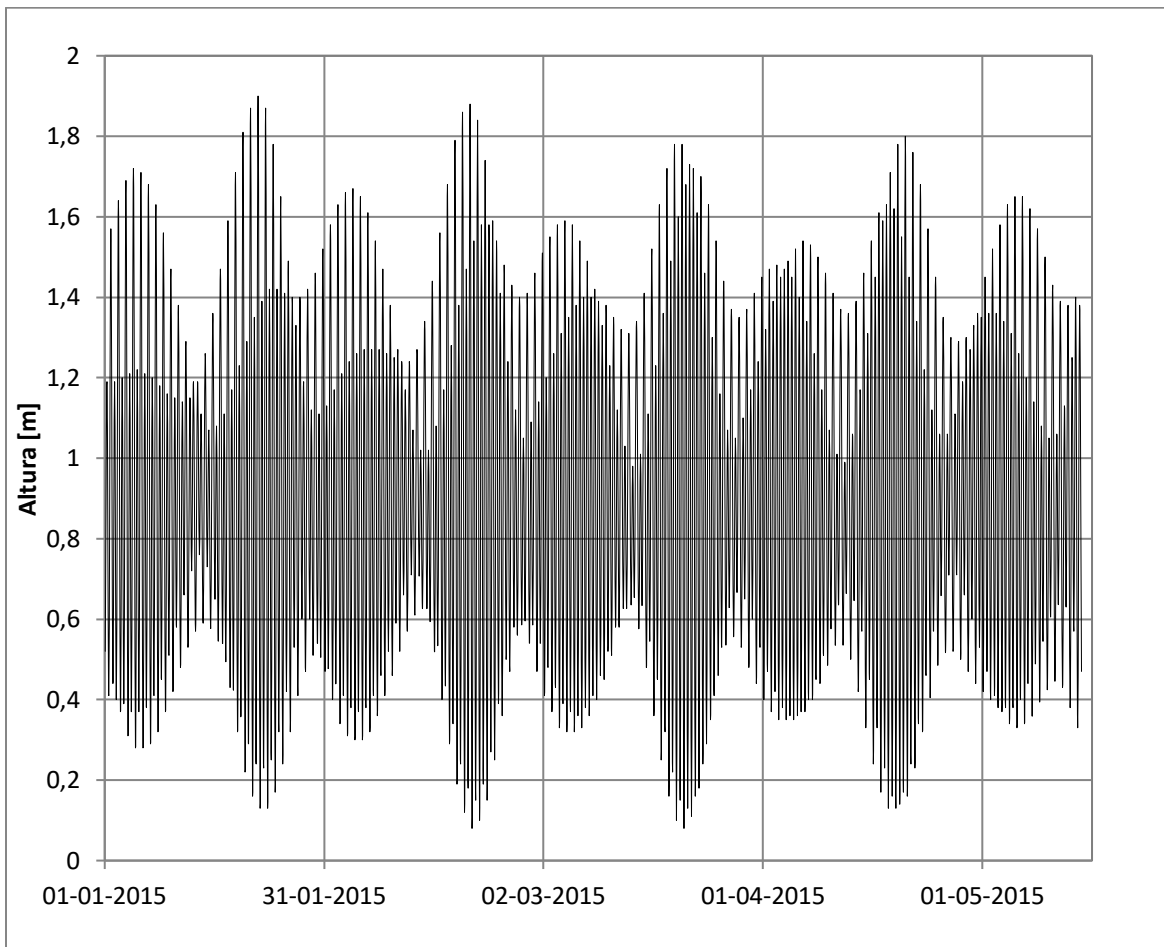


**Figura 5.9: Nivel del mar debido a mareas en el Puerto de Valparaíso, estimación para 2015.
Elaboración propia a partir de los datos de (SHOA, 2014).**

En la Figura 5.9, el comportamiento del mar es similar a la sumatoria de varias funciones sinusoidales. Para efectos de diseño se utilizará una única función sinusoidal (5.9).

$$z_1(i) = \frac{RM}{2} \text{Seno} \left(\frac{2\pi}{3600} \frac{i}{CM} \Delta t \right) \quad (5.9)$$

Dónde RM es el rango mareal en [m], CM es el ciclo mareal en [hrs], Δt es el salto de tiempo seleccionado [s], i es un contador adimensional.

Tabla 5.4: Rango mareal para los puertos secundarios cercanos a la zona de estudio. (SHOA, 2014)

Nº	LOCALIDAD	POSICIÓN		DIFERENCIAS DE LA MAREA				E. del P.	Rango de la marea en Sicigias
		Lat.	Long.	Hora		Altura			
				Plea	Baja	Plea	Baja		
		S	W	h min	h min	m	m	h min	m
350	PUERTO PICHIDANGUI	32 08	71 33	-0 25	-0 25	-0,06	-0,30	9 00	1,50
355	PUERTO PAPUDO	32 31	71 27	-0 25	-0 25	-0,06	-0,30	9 25	1,50

En la Tabla 5.4 se presentan los rangos mareales de los puertos secundarios cercanos a Los Molles. Dado que Los Molles se encuentra en medio de dos puertos secundarios, los cuales tienen el mismo rango mareal, se asume que Los Molles tiene también este rango mareal de 1,5 [m]. El CM se calcula como la diferencia promedio entre dos pleamares consecutivas en el año 2015, llegando a un valor de 12,4 [hrs].

Para un mejor entendimiento de la fórmula (5.9), se gráfica la predicción de mareas de un periodo de tiempo cualquiera (en este caso el 7 y 8 de octubre de 2015) y se usa la fórmula propuesta para simular el comportamiento de la marea (Figura 5.10). Para hacer comparable los valores se refieren ambos al nivel medio del mar, en cuyo caso la fórmula (5.9) ya está referida al nivel medio y la predicción del SHOA está referida al nivel de reducción de sonda. Por lo tanto, se corrigen los valores de la predicción del SHOA promediando todos los valores del año 2015 en la “Tabla de Mareas de la Costa de Chile” (SHOA, 2014) y restando este valor los datos, que en este caso es 0,9 [m].

De la comparación hecha en la Figura 5.10 se verifica que el ciclo mareal calculado tiene una buena coincidencia con el usado por el SHOA para realizar su predicción.

Con todos estos datos ya se tiene la base para calcular el funcionamiento del sifón. Para este caso se crea un algoritmo en el programa MATLAB® que se llama “Alternativa1A.m”, el cual se incluye en el CD adjunto y se presenta en el Anexo D. Dicha simulación permite modificar las dimensiones de los elementos proyectados, llegando a una configuración final de la solución propuesta.

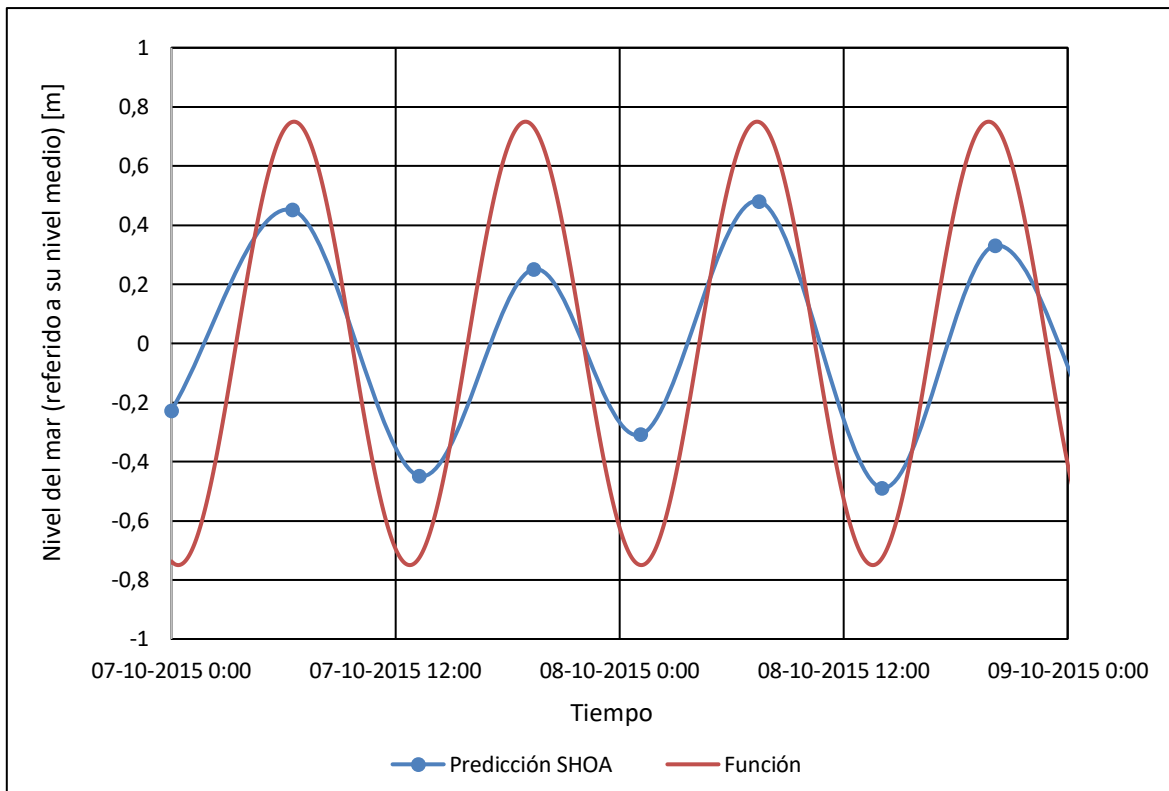


**Figura 5.10: Comparación de la predicción de mareas del SHOA y la fórmula propuesta.
Elaboración propia a partir de los datos del SHOA.**

5.1.2.1.2 Datos de terreno

Preliminarmente se definieron varios puntos posibles de captación, los cuales se redujeron a dos (Figura 5.11). El primer criterio utilizado para definir estos puntos fue proyectar las tomas de agua de mar fuera de las áreas de manejo existentes, encontrándose dos en la zona de estudio. La primera área de manejo denominada AM1, se llama “Área de Manejo Los Molles”, según queda establecido en el Decreto Supremo 652 del 3 de noviembre 1997 del Ministerio de Economía, fomento y turismo. La segunda se denomina AM2 y su nombre oficial es “Playa Los Molles”, establecida en el Decreto Supremo 758 del 18 de abril de 2007.

Finalmente, se optó por eliminar la alternativa 2, pues la zona marcada de color verde en la Figura 5.11, corresponde a una zona de protección ecológica según el plan regulador intercomunal (Figura 4.1). Esto complica mucho la ejecución de cualquier obra en el sector, considerando la necesidad de llevar una postación eléctrica de media tensión por casi un kilómetro de reserva natural.

Con este único punto definido para ejecutar una obra de captación, se ingresan los datos de alturas al algoritmo MATLAB “Aternativa1A.m” creado para este caso. Como este estudio no cuenta con recursos para la contratación de un levantamiento topográfico y batimétrico, se utilizan los datos del programa Google Earth para determinar estas alturas de terreno.



Figura 5.11: Puntos de captación propuestos Alternativa 1.A. (Google Earth).

En la Figura 5.12 se marcan 4 puntos, los cuales se detallan en la Tabla 5.5. En esta misma tabla se hace una corrección a los datos extraídos del programa Google Earth. La razón de esto es que si se fija el punto donde aparentemente estaría el nivel del mar, marca 6 metros de altura donde debiese ser 0.

Tabla 5.5: Cotas de terreno. Elaboración propia a partir de datos de Google Earth.

Punto	Cota [m]		Descripción
	Google Earth	Corregida	
1	6	0	Cota de la línea de costa. (Si la topografía fuese precisa este debiese ser el nivel medio del mar)
2	8	2	Cota de terreno donde se proyecta la instalación de la salida del sifón proyectado, además de la planta de osmosis y el estanque de acumulación de agua producida.

**Tabla 5.5: Cotas de terreno. Elaboración propia a partir de datos de Google Earth.
(Continuación).**

Punto	Cota [m]		Descripción
	Google Earth	Corregida	
3	14	8	Cota de terreno del recinto de tratamiento existente en Los Molles, se indica de manera referencial.
4	52	46	Cota de terreno donde están emplazados los estanques del sistema de agua potable, actualmente en funcionamiento.

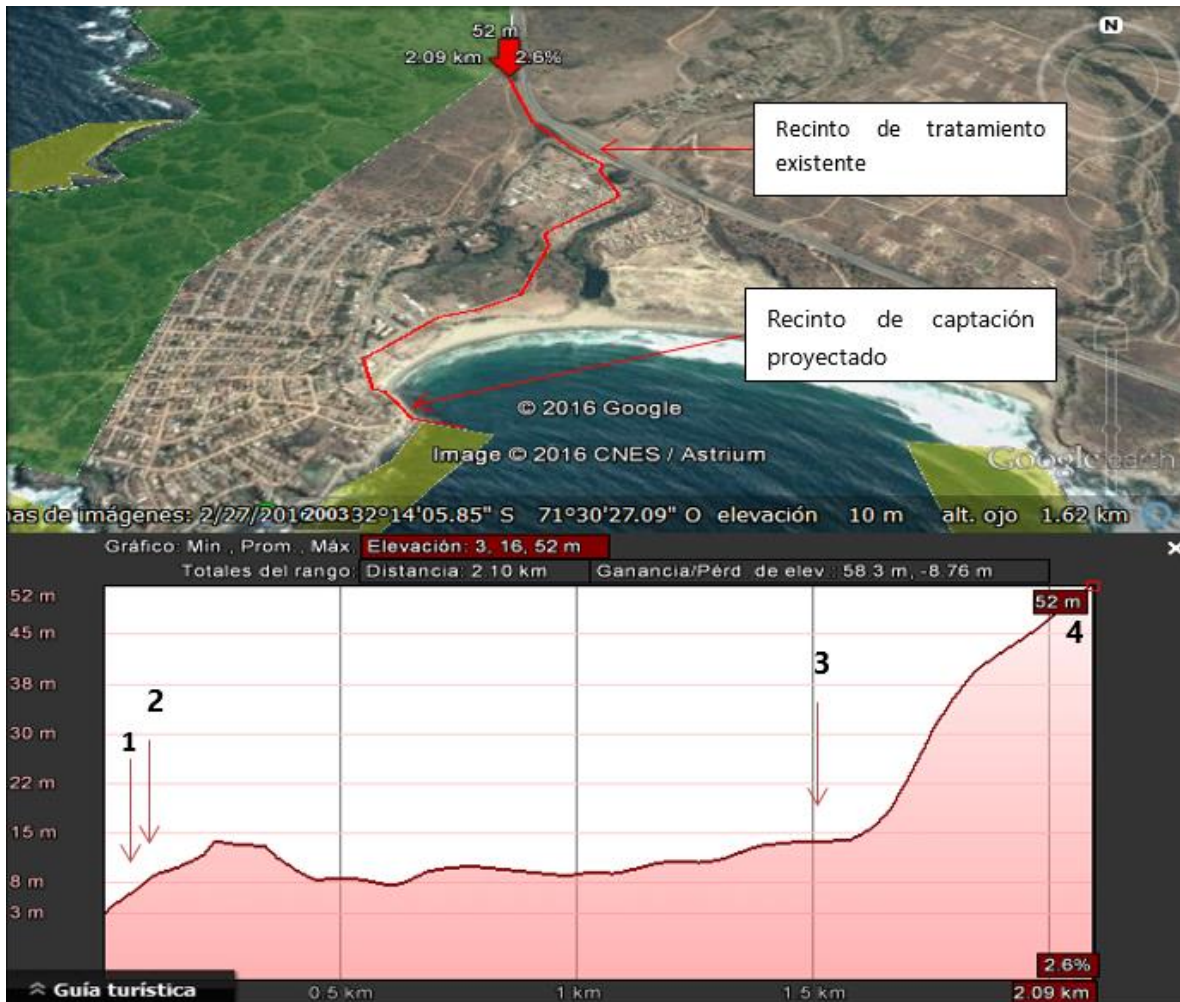


Figura 5.12: Cotas de terreno. (Google Earth).

5.1.2.1.3 Dimensionamiento del sifón.

Luego de varias iteraciones del algoritmo “Alternativa1A.m” se llega a una configuración definitiva para la captación de esta alternativa. La explicación de los resultados se presenta en la sección 5.1.2.6 debido a que el código simula todo el sistema (no solo al sifón de captación).

En primer lugar, la salida del sifón se proyecta a 2,75 [m] bajo el nivel medio del mar. El motivo de esto es que el rango mareal es de 1,5 [m] en la localidad en estudio; en consecuencia, el nivel mínimo del pelo de agua sería 0,75 [m] bajo el nivel medio y se le da un margen de seguridad amplio de 2 [m] extra. De esta forma, se garantiza un funcionamiento continuo del sifón, pues nunca el nivel de la salida estará por encima del nivel mínimo del cuerpo de agua al que está conectado.

Luego considerando que el nivel de terreno es 2 [m. s. n. m], y la salida a -2,75 [m. s. n. m] y 1 [m] de profundidad extra como volumen muerto, se proyecta una sentina que reciba el agua de mar de 5,75 [m] de profundidad. La sección transversal se selecciona circular con 1 [m] de diámetro, esto hace más fácil su construcción pues sería prácticamente igual a la construcción de una noria. En la Figura 5.13 se muestra el esquema a escala de la sentina proyectada.

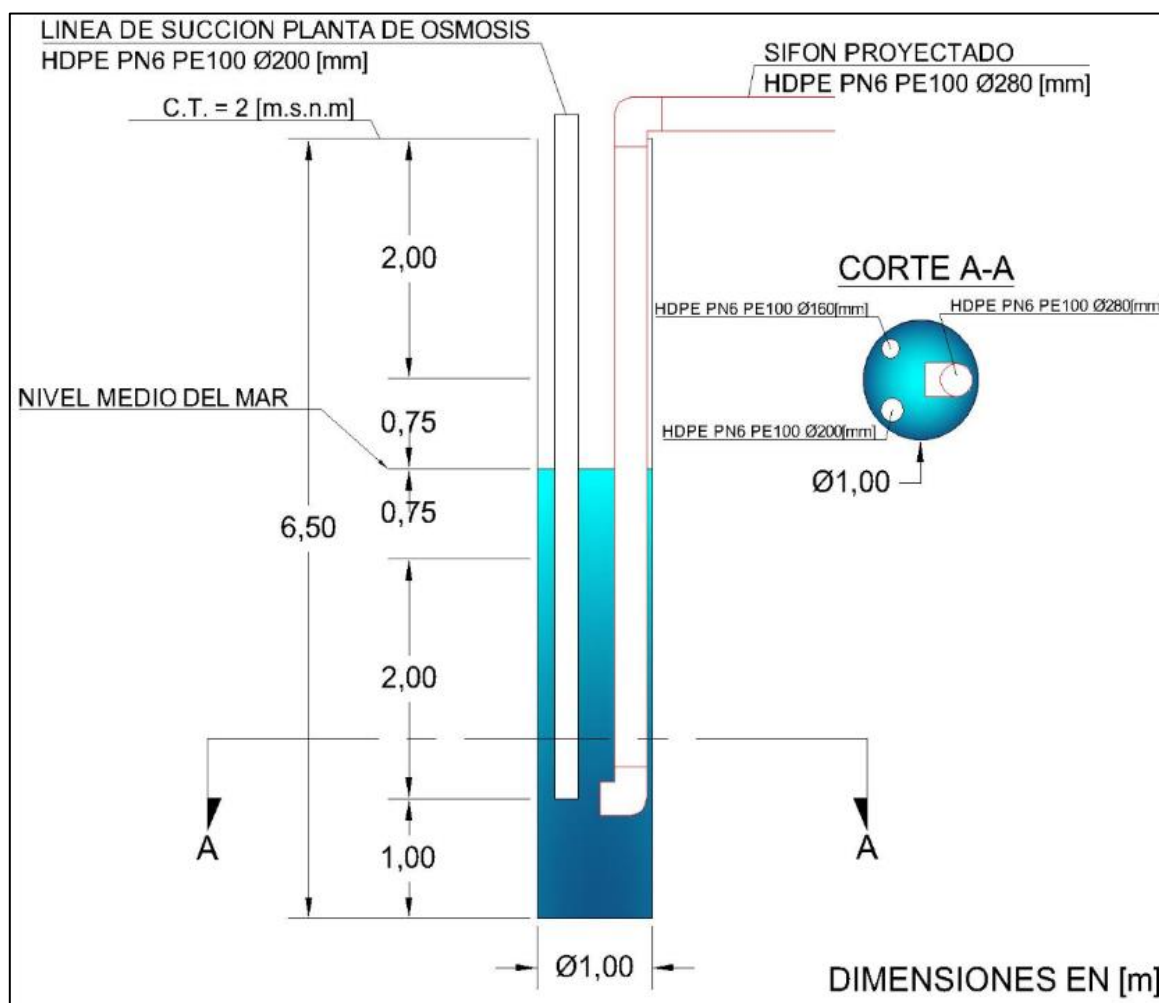


Figura 5.13: Esquema de la sentina proyectada. Elaboración propia.

En la Figura 5.14 se muestra la ubicación estimada en terreno de las obras proyectadas. Para un diseño de detalles de la solución propuesta, eventualmente se debe analizar la necesidad de obras de protección ante eventos como marejadas, por ejemplo, para lo cual se requiere una serie de datos y cálculos adicionales, los cuales quedaron fuera de los alcances de la presente memoria.



Figura 5.14: Ubicación en terreno de la captación proyectada.

La tubería seleccionada para los 100 [m] preliminares de conducción fue HDPE PE100 PN6 DN 280, dado que cumple con los requisitos de resistencia y permite extraer el caudal necesario para mantener el funcionamiento de la planta desaladora.

Para realizar esta selección se utilizó el algoritmo presentado en el Anexo D, al cual se ingresan los datos de la tubería seleccionada (diámetro interno y coeficiente de Hazen-Williams) y calcula el caudal que circula por el sifón en base al nivel de agua dentro de la Sentina 1 y del mar. Si el caudal es suficiente para alimentar la planta se considera válida la solución. Finalmente, de todas las soluciones válidas, que son verificadas manualmente, se elige la con menor diámetro.

El caudal a extraer por las bombas que alimentan ambos módulos de desalinización proyectados se estima en 64,6 [L/s], se llega a este valor dividiendo la capacidad de producción de los equipos seleccionados (1.908 [m³/d]) por la eficiencia indicada por el fabricante (35%) y dividiendo este resultado por la cantidad de tiempo que se estima necesaria para que los equipos produzcan el volumen indicado en el catálogo (Tabla 5.1), expresando el resultado en litros por segundo. El tiempo de funcionamiento diario se asume en 23,5 [hrs].

Dado el caudal y la tubería seleccionada se calcula una velocidad máxima en el sifón de 1 [m/s].

El equipo generador de vacío a instalar es la bomba de vacío marca Silak Pumps de $1\frac{1}{2}'' \times 1\frac{1}{2}''$ de anillo líquido modelo Silak - 125, que fue cotizado con un proveedor en el país.

Las piezas especiales (válvulas de corte, retención y mariposa; codos y curvas) fueron proyectadas en diámetro nominal 10".

5.1.2.2 Pretratamiento Alternativa 1.A

El pretratamiento de una planta de osmosis es determinado por el caudal y la calidad del agua en la fuente. En este caso el agua es sacada directamente del mar, en consecuencia, posee una gran cantidad de microorganismos y sólidos en suspensión.

Debido al tipo de captación, el primer tratamiento sería una protección a la entrada del sifón, para evitar la succión de peces y otros animales marinos, como se muestra en la Figura 5.15. Esta protección debe permitir el ingreso del caudal requerido por la planta de osmosis con una velocidad de flujo de a lo más 0,15 [m/s] y una dirección horizontal. Dado el caudal de 64,4 [L/s] calculado para la captación, se proyecta un área de entrada de 0,45 [m²] con lo cual se obtiene una velocidad de entrada de 0,14 [m/s]. En la Figura 5.15 se muestra un plano de la captación proyectada para esta alternativa.

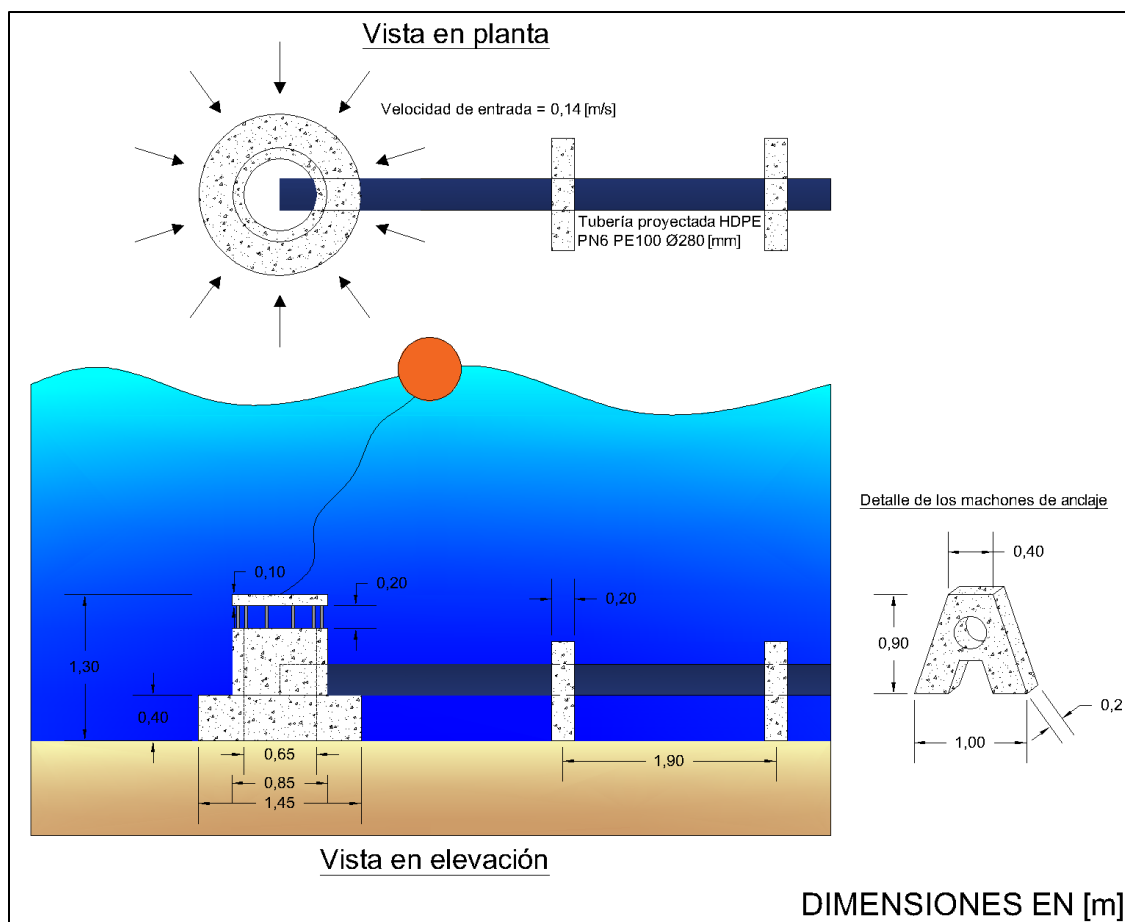


Figura 5.15: Esquema de la captación proyectada para la Alternativa 1.A. Elaboración propia.

A continuación, se instala la bomba de alimentación indicada por el proveedor, la cual entrega el caudal y la presión justa para el funcionamiento de los filtros. Entre la bomba de alimentación y los filtros de pretratamiento se inyecta cloro al agua para eliminar los microorganismos que queden aún en el agua.

Con esto ya puede pasar al componente principal del pretratamiento, que es un filtro especial indicado por el proveedor. Es similar a los filtros de osmosis inversa, pero por la mayor apertura de sus membranas se le llama ultrafiltración. Otra diferencia importante que tiene este proceso con la osmosis inversa, es que los filtros de ultrafiltración no producen un rechazo continuo como las plantas de osmosis, sino que el rechazo³ se genera solo por el proceso de retrolavado.

Posteriormente, se remueve el cloro inyectado en el agua mediante la inyección de una sustancia neutralizadora, en este caso Dióxido de Azufre.

Para finalizar el pretratamiento se inyecta un químico llamado antiincrustante, que evita las obstrucciones en los poros de las membranas del equipo de osmosis.

Algo que hay que tener presente, es que en el mercado de plantas desalinizadoras por osmosis inversa los proveedores incluyen no solo el equipo de osmosis, sino el sistema completo de tratamiento como una caja negra. En palabras simples el diseñador debe preocuparse de alimentar con agua cruda de un lado y disponer del agua de producto y rechazo (salmuera) por el otro.

Por lo mismo que se indica en el párrafo anterior, la cantidad de cloro la calibra el proveedor en base a la calidad específica del agua. Este cloro también suele tener una segunda función, aparte de eliminar microorganismo, la cual es oxidar los metales disueltos en el agua (como el hierro) para facilitar su eliminación en el pretratamiento. Sin embargo, las membranas semipermeables que se encargan de separar las sales del agua, a nivel del tratamiento en el proceso de osmosis, no pueden estar en contacto con el cloro debido a que pierden su capacidad de filtración, por eso se debe eliminar el cloro entre pretratamiento y tratamiento.

5.1.2.3 Plantas de osmosis Alternativa 1.A

Si bien los equipos de osmosis se calculan en la sección 5.1.1, se vuelve a indicar los equipos seleccionados en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6: Equipos de osmosis seleccionados. Elaboración propia a partir de datos Pure Aqua Inc.

Periodo	Equipos	Potencia [HP]	Caudal [m ³ /d]
2017-2032	SW-224K-8780	175	848
	SW-280K-10780	190	1.060

³ De una planta de osmosis se obtienen dos efluentes uno es el agua dulce y el otro la salmuera o agua con alta concentración de sales (90.000 ppm app); a primero se le llama producto y la segunda rechazo.

Estos equipos tienen varios componentes. Los principales son las membranas, la bomba de alta presión y el filtro de cartucho. Las membranas son las que separan el agua de los iones de cloruro que están disueltos en ella; la bomba de alta presión inyecta la energía suficiente para que este proceso ocurra y el filtro cartucho es la última protección que tiene las membranas ante la presencia de impurezas en el agua.

5.1.2.4 Postratamiento Alternativa 1.A

El postratamiento para dejar el agua en condiciones de consumo consiste en la cloración para desinfección que debe tener al agua potable y que está en la norma chilena NCh 409 Of. 2005, en la cual se establece que la cantidad de cloro disuelto en el agua debe ser entre 0,2 [ppm] y 2 [ppm]. Para lograr estas concentraciones, el proveedor al cual se consultó por el suministro de estos equipos ha indicado un sistema de inyección de cloro.

El cloro que se inyecta en los sistemas de agua potable se comercializa en 2 formas, granulado (Hipoclorito de calcio) o líquido (Hipoclorito de sodio), siendo indistinta la elección de uno u otro para llevar a cabo la cloración del agua. Finalmente, el agua producida por osmosis inversa se mezcla con el agua extraída de los pozos que actualmente están en operación, para compensar la desmineralización del agua de producto del tratamiento seleccionado.

5.1.2.5 Disposición de efluente Alternativa 1.A

El último paso para proyectar un sistema de osmosis inversa es la disposición del efluente, es decir, el agua de rechazo que se produce debido a las características del proceso. En este caso, las características del rechazo sería un agua con 90.000 [ppm] de sólidos disueltos totales, según los datos de fabricante, de los cuales, la mayoría son iones cloruros que aumentan la salinidad del agua.

Dada la calidad del agua de rechazo, la única alternativa viable para la disposición del efluente es usar un emisario submarino, ya que para descargar residuos líquidos en los cauces naturales continentales se requiere que la concentración de cloruros sea menor a 400 [mg/L] (D.S. N° 90, 2001). Además, se debe ingresar el proyecto al sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA) según Decreto Supremo N° 95 de 2001 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Sin embargo, en el mismo decreto antes mencionado se establece, en su literal o.3) del artículo 3°, que los proyectos susceptibles a causar impacto ambiental, en cualquiera de sus fases, son, entre otros, los siguientes: “o.3. Sistemas de agua potable que comprendan obras que capten y conduzcan agua desde el lugar de captación hasta su entrega en el inmueble del usuario, considerando los procesos, y que atiendan a una población igual o mayor a diez mil (10.000) habitante”. En este sentido el proyecto solo requeriría una declaración de impacto ambiental (DIA).

El diseño del emisario requiere a lo menos un levantamiento batimétrico, lo cual escapa a las posibilidades de una memoria de título. Por este motivo, se valoriza la forma aproximada el costo de esta obra considerando un emisario de 150 [m] de largo desde la línea de costa hasta mar adentro en un diámetro de 280 mm.

5.1.2.6 Simulación de funcionamiento de la Alternativa 1.A.

Para finalizar el análisis técnico de la Alternativa 1.A, se muestran los resultados obtenidos mediante el algoritmo "Alternativa1A.m". Para llegar a dichos resultados fueron necesarias varias iteraciones donde los criterios utilizados fueron los siguientes:

1. Se modificó el diámetro del sifón hasta que el caudal que pasa por este iguala al caudal de bombeo de las plantas de osmosis.
2. Para el dimensionamiento de la sentina 1 el parámetro importante es la profundidad, pues para asegurar un caudal determinado por el sifón se requiere un desnivel entre los niveles de agua a ambos lados. El diámetro se definió como 1[m], cuya justificación es por espacio para la instalación de tuberías.
3. Las plantas de osmosis están definidas a partir de la demanda, en consecuencia, no se modifican en las iteraciones.
4. El diámetro de la impulsión se modificó hasta que las pérdidas de carga no sobrepasen los 5 [m. c. a.].
5. Dado que la sentina 2 debe albergar agua potable, se usan los planos tipos de la empresa sanitaria Aguas Andinas S.A. En donde se modificó el volumen hasta reducir a lo más a dos las partidas de la bomba seleccionada por día.
6. La bomba se selecciona de manera tal que pueda elevar todo el caudal producido por la planta de osmosis en un día.

Los datos de entrada de la iteración final, en la cual se llegó a un resultado técnicamente viable, se presentan en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7: Datos de entrada al algoritmo "Alternativa1A.m". Elaboración propia.

Dato de entrada	Nombre de la variable en el algoritmo	Valor asignado a la variable	Unidad
Caudal producido por las plantas de osmosis ⁴	Qdemanda	22,6	[L/s]
Largo del sifón	lmarsent	100	[m]
Largo desde sentina 2 a estanques	lsentest	2.000	[m]
Nivel de terreno donde se instala la sentina 1	zelementos	2	[m. s. n. m]
Profundidad de la sentina 1	Hsent1	5,75	[m]

⁴ Se supone que la planta de osmosis cotizada requiere 23,5 horas de funcionamiento para alcanzar el volumen de producción indicado en el catálogo. Además, se dimensiona la captación bajo el peor escenario que es con ambas captaciones funcionando al mismo tiempo, también se dimensiona la impulsión al estanque bajo este criterio. En consecuencia, si se multiplica 22,6 [L/s] por la cantidad de segundos que hay en 23,5 horas se llega a 1.908 [m³].

Tabla 5.7: Datos de entrada al algoritmo "Alternativa1A.m". Continuación.

Nivel de terreno donde se instala la sentina 2	zelementos2	2	[m. s. n. m]
Profundidad de la Sentina 2	Hsent2	3,8	[m]
Área de la sentina 1	Asent1	0,78	[m ²]
Área de la sentina 2	Asent2	20,43	[m ²]
Rango mareal	rangom	1,5	[m]
Ciclo mareal	ciclom	12,4	[hrs]
Diámetro del sifón	dcap	258,6	[mm]
Diámetro de la impulsión	dimp	230,8	[mm]
Número de bombas impulsoras	Nbombas	2	En paralelo
Alturas de elevación de bombas según catálogo	Hbomba	[58; 55.7; 38.8]	[m]
Caudales de elevación de bombas según catálogo	Qbomba	[6.6; 10.8; 21.6]	[L/s]

Para hacer más entendible los resultados, se grafica el sistema a modo esquemático en las Figura 5.17, Figura 5.18 y Figura 5.19.

En el primer tramo del esquema, se identifica que la presión manométrica mínima en el sifón de captación es $-4,3$ [m. c. a], lo que asegura un flujo constante en esa tubería.

Después del sifón proyectado viene la sentina 1, cuya función es almacenar agua cruda proveniente del mar. Esta sentina se proyectó con forma circular (similar a un pozo noria), con un diámetro de 1 [m] y una profundidad de 6,5 [m] (se agrega 1,25 [m], con respecto a la Tabla 5.7, como volumen muerto). Como se ve en las Figura 5.17, Figura 5.18 y Figura 5.19; el nivel de esta sentina tiene una variación de 4,5 [m] aproximadamente, por lo cual nunca quedaría seca ni sufriría rebalses. En el mismo recinto donde se proyecta la sentina 1, también se instala el tratamiento completo del agua. Dado que el sistema de pretratamiento y tratamiento ofrecido por el proveedor es un sistema cerrado, en el cual solo se sabe el volumen que entra y sale en un día, se hace una aproximación del caudal de entrada y salida suponiendo que el sistema trabaja 23,5 [hrs]. Por este motivo, el caudal que sale de la sentina 1 para ir al recinto de tratamiento es 64,6 [L/s] y el caudal de agua producida es 22,6 [L/s], que se almacena en la sentina 2.

La sentina 2 se proyectó como un estanque de regulación para agua potable de 75 [m³]. Según las simulaciones realizadas, estas dimensiones propuestas para sentina 2 son suficientes para el buen

funcionamiento del sistema. Como se observa en los gráficos de la operación simulada realizada el nivel de la sentina 2 no varía más de dos metros.

Para impulsar el agua potable que se genera por osmosis y se almacena en la sentina 2, se proyectan dos bombas de eje horizontal instaladas en una cámara contigua a la sentina 2.

Nótese que en los gráficos de las figuras 5.17, 5.18 y 5.19; el caudal de impulsión calculado es de 27,3 [L/s]. Esto se debe a que es prácticamente imposible encontrar un par de bombas con las curvas exactas para que ese resultado sea 22,6 [L/s]. Por este motivo, es que se busca un par de bombas que queden un poco holgadas, ya que con dispositivo variador de frecuencia se puede reducir la velocidad de giro de las bombas, lo cual genera una modificación a la curva H vs Q como se muestra en la Figura 5.16, así se puede impulsar a los estanques un caudal igual al producido por las plantas de osmosis. Lo importante de esto es que se reduce la cantidad de partidas de las bombas, que es momento donde se consume más energía. Las partidas de bombas corresponden a los puntos bajos en la gráfica del nivel de la Sentina 2, incluida en las figuras 5.17 a 5.19.

Un dispositivo variador de frecuencia, como su nombre lo dice, altera la frecuencia eléctrica que recibe el motor bajando así la cantidad de [r. p. m.] (o eventualmente subiéndolas) con que gira la bomba, esto altera la curva de funcionamiento. En la Figura 5.16 se muestra un gráfico esquemático que ejemplifica como varía una curva de funcionamiento de una bomba con la acción de un variador de frecuencia.

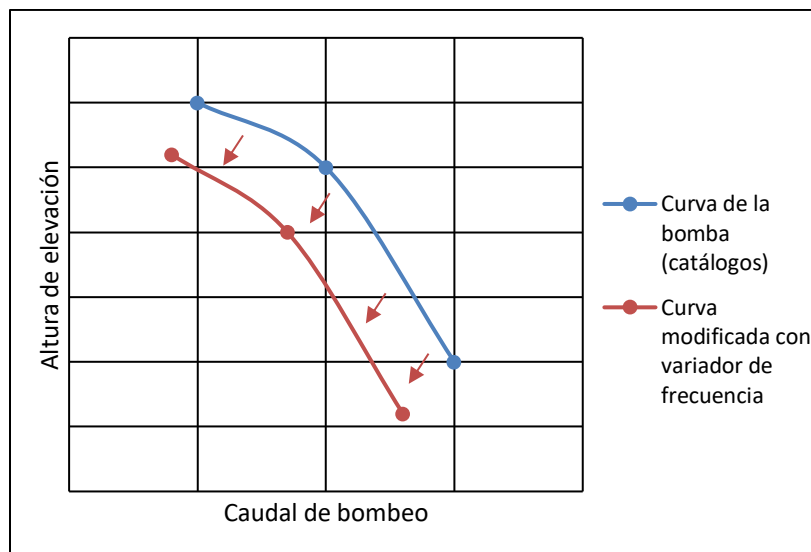


Figura 5.16: Ejemplo esquemático de una curva de funcionamiento alterada con un variador de frecuencia. Elaboración propia.

Para un mejor entendimiento de la solución propuesta, también se muestra en la Figura 5.20 un esquema de planta del recinto de potabilización o tratamiento de agua proyectado.

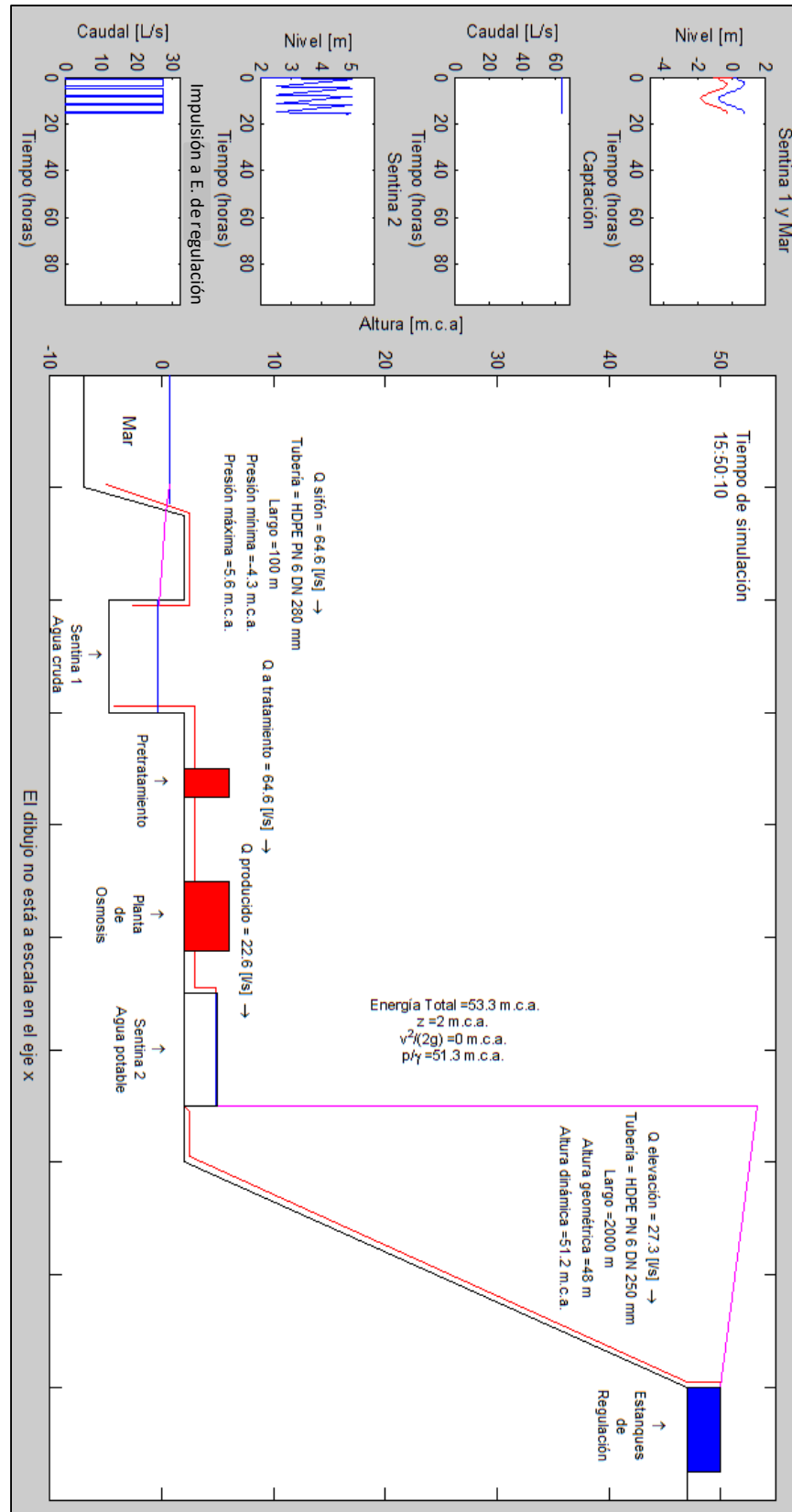


Figura 5.17: Simulación del sistema en conjunto t = 15h 50m 10s, Alternativa 1.A. Elaboración propia.

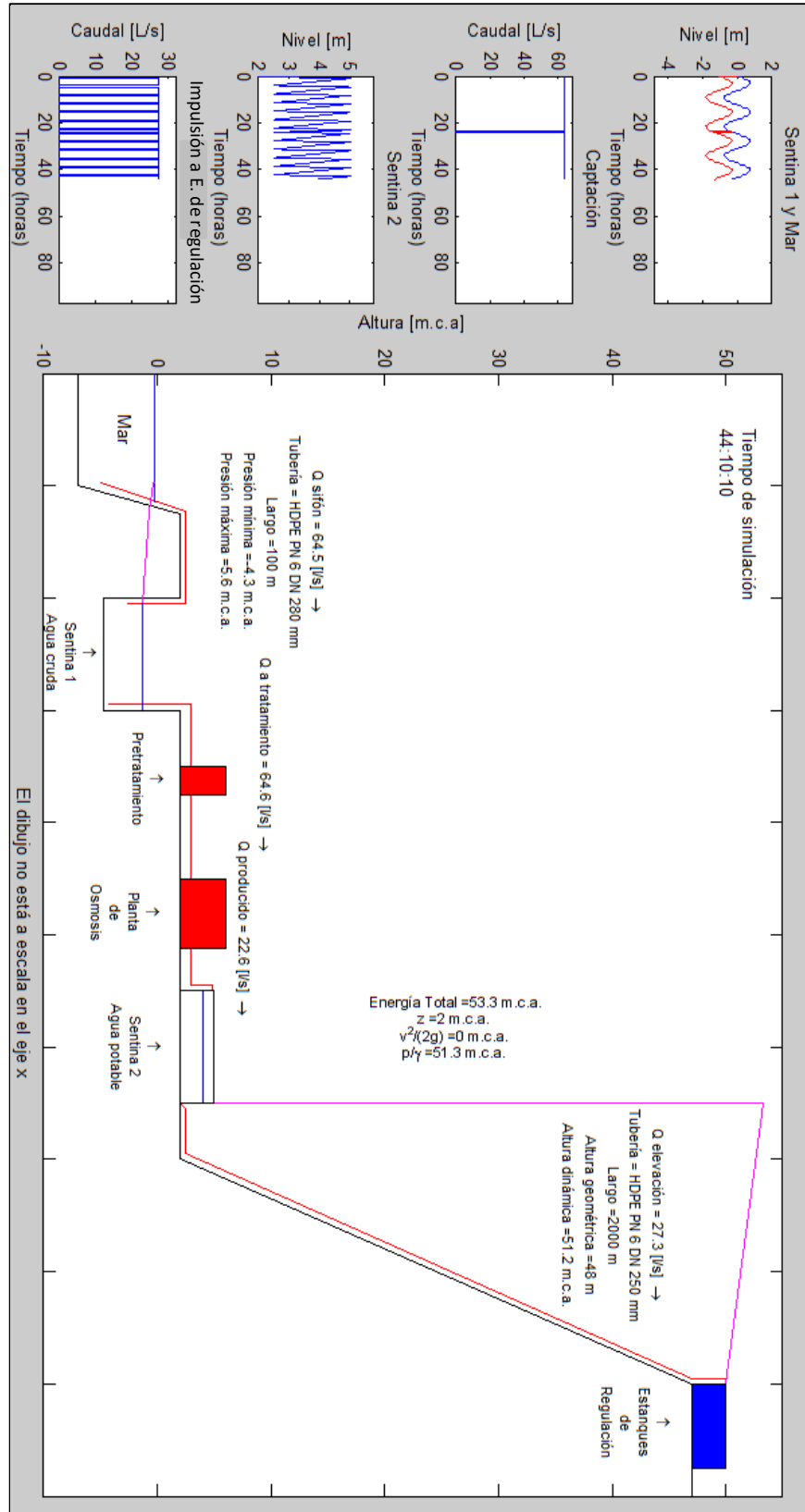


Figura 5.18: Simulación del sistema en conjunto t = 44h 10m 10s, Alternativa 1.A. Elaboración propia.

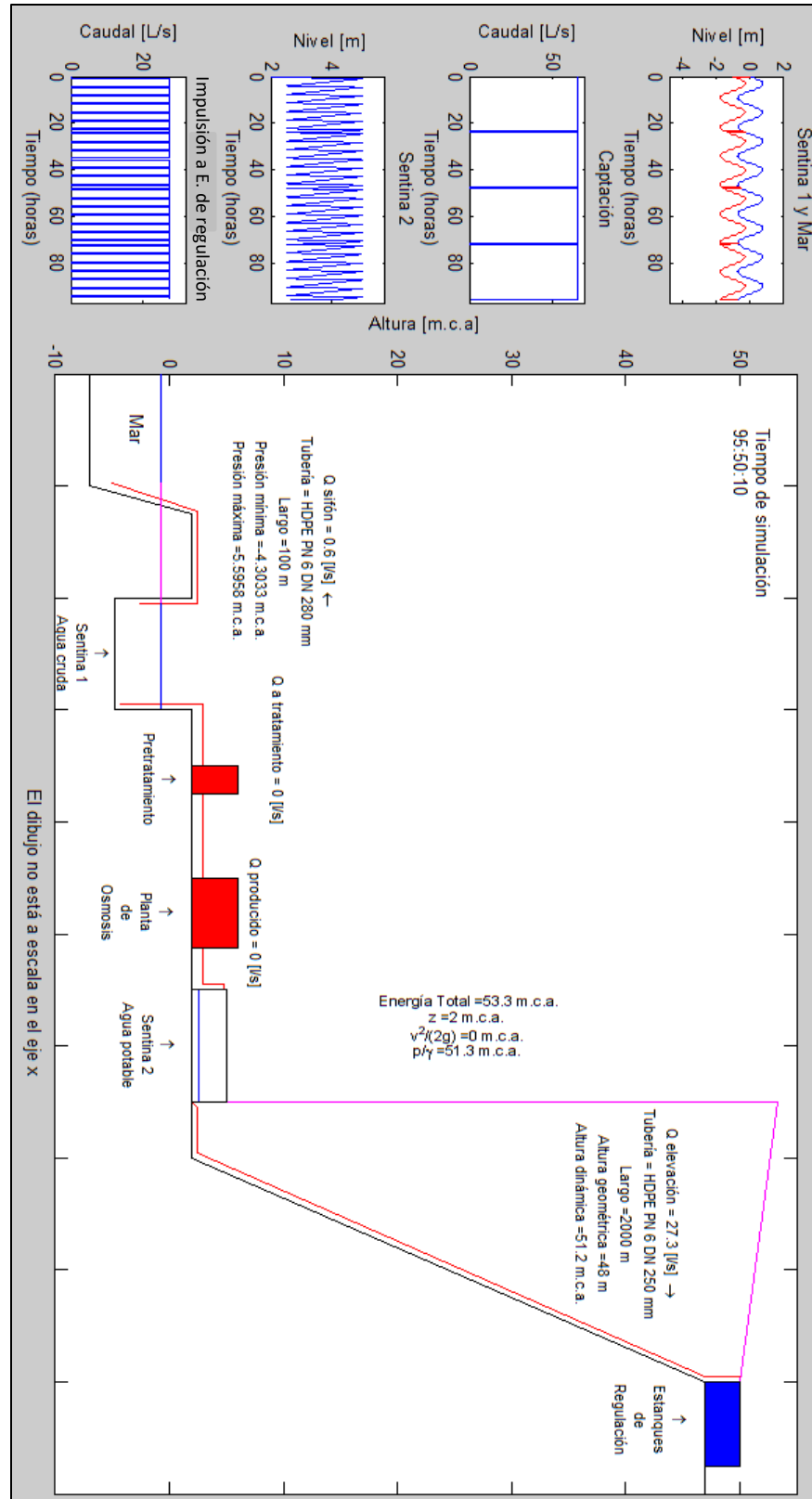


Figura 5.19: Simulación del sistema en conjunto $t = 95\text{h } 50\text{m } 10\text{s}$,
Alternativa 1.A. Elaboración propia.

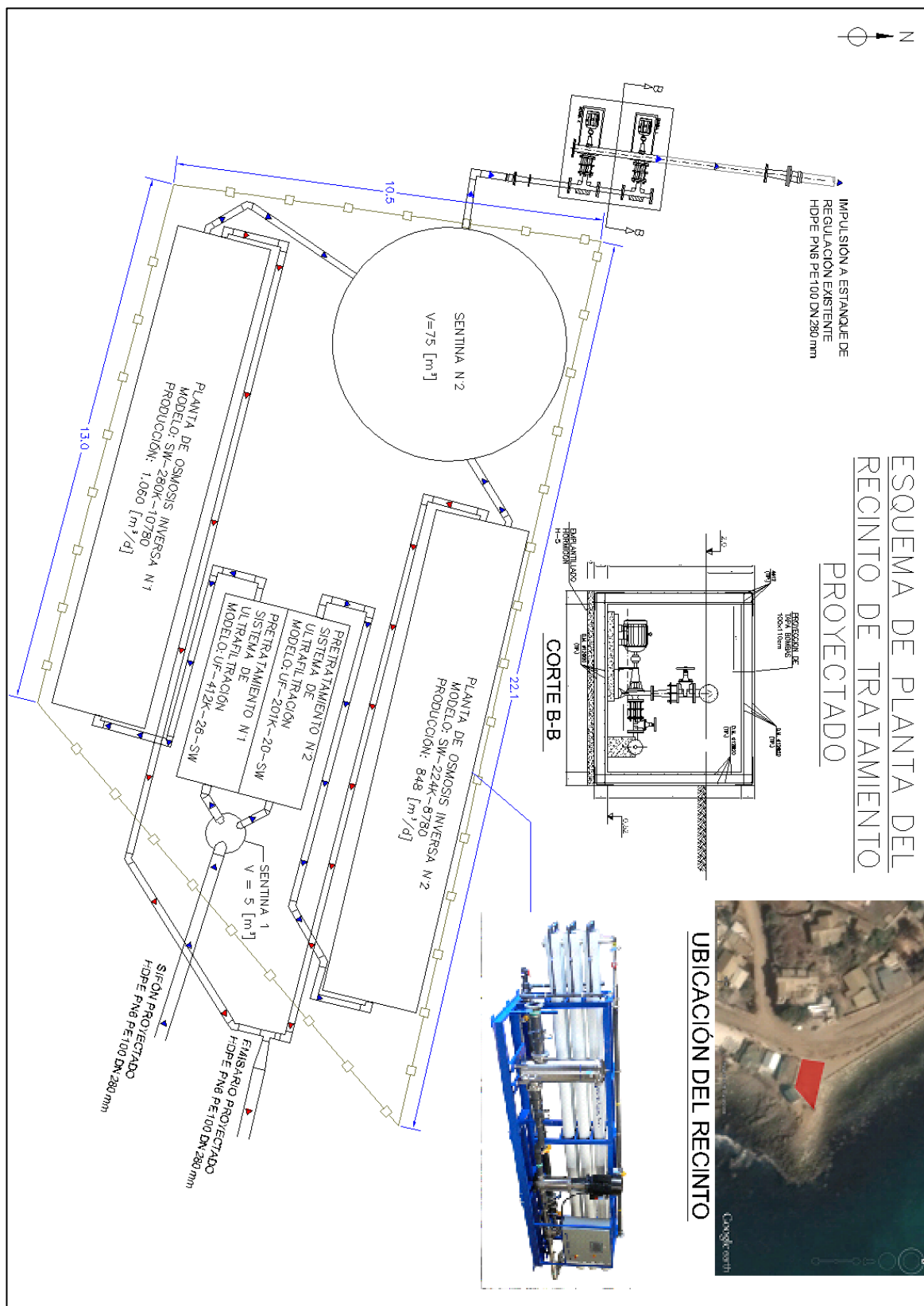


Figura 5.20: Esquema de planta del recinto de tratamiento proyectado. Elaboración propia.

5.1.3 ALTERNATIVA 1.B: DESALACIÓN CON CAPTACIÓN MEDIANTE POZOS PLAYEROS

La siguiente alternativa de solución es similar a la presentada en 5.1.2, ya que en ambas se cubre el déficit de producción de agua potable proyectado (Tabla 4.8) mediante desalación de agua de mar.

Lo diferente en la presente alternativa es el método de captación para el agua de mar, siendo en este caso la construcción de pozos playeros.

5.1.3.1 Captación Alternativa 1.B.

La construcción de pozos playeros tiene por objetivo aprovechar la intrusión salina para captar agua de mar ubicando los pozos cercanos a la línea de costa, preferentemente a unos pocos cientos de metros. Dado que se tienen los datos de permeabilidad del acuífero ($K = 0,0014$ [m/s]) y profundidad del acuífero (Cabrera, 1994), se calcula la cantidad de agua que es posible extraer de un pozo con la fórmula Dupuit para acuíferos libres (5.10).

$$Q_{\text{pozo}} = \frac{\pi \cdot K \cdot (H^2 - h^2)}{\ln\left(\frac{R}{r}\right)} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (5.10)$$

Donde H es la altura del nivel estático medido sobre el manto impermeable, h es la altura del nivel dinámico del pozo medido sobre el manto impermeable en [m], R es el radio de influencia en [m] y r es el radio del pozo.

Para calcular el radio de influencia con certeza es necesario contar con datos desde una serie de pozos de observación, no obstante, existen fórmulas empíricas que permiten estimar este valor (Fileccia, 2015). Para este caso se usará la fórmula de Sichardt (5.11), el motivo de esta elección es que esta fórmula solo requiere como datos la permeabilidad del acuífero y el nivel estático, datos que están disponibles.

$$R = 3.000 \cdot (H - h) \cdot \sqrt{K} \quad [\text{m}] \quad (5.11)$$

Reemplazando (5.11) en (5.10), se llega a la ecuación implícita (5.12) que determina de manera aproximada el descenso del nivel en el pozo debido a un caudal de bombeo (Q_{pozo}) dado.

$$Q_{\text{pozo}} = \frac{\pi \cdot K \cdot (H^2 - h^2)}{\ln\left(\frac{3.000 \cdot (H - h) \cdot \sqrt{K}}{r}\right)} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (5.12)$$

Como ya se determinó para la Alternativa 1.A., el caudal de agua de mar requerida por las plantas de osmosis, para producir los 1.802 [m^3/d], es $64,6$ [L/s]. Sin embargo, se proyectan 2 pozos contiguos que extraigan $32,3$ [L/s]. Además, se propone una captación con un pozo de 10" de diámetro, que equivale a $0,25$ [m] que llegue a una profundidad de -16 [m.s.n.m.], donde se asume que se encuentra la roca basal. La permeabilidad del acuífero (K) supuesta es $0,0014$ [m/s]. El nivel estático se asume igual al nivel medio del mar, 5 [m] bajo el nivel de terreno, lo que implica que H en la ecuación 5.10 es 16 [m], para este caso.

Por lo tanto, introduciendo los parámetros indicados en el párrafo anterior en la ecuación (5.12), e iterando con h , se llega a que la altura del nivel dinámico de cada pozo bombeando un caudal de 32,3 [L/s] es 14,42 [m]. Para este valor de depresión, se tiene un radio de influencia de 177,4 [m].

Se utilizó las fórmulas 5.11 y 5.12 para calcular el radio de influencia, es decir la distancia a la cual la depresión en régimen permanente es 0. Luego, con este valor se utiliza la fórmula Thiem (5.13) para acuíferos confinados, junto a la corrección de Jacobs (5.14), para calcular la depresión en los pozos con ambos funcionando al mismo.

$$Q_{\text{pozo}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot K \cdot H(s_1 - s_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (5.13)$$

$$s' = s - \frac{s^2}{2 \cdot H} \quad (5.14)$$

Considerando que los pozos se encuentran a una distancia de 5 [m] entre ellos, además, que $r_2 = R$ y que $s_2 = 0$, se determina que la depresión adicional provocada por un pozo sobre el otro es de 0,797 [m]. Siendo la altura dinámica de ambos pozos funcionando juntos 13,62 [m], sobre el nivel de la roca basal.

Para determinar la ubicación de los sondajes se analiza en terreno donde existe la evidencia de relleno permeable. Además, se considera la existencia del humedal Los Molles (CODECIAM, 2015), por lo cual se ubican los sondajes lo más alejados posible de dicho humedal, marcado en color blanco en la Figura 5.21.



Figura 5.21: Ubicación propuesta para los sondajes. (Google Earth).

Nótese que en la Figura 5.21 se agregaron líneas que corresponden a fronteras para zonas impermeables (en azul) y de recarga infinita (en rojo). Sin embargo, no se consideraron en el cálculo de la depresión en los pozos, debido a que los pozos imágenes se ubicarían a una distancia mayor al radio de influencia, con respecto a la ubicación de los pozos.

En el punto indicado en la Figura 5.21 el programa Google Earth indica una altura de 11 [m. s. n. m.]. Aplicando la misma corrección que en la Tabla 5.5, se llega a una altura corregida de 5 [m. s. n. m.].

Ya definidas las características de la captación, falta dimensionar los equipos de bombeo y las tuberías de impulsión.

En este caso, se considera que la planta de osmosis se instala contigua a los pozos proyectados. Debido a esta imposición, la impulsión no es más que sacar el agua del pozo hasta una sentina a nivel de piso.

Se estima que la condición más desfavorable es con ambos pozos en operación, condición para la cual la altura de nivel dinámico es 13,62 [m] referida a la profundidad del manto impermeable. Si se referencia esta altura al nivel medio del mar se llega a $-2,38$ [m. s. n. m.], en consecuencia, la bomba se instala en la cota -6 [m. s. n. m.]. La salida de la tubería de impulsión se proyecta a 6 [m. s. n. m.]. Por lo tanto, la altura geométrica de esta primera impulsión es 9,38 [m. c. a.] (se agrega 1 [m] de revancha). Dado lo corta de la impulsión se desprecian las pérdidas por fricción, dimensionándose el diámetro de la tubería solo para una velocidad recomendada de 1,5 [m/s]. Con estas consideraciones se determina que el diámetro interno mínimo de 166 [mm], lo que implica finalmente que el diámetro nominal de la tubería debe ser a lo menos 180 [mm] (o 6" en caso de usar tuberías de acero).

Con estos valores se busca una bomba adecuada para el sistema propuesto, la cual debe elevar un caudal de 32,3 [L/s] a 9,38 [m]. La bomba definida para este caso es de la marca Grundfos y el modelo es la SP 95-2-A, resultado al que se llega según lo expuesto en la Figura 5.22. Dicha bomba tiene una potencia nominal de 7,5 [Kw] y un diámetro nominal de 5 1/2 " (o 140 [mm]).

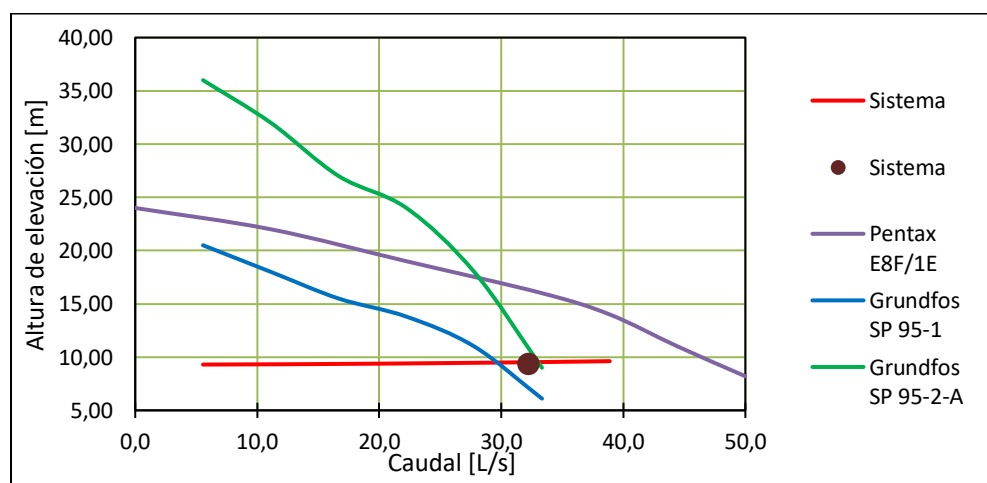


Figura 5.22: Selección de equipo de bombeo. Elaboración propia.

5.1.3.2 Pretratamiento Alternativa 1.B.

El pretratamiento de la Alternativa 1.B es más simple comparativamente hablando que la Alternativa 1.A, debido al filtrado natural del suelo, que permite extraer agua libre de microorganismos y algas. Para este caso los proveedores recomiendan usar baterías de filtros de grava, los cuales tienen elementos como el Greensand, Antracita y Carbón Activado. Con estos filtros se eliminan la totalidad de los elementos que puedan llegar a dañar las membranas de los equipos de osmosis. En la Figura 5.24 se muestra un ejemplo de estos filtros.



Figura 5.24: Ejemplo de filtros para pretratamiento. Fuente: Pure Aqua Inc.

5.1.3.3 Plantas de osmosis Alternativa 1.B.

Si bien los equipos de osmosis se calculan en la sección 5.1.1, se reiteran los equipos seleccionados en la Tabla 5.8, que además son los mismos que los indicados para la Alternativa 1.A.

Tabla 5.8: Equipos de osmosis seleccionados. Elaboración propia a partir de datos Pure Aqua Inc.

Periodo	Equipos	Potencia [HP]	Caudal [m ³ /d]
2017-2032	SW-224K-8780	175	848
	SW-280K-10780	190	1.060

En la evaluación económica de la alternativa se evaluará en qué año es conveniente ejecutar la inversión del segundo equipo de osmosis. Por ahora se indican solamente los equipos que deben instalarse durante el periodo de previsión.

5.1.3.4 Postratamiento Alternativa 1.B.

El postratamiento de esta alternativa es igual a la Alternativa 1.A. (Sección 5.1.2.4), lo que significa es que sólo se le aplica cloro al agua de producto según lo indicado en la norma NCh 409. La cual finalmente es almacenada en un estanque de hormigón armado de 75 [m³], igual que la Alternativa 1.A.

5.1.3.5 Disposición del efluente Alternativa 1.B.

La disposición del efluente es la misma que la Alternativa 1.A., es decir, se proyecta un emisario de 150 [m] desde la línea de costa mar adentro en un diámetro de 280 [mm]. Sin embargo, dada la ubicación de la planta proyectada con respecto a la línea de costa en esta alternativa, se agregan 120 [m] de descarga instalados en zanja.

5.1.3.6 Impulsión del agua de producto Alternativa 1.B.

Al igual que en la Alternativa 1.A. se proyecta un estanque a la salida de la planta de osmosis que almacene el agua producida. A partir de este estanque, se proyecta una impulsión hasta los estanques de regulación del sistema.

Con los datos de Google Earth se determina que la diferencia de cota topográfica entre la planta de osmosis y los estanques de regulación del sistema es 41 [m]. Además, se estima que la altura de los estanques sobre el nivel del suelo es 3 [m] y se deja una revancha de 2 [m] por seguridad. Con esto se calcula una altura geométrica del sistema de 46 [m]. El largo de la impulsión es de 1.490 [m]. En la Figura 5.25 se muestra el trazado propuesto para la impulsión proyectada, donde se puede ver que se evita realizar obras en el área de humedal.

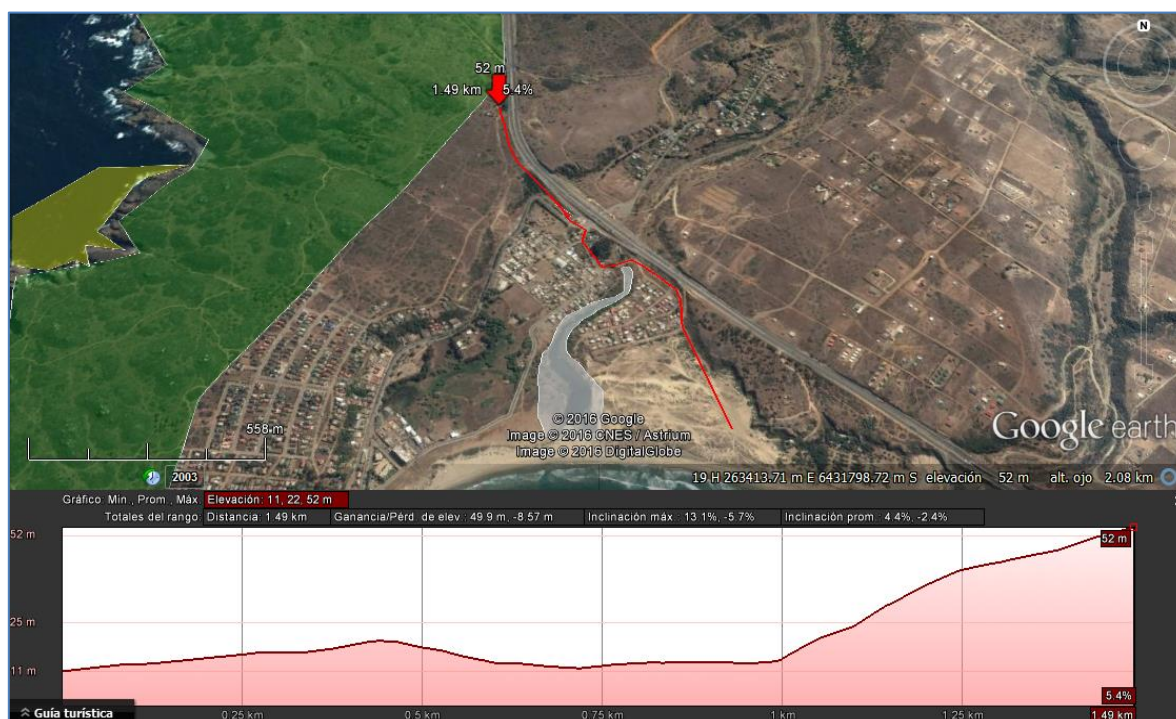


Figura 5.25: Trazado propuesto para la impulsión. Fuente: Google Earth.

La tubería de la impulsión se proyecta en el mismo diámetro y material que la alternativa anterior, es decir, en HDPE PE100 PN6 DN 250 [mm]. El caudal de diseño es 22,6 [L/s].

En base a estos datos se busca una bomba adecuada en el catálogo COSMPLAS. En la Figura 5.26 se muestran las bombas que más se aproximan a las condiciones de diseño requeridas. Como se puede observar, colocar dos bombas marca Pentax modelo CM 50-200B en paralelo no es suficiente para elevar el caudal de diseño a la altura requerida. En consecuencia, se opta por elegir 2 bombas marca Pentax modelo CM 50-200A, a pesar de que quedan bastante holgadas llegando a alcanzar un caudal de 33 [L/s]. Como ya se explicó para la alternativa anterior, esta holgura no implicaría un problema ya que al agregar un variador de frecuencia se controla el caudal de impulsión.

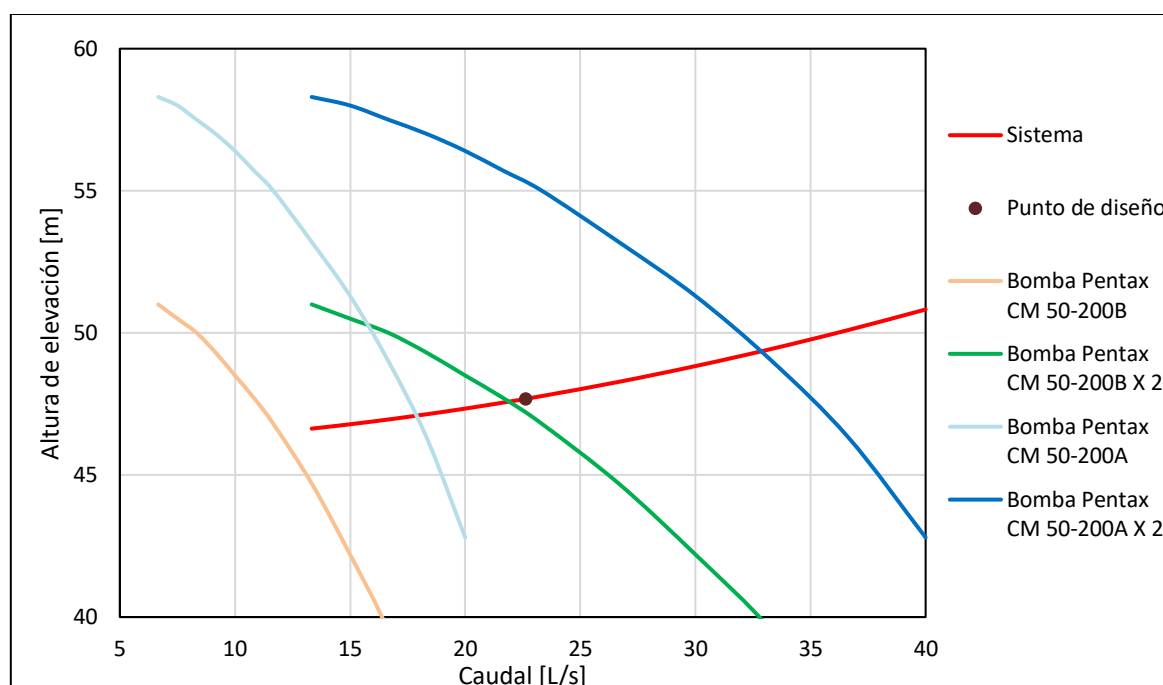


Figura 5.26: Elección de equipo de bombeo para impulsión de agua producida. Elaboración propia.

Para esta alternativa no es necesario simular el funcionamiento del sistema, pues todos los elementos son programables. Que sean programables asegura, por ejemplo, que si a pedido del operador del sistema se requiere mantener un nivel constante en la sentina que acumula el agua producida, se puede controlar los equipos de bombeo para igualar el caudal que sale de la planta de osmosis.

Finalmente, ya están dimensionados todos los elementos importantes para el funcionamiento de esta alternativa. En la Figura 5.27 se muestra un esquema de planta del recinto de tratamiento proyectado en esta alternativa, que es donde se encuentran los elementos dimensionados a lo largo de esta sección.

Figura 5.27: Esquema de planta del recinto de tratamiento para la Alternativa 1.B. Elaboración propia.

5.2 ALTERNATIVA 2: TRAER AGUA DESDE CUENCAS VECINAS.

Como ya se mencionó en la sección 4.1.7, traer agua desde las cuencas vecinas se considera como una opción viable ante la desalación. Sin embargo, no es recomendable analizar alternativas como la construcción de pozos en las cuencas vecinas y transportar el agua por conducciones, ya que tanto la Provincia de Petorca como la Provincia del Choapa han sido declaradas zonas de escasez hídrica por la DGA durante el presente año (Decretos M.O.P. N° 154 y 180, de fecha 24 de marzo de 2016 y 11 de mayo de 2016, respectivamente). Por este motivo la única alternativa viable sería el transporte de agua mediante camiones aljibe y la descarga en los mismos estanques de regulación existentes.

Dado que esta alternativa no requiere ningún cálculo hidráulico adicional, se da por cerrado el análisis con el cálculo del déficit del sistema hecho en la Tabla 4.8.

6 EVALUACIÓN ECONÓMICA Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.

En el Capítulo 5 se presentaron tres alternativas técnicamente viables para solucionar el problema de agua potable en la localidad de Los Molles, de las cuales se debe elegir una.

El criterio seleccionado es una evaluación económica con un enfoque costo-eficiencia. En el enfoque costo-eficiencia, el objetivo de la evaluación es identificar aquella alternativa de solución que presente el mínimo costo, para los mismos beneficios. Por ello, para poder aplicar este enfoque es fundamental configurar alternativas que entreguen beneficios comparables, de tal forma de evaluar cuál de ellas es más conveniente desde el punto de vista técnico-económico.

Los indicadores utilizados bajo un enfoque costo-eficiencia resumen todos los costos del proyecto, tanto de inversión, como de operación, mantención y conservación.

El indicador valor actual de costos, VAC, permite comparar alternativas de igual vida útil. Se calcula de acuerdo a la formula (6.1).

$$VAC = \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (6.1)$$

En donde VAC es el valor actual de costos, C_t el costo en el año t (C_0 corresponde a la inversión inicial), r es la tasa de descuento y T el horizonte de evaluación del proyecto.

El motivo para seleccionar este tipo de análisis, es que las alternativas tienen el mismo beneficio, que es producción de agua potable para satisfacer una misma demanda. Adicionalmente, se debe tener en claro que se trata de un proyecto de abastecimiento de agua potable en donde la empresa sanitaria está obligada por ley a mantener el suministro (Ministerio de Obras Públicas, 2004), siendo ineludible invertir para mejorar el sistema.

6.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA ALTERNATIVA 1.A

La Alternativa 1.A corresponde a la desalinización mediante osmosis inversa, y se diferencia con la Alternativa 1.B en la forma en que se capta el agua cruda. Para la Alternativa 1.A se considera un sifón de captación como se expone en la sección 5.1.2.

6.1.1 INVERSIÓN INICIAL DE LA ALTERNATIVA 1.A.

En esta alternativa se distinguen 4 obras importantes: la captación, el tratamiento, impulsión y el emisario de descarga.

6.1.1.1 Captación

La captación de esta alternativa consiste en i) una tubería que se instala en el lecho marino ii) una sentina (que para efectos prácticos es una noria de 1 [m] de diámetro) iii) un equipo generador de vacío.

La tubería es de HDPE PN6 PE100 de diámetro nominal 280 [mm]. Para valorizar este ítem se recurrió al catálogo digital de la empresa distribuidora COSMOPLAS, disponible en el sitio web

<http://www.cosmoplas.cl>⁵, de ahí se obtiene que el valor del metro de la tubería proyectada es 65,95 [USD/m] neto. El valor del dólar (USD) se tomará como 664,8 pesos chilenos. Los costos para todos los diámetros se presentan en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1: Costos de suministro de tubería por metro. Fuente: COSMOPLAS.

DN [mm]	DN ["]	D int [mm]	Precio [USD/m]	Precio [\$/m]
160	6"	147,6	22,03	\$14.646
180	6"	166,2	27,41	\$18.222
200	8"	184,6	34,01	\$22.610
225	8"	207,8	42,7	\$28.387
250	10"	230,8	52,89	\$35.161
280	10"	258,6	65,95	\$43.844
315	12"	290,8	84,03	\$55.863
355	14"	327,8	103,55	\$68.843
400	16"	369,4	131,23	\$87.241

Para este sifón se supone que el mayor costo es la instalación de las tuberías bajo el mar, por sobre el costo de los materiales a utilizar. Dado que cuantificar el costo por concepto de mano de obra, para ejecutar trabajos en el mar, es difícil de estimar, se sigue las directrices generales de la Figura 6.1. En ella, se muestran los costos de instalación en dólares versus el diámetro nominal de un emisario de HDPE en centímetros. Estos costos se asumen válidos también para el sifón en estudio, ya que como obra es prácticamente lo mismo que un emisario con la única salvedad de que el flujo en su interior es en el sentido contrario. El valor asignado a la instalación de un metro de sifón de HDPE PN6 PE100 DN280 es 218 [USD/m] neto.

No obstante, se debe hacer una corrección al valor presentado en el párrafo anterior dada la antigüedad del dato. Para esto se aplicará la inflación acumulada desde 1986 a 2016, que es del orden de 118,9%, según los datos publicados en la página del "Bureau of Labor Statistics" del gobierno de los Estados Unidos (www.bls.gov). Finalmente, el valor definitivo de la instalación de un metro de sifón de HDPE PN6 PE100 DN280 es 476 [USD/m] neto

Se cotizó para cebar el sifón un grupo generador de vacío, con un proveedor nacional, el cual indicó un equipo marca Silak Pumps de 1 ½" × 1 ½" de anillo líquido modelo Silak – 125. Éste tiene un valor de \$ 1.116.960 neto.

Finalmente, se completa el cálculo del valor de la captación con la valorización de la construcción de la Sentina 1, la cual tiene 1 [m] de diámetro y 6 [m] de profundidad. Para realizar esta

⁵ Este catálogo es usado para valorizar la mayoría de los suministros complementarios a las plantas de osmosis, como tuberías, equipos de bombeo y tableros eléctricos. Sin embargo, dada su extensión solo se incluye en formato digital disponible para consulta en los anexos del CD adjunto a esta memoria.

valorización se tomó de los registros de la Dirección de Obras de Hidráulicas de la Región de Valparaíso un presupuesto de una obra similar del año 2015, en el cual se construyó una noria de 1 [m] de diámetro y se pagó a \$500.000 pesos neto el metro de construcción.

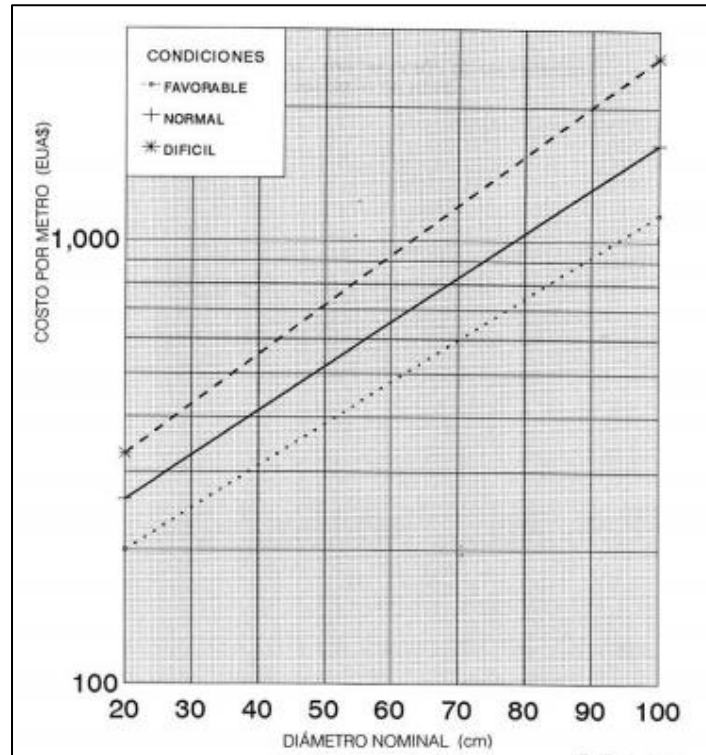


Figura 6.1: Costo estimado de instalación de emisario por metro. (Reiff, 1986).

En la Tabla 6.2, se muestra la estimación de la inversión requerida para ejecutar la captación de la Alternativa 1.A, alcanzando un monto de \$40.395.860 pesos neto.

Tabla 6.2: Costo neto de la inversión para la captación de la Alternativa 1.A. Elaboración propia.

Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Suministro de tubería HDPE PN 6 PE 100 DN 280	m	100	\$ 43.844	\$ 4.384.400
Instalación de tubería HDPE PN 6 PE 100 DN 280	m	100	\$316.445	\$31.644.500
Construcción de sentina de 1 [m] de diámetro	m	6,5	\$ 500.000	\$ 3.250.000
Equipo generador de vacío	N°	1	\$ 1.116.960	\$ 1.116.960
Inversión inicial para la captación				\$40.395.860

6.1.1.2 Tratamiento

El tratamiento, como ya se expuso en el Capítulo 5, fue cotizado por a un proveedor extranjero el cual informó algunos precios de sus plantas. Estos precios incluyen el pretratamiento y postratamiento recomendado, además, de todos los equipos de bombeo y dosificación requeridos. Por esta razón se trata este ítem como caja negra, tanto en la simulación hidráulica del sistema y como en esta evaluación económica.

En la Tabla 6.3 se muestran los valores asignados al costo de una planta de osmosis para este estudio. En negro se marcó los valores sobre los cuales se tiene certeza, pues son de cotizaciones reales hechas al proveedor. A partir de estas cotizaciones, se trazó una recta con los puntos que se tenían para las plantas de osmosis con agua proveniente de pozos playeros extrapolando el costo de los demás equipos; y para las plantas que trabajan con agua captada directamente del mar, se estima que se mantiene la proporción del equipo SW-280K-10780 con las diferentes fuentes de captación.

Tabla 6.3: Precios de las plantas de osmosis (con pre y postratamiento incluido). Fuente: Pure Aqua Inc.

Modelo	Caudal nominal de producción	Potencia	Precio para captación con pozo		Precio para captación directa del mar	
	[m³/d]	[HP]	[USD \$]	[Ch \$]	[USD \$]	[Ch \$]
SW-8K-1280	30	15	78.995	52.515.757	110.052	73.162.684
SW-12K-1380	45	25	85.162	56.615.519	118.644	78.874.296
SW-16K-1480	61	30	91.740	60.988.598	127.808	84.966.681
SW-24K-2380	91	45	104.074	69.188.122	144.991	96.389.904
SW-32K-2480	121	65	116.407	77.387.646	162.174	107.813.127
SW-48K-2680	182	80	141.486	94.060.012	197.112	131.040.347
SW-64K-4480	242	65	166.154	110.459.060	231.478	153.886.792
SW-72K-3680	273	65	178.899	118.931.902	249.234	165.690.789
SW-96K-4680	363	100	215.900	143.530.474	300.783	199.960.457
SW-112K-4780	424	110	240.979	160.202.839	335.722	223.187.677
SW-136K-5680	515	120	278.392	185.074.729	387.843	257.838.119
SW-168K-6780	636	130	328.138	218.146.142	457.148	303.911.785
SW-196K-7780	742	150	371.718	247.117.794	517.861	344.273.839
SW-224K-8780	848	175	415.297	276.089.446	578.574	384.635.892
SW-252K-9780	954	190	458.877	305.061.097	639.287	424.997.946
SW-280K-10780	1.060	190	502.456	334.032.749	700.000	465.360.000
SW-317K-12780	1.200	290	560.014	372.297.194	780.187	518.668.373
SW-420K-15780	1.590	320	720.354	478.891.007	1.003.565	667.170.269
SW-500K-18780	1.893	320	844.925	561.706.200	1.177.113	782.544.819
SW-660K-18880	2.500	350	1.094.479	727.609.903	1.524.781	1.013.674.694

Como se calcula en el Capítulo 5, se requiere de la instalación de los modelos SW-224K-8780 y SW-280K-10780, que en conjunto suman \$849.995.892 neto. Sin embargo, no se requiere que ambas estén operativas al principio del periodo de previsión pudiendo desplazar la inversión de una de las plantas. Luego de analizar el desplazamiento de la inversión de ambas plantas, se determina que la opción más rentable es instalar la planta SW-224K-8780 en 2023. Por lo tanto, la inversión inicial es \$465.360.000, que corresponden a la instalación de la planta modelo SW-280K-10780.

6.1.1.3 Impulsión del agua producida

Desde la sentina 2 hasta los estanques de regulación existentes, hay una distancia aproximada de 2.000 [m] y 48 [m] de altura geométrica. En base a estos datos, se calculó necesaria una impulsión en HDPE PN6 PE100 DN 250 [mm] y dos electrobombas centrifugas de eje horizontal marca Pentax modelo CM 50-200 A. Estas bombas son trifásicas con una potencia nominal de 20 [HP].

Para estimar los costos de los materiales se usa el catalogo COSMOPLAS, ya mencionado anteriormente. En cuanto al costo de instalación de la tubería, éste se calculó en base a los movimientos de tierra que se deben hacer en cada metro para dejar la tubería instalada según lo mostrado en la Figura 6.2.

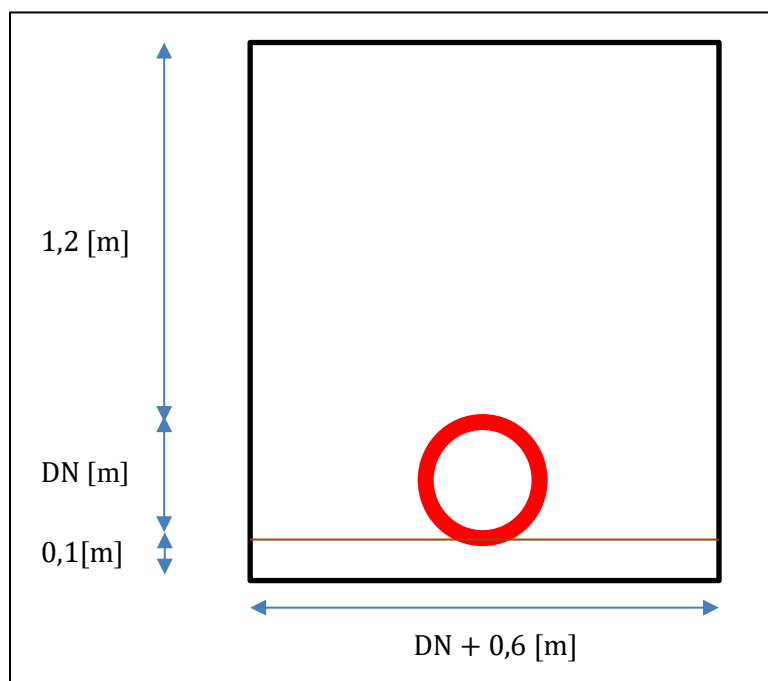


Figura 6.2: Corte de excavación de zanja. Elaboración propia a partir de NCH 2282/2

En base a esta configuración se calcula los volúmenes de excavación, relleno, cama de arena y retiro de excedente. Para estos ítems se conoce la valorización gracias al acceso a presupuestos de obra de la DOH regional. En consecuencia, se calcula el costo de instalación por metro de tubería por cada metro lineal y se muestra en la Tabla 6.4 (el detalle del cálculo está en el Anexo B).

Tabla 6.4: Costos de instalación de tubería por metro en zanja. Elaboración propia a partir de datos DOH.

DN [mm]	DN ["]	Costo del metro de tubería instalada [\$/m]
160	6"	\$16.913
180	6"	\$17.178
200	8"	\$17.444
225	8"	\$17.780
250	10"	\$18.119
280	10"	\$18.530
315	12"	\$19.015
355	14"	\$19.577
400	16"	\$20.219

A partir de estos datos, se calcula el costo de instalación de la impulsión proyectada en la Tabla 6.5.

Debido a que se trata de agua potable, para la sentina 2 se elige un estanque tipo de agua potable construido en hormigón armado. Éste se valorizó en base a presupuestos facilitados por la DOH regional llegándose a un valor medio de \$ 42.682.320 neto.

Tabla 6.5: Costo de instalación de conducciones del proyecto. Elaboración propia.

Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Estanque de hormigón armado de volumen 75 [m ³]	N°	1	\$ 42.682.320	\$ 42.682.320
Suministro de tubería HDPE PN 6 PE 100 DN 250 [mm]	m	2.000	\$ 35.161	\$ 70.322.000
Instalación de tubería HDPE PN 6 PE 100 DN 250 [mm]	m	2.000	\$ 18.119	\$ 36.238.000
Bomba Pentax CM 50-200 A	N°	2	\$ 1.978.200	\$ 3.956.400
Tableros eléctricos de 20 [HP]	N°	2	\$ 1.275.300	\$ 2.550.600
Inversión inicial para la conducción				\$155.749.320

6.1.1.4 Emisario de descarga.

Como se explica en el Capítulo 5, el dimensionamiento del emisario no forma parte de esta memoria, sin embargo, se valoriza de forma aproximada usando el gráfico de la Figura 6.1. Para ello se considera un emisario de 150 [m] mar adentro en un diámetro de 280 [mm], preliminarmente en HDPE. Además, se considera que con la presión con que sale el rechazo de la planta de osmosis es suficiente para realizar la descarga de la salmuera al mar. Finalmente, el valor estimado de este emisario se detalla en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6: Costo de instalación del emisario. Elaboración propia.

Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Suministro de tubería HDPE PN 6 PE 100 DN 280	m	100	\$ 43.844	\$ 4.384.400
Instalación de tubería HDPE PN 6 PE 100 DN 280	m	100	\$ 316.445	\$ 31.644.500
Inversión inicial para el emisario				\$36.028.900

6.1.1.5 Resumen de la inversión inicial

En la Tabla 6.7 se resumen las obras proyectadas para la instalación de una planta de osmosis inversa en Los Molles, cuya captación es directa desde el mar mediante un sifón.

Tabla 6.7: Resumen de inversión inicial para la alternativa 1.A. Elaboración propia.

Ítem	Total
Captación	\$40.395.860
Tratamiento	\$465.360.000
Conducción	\$155.749.320
Emisario	\$36.028.900
Subtotal neto	\$697.534.080
Imprevistos y margen de seguridad (10%)	\$69.753.408
Gastos generales y utilidades del contratista (35%)	\$244.136.928
Total neto	\$1.011.424.416
IVA	\$192.170.639
Total	\$1.203.595.055

6.1.2 COSTOS ANUALES DE LA ALTERNATIVA 1.A.

Para el cálculo de los costos anuales de esta alternativa se considerará solo la energía eléctrica consumida por la planta de tratamiento y las bombas de impulsión al estanque existente, además de un monto de reserva para reposición y mantención. El motivo de esto, es el bajo costo de operación que requiere el resto de los elementos (conducciones y estanques) en comparación a los primeros.

Dado que se proyecta el tratamiento y las bombas impulsoras en el mismo recinto, se requerirá solo un empalme eléctrico cuya potencia requerida es la indicada en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8: Potencia requerida para la instalación de los equipos proyectados. Elaboración propia.

Equipos a instalar	Cantidad	Potencia unitaria [HP]	Potencia total [HP]
Planta de osmosis SW-280K-10780	1	190	190
Planta de osmosis SW-224K-8780	1	175	175
Bomba Pentax CM 50-200 A	2	20	40
Potencia total a instalar en el recinto de tratamiento [HP]			405

Llevando este valor de [HP] a [KW] se tiene 302 [KW].

Como se indica en el catálogo de las plantas de osmosis, éstas producen en conjunto 1.908 [m³/d] durante un periodo de 23,5 [Hrs]. En consecuencia, se requieren 7.097 [KWh/d] (302 [KW] × 23,5 [Hrs]) para producir ese volumen, a partir de lo cual se deduce que para producir 1 [m³] de agua se requieren 3,71 [KWh].

En el Capítulo 4 se calcula el déficit teórico de caudal para los siguientes 15 años. Sin embargo, el valor calculado corresponde al día de máximo consumo, el cual es uno al año. Por lo tanto, no es válido asumir que se requerirá utilizar la planta de osmosis todos los días del año, sino que solo aquellos días en que el caudal disponible de agua dulce no pueda satisfacer la demanda; esto en el entendido que siempre será más conveniente el agua dulce al agua desalinizada.

Como se determina en el Capítulo 4 el FDMC es 5,25, el CDMC 1,5 y CMMC 3,5. Además, a partir de la Tabla 4.4 se concluye que solo en los meses de enero y febrero existe déficit de caudal. En base a estos cálculos y supuestos la demanda promedio en un día de verano se calcula mediante la ecuación (6.2).

$$Q_{m(\text{verano})} = 86,4 \cdot Q_{md} \cdot CMMC \text{ [m}^3\text{/d]} \quad (6.2)$$

Por lo tanto, la demanda promedio en los días de verano para el periodo de operación del proyecto es la mostrada en la Tabla 6.9. En la misma tabla se indica el déficit teórico de caudal que existiría para cada año.

Tabla 6.9: Demandas promedio para los días de verano en el periodo de operación del proyecto. Elaboración propia.

Año	Habitantes	$Q_{m(verano)}$ [m³/d]	Oferta agua dulce [m³/d]	Déficit verano [m³/d]
2018	1.022	1.361	1.253	108
2019	1.052	1.391	1.253	138
2020	1.084	1.452	1.253	199
2021	1.117	1.482	1.253	229
2022	1.150	1.512	1.253	259
2023	1.184	1.572	1.253	319
2024	1.220	1.603	1.253	350
2025	1.257	1.663	1.253	410
2026	1.294	1.724	1.253	471
2027	1.333	1.754	1.253	501
2028	1.373	1.814	1.253	561
2029	1.414	1.875	1.253	622
2030	1.457	1.935	1.253	682
2031	1.500	1.996	1.253	743
2032	1.546	2.056	1.253	803

Considerando que la temporada alta comienza el 31 de diciembre y finaliza el 28 de febrero (no se consideran los años bisiestos), los días con el déficit que se muestra en la Tabla 6.9 se asumen como 60 en el año.

En la Tabla 6.10 se presentan los costos eléctricos calculados para la producción de agua mediante desalinización. En el Anexo C se realiza un estudio del comportamiento histórico de las tarifas eléctricas en el sector, el cual se usa para determinar el valor futuro de éstas. Se seleccionó la tarifa AT 4.3 por ser la más conveniente para este caso, debido a que el cargo por consumo en hora punta corresponde al realizado entre abril y septiembre en el horario de 18:00 a 23:00, pero el sistema de desalinización solo debería funcionar en los meses de enero y febrero.

Tabla 6.10: Costos eléctricos asociados a la producción de agua por desalinización. Elaboración propia.

Año	Volumen producido por desalinización [m³]	Consumo eléctrico asociado [KWh]	Costo eléctrico asociado [\$]
2018	6.480	24.041	\$2.246.273
2019	8.280	30.719	\$2.854.036
2020	11.940	44.297	\$4.086.105

Tabla 6.10: Costos eléctricos asociados a la producción de agua por desalinización. Continuación.

Año	Volumen producido por desalinización [m³]	Consumo eléctrico asociado [KWh]	Costo eléctrico asociado [\$]
2021	13.740	50.975	\$4.759.112
2022	15.540	57.653	\$5.458.044
2023	19.140	71.009	\$6.974.719
2024	21.000	77.910	\$7.755.693
2025	24.600	91.266	\$9.185.897
2026	28.260	104.845	\$10.689.888
2027	30.060	111.523	\$11.554.358
2028	33.660	124.879	\$13.127.585
2029	37.320	138.457	\$14.775.792
2030	40.920	151.813	\$16.453.151
2031	44.580	165.392	\$18.206.461
2032	48.180	178.748	\$19.987.954

Para finalizar la cuantificación de los costos de operación del proyecto, considera un fondo de reposición y emergencia. Por esto se considera un 50% de gastos operacionales del proyecto por este concepto.

Tabla 6.11: Costos anuales del proyecto. Elaboración propia.

Año	Costo eléctrico [\$]	Fondo de reposición y emergencia [\$]	Costos anuales [\$]
2018	\$2.246.273	\$1.123.137	\$3.369.410
2019	\$2.854.036	\$1.427.018	\$4.281.054
2020	\$4.086.105	\$2.043.053	\$6.129.158
2021	\$4.759.112	\$2.379.556	\$7.138.668
2022	\$5.458.044	\$2.729.022	\$8.187.066
2023	\$6.974.719	\$3.487.360	\$10.462.079
2024	\$7.755.693	\$3.877.847	\$11.633.540
2025	\$9.185.897	\$4.592.949	\$13.778.846
2026	\$10.689.888	\$5.344.944	\$16.034.832
2027	\$11.554.358	\$5.777.179	\$17.331.537
2028	\$13.127.585	\$6.563.793	\$19.691.378
2029	\$14.775.792	\$7.387.896	\$22.163.688
2030	\$16.453.151	\$8.226.576	\$24.679.727
2031	\$18.206.461	\$9.103.231	\$27.309.692
2032	\$19.987.954	\$9.993.977	\$29.981.931

6.1.3 INDICADOR ECONÓMICO DE LA ALTERNATIVA 1.A.

Con los costos de inversión inicial y de operación anuales de la Alternativa 1.A se calcula el indicador VAC, el cual se muestra en la Tabla 6.12.

Tabla 6.12: Indicador VAC de la Alternativa 1.A. Elaboración propia.

Año	Inversión [\$]	Costo anual [\$]	Valor actual de costo [\$]
2017	\$1.203.595.055		\$1.203.595.055
2018		\$3.369.410	\$3.077.087
2019		\$4.281.054	\$3.570.446
2020		\$6.129.158	\$4.668.297
2021		\$7.138.668	\$4.965.474
2022		\$8.187.066	\$5.200.651
2023	\$663.689.232	\$10.462.079	\$391.086.359
2024		\$11.633.540	\$6.163.296
2025		\$13.778.846	\$6.666.531
2026		\$16.034.832	\$7.084.959
2027		\$17.331.537	\$6.993.521
2028		\$19.691.378	\$7.256.393
2029		\$22.163.688	\$7.458.862
2030		\$24.679.727	\$7.585.021
2031		\$27.309.692	\$7.665.123
2032		\$29.981.931	\$7.685.070
VAC Alternativa 1.A			\$1.680.722.145

La tasa de descuento utilizada es 9,5%.

6.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA ALTERNATIVA 1.B.

La Alternativa 1.B. corresponde a desalación de agua de mar utilizando como captación pozos playeros que aprovechen el fenómeno de intrusión salina.

6.2.1 INVERSIÓN INICIAL DE LA ALTERNATIVA 1.B.

En esta alternativa se distinguen 4 obras importantes: la captación, el tratamiento, impulsión y el emisario de descarga.

6.2.1.1 Captación

La captación de esta alternativa se definió en el Capítulo 5, proyectándose la construcción de 2 pozos los cuales tendrían una profundidad de 21 [m] y un diámetro de 10". Para construir un pozo de estas características se debe perforar en un diámetro mayor y luego realizar la entubación definitiva en el diámetro deseado. Esta obra se valoriza en base a los datos obtenidos de la DOH (Anexo B), en

donde se define que el costo de construcción del pozo proyectado es 674.118 [\$/m]. Por lo tanto, el costo de los pozos es \$ 28.312.956 pesos netos.

En cuanto a los equipos de bombeo, no se tiene la cotización del equipo marca Grundfos y el modelo es el SP 95-2-A que se selecciona en la sección 5.1.3.1. A falta de información, se supone un precio similar a la bomba marca Pentax modelo E8F/1. Esto implica que el precio de los equipos de bombeo es \$ 849.600 neto cada uno.

Cabe mencionar que estos equipos de bombeo deben ir acompañados de un tablero eléctrico de 10 [HP], valorizado en \$1.329.100 netos cada uno. Además, se agrega un variador de frecuencia para cada bomba de la marca Danfoss y modelo FC202 P7 K5 T4 E20 H2 que tiene un precio neto de 2.823 USD (\$ 1.876.730).

Finalmente, el agua extraída de los pozos se lleva a una sentina como se muestra en la Figura 5.27. Esta sentina se proyecta con una profundidad de 4 [m] y un diámetro de 1 [m], valorizándose su construcción en 500.000 [\$/m] neto.

Tabla 6.13: Inversión inicial para la Alternativa 1.B.

Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Construcción de pozos, 10" de diámetro.	m	42	\$ 674.118	\$ 28.312.956
Equipos de bombeo, Grundfos SP 95-2-A	N°	2	\$ 849.600	\$ 1.699.200
Tableros eléctricos de 10 [HP] de capacidad	N°	2	\$ 1.329.100	\$ 2.658.200
Variador de frecuencia Danfoss FC202 P7 K5 T4 E20 H2	N°	2	\$ 1.876.730	\$ 3.753.460
Sentina de acumulación de diámetro 1 [m].	m	4	\$ 500.000	\$ 2.000.000
Inversión inicial para la captación				\$38.423.816

6.2.1.2 Tratamiento

El tratamiento de esta alternativa es más simple que la Alternativa 1.A, debido a que el agua captada por pozos es de mejor calidad que el agua captada. En la Tabla 6.3 se presentaron los precios de las plantas de osmosis (que incluyen el tratamiento completo) diferenciados por el método de captación. De acá se extrae que los modelos SW-224K-8780 y SW-280K-10780; tienen un valor neto de \$ 276.089.446 y \$ 334.032.749 respectivamente. Como se determinó en la evaluación económica de la alternativa anterior, es más conveniente instalar la planta de osmosis de mayor capacidad al comienzo, aplazando la instalación de la segunda planta para el año 2023. En consecuencia, la inversión inicial del tratamiento para esta alternativa es \$ 334.032.749.

6.2.1.3 Impulsión del agua producida

El agua producida por la planta de osmosis es almacenada en un estanque de acumulación de 75 [m³], valorizado en \$ 42.682.320.

Luego, esta agua es impulsada por dos bombas de eje horizontal marca Pentax modelo CM 50-200A, las cuales tienen un precio neto de \$ 1.978.200 cada una. Estas bombas tienen una potencia nominal de 20 [HP] cada una.

Finalmente, la tubería de impulsión proyectada es en HDPE PN6 PE100 DN 250 [mm], cuyos costos unitarios fueron calculados para la alternativa anterior, y tiene un largo de 1.490[m]. En la Tabla 6.14 se muestra el resultado de la valoración de las obras de captación de la Alternativa 1.B.

Tabla 6.14: Inversión inicial para la impulsión de la Alternativa 1.B. Elaboración propia.

Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Estanque de hormigón armado de volumen 75 [m ³]	N°	1	\$42.682.320	\$42.682.320
Suministro de tubería HDPE PN 6 PE 100 DN 250 [mm]	m	1.490	\$35.161	\$52.389.890
Instalación de tubería HDPE PN 6 PE 100 DN 250 [mm]	m	1.490	\$18.119	\$26.997.310
Bomba Pentax CM 50-200 A	N°	2	\$1.978.200	\$3.956.400
Tableros eléctricos de 20 [HP]	N°	2	\$1.275.300	\$2.550.600
Inversión inicial para la conducción				\$128.576.520

6.2.1.4 Emisario de descarga

Como se menciona en el Capítulo 5, el emisario de descarga se supone en HDPE PE100 PN6 DN 280 [mm] y con una longitud de 100 [m] mar adentro. En consecuencia, se valoriza un emisario de dichas características y una instalación de tubería en zanja de 120 [m] de largo.

Tabla 6.15: Inversión inicial para el emisario de descarga de la Alternativa 1.B. Elaboración propia.

Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Suministro de tubería HDPE PN 6 PE 100 DN 280	m	220	\$ 43.844	\$9.645.680
Instalación de emisario en HDPE PN 6 PE 100 DN 280	m	100	\$ 316.445	\$ 31.644.500

Tabla 6.15: Inversión inicial para el emisario de descarga de la Alternativa 1.B. Continuación.

Instalación de tubería en zanja de HDPE PN 6 PE 100 DN 280	m	100	\$ 18.530	\$1.853.000
Inversión inicial para el emisario				\$43.143.180

6.2.1.5 Resumen de la inversión inicial para la Alternativa 1.B.

En la Tabla 6.16 se muestra el resumen de la inversión inicial requerida para la Alternativa 1.B.

Tabla 6.16: Resumen de inversión inicial para la alternativa 1.B. Elaboración propia.

Ítem	Total
Captación	\$38.423.816
Tratamiento	\$334.032.749
Conducción	\$128.576.520
Emisario	\$43.143.180
Subtotal neto	\$544.176.265
Imprevistos y margen de seguridad (10%)	\$54.417.627
Gastos generales y utilidades del contratista (35%)	\$190.461.693
Total neto	\$789.055.585
IVA	\$149.920.561
Total	\$938.976.146

La inversión inicial para la Alternativa 1.B se estima en \$ 938.976.146.

6.2.2 COSTOS ANUALES DE LA ALTERNATIVA 1.B.

Los costos operacionales de esta alternativa son principalmente eléctricos, como se explica para la Alternativa 1.A. En la Tabla 6.17 se muestra la potencia requerida para el funcionamiento de los equipos proyectados, la cual es de 425 [HP] o 316,9 [KW].

Dado que los equipos deben funcionar 23,5 [Hrs] para producir 1.908 [m³/d] de agua potable, estos consumirían 7.447,15 [KWh/d] para llegar a dicho valor. Esto implica que el consumo eléctrico para producir 1 [m³] con la configuración propuesta en esta alternativa es 3,9 [KWh].

Tabla 6.17: Potencia requerida para la instalación de los equipos proyectados. Elaboración propia.

Equipos a instalar	Cantidad	Potencia unitaria [HP]	Potencia total [HP]
Planta de osmosis SW-280K-10780	1	190	190
Planta de osmosis SW-224K-8780	1	175	175
Bomba Pentax CM 50-200 A	2	20	40
Bomba Grundfos 95-2-A	2	10	20
Potencia total a instalar en el recinto de tratamiento [HP]			425

Para calcular la cantidad de $[m^3]$ a producir se usan los mismos valores y supuestos que dieron como resultado lo expresado en las Tabla 6.9 y Tabla 6.10. La diferencia está en que para esta alternativa se requiere mayor potencia, por lo que la energía consumida será mayor y, en consecuencia, los costos anuales también serán mayores. En la Tabla 6.18 se muestran los costos eléctricos anualizados para la producción de agua potable mediante la Alternativa 1.B.

Tabla 6.18: Costos eléctricos asociados a la producción de agua por desalinización. Elaboración propia.

Año	Volumen producido por desalinización $[m^3]$	Consumo eléctrico asociado [KWh]	Costo eléctrico asociado [\$]
2018	6.480	25.272	\$2.370.307
2019	8.280	32.292	\$3.009.015
2020	11.940	46.566	\$4.304.058
2021	13.740	53.586	\$5.011.352
2022	15.540	60.606	\$5.745.900
2023	19.140	74.646	\$7.331.170
2024	21.000	81.900	\$8.152.118
2025	24.600	95.940	\$9.655.584
2026	28.260	110.214	\$11.236.575
2027	30.060	117.234	\$12.145.334
2028	33.660	131.274	\$13.799.146
2029	37.320	145.548	\$15.531.846
2030	40.920	159.588	\$17.295.124
2031	44.580	173.862	\$19.138.199
2032	48.180	187.902	\$21.010.944

Para esta alternativa también se considera un fondo de mantención y reposición de los elementos del sistema de un 50%. En la Tabla 6.19 se presentan los costos anuales considerados para esta alternativa.

Tabla 6.19: Costos anuales del proyecto. Elaboración propia.

Año	Costo eléctrico [\$]	Fondo de reposición y emergencia [\$]	Costos anuales [\$]
2018	\$2.370.307	\$1.185.154	\$3.555.461
2019	\$3.009.015	\$1.504.508	\$4.513.523
2020	\$4.304.058	\$2.152.029	\$6.456.087
2021	\$5.011.352	\$2.505.676	\$7.517.028
2022	\$5.745.900	\$2.872.950	\$8.618.850
2023	\$7.331.170	\$3.665.585	\$10.996.755
2024	\$8.152.118	\$4.076.059	\$12.228.177
2025	\$9.655.584	\$4.827.792	\$14.483.376
2026	\$11.236.575	\$5.618.288	\$16.854.863
2027	\$12.145.334	\$6.072.667	\$18.218.001
2028	\$13.799.146	\$6.899.573	\$20.698.719
2029	\$15.531.846	\$7.765.923	\$23.297.769
2030	\$17.295.124	\$8.647.562	\$25.942.686
2031	\$19.138.199	\$9.569.100	\$28.707.299
2032	\$21.010.944	\$10.505.472	\$31.516.416

6.2.3 INDICADOR ECONÓMICO DE LA ALTERNATIVA 1.B

Con los costos de inversión inicial y de operación anuales de la Alternativa 1.B se calcula el indicador VAC, el cual se muestra en la Tabla 6.20.

Tabla 6.20: Indicador VAC de la Alternativa 1.B. Elaboración propia.

Año	Inversión [\$]	Costo anual [\$]	Valor actual de costo [\$]
2017	\$938.976.146		\$938.976.146
2018		\$3.555.461	\$3.246.996
2019		\$4.513.523	\$3.764.328
2020		\$6.456.087	\$4.917.304
2021		\$7.517.028	\$5.228.651
2022		\$8.618.850	\$5.474.932
2023	\$476.392.339	\$10.996.755	\$282.742.499
2024		\$12.228.177	\$6.478.327
2025		\$14.483.376	\$7.007.399

Tabla 6.20: Indicador VAC de la Alternativa 1.B. Continuación.

Año	Inversión [\$]	Costo anual [\$]	Valor actual de costo [\$]
2026		\$16.854.863	\$7.447.288
2027		\$18.218.001	\$7.351.222
2028		\$20.698.719	\$7.627.604
2029		\$23.297.769	\$7.840.521
2030		\$25.942.686	\$7.973.177
2031		\$28.707.299	\$8.057.395
2032		\$31.516.416	\$8.078.394
VAC Alternativa 1.B.			\$1.312.212.183

La tasa de descuento utilizada es 9,5%.

6.3 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA ALTERNATIVA 2.

La Alternativa 2 consiste en suplementar el déficit de caudal calculado mediante camiones aljibes.

6.3.1 INVERSIÓN INICIAL DE LA ALTERNATIVA 2.

La presente alternativa no requiere de inversión inicial, ya que los camiones pueden eventualmente descargar directamente en los estanques de regulación del sistema.

6.3.2 COSTOS ANUAL DE OPERACIÓN DE LA ALTERNATIVA 2.

Los costos operacionales de esta alternativa corresponden al cobro hecho por el proveedor para llevar agua hasta la localidad en camión aljibe.

Este dato se obtuvo a través de la Gobernación de Petorca, ya que cuando la SiSS caducó la concesión de la Empresa de Agua Potable de Los Molles S.A., esta institución aportó con fondos para contratar camiones aljibes para la localidad de Los Molles mediante Resolución Exenta N° 349 del 1 de abril de 2013. En el documento antes citado, quedó estipulado un valor de \$ 2.114.154 por 90 [m³] de agua, lo que implica un costo de \$23.491 por [m³].

Tabla 6.21: Costo anual de la Alternativa 2. Elaboración propia.

Año	Volumen de déficit anual [m³]	Costo anual [\$]
2018	6.480	\$152.219.088
2019	8.280	\$194.502.168
2020	11.940	\$280.477.764
2021	13.740	\$322.760.844
2022	15.540	\$365.043.924

Tabla 6.21: Costo anual de la Alternativa 2. Continuación.

Año	Volumen de déficit anual [m3]	Costo anual [\$]
2023	19.140	\$449.610.084
2024	21.000	\$493.302.600
2025	24.600	\$577.868.760
2026	28.260	\$663.844.356
2027	30.060	\$706.127.436
2028	33.660	\$790.693.596
2029	37.320	\$876.669.192
2030	40.920	\$961.235.352
2031	44.580	\$1.047.210.948
2032	48.180	\$1.131.777.108

6.3.3 INDICADOR ECONÓMICO DE LA ALTERNATIVA 2.

Con los costos de inversión inicial y de operación anuales de la Alternativa 2 se calcula el indicador VAC, el cual se muestra en la Tabla 6.20. La tasa de descuento utilizada es 9,5%.

Tabla 6.22: Indicador VAC de la Alternativa 1.B. Elaboración propia.

Año	Inversión [\$]	Costo anual [\$]	Valor actual de costo [\$]
2017	\$0		
2018		\$152.219.088	\$139.012.866
2019		\$194.502.168	\$162.216.941
2020		\$280.477.764	\$213.626.969
2021		\$322.760.844	\$224.504.146
2022		\$365.043.924	\$231.886.000
2023		\$449.610.084	\$260.826.268
2024		\$493.302.600	\$261.345.225
2025		\$577.868.760	\$279.586.542
2026		\$663.844.356	\$293.318.324
2027		\$706.127.436	\$284.932.438
2028		\$790.693.596	\$291.375.419
2029		\$876.669.192	\$295.030.092
2030		\$961.235.352	\$295.424.280
2031		\$1.047.210.948	\$293.924.985
2032		\$1.131.777.108	\$290.100.928
VAC Alternativa 2			\$3.817.111.424

6.4 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.

Considerando los resultados expuestos en este capítulo, en cuanto a la evaluación económica de las alternativas propuestas en el Capítulo 5, se determina que la alternativa más conveniente para asegurar una producción de agua potable permanente y continua para la localidad de Los Molles es la Alternativa 1.B; esto debido a que presenta un menor VAC, como se muestra en la Tabla 6.23 y la Figura 6.3.

Tabla 6.23: Resumen de la evaluación económica para las alternativas estudiadas. Elaboración propia.

Alternativa	VAC
1.A.	\$1.680.722.145
1.B.	\$1.312.212.183
2	\$3.817.111.424

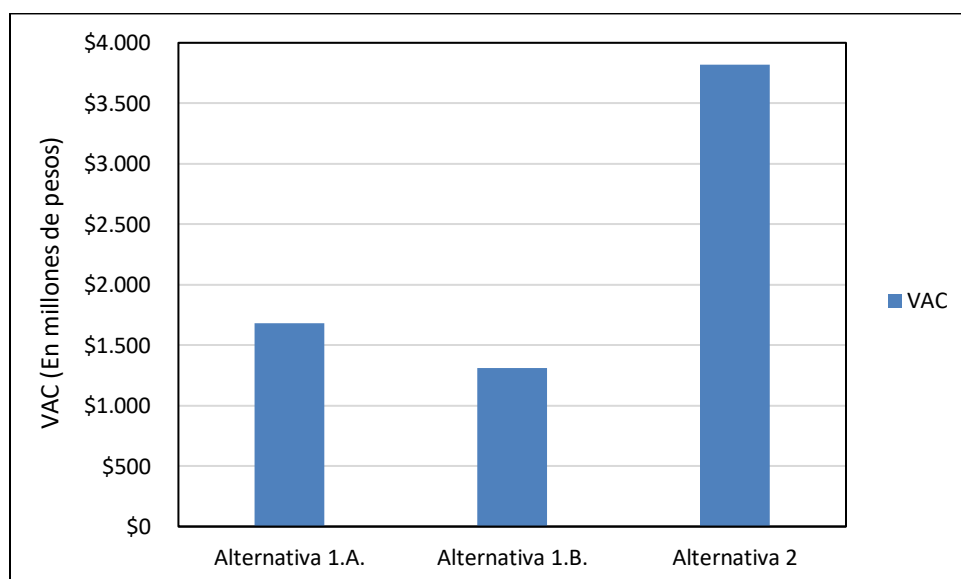


Figura 6.3: Resumen de la evaluación económica para las alternativas estudiadas.

Para un mejor entendimiento de este análisis, se grafican los costos anuales (llevados a valor actual) considerados para cada alternativa en la Figura 6.4. A partir de este gráfico observa que los costos anuales de la Alternativa 2 son altos, en comparación a las alternativas de desalinización de agua de mar analizadas (Alternativas 1.A. y 1.B.). La diferencia de las alternativas 1.A. y 1.B. esta dada por los costos de instalación de las plantas de osmosis (años 2017 y 2023), ya que los gastos anuales en los años sin inversión son prácticamente iguales.

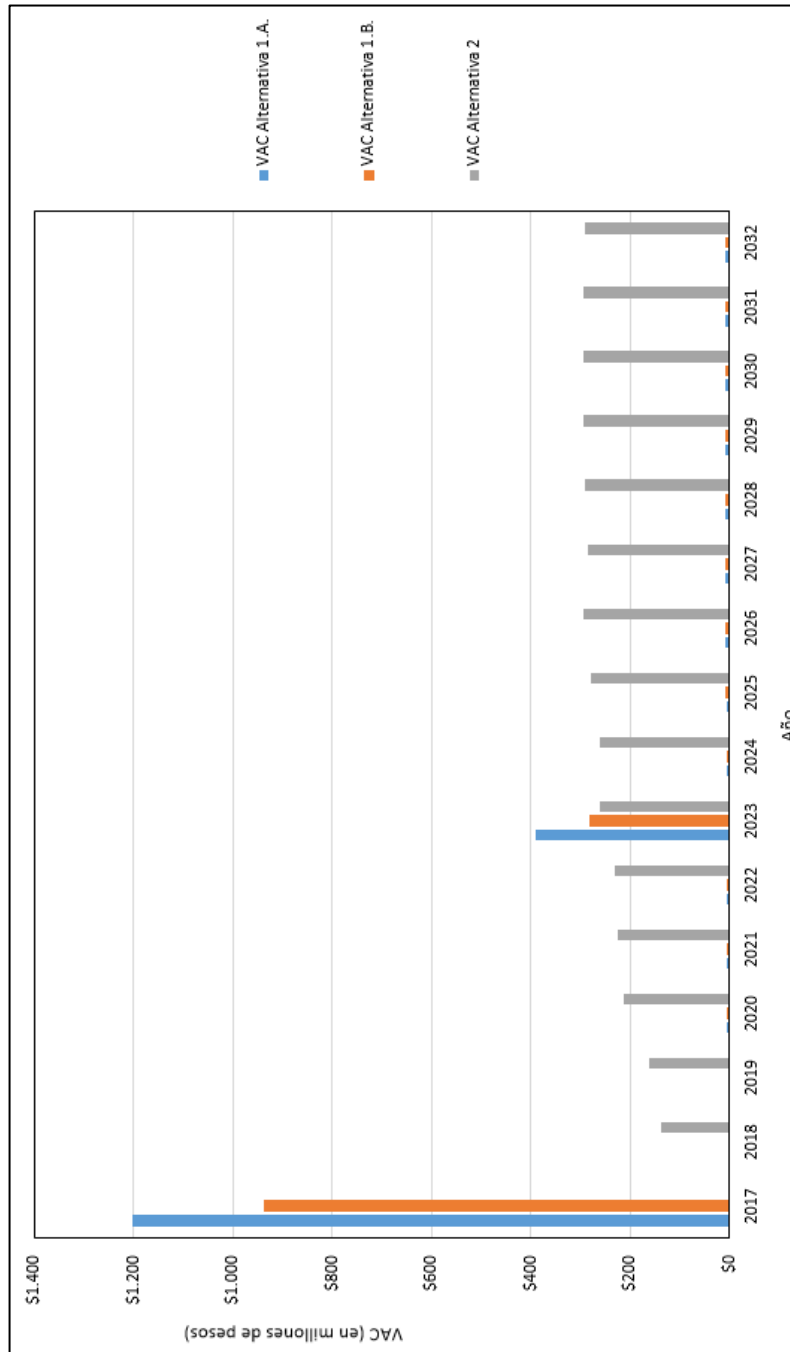


Figura 6.4: Gráfico comparativo del valor actual de costos de las alternativas estudiadas.
Elaboración propia.

Cabe aclarar que los resultados mostrados anteriormente no incorporan el valor de los terrenos requeridos para el emplazamiento de las obras. Esta omisión se basa principalmente en que los espacios requeridos son pequeños ($\sim 400 \text{ [m}^2\text{]}$), por lo tanto, los valores de los terrenos no debiesen superar los \$ 10.000.000, siendo un costo marginal en comparación a los costos de inversión calculados ($\sim 1\%$).

6.5 RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Hasta ahora se ha analizado económicamente las alternativas, identificando cuál es la que resuelve el problema de abastecimiento de agua potable al mínimo valor actual de costo. Sin embargo, para que un proyecto se ejecute debe ser rentable.

Para analizar si la solución propuesta es rentable se usan los indicadores VAN (Valor Actual Neto) y TIR (Tasa interna de retorno). El VAN se calcula según la fórmula (6.3).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (6.3)$$

Donde V_t son los flujos de caja dentro del periodo de evaluación, k es la tasa de interés e I_0 la inversión inicial.

Para la solución adoptada, I_0 tiene un valor de \$938.976.146 y se calcula en la sección 6.2.

V_t se calcula anualmente como la diferencia entre los costos y los beneficios asociados al proyecto. En este caso, como se trata de un proyecto no ejecutado se habla de costos y beneficios esperados. Los costos esperados son estimados parcialmente en la sección 6.2 y en ésta se agrega la producción de agua usando las fuentes actuales. Los beneficios esperados se calculan en esta sección y corresponden a la venta de agua, siendo valorizados como el volumen de agua potable facturada multiplicado por el precio establecido del $[m^3]$ de agua.

Dado que la distribución de agua potable es un mercado monopólico, permite que la empresa sanitaria imponga un precio sin necesidad de realizar un mayor análisis de mercado, lo que en teoría permite un negocio con alta rentabilidad. No obstante, este precio tiene límites que son vigilados por la SiSS. La forma de imponer estos límites es aplicando lo dispuesto en el Artículo 5 del D.F.L. N° 70 de 1988, el cual establece lo siguiente: *“La tasa de costo de capital corresponderá a la tasa interna de retorno promedio ofrecida por el Banco Central de Chile para sus instrumentos reajustables en moneda nacional de plazo igual o mayor a ocho años, más un premio por riesgo que no podrá ser inferior a 3% ni superior a 3,5%”*. Esto implica que para el cálculo de la tarifa (beneficios), la empresa sanitaria expone de manera fundada su inversión requerida y costos esperados; luego aplicando (6.3) con k dentro de los márgenes permitidos por el D.F.L. N° 70 de 1988, se hace una estimación del precio del $[m^3]$ de agua, para que los beneficios esperados sean tales que el VAN tenga un valor de 0, dentro de un periodo de preestablecido (15 años para este caso).

Con la manera de usar la fórmula (6.3) descrita en el párrafo anterior, el valor de k es equivalente a la TIR. Es decir, valor de k para el cual el VAN toma el valor de 0.

En la Tabla 6.24 se muestran las tasas retorno publicadas por el Banco Central de Chile, en donde el valor de 6,07%, de la última celda de la columna de la derecha, muestra la tasa promedio de los instrumentos reajustables en moneda nacional, desde 2007 a septiembre de 2016. El premio por riesgo para este proyecto se deja en 3,5%. Finalmente, valor de la TIR requerida del proyecto es 9,5%, truncando a un decimal.

Tabla 6.24: Tasas de rentabilidad de la deuda pública. (Ministerio de Hacienda, 2016).

Retornos ^(a)	Mes	Últimos 3 meses	Año acumulado	Últimos 12 meses	Últimos 3 años (anualizado)	Desde el inicio ^(b)
Bonos Soberanos y otros activos relacionados	0,74%	0,68%	11,43%	10,42%	1,92%	
Bonos Indexados a inflación	0,10%	3,28%	9,88%	7,00%	2,45%	
Bonos Corporativos	-0,04%	1,93%	8,94%	8,06%	3,08%	
Acciones	0,68%	5,39%	6,99%	12,40%	5,57%	
Portafolio Total	0,46%	2,06%	10,10%	9,69%	2,88%	3,94%
Tipo de cambio CLP	-2,09%	-0,36%	-6,82%	-6,47%	9,43%	2,13%
Retorno en CLP ^(c)	-1,63%	1,70%	3,27%	3,22%	12,31%	6,07%

En la sección 6.2 se calcularon los costos asociados a la implementación de la alternativa seleccionada. Sin embargo, falta calcular los costos totales de producción incluyendo la producción de agua dulce con las fuentes actuales, pues para analizar la rentabilidad del proyecto se debe incluir todas los costos y beneficios de la situación con proyecto.

En el Capítulo 4 se calcula el caudal medio de producción requerido para cada año del periodo de previsión. Con este dato y el volumen anual de agua producida por desalación (Tabla 6.18), determina el volumen anual de producción de las fuentes existentes en el periodo de previsión. Estos resultados se muestran en la Tabla 6.25.

Tabla 6.25: Cálculo del volumen de producción de cada fuente en la situación con proyecto.
Elaboración propia.

Año	Habitantes	Qmd [L/s]	Producción total anual [m ³]	Producción anual con desalación [m ³]	Producción anual con fuentes existente [m ³]
2018	1.022	4,5	141.912	6.480	135.432
2019	1.052	4,6	145.066	8.280	136.786
2020	1.084	4,8	151.373	11.940	139.433
2021	1.117	4,9	154.526	13.740	140.786
2022	1.150	5,0	157.680	15.540	142.140
2023	1.184	5,2	163.987	19.140	144.847
2024	1.220	5,3	167.141	21.000	146.141
2025	1.257	5,5	173.448	24.600	148.848
2026	1.294	5,7	179.755	28.260	151.495

Tabla 6.25: Cálculo del volumen de producción de cada fuente en la situación con proyecto.
Continuación.

Año	Habitantes	Qmd [L/s]	Producción total anual [m³]	Producción anual con desalación [m³]	Producción anual con fuentes existente [m³]
2027	1.333	5,8	182.909	30.060	152.849
2028	1.373	6,0	189.216	33.660	155.556
2029	1.414	6,2	195.523	37.320	158.203
2030	1.457	6,4	201.830	40.920	160.910
2031	1.500	6,6	208.138	44.580	163.558
2032	1.546	6,8	214.445	48.180	166.265

También en el Capítulo 4, se calculó una producción máxima de 14,5 [L/s] por parte de las norias existentes en la localidad. Por lo tanto, se requiere una bomba que eleve un caudal de 14,5 [L/s] a 54 [m] para producir agua potable, este valor de altura corresponde a los 46 [m] de desnivel entre el nivel freático y el nivel de los estanques de regulación; más 8 [m] de pérdida de carga ante la necesidad de un filtro de grava. Con la ecuación (6.4) se calcula la potencia teórica de dicha bomba.

$$P = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot H}{1000 \cdot \eta} \text{ [KW]} \quad (6.4)$$

Donde Q es el caudal a elevar en [m³/s], en este caso 0,0145 [m³/s]; ρ es la densidad del agua en [Kg/m³], g es la aceleración de gravedad en [m/s²], H es la altura de elevación en [m], que se estima en 54 [m]; y η es la eficiencia de la bomba en [%], que se supondrá de 75%. Reemplazando los valores en (6.2) se llega a una potencia de 10,2 [KW].

Dado el caudal y la potencia asociada, se calcula la energía requerida para producir 1 [m³] de agua, que corresponde a 2,5 [KWh]. Con estos datos se calcula el costo eléctrico de producción de agua potable a partir de las fuentes actuales de producción.

Tabla 6.26: Costo eléctrico de producción de agua potable a partir de las fuentes actuales del sistema. Elaboración propia.

Año	Producción anual con fuentes existente [m³]	Consumo eléctrico asociado [KWh]	Costo eléctrico asociado [\$]
2018	135.432	342.970	\$28.605.735
2019	136.786	346.398	\$29.558.227
2020	139.433	353.102	\$30.808.122
2021	140.786	356.529	\$31.793.588

Tabla 6.26: Costo eléctrico de producción de agua potable a partir de las fuentes actuales del sistema. Continuación.

Año	Producción anual con fuentes existente [m³]	Consumo eléctrico asociado [KWh]	Costo eléctrico asociado [\$]
2022	142.140	359.957	\$32.792.362
2023	144.847	366.813	\$34.121.678
2024	146.141	370.089	\$35.139.364
2025	148.848	376.945	\$36.514.962
2026	151.495	383.649	\$37.902.228
2027	152.849	387.076	\$38.986.912
2028	155.556	393.932	\$40.435.407
2029	158.203	400.636	\$41.894.685
2030	160.910	407.492	\$43.396.116
2031	163.558	414.196	\$44.907.741
2032	166.265	421.051	\$46.462.107

Si se suman los costos anuales considerados en la Tabla 6.19 y los costos eléctricos de la Tabla 6.26 se obtienen los costos totales anuales de la situación con proyecto.

El beneficio esperado con el proyecto es la venta de agua potable. En la Tabla 6.25 se muestra la cantidad de agua potable a producir con proyecto. Sin embargo, se debe considerar que no toda esta agua producida termina siendo facturada debido principalmente a las pérdidas propias de los sistemas de distribución de agua potable. Como se expone en el Capítulo 4 el nivel de pérdidas supuesto es del 34% (aguas no contabilizadas). Bajo este supuesto la cantidad de agua potable que se espera facturar durante el periodo de previsión es la que se muestra en la Tabla 6.27.

Tabla 6.27: Volumen de agua a facturar durante el periodo de previsión del proyecto. Elaboración propia.

Volumen de agua producida [m³]	Pérdidas [%]	Volumen de agua facturada [m³]
141.912	34%	93.662
145.066	34%	95.744
151.373	34%	99.906
154.526	34%	101.987
157.680	34%	104.069
163.987	34%	108.231

Tabla 6.27: Volumen de agua a facturar durante el periodo de previsión del proyecto.
Continuación.

Volumen de agua producida [m ³]	Pérdidas [%]	Volumen de agua facturada [m ³]
167.141	34%	110.313
173.448	34%	114.476
179.755	34%	118.638
182.909	34%	120.720
189.216	34%	124.883
195.523	34%	129.045
201.830	34%	133.208
208.138	34%	137.371
214.445	34%	141.534

Con estos datos ya se puede calcular los beneficios esperados del proyecto estableciendo un precio para del [m³].

Luego de iterar el precio del [m³], con el objetivo de hacer 0 el VAN para la TIR requerida de 9,5%, se llega a que el valor del metro cúbico de agua debe ser \$1.840. En la Tabla 6.28 se muestran los flujos netos que produce este valor del [m³] y estos flujos llevaos a valor actual neto.

Tabla 6.28: Flujos netos para el cálculo del VAN. Elaboración propia.

Año	Inversión [\$]	Costos esperados [\$]	Beneficios esperados [\$]	V _t [\$]	VAN [\$]
2017	\$-938.976.146				\$-938.976.146
2018		\$-32.161.196	\$172.299.777	\$140.138.581	\$127.980.439
2019		\$-34.071.750	\$176.129.806	\$142.058.056	\$118.477.977
2020		\$-37.264.209	\$183.786.184	\$146.521.975	\$111.599.027
2021		\$-39.310.616	\$187.614.373	\$148.303.757	\$103.156.281
2022		\$-41.411.212	\$191.444.402	\$150.033.189	\$95.305.233
2023		\$-521.510.772	\$199.100.780	\$-322.409.992	\$-187.035.385
2024		\$-47.367.541	\$202.930.808	\$155.563.267	\$82.415.372
2025		\$-50.998.338	\$210.589.026	\$159.590.688	\$77.213.741
2026		\$-54.757.091	\$218.245.404	\$163.488.313	\$72.236.990
2027		\$-57.204.913	\$222.075.432	\$164.870.519	\$66.527.594
2028		\$-61.134.126	\$229.733.650	\$168.599.524	\$62.129.954
2029		\$-65.192.454	\$237.390.028	\$172.197.573	\$57.950.555

Tabla 6.28: Flujos netos para el cálculo del VAN. Continuación.

Año	Inversión [\$]	Costos esperados [\$]	Beneficios esperados [\$]	V_t [\$]	VAN [\$]
2030		\$-69.338.802	\$245.048.245	\$175.709.443	\$54.002.212
2031		\$-73.615.040	\$252.706.463	\$179.091.423	\$50.266.323
2032		\$-77.978.523	\$260.364.681	\$182.386.157	\$46.749.835
$\sum \frac{V_t}{(1-k)^t} - I_0$					\$0

En la Figura 6.5, se grafican la inversión inicial, junto con los costos y beneficios esperados.

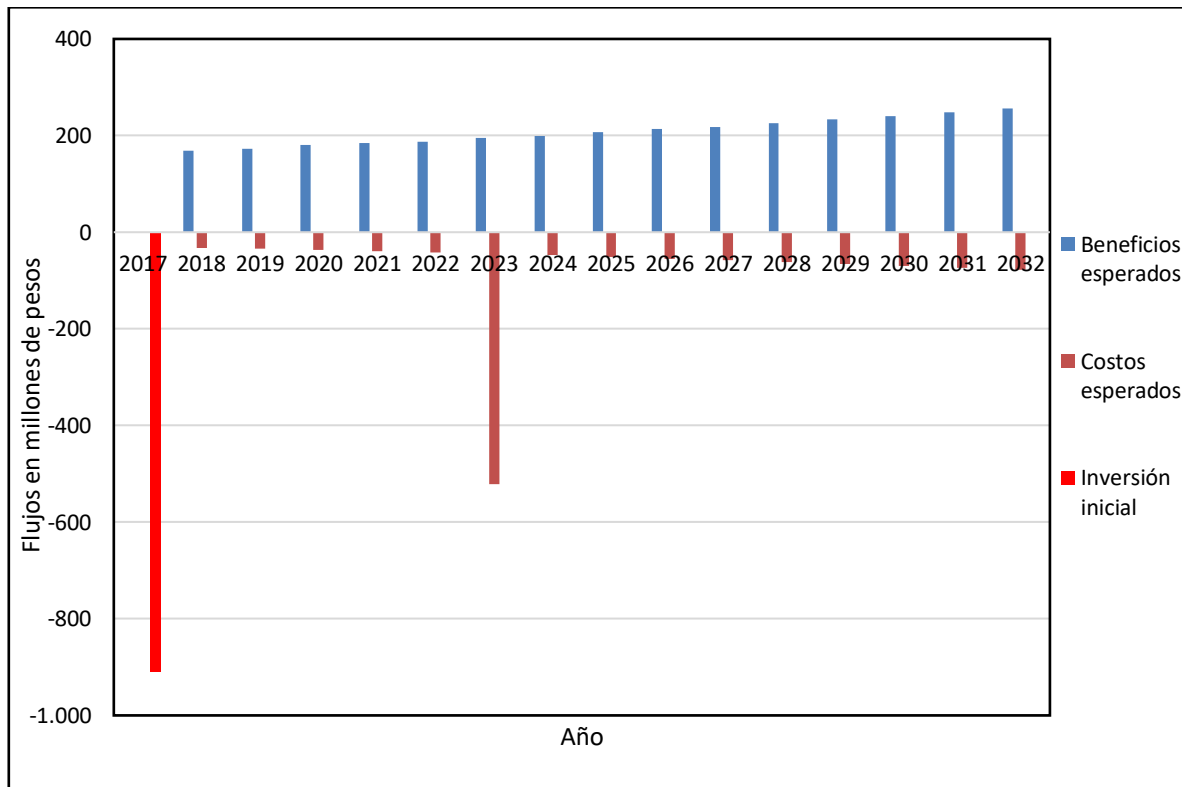


Figura 6.5: Representación gráfica de los flujos de caja estimados para el proyecto. Elaboración propia.

Adicionalmente, se propone recalcular la tarifa bajo el escenario de subsidio a la inversión inicial de un 50% y un 100%.

Para un subsidio del 50% el valor la tarifa que hace rentable el proyecto es \$1.295. En la Figura 6.6 se muestra el flujo de caja estimado para este caso.

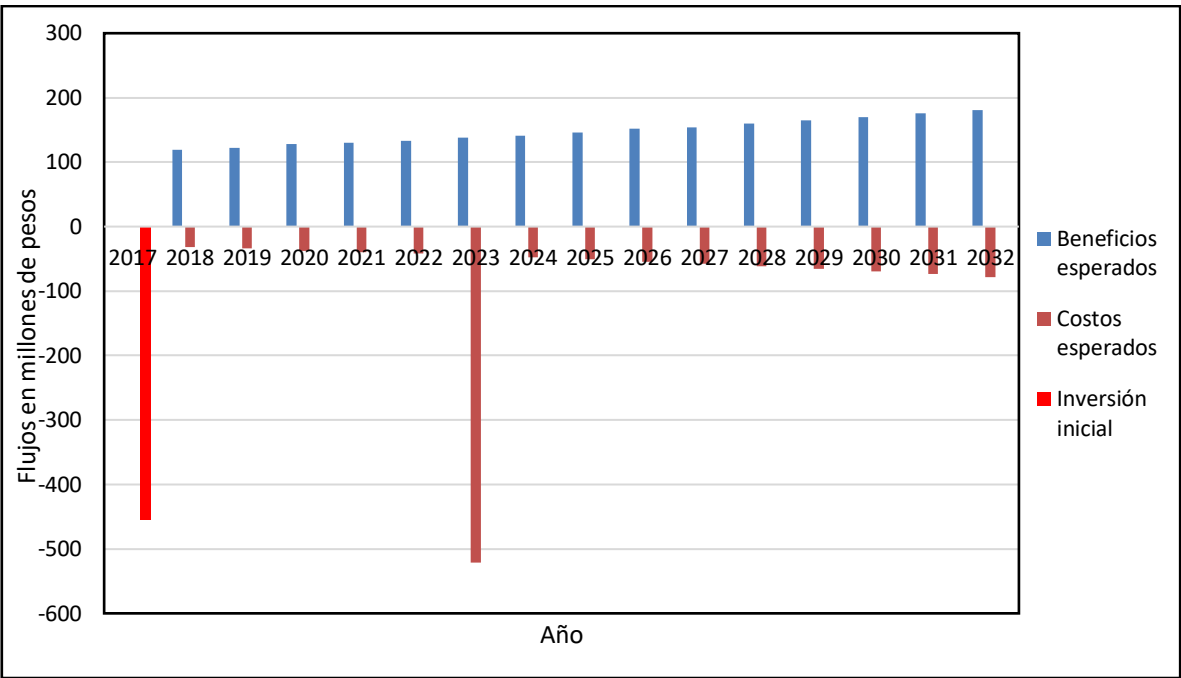


Figura 6.6: Representación gráfica de los flujos de caja estimados para el proyecto con un subsidio del 50%. Elaboración propia.

Para un subsidio del 100% el valor la tarifa que hace rentable el proyecto es \$750. En la Figura 6.7 se muestra el flujo de caja estimado para este caso.

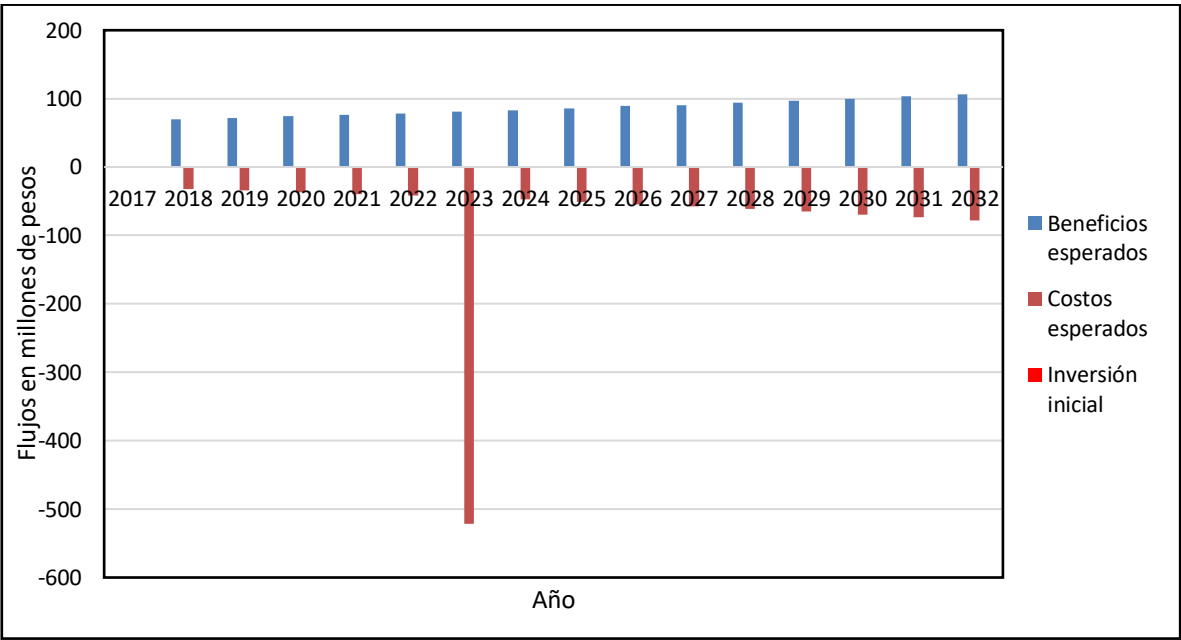


Figura 6.7: Representación gráfica de los flujos de caja estimados para el proyecto con un subsidio del 100%. Elaboración propia.

7 CONCLUSIONES

- Para este estudio se analiza la situación sanitaria de 4 localidades: Los Molles, Pichicuy, Quinquelles y Las Salinas; todas ubicadas en el litoral de la Provincia de Petorca. De ellas, las tres primeras presentan características de balneario y problemas recurrentes de abastecimiento de aguas, sobretudo en época estival; la cuarta localidad tiene características de asentamiento rural con poco crecimiento. De las tres localidades que presentan problemas de abastecimiento de agua, se elige Los Molles para desarrollar una solución a nivel de ingeniería básica.
- En base a los datos analizados, se determina que para la localidad de Los Molles la disponibilidad de recurso hídrico ya no es suficiente para sustentar el crecimiento de la localidad. En consecuencia, analizar alternativas de solución como las presentadas en este trabajo deben ser implementadas en el corto o mediano plazo. Para el resto de las localidades analizadas, a pesar de que no fueron estudiadas a fondo, también se sugiere que a lo menos se estudie una solución similar.
- Debido a lo alejada que se encuentra la zona estudiada, con respecto a las cuencas con disponibilidad de agua, como los son El Aconcagua al sur y El Elqui al norte, no se recomienda soluciones particulares para cada localidad en caso de no recurrir a desalación.
- Queda demostrado que a pesar de que las alternativas de desalación tienen un alto costo, tanto para el inversor como para el usuario, la alternativa de camiones aljibes es por lejos la más desfavorable. En el caso particular estudiado, la alternativa de camiones aljibe tuvo un VAC 2,9 veces mayor en comparación a la alternativa de desalinización escogida.
- Según lo indicado por los proveedores de los equipos de ósmosis inversa y corroborado en la presente memoria para el caso estudiado, siempre es más conveniente desalinizar agua de mar mediante pozos playeros si existe la posibilidad de extraer el caudal requerido.
- En cuanto al precio que se debe facturar el $[m^3]$ de agua para hacer rentable la alternativa de desalación propuesta para en Los Molles, se llega a la conclusión que éste debiese ser \$ 1.840. Si se considera un consumo medio por familia de 20 $[m^3]$, la cuenta promedio a pagar por una familia residente en la localidad es de \$ 36.792, más los cargos fijos y la recolección de aguas servidas. Considerando que, la tarifa actual es \$1.094 (Superintendencia de Servicio Sanitarios, 2016) y la cuenta promedio bordea los \$ 21.880, se concluye que en las condiciones actuales es poco viable implementar la solución propuesta desde un punto de vista de impacto social, ya que las tarifas suben un 61%.
- Dado lo anteriormente expuesto, se propone un rol subsidiario del Estado, ya que el agua potable es un bien básico para el bien estar de la población y en caso de fallar, se generan problemas sociales y sanitarios importantes. La proposición concreta es un subsidio a la inversión. En caso de que el subsidio sea de un 50% (\$469.488.073), el precio del $[m^3]$ baja a \$ 1.295. Si el subsidio llega al 100% (\$ 938.976.146), el precio del $[m^3]$ baja a \$ 750. Evidentemente, un valor entre \$ 1.277 y \$ 750 para un $[m^3]$ de agua potable es aceptable, ya que implicarían tarifas medias entre \$ 25.892 y \$ 14.993.
- Considerando los resultados expuestos, se recomienda a nivel de políticas públicas invertir en soluciones como la presentada en esta memoria por sobre la contratación de camiones aljibes; esto principalmente en las localidades estudiadas y que tienen potencial turístico importante.

8 REFERENCIAS

- A y S Consultores Ltda. Agua no contabilizada en sistemas de agua potable. Chile, ECONSSA Chile S.A., 2014.
- ANDRADE, B. e HIDALGO, R. La zona costera y los instrumentos de planificación territorial: Litoral de la provincia de Petorca. Chile, Intituto Geográfico Militar, 1996.
- BAUDISH, P. Design and Considerations for tunnels Seawater Intakes. En: Missimer, T., Jones, B. y Maliva, R. (Comps) Intakes and outfalls for seawater reverse-osmosis desalination facilities. Estados Unidos, Springer International Publishing, 2015.
- BIBLIOTECA del Congreso Nacional de Chile. (2015). Clima y vegetación Región de Valparaíso. Recuperado el 28 de Octubre de 2015, de Pagina web de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: <http://siit2.bcn.cl/nuestropais/region5/clima.htm>
- CABRERA, G. (1994). Intrusión salina en acuíferos costeros. Santiago: Dirección General de Aguas.
- COMISIÓN Económica para América Latina y el Caribe. La economía del cambio climático en Chile. Chile, CEPAL, 2012.
- CIREN - CNR. Estudio de Cálculo y Cartografía de la Evaporación Potencial en Chile. Chile, CIREN - CNR, 1997.
- CORPORACIÓN para el Desarrollo de las Ciencias Ambientales. Análisis del conflicto en Los Molles, comuna de La Ligua. Santiago, CODECIAM, 2015.
- Decreto Supremo N° 1.199. Aprueba el reglamento de las concesiones sanitarias de producción y distribución de agua potable y de recolección y disposición de aguas servidas y de las normas sobre calidad de atención a los usuarios de estos servicios, Santiago, 9 de noviembre de 2005.
- Decreto Supremo N° 50. Aprueba el reglamento de instalaciones domiciliarias de agua potable y de alcantarillado, Santiago, 28 de enero de 2003.
- Decreto Supremo N° 315. Adjudica concesión de servicios sanitarios, Santiago, 16 de marzo de 2015.
- Decreto Supremo N° 1.422. Declara como afectadas por la catástrofe a las comunas que indica de la provincia de Petorca, de la región de Valparaíso. Extiende vigencia de plazo para la aplicación de medidas adoptadas por la declaración de zona afectada por la catástrofe dispuesta por los decretos N° 856, de 2012, 105, de 2013, y 675, de 2013, del Ministerio del Interior y Seguridad Pública, derivada de la sequía que afecta a la región de Coquimbo. Autoriza medidas de alivio tributario para el pago de patente anual por pequeños mineros y mineros artesanales de las regiones de Coquimbo y Valparaíso, Santiago, 19 de septiembre de 2014.

- Decreto Supremo N° 130. Autoriza medida de exención del trámite de propuesta o subasta pública o privada por un plazo de 6 meses, respecto a la Dirección de Obras Hidráulicas, en relación a las comunas que indica, afectadas por la catástrofe derivada de la sequía, Santiago, 7 de marzo de 2015.
- Decreto Supremo N° 90. Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales, Santiago, 30 de mayo de 2001.
- Decreto con fuerza de ley N° 318. Ley General de Servicios Sanitarios, Santiago, 30 de diciembre de 1988.
- Fileccia, A. Some simple procedures for the calculation of the influence radius and well head protection areas (theoretical approach and a field case for a water table aquifer in an alluvial plain). *Acque Sotterranee - Italian Journal of Groundwater*, IV(3), 7-23, 2015.
- HICKEY, Harry. Water supply system and evaluation method. Estados Unidos, FEMA, 2008.
- IFARLE Ingenieros Civiles Consultores Ltda. Diseño de ampliación de servicio APR Valle Hermoso, El Trapiche y Casas de Huaquén, Comuna de La Ligua; y Las Salinas, Comuna de Papudo. Limache, Dirección de Obras Hidráulicas, 2007.
- INSTITUTO Nacional de Estadísticas. Ciudades, pueblos y aldeas. Santiago de Chile: Instituto Nacional de Estadísticas, 1995.
- INSTITUTO Nacional de Estadísticas. Chile: ciudades, pueblos, aldeas y caseríos. Instituto Nacional de Estadística, 2005.
- INSTITUTO Nacional de Estadísticas. Síntesis geográfica regional. Santiago, Instituto Nacional de Estadística, 2010.
- IPLA Ingenieros Ltda. Balance Hidrológico Nacional Regiones V, VI, VII y Metropolitana. Santiago, Dirección General de Aguas, 1983.
- LECHUGA, J., RODRÍGUEZ, M., & LLOVERAS, J. Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica. *Revista Académica de la FI-UADY*, 11-3, pp. 5-14, ISSN: 1665-529X, 2007.
- MALIVA, R., y MISSIMER, T. (). Well Intake System for SWRO Systems: Design and Limitations. En: Missimer, T., Jones, B. y Maliva, R. (Comps) *Intakes and outfalls for seawater reverse-osmosis desalination facilities*. Estados Unidos, Springer International Publishing, 2015.
- MINISTERIO de Hacienda. [en línea]. < <http://www.hacienda.cl/fondos-soberanos/fondo-de-reserva-de-pensiones/informacion-financiera/rentabilidad.html>> [consulta: 2 de Noviembre de 2016]

- MISSIMER, T., HOGAN, T., PANKRATZ, T. (2015). *Passive Screen Intakes: Desing, Construction, Operation and Environmental Impacts*. En: Missimer, T., Jones, B. y Maliva, R. (Comps) *Intakes and outfalls for seawater reverse-osmosis desalination facilities*. Estados Unidos, Springer International Publishing, 2015.
- MONTES Siña, Marcelo Leonel. Prefactibilidad técnica y ecocómica de una planta desaladora de agua marina para la minería, alimentada con energía generada por una planta de concentración solar. Tesis (Ingeniería Civil Industrial). Santiago, Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Industrial, 2011. 137 h.
- Municipalidad de La Ligua. (17 de Junio de 2013). *Alcalde Rodrigo Sánchez inaugura planta de ósmosis inversa de Los Molles*. Recuperado el 4 de Diciembre de 2015, de Página web de la Ilustre Municipalidad de La Ligua.: <http://www.laligua.cl/noti01.php?id=1328>
- MUNICIPALIDAD de La Ligua. [en línea]. < <http://www.laligua.cl/noti01.php?id=1328> > [consulta: 4 de diciembre de 2015].
- NIEMEYER, H. Hoyas Hidrográficas de Chile. Chile, Dirección General de Aguas, 1980.
- ODEPA. (2014). Región de Valparaíso: Información regional 2014.
- PANKRATZ, T. Overview of Intake Systems for Seawater Reverse Osmosis Facilities. En: Missimer, T., Jones, B. y Maliva, R. (Comps) *Intakes and outfalls for seawater reverse-osmosis desalination facilities*. Estados Unidos, Springer International Publishing, 2015.
- Punmia, B. C., Kumar Jain, A., & Kumar Jain, A. (1995). *Water Supply Engineering* (2a ed. ed., Vol. I). New Delhi: Laxmi Publications Ltd.
- REIFF, F. M. Emisarios submarinos de pequeño diámetro de polietileno de alta densidad. Estados Unidos, Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente.1986.
- SHOA. (2014). Tablas de marea de la costa de Chile 2015 (Vol. I). Valparaíso: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile.
- STEPHENSON, D. Pipeline Design for Water Engineers. 3ª ed. Países Bajos. Elsevier Science Publisher B.V.,1989
- SUPERINTENDENCIA de Servicios Sanitarios. [en línea] <<http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-9391.html>> [consulta:15 de Agosto de 2015].
- SUPERINTENDENCIA de Servicios Sanitarios. [en línea] <http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-3683.html#i__w3_ar_EidoxCuerpo_1_3683_EvoluciC3B3n20HistC3B3rica20de20la20Cobertura20de20Tratamiento20de20Aguas20Servidas20Nacional> [consulta: 10 de septiembre 2016]

SUPERINTENDENCIA de Servicios Sanitarios. [en línea] < http://www.siss.gob.cl/577/articles-4616_San_Isidro_Los_Molles_jul_2016.pdf> [consulta: 10 de septiembre 2016]

THORNTHWAITE, C. W. y MATHER, J. R. The Water Balance. Estados Unidos, Climatol. Lab Drexel Inst. Technol., 1955.

WATER Supply Engineering por B. C. Punmia [et al]. 2a ed. India, Laxmi Publications Ltd., 1995.

ANEXO A: BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA EN ESTUDIO.

Debido a la sequía que afecta a la Región de Valparaíso, y en general a las zonas norte y central de Chile, cuyo comienzo aproximado fue el año 2007 (Figura A.1), se hace necesario buscar nuevas alternativas para el abastecimiento de agua potable en la localidad costera de Los Molles.

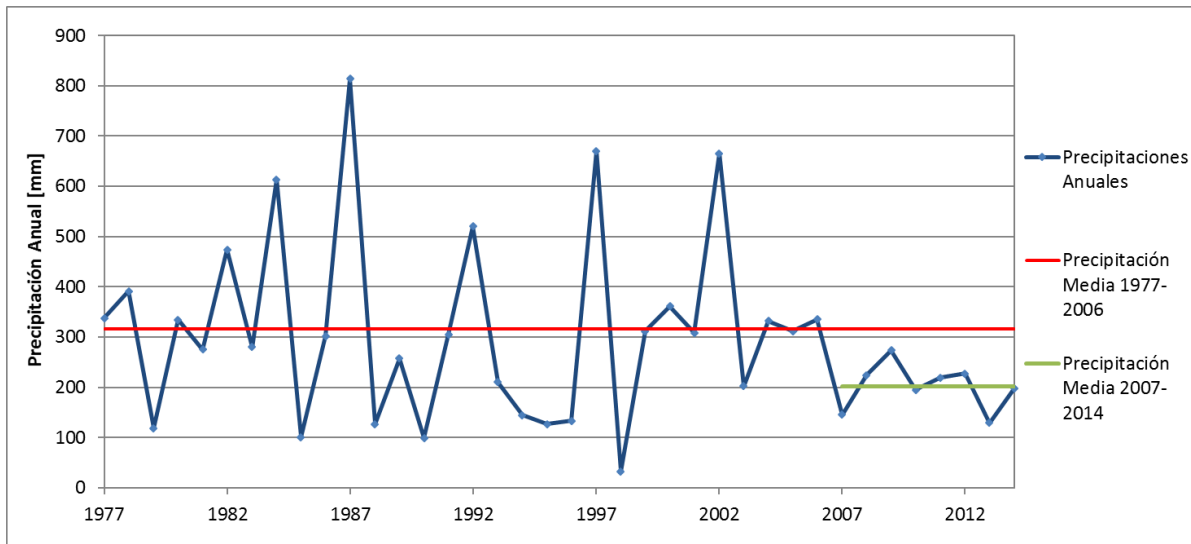


Figura A.1: Precipitaciones anuales en la localidad de Los Molles. Fuente: Elaboración propia a partir de datos pluviométricos de la DGA.

La localidad de Los Molles se encuentra emplazada en una bahía donde desembocan dos pequeñas cuencas costeras (Figura A.2). Estas cuencas se definirán para efectos de este trabajo como “Hoya del Estero Villa Huaquén” y “Hoya del Estero Los Molles”.



Figura A.2: Bahía de Los Molles. Fuente: Google Earth.

La más grande de las cuencas costeras que desembocan en la bahía de Los Molles es la Hoya del Estero Los Molles, una pequeña hoya costera del interfluvio entre los ríos Quilimarí y Petorca, en la V Región de Chile. Tiene una extensión de 51 [Km²] comprendida entre las coordenadas geográficas extremas, los paralelos 32°11' y 32°15' LS y los meridianos 71°23' y 71°30' LO (Niemeyer, 1980). Para la Hoya del Estero Villa Huaquén se asume que la precipitación caída, la evapotranspiración potencial y, en consecuencia, el balance hídrico es igual a la Hoya del Estero Los Molles.



Figura A.3: Cuencas en estudio. En blanco "Hoya del Estero Los Molles" y en amarillo "Hoya del Estero Villa Huaquén". Fuente: Google Earth.

Para calcular la futura disponibilidad de recursos hídricos se hará una primera aproximación de la escorrentía mediante el modelo de Thonhwaite-Mather (Thornthwaite & Mather, 1955), el cual consiste en un balance entre la precipitación, la cantidad de nieve caída, el contenido máximo de humedad que puede retener el suelo y la evapotranspiración potencial en la cuenca de interés.

En este caso la cuenca solo posee un régimen pluvial, lo que simplifica el modelo. A continuación, se describe como se realizan las iteraciones a escala mensual modelo y las consideraciones de capacidad de retención del suelo.

1. Siempre es necesario definir una cantidad de agua retenida en el suelo en el mes inicial (ARS), en [mm]. Por ejemplo, en este estudio se usa 0 [mm], pues los datos comienzan en enero y se asume que, por las características pluviales de la cuenca, a esas alturas del año no queda agua caída del invierno en el suelo.
2. Existe una fracción de la precipitación mensual (P), en [mm], que se transforma en escorrentía directa (ED). Típicamente, esta escorrentía directa corresponde al 5% de P.
3. Se calcula la evapotranspiración potencial (ETP), en base a la temperatura media del mes, en [mm].

4. Se compara P , ETP y ARS , donde P y ETP son del mismo mes y ARS del anterior. Si $ETP \geq P + ARS$, entonces la evapotranspiración real (ET) es igual a $P + ARS$. En caso contrario ET es igual a la ETP .
5. Una vez calculada ET se compara con P .
 - a. Si la diferencia entre $P - ET > 0$, aumenta la cantidad de agua retenida en el suelo (ARS). Sin embargo, ARS al final del mes no es ilimitada y su cota superior depende del tipo de suelo de la cuenca en estudio, un valor estándar para esta cota es 150 [mm]. En consecuencia, al final del mes en estudio ARS puede tener un valor entre 0 y 150 [mm].
 - i. Por ejemplo, si un mes P es 200 [mm] y ET 20 [mm]; la diferencia entre ambos es 180 [mm], lo que significa que al final de ese mes ARS debiese ser 180 [mm], pero solo alcanza 150 [mm] y el resto, 30 [mm], es agua de excedente donde un porcentaje se pierde y el resto se convierte en escorrentía indirecta (EI). Todo esto asumiendo que ARS del mes anterior es 0 [mm].
 - b. Si la diferencia entre $P - ET < 0$, disminuye ARS .
 - i. Siguiendo el ejemplo anterior, si al mes siguiente P es 20 [mm] y ET 30 [mm], ARS disminuye 10 [mm] con respecto a los 150 [mm] del mes anterior, finalizando en 140 [mm].
6. La escorrentía indirecta (EI), según el modelo utilizado, es el 50% del agua de excedente.
 - i. Tomando el ejemplo de 5.a.i, donde $P + ARS - ET = 200 + 0 - 20 = 180$ [mm] y la capacidad de retención del suelo se toma como 150 [mm]. Se calcula el excedente en 30 [mm], por lo tanto, la EI es 15 [mm].
7. Finalmente, la escorrentía total del mes es la suma de EI y ED .

En la Figura A.4 se presenta el esquema del modelo de Thonthwaite-Mather. Cabe destacar que este esquema esta simplificado, ya que el original considera la nieve caída en la cuenca, lo cual no aplica en este caso.

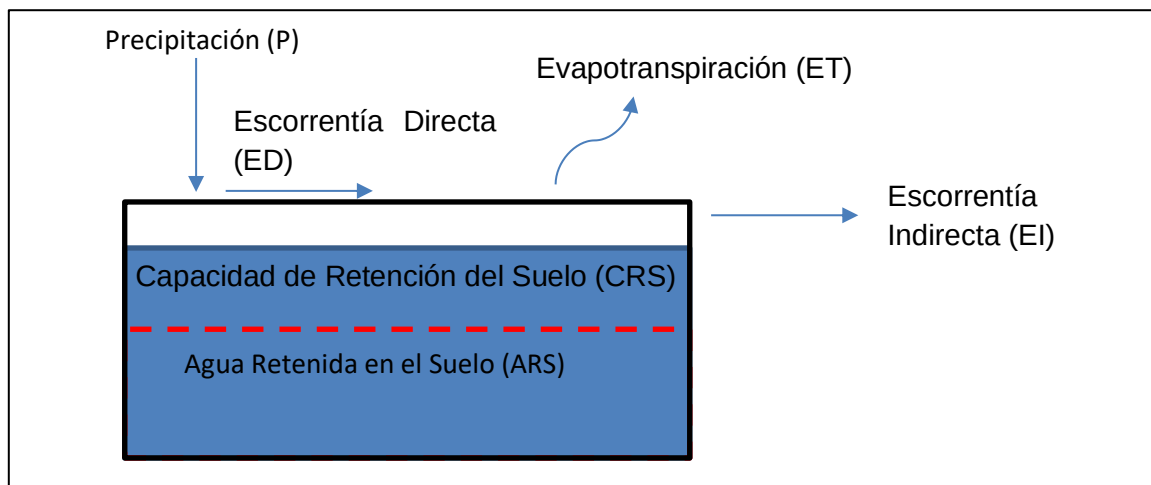


Figura A.4: Esquema simplificado del modelo Thonthwaite-Mather. Elaboración propia.

El dato de la evapotranspiración potencial se puede obtener de diferentes métodos a partir de la temperatura, sin embargo, en este trabajo se extrae desde la cartografía de evapotranspiración potencial del Centro de Información de Recursos Naturales CIREN (CIREN - CNR, 1997). Según ésta, la “Hoya del Estero Los Molles” posee una evapotranspiración potencial anual de 1100 [mm] (Figura A.5), la cual se puede llevar a datos mensuales utilizando la distribución presentada en la Tabla A.1, que fue sacada del mismo estudio encargado por CIREN-CNR. Finalmente, los valores de evapotranspiración potencial mensual para la zona de interés se presentan en la Tabla A.2.

Tabla A.1: Distribución de la Evapotranspiración Potencial. (CIREN - CNR, 1997)

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
14,54%	11,79%	9,81%	6,51%	4,52%	3,38%	3,63%	4,93%	6,59%	9,19%	11,15%	13,96%

**Tabla A.2: Evapotranspiración Potencial Mensual "Hoya del Estero Los Molles", en [mm].
Elaboración propia.**

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
159,94	129,69	107,91	71,61	49,72	37,18	39,93	54,23	72,49	101,09	122,65	153,56

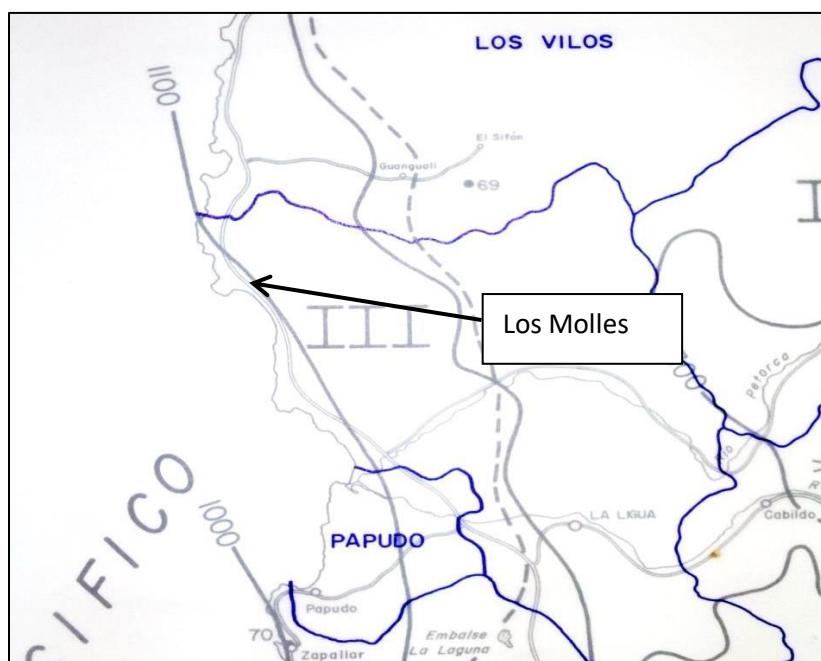


Figura A.5: Cartografía de Evapotranspiración Potencial en la zona de interés. (CIREN - CNR, 1997)

Para la precipitación mensual, la Dirección General de Aguas perteneciente al Ministerio de Obras Públicas de la República de Chile (En Adelante DGA) llevó un registro pluviométrico de esta cuenca. Este registro se extiende desde el año 1977 al 1984 y se presenta en la Tabla A.3. A partir de estos datos, se analiza la disponibilidad de agua dulce en la cuenca de manera aproximada.

Como se puede ver en la Tabla A.3 el registro existente es muy acotado. Para rellenar los datos hasta el año 2014, se analiza tres estaciones pluviométricas vigentes próximas al área de interés (Figura A.6). Estas son Quilimarí, Los Cóndores y Longotoma. Los registros de las estaciones antes mencionadas se muestran en las Tablas A.4, A.5 y A.6.

Tabla A.3: Registro Pluviométrico “Estación Quebrada El Manzano”, correspondiente al Estero Los Molles, en [mm]. Fuente: DGA.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1977	0	0	0	0.2	9.5	79	190	51	0	6	2	0	338
1978	0	0	0	0	9	33	218	9	54	0	68	0	391
1979	0	0	0	31	6	0	26.2	26	18	0	11	0	118
1980	0	0	0	49	11	63	120	16	75	0	0	0	334
1981	0	0	0	0	215	54	4	0	2	0	0	0	275
1982	0	0	28	0	58	173	82	67	43	23	0	0	474
1983	3	0	0	1	23	76	119	45	13	0	0	0	280
1984	0	0	10	0	46.5								

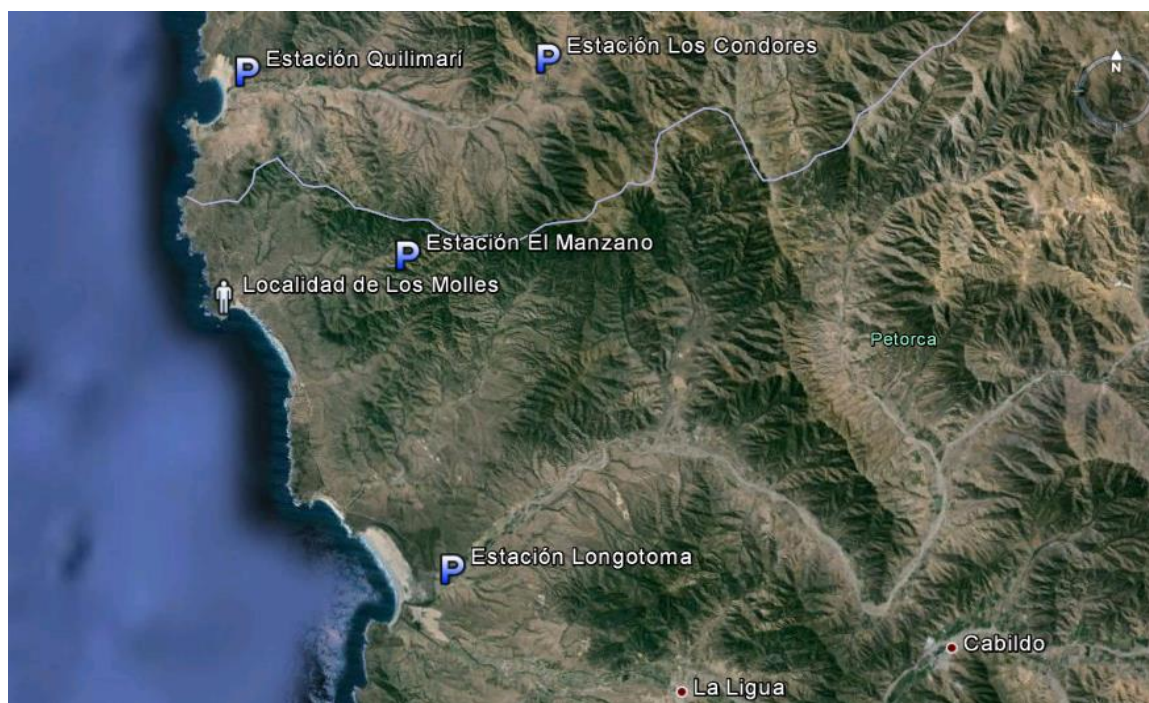


Figura A.6: Estaciones Pluviométricas cercanas a la localidad de Los Molles. FUENTE: Google Earth.

Tabla A.4: Registro Pluviométrico “Estación Quilimarí”, en [mm]. Fuente: DGA.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1977													
1978													
1979				41,3	7,1	0	44,4	34,5	12,1				
1980	0	0	0	62,2	10,3	69,4	157,1	13,2	10,9	0	0	0	323
1981	0	0	0	0	141,1	40,5	10	0	0	0	0	0	192
1982	0	0	21,6	0	98	119,9	77,5	78,4	39,9	21,3	0	0	457
1983	0	0	0	0	27,8	122,7	133,4	40,1	6,7	0	0	0	331
1984	0	0	7,8	0	44,4	0	312,8	47,2	23,4	0	1,3	0	437
1985													
1986	0	0	0	11,5	55,8	62,9	0	58,2	0	0	42,2	0	231
1987	0	0	0	2,6	46	21,3	356,8	133,8	7,1	17	0	0	585
1988	0	0	1,8	0	0	48,2	39,8	32,4	7,4	0	4,9	0	135
1989	0	0	0	0	37,9	2,8	105,7	69,2	0	0	0	0	216
1990	0	0	2,3	0	0	0	41,2	19,3	13,5	9,9	0	0	86
1991	0	0	0	8,5	11,9	181,7	27,2	0	45,9	19	0	0	294
1992	0	0	25,5	11	126,5	241	0	92	16,3	0	1,8	0	514
1993	0	0	0	55,1	27,7	37,6	38,3	36,7	5,2	0	0	0	201
1994	0	0	0	0	29	37,5	19,4	18,7	16,4	3,1	0	0	124
1995	2,5	0	0	15,4	0	32,7	64,6	47,8	0	0	0	0	163
1996	0	0	0	4,1	9,4	30,3	85,2	33,5	0	0	0	0	163
1997	0	0	0	0	180	271	56,4	145,2	50,2	66,2	1,3	0	770
1998	0	0	0	12,6	5,1	2,1	0	0	0	0	0	0	20
1999	0	0	0,6	1,7	35,9	27,6	21,6	62,9	156,9	11	0	0	318
2000	0	0	0	3,5	14,2	294,9	3	0		0	0	0	
2001	0	0	0	7,4	36,6	0	162,7	65,3	9,1	0	0	0	281
2002	0	0	3,3	2,5	113,5	268,9	88,7	83,7	6,3		0		
2003	0	0	0	0	115,4	27,8	27,2	2	0	0	0	0	172
2004	0	0	7,1	34,2	8,8	42,6	101,2	46	0	0	7	0	247
2005	0	0	7,3	0	50,2	81,6	6,5	117,9	17,3	6,1	18	0	305
2006	0	0	0	0	0	96,9	129,1	13,8	0	61,3	0	0	301
2007	0	0	0	0	0	88,7	3	36,8	0	0	0	0	129
2008	0	0	0	17	60	29	42	58	0	0	0	0	206
2009	0	0	0	0	0	104,9	28,5	114,5	0	0	0	0	248
2010	0	0	0	0	19	107	39	4	18,1	8,7	9	0	205
2011	0	0	0	0	0	117,7	16,1	28,7	0	0	0	0	163
2012	0	0	0	0	28	100,3	0	32,5	0	67,4	4,2	0	232
2013	0	0	0	0	82,2	22	0	4,5	0	0	0	0	109
2014	0	0	0	0	14,5	86	7,5	35,5	17	0	0	0	161

Tabla A.5: Registro Pluviométrico “Estación Longotoma”, en [mm]. Fuente: DGA.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1977													
1978													
1979	0	0	0	30	3								
1980				32	21	66,5	129,5	13	71	0		0	
1981	0	0	0	0	230	54	6	1	3,5	0	0	0	295
1982	0	0	34	0	89,7	123	69,5	55	24,5	21,5	0	0	417
1983	2	0	0	3,5	33,5	105	113,5	75	12	0	0	0	345
1984	0	0	8,5	0,5	74,2	27,4	279	44,9	37	13	16	0	501
1985	0	0	9	0	13,5	7	51,5	2	0,5	9,6	0	0	93
1986	0	0	0	5,5	116	69,5	0	81,5	1	0	36	0	310
1987	0	0	0	5,1	41	27,2	412,1	199,3	7,4	45,6	0	0	738
1988	0	0	5,5	1	1,5	42	26,5	54	7,5	0	6	0,5	145
1989	0	0	0	3	32	6,5	96	73,5	1,5	0	0	0	213
1990	0	0	2	0	3	0	44	15,4	20				
1991	0	0	0	4,5	19	171,9	26	0	34	23	0	0	278
1992	0	0	32,5	7,6	142,5	227,5	0,5	85	19,5	0	2	0	517
1993	0	0	0	54,5	51,5	14,5	41	40,5	5,5	2	0	0	210
1994	0	0	0	1,5	43	19	53,5	19,5	10	0	0	0	147
1995	1,5	0	0	18	0	46	40,1	40	4,5	2	0	0	152
1996	0	0		1,1	11,5	11	55	39,5	0	7,5	0	0	
1997	0	0	0	0	81	278,5	63		39	92	0	0	
1998	0	0	0	8	8	4,5	0	0	0	0	0	0	21
1999	0	0	13,5	3,5	21	49	20,5	92	108		0	0	
2000	0	0	0	5,9	11	216	9	0	69,8	1	0	0	313
2001	0	0	0	7,2	29,9	0	202,3	50,1	12,5	0	0	0	302
2002	0	0	0	2	140,3	262,6	84,9	66	6,3	0	0	0	562
2003	0	0	0	0	68,9	44,2	44	6	0	0	0,7	0	164
2004	0	0	4,3	37,5	7,7	58,1	89,6	59,9	3,2	2,1	22,5	0	285
2005	0	0	12	0	47,2	79,8	21,8	104,3	15,5	6,1	11,3	0	298
2006	0	0	0	0	7,9	78,8	172,8	24,8	0,4	48,1	0	0	333
2007	0	5,5	0	0	2	94,9	6,5	30,3	1	0	0	0	140
2008	0	0	4,8	17,1	70,2	27,7	33,3	62,4	0	0	0	0	216
2009	0	0	0	0	0	115	20	73,1	0,4	0	0	0	209
2010	0	0	0	0	38	105	36,5	3,5	21	7,8	7,5	0	219
2011	0	0	0	0	0	58,8	26,2	28,8	0	0	0	0	114
2012	0	0	0	0	56,7	113,3	2	30,4	0,8	81,6	0	13,4	298
2013	0	0	0	0	127,3	48,2	0,6	18,8	0	0	0	0	195
2014	0	0	0	0,1	2,4	74	12,6		12,1	0	0	0	

Tabla A.6: Registro Pluviométrico "Estación Los Cóndores", en [mm]. Fuente: DGA.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1977	0	0	1	3	11	60	76,2	42,4	0	30,1	1	0	225
1978								4,4	32,5				
1979	0	0	0	21,2	4,1	0	18,6	14	12	0	6,7	2	79
1980	0	0	0	37,4	3,8	50	114,9	17,4	71,5	0	0,5	0	296
1981	0	0	0	0	158	43	0	0	1,8	0	0	0	203
1982	0	0	18,5	0	83,1	117,7	56,5	68,1	21,5	15	0	0	380
1983	1,7	0	0	4	27	62,3	96	45,2	9,8	0	0,4	0	246
1984	0	0	7,2	0	35,1	2,2	380,6	20	43,6	2,7	9,3	0	501
1985	0	0	10,5	0	9,3	2,1	54,5	1	0	5,7	0	0	83
1986	0	0	0	0,3	158	59,2	0	26,7	0,2	0	4,1	0	249
1987	0	0	0	3,4	48,8	31,6	392,2	164,2	4,1	25,3	0	0	670
1988	0	0	2,2	0	0	26,5	26,6	39,5	4,5	0	5	0	104
1989	0	0	0	0,4	35	0	104,2	72	0	0	0	0	212
1990	0	0	3,5	0	0	0,3	39,8	24	10,1	3,8	0	0	82
1991	0	0	0	0,6	17,8	165,8	29,5	0,5	30,1	6,4	0	0	251
1992	0	0	21	12,4	79	217,8	0	83,3	12,5	0	1,5	0	428
1993	0	0	0	22,4	56,2	10,5	36,8	42	4,8	0	0	0	173
1994	0	0	0	0	25,5	20,1	58	9	6,3	0	0	0	119
1995	4,5	0	0	0	0	31,4	66,2	0	2,3	0	0	0	104
1996	0	0	0	12,5	3,5	16			0	0	0	0	
1997	0	0	0	0	124	162	48	143	0	71	3	0	551
1998	0	0	0	9	11,1	6,5	0	0	0	0	0	0	27
1999	0	0	23	0	17	32	15		88	6	0	0	
2000	0	0	0	1	17	188	17	0	73,8	0	0	0	297
2001	0	0	0	7	37	0	165	37	7,5	0	0	0	254
2002	0	0	7,1	4	148	194	123	71	0	0	0	0	547
2003	0	0	0	0	109	22,5	25	10	0	0	0	0	167
2004	0	0	13,5	36,8	7	41	86,5	73	4	0	11,3	0	273
2005	0	0	10,5	0	36	65	19	93	9	9	15	0	257
2006	0	0	0	0	0	67	156	10,9	0	42	0	0	276
2007	0	0		0	8	78,5	7	26	0	0	0,2	0	120
2008	0	0	0,6	19,5	36	23	41,3	60,8	3	0	0	0	184
2009	0	0	0	0	0	119,7	21,5	84	0	0	0	0	225
2010	0	0	0	0	29,3	62,5	38,1	6	15	5,5	4	0	160
2011	0	0	0	0	0	123	39	17,9	0	0	0	0	180
2012	0	0	0	0	22	41	0	54		61,5	0	8	
2013	0	0	0	0	61,5	26	2	16,5			0	0	
2014	0	0	0	0	8	104	14	14,3	22	0	0	0	162

Como se puede ver en los registros oficiales de la DGA, ninguna de las estaciones cercanas al área de interés está completa, por esta razón se propone rellenar los datos con la siguiente metodología:

- Desde el enero de 1977 a mayo del año 1984 se usan los datos reales provenientes de la “Estación Quebrada El Manzano”.
- De ahí en adelante se extenderá el registro de la “Estación Quebrada El Manzano”, aplicando un factor de corrección a los datos de la estación que tenga una mejor correlación por el método de la curva doble acumulada (IPLA Ingenieros Ltda, 1983).
- En caso de que la estación seleccionada como patrón tenga algún dato faltante, se utilizará la estación que tiene la segunda mejor correlación para rellenar ese dato específico. Asumiendo que, por la cantidad de datos el error no afectará significativamente el resultado final.

A continuación, se presentan las curvas dobles acumuladas entre la estación Los Molles y las estaciones cercanas.

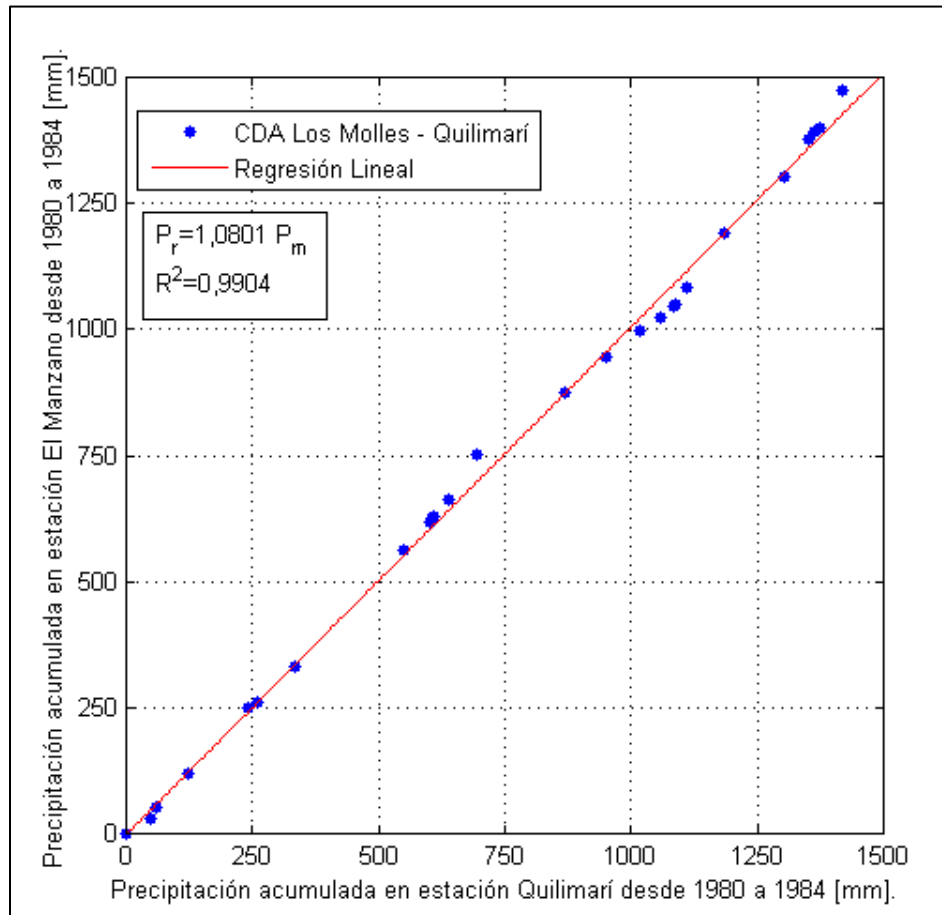


Figura A.7: CDA Los Molles - Quilimarí. FUENTE: Elaboración propia a partir de los datos de la DGA.

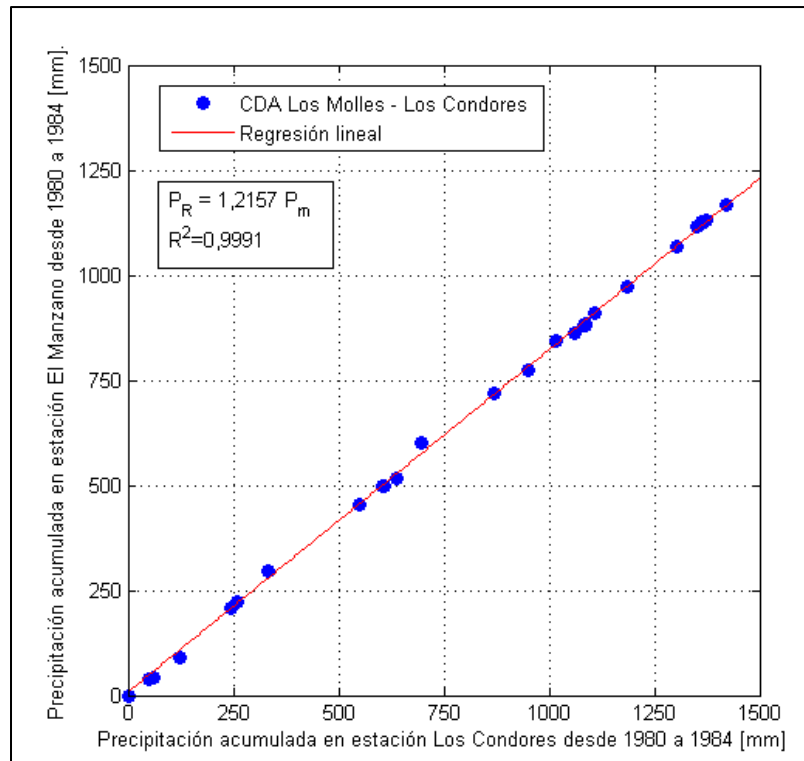


Figura A.8: CDA Los Molles - Los Cóncores. FUENTE: Elaboración Propia a partir de los datos de la DGA.

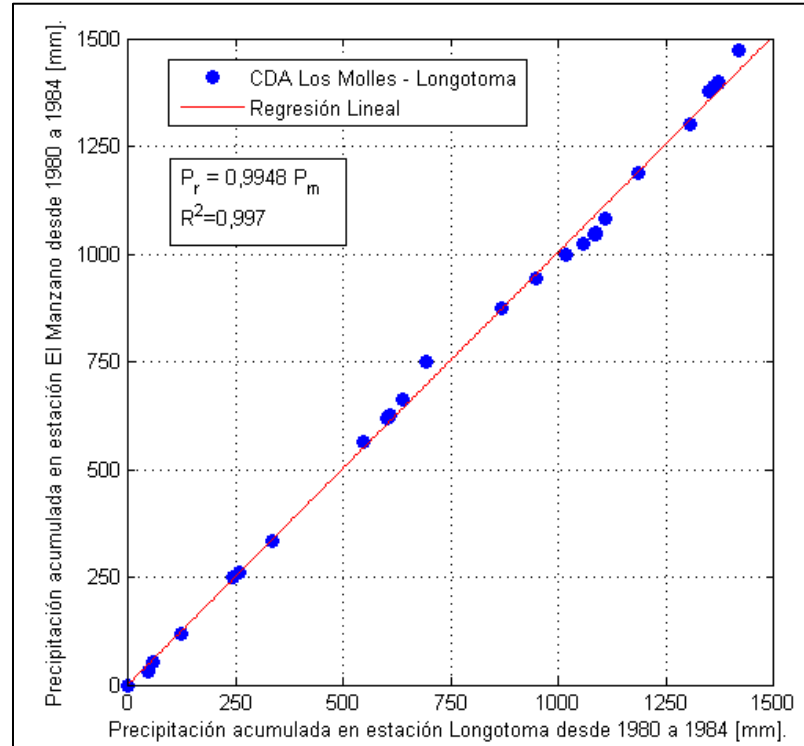


Figura A.9: CDA Los Molles - Longotoma. FUENTE: Elaboración Propia a partir de los datos de la DGA.

De las curvas doble acumuladas se concluye que todas las estaciones vecinas tienen una alta correlación con la estación en estudio, con R^2 muy cercanos a 1. Por este motivo, se considera válido utilizar cualquiera de las estaciones como patrón, en este caso se selecciona la estación Los Cóndores. Finalmente, cabe señalar que ninguna estación tiene el registro completo, razón por la cual, se usa la estación Longotoma como patrón, en los meses que la estación Los Cóndores no tenga datos.

La fórmula que se utiliza para rellenar el dato faltante es la siguiente.

$$P_r = m \cdot P_p \quad (\text{A.1})$$

Donde P_r es el dato de precipitación mensual rellenado, m la pendiente de la curva doble acumulada y P_p el dato de precipitación mensual de la estación patrón.

Tabla A.7 se presenta el registro extendido de la estación "Quebrada El Manzano" hasta diciembre del año 2014.

Tabla A.7: Registro extendido de la "Estación Quebrada El Manzano", en mm. Fuente: Elaboración propia.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1977	0	0	0	0	10	79	190	51	0	6	2	0	338
1978	0	0	0	0	9	33	218	9	54	0	68	0	391
1979	0	0	0	31	6	0	26	26	18	0	11	0	118
1980	0	0	0	49	11	63	120	16	75	0	0	0	334
1981	0	0	0	0	215	54	4	0	2	0	0	0	275
1982	0	0	28	0	58	173	82	67	43	23	0	0	474
1983	3	0	0	1	23	76	119	45	13	0	0	0	280
1984	0	0	10	0	47	3	463	24	53	3	11	0	614
1985	0	0	13	0	11	3	66	1	0	7	0	0	101
1986	0	0	0	0	192	72	0	32	0	0	5	0	302
1987	0	0	0	4	59	38	477	200	5	31	0	0	814
1988	0	0	3	0	0	32	32	48	5	0	6	0	127
1989	0	0	0	0	43	0	127	88	0	0	0	0	257
1990	0	0	4	0	0	0	48	29	12	5	0	0	99
1991	0	0	0	1	22	202	36	1	37	8	0	0	305
1992	0	0	26	15	96	265	0	101	15	0	2	0	520
1993	0	0	0	27	68	13	45	51	6	0	0	0	210
1994	0	0	0	0	31	24	71	11	8	0	0	0	145
1995	5	0	0	0	0	38	80	0	3	0	0	0	127
1996	0	0	0	15	4	19	55	39	0	0	0	0	133
1997	0	0	0	0	151	197	58	174	0	86	4	0	670
1998	0	0	0	11	13	8	0	0	0	0	0	0	32
1999	0	0	28	0	21	39	18	92	107	7	0	0	312

Tabla A.7: Registro extendido de la "Estación Quebrada El Manzano" en mm. Continuación.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
2000	0	0	0	1	21	229	21	0	90	0	0	0	361
2001	0	0	0	9	45	0	201	45	9	0	0	0	308
2002	0	0	9	5	180	236	150	86	0	0	0	0	665
2003	0	0	0	0	133	27	30	12	0	0	0	0	202
2004	0	0	16	45	9	50	105	89	5	0	14	0	332
2005	0	0	13	0	44	79	23	113	11	11	18	0	312
2006	0	0	0	0	0	81	190	13	0	51	0	0	335
2007	0	0	0	0	10	95	9	32	0	0	0	0	146
2008	0	0	1	24	44	28	50	74	4	0	0	0	224
2009	0	0	0	0	0	146	26	102	0	0	0	0	274
2010	0	0	0	0	36	76	46	7	18	7	5	0	195
2011	0	0	0	0	0	150	47	22	0	0	0	0	219
2012	0	0	0	0	27	50	0	66	1	75	0	10	228
2013	0	0	0	0	75	32	2	20	0	0	0	0	129
2014	0	0	0	0	10	126	17	17	27	0	0	0	197

A continuación, en se presenta los resultados del balance hídrico considerando las precipitaciones históricas desde 1977 hasta 2014.

Tabla A.8: Balance hídrico año 1977, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-77	Feb-77	Mar-77	Abr-77	May-77	Jun-77	Jul-77	Ago-77	Sept-77	Oct-77	Nov-77	Dic-77
P	0,0	0,0	0,0	0,2	9,5	79,0	190,0	51,0	0,0	6,0	2,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,4	-40,7	37,9	140,6	-5,8	-72,5	-95,4	-120,8	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,9	150,0	144,2	71,7	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,9	178,4	144,2	71,7	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,2	9,5	37,2	39,9	54,2	0,0	6,0	2,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	4,0	9,5	2,6	0,0	0,3	0,1	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	7,1	3,6	1,8	0,9	0,4
E total	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	4,0	23,7	9,7	3,6	2,1	1,0	0,4

Tabla A.9: Balance hídrico año 1978, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-78	Feb-78	Mar-78	Abr-78	May-78	Jun-78	Jul-78	Ago-78	Sept-78	Oct-78	Nov-78	Dic-78
P	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	33,0	218,0	9,0	54,0	0,0	68,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,6	-41,2	-5,8	167,2	-45,7	-21,2	-101,1	-58,1	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	150,0	104,3	83,1	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	167,2	104,3	83,1	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	33,0	39,9	54,2	72,5	0,0	68,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,7	10,9	0,5	2,7	0,0	3,4	0,0
EI	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	8,6	4,3	2,1	1,1	0,5	0,3
E total	0,2	0,1	0,1	0,0	0,5	1,7	19,5	4,7	4,8	1,1	3,9	0,3

Tabla A.10: Balance hídrico año 1979, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-79	Feb-79	Mar-79	Abr-79	May-79	Jun-79	Jul-79	Ago-79	Sept-79	Oct-79	Nov-79	Dic-79
P	0,0	0,0	0,0	31,0	6,0	0,0	26,2	26,0	18,0	0,0	11,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-42,2	-44,0	-37,2	-15,0	-29,5	-55,4	-101,1	-112,2	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	31,0	6,0	0,0	26,2	26,0	18,0	0,0	11,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	1,6	0,3	0,0	1,3	1,3	0,9	0,0	0,6	0,0
EI	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,1	0,1	0,0	1,6	0,3	0,0	1,3	1,3	0,9	0,0	0,6	0,0

Tabla A.11: Balance hídrico año 1980, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-80	Feb-80	Mar-80	Abr-80	May-80	Jun-80	Jul-80	Ago-80	Sept-80	Oct-80	Nov-80	Dic-80
P	0,0	0,0	0,0	49,0	11,0	63,0	120,0	16,0	75,0	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-25,1	-39,3	22,7	74,1	-39,0	-1,2	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,7	96,7	57,7	56,5	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,7	96,7	57,7	56,5	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	49,0	11,0	37,2	39,9	54,2	72,5	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	2,5	0,6	3,2	6,0	0,8	3,8	0,0	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	0,0	2,5	0,6	3,2	6,0	0,8	3,8	0,0	0,0	0,0

Tabla A.12: Balance hídrico año 1981, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-81	Feb-81	Mar-81	Abr-81	May-81	Jun-81	Jul-81	Ago-81	Sept-81	Oct-81	Nov-81	Dic-81
P	0,0	0,0	0,0	0,0	215,0	54,0	4,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,6	154,5	14,1	-36,1	-54,2	-70,6	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	150,0	150,0	113,9	59,6	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	154,5	164,1	113,9	59,6	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,0	49,7	37,2	39,9	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	2,7	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	8,2	4,1	2,0	1,0	0,5	0,3	0,1
E total	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	10,9	4,3	2,0	1,1	0,5	0,3	0,1

Tabla A.13: Balance hídrico año 1982, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-82	Feb-82	Mar-82	Abr-82	May-82	Jun-82	Jul-82	Ago-82	Sept-82	Oct-82	Nov-82	Dic-82
P	0,0	0,0	28,0	0,0	58,0	173,0	82,0	67,0	43,0	23,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-81,3	-71,6	5,4	127,2	38,0	9,4	-31,6	-79,2	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	132,6	150,0	150,0	118,4	39,1	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	132,6	170,5	159,4	118,4	39,1	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	28,0	0,0	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	62,1	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	1,4	0,0	2,9	8,7	4,1	3,4	2,2	1,2	0,0	0,0
EI	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,3	9,8	4,9	2,5	1,2	0,6
E total	0,1	0,0	1,4	0,0	2,9	8,7	14,4	13,2	7,1	3,6	1,2	0,6

Tabla A.14: Balance hídrico año 1983, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-83	Feb-83	Mar-83	Abr-83	May-83	Jun-83	Jul-83	Ago-83	Sept-83	Oct-83	Nov-83	Dic-83
P	3,0	0,0	0,0	1,0	23,0	76,0	119,0	45,0	13,0	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-157,1	-129,7	-107,9	-70,7	-27,9	35,0	73,1	-11,5	-60,1	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	108,1	96,7	36,5	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	108,1	96,7	36,5	0,0	0,0	0,0
ET	3,0	0,0	0,0	1,0	23,0	37,2	39,9	54,2	49,5	0,0	0,0	0,0
ED	0,2	0,0	0,0	0,1	1,2	3,8	6,0	2,3	0,7	0,0	0,0	0,0
EI	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,5	0,2	0,1	0,1	1,2	3,8	6,0	2,3	0,7	0,0	0,0	0,0

Tabla A.15: Balance hídrico año 1984, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-84	Feb-84	Mar-84	Abr-84	May-84	Jun-84	Jul-84	Ago-84	Sept-84	Oct-84	Nov-84	Dic-84
P	0,0	0,0	10,0	0,0	46,5	2,7	462,7	24,3	53,0	3,3	11,3	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-98,4	-71,6	-5,5	-34,6	399,6	-31,1	-22,1	-98,0	-111,9	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	150,0	118,9	96,7	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	399,6	118,9	96,7	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	10,0	0,0	46,5	2,7	39,9	54,2	72,5	3,3	11,3	0,0
ED	0,0	0,0	0,5	0,0	2,3	0,1	23,1	1,2	2,7	0,2	0,6	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	124,8	62,4	31,2	15,6	7,8	3,9
E total	0,0	0,0	0,5	0,0	2,3	0,1	148,0	63,6	33,9	15,8	8,4	3,9

Tabla A.16: Balance hídrico año 1985, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-85	Feb-85	Mar-85	Abr-85	May-85	Jun-85	Jul-85	Ago-85	Sept-85	Oct-85	Nov-85	Dic-85
P	0,0	0,0	12,8	0,0	11,3	2,6	66,3	1,2	0,0	6,9	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-95,8	-71,6	-39,0	-34,8	23,0	-53,1	-72,5	-94,5	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	12,8	0,0	11,3	2,6	39,9	1,2	0,0	6,9	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6	0,1	3,3	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0
EI	2,0	1,0	0,5	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	2,0	1,0	1,1	0,2	0,7	0,2	3,3	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0

Tabla A.17: Balance hídrico año 1986, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-86	Feb-86	Mar-86	Abr-86	May-86	Jun-86	Jul-86	Ago-86	Sept-86	Oct-86	Nov-86	Dic-86
P	0,0	0,0	0,0	0,4	192,1	72,0	0,0	32,5	0,2	0,0	5,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,3	132,8	31,2	-39,9	-23,4	-72,3	-101,1	-117,9	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	132,8	150,0	110,1	86,7	14,4	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	132,8	163,9	110,1	86,7	14,4	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,4	49,7	37,2	0,0	54,2	14,7	0,0	5,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	3,6	0,0	1,6	0,0	0,0	0,2	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	3,5	1,7	0,9	0,4	0,2	0,1
E total	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	10,6	3,5	3,4	0,9	0,4	0,5	0,1

Tabla A.18: Balance hídrico año 1987, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-87	Feb-87	Mar-87	Abr-87	May-87	Jun-87	Jul-87	Ago-87	Sept-87	Oct-87	Nov-87	Dic-87
P	0,0	0,0	0,0	4,1	59,3	38,4	476,8	199,6	5,0	30,8	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-67,7	6,6	-0,7	413,0	135,4	-67,8	-71,9	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	6,0	150,0	150,0	82,2	10,4	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	6,0	419,0	285,4	82,2	10,4	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	4,1	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	41,1	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,2	3,0	1,9	23,8	10,0	0,2	1,5	0,0	0,0
EI	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	134,5	134,9	67,5	33,7	16,9	8,4
E total	0,1	0,0	0,0	0,2	3,0	1,9	158,3	144,9	67,7	35,3	16,9	8,4

Tabla A.19: Balance hídrico año 1988, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-88	Feb-88	Mar-88	Abr-88	May-88	Jun-88	Jul-88	Ago-88	Sept-88	Oct-88	Nov-88	Dic-88
P	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	32,2	32,3	48,0	5,5	0,0	6,1	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-105,4	-71,6	-49,7	-6,6	-9,2	-8,6	-67,3	-101,1	-116,9	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	32,2	32,3	48,0	5,5	0,0	6,1	0,0
ED	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	1,6	1,6	2,4	0,3	0,0	0,3	0,0
EI	4,2	2,1	1,1	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	4,2	2,1	1,2	0,5	0,3	1,7	1,7	2,4	0,3	0,0	0,3	0,0

Tabla A.20: Balance hídrico año 1989, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-89	Feb-89	Mar-89	Abr-89	May-89	Jun-89	Jul-89	Ago-89	Sept-89	Oct-89	Nov-89	Dic-89
P	0,0	0,0	0,0	0,5	42,5	0,0	126,7	87,5	0,0	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,1	-9,3	-37,2	80,4	28,9	-72,5	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,4	109,3	36,8	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,4	109,3	36,8	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,5	42,5	0,0	39,9	54,2	0,0	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	6,3	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	6,3	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla A.21: Balance hídrico año 1990, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-90	Feb-90	Mar-90	Abr-90	May-90	Jun-90	Jul-90	Ago-90	Sept-90	Oct-90	Nov-90	Dic-90
P	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,4	48,4	29,2	12,3	4,6	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-103,9	-71,6	-49,7	-36,8	6,0	-26,5	-60,8	-96,7	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	4,3	0,0	0,0	0,4	39,9	29,2	12,3	4,6	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	2,4	1,5	0,6	0,2	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	2,4	1,5	0,6	0,2	0,0	0,0

Tabla A.22: Balance hídrico año 1991, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-91	Feb-91	Mar-91	Abr-91	May-91	Jun-91	Jul-91	Ago-91	Sept-91	Oct-91	Nov-91	Dic-91
P	0,0	0,0	0,0	0,7	21,6	201,6	35,9	0,6	36,6	7,8	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-70,9	-29,2	154,3	-5,9	-53,7	-37,7	-93,7	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	150,0	144,1	90,5	52,8	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	154,3	144,1	90,5	52,8	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,7	21,6	37,2	39,9	54,2	72,5	7,8	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	10,1	1,8	0,0	1,8	0,4	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	1,1	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0
E total	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	12,2	2,9	0,6	2,1	0,5	0,1	0,0

Tabla A.23: Balance hídrico año 1992, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-92	Feb-92	Mar-92	Abr-92	May-92	Jun-92	Jul-92	Ago-92	Sept-92	Oct-92	Nov-92	Dic-92
P	0,0	0,0	25,5	15,1	96,0	264,8	0,0	101,3	15,2	0,0	1,8	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-83,7	-57,3	41,5	214,4	-39,9	42,0	-58,1	-101,1	-120,9	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,5	150,0	110,1	150,0	91,9	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	41,5	255,9	110,1	152,0	91,9	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	25,5	15,1	49,7	37,2	0,0	54,2	72,5	0,0	1,8	0,0
ED	0,0	0,0	1,3	0,8	4,8	13,2	0,0	5,1	0,8	0,0	0,1	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,9	26,5	14,3	7,1	3,6	1,8	0,9
E total	0,0	0,0	1,3	0,8	4,8	66,2	26,5	19,3	7,9	3,6	1,9	0,9

Tabla A.24: Balance hídrico año 1993, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-93	Feb-93	Mar-93	Abr-93	May-93	Jun-93	Jul-93	Ago-93	Sept-93	Oct-93	Nov-93	Dic-93
P	0,0	0,0	25,5	15,1	96,0	264,8	0,0	101,3	15,2	0,0	1,8	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-83,7	-57,3	41,5	214,4	-39,9	42,0	-58,1	-101,1	-120,9	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,5	150,0	110,1	150,0	91,9	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	41,5	255,9	110,1	152,0	91,9	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	25,5	15,1	49,7	37,2	0,0	54,2	72,5	0,0	1,8	0,0
ED	0,0	0,0	1,3	0,8	4,8	13,2	0,0	5,1	0,8	0,0	0,1	0,0
EI	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	53,0	26,5	14,3	7,1	3,6	1,8	0,9
E total	0,4	0,2	1,4	0,8	4,8	66,2	26,5	19,3	7,9	3,6	1,9	0,9

Tabla A.25: Balance hídrico año 1994, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-94	Feb-94	Mar-94	Abr-94	May-94	Jun-94	Jul-94	Ago-94	Sept-94	Oct-94	Nov-94	Dic-94
P	0,0	0,0	0,0	27,2	68,3	12,8	44,7	51,1	5,8	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-45,7	15,2	-25,1	2,6	-5,7	-66,9	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	0,0	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	27,2	49,7	12,8	39,9	51,1	5,8	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	1,4	3,4	0,6	2,2	2,6	0,3	0,0	0,0	0,0
EI	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,4	0,2	0,1	1,4	3,4	0,7	2,2	2,6	0,3	0,0	0,0	0,0

Tabla A.26: Balance hídrico año 1995, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-95	Feb-95	Mar-95	Abr-95	May-95	Jun-95	Jul-95	Ago-95	Sept-95	Oct-95	Nov-95	Dic-95
P	0,0	0,0	0,0	0,0	31,0	24,4	70,5	10,9	7,7	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,6	-20,3	-14,0	27,1	-43,8	-65,2	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,1	0,0	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,0	31,0	24,4	39,9	10,9	7,7	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	1,2	3,5	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	1,2	3,5	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0

Tabla A.27: Balance hídrico año 1996, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-96	Feb-96	Mar-96	Abr-96	May-96	Jun-96	Jul-96	Ago-96	Sept-96	Oct-96	Nov-96	Dic-96
P	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	38,2	80,5	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-154,7	-129,7	-107,9	-71,6	-49,7	-0,9	36,5	-54,2	-69,8	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,5	0,0	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	37,2	39,9	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0
ED	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	4,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	4,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0

Tabla A.28: Balance hídrico año 1997, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-97	Feb-97	Mar-97	Abr-97	May-97	Jun-97	Jul-97	Ago-97	Sept-97	Oct-97	Nov-97	Dic-97
P	0,0	0,0	0,0	15,2	4,3	19,5	54,7	39,3	0,0	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-57,2	-45,7	-18,7	12,0	-16,9	-72,5	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	15,2	4,3	19,5	39,9	39,3	0,0	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2	1,0	2,7	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	0,0	0,8	0,2	1,0	2,7	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla A.29: Balance hídrico año 1998, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-98	Feb-98	Mar-98	Abr-98	May-98	Jun-98	Jul-98	Ago-98	Sept-98	Oct-98	Nov-98	Dic-98
P	0,0	0,0	0,0	0,0	150,7	196,9	58,4	173,8	0,0	86,3	3,6	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,6	93,5	149,9	15,5	110,9	-72,5	-19,1	-119,2	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	93,5	150,0	150,0	150,0	77,5	58,4	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	93,5	243,4	165,5	260,9	77,5	58,4	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,0	49,7	37,2	39,9	54,2	0,0	101,1	3,6	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	9,8	2,9	8,7	0,0	4,3	0,2	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,7	31,1	71,0	35,5	17,8	8,9	4,4
E total	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	56,6	34,0	79,7	35,5	22,1	9,1	4,4

Tabla A.30: Balance hídrico año 1999, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-99	Feb-99	Mar-99	Abr-99	May-99	Jun-99	Jul-99	Ago-99	Sept-99	Oct-99	Nov-99	Dic-99
P	0,0	0,0	0,0	10,9	13,5	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-61,2	-36,9	-29,7	-39,9	-54,2	-72,5	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	10,9	13,5	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,5	0,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EI	2,2	1,1	0,6	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	2,2	1,1	0,6	0,8	0,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla A.31: Balance hídrico año 2000, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-00	Feb-00	Mar-00	Abr-00	May-00	Jun-00	Jul-00	Ago-00	Sept-00	Oct-00	Nov-00	Dic-00
P	0,0	0,0	28,0	0,0	20,7	38,9	18,2	91,5	107,0	7,3	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-81,3	-71,6	-30,1	-0,2	-22,6	32,7	29,1	-94,2	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,7	61,9	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,7	61,9	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	28,0	0,0	20,7	37,2	18,2	54,2	72,5	7,3	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	1,4	0,0	1,0	1,9	0,9	4,6	5,3	0,4	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	1,4	0,0	1,0	1,9	0,9	4,6	5,3	0,4	0,0	0,0

Tabla A.32: Balance hídrico año 2001, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-01	Feb-01	Mar-01	Abr-01	May-01	Jun-01	Jul-01	Ago-01	Sept-01	Oct-01	Nov-01	Dic-01
P	0,0	0,0	0,0	1,2	20,7	228,6	20,7	0,0	89,7	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-70,5	-30,1	179,9	-20,3	-54,2	12,7	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	150,0	129,7	75,5	88,2	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	179,9	129,7	75,5	88,2	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	1,2	20,7	37,2	39,9	0,0	72,5	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	11,4	1,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	7,5	3,7	1,9	0,9	0,5	0,2
E total	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	26,4	8,5	3,7	6,4	0,9	0,5	0,2

Tabla A.33: Balance hídrico año 2002, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-02	Feb-02	Mar-02	Abr-02	May-02	Jun-02	Jul-02	Ago-02	Sept-02	Oct-02	Nov-02	Dic-02
P	0,0	0,0	0,0	8,5	45,0	0,0	200,6	45,0	9,1	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-63,5	-7,0	-37,2	150,6	-11,5	-63,8	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	150,0	138,5	74,7	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	150,6	138,5	74,7	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	8,5	45,0	0,0	39,9	54,2	72,5	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,4	2,2	0,0	10,0	2,2	0,5	0,0	0,0	0,0
EI	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
E total	0,1	0,1	0,0	0,4	2,3	0,0	10,3	2,4	0,5	0,0	0,0	0,0

Tabla A.34: Balance hídrico año 2003, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-03	Feb-03	Mar-03	Abr-03	May-03	Jun-03	Jul-03	Ago-03	Sept-03	Oct-03	Nov-03	Dic-03
P	0,0	0,0	8,6	4,9	179,9	235,8	149,5	86,3	0,0	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-99,7	-67,0	121,2	186,9	102,1	27,8	-72,5	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	121,2	150,0	150,0	150,0	77,5	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	121,2	308,1	252,1	177,8	77,5	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	8,6	4,9	49,7	37,2	39,9	54,2	0,0	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,4	0,2	9,0	11,8	7,5	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	79,0	90,6	59,2	29,6	14,8	7,4	3,7
E total	0,0	0,0	0,4	0,2	9,0	90,8	98,1	63,5	29,6	14,8	7,4	3,7

Tabla A.35: Balance hídrico año 2004, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-04	Feb-04	Mar-04	Abr-04	May-04	Jun-04	Jul-04	Ago-04	Sept-04	Oct-04	Nov-04	Dic-04
P	0,0	0,0	0,0	0,0	132,5	27,4	30,4	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,6	76,2	-11,2	-11,1	-42,7	-72,5	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	76,2	65,0	53,9	11,2	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	76,2	65,0	53,9	11,2	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,0	49,7	37,2	39,9	23,4	0,0	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	1,4	1,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
EI	1,8	0,9	0,5	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	1,8	0,9	0,5	0,2	6,7	1,4	1,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla A.36: Balance hídrico año 2005, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-05	Feb-05	Mar-05	Abr-05	May-05	Jun-05	Jul-05	Ago-05	Sept-05	Oct-05	Nov-05	Dic-05
P	0,0	0,0	16,4	44,7	8,5	49,8	105,2	88,7	4,9	0,0	13,7	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-92,3	-29,1	-41,6	10,2	60,0	30,1	-67,9	-101,1	-109,6	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	70,1	100,2	32,4	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	70,1	100,2	32,4	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	16,4	44,7	8,5	37,2	39,9	54,2	37,2	0,0	13,7	0,0
ED	0,0	0,0	0,8	2,2	0,4	2,5	5,3	4,4	0,2	0,0	0,7	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	0,8	2,2	0,4	2,5	5,3	4,4	0,2	0,0	0,7	0,0

Tabla A.37: Balance hídrico año 2006, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-06	Feb-06	Mar-06	Abr-06	May-06	Jun-06	Jul-06	Ago-06	Sept-06	Oct-06	Nov-06	Dic-06
P	0,0	0,0	12,8	0,0	43,8	79,0	23,1	113,1	10,9	10,9	18,2	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-95,8	-71,6	-8,1	37,9	-18,0	53,2	-62,1	-90,7	-105,3	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,9	19,9	73,1	11,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,9	19,9	73,1	11,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	12,8	0,0	43,8	37,2	39,9	54,2	21,9	10,9	18,2	0,0
ED	0,0	0,0	0,6	0,0	2,2	4,0	1,2	5,7	0,5	0,5	0,9	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	0,6	0,0	2,2	4,0	1,2	5,7	0,5	0,5	0,9	0,0

Tabla A.38: Balance hídrico año 2007, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-07	Feb-07	Mar-07	Abr-07	May-07	Jun-07	Jul-07	Ago-07	Sept-07	Oct-07	Nov-07	Dic-07
P	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	81,5	189,6	13,3	0,0	51,1	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,6	-49,7	40,2	140,2	-41,6	-72,5	-52,6	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,2	150,0	108,4	35,9	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,2	180,4	108,4	35,9	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,2	39,9	54,2	0,0	51,1	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	9,5	0,7	0,0	2,6	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	7,6	3,8	1,9	1,0	0,5
E total	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	24,7	8,3	3,8	4,5	1,0	0,5

Tabla A.39: Balance hídrico año 2008, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-08	Feb-08	Mar-08	Abr-08	May-08	Jun-08	Jul-08	Ago-08	Sept-08	Oct-08	Nov-08	Dic-08
P	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	95,4	8,5	31,6	0,0	0,0	0,2	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,6	-40,5	53,5	-31,8	-24,2	-72,5	-101,1	-122,4	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	53,5	21,6	0,0	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	53,5	21,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	37,2	30,1	31,6	0,0	0,0	0,2	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	4,8	0,4	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0
EI	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,2	0,1	0,1	0,0	0,5	4,8	0,4	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla A.40: Balance hídrico año 2009, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-09	Feb-09	Mar-09	Abr-09	May-09	Jun-09	Jul-09	Ago-09	Sept-09	Oct-09	Nov-09	Dic-09
P	0,0	0,0	0,7	23,7	43,8	28,0	50,2	73,9	3,6	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,2	-49,1	-8,1	-10,6	7,8	16,0	-69,0	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	23,8	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,8	23,8	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,7	23,7	43,8	28,0	39,9	54,2	3,6	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	1,2	2,2	1,4	2,5	3,7	0,2	0,0	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	0,0	1,2	2,2	1,4	2,5	3,7	0,2	0,0	0,0	0,0

Tabla A.41: Balance hídrico año 2010, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-10	Feb-10	Mar-10	Abr-10	May-10	Jun-10	Jul-10	Ago-10	Sept-10	Oct-10	Nov-10	Dic-10
P	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	145,5	26,1	102,1	0,0	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,6	-49,7	101,1	-15,1	42,8	-72,5	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	101,1	86,0	128,7	56,3	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	101,1	86,0	128,7	56,3	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,2	39,9	54,2	0,0	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	1,3	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,3	1,3	5,1	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla A.42: Balance hídrico año 2011, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-11	Feb-11	Mar-11	Abr-11	May-11	Jun-11	Jul-11	Ago-11	Sept-11	Oct-11	Nov-11	Dic-11
P	0,0	0,0	0,0	0,0	35,6	76,0	46,3	7,3	18,2	6,7	4,9	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,6	-15,9	35,0	4,1	-47,3	-55,2	-94,7	-118,0	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	39,1	0,0	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	39,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,0	35,6	37,2	39,9	7,3	18,2	6,7	4,9	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	3,8	2,3	0,4	0,9	0,3	0,2	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	3,8	2,3	0,4	0,9	0,3	0,2	0,0

Tabla A.43: Balance hídrico año 2012, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-12	Feb-12	Mar-12	Abr-12	May-12	Jun-12	Jul-12	Ago-12	Sept-12	Oct-12	Nov-12	Dic-12
P	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	149,5	47,4	21,8	0,0	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,6	-49,7	104,9	5,1	-33,6	-72,5	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	104,9	110,0	76,4	3,9	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	104,9	110,0	76,4	3,9	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,2	39,9	54,2	0,0	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	2,4	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	2,4	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabla A.44: Balance hídrico año 2013, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-13	Feb-13	Mar-13	Abr-13	May-13	Jun-13	Jul-13	Ago-13	Sept-13	Oct-13	Nov-13	Dic-13
P	0,0	0,0	0,0	0,0	26,7	49,8	0,0	65,6	0,8	74,8	0,0	9,7
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,6	-24,3	10,2	-39,9	8,1	-71,7	-30,1	-122,7	-144,3
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	0,0	8,1	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	0,0	8,1	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,0	26,7	37,2	0,0	54,2	0,8	74,8	0,0	9,7
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	2,5	0,0	3,3	0,0	3,7	0,0	0,5
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	2,5	0,0	3,3	0,0	3,7	0,0	0,5

Tabla A.45: Balance hídrico año 2014, unidades en [mm]. Elaboración propia.

MES	Ene-14	Feb-14	Mar-14	Abr-14	May-14	Jun-14	Jul-14	Ago-14	Sept-14	Oct-14	Nov-14	Dic-14
P	0,0	0,0	0,0	0,0	74,8	31,6	2,4	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0
ETP	159,9	129,7	107,9	71,6	49,7	37,2	39,9	54,2	72,5	101,1	122,7	153,6
P-ETP	-159,9	-129,7	-107,9	-71,6	21,3	-7,2	-37,6	-35,2	-72,5	-101,1	-122,7	-153,6
ARS mes anterior	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,3	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ARS actual	0,0	0,0	0,0	0,0	21,3	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ET	0,0	0,0	0,0	0,0	49,7	37,2	2,4	20,1	0,0	0,0	0,0	0,0
ED	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	1,6	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
EI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
E total	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	1,6	0,1	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Analizando los resultados de los balances hídricos desde 1977 a 2014 se determina que la escorrentía media mensual es 4,7 [mm]. Este valor se lleva a caudal medio multiplicando por el área de la cuenca (51[Km²]) y dividiendo por el periodo de tiempo asociado, en este caso un mes, llegándose a un caudal de 91,6 [L/s].

Estos valores son válidos para el periodo 1977 a 2014, no siendo necesariamente representativos de las condiciones futuras de la zona en estudio, considerando sobretodo el escenario de sequía que ha afectado esta zona en los últimos años (Figura A.1). Por este motivo, se recalcula el balance hídrico, reduciendo las precipitaciones mensuales en 10% considerando un escenario de cambio climático (CEPAL & Gobierno de Chile, 2012), con esto la escorrentía media mensual queda en 3,5 [mm], lo que implica un caudal de 69,2 [L/s].

Sin embargo, la escorrentía superficial en esta cuenca es muy esporádica, lo que hace poco viable una captación superficial tipo bocatoma, pues no daría la seguridad de producción requerida para este caso. Tampoco se considera factible la construcción de un embalse debido al alto costo de construcción.

En base a lo explicado anteriormente se elimina la escorrentía directa de la escorrentía total, siendo el valor definitivo de la escorrentía media mensual 2,4 [mm]. Por lo tanto, con seguridad la Hoya del Estero Los Molles puede producir 47,0 [L/s] y la Hoya del Estero Villa Huaquén unos 23,5 [L/s].

En consecuencia, baterías de pozos en ambas cuencas podrían llegar a producir teóricamente 70,5 [L/s].

No obstante, el último dato que se debe tener en cuenta es que existen derechos de aprovechamiento de agua constituidos en ambas cuencas (Tabla A.46), los cuales pertenecen a terceros los cuales se deben descontar de este valor de producción teórico calculado.

Tabla A.46: Derechos de agua constituidos en las cuencas en estudio. Elaboración propia a partir del registro de la DGA.

Cuenca Estero Los Molles		Cuenca Estero Villa Huaquén	
Expediente DGA	Caudal [L/s]	Expediente DGA	Caudal [L/s]
ND-0501-645	6,4	ND-0501-1205	2,71
ND-0501-2993	8,5	ND-0501-6264	1
ND-0501-1275	2	ND-0501-5546	0,5
ND-0501-1297	10	ND-0501-6342	1
		ND-0501-6260	2
		ND-0501-6266	2
		ND-0501-5588	2
		ND-0501-5587	0,5
		ND-0501-5589	0,7
		ND-0501-5590	0,5
		ND-0501-5507	1,3
		ND-0501-5508	1,5
		ND-0501-6267	0,6
Derechos concedidos totales			
TOTAL	26,9	TOTAL	15,71

Si se restan los derechos de agua de terceros se llega al valor de agua disponible de 27,9 [L/s], que corresponden a 20,1 [L/s] en la Hoya del Estero Los Molles y 7,8 [L/s] en la Hoya del Estero Villa Huaquén.

ANEXO B: ESTUDIO DE PRECIOS DE OBRAS CIVILES.

Para valorizar el costo de las obras civiles asociadas al proyecto, como la instalación de tuberías o construcción de estanques, se consulta a la DOH los precios de las últimas obras ejecutadas en la Región de Valparaíso vía licitación pública. De esta forma se tiene a disposición los precios de los siguientes proyectos:

- “Obra de mejoramiento de servicio de APR El Escorial, comuna de Panquehue, provincia de San Felipe, región de Valparaíso”. (En adelante El Escorial)
- “Obras de ampliación de servicio de agua potable rural Ventana Alto, comuna de Puchuncaví, provincia de Valparaíso, Región de Valparaíso”. (En adelante Ventana Alto)
- “Prospección y construcción de fuente servicio de agua potable rural Valle Hermoso, comuna de La Ligua, provincia de Petorca”. (En adelante Valle Hermoso)

Estos proyectos fueron licitados a finales del año 2015 y su ejecución se lleva a cabo durante el año 2016. Por lo tanto, los precios de las obras se consideran representativos para este estudio.

Para que sean verificables estos datos utilizados, se han escaneado las ofertas económicas completas de las empresas que se adjudicaron los contratos, mostrando los certificados junto con las respectivas firmas y timbres.

Cabe mencionar que el motivo de por el cual no aparece el logo del MOP, y sí el de ESVAL, es por un convenio donde se delega a la empresa sanitaria las labores administrativas de licitación e inspección de las obras. Sin embargo, estos datos son públicos y de libre acceso de quien los solicite a través de la ley de transparencia.

Dado lo extenso de los presupuestos, se decide incluir el formulario con el resumen de la oferta y un extracto con las partidas que tienen que ver con el análisis que se realiza para la presente memoria. El presupuesto completo está disponible para consulta en los anexos del CD que acompaña esta memoria.

Los precios que se buscan establecer son el estanque de regulación de 75 [m³], construcción de pozo de diámetro 10” y los movimientos de tierra asociados a la instalación de tuberías. Esto debido a que, como se indica en los objetivos de esta memoria, se busca llegar a un nivel de ingeniería básica valorizando solamente los elementos más importantes de los sistemas proyectados.

OFERTA ECONÓMICA BASE

JUAN FRANCISCO NÚÑEZ VARGAS
RUT 09.517.655-0



SERIE DE PRECIOS UNITARIOS					
CAPITULO VI					
RED DE DISTRIBUCION					
A. Movimiento de Tierra					
Excavación en Zanja					
6.1	Excavación en terreno "semi duro" B- III	m3	1.639	4.095	6.711.705
Relleno de Zanjas					
6.2	Cama de apoyo de arena, e = 10 cm	m3	127	25.130	3.191.510
6.3	Relleno de zanja	m3	1.502	7.463	11.209.420
Retiro de Excedentes					
6.4	Retiro de excedentes	m3	467	15.230	7.112.410

Tabla B.2: Extracto del presupuesto de El Escorial con precio de estanque de regulación con capacidad de 75 [m³]. Fuente: DOH.

CAPITULO IV ESTANQUE SEMIENTERRADO V 75 M3				
A. Estanque Hormigón Armado Semienterrado de 75 m³				
A.1 Movimientos de Tierras				
Excavaciones				
Excavaciones en terreno tipo	m³	25	3.500	87.500
Retiro de Excedentes				
Retiro de excedentes	m³	14	10.000	140.000
Confección de Relleno Perimetral del Estanque				
Confección de relleno perimetral del estanque	m³	22	18.500	407.000
Mejoramiento de Suelos				
Mejoramiento de suelos	m³	4	18.500	74.000
A.2 Estanque Según Plano Tipo ES-75 Aguas Andinas 2012				
Estanque hormigón armado V = 75 m³,	Gl	1	28.950.550	28.950.550
B. Suministro de Cañerías y Piezas Especiales				
Cañerías de Acero Galvanizado				
Cañería de acero galvanizado ASTM A-53, Sch. 40, D = 3"	m	6	12.500	75.000
Cañería de acero galvanizado ASTM A-53, Sch. 40, D = 2"	m	6	12.500	75.000
Cañería de acero galvanizado ASTM A-53, Sch. 40, D = 3" (Conexión al sondaje)	m	3	12.500	37.500
Piezas Especiales sin Mecanismo				
Piezas especiales sin mecanismo	Gl	1	5.390.890	5.390.890
Válvulas de Corta				
Válvula de corta, cierre elastomérico, PN 10, D = 75 mm	Nº	2	85.680	171.360
Válvula de corta, cierre elastomérico, PN 10, D = 50 mm	Nº	1	55.680	55.680
Macromedidor				
Macromedidor, PN 10, D = 75 mm	Nº	1	1.950.780	1.950.780
C. Habilitación del Estanque				
Colocación de Cañerías y Piezas Especiales				
Colocación de Cañerías				
Cañería de acero galvanizado ASTM A-53, Sch. 40, D = 3"	m	6	7.500	45.000
Cañería de acero galvanizado ASTM A-53, Sch. 40, D = 2"	m	3	7.500	22.500
Cañería de acero galvanizado ASTM A-53, Sch. 40, D = 3" (Conexión al sondaje)	m	3	7.500	22.500
Confección de Juntas				
Juntas Brida				
D = 50 mm	Nº	13	10.000	130.000
D = 75 mm	Nº	20	12.500	250.000
Unión Autobloqueante				
D = 50 mm	Nº	1	75.680	75.680
D = 75 mm	Nº	2	90.550	181.100
Juntas Hilo				
D = 50 mm	Nº	9	10.000	90.000
D = 75 mm	Nº	17	12.500	212.500
Juntas Soldada				
D = ½"	Nº	9	10.000	90.000
Tubo Piezométrico				
Tubo piezométrico completo	Gl	1	160.890	160.890
D. Obras de Hormigón				
Machones de Anclaje				
Machones de anclaje	Nº	12	45.500	546.000
Radier y Cámara de Válvulas				
Construcción total Cámara de válvulas	Gl	1	1.890.000	1.890.000
E. Urbanización del Recinto				
Mejoramiento terreno del recinto	Gl	1	1.550.890	1.550.890
SUB TOTAL				42.682.320

FORMULARIO "O"
"RESUMEN DE OFERTA"
LICITACIÓN 510/15-ES-APR

"OBRAS DE AMPLIACIÓN SERVICIO DE AGUA POTABLE RURAL VENTANA ALTO, COMUNA DE PUCHUNCAVI, PROVINCIA DE VALPARAISO, REGIÓN DE VALPARAÍSO".

OFERTA ECONÓMICA BASE

Constructora Ahumada Limitada, Contratista, domiciliado en Bellavista N°5 Oficina 210, Reñaca, Viña del Mar se presenta a la LICITACION Pública para la construcción de la siguiente obra : **LICITACIÓN 510/15-ES-APR "OBRAS DE AMPLIACIÓN SERVICIO DE AGUA POTABLE RURAL VENTANA ALTO, COMUNA DE PUCHUNCAVI, PROVINCIA DE VALPARAISO, REGIÓN DE VALPARAÍSO"** que ESVAL S.A. solicita. La obra se ejecutará conforme con lo establecido en las Bases de la LICITACIÓN, Aclaraciones, Especificaciones Técnicas, planos, y otros documentos integrantes de la misma, al precio que a continuación ofrezco y cuyos detalles indico en el documento "CUADRO DE PRECIOS OFERTA ECONÓMICA BASE".

El Precio IVA incluido Ofertado es de :

Mil cuatrocientos veintitrés millones ochocientos sesenta y cinco mil ciento veintiseis pesos.-

(\$ 1.423.865.126.-) IVA incluido.

El plazo de ejecución de las obras será de **trescientos sesenta (360)** días corridos, contado desde la fecha del Contrato o la Orden de Proceder, lo que ocurra primero.

Esta oferta, junto con su eventual aprobación, constituirán nuestro compromiso formal hasta que se firme el respectivo contrato y hagamos entrega de la garantía por el fiel, completo y oportuno cumplimiento del mismo.

Finalmente, aceptamos la decisión que **ESVAL** determine sobre la adjudicación de la **LICITACIÓN**, renunciando a todo tipo de demanda y/o indemnización en contra de **ESVAL** por tal decisión.


CONSTRUCTORA AHUMADA LTDA.

CONSTRUCTORA AHUMADA LIMITADA
JOSÉ AHUMADA RAMOS
REPRESENTANTE LEGAL
RUT: 6.461.432-0

26 DE NOVIEMBRE DE 2015

Figura B.2: Formulario de oferta económica Ventana Alto. Fuente: DOH.

Tabla B.3: Extracto del presupuesto de Ventana Alto con precios de instalación de tuberías.
Fuente: DOH.

3.1.	MOVIMIENTOS DE TIERRA				
3.1.1.	Excavaciones				
3.1.1.1.	Excavación para Estructuras	m3	847	7.800	6.606.600
3.1.1.2.	Excavación en Zanja para Tuberías				
3.1.1.2.1.	Excavación en Zanja de 0-2 m	m3	71	5.150	365.650
3.1.2.	Rellenos				
3.1.2.1.	Rellenos para Estructuras	m3	536	21.080	11.298.880
3.1.2.2.	Rellenos Para Tuberías				
3.1.2.2.1.	Cama de Apoyo para Tuberías en Zanja	m3	6	22.068	132.408
3.1.2.2.2.	Rellenos de Zanjas Material Granular	m3	63	4.540	286.020
3.1.3.	Retiro y Transporte de Excedentes	m3	536	3.026	1.618.910

Con los precios mostrados hasta acá se calcula el valor medio de los ítems relacionados al movimiento de tierra para la instalación de tuberías en zanjas. En la Tabla B.4 se muestran los precios estimados.

Tabla B.4: Precios de movimientos de tierra para instalación de tuberías. Elaboración propia.

Ítem	Unidad	Venta Alto	El Escorial	Media
Excavación de zanja	[m ³]	\$5.150	\$4.095	\$4.623
Cama de apoyo de arena	[m ³]	\$22.068	\$25.130	\$23.599
Relleno de zanja	[m ³]	\$4.540	\$7.463	\$6.002
Retiro de excedente	[m ³]	\$3.026	\$15.230	\$9.158

Solo falta por definir el precio por metro de tubería instalada, para esto se estima la cantidad de [m³] de cada ítem de la Tabla B.4. Estas cantidades se calculan suponiendo una excavación que cumpla con las indicaciones de la norma NCh 2282 of 1995.

Tabla B.5: Costos de excavación por metro de tubería instalada. Elaboración propia.

DN [mm]	Excavación [m ³ /m]	Costo excavación [\$/m ³]	Costo excavación por metro de instalación [\$/m]
110	1,41	\$4.623	\$6.518
125	1,43	\$4.623	\$6.588
140	1,44	\$4.623	\$6.657

Tabla B.5: Costos de excavación por metro de tubería instalada. Continuación.

DN [mm]	Excavación [m³/m]	Costo excavación [\$/m³]	Costo excavación por metro de instalación [\$/m]
160	1,46	\$4.623	\$6.750
180	1,48	\$4.623	\$6.842
200	1,50	\$4.623	\$6.935
225	1,53	\$4.623	\$7.050
250	1,55	\$4.623	\$7.166
280	1,58	\$4.623	\$7.304
315	1,62	\$4.623	\$7.466
355	1,66	\$4.623	\$7.651
400	1,70	\$4.623	\$7.859

Tabla B.6: Costo de la cama de arena por metro de tubería instalada. Elaboración propia.

DN [mm]	Cama de arena [m³/m]	Costo de la cama de arena [\$/m³]	Costo de la cama de arena por metro de instalación [\$/m]
110	0,071	\$23.599	\$1.676
125	0,073	\$23.599	\$1.711
140	0,074	\$23.599	\$1.746
160	0,076	\$23.599	\$1.794
180	0,078	\$23.599	\$1.841
200	0,080	\$23.599	\$1.888
225	0,083	\$23.599	\$1.947
250	0,085	\$23.599	\$2.006
280	0,088	\$23.599	\$2.077
315	0,092	\$23.599	\$2.159
355	0,096	\$23.599	\$2.254
400	0,100	\$23.599	\$2.360

Tabla B.7: Costo del relleno por metro de tubería instalada. Elaboración propia.

DN [mm]	Relleno [m³/m]	Costo del relleno [\$/m³]	Costo del relleno por metro de instalación [\$/m]
110	1,33	\$6.002	\$7.980
125	1,34	\$6.002	\$8.044

Tabla B.7: Costo del relleno por metro de tubería instalada. Continuación.

DN [mm]	Relleno [m³/m]	Costo del relleno [\$/m³]	Costo del relleno por metro de instalación [\$/m]
140	1,35	\$6.002	\$8.106
160	1,36	\$6.002	\$8.186
180	1,38	\$6.002	\$8.262
200	1,39	\$6.002	\$8.334
225	1,40	\$6.002	\$8.419
250	1,42	\$6.002	\$8.498
280	1,43	\$6.002	\$8.585
315	1,45	\$6.002	\$8.676
355	1,46	\$6.002	\$8.766
400	1,47	\$6.002	\$8.849

Tabla B.8: Costo del retiro de excedentes por metro de tubería instalada. Elaboración propia.

DN [mm]	Retiro de excedentes [m³/m]	Costo del retiro de excedentes [\$/m³]	Costo del retiro de excedentes por metro de instalación [\$/m]
110	0,01	\$9.158	\$87
125	0,01	\$9.158	\$112
140	0,02	\$9.158	\$141
160	0,02	\$9.158	\$184
180	0,03	\$9.158	\$233
200	0,03	\$9.158	\$288
225	0,04	\$9.158	\$364
250	0,05	\$9.158	\$450
280	0,06	\$9.158	\$564
315	0,08	\$9.158	\$714
355	0,10	\$9.158	\$906
400	0,13	\$9.158	\$1.151

Con los valores de las tablas B.5 a B.8 se determina el precio total por metro de tubería instalada, como la suma de todos los ítems indicados en estas tablas. En la Tabla B.9 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla B.9: Costos de instalación por metro de tubería. Elaboración propia.

DN [mm]	DN ["]	Costo del metro de tubería instalada [\$/m]
110	4"	\$16.261
125	5"	\$16.455
140	5 1/2"	\$16.651
160	6"	\$16.913
180	6"	\$17.178
200	8"	\$17.444
225	8"	\$17.780
250	10"	\$18.119
280	10"	\$18.530
315	12"	\$19.015
355	14"	\$19.577
400	16"	\$20.219

En cuanto al costo de construcción de un estanque de regulación de 75 [m³] de capacidad, según los indicado en la Tabla B.2 este es \$42.682.320.

Finalmente, se utiliza la cotización del proyecto de Valle Hermoso para definir un precio estimado por metro de profundidad de un pozo. Para el proyecto indicado se especifica un pozo de 130 [m] de profundidad y un diámetro de entubación de 10", mismo diámetro en que se proyecta la captación por pozo playero en esta memoria, en consecuencia, los ítems de perforación, entubación y suministros se asumen equivalentes. Dado que el precio del pozo de Valle Hermoso es \$ 97.786.584 y la profundidad 130 [m] (Figura B.3 y Tabla B.10), se estima que el costo neto por metro es \$ 674.118.



FORMULARIO "O"

"RESUMEN DE OFERTA"

COTIZACION 516/15-ES APR

**"PROSPECCION Y CONSTRUCCION DE FUENTE SERVICIO AGUA POTABLE
RURAL VALLE HERMOSO, COMUNA DE LA LIGUA, PROVINCIA DE
PETORCA."**

OFERTA ECONÓMICA BASE

PROYECTOS DE INGENIERÍA LTDA., Contratista, domiciliado en 1 PONIENTE 123 OF. 413, VIÑA DEL MAR se presenta a la Licitación Pública para la construcción de la obra: **"PROSPECCION Y CONSTRUCCION DE FUENTE SERVICIO AGUA POTABLE RURAL VALLE HERMOSO, COMUNA DE LA LIGUA, PROVINCIA DE PETORCA."** que ESVAL S. A. solicita.

La obra se ejecutará conforme con lo establecido en las Bases de la Licitación, Aclaraciones, Especificaciones Técnicas, planos, y otros documentos integrantes de la misma, al precio que a continuación ofrezco y cuyos detalles indico en el documento **"CUADRO DE PRECIOS OFERTA ECONÓMICA BASE"**.

El Precio Referencial IVA incluido Ofertado es de:

**NOVENTA Y SIETE MILLONES SETECIENTOS OCHENTA Y SEIS MIL
QUINIENTOS OCHENTA Y CUATRO PESOS**

(\$ 97.786.584.-) IVA incluido.

El plazo de ejecución de las obras será de CIENTO VEINTE (120) días corridos, contado desde la fecha del Contrato o la Orden de Proceder, lo que ocurra primero.

Esta oferta, junto con su eventual aprobación, constituirá nuestro compromiso formal hasta que se firme el respectivo contrato y hagamos entrega de la garantía por el fiel, completo y oportuno cumplimiento del mismo.

Finalmente, aceptamos la decisión que ESVAL determine sobre la adjudicación de la licitación, renunciando a todo tipo de demanda y/o indemnización en contra de ESVAL por tal decisión.



FECHA: 16-11-2015

RONALD A. SALGADO ABARCA

Figura B.3: Formulario de oferta económica Valle Hermoso. Fuente: DOH.

Tabla B.10: Presupuesto de Valle Hermoso con precio de construcción de pozo. Fuente: DOH.

PRESUPUESTO CONSTRUCCION DE FUENTE SERVICIO DE AGUA POTABLE RURAL VALLE HERMOSO, COMUNA DE LA LIGUA, PROVINCIA DE PETORCA.					
Ítem	Designación	Unidad	Cantidad	Precio	Total
SUMA ALZADA					
1 INSTALACIÓN Y LEVANTE DE FAENAS					
1.1	Instalación de faenas	Gl	1	1.200.000	1.200.000
1.2	Levante de faenas	Gl	1	1.050.000	1.050.000
				Total 1	2.250.000
2 ENTREGA DE PLANOS E INFORME FINAL					
2.1	Entrega de planos e informe final	Gl	1	850.000	850.000
				Total 2	850.000
COSTO DIRECTO					3.100.000
GASTOS GENERALES 30%					930.000
UTILIDADES 20%					620.000
TOTAL NETO SUMA ALZADA					4.650.000
SERIE DE PRECIOS UNITARIOS					
3 CONSTRUCCIÓN DE SONDAJE					
3.1	Perforacion D=14"	ml	130	418.650	54.424.500
3.2	Proposicion sistema captante	gl	1	450.000	450.000
3.3	Entubacion definitiva 10" e=6,35mm	ml	115	74.500	8.567.500
3.4	Rejilla criba acero inox	ml	15	115.000	1.725.000
3.5	Pared gravilla seleccionada	ml	125	45.800	5.725.000
3.6	Desarrollo y desinfección	hr	8	85.000	680.000
3.7	Sello y brocal de hormigón	gl	1.0	550.000	550.000
				Total 4	72.122.000
4 PRUEBA DE BOMBEO					
4.1	Grupo de prueba Q=10 lt/s	gl	1	2.250.000	2.250.000
4.2	Prueba gasto variable	hr	24	54.200	1.300.800
4.3	Prueba gasto constante	hr	24	54.200	1.300.800
4.4	Análisis físico químico y bacteriológico	gl	1	550.000	550.000
				Total 4	5.401.600
TOTAL NETO PRECIO UNITARIO					77.523.600
COSTO TOTAL NETO (SUMA ALZADA + UNITARIO)					82.173.600
19% I.V.A.					15.612.984
TOTAL					97.786.584

ANEXO C: ESTUDIO DE COSTOS ELÉCTRICOS.

Un factor fundamental para la evaluación de este proyecto es el costo del suministro eléctrico, principalmente debido al alto consumo de las plantas de osmosis. Debido a esto, se realiza el estudio del comportamiento histórico de la tarifa eléctrica cobrada por la empresa distribuidora CONAFE S.A., la cual tiene la concesión de la zona en estudio. En particular para este proyecto se asumió la utilización de la tarifa AT 4.3, los precios de esta tarifa son publicados en la página web de CONAFE S.A. y se están disponibles desde el año 2006 a 2015, mostrándose estos datos en las siguientes tablas.

Tabla C.1: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2006. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

Fecha de publicación	01-01-2006	01-06-2006	01-12-2006
Cargo fijo	\$1.200,82	\$1.239,61	\$1.253,68
Cargo por energía	\$36,15	\$39,09	\$37,93
Cargo por demanda contratada	\$1.592,17	\$1.651,30	\$1.698,67
Cargo por demanda contratada en horas punta	\$7.188,31	\$7.038,54	\$7.589,62

Tabla C.2: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2007. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

Fecha de publicación	01-01-2007	01-06-2007	01-12-2007
Cargo fijo	\$1.247,85	\$1.273,29	\$1.365,62
Cargo por energía	\$45,39	\$47,92	\$78,61
Cargo por demanda contratada	\$1.657,49	\$1.700,50	\$1.808,37
Cargo por demanda contratada en horas punta	\$7.933,91	\$7.974,56	\$8.199,31

Tabla C.3: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2008. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

Fecha de publicación	01-01-2008	01-06-2008	01-12-2008
Cargo fijo	\$1.375,49	\$1.408,48	\$1.576,08
Cargo por energía	\$78,61	\$70,14	\$73,51
Cargo por demanda contratada	\$1.783,80	\$1.810,18	\$2.079,57
Cargo por demanda contratada en horas punta	\$8.174,75	\$7.364,71	\$9.272,58

Tabla C.4: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2009. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

Fecha de publicación	01-01-2009	01-06-2009	01-12-2009
Cargo fijo	\$1.582,97	\$1.097,04	\$1.092,48
Cargo por energía	\$73,51	\$95,03	\$70,27

Tabla C.4: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2009. Continuación.

Fecha de publicación	01-01-2009	01-06-2009	01-12-2009
Cargo por demanda contratada	\$2.095,97	\$1.747,28	\$1.700,70
Cargo por demanda contratada en horas punta	\$9.288,88	\$10.192,18	\$9.951,60

Tabla C.5: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2010. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

Fecha de publicación	01-01-2010	01-06-2010	01-12-2010
Cargo fijo	\$1.076,60	\$1.087,07	\$1.110,92
Cargo por energía	\$71,20	\$77,05	\$77,05
Cargo por demanda contratada	\$1.661,70	\$1.703,60	\$1.745,50
Cargo por demanda contratada en horas punta	\$9.916,20	\$9.592,30	\$9.634,20

Tabla C.6: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2011. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

Fecha de publicación	01-01-2011	01-06-2011	01-12-2011
Cargo fijo	\$1.103,04	\$1.125,30	\$1.150,06
Cargo por energía	\$77,05	\$81,77	\$85,59
Cargo por demanda contratada	\$1.710,10	\$1.752,90	\$1.819,70
Cargo por demanda contratada en horas punta	\$9.598,70	\$9.586,90	\$9.651,50

Tabla C.7: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2012. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

Fecha de publicación	01-01-2012	01-06-2012	01-12-2012
Cargo fijo	\$1.144,29	\$1.163,37	\$1.168,82
Cargo por energía	\$85,59	\$74,34	\$63,78
Cargo por demanda contratada	\$1.781,60	\$1.794,30	\$1.783,30
Cargo por demanda contratada en horas punta	\$9.613,20	\$10.688,30	\$10.333,20

Tabla C.8: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2013. Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

Fecha de publicación	01-01-2013	01-06-2013	01-12-2013
Cargo fijo	\$1.156,52	\$1.113,91	\$1.133,94
Cargo por energía	\$67,26	\$58,31	\$63,85
Cargo por demanda contratada	\$1.764,50	\$2.330,50	\$1.389,90
Cargo por demanda contratada en horas punta	\$10.278,20	\$8.659,70	\$6.911,00

Tabla C.9: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2014. Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

Fecha de publicación	01-01-2014	01-06-2014	01-12-2014
Cargo fijo	\$1.125,88	\$1.154,20	\$1.125,88
Cargo por energía	\$63,92	\$63,66	\$63,92
Cargo por demanda contratada	\$1.374,60	\$1.409,30	\$1.374,60
Cargo por demanda contratada en horas punta	\$6.893,10	\$6.927,90	\$6.893,10

Tabla C.10: Precios de la tarifa AT 4.3 en el año 2015. Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

Fecha de publicación	01-01-2015	01-06-2015	-
Cargo fijo	\$1.173,68	\$1.185,08	-
Cargo por energía	\$74,60	\$75,97	-
Cargo por demanda contratada	\$1.415,20	\$1.420,80	-
Cargo por demanda contratada en horas punta	\$5.806,10	\$5.910,50	-

Para simplificar el análisis, se promedia los valores de cada uno de los cargos incluidos en la tarifa seleccionada dentro de un mismo año. Después se genera una curva de comportamiento para cada cargo (Figuras C.4, C.5, C.6 y C.7).

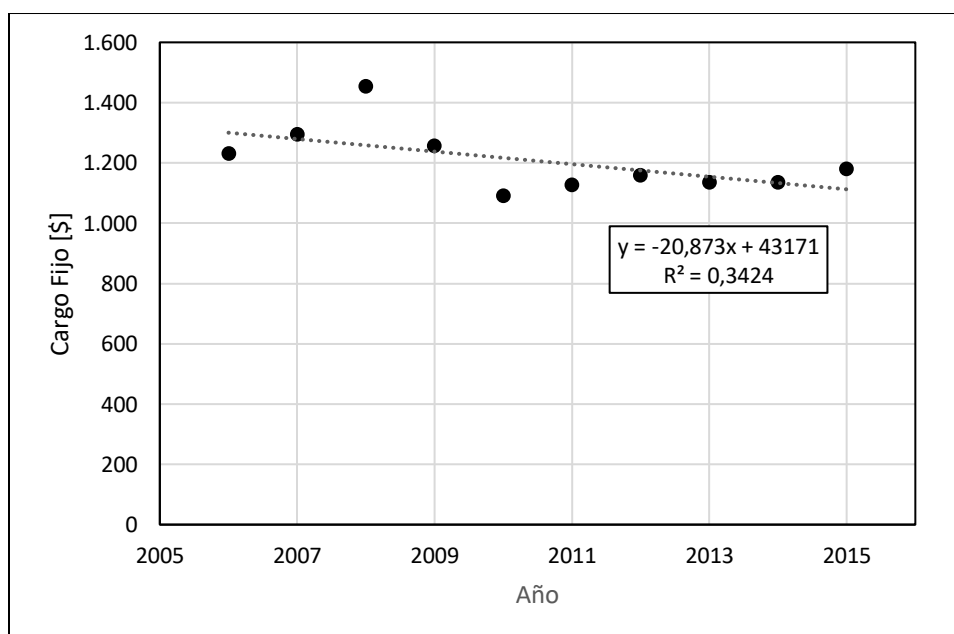


Figura C.1: Comportamiento histórico del cargo fijo para la tarifa AT 4.3. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

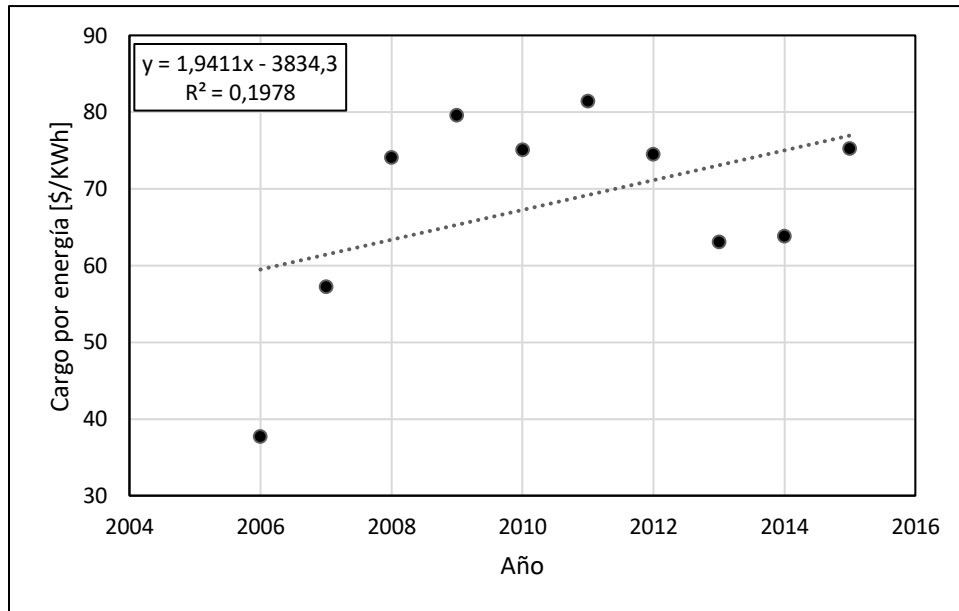


Figura C.2: Comportamiento histórico del cargo por energía para la tarifa AT 4.3. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

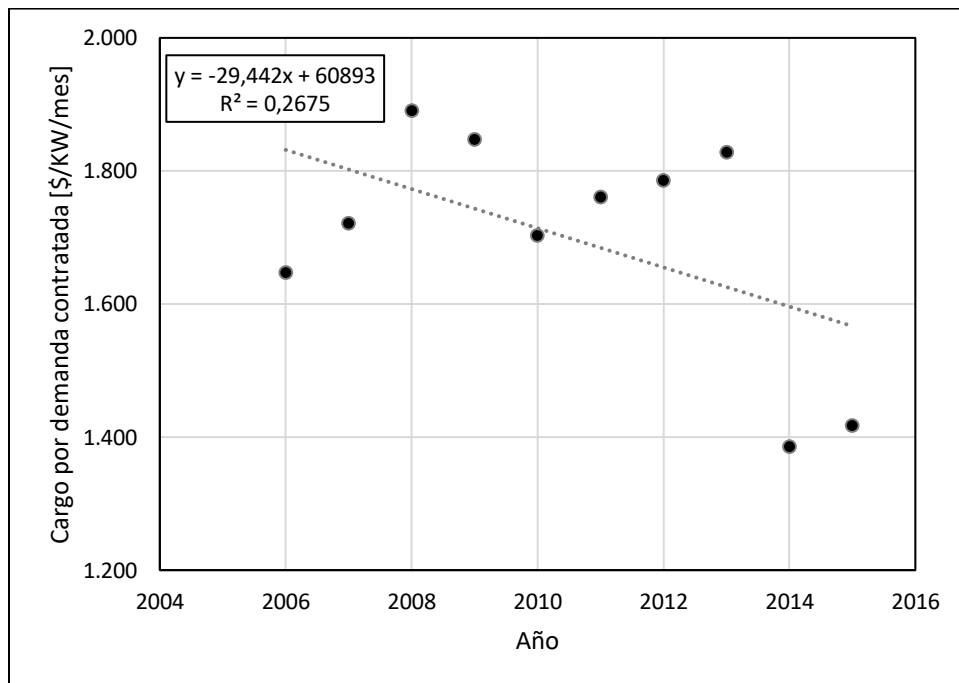


Figura C.3: Comportamiento histórico del cargo por demanda contratada para la tarifa AT 4.3. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

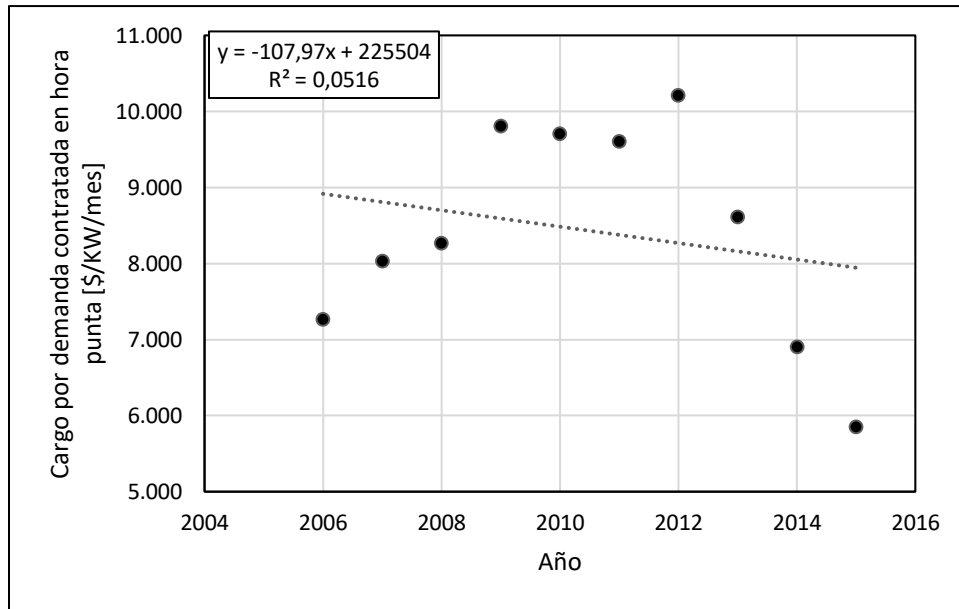


Figura C.4: Comportamiento histórico del cargo por demanda en hora punta para la tarifa AT 4.3.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CONAFE S.A.

En las figuras anteriores se incluye una línea de tendencia. Si bien los valores de correlación R^2 son muy bajos, se asumirán estas líneas de tendencias válidas para extrapolar los valores en el periodo de previsión del proyecto.

Tabla C.11: Tarifica eléctrica estimada para el periodo de previsión del proyecto. Elaboración propia.

Año	Cargos			
	Fijo	Por energía	Por potencia contratada	Por demanda contratada en hora punta
2018	\$1.049	\$83	\$1.479	\$7.621
2019	\$1.028	\$85	\$1.450	\$7.513
2020	\$1.008	\$87	\$1.420	\$7.405
2021	\$987	\$89	\$1.391	\$7.297
2022	\$966	\$91	\$1.361	\$7.189
2023	\$945	\$93	\$1.332	\$7.081
2024	\$924	\$94	\$1.302	\$6.973
2025	\$903	\$96	\$1.273	\$6.865
2026	\$882	\$98	\$1.244	\$6.757
2027	\$861	\$100	\$1.214	\$6.649
2028	\$841	\$102	\$1.185	\$6.541
2029	\$820	\$104	\$1.155	\$6.433
2030	\$799	\$106	\$1.126	\$6.325
2031	\$778	\$108	\$1.096	\$6.217
2032	\$757	\$110	\$1.067	\$6.109

%%CAUDALES Y DATOS DE LA PLANTA%%

```
toperacion=23.5;% Horas de funcionamiento de la planta supuesto.
Qdemanda=22.6;% En litros por segundo.
DNcap=280;% Diámetro nominal de la captación.
dcap=258.6;% Diámetro interno en milímetros.
DNimp=250;% Diámetro nominal de la impulsión.
dimp=230.8;% Diámetro interno en milímetros.
ef=35;% Eficiencia de la desaladora en %.
```

% Considerar que se colocarán dos bombas en paralelo que impulsarán el agua de producto

```
Nbombas=2;
Hbomba=[58.3;55.7;38.8]; %Buscar valores de catalogo
Qbomba=[24/3.6;39/3.6;78/3.6]; %Buscar valores de catálogo en l/s
Qbomba=Qbomba*Nbombas;
%% -----DEFINICIÓN DE VARIABLES AUXILIARES-----
zmar=zeros(n,1);
pmin1=zeros(n,1);
pmax1=zeros(n,1);
pmin2=zeros(n,1);
pmax2=zeros(n,1);
Qcaptado=zeros(n,1);
impulsion=zeros(n,1);
zsent1=zeros(n,1);
zsent2=zeros(n,1);
dir=zeros(n,1);
plotzmar=zeros(n,1);
plotzsent=zeros(n,1);
plotzsent2=zeros(n,1);
xplot=zeros(n,1);
%% -----SECCIÓN DE CALCULOS-----
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%CAPTACIÓN%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Condiciones iniciales%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

```
zsent10=zelementos-Hsent1;
zsent20=zelementos+zelementos2;
```

```
dcap=dcap/1000; % Diámetro interno en metros.
A=(dcap/2)^2*pi();% Área efectiva de la tubería.
Qcap=Qdemanda*100/ef;% Caudal que absorbe la planta de osmosis.
```

%%IMPULSIÓN%%

```
dimp=dimp/1000; %Diámetro interno de la tubería de impulsión
zbomba=zelementos; % Se asume una bomba instalada horizontalmente
zsent2(1)=zelementos+zelementos2-1;
Aimp=pi()*(dimp/2)^2; %Área efectiva de la tubería de impulsión
Hgeo=zestanques-zbomba; %Desde el punto de instalación de la bomba hasta estanques
```

```
Qsist=[0;Qdemanda/2/1000;Qdemanda/1000;Qdemanda*3/2/1000;Qdemanda*2/1000]
;
```

```
Hsist=[Hgeo;Hgeo+10.679*(Qsist(2)/150)^1.852*lsentest/dimp^4.87;Hgeo+10.679*(Qsist(3)/150)^1.852*lsentest/dimp^4.87;Hgeo+10.679*(Qsist(4)/150)^1.852*lsentest/dimp^4.87;Hgeo+10.679*(Qsist(5)/150)^1.852*lsentest/dimp^4.87];
```

```
[Qim,Him]=polyxpoly(Qsist,Hsist,Qbomba/1000,Hbomba,'unique');
```

```
% //////////////////////////////////Primera iteración////////////////////////////////////
```

```
onb=ones(toperacion*3600/dt,1)*Qcap/1000;  
offb=zeros((24-toperacion)*3600/dt,1);  
Qb=vertcat(onb,offb);
```

```
for i=1:ceil(duracion/24)  
Qb=vertcat(Qb,Qb);  
if length(Qb)>n  
break  
end  
end
```

```
Qb=Qb(1:n+1);
```

```
xplot(1)=1;
```

```
for i=2:n  
xplot(i)=i;  
zmar(i)=rantom/2*sin(2*pi()*(i-1)/(ciclom*3600/dt)); %Comportamiento  
simplificado del nivel del mar  
  
if zmar(i)>zsent1(i-1)  
if zsent1(i-1)>=zsalida  
Qcaptado(i)=fzero(@(x)-zmar(i)+zsent1(i-1)+10.679*(x./150)^1.852*lmarsent/dcap^4.87+7.9*x.^2/(2*A^2*g),[0 0.15]);  
else  
Qcaptado(i)=fzero(@(x)-zmar(i)+zsalida+10.679*(x./150)^1.852*lmarsent/dcap^4.87+8.9*x.^2/(2*A^2*g),[0 0.15]);  
end  
dhsent=((Qcaptado(i)-Qb(i))/Asent1)*dt;  
if zsent1(i-1)+dhsent>zmar(i)  
zsent1(i)=zmar(i);  
else  
zsent1(i)=zsent1(i-1)+dhsent;  
end  
dir(i)=1;  
elseif zmar(i)<zsent1(i-1)  
Qcaptado(i)=fzero(@(x)zmar(i)-zsent1(i-1)+10.679*(x./150)^1.852*lmarsent/dcap^4.87+7.9*x.^2/(2*A^2*g),[0 0.15]);  
dhsent=((Qcaptado(i)-Qb(i))/Asent1)*dt;  
if zsent1(i-1)+dhsent>zmar(i)  
zsent1(i)=zmar(i);  
else  
zsent1(i)=zsent1(i-1)+dhsent;  
end  
end
```

```

        dir(i)=-1;
    elseif zmar(i)==zsent1(i-1)
        Qcaptado(i)=0;
        dhsent=(Qcaptado(i)-Qb(i))/Asent1*dt;
        if zsent(i-1)+dhsent>zmar(i)
            zsent1(i)=zmar(i);
        else
            zsent1(i)=zsent1(i-1)+dhsent;
        end
        dir(i)=0;
    end

    if impulsion(i-1)==0
        if zsent2(i-1)<z elementos+3
            zsent2(i)=zsent2(i-1)+(Qb(i)*ef/100)*dt/Asent2;
        else
            zsent2(i)=zsent2(i-1)+((Qb(i)*ef/100)-Qim)*dt/Asent2;
            impulsion(i)=1;
        end
    end

    if impulsion(i-1)==1
        if zsent2(i-1)>z bomba+0.5
            zsent2(i)=zsent2(i-1)+((Qb(i)*ef/100)-Qim)*dt/Asent2;
            impulsion(i)=1;
        else
            zsent2(i)=zsent2(i-1)+(Qb(i)*ef/100)*dt/Asent2;
        end
    end

    plotzmar(i)=zmar(i);
    plotzsent(i)=zsent1(i);
    plotzsent2(i)=zsent2(i);

end

%%-----SECCIÓN DE GRÁFICOS-----

esquema_x=[0;2;2.5;4;4;6;6;11;11;13;13;14;18;20];
esquema_y=[zentrada-2;zentrada-
2;zelementos;zelementos;zsent10;zsent10;zelementos+zelementos2;zelementos
+zelementos2;zsent20;zsent20;zelementos+zelementos2;zelementos+zelementos
2;zestanques-3;zestanques-3];

tub_1x=[1.95;2.45;4.1;4.1];
tub_1y=[zentrada;zelementos+0.5;zelementos+0.5;zsalida];

tub_2x=[5.9;5.9;10.9;10.9;11];
tub_2y=[zelementos-
Hsent1+0.5;zelementos2+zelementos+1;zelementos2+zelementos+1;zelementos2+
zelementos+Hsent2-1;zelementos2+zelementos+Hsent2-1];

tub_3x=[13;13.1;13.9;17.9;17.9;18];
tub_3y=[zelementos2+zelementos;zelementos+zelementos2+0.5;zelementos+zele
mentos2+0.5;zestanques-3;zestanques;zestanques];

```

```
mar_x=[0;2.3];

sent1_x=[4;6];
sent2_x=[13;11];

E_1x=[1.95;1.95;2.45;4.1;4.1];

E_2x=[13;13;18];

str1(2)={'Sentina 1'};
str1(3)={'Agua cruda'};
str1(1)={'\uparrow'};

str2(1)={'\uparrow'};
str2(2)={'Pretratamiento'};

str3(1)={'\uparrow'};
str3(2)={'Planta'};
str3(3)={'de'};
str3(4)={'Osmosis'};

str4(1)={'\uparrow'};
str4(2)={'Estanques'};
str4(3)={'de'};
str4(4)={'Regulación'};

str5(1)={'\uparrow'};
str5(2)={'Sentina 2'};
str5(3)={'Agua potable'};

figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1])

for i=1:150:n
    mar_y=[zmar(i);zmar(i)];

    sent1_y=[zsent1(i);zsent1(i)];
    sent2_y=[zsent2(i);zsent2(i)];

    Ener(1)=zmar(i);
    Ener(2)=zmar(i)-Qcaptado(i)^2/(2*g*A^2);
    Ener(3)=zmar(i)-5.3*Qcaptado(i)^2/(2*g*A^2);
    Ener(4)=zmar(i)-6.8*Qcaptado(i)^2/(2*g*A^2)-
10.679*(Qcaptado(i)/150)^1.852*lmarsent/dcap^4.87;
    Ener(5)=zmar(i)-7.9*Qcaptado(i)^2/(2*g*A^2)-
10.679*(Qcaptado(i)/150)^1.852*lmarsent/dcap^4.87;

    horas=fix(i/(3600/dt));
    minutos=fix(i/(60/dt))-horas*3600/60;
    segundos=i*dt-minutos*60-horas*3600;

    if horas<10
        horas=['0',num2str(horas)];
```

```

else
    horas=num2str(horas);
end

if minutos<10
    minutos=['0',num2str(minutos)];
else
    minutos=num2str(minutos);
end

if segundos<10
    segundos=['0',num2str(segundos)];
else
    segundos=num2str(segundos);
end

if impulsion(i)==1
E_2y=[zbomba;Him+(Qim/Aimp)^2/(2*g)+zbomba;zestanques+(Qim/Aimp)^2/(2*g)]
;
    else
    E_2y=[zbomba;zestanques;zestanques];
end

subplot(4,5,[2 20])

plot(esquema_x,esquema_y,'-k',tub_1x,tub_1y,'-r',tub_2x,tub_2y,'-
r',mar_x,mar_y,'-b',sent1_x,sent1_y,'-b',E_1x,Ener,'-m',tub_3x,tub_3y,'-
r',E_2x,E_2y,'-m',sent2_x,sent2_y,'b');
    text(1,-3,' Mar ','HorizontalAlignment','center','FontSize',10)

text(1,zestanques,[horas,':',minutos,':',segundos],'HorizontalAlignment',
'left','FontSize',10)
    text(1,zestanques+2,'Tiempo de
simulación','HorizontalAlignment','left','FontSize',10)

    p1=( [Ener(2);Ener(3);Ener(4);Ener(5)]-tub_1y-
Qcaptado(i)^2/(2*g*A^2));
    pmin1(i)=min(p1);
    pmax1(i)=max(p1);

    if dir(i)==1
        text(3,12+zelementos,['Q sifón = ',num2str(roundn(1000*Qcaptado(i),-
1)), ' [l/s] \rightarrow'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
        text(3,10+zelementos,['Tubería = HDPE PN 6 DN ',num2str(DNcap), '
mm'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
        text(3,8+zelementos,['Largo = ',num2str(lmarsent), '
m'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
        text(3,6+zelementos,['Presión mínima = ',num2str(roundn(min(pmin1),-
2)), ' m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
        text(3,4+zelementos,['Presión máxima = ',num2str(roundn(max(pmax1),-
2)), ' m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
    else
        text(3,12+zelementos,['Q sifón = ',num2str(roundn(1000*Qcaptado(i),-
1)), ' [l/s] \leftarrow'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)

```

```

text(3,10+zelementos,['Tubería = HDPE PN 6 DN ',num2str(DNcap),'
mm'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
text(3,8+zelementos,['Largo =',num2str(lmarsent),'
m'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
text(3,6+zelementos,['Presión mínima =',num2str(min(pmin1)),'
m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
text(3,4+zelementos,['Presión máxima =',num2str(max(pmax1)),'
m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
end

if Qb(i)==Qcap/1000
text(6.8,zelementos+zelementos2+7.5,['Q a tratamiento =
',num2str(roundn(1000*Qb(i),-1)),' [l/s]
\rightarrow'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
else
text(6.8,zelementos+zelementos2+7.5,['Q a tratamiento =
',num2str(roundn(1000*Qb(i),-1)),' [l/s]
'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
end

if Qb(i)==Qcap/1000
text(9.9,zelementos+zelementos2+5.5,['Q producido =
',num2str(roundn(1000*Qb(i)*ef/100,-1)),' [l/s]
\rightarrow'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
else
text(9.9,zelementos+zelementos2+5.5,['Q producido =
',num2str(roundn(1000*Qb(i)*ef/100,-1)),' [l/s]
'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
end

if impulsion(i)==1
p2=(E_2y(2)-zbomba-(Qim/Aimp)^2/(2*g));
text(15,Hgeo-6+zelementos+zelementos2,['Q elevación =
',num2str(roundn(Qim*1000,-1)),' [l/s]
\rightarrow'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
text(15,Hgeo-8+zelementos+zelementos2,['Tubería = HDPE PN 6 DN
',num2str(DNimp),' mm'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
text(15,Hgeo-10+zelementos+zelementos2,['Largo =',num2str(lsentest),'
m'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
text(15,Hgeo-12+zelementos+zelementos2,['Altura geométrica
=',num2str(Hgeo),' m'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
text(15,Hgeo-14+zelementos+zelementos2,['Altura dinámica
=',num2str(roundn(Hgeo+10.679*(Qim/150)^1.852*lsentest/dimp^4.87,-1)),'
m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
text(11.2,Hgeo/2+zelementos+zelementos2,['Energía Total
=',num2str(roundn(E_2y(2),-1)),'
m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8,'Rotation',90)
text(11.5,Hgeo/2+zelementos+zelementos2,['z =',num2str(zbomba),'
m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8,'Rotation',90)
text(11.8,Hgeo/2+zelementos+zelementos2,['v^2/(2g)
=',num2str(roundn((Qim/Aimp)^2/(2*g),-1)),'
m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8,'Rotation',90)
text(12.1,Hgeo/2+zelementos+zelementos2,['p/\gamma
=',num2str(roundn(p2,-1)),'
m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8,'Rotation',90)

```

```

else
    p2=(E_2y(2)-zbomba-(0)^(2/(2*g)));
    text(15,Hgeo-6+zelementos+zelementos2,['Q elevación =
',num2str(roundn(0*1000,-1)),' [l/s]
\rightarrow'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
    text(15,Hgeo-8+zelementos+zelementos2,['Tubería = HDPE PN 6 DN
',num2str(DNimp),' mm'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
    text(15,Hgeo-10+zelementos+zelementos2,['Largo =',num2str(1sentest),'
m'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
    text(15,Hgeo-12+zelementos+zelementos2,['Altura geométrica
=',num2str(Hgeo),' m'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
    text(15,Hgeo-14+zelementos+zelementos2,['Altura dinámica
=',num2str(roundn(Hgeo+10.679*(0/150)^1.852*1sentest/dimp^4.87,-1)),'
m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
    text(11.2,Hgeo/2+zelementos+zelementos2,['Energía Total
=',num2str(roundn(E_2y(2),-1)),'
m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8,'Rotation',90)
    text(11.5,Hgeo/2+zelementos+zelementos2,['z =',num2str(zbomba),'
m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8,'Rotation',90)
    text(11.8,Hgeo/2+zelementos+zelementos2,['v^2/(2g)
=',num2str((0)^(2/(2*g))),'
m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8,'Rotation',90)
    text(12.1,Hgeo/2+zelementos+zelementos2,['p/\gamma
=',num2str(roundn(p2,-1)),'
m.c.a.'],'HorizontalAlignment','center','FontSize',8,'Rotation',90)
end

set(gca,'XTickLabel',[])
ylabel('Altura [m.c.a.]')
xlabel('El dibujo no está a escala en el eje x')

text(5,zelementos-Hsent1-
3,str1,'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
text(7.25,zelementos+zelementos2-
3,str2,'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
text(9.625,zelementos+zelementos2-
5,str3,'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
text(18.7,zestanques-
8,str4,'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)
text(12,zelementos+zelementos2-
4,str5,'HorizontalAlignment','center','FontSize',8)

rectangle('Position',[7,zelementos+zelementos2,0.5,4],'FaceColor','r')

rectangle('Position',[9,zelementos+zelementos2,1.25,4],'FaceColor','r')

rectangle('Position',[11,zelementos+zelementos2,2,3],'FaceColor','none')
rectangle('Position',[18,zestanques-3,1.5,3],'FaceColor','b')

x2plot=xplot(1:i)/3600*dt;
Qc1=Qcaptado(1:i)*1000;
Qb2=Qb(1:i);
Qb3=impulsion(1:i)*Qim;
xlim([0 20])
ylim([-10 zestanques+5])

```

```
subplot(4,5,1)
plot2zmar=plotzmar(1:i);
plot(x2plot,plot2zmar)
hold on
plot2zsent=plotzsent(1:i);
plot(x2plot,plot2zsent,'r')
title('Sentina 1 y Mar');
ylabel('Nivel [m]')
xlim([0 n/3600*dt+1])
ylim([zelementos-Hsent1 zelementos])
xlabel('Tiempo (horas)')

subplot(4,5,6)
plot(x2plot,Qb2*1000)
title('Captación');
xlim([0 n/3600*dt+1])
ylim([0 Qcap+5])
xlabel('Tiempo (horas)')
ylabel('Caudal [L/s]')

subplot(4,5,11)
plot2zsent2=plotzsent2(1:i);
plot(x2plot,plot2zsent2)
ylabel('Nivel [m]')
title('Sentina 2');
xlim([0 n/3600*dt+1])
ylim([zelementos+zelementos2 zelementos+zelementos2+Hsent2])
xlabel('Tiempo (horas)')

subplot(4,5,16)
plot(x2plot,Qb3*1000)
title('Impulsión');
xlim([0 n/3600*dt+1])
ylim([0 Qim*1000+5])
xlabel('Tiempo (horas)')
ylabel('Caudal [L/s]')

drawnow
pause(0.05)
end
```