



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

Departamento de Obras Civiles

**EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA,
CONTRACTUAL Y SOCIAL DE UNA RED DE
RESPALDO ENTRE PLANTAS DESALADORAS
PARA GARANTIZAR EL SUMINISTRO CONTINUO
DE AGUA POTABLE PARA LAS LOCALIDADES
DE TOCOPILLA, ANTOFAGASTA, MEJILLONES Y
CALDERA, ABASTECIDAS POR AGUA DE MAR**

Memoria de Título presentada por

Simón Paulo Agüero Caneo

como requisito parcial para optar al título de la carrera de

Ingeniería Civil

Profesor Guía
Alberto Kresse Zamorano

Profesor Correferente
Alvaro Ossandón Álvarez

Marzo de 2026



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

TÍTULO DE LA MEMORIA:

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA, CONTRACTUAL Y SOCIAL DE UNA RED DE RESPALDO ENTRE PLANTAS DESALADORAS PARA GARANTIZAR EL SUMINISTRO CONTINUO DE AGUA POTABLE PARA LAS LOCALIDADES DE TOCOPILLA, ANTOFAGASTA, MEJILLONES Y CALDERA, ABASTECIDAS POR AGUA DE MAR

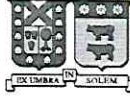
AUTOR:

SIMÓN PAULO AGÜERO CANEO

TRABAJO DE MEMORIA, presentado como requisito parcial para optar al título de la carrera de INGENIERIA CIVIL de la Universidad Técnica Federico Santa María.

	<u>Nombre</u>	<u>Firma</u>
Prof. Guía
Miembro 1 Comisión
Miembro 2 Comisión

Santiago, Chile, Marzo de 2026



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Evaluación de la viabilidad técnica, contractual y social de una red de respaldo entre plantas desaladoras para garantizar el suministro continuo de agua potable para las localidades de Tocopilla, Antofagasta, Mejillones y Caldera, abastecidas por agua de mar.

Nombre del candidato(a): Simón Paulo Agüero Caneo.

Carrera / Grado: Ingeniería Civil.

Campus: San Joaquín

Departamento: Obras Civiles.

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, ALBERTO KRESSE ZALORANO, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.


El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):


6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):


4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 01/04/2026 Firma: 

Fecha: 09/04/2026 Firma: 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 31-03-2026 Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICA, CONTRACTUAL Y SOCIAL DE UNA RED DE RESPALDO ENTRE PLANTAS DESALADORAS PARA GARANTIZAR EL SUMINISTRO CONTINUO DE AGUA POTABLE PARA LAS LOCALIDADES DE TOCOPILLA, ANTOFAGASTA, MEJILLONES Y CALDERA, ABASTECIDAS POR AGUA DE MAR

Simón Agüero, Alberto Kresse, Álvaro Ossandón

Universidad Técnica Federico Santa María

1 Introducción

En las últimas décadas, el norte de Chile ha desarrollado una infraestructura hídrica orientada principalmente a la incorporación de fuentes no convencionales de agua, en particular mediante la implementación de plantas desaladoras de agua de mar (PDAM), como respuesta a las limitaciones de disponibilidad hídrica propias de esta zona y al crecimiento sostenido de la demanda urbana e industrial. Según la Asociación Chilena de Desalación y Reúso, en 2025 operaban en Chile alrededor de 32 sistemas de desalación con capacidad superior a 20 [L/s], distribuidas en ocho regiones, alcanzando una producción conjunta superior a 1.200.000 [m³/día]. A ello se suman más de 65 proyectos en etapa de ingeniería o construcción, que podrían agregar una capacidad de producción de más de 4.100.000 [m³/día] (ACADES, 2025).

Alrededor del 75% de la capacidad instalada de las PDAM se concentra en las regiones de Antofagasta y Atacama, donde se ubican 21 plantas de uso industrial (principalmente minero) y 3 de uso sanitario. Estas últimas corresponden a la Planta Desaladora de Tocopilla, que abastece a esta localidad con una producción de 75 [L/s]; la Planta Desalinizadora de Agua de Mar de Atacama, que suministra agua a Caldera, Chañaral, Copiapó y Tierra Amarilla con una producción de 450 [L/s]; y la Planta Desaladora Norte, que abastece al eje Antofagasta–Mejillones con una producción de 1.050 [L/s]. En conjunto benefician a más de 450.000 personas (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2024), lo que implica que una parte importante de la población del norte depende de manera directa del agua desalada para sus necesidades básicas.

La incorporación de estas plantas sanitarias ha representado un avance en la diversificación de los esquemas de abastecimiento de agua potable en el norte de Chile, al incorporar el agua de mar como una fuente adicional a las captaciones continentales tradicionales. No obstante, su operación sigue siendo vulnerable a diversos eventos externos y operacionales que pueden ocasionar fallas generalizadas. Entre estos se incluyen alteraciones en la calidad del agua de mar, obstrucciones en los emisarios o inmisarios submarinos producto de sedimentos o marejadas, fallas mecánicas al interior de la planta y contingencias en el suministro eléctrico, las cuales pueden obligar a detener parcial o totalmente la producción.

En este contexto, la fuerte presencia de actividad minera en la zona, con sus propias PDAM de autoconsumo, abre la posibilidad de explorar mecanismos de colaboración entre operadores sanitarios y mineros. Una eventual red de respaldo entre plantas sanitarias e industriales podría convertirse en una herramienta estratégica para reducir la vulnerabilidad de las comunidades frente a contingencias y un mecanismo para optimizar la administración del recurso hídrico.

A partir de lo anterior, el presente trabajo propone el diseño conceptual de redes de interconexión mediante conducciones que vincule infraestructura sanitaria y minera en Tocopilla, Mejillones, Antofagasta y Caldera, con el fin de compartir agua en escenarios de emergencia y fortalecer la resiliencia del suministro de agua potable. El alcance incluye la identificación de la infraestructura disponible y de los requisitos regulatorios y sanitarios aplicables, junto con el desarrollo de propuestas de ingeniería conceptual. Finalmente, se incorporan la estimación de costos y modelos de negocio que

permiten tarifcar y viabilizar esta red como un mecanismo colaborativo y sostenible de abastecimiento en situaciones crílicas.

2 Objetivos

El objetivo principal de la memoria es evaluar la viabilidad de establecer sistemas de respaldo entre plantas desaladoras destinadas a distintos usos, en las localidades de Tocopilla, Antofagasta, Mejillones y Caldera, con el fin de garantizar el suministro continuo de agua potable en situaciones de emergencia que puedan afectar la operación de las plantas de producción sanitaria.

Los objetivos específicos se presentan a continuación:

1. Analizar la infraestructura hidráulica sanitaria e industrial presente en las localidades en estudio y su potencial contribución al respaldo del suministro de agua potable ante contingencias.
2. Dimensionar obras de interconexión entre infraestructura hidráulica sanitaria e industrial.
3. Evaluar los costos asociados a las propuestas y plantear elementos contractuales para su implementación.

3 Marco teórico

3.1 Plantas Desaladoras de Agua de Mar

Las Plantas Desaladoras de Agua de Mar (PDAM) son instalaciones que tratan el agua marina, removiendo las sales y otros sólidos disueltos, con el objetivo de producir agua dulce apta para distintos usos. En el contexto del abastecimiento hídrico, estas infraestructuras constituyen a una fuente no convencional de producción de agua, cuyo desarrollo ha adquirido relevancia creciente en zonas caracterizadas por escasez de recursos hídricos continentales.

En regiones áridas, la desalación de agua de mar se ha consolidado como una opción estratégica que permite asegurar el suministro de agua, especialmente en localidades costeras donde la captación de agua superficial y subterránea es limitada. En ese sentido, las PDAM pueden operar parcialmente al margen de la variabilidad climática, consolidándose como una fuente relativamente estable en términos de volumen, aunque sujeta a condiciones operacionales específicas (Eke et al., 2020).

Desde el punto de vista general, el sistema de una PDAM se compone de la captación, pretratamiento, desalación, postratamiento y distribución hacia el punto de entrega. El proceso de desalación más utilizado corresponde a la de ósmosis inversa, basada en la aplicación de presión para separar las sales del agua mediante membranas semipermeables. En la etapa de postratamiento, el agua desalada se acondiciona de acuerdo con los requerimientos de uso final, ya sea mediante procesos de potabilización para consumo humano o mediante ajustes específicos para aplicaciones industriales. Posteriormente el agua tratada se distribuye a los sistemas sanitarios o instalaciones industriales según corresponda.

La operación de las PDAM está expuesta a una serie de factores que pueden comprometer la continuidad de su producción. Entre ellos se incluyen fallas en equipos críticos, mantenimientos programados o correctivos, interrupciones en el suministro eléctrico, variaciones en la calidad del agua de mar, como cambios en la salinidad, temperatura o turbidez. Estas condiciones pueden afectar la estabilidad del proceso y limitar la capacidad de respuesta ante situaciones de emergencia.

3.2 Marco regulatorio sanitario

El abastecimiento de agua potable en Chile se lleva a cabo mayoritariamente a través de un sistema de concesiones otorgadas a empresas sanitarias, bajo el cual la prestación del servicio se reconoce como un servicio público esencial. Este esquema define las condiciones bajo las cuales se prestan los servicios, estableciendo responsabilidades en materia de calidad, continuidad y seguridad del suministro dentro de las áreas de concesión definidas, así como un marco económico regulado para los usuarios finales.

La Ley General de Servicios Sanitarios (Decreto No. 382, 1989) constituye el principal cuerpo normativo que regula la producción y distribución de agua potable, así como la recolección y disposición de aguas servidas. En este contexto, las empresas concesionarias son responsables de asegurar la continuidad del servicio dentro de su área de concesión y de cumplir con las exigencias sanitarias y técnicas establecidas por la normativa vigente. La ley establece además que la infraestructura sanitaria debe ser diseñada, construida y operada de manera tal que permita responder adecuadamente tanto en condiciones normales de operación como frente a situaciones excepcionales.

Asimismo, el servicio sanitario concesionado se estructura sobre un sistema tarifario regulado, mediante el cual se fijan tarifas máximas que pueden ser cobradas a los usuarios finales. Estas tarifas se determinan a partir de estudios tarifarios periódicos, los cuales reconocen los costos eficientes de inversión, operación y mantenimiento asociados a la prestación del servicio, asegurando la sostenibilidad económica del sistema bajo criterios definidos por la autoridad.

El cumplimiento de las obligaciones que rigen a las empresas concesionarias es fiscalizado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), organismo responsable de supervisar la calidad del servicio, la seguridad de las instalaciones y la adecuada ejecución de los planes de desarrollo. Dichos planes constituyen instrumentos de planificación obligatorios que definen las inversiones necesarias

para garantizar la prestación del servicio en el mediano y largo plazo, incorporando criterios asociados a la expansión, confiabilidad y robustez de la infraestructura sanitaria.

Desde el punto de vista normativo, la utilización de fuentes no convencionales, como las PDAM, se encuentra permitida dentro del marco regulatorio sanitario, siempre que el agua producida cumpla con los estándares de calidad exigidos para el consumo humano. No obstante, el marco regulatorio vigente no establece de manera explícita mecanismos de interconexión o esquemas de respaldo entre sistemas sanitarios y sistemas de producción de agua destinados al autoconsumo industrial, como es el caso de las PDAM industriales. Esta diferencia regulatoria plantea desafíos desde el punto de vista institucional y contractual cuando se analiza la posibilidad de cooperación entre sistemas de distintos fines.

En este contexto, se han impulsado iniciativas orientadas a fortalecer el abastecimiento de agua para la población, entre las cuales destaca el Boletín N°11.608-09 (Cámara de Diputadas y Diputados, 2025), actualmente en discusión legislativa, que propone la incorporación de una reserva de agua destinada al consumo humano en futuros proyectos de desalación. La discusión de esta iniciativa refleja un impulso institucional hacia la resiliencia de los sistemas, reforzando la pertinencia de analizar mecanismos de respaldo y cooperación en materia de abastecimiento de agua.

3.3 Contextualización de localidades en análisis

El presente trabajo se centra en las localidades de Tocopilla, Mejillones, Antofagasta y Caldera, ubicadas en la zona norte del país, caracterizada por condiciones climáticas áridas y una limitada disponibilidad de recursos hídricos continentales. Bajo estas condiciones, el abastecimiento de agua potable se ha estructurado en torno a la evolución de los sistemas de captación y tratamiento hacia fuentes no convencionales, principalmente mediante la desalación de agua de mar.

Históricamente, estas localidades se abastecían de conducciones provenientes de fuentes de producción subterráneas lejanas. En el caso de Antofagasta y Tocopilla, el suministro de agua potable se realizaba mediante extracciones subterráneas en la zona de Calama, cuyas aguas eran transportadas hasta las respectivas ciudades a través de largas tuberías. Por su parte, la localidad de Mejillones se ha abastecido históricamente, y mantiene hasta la actualidad, mediante una aducción proveniente desde Antofagasta (Véase Figura 3.1). En tanto, Caldera recibía agua proveniente desde Copiapó, configurando igualmente un esquema de suministro basado en fuentes continentales (Véase Figura 3.2).

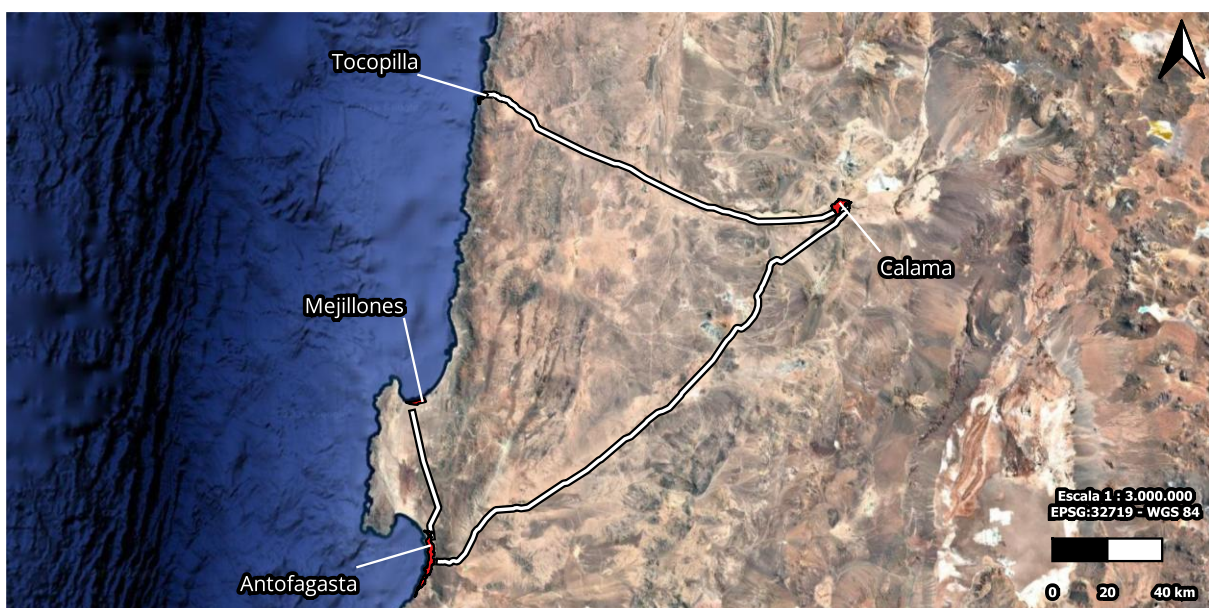


Figura 3.1. Esquemas de aducciones históricas de agua en la Región de Antofagasta

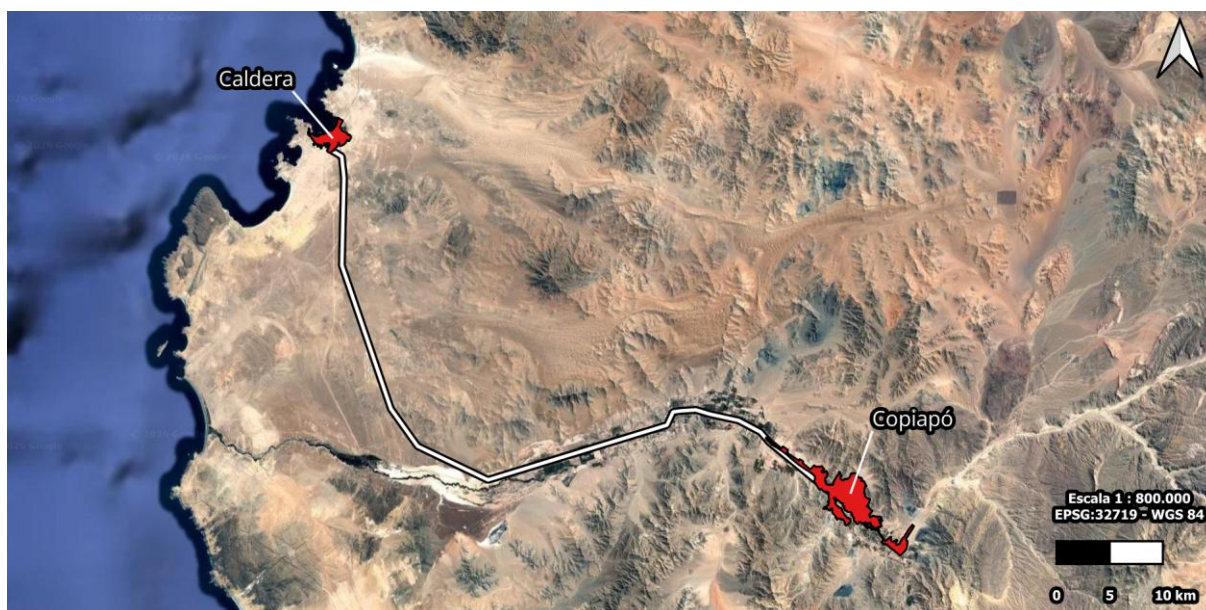


Figura 3.2. Esquemas de aducciones históricas de agua en la Región de Atacama

Con el objetivo de asegurar la continuidad y robustez del servicio de agua potable, y al mismo tiempo dar respuesta a las limitaciones de cantidad, calidad y riesgo operativo que presentaban los sistemas de aducción, estas localidades han transitado progresivamente hacia el abastecimiento mediante plantas desaladoras de agua de mar. En este marco, la Planta Desaladora de Tocopilla, inaugurada en el año 2020, abastece actualmente la totalidad de la demanda de agua potable de esta localidad. En el caso de Antofagasta, la Planta Desaladora Norte, en operación desde el año 2003, constituye hoy la principal fuente de producción de agua potable para la ciudad y, además, abastece a Mejillones a través del sistema de aducción existente. Por su parte, la Planta Desalinizadora de Agua de Mar de Atacama, puesta en operación en el año 2022, abastece a la localidad de Caldera, además de otras ciudades en la región, como Chañaral, Copiapó y Tierra Amarilla.

Desde el punto de vista institucional, el servicio de agua potable en estas ciudades se encuentra concesionado a empresas sanitarias privadas. Aguas Antofagasta S.A. es responsable de la producción y distribución de agua potable en Tocopilla, Mejillones y Antofagasta, mientras que Nueva Atacama S.A. cumple esta función en la localidad de Caldera. En todas estas localidades, el sistema de abastecimiento forma parte del régimen sanitario regulado, sujeto a las exigencias de continuidad, calidad y seguridad establecidas por la normativa vigente.

Las localidades analizadas presentan diferencias en su población abastecida y en sus requerimientos de agua potable. La Tabla 3.1 presenta la proyección de población al año 2026, mientras que la Tabla 3.2 presenta los caudales de demanda actuales de agua potable, ambos antecedentes obtenidos a partir de los planes de desarrollo vigentes de las respectivas empresas concesionarias.

Tabla 3.1. Población proyectada

Localidad	Empresa concesionaria	Población proyectada año 2026 [Hab]
Tocopilla	Aguas Antofagasta S.A.	25.920
Mejillones	Aguas Antofagasta S.A.	16.392
Antofagasta	Aguas Antofagasta S.A.	417.881
Caldera	Nueva Atacama S.A.	25.872

Fuente: Elaboración propia a partir de planes de desarrollo vigentes de Aguas Antofagasta S.A. (2024a; 2024b; 2024c) y Nueva Atacama S.A. (2023).

Tabla 3.2. Demanda agua potable 2026

Localidad	Consumo		Producción	
	Caudal medio [L/s]	Caudal máximo diario [L/s]	Caudal medio [L/s]	Caudal máximo diario [L/s]
Tocopilla	50,3	59,8	81,9	97,4
Mejillones	34,0	43,6	43,2	55,4
Antofagasta	935,6	1.091,8	1.340,1	1.565,0
Caldera	57,7	79,4	97,4	134,0

Fuente: Elaboración propia a partir de planes de desarrollo vigentes de Aguas Antofagasta S.A. (2024a; 2024b; 2024c) y Nueva Atacama S.A. (2023).

3.4 Referencias internacionales

La interconexión de infraestructura hídrica constituye una estrategia aplicada en diversos países para fortalecer la seguridad del abastecimiento de agua potable, especialmente en territorios con baja disponibilidad de recursos continentales y alta concentración de demanda. Estos esquemas internacionales se caracterizan por integrar múltiples fuentes de producción y redes de transporte a gran escala, configurando sistemas con capacidad de respaldo y redundancia operativa. De este modo, se evita la dependencia exclusiva de una única fuente y se asegura la continuidad del servicio frente a contingencias.

Entre las experiencias internacionales, destaca el caso de Israel, donde el National Water Carrier constituye una infraestructura de conducción de aproximadamente 130 [km], puesta en operación en 1964, que integra canales, tuberías, túneles, reservorios y estaciones de bombeo para trasladar agua desde el Mar de Galilea hacia regiones centrales y meridionales. Con una capacidad de transporte de 1,7 millones de [m³/día], su uso original era predominantemente agrícola, pero debido al aumento de la población, la mayor parte del caudal se destina actualmente al abastecimiento humano (Center for Israel Education, s.f.).

Otro caso relevante corresponde al Integrated Water Supply Scheme (IWSS) en Australia Occidental, que abastece a la ciudad de Perth, la región de Peel y áreas cercanas mediante la integración de embalses, aguas subterráneas, plantas de desalinización y proyectos de recarga de acuíferos, todos conectados por sistemas de aducción y distribución. Este esquema beneficia a más de 2 millones de habitantes, constituyendo un sistema integrado de abastecimiento (Water Corporation, s.f.).

Asimismo, en Marruecos la planificación hídrica considera el National Program for Drinking Water Supply and Irrigation 2020-2027, el cual forma parte del National Water Plan y orienta el desarrollo de inversiones en infraestructura para fortalecer el abastecimiento de agua. En este marco, se impulsan proyectos como plantas desaladoras y sistemas de transferencia de agua entre regiones, con el objetivo de mejorar la disponibilidad del recurso frente a la escasez (U.S. Department of Commerce, 2025).

4 Metodología

La metodología propuesta se estructura en función de los objetivos específicos, abordando los aspectos técnicos, contractuales y económicos que permitan evaluar la viabilidad de la red de respaldo entre plantas desaladoras. El análisis se desarrollará para cada localidad en estudio, con el fin de considerar las particularidades de su infraestructura sanitaria y contexto.

Las etapas metodológicas se definen a continuación y se esquematizan en la Figura 4.1.

- **Análisis de antecedentes y definición de interconexiones potenciales:** Se recopila y analiza la información disponible sobre la infraestructura hidráulica sanitaria e industrial relevante de cada localidad que puedan contribuir a esquemas de respaldo. Asimismo, se revisan antecedentes de eventos de contingencia que hayan afectado la producción de agua potable en las plantas sanitarias. A partir de estos antecedentes, se establecen criterios de interconexión y supuestos de operación, proponiendo posteriormente trazados preliminares de interconexiones bidireccionales entre infraestructuras sanitarias e industriales.
- **Dimensionamiento conceptual de las obras de interconexión:** Se desarrollan ingenierías conceptuales de las obras de interconexión a partir de los trazados propuestos para cada localidad, considerando criterios de diseño previamente definidos. Finalmente, se estiman los costos de inversión asociados a las obras proyectadas.
- **Evaluación económica de las alternativas:** Se establecen supuestos y parámetros económicos para la estimación de costos de operación. Sobre esta base se realiza la evaluación económica de las alternativas, considerando costos de inversión y operación, así como el efecto de su implementación sobre las tarifas de agua potable de los usuarios de las empresas sanitarias.
- **Análisis de resultados y marco contractual:** Se analizan los resultados obtenidos a partir de la evaluación económica, identificando los factores que influyen en la viabilidad de los esquemas de respaldo en cada localidad. Además, se plantean las consideraciones para la formulación de un marco contractual que permita viabilizar este tipo de propuestas, identificando los principales elementos que debiesen contemplarse en eventuales acuerdos entre las partes.

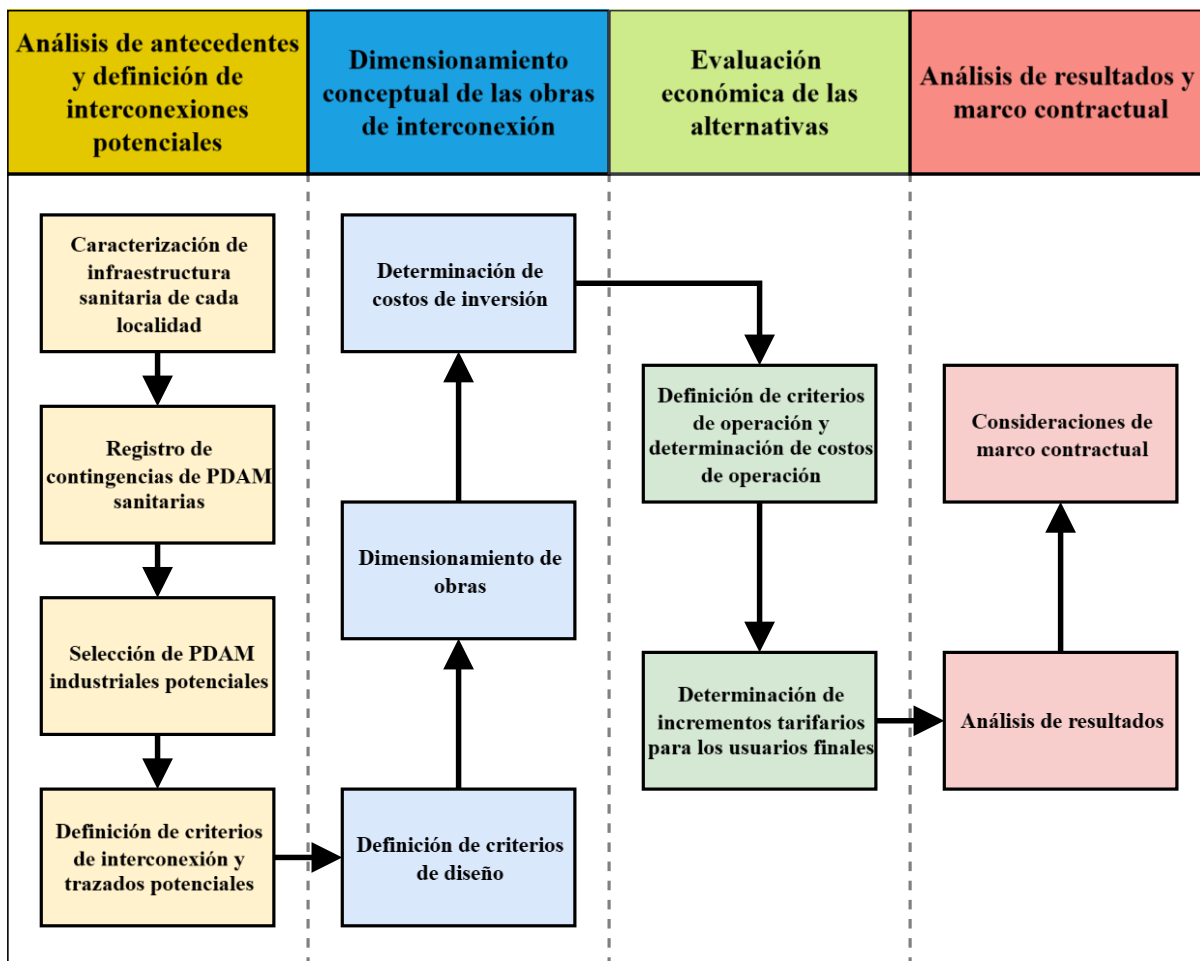


Figura 4.1. Esquema de metodología propuesta

5 Análisis de antecedentes y definición de interconexiones potenciales

5.1 Infraestructura sanitaria de las localidades

El abastecimiento de agua potable de las localidades de Tocopilla, Mejillones, Antofagasta y Caldera se sustenta principalmente en la producción de agua potable proveniente de plantas desaladoras sanitarias, con configuraciones de distribución que varía según la infraestructura local. En la Tabla 5.1 se presenta los principales componentes sanitarios de cada localidad.

Tabla 5.1. Proyección demanda agua potable

Localidad	Planta desaladora sanitaria	Caudal de producción [L/s]	Cantidad de estanques de distribución	Principales estanques de distribución
Tocopilla	Planta Desaladora Tocopilla (Aguas Antofagasta S.A.)	75	5	Estanques Esmeralda (1 y 2)
Mejillones			2	Estanque fiscal
Antofagasta	Planta Desaladora Norte (Aguas Antofagasta S.A.)	1.676	25 (+1 de producción)	Estanques La Chimba (1, 2 y 3) Estanques Bonilla (1, 2 y 3) Estanques El Ancla (1 y 2) Estanques Caracoles (1 y 2)
Caldera	Planta Desaladora de Agua de Mar de Atacama (Nueva Atacama S.A.)	450	3	Estanque Elevado Estanque Antiguo

Fuente: Elaboración propia a partir de planes de desarrollo vigentes de Aguas Antofagasta S.A. (2024a; 2024b; 2024c) y Nueva Atacama S.A. (2023).



Figura 5.1. Planta Desaladora Tocopilla

Fuente: Reporte Minero (2023)



Figura 5.2. Planta Desaladora Norte

Fuente: definicionfm.cl (2023)



Figura 5.3. Planta Desaladora de Agua de Mar de Atacama

Fuente: El Zorro Nortino (2022)

La localidad de Tocopilla se abastece principalmente de la Planta Desaladora Tocopilla (Figura 5.1), operada por Aguas Antofagasta S.A. Existe además una antigua aducción proveniente desde la ciudad de Calama, actualmente sin uso regular. Ambos sistemas alimentan los estanques Esmeralda 1 y Esmeralda 2, que constituyen los principales puntos de distribución de agua potable de la localidad (Figura 5.4).



Figura 5.4. Ubicación de las instalaciones sanitarias principales de Tocopilla

En Antofagasta, el abastecimiento de agua potable proviene íntegramente de la Planta Desaladora Norte (Figura 5.2), operada por Aguas Antofagasta S.A. Esta planta distribuye agua a 3 sistemas de estanques ubicados en distintos sectores de la ciudad, siendo estos los estanques La Chimba (1, 2 y 3), Bonilla (1, 2 y 3) y El Ancla (1 y 2). Adicionalmente, los estanques Caracoles (1 y 2), ubicados en la parte alta de la ciudad y conectados hidráulicamente con los demás estanques, mantienen una conexión con Calama mediante una aducción en desuso (Figura 5.5).

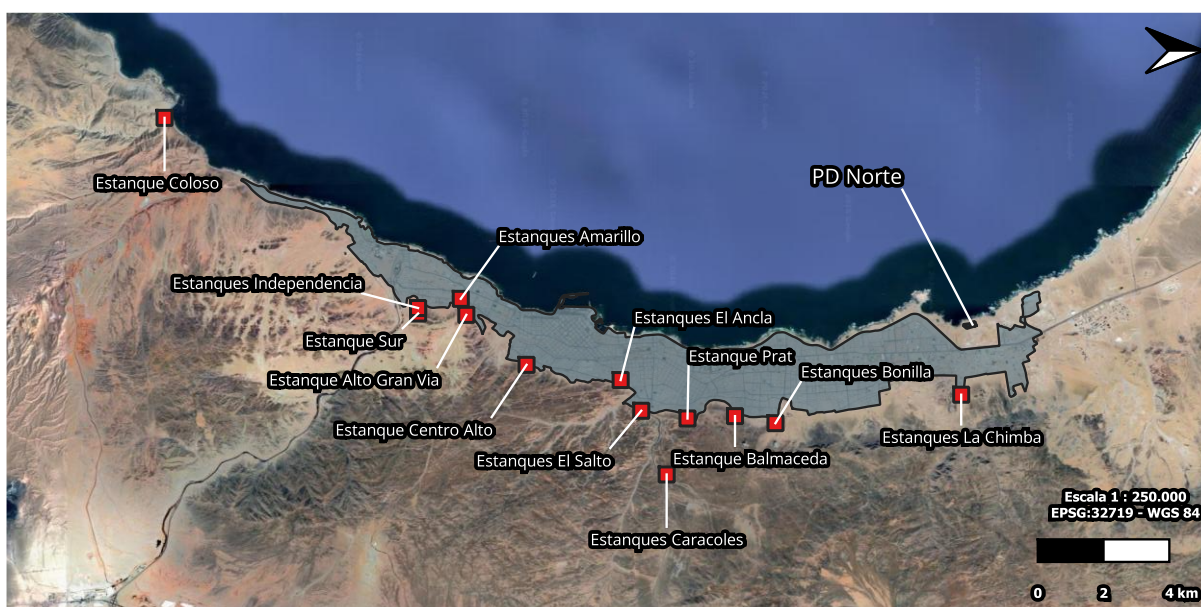


Figura 5.5. Ubicación de las instalaciones sanitarias principales de Antofagasta

En el caso de Mejillones, la localidad no cuenta con una planta desaladora sanitaria propia, si no que se abastece de manera indirecta desde la Planta Desaladora Norte mediante una aducción que conecta los estanques La Chimba con el estanque Fiscal, principal estanque de distribución de Mejillones (Figura 5.6).



Figura 5.6. Ubicación de las instalaciones sanitarias principales de Mejillones

Caldera recibe agua potable desde la Planta Desaladora de Agua de Mar de Atacama (Figura 5.3), operada por Nueva Atacama S.A. Esta distribuye aguas hacia el estanque Elevado y el estanque Antigo, ubicados en las afueras de la localidad (Figura 5.7).

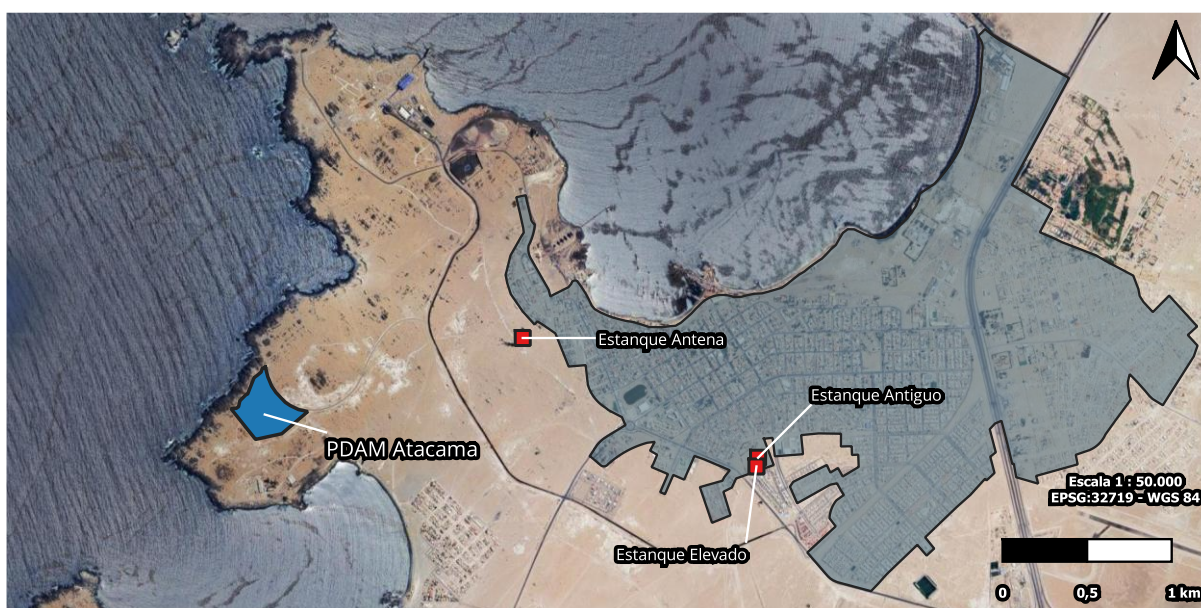


Figura 5.7. Ubicación de las instalaciones sanitarias principales de Caldera

5.2 Eventos de contingencia de las plantas desaladoras sanitarias

Se han registrado interrupciones operacionales en las plantas desaladoras sanitarias en análisis, las cuales han afectado la producción de agua potable, y en algunos casos, la continuidad del suministro. Estas interrupciones se han debido principalmente a fallas eléctricas, mantenciones mayores o contingencias en el proceso productivo. La Tabla 5.2 presenta los principales eventos registrados en las instalaciones de análisis.

Tabla 5.2. Registro de fallas en plantas desaladoras sanitarias

Planta desaladora sanitaria	Inicio operaciones	Eventos registrados	Descripción evento
Planta Desaladora Tocopilla	2020	<i>No se han presentado eventos</i>	
Planta Desaladora Norte	2003	Marzo de 2011	Falla en la producción
		Junio de 2017	Falla eléctrica en la producción
		Diciembre de 2023	Falla eléctrica
		Mayo de 2025	Falla en la producción
Planta Desalinizadora de Agua de Mar de Atacama	2022	<i>No se han presentado eventos</i>	

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada en medios públicos y reportes de prensa.

Hasta la fecha, la Planta Desaladora Norte es la única instalación sanitaria de las localidades en análisis que ha registrado contingencias operacionales de gran magnitud, acumulando cuatro incidentes entre los años 2011 y 2025. Estos eventos han estado asociados principalmente a fallas eléctricas y contingencias en el proceso productivo, lo que derivó en interrupciones significativas de suministro. Entre los antecedentes más relevantes se encuentra el corte masivo en el suministro de agua potable de 2023, originado por fallas internas en la planta y que afectó a gran parte de la ciudad de Antofagasta (BioBioChile, 2023). Asimismo, en mayo de 2025 se produjo una nueva interrupción en la producción, ocurrida tras trabajos de mantención, afectando a miles de clientes (24horas, 2025).

5.3 Selección de PDAM industriales de respaldo

Para la selección de las plantas desaladoras de uso industrial (PDAM), se priorizan aquellas ubicadas en las cercanías de cada localidad analizada y que disponen de información técnica suficiente para su evaluación. En los casos en que no se identifican plantas en las proximidades, o cuando la información disponible es insuficiente, se selecciona la planta desaladora industrial geográficamente más cercana.

Bajo estos criterios, las localidades analizadas cuentan con la presencia de una o más plantas desaladoras de uso industrial que pueden ser evaluadas como fuentes potenciales de respaldo en escenarios de emergencia. La Tabla 5.3 presenta la caracterización general de las plantas seleccionadas, mientras que las Figuras 5.8 a 5.11 ilustran las ubicaciones relativas de estas plantas en cada localidad.

Tabla 5.4. Plantas desaladoras de uso industrial identificadas

Localidad	Plantas desaladoras industriales	Propiedad	Caudal de producción [L/s]	Distancia a la localidad [km]
Tocopilla	Planta Desalinizadora Distrito Norte	CODELCO	840	14
Mejillones	Planta Desalinizadora Caitán SpA.	BHP	1.000	21
	Planta Desalinizadora Angamos	EE Cochrane/AES Andes	56	14
Antofagasta	Planta 0 y ampliaciones EWS y EWSE	BHP	3.858	14
Caldera	Planta Desaladora de la Minera Candelaria	Lunding Mining Corporation/Sumimoto Corporation	500	4

Fuente: Elaboración propia a partir del Catastro ACADES Plantas Desaladoras de Agua de Mar en Chile (2025).



Figura 5.8. Ubicación de las plantas desaladoras en Tocopilla



Figura 5.9. Ubicación de las plantas desaladoras en Mejillones



Figura 5.10. Ubicación de las plantas desaladoras en Antofagasta

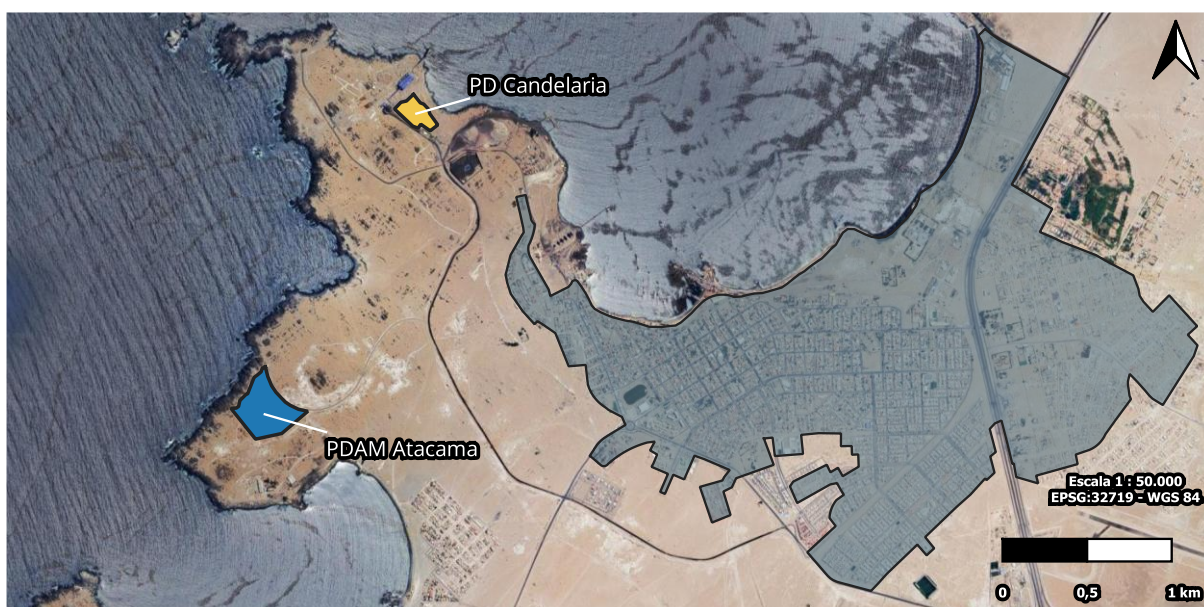


Figura 5.11. Ubicación de las plantas desaladoras en Caldera

5.4 Definición de criterios y propuestas de interconexión

Con el objetivo de establecer las bases para el diseño conceptual de esquemas de interconexión, se definen los criterios para la determinación de caudales de interconexión, los supuestos de operación y conexión de la infraestructura hidráulica, y los trazados preliminares de interconexión entre plantas desaladoras sanitarias e industriales.

5.4.1 Caudal de interconexión

Para cada localidad en estudio se define un caudal representativo de diseño asociado a escenarios de emergencia en el suministro de agua potable, el cual se establece a partir de la demanda sanitaria proyectada y de la capacidad de producción de las plantas desaladoras de uso industrial potencialmente disponibles como respaldo. Como criterio general, el caudal de interconexión se determina a partir del mínimo valor resultante entre:

- El 80 % del caudal medio de producción proyectado al año 2026 para la localidad en análisis, criterio que responde a consideraciones sanitarias y de continuidad del servicio, orientado a asegurar un nivel mínimo de abastecimiento a la población durante eventos de interrupción prolongada del suministro.
- El 20 % de la capacidad de producción de la PDAM industrial considerada, con el fin de no comprometer la operación principal de la instalación industrial y evitar impactos relevantes sobre sus procesos productivos.

De esta forma, los caudales de interconexión definidos para cada planta desaladora industrial se ilustran en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5. Caudales de interconexión de cada localidad

Localidad	Caudal medio de producción [L/s]	Plantas desaladoras industriales	Caudal de producción [L/s]	Caudal de interconexión [L/s]
Tocopilla	81,9	Planta Desalinizadora Distrito Norte	840	65,5
Mejillones	43,2	Planta Desalinizadora Caitán SpA.	1.000	34,6
		Planta Desalinizadora Angamos	56	11,2
Antofagasta	1.340,1	Planta 0 y ampliaciones EWS y EWSE	3.858	771,6
Caldera	97,4	Planta Desaladora de la Minera Candelaria	500	77,9

Fuente: Elaboración propia a partir del Catastro ACADES Plantas Desaladoras de Agua de Mar en Chile (2025).

5.4.2 Supuestos de operación y conexión entre infraestructura hidráulica

Para efectos del análisis, se asume que, en escenarios de emergencia, las plantas desaladoras sanitarias presentan una indisponibilidad total o parcial de su capacidad de producción de agua. No obstante, se considera que sus sistemas de impulsión y conducción se encuentran operativos, permitiendo su utilización para el transporte de agua hacia otros puntos.

Bajo este supuesto, se definen posibles conducciones bidireccionales entre infraestructuras de la zona, considerando tanto conexiones entre plantas desaladoras y estanques de distribución, como interconexiones directas entre plantas. En el caso de las conexiones hacia estanques de distribución, se asume que dichas infraestructuras disponen de mecanismos de clorificación y fluorización, lo que permite asegurar el acondicionamiento sanitario del agua.

Los trazados se definen priorizando trayectos directos, preferentemente a través de caminos de uso público, y considerando la eventual utilización de conducciones existentes dentro del área urbana cuando estas resulten técnica y operativamente compatibles.

5.4.3 Trazados propuestos por localidad

Tocopilla

En Tocopilla se plantean dos posibles trazados de interconexión, desarrollados a partir de la ubicación de las principales instalaciones hidráulicas de la zona. Para aquello, se considera a los estanques Esmeralda como los estanques principales del sistema de abastecimiento de agua potable, al constituir el principal punto de almacenamiento y distribución desde el cual se abastecen a los demás estanques de la ciudad.

El trazado 1001, corresponde a la conducción proyectada desde la Planta Desaladora Distrito Norte hasta los estanques Esmeralda, siguiendo el borde costero hasta Tocopilla y luego atravesando la ciudad. Comprende una longitud total de 15.560 [m] y una diferencia altimétrica de 80 [m].

Por otra parte, el trazado 1002 se plantea como una alternativa reducida respecto del trazado 1001, ya que incorpora la utilización de la conducción existente entre el estanque Sur 1 y los estanques Esmeralda. De este modo, se reduce la longitud de impulsión y evita el cruce urbano en gran parte de la ciudad. El trazado conecta la Planta Desaladora Distrito Norte y el estanque Sur 1, con una longitud aproximada de 13.500 [m] con un desnivel topográfico de 40 [m]. Posteriormente se considera una impulsión complementaria desde el estanque Sur 1 hacia los estanques Esmeralda, empleando la conducción existente y alzando un desnivel de 45 [m].

La Figura 5.12 ilustra los trazados 1001 y 1002 propuestos para conectar la Planta Desaladora Distrito Norte con los estanques Esmeralda, considerando tanto el recorrido costero como la infraestructura existente.



Figura 5.12. Emplazamiento de trazados 1001 y 1002 en Tocopilla.

Mejillones

Para la localidad de Mejillones se definen dos potenciales trazados, cada uno asociado a las plantas desaladoras industriales existentes en la zona. Ambos trazados tienen como punto de destino común el estanque Fiscal, considerado la principal instalación de almacenamiento y distribución de agua del sector.

El trazado 2001 inicia en la Planta Desalinizadora Caitán SpA. y sigue el recorrido de los principales caminos hasta el estanque Fiscal, con una longitud de 23.290 [m] y un desnivel topográfico casi nulo entre el inicio y fin. Por su parte, el trazado 2002 tiene como punto de origen la Planta Desaladora Angamos, alcanzando igualmente el estanque Fiscal, pero mediante un recorrido más corto de 16.260 [m] y un desnivel topográfico de 10 [m].

En la Figura 5.13 se presentan los trazados 2001 y 2002 hacia el estanque Fiscal, desde las plantas desaladoras Caitán SpA. y Angamos, respectivamente.



Figura 5.13. Emplazamiento de trazados 2001 y 2002 en Mejillones

Antofagasta

Para la ciudad de Antofagasta se consideran los estanques Caracoles como el punto principal de regulación y distribución del sistema de agua potable. En torno a ello, se propone el trazado 3001, el cual conecta la Planta 0 y ampliaciones EWS/EWSE con los estanques Caracoles. El trazado se desarrolla principalmente por el borde costero en dirección norte hasta Antofagasta, continuando posteriormente por el eje urbano y cruzando la quebrada La Negra. El recorrido considera el paso en las cercanías de los estanques Amarillo, Alto Gran Vía, Centro Alto, El Ancla y El Salto, hasta alcanzar los estanques Caracoles. La longitud total aproximada del trazado es de 23.400 [m] y contempla una diferencia altimétrica de 340 [m].

La Figura 5.14 muestra el trazado 3001, que conecta la Planta 0 y ampliaciones EWS/EWSE y los estanques Caracoles.



Figura 5.14. Emplazamiento del trazado 3001 en Antofagasta

Caldera

En Caldera se plantea el trazado 4001 que recorre desde la Planta Desaladora de la Minera Candelaria hasta la PDAM de Atacama. Se considera la interconexión entre plantas dada la cercanía entre ambas y aprovechando el sistema de impulsión que contempla la PDAM de Atacama hacia la ciudad. El total del trazado alcanza aproximadamente los 2.840 [m] y un desnivel topográfico leve.

La Figura 5.15 presenta el trazado 4001 entre la Planta Desaladora de la Minera Candelaria y la PDAM de Atacama.



Figura 5.15. Emplazamiento del trazado 4001 en Caldera

6 Dimensionamiento conceptual de las obras de interconexión

A continuación, se desarrolla la ingeniería conceptual de las alternativas de interconexión, incorporando los criterios de diseño, la presentación de las obras propuestas y la estimación de sus costos de inversión.

6.1 Criterios de diseño

El dimensionamiento hidráulico de las conducciones se desarrolla a nivel de ingeniería conceptual, a partir de los principios del flujo a presión en conducciones cerradas y considerando la bidireccionalidad del sistema de interconexión. Para este efecto, se adoptan criterios que permiten evaluar el comportamiento hidráulico y estructural de las conducciones tanto en régimen permanente como bajo condiciones de régimen transitorio.

Los criterios y supuestos considerados para el dimensionamiento son los siguientes:

- Velocidad de operación: Se considera una velocidad de diseño en torno a $1,0 [m/s]$, con posibilidad de funcionamiento por debajo o por encima de este valor hasta un aproximado de $2,0 [m/s]$, según diámetros disponibles.
- Material de conducción: Se adopta el acero como material de referencia para las conducciones.
- Diámetros y espesores: Se emplean diámetros y espesores de acuerdo con el código ASME B31.10 (The American Society of Mechanical Engineers, 2022).
- Pérdidas de carga: Se estima las pérdidas de carga friccionales mediante el método de Hazen-Williams, mientras que se las pérdidas de carga singulares se simplifican como un 10% de la pérdida de carga friccional.
- Coeficiente de Hazen-Williams: Para conducciones de acero se adopta un valor de 120, representativo de una tubería en estado funcional pero envejecido.
- Presión mínima: Se establece una presión mínima de $15 [mca]$ en todos los puntos del trazado, incluyendo las entradas a estaciones de impulsión intermedias, con el fin de garantizar condiciones hidráulicas seguras y cumplir con lo establecido en la Nch 691 (Instituto Nacional de Normalización, 2015).

En relación con los efectos de régimen transitorio en la conducción, se considera la presión asociada al pulso de Joukowski como condición desfavorable de diseño, representando el escenario más crítico de las solicitaciones transitorias. Bajo este criterio, la presión máxima de diseño de las conducciones se estima conforme al enfoque normativo establecido en el código ASME B31.4 (The American Society of Mechanical Engineers, 2022a), considerando la presión en régimen permanente junto a la sobrepresión inducida por el pulso de Joukowski. En función de la presión de diseño así definida, para la verificación estructural preliminar de las conducciones se consideran los siguientes parámetros generales del material:

- Módulo de elasticidad del acero: Se considera un valor referente para la tubería de acero de $210 [GPa]$.
- Esfuerzo de fluencia del material de la tubería: Se considera una tubería de grado API 5L X42, con un valor de esfuerzo de fluencia de $290 [MPa]$.
- Factor de corrección por soldadura: Se asocia un factor de corrección para soldadura de 1 para acero de grado API 5L, obtenido de la tabla 403.2.1-1 del código ASME B31.4 (2022).
- Factor de diseño: Se considera un factor de diseño de 0,72 para la operación en condiciones normales, mientras que se adopta un valor de 0,79 para situaciones asociados a efectos transitorios de sobrepresión.

Para el dimensionamiento de las estaciones de impulsión de agua potable, se consideran los siguientes criterios asociados a presiones admisibles y eficiencias:

- Presión máxima de impulsión: Se considera una altura máxima de impulsión de referencia de $200 [mca]$, acorde a valores adoptados en infraestructura sanitaria existente, admitiendo valores superiores de forma excepcional.

- Eficiencia electrohidráulica: Se adopta una eficiencia electrohidráulica del 75% para las estaciones de impulsión.

Para cada trazado se evalúa distintos diámetros comerciales que cumplen los criterios hidráulicos y estructurales previamente definidos. La selección del diámetro adoptado para cada trazado se realiza en función del cumplimiento simultáneo de condiciones hidráulicas y operativas, dentro del alcance de la ingeniería conceptual. En este contexto, el diámetro adoptado para cada alternativa corresponde a aquel que cumpla con lo siguiente:

- Se mantiene dentro o próximo al rango de velocidades de operación definido
- Cumple con las restricciones de presión mínima y presión máxima de diseño
- Minimiza el número de estaciones de impulsión requeridas en cada sentido de operación, reduciendo así las exigencias operativas

6.2 Obras propuestas

A continuación, se presenta el resumen de obras resultante del dimensionamiento conceptual, seguido de los perfiles piezométricos, representados mediante la HGL (Hydraulic Grade Line), correspondientes a las alternativas adoptadas para cada localidad.

Tocopilla

Trazado 1001

El trazado 1001 corresponde a la interconexión directa entre la Planta Desaladora Distrito Norte y los Estanques Esmeralda mediante una conducción proyectada que atraviesa el área urbana de la ciudad. La impulsión en dirección hacia los estanques se realiza desde la Estación de Impulsión 1, ubicada en la Planta Desaladora Distrito Norte. Para la operación en sentido inverso, se considera la Estación de Impulsión 2, emplazada en los Estanques Esmeralda.

Tabla 6.1. Resumen obras Trazado 1001

Componente	Parámetro	Valor
Sistema	Caudal de diseño [<i>L/s</i>]	65,5
	Velocidad de diseño [<i>m/s</i>]	1,18
Conducción	Material	Acero
	Diámetro nominal [<i>mm</i>]	250
	Longitud [<i>m</i>]	15560
Estación de impulsión 1 (Industrial-Sanitaria)	Altura de elevación [<i>m</i>]	205
	Potencia instalada [<i>kW</i>]	175,7
Estación de impulsión 2 (Sanitaria-Industrial)	Altura de elevación [<i>m</i>]	50
	Potencia instalada [<i>kW</i>]	42,9

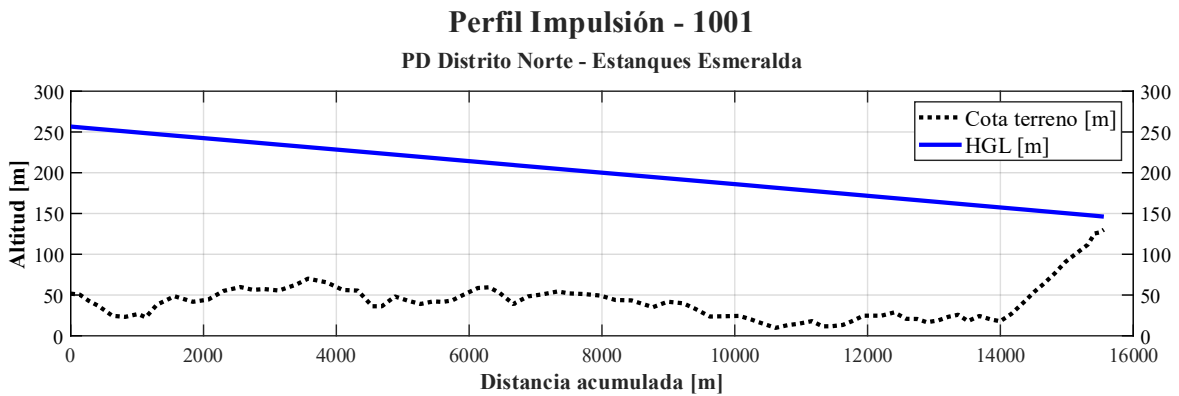


Figura 6.1. Perfil hidráulico 1001 en sentido industrial - sanitario

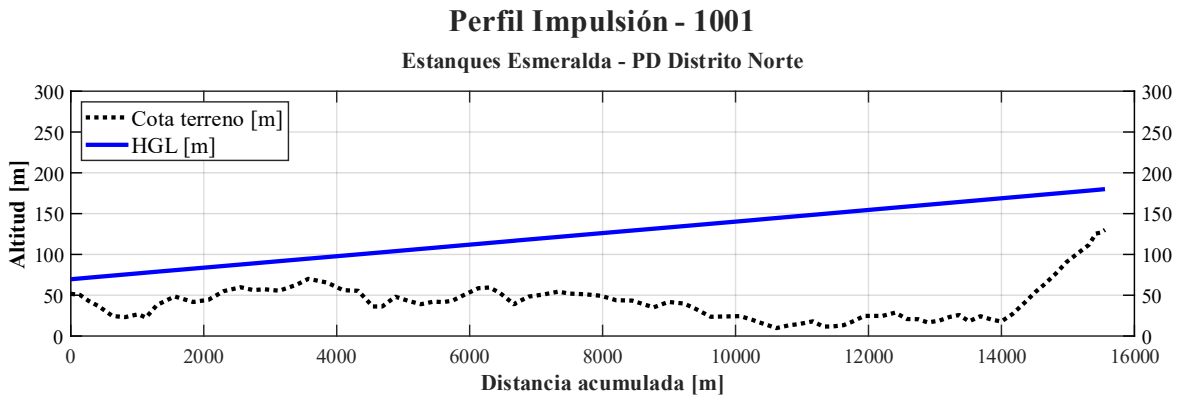


Figura 6.2. Perfil hidráulico 1001 en sentido sanitario – industrial

Trazado 1002

El trazado 1002 corresponde a la interconexión entre la Planta Desaladora Distrito Norte y los Estanques Esmeralda, la cual propone una conducción proyectada entre la planta y el Estanque Sur 1, y el uso posterior de la conducción existente entre el Estanque Sur 1 y los Estanques Esmeralda. La impulsión desde la planta hasta el Estanque Sur 1 se realiza mediante la Estación de Impulsión 1, ubicada en la planta. En el Estanque Sur 1 se incorpora la Estación de Impulsión 2 para la impulsión hacia los Estanques Esmeralda a través de la conducción existente. Para la operación en sentido inverso, se considera la Estación de Impulsión 3 ubicada en el Estanque Sur 1.

Tabla 6.2. Resumen obras Trazado 1002

Componente	Parámetro	Valor
Sistema	Caudal de diseño [L/s]	65,5
	Velocidad de diseño [m/s]	1,18
Conducción	Material	Acero
	Diámetro nominal [mm]	250
	Longitud [m]	13.500
Estación de impulsión 1 (Industrial-Sanitaria)	Altura de elevación [m]	160
	Potencia instalada [kW]	137,1
Estación de impulsión 2 (Industrial-Sanitaria a través de conducción existente)	Altura de elevación [m]	72
	Potencia instalada [kW]	61,7
Estación de impulsión 3 (Sanitaria-Industrial)	Altura de elevación [m]	80
	Potencia instalada [kW]	68,6

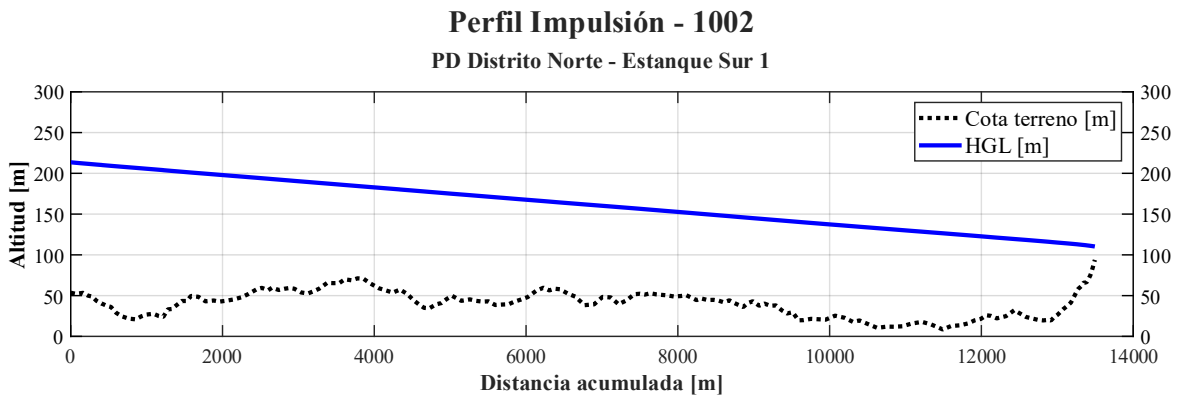


Figura 6.3. Perfil hidráulico 1002 en sentido industrial - sanitario

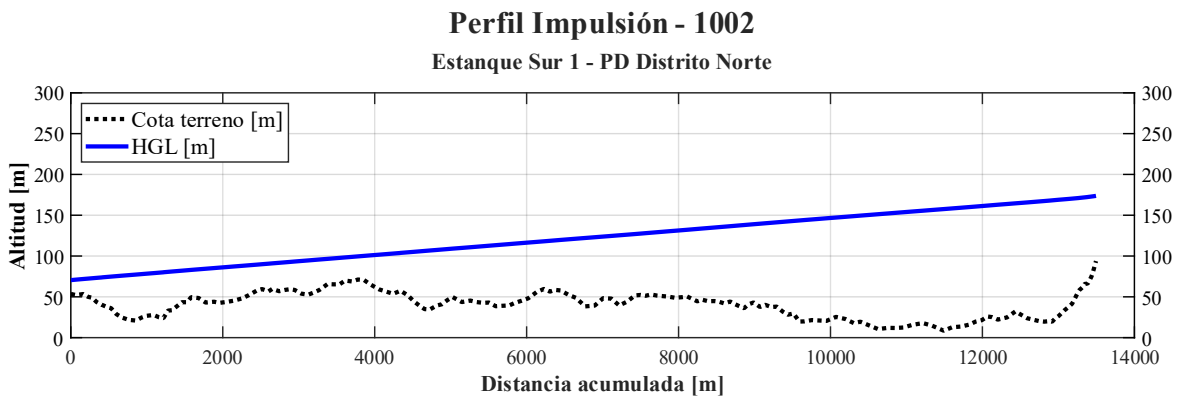


Figura 6.4. Perfil hidráulico 1002 en sentido sanitario - industrial

Mejillones

Trazado 2001

El trazado 2001 corresponde a la interconexión directa entre la Planta Desalinizadora Caitán SpA. y el Estanque Fiscal. Para la impulsión desde la planta hacia el estanque se considera la Estación de Impulsión 1 ubicada en la planta, mientras que para la operación en sentido inverso se propone la Estación de Impulsión 2 en el Estanque Fiscal.

Tabla 6.3. Resumen obras Trazado 2001

Componente	Parámetro	Valor
Sistema	Caudal de diseño [L/s]	34,6
	Velocidad de diseño [m/s]	0,96
Conducción	Material	Acero
	Diámetro nominal [mm]	200
	Longitud [m]	25.290
Estación de impulsión 1 (Industrial-Sanitaria)	Altura de elevación [m]	180
	Potencia instalada [kW]	81,4
Estación de impulsión 2 (Sanitaria-Industrial)	Altura de elevación [m]	190
	Potencia instalada [kW]	85,9

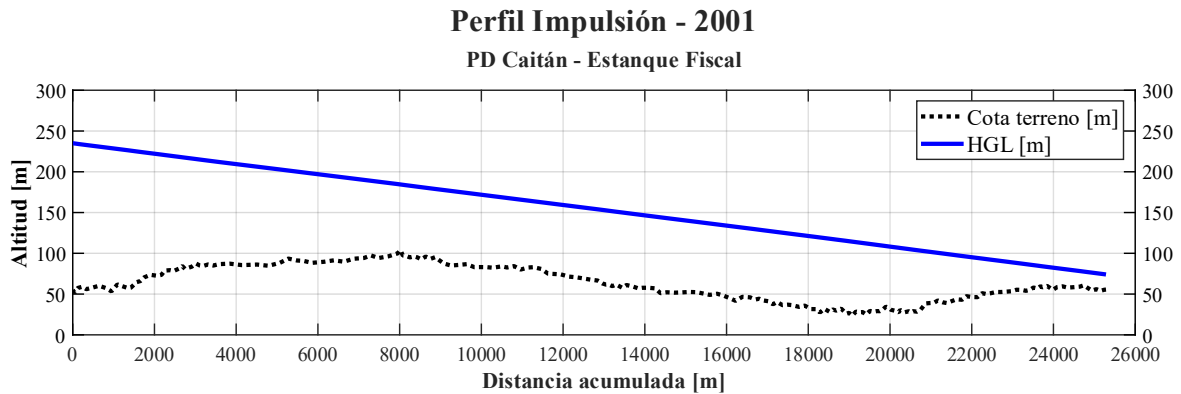


Figura 6.5. Perfil hidráulico 2001 en sentido industrial - sanitario

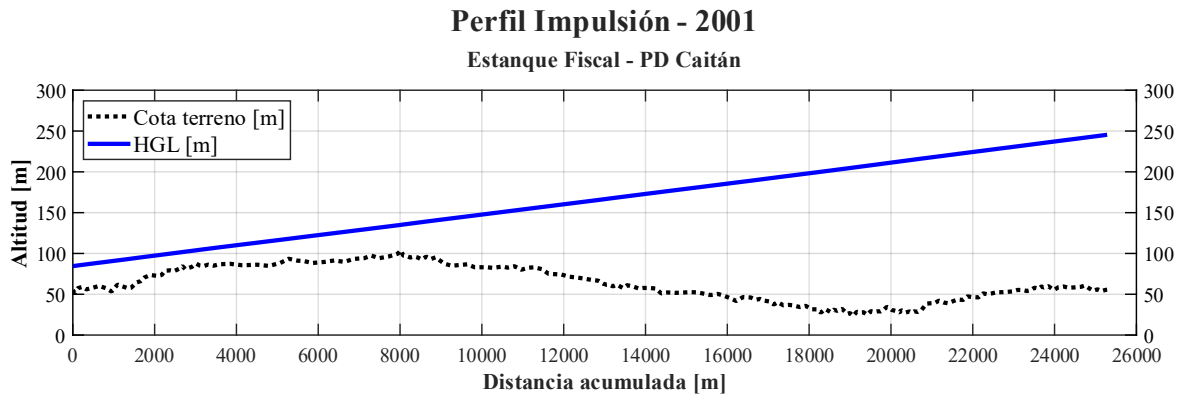


Figura 6.6. Perfil hidráulico 2001 en sentido sanitario - industrial

Trazado 2002

El trazado 2002 corresponde a la interconexión directa entre la Planta Desalinizadora Angamos y el Estanque Fiscal. La impulsión hacia el estanque se realiza mediante la Estación de Impulsión 1 ubicada en la planta, y para la dirección hacia la planta se considera la Estación de Impulsión 2 ubicada en el Estanque Fiscal.

Tabla 6.4. Resumen obras Trazado 2002

Componente	Parámetro	Valor
Sistema	Caudal de diseño [L/s]	11,2
	Velocidad de diseño [m/s]	0,76
Conducción	Material	Acero
	Diámetro nominal [mm]	125
	Longitud [m]	16.260
Estación de impulsión 1 (Industrial-Sanitaria)	Altura de elevación [m]	140
	Potencia instalada [kW]	20,5
Estación de impulsión 2 (Sanitaria-Industrial)	Altura de elevación [m]	125
	Potencia instalada [kW]	18,3

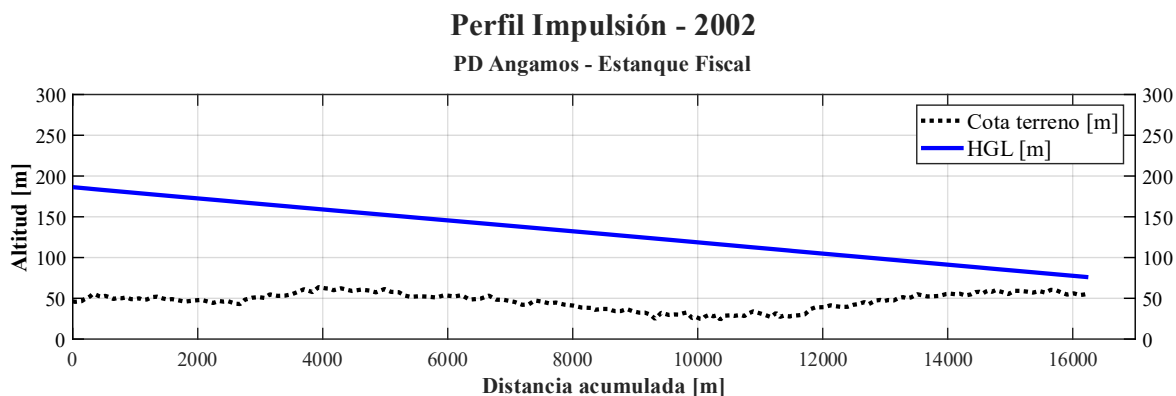


Figura 6.7. Perfil hidráulico 2002 en sentido industrial - sanitario

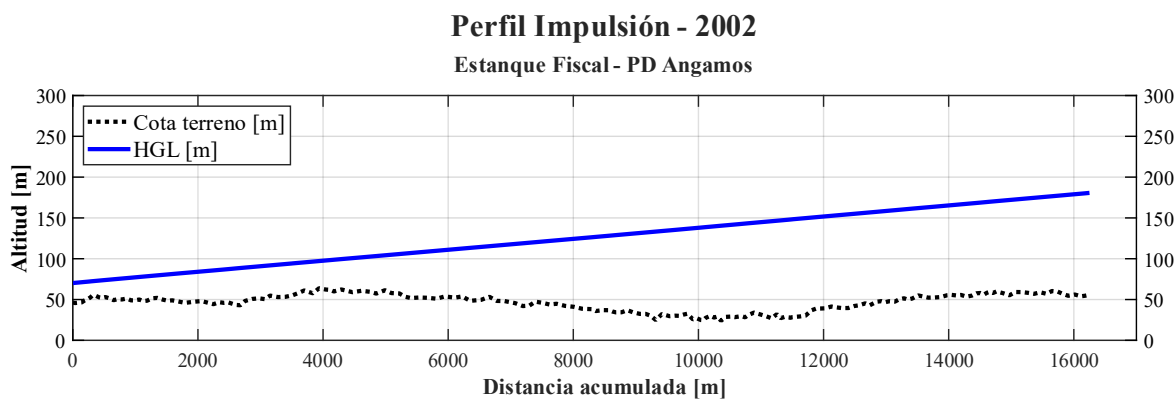


Figura 6.8. Perfil hidráulico 2002 en sentido sanitario - industrial

Antofagasta

Trazado 3001

El trazado 3001 corresponde a la interconexión directa entre la Planta 0, incluyendo sus ampliaciones EWS/EWSE, y los Estanques Caracoles mediante una conducción proyectada en el área urbana. Para la impulsión desde la planta se consideran dos estaciones, la Estación de Impulsión 1 ubicada en la Planta 0 y la Estación de Impulsión 2 ubicada aproximadamente a 16.500 [m] del inicio del trazado, en las cercanías del Estanque Cerro Alto. Para la operación en sentido inverso se considera la Estación de Impulsión 3 ubicada en los Estanques Caracoles.

Tabla 6.5. Resumen obras Trazado 3001

Componente	Parámetro	Valor
Sistema	Caudal de diseño [L/s]	771,6
	Velocidad de diseño [m/s]	1,23
Conducción	Material	Acero
	Diámetro nominal [mm]	900
	Longitud [m]	23.400
Estación de impulsión 1 (Industrial-Sanitaria)	Altura de elevación [m]	200
	Potencia instalada [kW]	2.018,5
Estación de impulsión 2 (Industrial-Sanitaria)	Altura de elevación [m]	235
	Potencia instalada [kW]	2.371,7
Estación de impulsión 3 (Sanitaria-Industrial)	Altura de elevación [m]	20
	Potencia instalada [kW]	201,9

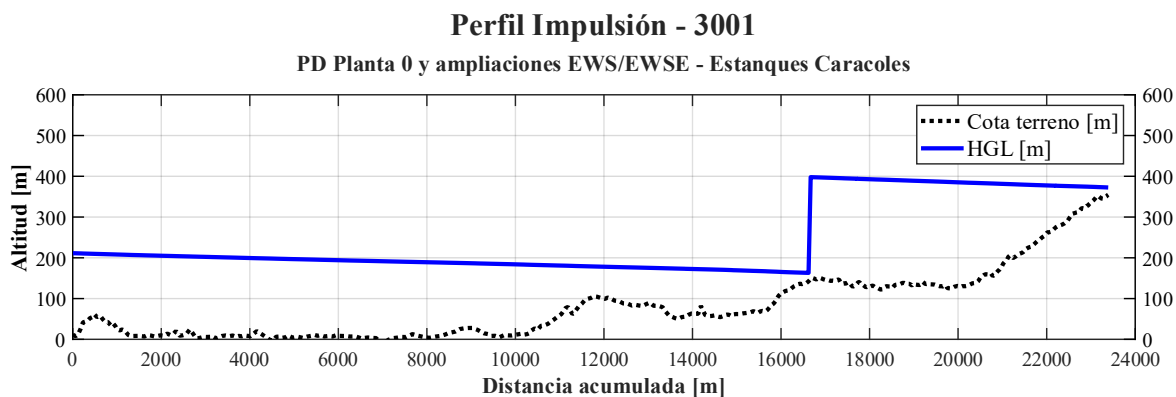


Figura 6.9. Perfil hidráulico 3001 en sentido industrial – sanitario

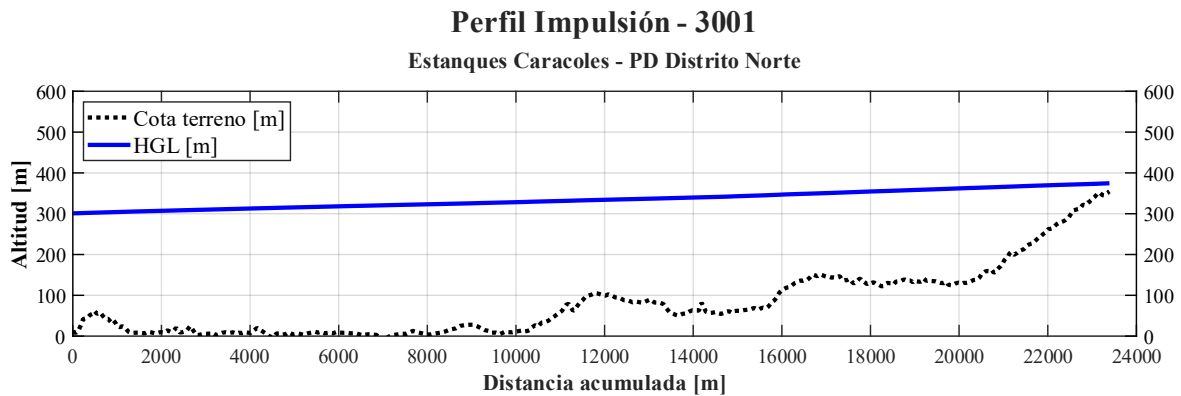


Figura 6.10. Perfil hidráulico 3001 en sentido sanitario - industrial

Caldera

Trazado 4001

El trazado 4001 corresponde a la interconexión directa entre la Planta Desaladora de la Minera Candelaria y la Planta Desalinizadora de Agua de Mar de Atacama. La impulsión desde la Planta Desaladora de Minera Candelaria se realiza mediante la Estación de Impulsión 1 ubicada en dicha planta, mientras que para la operación en sentido inverso se considera la Estación de Impulsión 2 ubicada en la Planta Desalinizadora de Agua de Mar de Atacama.

Tabla 6.6. Resumen obras Trazado 4001

Componente	Parámetro	Valor
Sistema	Caudal de diseño [L/s]	77,9
	Velocidad de diseño [m/s]	1,40
Conducción	Material	Acero
	Diámetro nominal [mm]	250
	Longitud [m]	2.840
Estación de impulsión 1 (Industrial-Sanitaria)	Altura de elevación [m]	75
	Potencia instalada [kW]	76,4
Estación de impulsión 2 (Sanitaria-Industrial)	Altura de elevación [m]	85
	Potencia instalada [kW]	86,6

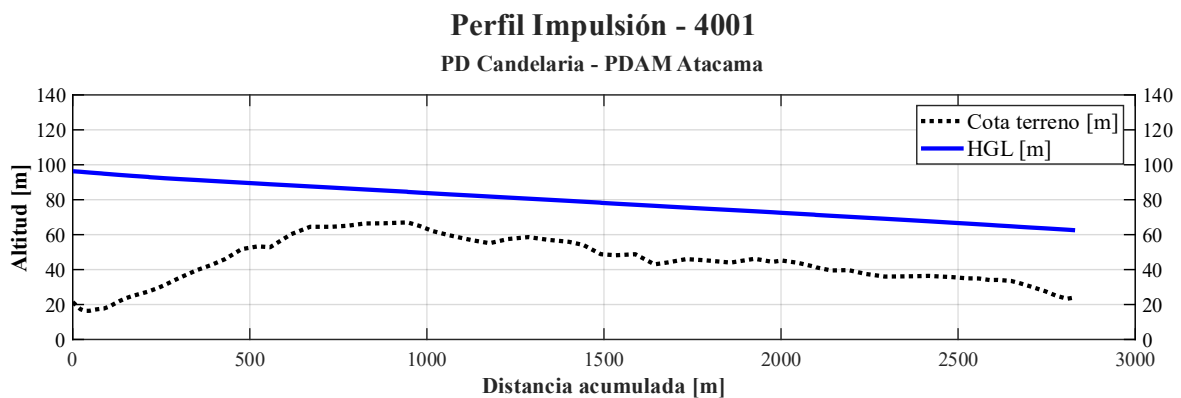


Figura 6.11. Perfil hidráulico 4001 en sentido industrial - sanitario

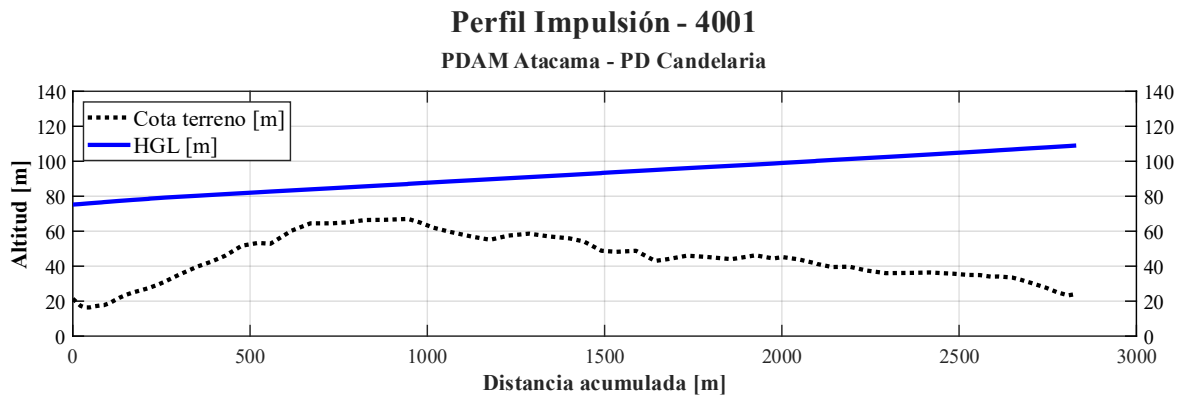


Figura 6.12. Perfil hidráulico 4001 en sentido sanitario - industrial

6.3 Costos de inversión

Con el dimensionamiento conceptual definido, se estiman los costos de inversión (CAPEX) en [UF] de cada alternativa de interconexión. Estos costos consideran tanto las conducciones como las estaciones de impulsión proyectadas. Los valores de referencia provienen de curvas de costos referenciales de Aguas Araucanía S.A (Anexo 11.3), los cuales son ajustados con un factor de corrección de 1,5, con el objetivo de reflejar las diferencias estructurales de costos para la zona norte del país. Las Tabla 6.6 a 6.9 se presenta un resumen de los costos de inversión de cada alternativa para cada localidad.

Tabla 6.6. Resumen costos de inversión para alternativas de Tocopilla

Trazado	Obra	Valor [UF]
1001	Conducción	190.282
	Estación de Impulsión 1	11.451
	Estación de Impulsión 2	6.400
	Total	208.133
1002	Conducción	165.090
	Estación de Impulsión 1	9.985
	Estación de Impulsión 2	7.117
	Estación de Impulsión 3	7.378
	Total	189.570

Fuente: Elaboración propia a partir de cálculos realizados para esta memoria.

Tabla 6.7. Resumen costos de inversión para alternativas de Mejillones

Trazado	Obra	Valor [UF]
2001	Conducción	266.782
	Estación de Impulsión 1	7.865
	Estación de Impulsión 2	8.037
	Total	282.683
2002	Conducción	130.550
	Estación de Impulsión 1	5.551
	Estación de Impulsión 2	5.467
	Total	141.567

Fuente: Elaboración propia a partir de cálculos realizados para esta memoria.

Tabla 6.8. Resumen costos de inversión para alternativas de Antofagasta

Trazado	Obra	Valor [UF]
3001	Conducción	797.212
	Estación de Impulsión 1	81.529
	Estación de Impulsión 2	94.962
	Estación de Impulsión 3	12.446
	Total	986.150

Fuente: Elaboración propia a partir de cálculos realizados para esta memoria.

Tabla 6.9. Resumen costos de inversión para alternativas de Caldera

Trazado	Obra	Valor [UF]
4001	Conducción	34.730
	Estación de Impulsión 1	7.677
	Estación de Impulsión 2	8.065
	Total	50.472

Fuente: Elaboración propia a partir de cálculos realizados para esta memoria.

7 Evaluación económica de las alternativas

La evaluación económica de los esquemas de respaldo tiene como propósito analizar la viabilidad económica y social de las soluciones propuestas para su implementación como infraestructura destinada al abastecimiento de agua potable en situaciones de emergencia. El análisis se desarrolla considerando los costos de operación de las alternativas planteadas, el efecto que tendría su incorporación sobre las tarifas de los clientes de las empresas sanitaria, y la elaboración de un marco contractual orientado a identificar los elementos y condiciones requeridas para la implementación.

7.1 Costos de operación

Se estiman los costos operacionales de cada alternativa de interconexión a partir de la infraestructura definida en el dimensionamiento conceptual. Estos corresponden al costo para mantener la disponibilidad y operatividad de las conducciones y estaciones de impulsión propuestas, considerando su carácter de sistemas de respaldo no permanentes.

La estimación se realiza considerando una operación representativa de la condición de respaldo del sistema, utilizando costos referenciales para la valorización de consumos energéticos, cargos por potencia instalada y actividades de mantenimiento.

Supuestos de operación

Considerando que las interconexiones corresponden a infraestructura de respaldo destinada a operar únicamente ante contingencias, se considera los siguientes supuestos de funcionamiento:

- Operación preventiva: Se considera una operación semanal de 30 minutos de duración destinada a verificar la disponibilidad mecánica y eléctrica de los equipos y prevenir fallas por inactividad prolongada.
- Operación de emergencia: Se considera dos eventos anuales de operación, cada uno con una duración continua de 72 horas, representativos de escenarios de interrupción relevante del suministro de agua potable.

De esta forma, la operación anual de las instalaciones alcanza las 26 horas por concepto de operación preventiva y de 144 horas por operación de emergencia, totalizando una operación anual de 170 horas.

Parámetros de costos

Para la valorización de los consumos eléctricos se emplean valores referenciales representativos del mercado eléctrico nacional:

- Costo de energía: Se adopta un valor de 112 [USD/MWh], equivalente a 2,89 [UF/MWh]¹, basado en el Barómetro de Precios y Costos del Sistema Eléctrico en Chile (Asociación de Clientes Eléctricos No Regulados, 2024).
- Costo de potencia instalada: Se considera un cargo de 22.000 [CLP/kW/Mes], equivalente a 0,55 [UF/kW/Mes]², representativo de tarifas de suministro eléctrico para instalaciones de características similares, de acuerdo con valores referenciales de la Compañía General de Electricidad (2025), en categoría tarifaria tipo AT 4.3.

¹ Para la conversión de unidades monetarias se adoptan un tipo de cambio de 992,12 [CLP] por [USD] y 38.416,69 [CLP] por [UF], ambos correspondientes a diciembre de 2024.

² Para la conversión de unidades monetarias se adopta un tipo de cambio de 39.643,59 [CLP] por [UF] correspondiente a diciembre de 2025.

Los costos de mantenimiento se estiman como un porcentaje de inversión de cada alternativa, con el fin de representar los gastos asociados a mantenimiento preventivo de equipos, reposiciones y soporte operativo. Para ello se considera lo siguiente:

- Costo de mantenimiento: Se estima como un 0,5% del costo de inversión de cada alternativa.

Aplicando los criterios y parámetros definidos, se estiman los costos operacionales anuales de cada propuesta, considerando consumos energéticos, cargos por potencia instalada y costos de mantenimiento, los cuales se presentan en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Resumen costos de operación para alternativas propuestas

Localidad	Trazado	Costo de mantenimiento [UF/Año]	Costo de energía [UF/Año]	Costo de potencia instalada [UF/Año]	Costo de operación [UF/Año]
Tocopilla	1001	1.040,7	107,5	1.455,3	2.603,4
	1002	947,8	131,5	1.780,6	2.859,9
Mejillones	2001	1.413,4	82,2	1.113,8	2.609,5
	2002	707,8	19,1	258,5	985,5
Antofagasta	3001	4.930,8	2.258,0	30.580,3	37.769,1
Caldera	4001	252,4	80,2	1.085,9	1.418,5

Fuente: Elaboración propia a partir de cálculos realizados para esta memoria.

7.2 Impacto tarifario

Dado que las infraestructuras propuestas corresponden a un sistema de respaldo orientado a reforzar la seguridad y continuidad del suministro de agua potable, su eventual reconocimiento como obra eficiente permitiría su incorporación en los procesos tarifarios del sector sanitario. La implementación y operación de estas obras implicaría un incremento en las tarifas a los clientes finales, el cual debe estimarse en función de los costos asociados a la inversión y operación de los esquemas propuestos.

Para la estimación del efecto en las cuentas de los usuarios, se consideran como base las tarifas y los niveles de consumo de cada localidad en análisis. La Tabla 7.2 presenta las tarifas publicadas a diciembre de 2025 para cada localidad (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2025a, 2025b), junto con los caudales de consumo proyectados para 2026 definidos en los respectivos planes de desarrollo (Aguas Antofagasta S.A., 2024a, 2024b, 2024c; Nueva Atacama S.A., 2023).

Tabla 7.2. Tarifas vigentes y caudales de consumo de localidades en análisis

Localidad	Tarifa vigente [CLP/m ³]	Caudal consumo [L/s]	Caudal consumo [m ³ /Año]
Tocopilla	2.197,94	50,3	1.586.261
Mejillones	2.197,94	34,0	1.072.224
Antofagasta	2.197,94	935,6	29.505.082
Caldera	1.781,33	57,7	1.819.312

Fuente: Elaboración propia a partir de tarifas vigentes de diciembre de 2025 presentadas por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (2025) y planes de desarrollo vigentes de Aguas Antofagasta S.A (2024a; 2024b; 2024c) y Nueva Atacama S.A (2023).

El incremento tarifario asociado a cada alternativa se compone de los costos de inversión (CAPEX), correspondiente a las obras de conducciones y estaciones de impulsión de agua potable, y de los costos de operación (OPEX), asociados al consumo energético, la potencia instalada y la mantención del sistema.

Para efectos del análisis tarifario, los costos de inversión se expresan en términos anuales mediante porcentajes aplicados a la inversión inicial. En base a referencias de proyectos sanitarios de características similares, se adoptan los siguientes valores:

- Tuberías: 8% de la inversión inicial.
- Estaciones de impulsión: 10% de la inversión inicial.

Se determina la recaudación anual requerida para cada esquema, desagregada en anualidad de CAPEX de tuberías, anualidad de CAPEX de estaciones de impulsión y costos OPEX. Asimismo, se obtiene la recaudación requerida por volumen de consumo anual, cuyos valores se presentan en la tabla 7.3.

Tabla 7.3. Resumen recaudación requerida para alternativas propuestas

Localidad	Trazado	CAPEX Tuberías [UF/Año]	CAPEX Estaciones de impulsión [UF/Año]	OPEX [UF/Año]	Recaudación requerida [UF/Año]	Recaudación requerida [UF/m ³]
Tocopilla	1001	15.222,5	1.785,2	2.603,4	19.611,1	0,0124
	1002	13.207,2	2.448,0	2.859,9	18.515,1	0,0117
Mejillones	2001	21.342,5	1.590,2	2.609,5	25.542,2	0,0238
	2002	10.440,0	1.101,7	985,5	12.531,2	0,0117
Antofagasta	3001	63.777,0	18.893,8	37.769,1	120.439,9	0,0041
Caldera	4001	2.778,4	1.574,2	1.418,5	5.771,1	0,0032

Fuente: Elaboración propia a partir de cálculos realizados para esta memoria.

A partir de los costos unitarios obtenidos, se calcula el incremento tarifario total por unidad de volumen [CLP/m³] y su efecto sobre la tarifa vigente. La Tabla 7.4 resume el incremento tarifario de cada alternativa, la variación porcentual y la nueva tarifa, mientras que la Figura 7.1 presenta el aumento tarifario para cada caso.

Tabla 7.4. Incremento tarifario de los distintos trazados en análisis

Localidad	Trazado	Tarifa vigente [CLP/m ³]	Incremento tarifario [CLP/m ³]	Incremento tarifario [%]	Nueva tarifa [CLP/m ³]
Tocopilla	1001	2.197,94	490,12	22,30%	2.688,06
	1002	2.197,94	462,73	21,05%	2.660,67
Mejillones	2001	2.197,94	944,38	42,97%	3.142,32
	2002	2.197,94	463,32	21,08%	2.661,26
Antofagasta	3001	2.197,94	161,83	7,36%	2.359,77
Caldera	4001	1.781,33	125,76	7,06%	1.907,09

Fuente: Elaboración propia a partir de cálculos realizados para esta memoria³.

³ Para la conversión de unidades monetarias se adopta un tipo de cambio de 39.643,59 [CLP] por [UF] correspondiente a diciembre de 2025.

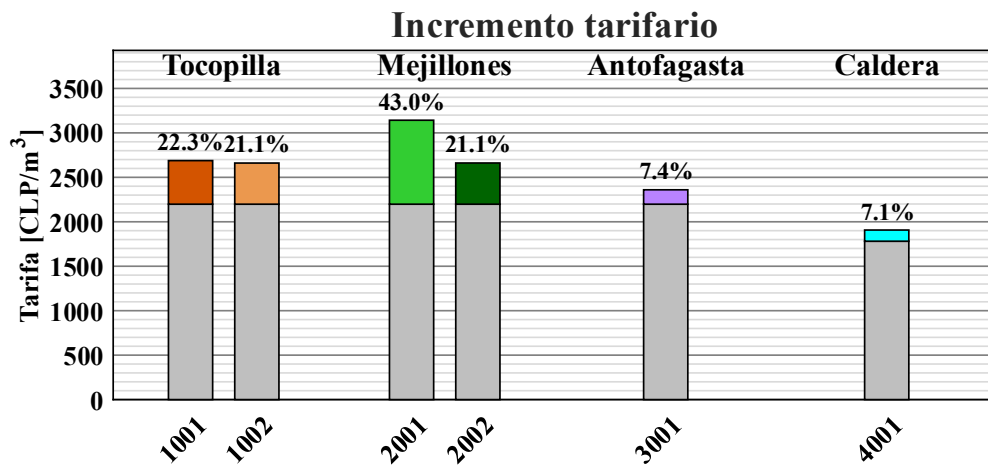


Figura 7.1. Incremento tarifario por unidad de volumen para cada trazado

En complemento, se evalúa la sensibilidad de los resultados al incorporar escenarios con aportes de terceros o financiamiento estatal destinados a cubrir total o parcialmente los costos de inversión. El incremento tarifario asociado a distintos niveles de subsidio se presenta en la Figura 7.2.

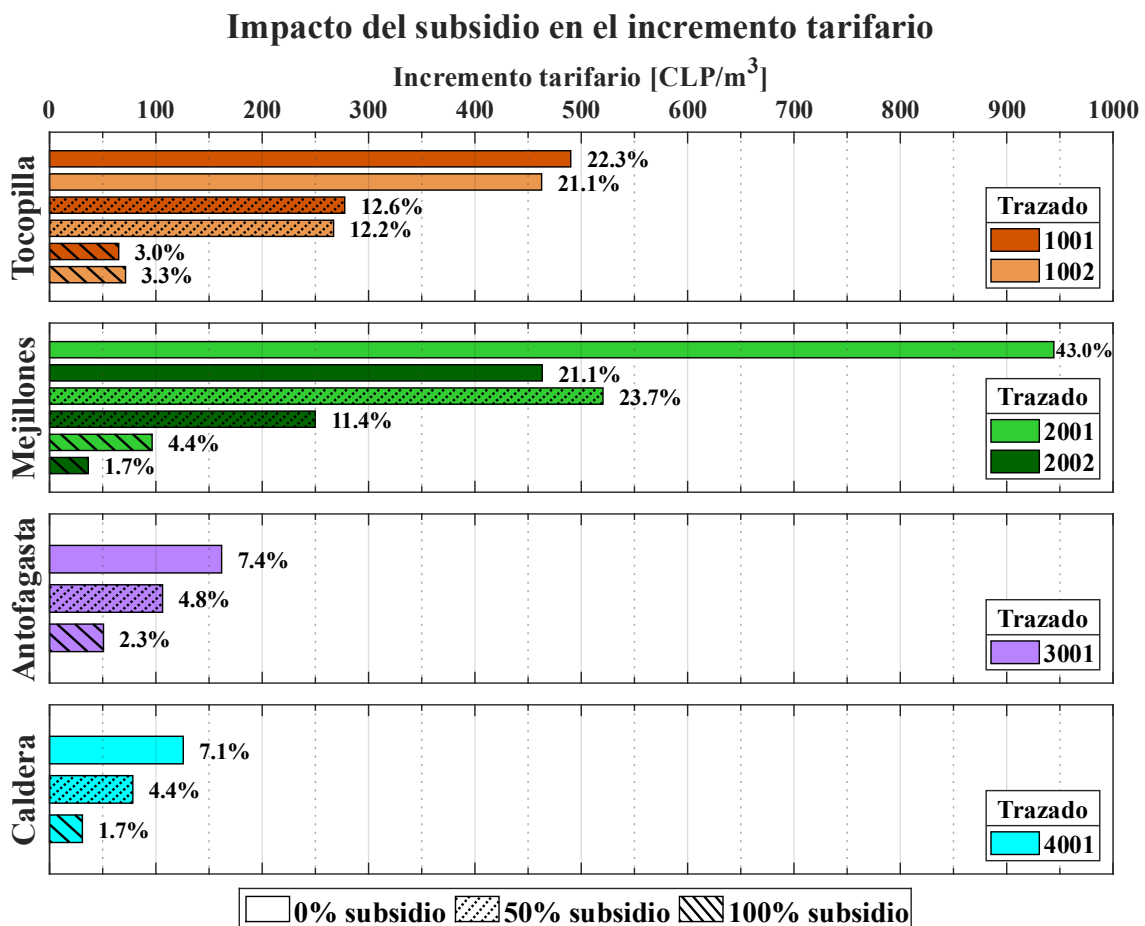


Figura 7.2. Impacto del subsidio en los costos de inversión sobre el incremento tarifario

8 Análisis de resultados y marco contractual

La comparación entre las propuestas de esquemas de respaldo evidencia que las recaudaciones anuales requeridas para su implementación presentan configuraciones diferenciadas según su composición de costos. De manera general, las alternativas se observan distintas proporciones relativas entre la recaudación asociada a las conducciones, a las plantas de elevación y a la operación de estas infraestructuras, lo que da lugar a estructuras de costos distintas entre localidades. La Figura 8.1 presenta la estructura de costos expresada en porcentaje para cada alternativa.

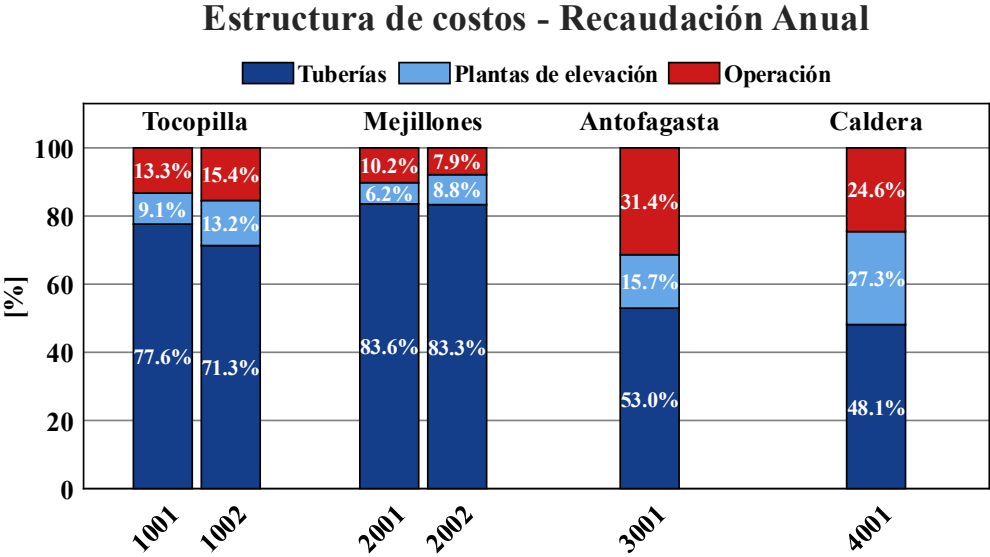


Figura 8.1. Estructura de costos de propuestas de esquemas de respaldo

De manera transversal, la recaudación anual requerida está dominada por los costos de inversión. Dentro de estos, las tuberías constituyen el componente más significativo en todas las alternativas evaluadas. Su participación alcanza valores del orden del 70% en las alternativas propuestas para Tocopilla y del 80% en Mejillones, mientras que en Antofagasta y Caldera su contribución se sitúa en torno al 50%. Este predominio evidencia que la materialización de los esquemas de respaldo se sustenta principalmente en obras de conducción, cuyo peso relativo supera ampliamente al de las estaciones de impulsión y a los costos operacionales. En consecuencia, la estructura económica de las alternativas se caracteriza por una alta participación de inversión en obras con un régimen de operación limitado únicamente a escenarios de emergencia.

La incidencia de esta estructura sobre los incrementos tarifarios se explica por la relación entre la recaudación requerida y el volumen de agua facturado de cada sistema. En términos generales, los incrementos resultan más elevados en sistemas con menor nivel de consumo, donde los costos de inversión deben recuperarse sobre un volumen de consumo acotado. Este patrón se refleja en las alternativas de Tocopilla y Mejillones, donde la combinación de recaudaciones relativamente elevadas con volúmenes de facturación reducidos genera incrementos tarifarios proporcionalmente mayores.

En contraste, en la propuesta para Antofagasta, el impacto tarifario es considerablemente menor, aun cuando la magnitud absoluta de la inversión es superior al resto de las alternativas. El mayor volumen de agua facturada permite distribuir los costos sobre una base más amplia, reduciendo su efecto unitario sobre la tarifa. Un comportamiento de menor magnitud, aunque consistente con el patrón observado, se presenta en Caldera, donde una recaudación requerida menor se combina con un volumen de consumo acotado. De esta forma se obtiene un incremento tarifario moderado, reflejando la correspondencia entre el tamaño del esquema de respaldo y el volumen de consumo del sistema.

La incorporación de subsidios o mecanismos de financiamiento externo sobre los costos de inversión genera una reducción en los incrementos tarifarios estimados. Dado que una fracción significativa de la recaudación anual requerida se explica por la inversión asociada a tuberías y plantas de elevación, su

financiamiento parcial o total reduce proporcionalmente la recaudación necesaria y, en consecuencia, el incremento tarifario asociado. Este efecto resulta significativo en los sistemas de menor escala, como Tocopilla y Mejillones, donde la recuperación de la inversión se distribuye sobre una base de consumo limitada.

En contraste, en sistemas con mayor volumen de facturación, el impacto del subsidio sobre la tarifa estimada es más moderado, debido a que los costos se prorratan sobre un volumen de facturación más amplio. De este modo, la incorporación de financiamiento externo modifica la magnitud del incremento tarifario asociado a la implementación de los esquemas, especialmente en localidades de bajo consumo, por lo que su consideración es una alternativa relevante para la viabilidad de estas soluciones.

En términos estructurales, los resultados anteriores muestran que los esquemas de respaldo suponen la incorporación de una alta inversión en infraestructura y de uso eventual, orientada a enfrentar contingencias operativas. Ello implica internalizar un costo asociado al incremento del nivel de seguridad y resiliencia del sistema, cuyo valor no se explica únicamente por su frecuencia de uso, sino por la reducción del riesgo asociado. Sin embargo, la viabilidad de estas soluciones no depende exclusivamente de su desempeño técnico y económico, sino también de la existencia de mecanismos que permitan la coordinación y cooperación efectiva entre los sistemas sanitarios e industriales involucrados.

En este contexto, la definición de un marco contractual responde a la necesidad de establecer un arreglo que regule la cooperación entre sistemas sanitarios e industriales en la implementación de interconexiones de respaldo. La existencia de infraestructura compartida y de uso eventual requiere un instrumento que establezca las condiciones bajo las cuales esta cooperación pueda materializarse, asegurando consistencia entre los objetivos de continuidad del servicio y las restricciones operativas de las partes involucradas.

A partir de esto, se proponen los elementos centrales que deben considerarse para la formulación de un modelo contractual.

Justificación del esquema

La resiliencia de los sistemas de abastecimiento de agua potable en localidades dependientes de la producción de agua desalada exige mecanismos capaces de enfrentar fallas operacionales o eventos externos que interrumpan la producción de agua de las plantas desaladoras sanitarias. La interrupción de estos procesos puede comprometer la continuidad del servicio, generando riesgos sanitarios y sociales significativos.

En este contexto, la interconexión con plantas desaladoras de origen industrial permite disponer de una fuente alternativa de abastecimiento, activable en situaciones de contingencia o bajo condiciones previamente definidas. Con ello, el esquema reduce la vulnerabilidad del sistema y contribuye a asegurar la continuidad del suministro para la población.

Actores involucrados

La implementación y operación de los esquemas de respaldo involucra la participación de tres actores principales, cuyas funciones se diferencian según su rol en el sistema.

- **Empresas sanitarias:** Responsables de la prestación del servicio de agua potable, interesadas en asegurar la continuidad del suministro, cumplir con la normativa vigente y reducir los riesgos asociados a la operación de sus sistemas productivos.
- **Empresas mineras o industriales:** Titulares de las instalaciones de desalación que pueden disponibilizar parte de su producción para situaciones definidas, contribuyendo a la continuidad del abastecimiento en las localidades en que se encuentran.
- **Estado y organismos reguladores:** Encargados de la supervisión, regulación y fiscalización de las condiciones bajo las cuales se implementan los esquemas de cooperación, resguardando el interés público y el cumplimiento del marco normativo.

Incentivos para la participación

La participación en esquemas de respaldo depende de incentivos vinculados a las funciones y objetivos de cada sector, así como de beneficios compartidos derivados de la cooperación.

Empresas sanitarias

- Respaldo para la producción de agua potable.
- Reducción del riesgo operacional.
- Cumplimiento de exigencias regulatorias.

Empresas industriales

- Mejora en la legitimidad social en los territorios de operación.
- Reducción de riesgos sociales asociados a desabastecimientos urbanos.
- Contribución a compromisos de sostenibilidad y estándares ESG.
- Gestión estratégica del riesgo hídrico.

Financiamiento de obras

El financiamiento de las obras de interconexión y su operación se rige por el principio de beneficio y responsabilidad, a partir del cual se plantean distintas alternativas.

- Recuperación vía tarifa: Los costos de inversión y gastos de operación son asumidos por las empresas sanitarias y traspasados a los usuarios, sujeto a la evaluación de eficiencia de la SISS.

Se plantean alternativas complementarias de financiamiento, orientadas a compartir costos o mitigar impactos tarifarios.

- Aportes de terceros: participación de empresas industriales en casos donde la infraestructura genere beneficios mutuos de flexibilidad operativa.
- Subsidios o fondos públicos: en localidades donde la implementación de esquemas de respaldo implique un alza tarifaria significativa, se contempla la posibilidad de subsidios o fondos públicos que mitiguen el impacto tarifario sobre los usuarios.

Operación de la red

La operación de la red de respaldo debe definirse contractualmente en términos de sus condiciones de activación y de los criterios aplicables a la valorización del suministro compartido. Estos elementos delimitan el funcionamiento efectivo de la interconexión y delimitan las responsabilidades asociadas a su uso.

Escenarios de activación

La activación del esquema de respaldo puede estructurarse según el escenario que se presente.

- Falla operacional propia de la planta sanitaria: Corresponde a contingencias originadas en la planta desaladora sanitaria, que impidan total o parcialmente la producción de agua potable. En estos casos, la activación del esquema de respaldo se vincula a un déficit generado por causas internas, manteniéndose la responsabilidad operativa en la sanitaria.
- Evento sistémico o de fuerza mayor: Comprende situaciones externas fuera del control de la sanitaria que limiten su capacidad de producción, tales como fallas generalizadas en el suministro eléctrico o eventos naturales que dañen la infraestructura. La activación del respaldo responde a un escenario excepcional.
- Mantenciones programadas: Considera la utilización del esquema bajo coordinación entre las partes, permitiendo ejecutar detenciones parciales o totales de las plantas desaladoras mientras se mantiene el abastecimiento desde la instalación cooperadora. Este escenario no constituye una emergencia, sino una herramienta de gestión operativa conjunta.

Criterios de asignación de costos

El modelo contractual debe establecer criterios explícitos para la valorización del agua compartida en el marco del esquema de respaldo, diferenciados según el escenario operativo que se presente.

La definición de estos criterios debe considerar, al menos:

- Los costos directos asociados a la producción del volumen de agua suministrado.
- Los costos indirectos asociados a la disponibilización del agua para ser compartida.
- El escenario operativo presente.

En función de lo anterior, pueden contemplarse distintas modalidades de compensación por el agua disponibilizada, tales como:

- Valorización a costo de producción.
- Valorización a precio pactado.
- Mecanismos de compensación no monetaria, incluyendo restitución de agua.

9 Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la viabilidad de establecer una red de respaldo entre plantas desaladoras no es igual para todas las localidades, sino que depende de las condiciones particulares de cada una. Factores como el consumo de agua, la configuración hidráulica y la extensión de las conducciones determinan diferencias relevantes en los costos y en los incrementos tarifarios, lo que refuerza que la continuidad del suministro en escenarios de emergencia requiere soluciones adaptadas al contexto de cada localidad.

En el caso de Tocopilla y Mejillones, los resultados indican que la implementación de un sistema de respaldo presenta dificultades asociadas principalmente al impacto tarifario que tendría sobre los clientes de las empresas sanitarias, alcanzando incrementos del orden del 20% para Tocopilla y entre aproximadamente 20% y 40% para Mejillones según la alternativa evaluada. Bajo este escenario, la materialización de este tipo de soluciones se vería más viable bajo la incorporación de mecanismos de apoyo que permitan mitigar el efecto de los costos de inversión en el incremento tarifario, tales como esquemas de financiamiento estatal u otros instrumentos de incentivo. Asimismo, se considera pertinente no solo estudiar la incorporación de otras plantas desaladoras industriales existentes en el análisis, sino también evaluar, en función del contexto operativo y del nivel de riesgo, la necesidad efectiva de implementar esquemas de respaldo dedicados para estas localidades.

En este contexto, resulta pertinente considerar alternativas de menor escala que permitan fortalecer la resiliencia de los sistemas existentes. En el caso de Tocopilla, cuya planta comenzó operaciones recientemente y no registra interrupciones significativas en su funcionamiento, resulta razonable explorar alternativas de menor complejidad, como el fortalecimiento de la aducción existente entre Calama y Tocopilla para escenarios de contingencia, antes de avanzar en infraestructuras de mayor magnitud. De forma similar, en Mejillones, cuya agua potable proviene desde Antofagasta, podría evaluarse conveniente explorar medidas orientadas a reforzar la capacidad de los estanques existentes, con el objetivo de aumentar la autonomía del sistema ante eventuales interrupciones del suministro.

En un escenario distinto, Antofagasta y Caldera presentan condiciones más favorables desde el punto de vista del impacto tarifario, con incrementos estimados del orden del 7%, lo que sugiere la conveniencia de profundizar en el desarrollo de soluciones de respaldo para estas ciudades. En el caso de Antofagasta, la viabilidad del esquema se ve reforzada por los antecedentes de interrupciones en la operación de la Planta Desaladora Norte, por la magnitud de la población abastecida y por el rol estratégico que cumple la ciudad en el abastecimiento regional. Bajo estas condiciones, se recomienda avanzar hacia etapas de ingeniería de mayor detalle que permitan precisar el dimensionamiento hidráulico, la valorización de las obras y los requerimientos operativos. Además, resulta pertinente iniciar instancias de acercamiento entre la empresa sanitaria y la titular de la Planta 0, Aguas Antofagasta S.A. y BHP, respectivamente, con el objetivo de explorar y evaluar la participación en esquemas de respaldo.

Adicionalmente, el esquema de respaldo propuesto para Antofagasta presenta un potencial de mejora al considerar eventuales puntos de conexión con estanques de distribución intermedios ubicados en las cercanías de la proyección de la conducción, lo que permitiría aumentar la flexibilidad operativa y fortalecer la resiliencia ante distintos tipos de contingencias. La implementación de un respaldo en Antofagasta generaría, a su vez, un beneficio indirecto para Mejillones, considerando el actual sistema de abastecimiento de esta localidad, de modo que asegurar la continuidad del suministro en Antofagasta contribuye simultáneamente a la seguridad de abastecimiento de Mejillones.

No obstante, la implementación de esquemas de respaldo entre sistemas sanitarios e industriales requiere necesariamente de la disposición y participación de las empresas propietarias de las plantas desaladoras industriales. La colaboración de estas compañías implicaría destinar parte de su capacidad de producción a la asistencia de emergencias sanitarias, lo que eventualmente se traduciría en restricciones operativas o costos asociados para sus actividades productivas. En este sentido, la viabilidad práctica de estas soluciones dependerá también de la existencia de mecanismos contractuales e incentivos adecuados que permitan compatibilizar los intereses de las compañías con el objetivo de disminuir la vulnerabilidad del sistema.

De manera general, los resultados permiten concluir que las soluciones de respaldo no debiesen limitarse exclusivamente a un enfoque de uso en emergencias, sino que debieran considerar escenarios de cooperación más amplia entre sistemas sanitarios e industriales. Este enfoque amplía el potencial de la interconexión y fortalece la eficiencia de recursos, contribuyendo a una mayor resiliencia del agua. Este planteamiento se encuentra alineado con la evolución del marco normativo del sector, en particular con iniciativas como el Boletín N°11.608-9, que refuerzan los principios de continuidad de servicio y resiliencia para las comunidades, consolidando este tipo de soluciones como parte del estado actual de la práctica.

Finalmente, el presente trabajo constituye un primer dimensionamiento de esquemas de respaldo y compartición de agua desalinizada en el país, aportando una base técnica para la evaluación de criterios de diseño, costos asociados y mecanismos de financiamiento que permitan avanzar hacia la implementación de soluciones coherentes con los desafíos actuales del sector.

10 Referencias

- 24horas. (2025, May 12). *Masivo corte de agua afecta a miles de personas en Antofagasta*. <https://www.24horas.cl/regiones/zona-norte/antofagasta/masivo-corte-de-agua-afecta-a-miles-de-personas-en-antofagasta>
- ACADES. (2025, September 29). *Catastro ACADES Plantas Desaladoras de Agua de Mar en Chile*. <https://www.acades.cl/catastro-de-plantas-de-agua-de-mar/>
- Aguas Antofagasta S.A. (2024a). *Actualización Plan de Desarrollo Antofagasta. Etapa II “Catastro y diagnóstico de la infraestructura.”* https://wwwprod.aguasantofagasta.cl/sistemas_web/documentos/
- Aguas Antofagasta S.A. (2024b). *Actualización Plan de Desarrollo Mejillones. Etapa II “Catastro y diagnóstico de la infraestructura.”* https://wwwprod.aguasantofagasta.cl/sistemas_web/documentos/
- Aguas Antofagasta S.A. (2024c). *Actualización Plan de Desarrollo Tocopilla. Etapa II “Catastro y diagnóstico de la infraestructura.”* https://wwwprod.aguasantofagasta.cl/sistemas_web/documentos/
- Aguas Araucanía S.A. (2025). *Costos PEAP y Conducciones*.
- Asociación de Clientes Eléctricos No Regulados. (2024). *Barómetro de Precios y Costos del Sistema Eléctrico en Chile*.
- BioBioChile. (2023, December 4). *Masivo corte de agua afecta a Antofagasta: “Probablemente va a volver el viernes.”*
- Cámara de Diputadas y Diputados. (2025, November 5). *Oficio de ley a Cámara Revisora N°311. Sobre el uso de agua de mar para desalinización*. <https://www.camara.cl/legislacion/ProyectosDeLey/oficios.aspx?prmID=12126&prmBOLETIN=11608-09>
- Center for Israel Education. (n.d.). *National Water Carrier Begins Pumping*. Retrieved January 4, 2026, from <https://israeled.org/national-water-carrier-begins-pumping/>
- Compañía General de Electricidad S.A. (2025). *Tarifas de Suministro Eléctrico vigentes a partir del 1 de diciembre 2025*. <https://www.cge.cl/informacion-comercial/tarifas-y-procesos-tarifarios/tarifa-de-suministro/>
- Decreto No. 382. (1989). *Ley General de Servicios Sanitarios*. <https://bcn.cl/250np>
- definicionfm.cl. (2023, April 4). *Planta Desaladora Norte de Aguas Antofagasta cumple 20 años al servicio de la comunidad*. <https://definicionfm.cl/planta-desaladora-norte-de-aguas-antofagasta-cumple-20-anos-al-servicio-de-la-comunidad>
- Eke, J., Yusuf, A., Giwa, A., & Sodiq, A. (2020). The global status of desalination: An assessment of current desalination technologies, plants and capacity. *Desalination*, 495. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114633>
- El Zorro Nortino. (2022, July 11). *Comisión de Agricultura del Senado visitó Planta Desalinizadora de Agua de Mar de Atacama*. <https://www.elzorrortonino.cl/esoacio-politico/comision-de-agricultura-del-senado-visito-planta-desalinizadora-de-agua-de-mar-de-atacama/>
- Instituto Nacional de Normalización. (2015). *NCh 691. Agua Potable - Producción, conducción, almacenamiento y distribución - Requisitos de diseño*.
- Nueva Atacama S.A. (2023). *Actualización Planes de Desarrollo. Nueva Atacama S.A. Comuna de Caldera*. https://www.nuevaatacama.cl/p_373-381_concesionnew
- Reporte Minero. (2023, March 16). *Construcción de planta desalinizadora en Tocopilla iniciará en 2023*.

- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2024). *Informe de coberturas*.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2025a). *Aguas de Antofagasta - Tarifas vigentes*. <https://www.siss.gob.cl/589/w3-propertyvalue-9034.html>
- Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2025b). *Nueva Atacama - Tarifas vigentes*. <https://www.siss.gob.cl/589/w3-propertyvalue-9034.html>
- The American Society of Mechanical Engineers. (2022a). *ASME B31.4 2022. Pipeline Transportation Systems for Liquids and Slurries* (2022nd ed.). <https://go.asme.org/B31committee>.
- The American Society of Mechanical Engineers. (2022b). *ASME B36.10 2022. Welded and Seamless Wrought Steel Pipe* (2022nd ed.).
- U.S. Department of Commerce. (2025, July 31). *Morocco Water*. <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/morocco-water>
- Water Corporation. (n.d.). *Integrated water supply scheme*. Retrieved January 4, 2026, from <https://www.watercorporation.com.au/our-water/perths-water-supply/integrated-water-supply-scheme>

11 Anexo

11.1 Esquemas de distribución de agua potable en las localidades en análisis

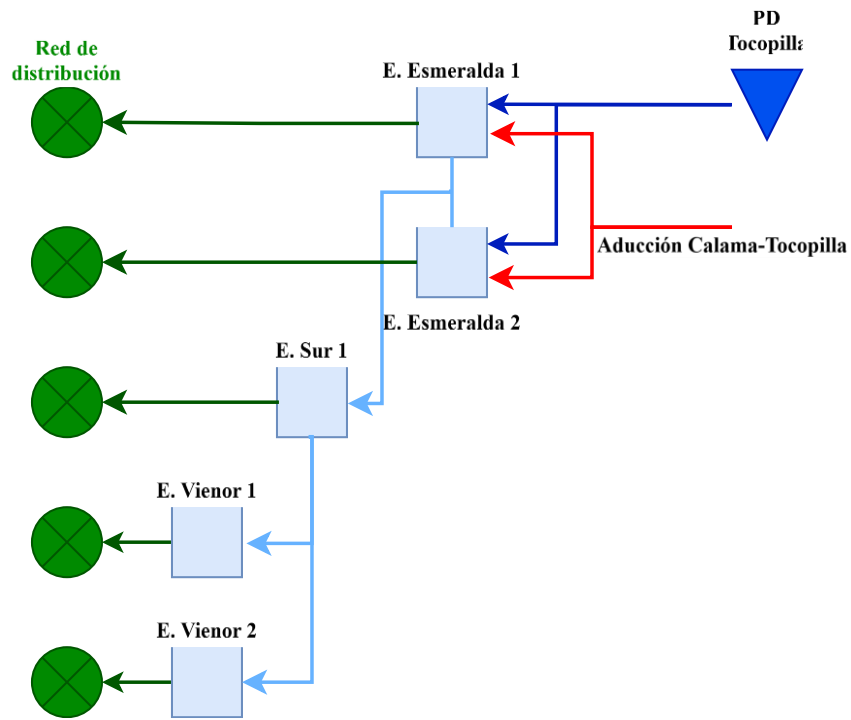


Figura 11.1. Esquema de distribución de agua potable de Tocopilla

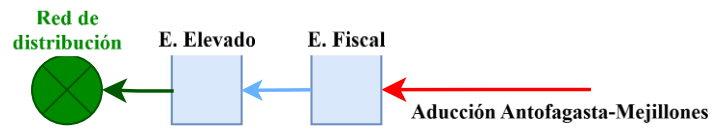


Figura 11.2. Esquema de distribución de agua potable de Mejillones

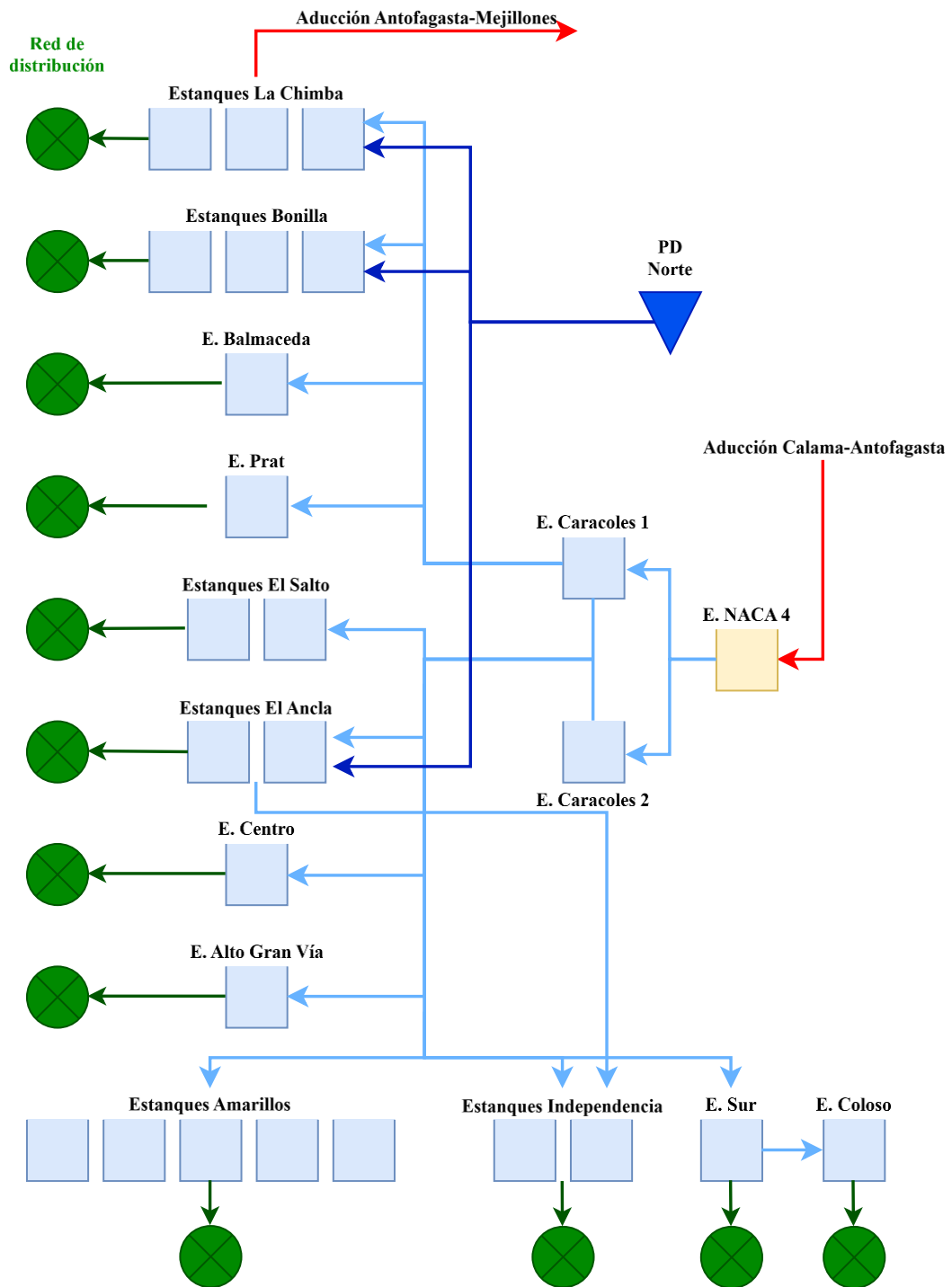


Figura 11.3. Esquema de distribución de agua potable de Antofagasta

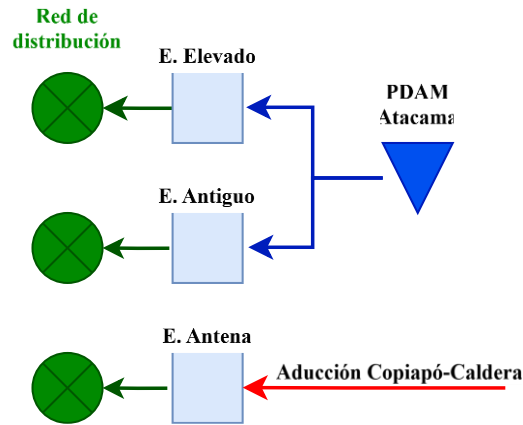


Figura 11.4. Esquema de distribución de agua potable de Caldera

11.2 Ecuaciones y formulas

11.2.1 Perdidas friccionales (Hazen-Williams)

$$H_f = 10,67 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \cdot \frac{L}{D^{4,871}} \quad (11.1)$$

Donde:

- H_f : Pérdida de carga en metros columna de agua [mca]
- Q : Caudal en [m^3/s]
- C : Coeficiente de Hazen-Williams (adimensional, depende del material)
- L : Longitud de la tubería en [m]
- D : Diámetro interior de la tubería en [m]

11.2.2 Pulso de Joukowsky

$$\Delta H = a \cdot \frac{V}{g} \quad (11.2)$$

Donde:

- ΔH : Aumento de la presión en la tubería ΔH en [mca]
- a : Velocidad de propagación de la onda elástica en [m/s]
- V : Velocidad del fluido en movimiento previo al cambio brusco de velocidad en [m/s]

$$a = \sqrt{\frac{\frac{k}{\rho}}{1 + \frac{k \cdot D}{E \cdot e}}} \quad (11.3)$$

Donde:

- k : Módulo de elasticidad del agua que tiene un valor constante de $2,074 \cdot 10^9$ [N/m^2]
- ρ : Densidad del agua que tiene un valor constante de 1000 [kg/m^3]

- E : Módulo de elasticidad del material de la tubería en $[N/m^2]$
- D : Diámetro interior de la tubería en $[m]$
- e : Espesor de la tubería en $[m]$

11.2.3 Espesor requerido (ASME B31.4 2022)

$$e_{\min} = \frac{P_d \cdot D_{\text{ext}}}{2 \cdot f \cdot F_y \cdot F} \quad (11.4)$$

Donde:

- e_{\min} : Espesor mínimo en $[mm]$
- P_d : Presión de diseño en $[N/m^2]$
- D_{ext} : Diámetro exterior de la tubería en $[m]$
- f : factor de corrección de diseño
- F_y : Esfuerzo de fluencia del material de la tubería en $[N/m^2]$
- F : factor de corrección para soldadura

Adicionalmente, el código indica que la ecuación queda sujeta a la restricción geométrica indicada en la Ecuación 11.5 que permite garantizar las condiciones estructurales adecuadas de la tubería.

$$\frac{D_{\text{ext}}}{e_{\min}} \geq 20 \quad (11.5)$$

11.3 Curvas de costo para valorización de inversión

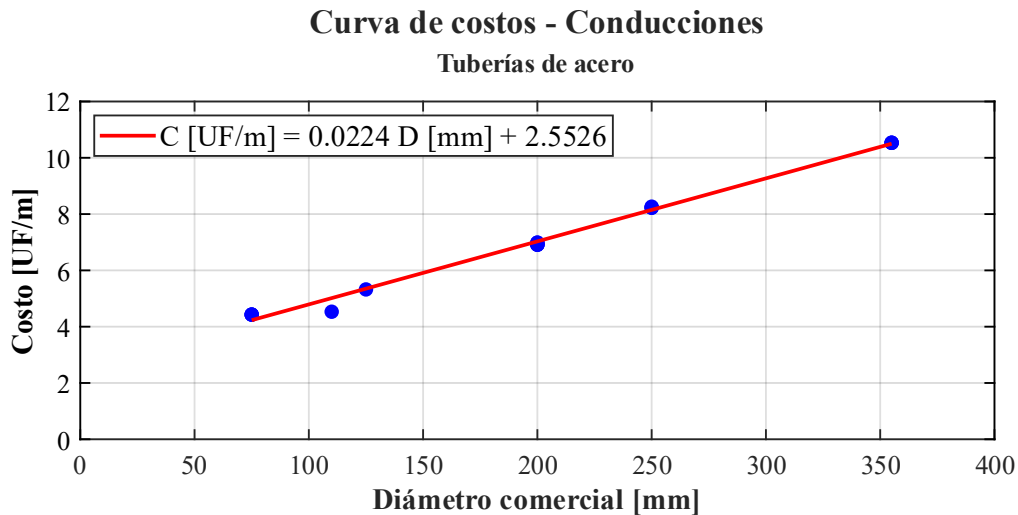


Figura 11.5. Curva de costos para tuberías de acero (Aguas Araucanía S.A., 2025).

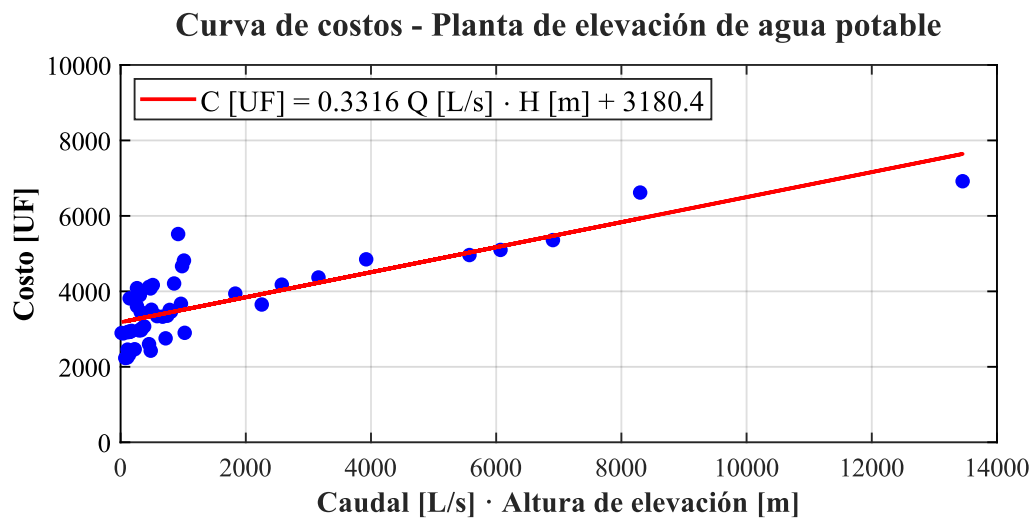


Figura 11.6. Curva de costos para PEAP (Aguas Araucanía S.A., 2025).