



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

**MEJORAMIENTO INTEGRAL DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE  
RURAL (APR): HUATULAME EN LA COMUNA DE MONTE PATRIA Y SAN  
MARCOS EN LA COMUNA DE COMBARBALÁ, UBICADOS EN LA REGIÓN DE  
COQUIMBO, CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**RODRIGO IGNACIO CABELLO MIRANDA**

PROFESOR GUÍA:  
**ADOLFO OCHOA LLANGATO**

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
LEONARDO CEPEDA ARAYA  
MARÍA JOSÉ ARELLANO HERNÁNDEZ

SANTIAGO DE CHILE  
2023

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL  
POR: RODRIGO IGNACIO CABELLO MIRANDA  
FECHA: 2023  
PROFESOR GUÍA: ADOLFO OCHOA LLANGATO**

**MEJORAMIENTO INTEGRAL DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE RURAL  
(APR): HUATULAME EN LA COMUNA DE MONTE PATRIA Y SAN MARCOS EN LA  
COMUNA DE COMBARBALÁ, UBICADOS EN LA REGIÓN DE COQUIMBO, CHILE**

El programa de Agua Potable Rural (APR) se inicia en 1964 como parte de la respuesta pública a que la mayoría de la población rural de la época no contaba con agua potable. Los APR son formas de organización a través de comités o cooperativas y son administrados, mantenidos y operados por los propios habitantes de la comunidad a la cual pertenecen. El programa de APR tiene como principal objetivo abastecer de agua potable a la población rural, contribuyendo así al desarrollo social y económico del país.

Dada la crisis hídrica que está afectando a Chile (que tiene como aristas principales al déficit hídrico y la sequía), los sectores que más se están viendo afectados son los rurales; estas localidades y sus pobladores muchas veces no tienen acceso continuo al agua potable, vulnerando lo que se establece como un derecho humano básico.

Según el último censo de 2017, el 12,2% de la población del país vive en zonas rurales correspondiente a 2.149.469 habitantes. Por otra parte, en Chile la escasez de agua afecta a cerca de un millón de habitantes que no tienen acceso asegurado a agua potable, dado que no se encuentran conectadas a redes de distribución, e incluso a hogares conectados no se les garantiza cantidad, continuidad y calidad del recurso. De la población rural, un 47,2% no tiene abastecimiento regular de agua potable; de estos, un 58,8% se abastece por fuentes subterráneas (pozos), un 25,8% por fuentes superficiales (como ríos o vertientes) y un 15,4% por camiones aljibes. Este último caso es una medida provisoria y de emergencia que se ha mantenido por años sin que sea reemplazada por una política pública estable que entregue seguridad a las personas sobre el acceso a agua potable. Esta problemática genera que los habitantes de las zonas rurales afectadas estén expuestos a altos índices de vulnerabilidad social, ambiental y económica.

Bajo el contexto de crisis hídrica y las dificultades que enfrentan los sistemas de APR, en este trabajo se estudian los casos del APR Huatulame de la comuna de Monte Patria y el APR San Marcos de la comuna de Combarbalá, ambos ubicados en la provincia de Limarí, región de Coquimbo (zona en la que la población regional rural es de un 18,8%). Este trabajo práctico-teórico busca realizar un mejoramiento integral en el funcionamiento de los sistemas de APR. Para esto se desarrolla una metodología que se desglosa en una revisión bibliográfica para constatar el contexto y realidad de los APRs en el país; se levantó información en jornadas de trabajo en terreno, identificando problemáticas de diagnóstico; se modeló mediante un software las redes de distribución de los APRs para encontrar problemas técnicos; se propusieron y evaluaron soluciones factibles a las problemáticas halladas, desarrollándolas bajo el nivel de ingeniería conceptual.

Los principales problemas técnicos encontrados fueron presiones de servicio fuera de la normativa y a diseños de ampliaciones futuras de redes de distribución de agua potable, para lo que se evaluaron e implementaron soluciones relacionadas a la instalación de equipos hidráulicos (como bombas, válvulas y piezas especiales).

## Agradecimientos

Para partir esta sección especial, quiero agradecer al profesor Adolfo Ochoa, por compartir su experiencia profesional y personal, sin duda ha sido un gran aporte a través de su crítica siempre constructiva, orientación y consejos. También agradecerle que a través de este trabajo de título me permitió conocer de cerca la realidad que viven muchas personas en relación a la accesibilidad al agua potable.

Agradezco la buena disposición y amabilidad de Leonardo Cepeda para responder a mis dudas en muchas instancias de trabajo.

A la gente de Huatulame y San Marcos que conocí durante la realización de este trabajo, mi admiración para ustedes por vivir como lo hacen ante las adversidades que se les presentan en su vida cotidiana, muchos se rendirían, pero ustedes luchan con fuerza para salir adelante.

A los amigos que me dejó esta etapa universitaria, que hicieron que fuese más fácil el sobrellevar estar lejos de casa. A los “Borrocas”, a los amigos y las amigas que hice en la especialidad de civil, también al Mati, a la Panchi y mención honrosa para el Alex, amigo de mil batallas desde los semestres más duros en plan común hasta el último ramo de la carrera, muchas gracias por el gran apoyo.

También para los amigos del colegio, a todos y todas los “Pargüinos”, gracias por unos muy buenos recuerdos de los años de colegio y de las juntas que cada tanto hemos tenido. A los cabros: Iván, Sanhue, Vice, Micha, Chicho, Joaco, Benja y Papi, los que, a pesar de que me integré al grupo mucho después de que ellos se conocieron, me sentí bien recibido y uno más hasta el día de hoy. Espero que las juntas, viajes, fondas y todos los buenos momentos sigan por mucho tiempo más.

A mis tíos y tías, primos y primas, tanto de los Cabello como de los Miranda, por todas las experiencias y buenos momentos compartidos. Por interesarse cómo ha ido mi etapa universitaria e intentar ayudar en lo que puedan.

Unas líneas para el lindo grupo que se armó con las familias Cerón Cabello, Cabello Olgún y Castro Cabello, muchas gracias por todos los buenos momentos que hemos pasado, las comidas, los tragos, las risas y los paseos, sobretodo en pandemia, en que mutuamente nos ayudamos a pasar esos momentos difíciles.

A mis abuelas y abuelos, por cada uno entregarme su cariño en distintas formas y a su manera, y por mostrarme con sus ejemplos de vida que siendo trabajador y buena persona se puede salir adelante en la vida.

A mis hermanas, Carolina y María Victoria, por el lazo de hermandad que hemos creado y que espero se mantenga para siempre.

Finalmente agradecer desde lo más profundo de mí a Juan y María Margarita, mi padre y mi madre, por apoyarme en cada una de las etapas que he vivido y siempre querer lo mejor para mí y mis hermanas, por siempre poner a sus hijos como prioridad delante de cualquier otra cosa. Cada vez que las cosas se ponen cuesta arriba, aparecen ustedes en mis pensamientos para darme la energía e impulsarme a seguir hacia adelante. Han sido, son y serán un pilar fundamental en mi vida, mi gran cariño y eterno agradecimiento para ustedes.

## Tabla de Contenido

1. Introducción.....	1
1.1 Motivación .....	1
1.2 Objetivo general .....	2
1.3 Objetivos específicos .....	2
1.4 Metodología y alcances .....	2
2. Marco Teórico .....	4
2.1 Sequía y déficit hídrico .....	4
2.2 Sistemas de Agua Potable Rural (APR) .....	6
2.2.1 Contextualización general de los APR.....	6
2.2.2 Situación actual de los APR en Chile.....	8
2.3 Normativa asociada al diseño de sistemas de APR.....	11
2.3.1 NCh691 of 2015: Agua potable – Producción, conducción, almacenamiento y distribución – Requisitos de diseño.....	11
2.3.2 MOP - Manual de proyectos de agua potable rural 2019 .....	15
3. Descripción de los casos de estudio .....	21
3.1 APR San Marcos.....	21
3.1.1 Contextualización .....	21
3.1.2 Sistema de producción de agua e infraestructura .....	22
3.1.3 Sistema de operación de agua.....	36
3.2 APR Huatulame .....	42
3.2.1 Contextualización .....	42
3.2.2 Sistema de producción de agua e infraestructura .....	43
3.2.3 Sistema de operación de agua.....	50
4. Metodología de trabajo empleada .....	59
4.1 Levantamiento de información en terreno.....	59
4.1.1 Primera visita a terreno .....	59
4.1.2 Segunda visita a terreno .....	59
4.2 Replanteo de la información en Google Earth.....	61
4.3 Modelación de las redes de distribución en Epanet .....	64
5. Caracterización de problemáticas identificadas .....	68
5.1 Problemáticas previas de diagnóstico .....	68
5.1.1 APR Huatulame .....	68
5.1.2 APR San Marcos .....	69
5.2 Problemáticas técnicas de operación post modelación.....	69
5.2.1 APR Huatulame .....	69

5.2.1.1	Altas presiones en sector La Isla .....	69
5.2.1.2	Ampliación de red existente para población futura .....	70
5.2.2	APR San Marcos .....	71
5.2.2.1	Bajas presiones en sector Vista Hermosa .....	71
6.	Soluciones propuestas a las problemáticas .....	74
6.1	Altas presiones en sector La Isla, Huatulame .....	74
6.2	Ampliación de red existente para población futura, Huatulame .....	76
6.3	Bajas presiones en sector Vista Hermosa, San Marcos .....	84
7.	Elección de soluciones y sus especificaciones .....	88
7.1	Altas presiones en sector La Isla, Huatulame .....	88
7.2	Ampliación de red existente para población futura, Huatulame .....	91
7.3	Bajas presiones en sector Vista Hermosa, San Marcos .....	96
8.	Conclusiones y comentarios .....	99
9.	Bibliografía .....	101
<b>Anexos</b> .....		103
ANEXO A. Datos levantados en terreno y replanteo .....		103
ANEXO B. Datos para modelación en Epanet .....		110
ANEXO C. Resultados principales de la modelación en Epanet .....		116

## Índice de figuras

Figura 1: Porcentajes de población por censos, según áreas (INE 2017).....	7
Figura 2: Porcentaje de distribución urbana/rural según región (Censo 2017). ....	8
Figura 3: Porcentaje por región de cobertura de agua potable rural en 2017 (INE 2017 - Fundación Amulén 2019). ....	9
Figura 4: Número de localidades dispersas sin agua potable en 2017 (Fundación Amulén 2019). ....	9
Figura 5: Porcentaje de población rural por región con abastecimiento informal de agua potable (Censo 2017- Fundación Amulén 2019).....	10
Figura 6: Sectores del pueblo de San Marcos.....	21
Figura 7: Oficina APR San Marcos.....	22
Figura 8: Lay out referencial del funcionamiento del APR San Marcos.....	23
Figura 9: Paneles solares de vertiente La Ternera.....	24
Figura 10: Elementos del pozo tipo noria. ....	24
Figura 11: Elementos del pozo profundo.....	25
Figura 12: Plano de ubicación de las fuentes de captación APR San Marcos. ....	26
Figura 13: Elementos de la bomba elevadora operativa desde el año 2010. ....	27
Figura 14: Sistema de filtro APR San Marcos. ....	28
Figura 15: Bomba dosificadora de permanganato de sodio. ....	29
Figura 16: Bomba dosificadora de cloro. ....	29
Figura 17: Esquema de redes conducción APR San Marcos.....	30
Figura 18: Caudalímetro ubicado posterior al filtrado de agua. ....	31
Figura 19: Manómetro de agua potable ubicado fuera de la caseta de operaciones. ....	31
Figura 20: Generador asociado a la caseta de operaciones. ....	32
Figura 21: Generador asociado al estanque elevado.....	32
Figura 22: Estanque “viejo” semienterrado de 200 m3.....	33
Figura 23: Estanque elevado de 15 m3.....	34
Figura 24: Estanque municipal abasteciendo a camión aljibe.....	35
Figura 25: Estanques de aireación, sedimentación y desinfección de la PTAS. ....	36
Figura 26: Cancha de secado de lodos de la PTAS.....	36
Figura 27: Caja protectora de caudalímetro en caseta de operaciones. ....	37
Figura 28: Horómetro que registra horas trabajadas por el sistema de impulsión.....	38
Figura 29: Estanques para hacer solución de cloro. ....	39
Figura 30: Estanques para hacer solución de cloro. ....	40
Figura 31: Equipo de medición cloro libre residual.....	40
Figura 32: Sectores del pueblo Huatulame. ....	42
Figura 33: Oficina APR Huatulame. ....	43
Figura 34: Lay out referencial del funcionamiento del APR Huatulame. ....	44
Figura 35: Pozo tipo noria ubicado en la zona norte. ....	44
Figura 36: Pozo tipo profundo ubicado en la zona sur. ....	45
Figura 37: Pozo tipo noria ubicado en la planta del APR. ....	45
Figura 38: Plano de ubicación de las fuentes de captación APR Huatulame.....	46
Figura 39: Pozo excavado sin uso actual.....	46
Figura 40: Uno de dos sistemas de filtración del APR. ....	47
Figura 41: Tanque para hacer y almacenar solución de cloro.....	48
Figura 42: Generado eléctrico de la caseta de operaciones. ....	48
Figura 43: Cámara de válvula de corte en el sistema de impulsión. ....	49
Figura 44: Estanque semienterrado de 150 m3 de almacenamiento. ....	49

Figura 45: Entradas a cámaras bajo y sobre el estanque respectivamente. ....	50
Figura 46: Perillas e indicadores de horas punta de las bombas. ....	51
Figura 47: Equipo dosificador e inyección de cloro. ....	52
Figura 48: Panel eléctrico del pozo tipo noria ubicado en la planta del APR. ....	53
Figura 49: Estanques de cloro repuestos con solución. ....	54
Figura 50: Equipo analizador de niveles de cloro. ....	55
Figura 51: Pistón de manguera a presión para hacer el lavado del estanque. ....	56
Figura 52: Repuestos de cañerías para reemplazar en medidores y en matriz. ....	57
Figura 53: Imagen referencial de la interfaz de la aplicación Polaris Navigation GPS. ...	60
Figura 54: Trazado red APR Huatulame. ....	62
Figura 55: Trazado con puntos singulares red APR Huatulame. ....	62
Figura 56: Trazado red estanque elevado APR San Marcos. ....	63
Figura 57: Trazado y puntos singulares red estanque elevado APR San Marcos. ....	63
Figura 58: Trazado red estanque semi-enterrado APR San Marcos. ....	64
Figura 59: Trazado y puntos singulares red estanque semi-enterrado APR San Marcos. .....	64
Figura 60: Vista satelital sector La Isla con problemas de altas presiones. ....	70
Figura 61: Resultados de modelación de altas presiones en sector La Isla. ....	70
Figura 62: Terreno para ubicar la ampliación de la red en APR Huatulame. ....	71
Figura 63: Lugar con bajas presiones en sector Vista Hermosa, San Marcos. ....	72
Figura 64: Resultados de modelación de bajas presiones en sector Vista Hermosa. ....	72
Figura 65: Plano referencial de ubicación válvula reductora. ....	74
Figura 66: Modelamiento de la corrección de altas presiones sector La Isla. ....	76
Figura 67: Trazado de la ampliación de red de distribución en Huatulame. ....	79
Figura 68: Modelación del trazado ampliación de red de distribución en Huatulame. ....	81
Figura 69: Plano de ubicación referencial de grifos en ampliación de red APR Huatulame. .....	82
Figura 70: Ampliación red APR Huatulame con Grifo 1 (G1) funcionando. ....	83
Figura 71: Ampliación red APR Huatulame con Grifo 2 (G2) funcionando. ....	83
Figura 72: Ampliación red APR Huatulame con Grifo 3 (G3) funcionando. ....	83
Figura 73: Plano referencial de ubicación bomba presurizadora. ....	84
Figura 74: Curva referencial característica de la bomba presurizadora sugerida. ....	87
Figura 75: Modelamiento de la corrección de bajas presiones sector Vista Hermosa. ...	87
Figura 76: Tapa de cámara sugerida. ....	88
Figura 77: Válvula reductora de presión pilotada. ....	89
Figura 78: Unión autobloqueante de tubería PVC a válvula reductora. ....	90
Figura 79: Adaptador para PVC con goma. ....	90
Figura 80: Tubo Brida - Brida para conexión a tubería PVC. ....	91
Figura 81: Conexión tipo T. ....	92
Figura 82: Conexión tipo codo (curva). ....	92
Figura 83: Válvula de compuerta elastomérica. ....	94
Figura 84: Tubería de PVC 110mm. ....	95
Figura 85: Grifo Brida Intermedia 100. ....	96
Figura 86: Curva Patín BB 100x1/4 PN-10/16. ....	96
Figura 87: Equipo presurizador Delta Basic. ....	97
Figura 88: Perfiles con dimensiones del equipo presurizador Delta Basic. ....	98
Figura 89: Curva característica de funcionamiento equipo presurizador Delta Basic. ....	98

## Índice de tablas

Tabla 1: N° de habitantes y arranques en proyección a 10 años APR Huatulame.....	77
Tabla 2: Cuadro de cálculo resumen población proyectada APR Huatulame. ....	77
Tabla 3: Cálculo de dotaciones para red APR Huatulame. ....	78
Tabla 4: Datos nodos de ampliación de red APR Huatulame.....	79
Tabla 5: Características de los tramos ampliación red APR Huatulame. ....	80
Tabla 6: Consumo por nodos de ampliación de red Huatulame.....	80
Tabla 7: Distancia de nodo a grifo más cercano en ampliación red APR Huatulame.....	82
Tabla 8: Datos levantados en terreno red APR Huatulame.....	103
Tabla 9: Datos levantados en terreno red estanque elevado APR San Marcos.....	104
Tabla 10: Datos levantados en terreno red estanque semi-enterrado APR San Marcos. .....	105
Tabla 11: Características por tramo de red APR Huatulame.....	107
Tabla 12: Características por tramo de red estanque elevado APR San Marcos.....	108
Tabla 13: Características por tramo de red estanque semi-enterrado APR San Marcos. .....	109
Tabla 14: Volúmenes de agua producidos y facturados año 2021 APR San Marcos. .	110
Tabla 15: Consumo por nodos red APR Huatulame. ....	111
Tabla 16: Consumo por nodos estanque elevado red APR San Marcos. ....	112
Tabla 17: Consumo por nodos estanque semienterrado red APR San Marcos. ....	113
Tabla 18: Alturas y niveles de agua estanque semi-enterrado APR Huatulame. ....	114
Tabla 19: Alturas y niveles de agua estanque elevado APR San Marcos.....	114
Tabla 20: Alturas y niveles de agua estanque semi-enterrado APR San Marcos. ....	115
Tabla 21: Nuevos consumos por nodo en ampliación de red APR Huatulame. ....	115
Tabla 22: Presiones por nodo red APR Huatulame.....	117
Tabla 23: Presiones por nodo red estanque elevado APR San Marcos.....	118
Tabla 24: Presiones por nodo red estanque semi-enterrado APR San Marcos. ....	119
Tabla 25: Presiones por nodo ampliación de red APR Huatulame.....	120

# 1. Introducción

## 1.1 Motivación

En la actualidad, producto de diversos factores como el cambio climático, mala gestión del recurso del agua o falta de legislación medioambiental apropiada, en muchos sectores rurales de Chile, y especialmente en la zona norte del país, se está viviendo una crisis hídrica de grandes proporciones, la que incluso está afectando los estándares mínimos de calidad de vida para los habitantes de estas zonas perjudicadas, ya que se está vulnerando uno de los derechos humanos más importantes y a la vez básico, que es el acceso a agua potable para el consumo humano.

Muchas de las comunidades rurales del norte del país, que están siendo afectadas por la crisis hídrica actual, están viendo como están disminuyendo de forma notoria los niveles de agua en fuentes naturales de extracción que han existido por mucho tiempo (como caudales de ríos o napas subterráneas), lo que ha llevado que en el presente los pobladores de estas zonas se tengan que abastecer de agua potable de formas no convencionales, por ejemplo, a través de camiones aljibes dispuestos por autoridades locales que transportan el agua desde otras localidades y comunas. Lo anterior se realiza en forma directa a los distintos hogares o también abasteciendo los estanques de almacenamiento de cada sistema de Agua Potable Rural (APR); también se da el caso de que algunas localidades, a través de recursos provenientes de los municipios a los cuales pertenecen, deben comprar el agua a otros pueblos que cuentan con un superávit del recurso, lo que claramente deteriora la calidad de vida de los habitantes de estas zonas rurales, ya que tienen de forma constante en su diario vivir la inseguridad de que si en el futuro al corto y mediano plano tendrán o no la cantidad de agua necesaria para vivir de forma digna y tranquila.

Con fecha 7 de julio de 2022, bajo el decreto N°109 del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y la Dirección General de Agua (DGA), se declaró a toda la región de Coquimbo como zona de escasez hídrica por un período de un año. Este decreto se publica con el objetivo de reducir al mínimo los daños generales derivados de la sequía y, especialmente, para garantizar el consumo humano del recurso hídrico, su correcto saneamiento y también el uso doméstico de subsistencia.

Bajo el contexto descrito anteriormente, aprovechando los resultados del programa de prácticas profesionales realizado en mes de febrero del año 2022 en zonas con problemas de existencia, acceso, gestión y administración de agua potable para el consumo humano, se desarrollará este trabajo de título práctico-teórico, para hacer una continuación y profundización del trabajo realizado por estudiantes del Departamento de Ingeniería Civil (DIC) de la Universidad de Chile, de forma de realizar un levantamiento de información para realizar un mejoramiento integral en los variados aspectos que involucran todas las actividades desarrolladas por un APR, como por ejemplo, problemáticas a nivel de ingeniería de diseño y funcionamiento de la red de agua potable, el acceso a fuentes de agua disponibles en la zona, el uso correcto de herramienta y equipos hidráulicos para el tratamiento y transporte del agua en las redes, el orden administrativo que debe llevar un sistema de APR, optimización de recursos (humanos, económicos, materiales), entre otras problemáticas puntuales o generales que puedan presentar cada uno de los APR estudiados.

En cuanto a los casos de estudio seleccionados para este trabajo, ambos pertenecen a la provincia del Limarí en la región de Coquimbo. Uno de los APR es el de San Marcos ubicado al norte de la comuna de Combarbalá, el que, según datos proporcionados por el personal administrativo del comité, cuenta con una población aproximada de 2.400 habitantes que se traducen en 482 arranques conectados a la red de distribución de agua potable; el segundo APR es de Huatulame que se encuentra en la zona sur de la comuna de Monte Patria y, según datos de la secretaría administrativa del APR, tiene aproximadamente 2.750 pobladores que corresponden a 554 arranques domiciliarios abastecidos por el sistema APR.

## **1.2 Objetivo general**

El objetivo global de este trabajo de título es realizar un levantamiento de información sobre la situación actual de los sistemas de Agua Potable Rural (APR) Huatulame y San Marcos, con el propósito de identificar las limitantes y brechas existentes que impidan un funcionamiento óptimo de los APRs, permitiéndoles garantizar la calidad, continuidad y cantidad en el servicio de abastecimiento de agua potable a las comunidades rurales dependientes de los APRs estudiados.

## **1.3 Objetivos específicos**

A continuación, se enlistan los objetivos particulares del trabajo de título, los que en su conjunto ayudarán a conseguir el objetivo general:

- Conocer el contexto de los fenómenos de sequía y déficit hídrico, además de la historia y estado actual del programa de APR que se desarrolla en el país y específicamente en la zona de estudio.
- Estudiar y determinar las características de los APR de Huatulame y San Marcos, como infraestructura (estanques, redes de cañerías, matrices) y herramientas o maquinarias (bombas de impulsión, válvulas, generadores), operación y capacidades del sistema propias de cada APR.
- Realizar un levantamiento de información para la creación de un catastro de cada APR que permita realizar una modelación computacional de cada sistema, reflejando su situación actual y así visualizar su estado de funcionamiento técnico.
- Determinar las principales problemáticas, limitaciones y carencias que provoquen las brechas existentes para cada APR en relación a un correcto funcionamiento del sistema según la normativa de diseño asociada. Esto mediante un diagnóstico preliminar y luego mediante una modelación en el software Epanet que permitan determinar problemáticas técnicas.
- Diseño bajo el contexto de ingeniería conceptual de los principales requerimientos, obras e instalaciones que se necesiten en cada uno de los APR para otorgarles soluciones y un mejoramiento integral a los sistemas en estudio.

## **1.4 Metodología y alcances**

Para caracterizar los aspectos que se estudiarán en este trabajo de título y precisar los efectos y resultados que se buscan obtener, a continuación, se especifican de forma ordenada las acciones que componen la metodología de trabajo que se llevó a cabo y el

alcance de estas, para lograr los objetivos generales y específicos que fueron planteados anteriormente.

- Revisión bibliográfica: mediante la lectura y el análisis de bibliografía relacionada al trabajo de título, se estudiaron las principales cualidades que caracterizan el funcionamiento de un APR en temas como producción y distribución de agua potable, infraestructura y sistemas de operación, cantidad, continuidad y calidad del servicio, entre otros.
- Levantamiento de información: se realizó un catastro detallado del actual funcionamiento que tienen los APRs, características de su población y las zonas geográficas donde se encuentran emplazadas las localidades, para estudiar todos los factores que puedan afectar positiva o negativamente el funcionamiento de los APRs. El catastro se realizó a través de la información recolectada en la bibliografía además de visitas a terreno a las localidades donde se encuentran ubicados los APRs.
- Diagnóstico de las situaciones: luego de confeccionado el catastro se procedió a identificar de forma previa las principales problemáticas de funcionamiento a las cuales están expuestos cada uno de los APR estudiados.
- Modelación de redes: mediante el software Epanet se hizo la modelación del funcionamiento de las redes de distribución de cada uno de los APR en estudio, con el fin de identificar posibles problemáticas técnicas presentes en cada una de las redes.
- Estudio de posibles soluciones: para las problemáticas halladas, se proponen soluciones técnicas desde los distintos rubros a solucionar, los que pueden ser ingenieriles, técnicos, administrativos, entre otros.
- Desarrollo de soluciones factibles: dentro de las soluciones propuestas, se desarrollan y especifican las ideas más concretas en relación a su ejecución de acuerdo a las situaciones que viven cada uno de los APR estudiados. El desarrollo de estas soluciones tiene como objetivo entregar un mejoramiento integral a los APRs, todo esto bajo el nivel de ingeniería conceptual.

## 2. Marco Teórico

En este capítulo se desarrollan las principales bases e ideas que sustentan la realización del trabajo de título, esto a través de la información extraída de la bibliografía seleccionada. Los tres temas globales a abordar son sequía y déficit hídrico, sistemas de agua potable rural (APR) y normativa asociada al diseño de sistemas de APR.

### 2.1 Sequía y déficit hídrico

Actualmente en Chile, sobre todo en la zona centro-norte del país, se están desarrollando dos fenómenos que en muchas ocasiones suelen confundirse en su significado, estos son la sequía y el déficit hídrico. Por una parte, la sequía se define como un fenómeno meteorológico en que existe un déficit en la cantidad de precipitaciones con respecto al registro histórico, lo que, por ejemplo, se plasma en situaciones como el caudal de agua que transportan los ríos. Por otra parte, la escasez hídrica depende de las decisiones que se tomen con respecto del uso del agua (Van Loon et al., 2013; Van Loon et al., 2016).

Las sequías se determinan cuando existe una disminución con respecto al registro histórico de las precipitaciones (sequía meteorológica) o del caudal presente en los ríos (sequía hidrológica) (Center for Climate and Resilience Research (cr2), 2020). El fenómeno de sequía meteorológica que se presenta en Chile entre las regiones de Coquimbo y de la Araucanía ha experimentado un déficit de precipitaciones cercano al 30%, la persistencia temporal y la extensión espacial de la actual sequía son extraordinarias en el registro histórico, razones por las cuales se le ha denominado a este fenómeno mega-sequía (Garreaud et al., 2017; Garreaud et al., 2019).

Un factor que agrava las condiciones de sequía es el calor y es que en sectores de valle y cordillera en la zona norte y centro del país se ha experimentado un gradual calentamiento desde mediados de la década del 70. Las temperaturas máximas se han incrementado de manera pronunciada en los últimos 10 años, siendo aún más notorio en zonas sobre los 1.000 m de altura. Con lo anterior, la mega sequía actual se desarrolla en la década más cálida del registro histórico en Chile central, donde la mayoría de las estaciones meteorológicas en el valle central y la precordillera presenta temperaturas máximas entre 0,5 °C y 1,5 °C por sobre la temperatura normal climatológica estimada entre los años 1970 y 2000 (Center for Climate and Resilience Research (cr2), 2015).

Un impacto claro de la mega-sequía en los recursos hídricos se observa en que la cantidad de agua que fluye en los ríos de la zona central del país se ha visto reducida en consecuencia directa al déficit de precipitaciones actual, cuyo efecto también se muestra en lagos, embalses, niveles de nieve y aguas subterráneas. Como dato, entre los años 2010 y 2014, el déficit promedio en los caudales en los ríos de las regiones de Coquimbo y Valparaíso alcanzaba valores máximos cercanos a 70% (Center for Climate and Resilience Research (cr2), 2015).

Como respuesta al fenómeno de sequía, los habitantes de la zona centro sur de Chile reconocen que este efecto está afectando sus vidas cotidianas, con lo que la población responde a esta situación con diversas prácticas, ya sean a nivel de gobierno o sector público, entes privados o directamente por la sociedad civil. El gobierno del año 2014 estableció algunas medidas para enfrentar la emergencia en el corto plazo, entre las que destacan (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2014):

- Declaración de zonas de escasez hídrica por parte del MOP.

- Coordinación con Gobiernos Regionales (GORE) para desarrollar planes de emergencia por escasez hídrica.
- Coordinación con los ministerios de Agricultura, Obras Públicas, Energía, Medio Ambiente y Desarrollo Social.
- Diagnóstico de los efectos de la escasez hídrica en regiones, a través de reuniones con representantes de organizaciones de usuarios de agua.
- Fondos especiales de los FNDR (Fondos Nacionales de Desarrollo Regional) para complementar inversiones destinadas a mejorar disponibilidad de agua y su uso eficiente en riego en las regiones afectadas.

También, por parte de organismos públicos, se establecen los principales desafíos y medidas a largo plazo con respecto a enfrentar la condición de sequía, los que son (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2014):

- Incorporar en la constitución el reconocimiento de las aguas como un bien nacional de uso público, cualquiera sea el estado y lugar en que se encuentre.
- Avanzar en una normativa que haga posible la existencia de la figura de los recursos hídricos con fines sociales.
- Modificar la normativa para redefinir la utilización de los acuíferos sobre otorgados de acuerdo al uso efectivo del derecho.
- Establecer una normativa que permita el intercambio de derechos provisionales y eventuales, por aquella proporción no utilizada de los derechos.
- Avanzar en el desarrollo de grandes embalses en diferentes regiones del país.
- Incentivar la infiltración de napas, de modo de generar verdaderos embalses naturales en los acuíferos.
- Implementación de mesas del agua en las principales regiones, incorporando a los actores locales relevantes en la temática.
- Mejorar la gestión del agua para el riego.
- Implementar un plan nacional de construcción de captadores de aguas no aprovechadas.
- Avanzar hacia una gestión integrada de los recursos hídricos en las cuencas (ordenamiento territorial).

Las principales dificultades que nacen para mitigar los efectos de la mega-sequía a nivel de políticas públicas es que existe una gran diversidad de actores y niveles de jerarquía que dificulta la comunicación y el acuerdo por prácticas a llevar a cabo y su respectiva eficacia. También, una problemática es que la legislación actual no define a la sequía

como un evento recurrente y prolongado, haciendo difícil tomar decisiones que ataquen de forma persistente este fenómeno y se logre revertir en parte sus efectos negativos para la población. Por lo anterior, es importante agilizar la instauración de organismos de coordinación institucional a nivel nacional que sean responsables de la gestión de los recursos hídricos en el país.

Por otra parte, el déficit hídrico es un término que involucra procesos de distintas índoles, como hidrológicos, meteorológicos y, también, los usos que se le da al agua (Zambrano-Bigiarini, 2019 a y b). Si se busca establecer si una zona se encuentra afectada por escasez hídrica, se debe conocer el funcionamiento y desarrollo de los principales procesos hidrológicos que ocurren a nivel de las cuencas y así cuantificar la oferta y demanda de agua dulce.

La oferta o disponibilidad de agua para un territorio depende de precipitaciones, aportes de glaciares, acuíferos subterráneos, embalses, vegetación y de cómo todos estos flujos transitan a través de una cuenca (Center for Climate and Resilience Research (cr2), 2020). Se debe hacer énfasis en que la estimación de la oferta de agua superficial es una tarea difícil de desarrollar, dado principalmente las complejas y variadas características geográficas y climáticas que tiene Chile en toda su extensión, haciendo compleja la labor de calcular la oferta total de aguas superficiales disponibles.

En cuanto a la demanda, esta depende de los distintos usos que se le da al recurso del agua, entre los que destacan el consumo humano, de animales, de actividades económico-productivas (agricultura, minería e industrial) y de los ecosistemas naturales propios de las cuencas, de los cuales no se tiene información sobre el comportamiento actual ni histórico (Escenarios Hídricos, 2018), por lo que también se convierte en una difícil misión calcular valores concretos de demanda de agua.

## **2.2 Sistemas de Agua Potable Rural (APR)**

### **2.2.1 Contextualización general de los APR.**

Los sistemas de Agua Potable Rural (APR) son formas de organización a través de comités o cooperativas que son administrados, mantenidos y operados por los propios habitantes de la comunidad a la cual pertenecen. Estas organizaciones reciben asistencia y asesoría por parte del estado para su funcionamiento, cuyos servicios se mantienen gracias a aportes del sector público y por la aplicación de una tarifa por el consumo de agua potable por parte de los usuarios (MOP, 2019).

El programa de APR, se inicia en 1964 como parte de la respuesta pública a la constatación de que la mayoría de la población rural de la época (un 94% de ella a comienzos de la década del 60) no contaba con agua potable, teniendo secuelas de morbilidad y mortalidad, especialmente infantil, asociadas a la ingesta de agua no potabilizada (MOP, 2015).

El programa de APR es ejecutado por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) perteneciente al Ministerio de Obras Públicas (MOP) y tiene como principales objetivos:

- Dotar de agua potable a la población rural, según criterios de calidad, cantidad y continuidad de acuerdo a la normativa asociada.

- Crear una participación responsable y permanente por parte de los usuarios, para que sea la propia comunidad organizada quién efectúe la administración del servicio.
- Contribuir al desarrollo económico y a la integración social del país.

Para el año 2014 se contabilizan a nivel país 1.581.064 usuarios, de los cuales la región de Coquimbo tiene un total de 155.152 usuarios de APR, siendo las comunas de Ovalle y Monte Patria aquellas con mayor cantidad de usuarios, con 24.632 y 20.720 personas respectivamente. De lo anterior, se calcula que casi el 9% del total de población en Chile se encuentra en régimen APR. La concentración de usuarios de APR se concentra en la zona central del país, particularmente desde la región de Coquimbo hasta la de Los Lagos, teniendo su peak en la región del Libertador General Bernardo O'higgins, con cerca de 280.108 usuarios (Bomberos de Chile, 2014)

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), en el año 2017, del total de la población, se estimaba que la población rural en Chile era de 12,2%, lo que correspondía a cerca de 2,15 millones de personas (INE, 2017), de las cuales aproximadamente un 70% es atendida por programa de APR y el 30% restante es atendido por otros sistemas (organismos públicos, soluciones particulares autorizadas, empresas sanitarias u concesionarias privadas) (MOP, 2018).

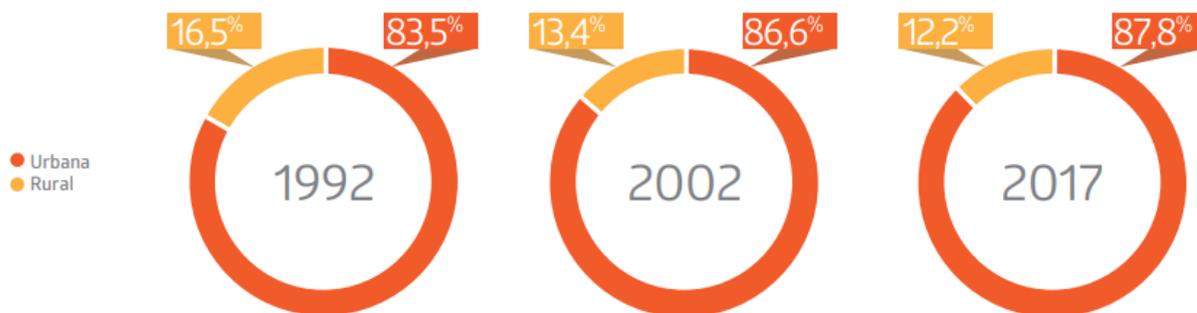


Figura 1: Porcentajes de población por censos, según áreas (INE 2017).

En cuanto a la distribución de la población según áreas por las regiones de Chile, de la zona norte del país, la región de Coquimbo es la que presenta un mayor índice de ruralidad con un 18,8% de la población regional, seguida de lejos por las regiones de Atacama y Arica y Parinacota, con un 9% y 8,3% respectivamente (INE, 2017)

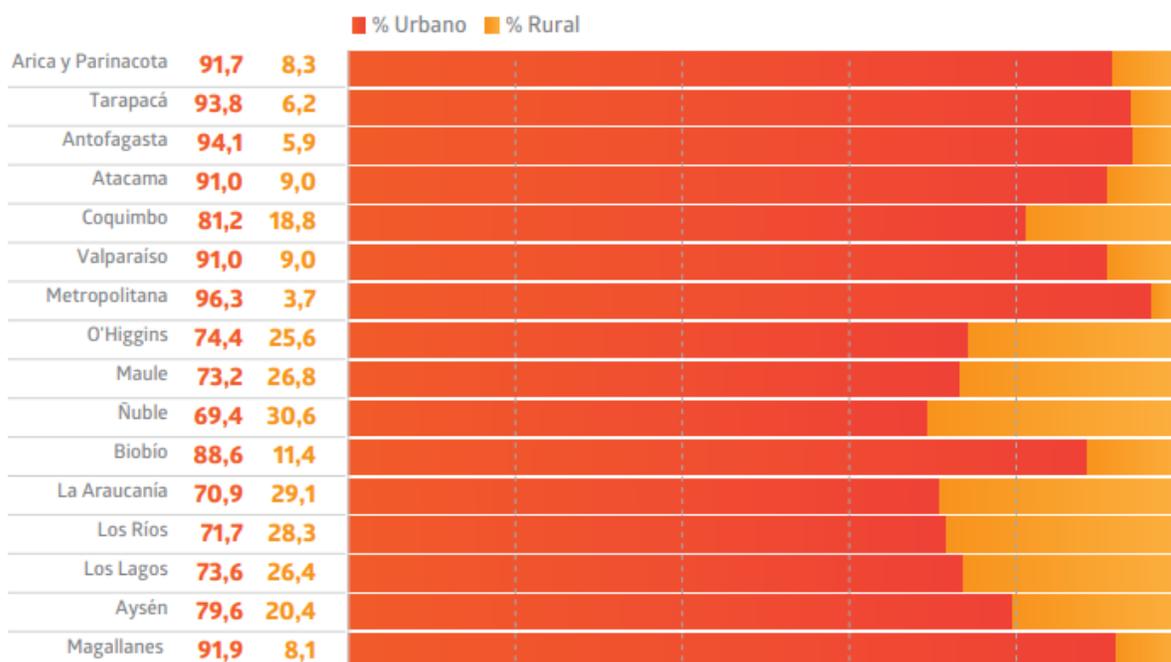


Figura 2: Porcentaje de distribución urbana/rural según región (Censo 2017).

Según la información recabada, para el año 2020 existen 1.962 sistemas de APR en Chile, lo que, según la Subdirección de Servicios Sanitarios Rurales y el MOP, se traduce a que estos sistemas abastecen de agua potable a cerca 1,88 millones de habitante en zonas rurales. Particularmente, en la región de Coquimbo existen 204 APRs, de los cuales 175 se ubican en localidades rurales concentradas (entre 100 y 3.000 habitantes, con densidad mínima de 15 viviendas por km de red), 29 en localidades rurales semi-concentradas (mínimo de 80 habitantes y con una densidad de al menos 8 viviendas por cada km).

### 2.2.2 Situación actual de los APR en Chile.

Si bien el Programa de APR ha cumplido sus objetivos de proveer agua potable en zonas rurales concentradas, teniendo una cobertura completa en estos sectores (Donoso et al., 2015), aún existe un 47,2% de la población rural en Chile que no cuenta con un abastecimiento formal de agua potable, lo que se traduce en 383.204 viviendas que viven en zonas semi-concentradas y dispersas

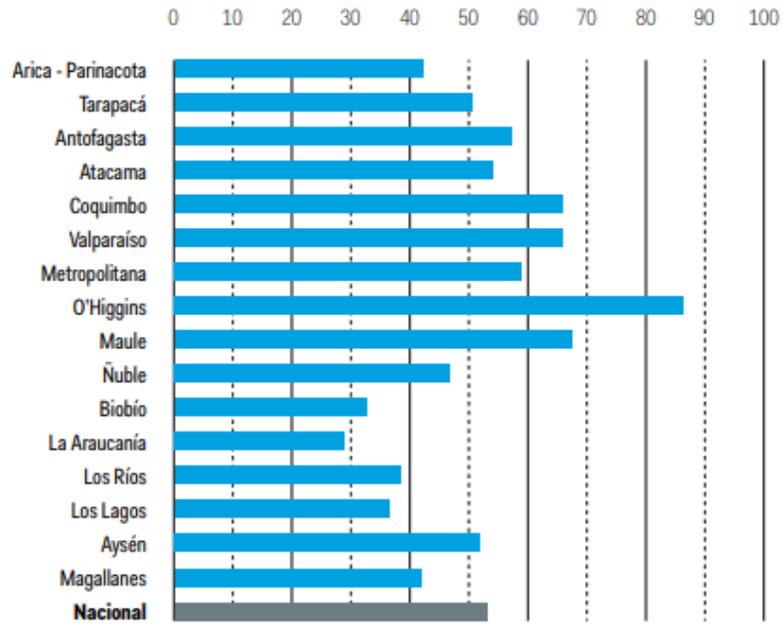


Figura 3: Porcentaje por región de cobertura de agua potable rural en 2017 (INE 2017 - Fundación Amulén 2019).

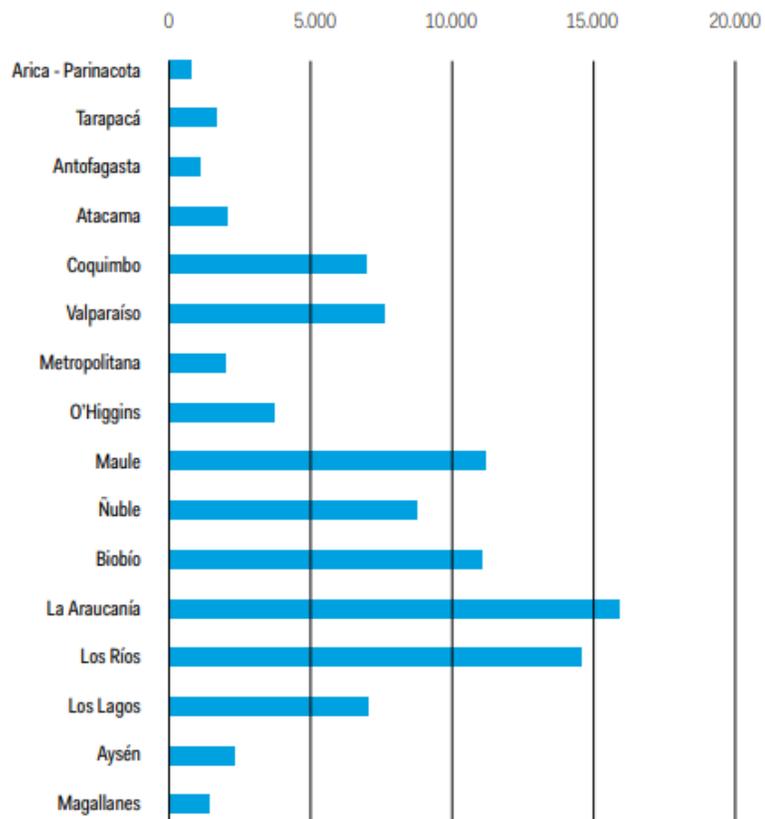
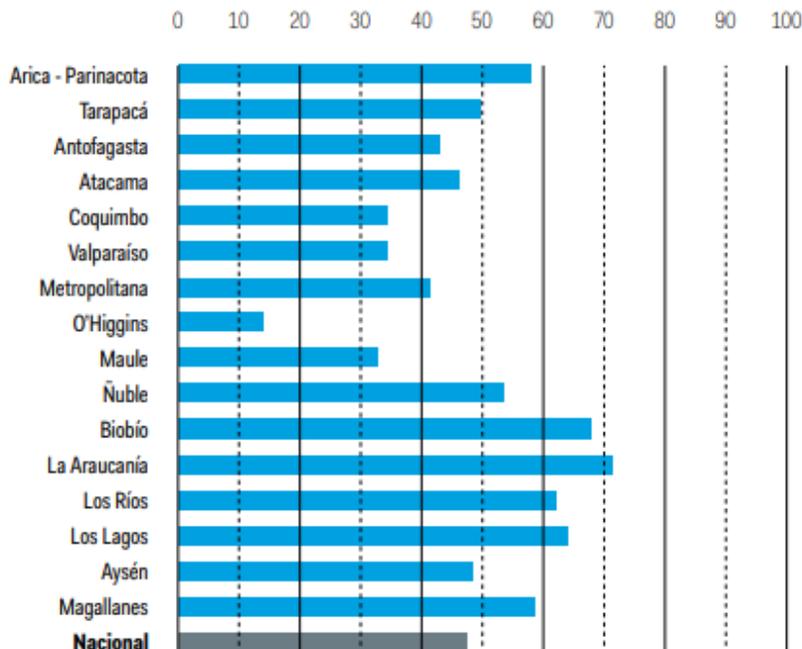


Figura 4: Número de localidades dispersas sin agua potable en 2017 (Fundación Amulén 2019).

La población rural sin abastecimiento formal tiene acceso al recurso mediante fuentes informales como aguas superficiales (ríos, vertientes, esteros y lagos), aguas subterráneas (pozos) y camiones aljibes. Esta situación de no contar con un servicio básico como lo es el acceso al agua potable, ve afectado su desarrollo en múltiples factores como lo es el ámbito económico, educacional, de salud y de la equidad de género (Fundación Amulén, 2019).



*Figura 5: Porcentaje de población rural por región con abastecimiento informal de agua potable (Censo 2017- Fundación Amulén 2019).*

Por otra parte, cerca de un 20% de los APR han presentado interrupciones constantes en el suministro de agua, afectando aproximadamente a cerca de 350.000 personas. Estos problemas en la continuidad del servicio se deben principalmente a fallas operativas, provocadas por la falta de mantenimiento y mejoras los sistemas de APR, derivados de problemas de financiamiento y falta de planificación a mediano y largo plazo. Algunas de las casusas principales en las fallas de los APRs son (Fundación Amulén, 2019):

- Causas de fuerza mayor, como fenómenos naturales (terremotos, crecidas de ríos, entre otros).
- Fallas en infraestructuras, como roturas, obstrucciones, interrupciones de energía eléctrica, etc.
- Por ampliación de redes y/o conexiones.
- Problemas en los arranques, conexiones, uniones, válvulas, piezas especiales, filtros, etc.
- Bajo nivel de agua en estanques, deficiencias de producción, disminución del caudal de producción debido a la sequía.

- Fallas en los equipos, tableros eléctricos, sistemas de bombeo, etc.
- Red de distribución sin agua.

Es importante señalar que estas debilidades de los servicios de abastecimiento de agua potable están relacionadas, más bien, con ámbitos de gestión y no con incidentes en los procesos de producción de agua y su calidad. Por lo anterior, para asegurar la sustentabilidad de los beneficios del programa es preciso abordar las debilidades de gestión de estas organizaciones; es decir, es necesario aumentar la competencia en gestión y administración de los comités y cooperativas.

Dada lo que se vive actualmente sobre la condición de escasez hídrica, esta agrava y afecta la situación del agua potable rural, pues un número importante de sistemas de APR han presentado fallas por condición de sequía. Asimismo, se observa cómo el mundo rural y, principalmente, las comunidades dispersas carecen de infraestructura para contar con el acceso al agua potable en sus viviendas y, por lo mismo, les resulta cada vez más difícil y lejano disponer de este recurso básico, lo que genera altos costos para estas familias (Fundación Amulén, 2019).

Pese a ello, no se tiene conocimiento del estado actual de funcionamiento de estos servicios a lo largo del país. Hoy en día existe una serie de APRs que presentan problemas en la producción y distribución del agua potable producidos principalmente por problemas de escasez y se han visto agravados por una crisis en la gestión desigual respecto al abastecimiento de agua a lo largo del territorio. Dentro de las principales implicancias de la escasez en comunidades rurales, se destaca la disminución de la disponibilidad hídrica y el empeoramiento de calidad del agua en las fuentes de abastecimiento, siendo el uso de camiones aljibes una alternativa que a lo largo de los años ha generado una precarización de las condiciones de acceso al agua, haciéndola insostenible (Chacón, 2021).

### **2.3 Normativa asociada al diseño de sistemas de APR**

En esta subsección se resumen y describen las principales normas y manuales de diseño que son pertinentes para resolver las problemáticas relacionadas a realizar un mejoramiento integral de los APRs en estudio, y para diseñar las soluciones a un nivel de ingeniería conceptual. Se detallan los alcances de las normativas, los principales aspectos destacados y algunos temas que puedan ser aplicados en este trabajo de título.

Una normativa más general para todo sistema de agua potable es la NCh691 del año 2015, que habla sobre los requisitos de diseño para la producción, conducción, almacenamiento y distribución de agua potable. Por otra parte, se tiene el Manual de Proyectos de Agua Potable Rural, publicado el año 2019 por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) perteneciente al Ministerio de Obras Públicas (MOP); este último documento aborda y guía el diseño de proyectos de manera específica para sistemas de APR.

#### **2.3.1 NCh691 of 2015: Agua potable – Producción, conducción, almacenamiento y distribución – Requisitos de diseño**

La norma chilena 691 del año 2015 detalla y explica los requisitos generales mínimos necesario que se deben tener en cuenta para los diseños de sistemas de producción y distribución de agua potable, más específicamente en lo que corresponde a obras

hidráulicas que comprenden desde las fuentes de captación de agua hasta los puntos de entrega y consumo del agua ya potabilizada, lo anterior en aspectos de conducción, regulación, almacenamiento y distribución.

Esta normativa también se aplica en el caso de reestudio de cada componente por separado de todas las secciones que componen un sistema existente de agua potable.

Es importante destacar que esta norma aplica a todo proyecto de obras hidráulicas detalladas anteriormente y, también, a las redes de las instalaciones domiciliarias de agua potable con características de redes públicas, excluyendo los servicios de agua potable rural.

En cuanto a las bases de cálculo en las que se basa esta normativa, señala que se deben tener en cuenta los siguientes tópicos:

a) Generalidades

- El dimensionamiento parcial o total de un sistema de agua potable se debe realizar considerando los conceptos, estadísticas, coeficientes y factores que se indican en las siguientes cláusulas.

b) Estadísticas

- Contar con estadísticas relacionadas a población total, población abastecida por el sistema de agua potable y el crecimiento demográfico asociado. También, contar con datos de producción y consumo de agua potable.
- Los nuevos trabajos deben ser proyectados y dimensionados a partir de estos datos estadísticos, y en caso de no disponer de esta información, se deben utilizar datos de localidades con similares características geográficas, socioeconómicas y poblacionales.
- En caso de no disponer de esta información, se deben establecer valores referenciales con las debidas justificaciones de los proyectistas y aprobadas por los prestadores.

c) Cobertura

- La cobertura que tendrán las obras hidráulicas en un determinado sector corresponde al porcentaje de la población abastecida por el sistema de agua potable con respecto al total de población.

d) Aguas no contabilizadas (ANC)

- Las aguas no contabilizadas (ANC) corresponden a las pérdidas de agua en los distintos puntos de los sistemas de las obras de agua potable, por ejemplo, fugas en las redes, imprecisiones en las mediciones domiciliarias o en los instrumentos de medición del sistema, consumos operacionales, usos indebidos, entre otros.
- El término corresponde es la diferencia entre el volumen de agua producido y el volumen facturado, y se calcula en forma porcentual sobre el total de agua producida.

e) Coeficientes y factores de máximo consumo

- Se deben calcular los coeficientes y factores de máximo consumo, para lo que es necesario contar con información y registros de consumo de agua potable de al menos 5 años de antigüedad del sector en estudio o localidades con similares características.

- Los coeficientes y factores a estimar son el coeficiente del mes de máximo consumo (CMMC); el coeficiente del día de máximo consumo en el mes de máximo consumo (CDMC); el factor del día de máximo consumo (FDMC); el factor de la hora de máximo consumo (FHMC).

f) Dotaciones

- Se debe estimar la dotación de consumo ( $D_c$ ), que relaciona el volumen facturado anual y la población promedio que es abastecida en ese año (365 días).

- Se debe calcular la dotación de producción ( $D_p$ ), que asocia el volumen de agua facturado anual y el promedio de habitantes abastecido en ese año (365 días).

g) Caudales

- Se deben obtener los caudales de diseño, los que son el caudal medio diario de agua potable ( $Q_{md}$ ), el caudal máximo diario ( $Q_{máxd}$ ) y el caudal máximo horario ( $Q_{máxh}$ ).

El sistema de producción tiene las siguientes consideraciones:

- Las fuentes de abastecimiento de agua (superficiales o subterráneas) y las obras de captación para la producción de agua potable deben cumplir con lo establecido en la normativa asociada (NCh777/1 y NCh772/2).
- La capacidad mínima de las obras del sistema de producción (desde las fuentes hasta los puntos de entrega de agua potable al sistema de distribución) deben satisfacer el caudal máximo diario.
- En cuanto a la seguridad en los sistemas de producción, estos deben incorporar la evaluación de riesgos de cada uno de sus componentes tales como disponibilidad de fuentes de abastecimiento y obras de captación, sistemas de tratamiento, conducciones, volúmenes de reserva de agua cruda y agua potable. Lo anterior para asegurar y mantener la continuidad y calidad del servicio, solo pudiendo ser afectadas por causas de fuerza mayor.

Los principales requisitos para el diseño de la conducción son:

a) Generalidades

- Tener en cuenta criterios técnicos y económicos para definir si la conducción se hará en canal abierto o en tuberías a presión, con transporte de aguas crudas o tratadas, por gravedad o por bombeo, etc.
- Considerar los trazados por sectores públicos o privados que proporcionen facilidad de acceso y la menor interferencia posible con otras instalaciones.

- Considerar las condiciones geológicas y características del subsuelo.
  - Adoptar medidas de protección contra la contaminación, debiendo ser conducto cerrado cuando cruce por zonas pobladas o industriales.
  - No se permite la mezcla de agua potable con aguas no potables.
- b) Conducción de producción
- Diseñar para conducir el caudal máximo diario previsto, incluyendo las pérdidas en la conducción y las necesidades propias del tratamiento.
  - La conducción debe ser por escurrimiento en presión, con o sin elevación, privilegiando conductos cerrados o canales abiertos, esto último solo si se trata de aguas crudas.
  - La conducción de aguas tratadas debe ser en conductos cerrados.
  - Solo se permiten conexiones con otras obras de producción o estanques.
- c) Conducción de distribución
- Diseñar las redes para la condición de máximo caudal entre el consumo máximo horario y el consumo máximo diario más la demanda de agua para incendio.
  - Se debe diseñar solo con escurrimiento en presión.
  - Las conexiones entre tuberías deben tener un diámetro interior mínimo de 90mm.

Sobre el diseño de estanques, las principales consideraciones son:

- El almacenamiento del agua (potabilizada o cruda según corresponda a un sistema de distribución o producción respectivamente) se debe hacer en estanques, los que deben estar ubicados en un área específica según distintos aspectos como las características geográficas de la zona, costos de localización, futuras ampliaciones de redes, accesibilidad, entre otros.
- Otros factores importantes a tener en cuenta para el diseño de estanques son la materialidad (hormigón, metálicos), su condición de ubicación e instalación (enterrados, semienterrados, elevados) y el volumen de agua que almacenarán (considerando volúmenes de regulación, incendio, reserva y con todo lo anterior, el volumen propio del estanque del sistema de distribución).

En cuanto al diseño del sistema de distribución de agua potable, se deben tener en cuenta aspectos como los que se enlistan a continuación:

- Considerar las condiciones topográficas de la zona, la población a abastecer, la condición de máximo caudal entre el caudal máximo horario y caudal máximo diario, presiones generadas en la red, entre otros.

- El área a cubrir por el sistema debe estar sectorizado y subdividido en cuarteles (acuartelamiento), para hacer un trazado e instalación de tuberías que conduzcan el agua potable según cada zona única dentro de la localidad en que se ubica el sistema.
- El trazado para la ubicación de tuberías debe ser por aceras, a excepción de los cruces de calzadas donde se debe ver cada caso particular; la profundidad mínima de la red de agua potable debe ser de 1,1 m.
- Para la elección de tuberías se deben ocupar diámetros interiores mínimos de 90 mm (con excepciones fundadas en que se pueden aceptar diámetros internos de 75 mm).
- En cuanto a presiones de diseño (mínima, máxima y de servicio), estas se deben verificar para los caudales de diseño, así como la inclusión de grifos de incendio, válvulas (de corte, desagüe, ventosas) y todo elemento complementario a la red de distribución.

Sobre los materiales a utilizar para el diseño estos deben tener las siguientes consideraciones:

- La selección de los materiales debe considerar la calidad del agua y la del terreno, la demanda de la red, presiones de trabajo, diámetros, facilidad de reparación, entre otros.
- Todos los materiales del sistema deben cumplir con las normas chilenas aplicables. En caso de que no exista una norma nacional, se cumplir con normas internacionales, previa autorización del organismo estatal respectivo.

### 2.3.2 MOP - Manual de proyectos de agua potable rural 2019

Este documento es elaborado y publicado en el año 2019 por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través de su organismo la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) y tiene como fin principal ser una guía para el diseño de obras hidráulicas por parte de los organismos responsables de este tipo de proyectos. Este manual toma como base el documento publicado el año 2014 por la Subdirección de Agua Potable Rural del MOP denominado "Diseño y Contenido de Proyectos de Sistemas de Agua Potable Rural", actualizando en cuanto a criterios de diseño lo especificado en documentos anteriores y complementa lo señalado en la Ley 20.998 sobre los Servicios Sanitarios Rurales.

Entrando en temas propios del manual, este indica que la confección de un diseño de ingeniería de APR comprende dos etapas fundamentales, las que son la fase de anteproyecto y la fase de proyecto propiamente tal.

Para la etapa de ante proyecto se deben recabar una serie de antecedentes generales y también información levantada en terreno tales como:

- a) Información del lugar: ubicación política-administrativa, rutas o vías de acceso, medios de transporte, datos personales de autoridades locales, etc.

- b) Aspectos del medio físico: clima y meteorología, geología, hidrología y topografía de la zona.
- c) Catastro general de infraestructura existente de agua potable rural: sistemas de captación, tratamiento, conducción y distribución de agua, sistemas eléctricos, estadísticas de producción, consumo y pérdidas de agua potable, etc.
- d) Catastro de viviendas: sectorización, número de habitantes y datos de ellos, datos de la vivienda (como tenencia de la propiedad, calidad, materialidad, forma de abastecimiento de agua potable, servicios sanitarios, si dispone de energía eléctrica, etc.).
- e) Desarrollo de proyectos complementarios de otros servicios, los que pueden ser de la municipalidad, vialidad, SERVIU, GORE, entre otros.
- f) Descripción detallada de las fuentes de abastecimiento de la localidad, las que pueden ser superficiales (como ríos), subterráneas (sondaje a napas) u otros tipos de abastecimiento (como camiones aljibes, aguas lluvias, entre otros).
- g) Selección de la bomba y sus respectivas especificaciones de acuerdo a las necesidades de diseño.
- h) Verificación de los aspectos que aseguren la cantidad y calidad de agua potable para los usuarios del APR, esto de acuerdo a la normativa vigente respectiva.
- i) Realización de un levantamiento topográfico de la zona poblada, indicando curvas de nivel, georreferenciaciones y todos los aspectos necesarios que aseguren un reflejo realista de la localidad.
- j) Se debe realizar mínimo un pozo de reconocimiento cada 400m del trazado de las cañerías que formen las redes de impulsión, aducción y distribución de agua. En el caso de los recintos donde se ubiquen estanques de almacenamiento, será necesario realizar un estudio de mecánica de suelos con un pozo de reconocimiento para cada recinto.

Por otra parte, en las bases de cálculo se indican los conceptos, estadísticas y datos que se deben estimar para hacer un correcto dimensionamiento parcial o total del sistema de agua potable. A continuación, se indica lo necesario para realizar el dimensionamiento mencionado:

a) Generalidades

El dimensionamiento parcial o total del sistema de agua potable se debe efectuar teniendo en consideración los conceptos, estadísticas y los coeficientes que se describen a continuación.

b) Proyección de demanda y periodo de diseño

Se necesita definir la densidad de habitantes (habitantes por vivienda), la población base (original antes del proyecto) y la tasa de crecimiento. Con esto se obtiene la población proyectada y la población futura final al número de años que requiera el proyecto.

c) Dotación

Para el caso de sistemas existentes se deben emplear las estadísticas de consumo de los últimos 12 meses para el cálculo de la dotación media. En caso de sistemas nuevos, pueden dimensionarse mediante la utilización de las estadísticas existentes de localidades con similares características geográficas, socioeconómicas y poblacionales.

d) Cobertura

Corresponde al porcentaje de la población que es abastecida con respecto a la población total de la localidad.

e) Aguas no contabilizadas (ANC)

Hacen alusión a la diferencia entre el volumen de agua producida y el volumen de agua facturado del APR, esto con respecto al volumen total de agua producida. En este ítem se consideran las pérdidas de agua en las instalaciones, errores en la metodología de mediciones, robos de agua por parte de terceros y consumos operacionales.

f) Coefficientes y factores de máximo consumo

Los coeficientes y factores de máximo consumos a definir son: el coeficiente del mes de máximo consumo (C.M.M.C.), coeficiente del día de máximo consumo en el mes de máximo consumo (C.D.M.C.), el factor del día de máximo consumo (F.D.M.C.) y el factor de la hora de máximo consumo (F.H.M.C.).

g) Cálculo de dotaciones

Se debe estimar la dotación de consumo ( $D_c$ ), que corresponde al cociente entre volumen facturado anual y el promedio de la población abastecida multiplicado por un factor de 365 (días del año); y la dotación de producción ( $D_p$ ), que es el cociente entre volumen de agua producido anual y el promedio de la población abastecida multiplicado por un factor de 365 (días del año).

h) Caudales

Se deben calcular: el caudal medio diario de agua potable ( $Q_{md}$ ), el caudal máximo diario ( $Q_{maxd}$ ) y el caudal máximo horario ( $Q_{maxH}$ ).

Un aspecto importante a estudiar es la conducción, la que se divide en conducción primaria (entre fuentes de abastecimientos y elementos de regulación, incluyendo estos últimos) y conducción secundaria (entre elementos de regulación y la red de distribución del agua potabilizada). Datos relevantes sobre la conducción es que el diámetro se debe diseñar para una velocidad mínima de 0.6 m/s y velocidad máxima de 3.0 m/s; en tanto, el diámetro mínimo de las líneas de conducción es de 0.75”.

También, el manual indica que se deberán determinar los tratamientos necesarios para cumplir con la NCh409 of 2005. Este tratamiento es el sistema de cloración que trabaja principalmente en base a hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio. Para el caso de sistemas con caudales bajos, el tratamiento con sistema de cloración se hará mediante equipos dosificadores de cloro y en la red de distribución se deberá ver la posibilidad de definir puntos de re cloración según la necesidad propia del sistema.

En cuanto a los aspectos de regulación y almacenamiento, el manual establece lo siguiente:

- a) Los sistemas de agua potable deben poseer estanques de regulación para realizar compensaciones entre la producción máxima diaria y el consumo máximo diario, disponiendo una reserva en caso de ser necesaria.
- b) Los volúmenes a tener en cuenta son el volumen de regulación (se determina por las curvas de conducción primaria y de consumo del día de máximo consumo); el volumen de incendio (dependiendo de la demanda de agua y el tiempo de duración del incendio); el volumen de estanque final corresponde al volumen de regulación o a la suma del volumen de regulación y el volumen de incendio, según las distintas características de cada caso en específico.
- c) En cuanto a la condición de instalación, los estanques pueden ser del tipo elevados o semienterrados, según los requerimientos técnicos y la topografía de la zona. Las materialidades y alturas disponibles según diseño son: hormigón armado semienterrado, hormigón armado elevado a 25 m, metálico elevado a 15 m, metálico elevado a 20 m y metálico elevado a 25 m.
- d) Sobre los volúmenes de los estanques, estos dependen de la materialidad y su condición de instalación, de acuerdo a esto los volúmenes existentes son 15 m<sup>3</sup>, 20 m<sup>3</sup>, 25 m<sup>3</sup>, 30 m<sup>3</sup>, 40 m<sup>3</sup>, 50 m<sup>3</sup>, 75 m<sup>3</sup>, 100 m<sup>3</sup> y 200 m<sup>3</sup>. Para el caso de estanques con volúmenes de almacenamiento menores a 15 m<sup>3</sup> se recomienda usar materialidades como plásticos u otros afines debidamente aprobados por la autoridad respectiva.

Para las redes de distribución, el manual señala que se debe estudiar a través de una modelación mediante un software computacional, en el cual se deben obtener al menos las variables de presiones, caudales, velocidades de flujo y demandas. Las principales características que debe tener la red de distribución de agua potable son:

- a) Las presiones de trabajo límites son 15 mca como mínimo y 70 mca como máximo.
- b) Se deben contemplar la instalación de válvulas de corte en ambos costados de atravesos de rutas pertenecientes a vialidad y se consideran válvulas de desagüe en los puntos más bajos de la red.
- c) Sobre las tuberías, el diámetro mínimo nominal debe ser de 75 mm, aunque para pasajes pueden aceptarse diámetros nominales de 63 mm.

- d) Los materiales para tuberías de impulsión o conducción expuestas a la intemperie deben usarse acero galvanizado, acero al carbono o HDPE. Las redes de distribución deben poseer una materialidad de PVC o HDPE, las que deben ser de calidad mínima Clase 10 o Presión Nominal 10 (PN10).
- e) Los trazados de la red de agua potable deben estar a una profundidad mínima de 1 m sobre el borde superior o clave de la tubería. Además, por seguridad, cualquier canalización paralela deben ubicarse a 0,3 m como mínimo del diámetro exterior de las tuberías de agua potable, siempre asegurando que no sea sobre las mismas tuberías. Los trazados paralelos a redes de alcantarillado, debe existir una distancia libre de 2 m como mínimo, a excepciones puntuales aprobadas por la autoridad.
- f) Las cámaras ubicadas en rutas pertenecientes a la Dirección de Vialidad, deben ser fabricadas y construidas de acuerdo a las exigencias de ese organismo. Las cámaras situadas en caminos vecinales pueden ser instaladas mediante un sistema guarda-llave y loseta con dimensiones mínimas de 0,3 m x 0,3 m o en cámaras prefabricadas con bloques de hormigón o albañilería de ladrillos.
- g) Los arranques domiciliarios deben diseñarse de acuerdo a los planos tipos provistos por la DOH, en materialidad de cañerías de cobre, HDPE o PVC, con un diámetro mínimo de 19 mm. En el caso de infraestructura pública (como escuelas, postas, jardines infantiles, etc.) se podrán ocupar otros diámetros convenientes según el cálculo respectivo. Los medidores serán ubicados de forma preferente en la línea de cierre o a una distancia no superior a 1 m dentro del sitio del usuario.

En cuanto al proyecto eléctrico, este debe ser realizado por un profesional especialista en el área, debidamente certificado por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles. Por otra parte, se debe asegurar la factibilidad de la energía en la zona a abastecer, proyectando todo lo necesario para tener una estabilidad en el voltaje, esto último si la rentabilidad económica del proyecto lo permite. Algunos de los cálculos necesarios son:

- a) Potencia de la fuente de energía.
- b) Capacidad de la subestación.
- c) Correcciones de factor de potencia, alimentadores, cable de fuerza y control.
- d) Estudio de resistividad del suelo y mallas de tierra.
- e) Se podrá disponer de sistemas alternativos propios de abastecimiento eléctrico tales como aerogeneradores (energía eólica), paneles fotovoltaicos (energía solar) o lo necesarios según las características climatológicas y geográficas de la zona.

El estudio debe incorporar los aspectos económicos que involucra la gestión, desarrollo y puesta en marcha del sistema de agua potable. Dentro de los costos involucrados se encuentran:

- a) Costos de administración que son principalmente los gastos por parte del Comité para llevar el orden administrativo del organismo. Por ejemplo, están honorarios del contador que lleva los libros contables, acciones de medición y cobros por agua vendida mensualmente, adquisición de útiles de oficina, entre otros.
- b) Costos de operación generados principalmente por consumo de energía eléctrica, consumo de productos químicos para saneamiento, combustible, sueldos del personal, muestreos u análisis solicitados por la autoridad sanitaria.
- c) Costos de mantenimiento están asociados a tareas preventivas de mantención o reparaciones menores, que requieren materiales y mano de obra para su ejecución.
- d) Costos de reposición debido a renovación de equipos, redes, medidores e infraestructura en general.

La tarifa estimada se calcula de acuerdo a lo establecido en Reglamento de la Ley 20.998, indicando los valores de costo fijo (\$/arranque), cargo variable (\$/m<sup>3</sup>) y cargo variable por sobre consumo (\$/m<sup>3</sup>). Con esta estimación primaria, será la Superintendencia de Servicios Sanitarios u otro organismo afín quien defina la tarifa oficial.

### 3. Descripción de los casos de estudio

En este capítulo, se describen los sistemas de APR en estudio, señalando sus principales características. Por otra parte, se detallan los sistemas de producción y operación de agua, además de la infraestructura con la que cuenta cada comité. Parte de la información presentada en este capítulo fue extraída de los informes realizados por Sebastián del Pino y Franco Alarcón, quienes desarrollaron sus prácticas profesionales en los APR San Marcos y Huatulame, respectivamente, en febrero del año 2022. Cabe destacar que la información presente en dichos informes de prácticas se verificó y complementó con los datos e información levantada en las visitas a terreno hechas por el alumno memorista en compañía del profesor guía durante el período de realización de este trabajo de título. Las visitas de terreno a las localidades respectivas de los APRs, se realizaron en primera instancia la semana del lunes 22 al viernes 26 de agosto de 2022 y en segunda instancia la semana del lunes 31 de octubre al viernes 04 de noviembre de 2022.

#### 3.1 APR San Marcos

##### 3.1.1 Contextualización

El pueblo de San Marcos pertenece a la comuna de Combarbalá, situándose en la provincia de Limarí, cuarta región de Coquimbo, Chile. Esta localidad se ubica de forma más específica a un costado del río Huatulame, el cual corresponde al efluente desaguado por el embalse Cogotí. El pueblo cuenta con una población cercana a los 2.400 habitantes, los que en su totalidad son abastecidos por el Comité de Agua Potable Rural San Marcos, quien es la entidad en forma de personalidad jurídica independiente encargada de gestionar, operar y mantener la producción y abastecimiento de agua potable en la localidad. Los sectores que forman parte del pueblo son San Marcos Viejo, Vista Hermosa, El Villorrio, Villa Colo Colo, San Marcos Nuevo y Mal Paso.



*Figura 6: Sectores del pueblo de San Marcos.*

La principal actividad económica de los habitantes del pueblo es la agricultura, dedicándose en su mayoría a la cosecha de naranjas y mandarinas. Por otra parte, en este sector rural las viviendas están construidas principalmente con materialidades de madera y albañilería, y las más antiguas aún se encuentran construidas con adobe.

En la actualidad, el APR San Marcos cuenta con un total de 482 arranques domiciliarios, los cuales se abastecen de agua potable a través de las redes que conforman la infraestructura del APR del pueblo. Las fuentes de captación con las que cuenta el APR son una vertiente proveniente del río Huatulame y agua subterránea procedente de una noria y un pozo profundo, agua que es extraída mediante un sistema de impulsión ubicado en la caseta de operaciones. En cuanto al sistema de almacenamiento y regulación, se tiene un estanque semienterrado con un volumen de 200 m<sup>3</sup> y otro elevado de menor capacidad, más específicamente de 15 m<sup>3</sup>, el cual se destina de forma principal a la venta de agua potable a la Ilustre Municipalidad de Combarbalá.

El sistema de tratamiento de agua se realiza en la caseta de operaciones, donde se ejecutan los procesos de saneamiento, filtración y cloración al agua para potabilizarla. También está la oficina de agua potable, en la cual se hacen labores administrativas por parte de la secretaria, tales como el registro digital de datos de producción y facturación de agua, pago de boletas mensuales por parte de los usuarios, entre otras; además existe una sala de reuniones y una bodega adjunta para el almacenamiento de equipos y materiales utilizados por los operadores en trabajos de mantenimiento y reparaciones.



*Figura 7: Oficina APR San Marcos.*

### 3.1.2 Sistema de producción de agua e infraestructura

De manera general, las zonas e instalaciones que conforman el APR San Marcos en toda su extensión territorial se pueden agrupar en seis secciones principales, las que son: el sector vertiente “La Ternera”, el sector pozo profundo, el sector pozo tipo noria, la zona en donde se ubica la caseta de operaciones, el sector en que se emplaza el estanque antiguo y la zona donde se encuentra el estanque elevado. Además, cuenta con una planta de tratamiento de aguas servidas que opera en el pueblo, la que está ubicada a un costado de la ribera del río Huatulame.

El siguiente esquema (lay out) representa de forma referencial la distribución de las principales instalaciones e infraestructura del sistema de producción del APR San Marcos:

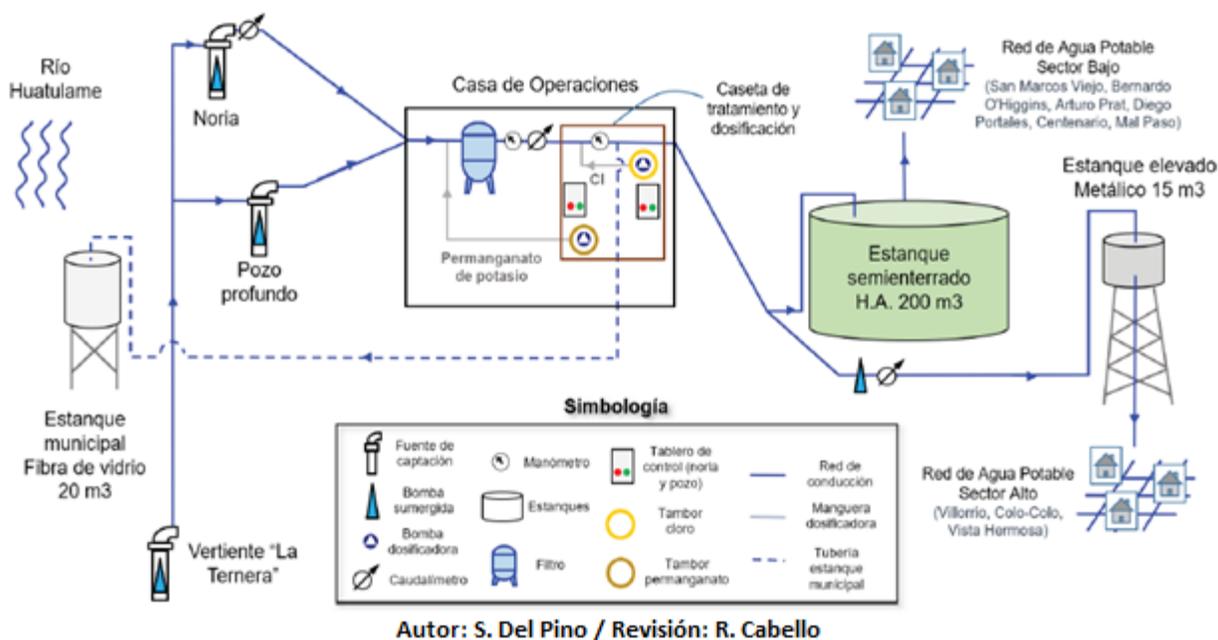


Figura 8: Lay out referencial del funcionamiento del APR San Marcos.

A continuación, se detallará todo lo relacionado a los componentes y sus respectivos funcionamientos, que en conjunto forman el sistema de producción de agua potable en el APR de San Marcos ilustrado referencialmente en el lay out anterior.

En cuanto a las fuentes de captación de agua en estado natural se tienen:

- La vertiente denominada como “La Ternera”, esta es una fuente de agua que alimenta a los otros dos pozos (uno tipo profundo y otro tipo noria que serán descritos más adelante) mediante la conexión por tuberías en un gran porcentaje materialidad HDPE (una pequeña sección de la tubería correspondiente a la salida del agua de la vertiente tiene como material acero galvanizado) y que se realiza exclusivamente cuando las bombas sumergibles están en funcionamiento. Esta vertiente se encuentra ubicada en el mismo curso del río Huatulame y su acceso es difícil, ya que se encuentra en una pendiente descendente formada por rocas de gran tamaño. “La Ternera” está a una distancia aproximada de 1,8 km del sector pozo tipo profundo y a 2,0 km del sector pozo tipo noria. La electricidad que ocupa la bomba de salida de agua desde la vertiente es abastecida mediante nueve paneles solares, los que son operados por un controlador.



Figura 9: Paneles solares de vertiente La Ternera.

En cuanto a las características propias de la fuente, la vertiente inició sus operaciones el año 2015, tiene una profundidad de 4 m y un diámetro de 2,5 m. En cuanto a los niveles de la fuente, el nivel en estado estático es de 2 m y el nivel en estado dinámico es de 3 m. El caudal extraído aproximado es de 1,3 L/s y no posee caudalímetro para llevar registro del volumen de agua extraído del pozo.

- Por otra parte, se encuentra el pozo tipo noria que está a aproximadamente 130 m del río Huatulame y de forma estimada a 216 m de la caseta de operaciones. Este pozo se encuentra cercado mediante un cierre perimetral de panderetas para evitar el tránsito de cualquier persona ajena al APR en el predio del pozo. A un costado de la noria está ubicada una válvula de bola, que permite controlar el flujo de agua que pasa desde la vertiente “La Ternera” hacia la noria. Este pozo tipo noria posee válvulas de aire, corte y retención, también una abrazadera omega y camisa para hacer la unión del sistema de válvulas y además de un caudalímetro para registrar el caudal de agua salida por esta fuente.



Figura 10: Elementos del pozo tipo noria.

Este pozo tipo noria comenzó su funcionamiento el año 2010. Tiene una profundidad de 15 m y consta de 2,5 m de diámetro. El nivel estático del pozo es de 7 m, mientras que el nivel dinámico corresponde a 10 m. El caudal extraído de esta fuente se estima en 4,2 L/s.

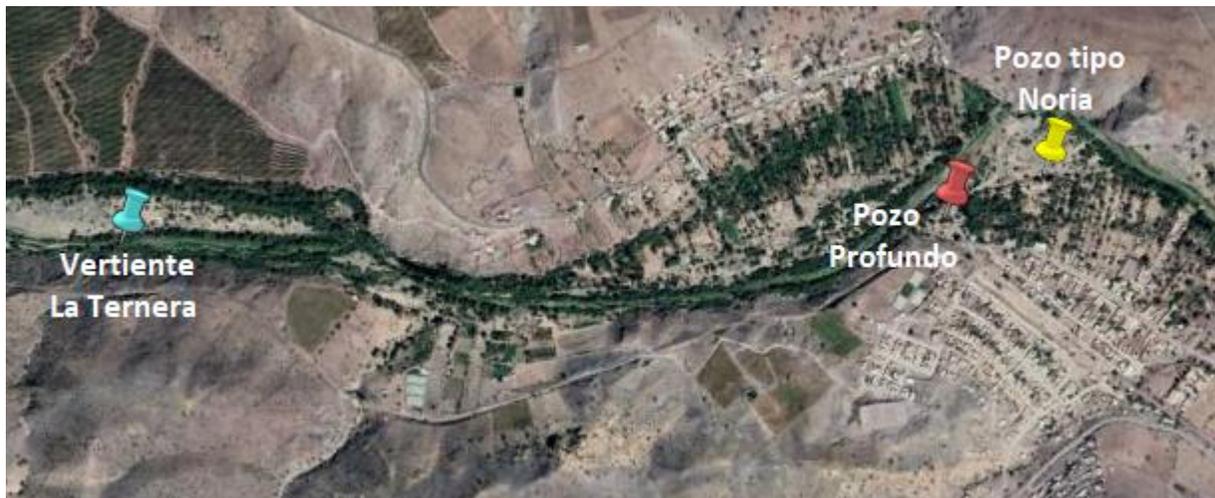
- La tercera y última fuente de captación que posee el APR de San Marcos es un pozo del tipo profundo, el que está ubicado a unos 50 m del río Huatulame y a 223 m aproximados del pozo tipo noria. También consta con un cierre perimetral para limitar el acceso de normal por el sector aledaño al pozo. Se destaca la presencia de válvulas de aire y de corte, junto a la abrazadera y la camisa que componen el sistema de bombeo del pozo. Por otra parte, esta fuente posee una conexión manual que es la que permite que la vertiente “La Ternera” alimente este pozo profundo.



*Figura 11: Elementos del pozo profundo.*

Esta fuente comenzó sus operaciones el año 2015. Tiene una profundidad asociada de 60 m y un diámetro de 0,2 m. Los niveles de agua del pozo en sus diferentes estados corresponden a 8,7 m en nivel estático y 34,7 m en nivel dinámico. El caudal extraído del pozo profundo fluctúa entre 5 L/s y 6,5 L/s y no posee caudalímetro para llevar un registro del agua producida por esta fuente.

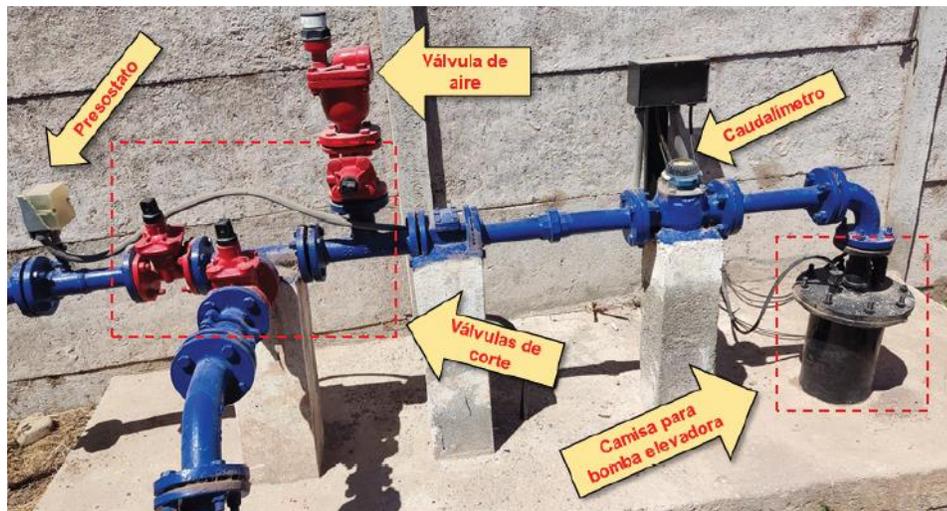
La ubicación de las tres fuentes de captación descritas anteriormente se observa en la siguiente imagen:



*Figura 12: Plano de ubicación de las fuentes de captación APR San Marcos.*

Sobre el sistema de bombeo, se tienen bombas sumergibles en las fuentes de captación de agua que posee el APR las que tienen un funcionamiento independiente entre sí. También hay una bomba de elevación ubicada en las inmediaciones del estanque semienterrado, la que tiene como función impulsar agua hacia el estanque elevado. A continuación, se detalla el tipo y características de cada bomba utilizada y al sistema al cual se encuentra asociada:

- Bomba de la noria: se instaló en el año 2021. De marca Franklin, tiene una potencia de 5,5 HP y una capacidad de impulsión de 4,2 L/s. Con respecto a la superficie tiene un nivel sumergido de 13 m y opera cerca de 14 horas al día.
- Bomba del pozo profundo: comenzó sus operaciones el año 2015. Su marca comercial es Franklin, tiene una potencia de 7,5 HP e impulsa 5,5 L/s. Por otra parte, está a un nivel sumergido de 54 m de profundidad y se estima que opera 7 de las 24 horas del día.
- Bomba de la vertiente “La Ternera”: se instaló y comenzó su funcionamiento el año 2015 y también es de marca Franklin. Tiene una potencia de 1,5 HP e impulsa un caudal de 1,3 L/s. Es la más superficial de todas las bombas, con un nivel sumergido de 3,5 m y opera 7 horas diarias.
- Bomba elevadora: al igual que las otras tres bombas es de marca Franklin e inició su operación el año 2010. Su potencia asociada es de 2,5 HP y 2 L/s como capacidad de impulsión de agua. Se encuentra a un nivel sumergido de 4 m de profundidad y opera aproximadamente 15 horas por día. Esta bomba cuenta con un caudalímetro, una válvula de aire y una válvula de corte, un presostato para contralar la presión con la que pasa el agua por el sistema de la bomba y una camisa propia de la bomba elevadora.



*Figura 13: Elementos de la bomba elevadora operativa desde el año 2010.*

Por otra parte, se encuentra el equipo de filtrado, el que está ubicado en las inmediaciones de la caseta de operaciones y para su funcionamiento ocupan el principio de filtración y oxidación, eliminando los elementos manganeso y fierro presente en el agua natural, esto mediante a una carga de arena verde de manganeso, que es un tipo de glauconita recubierta de óxido manganeso y se utiliza para eliminar los compuestos o elementos químicos como el sulfuro de hidrógeno, el hierro y el manganeso mediante procesos de filtración. Este sistema de arena verde de manganeso se encuentra presente en el filtro nuevo (el filtro antiguo ya no se encuentra operativo), el que posee cuatro capas soportantes y dos capas filtrantes, donde en estas últimas se encuentran las arenas verdes específicamente. Las glauconitas (como la arena verde de manganeso) permiten acelerar el proceso de oxidación total de los contaminantes presentes en el agua, para luego absorberlos o atraparlos dejándolos en el mismo filtro, obteniendo así un agua con una cantidad residual de hierro y manganeso dentro de los límites establecidos en la norma.



*Figura 14: Sistema de filtro APR San Marcos.*

En cuanto al sistema de dosificación utilizado, este se realiza mediante la utilización de bombas dosificadoras que van conectadas a las mismas tuberías por donde circula el agua. Estas bombas inyectan los distintos tipos de aditivos químicos a la red, este proceso de adición de agentes químicos se regula mediante la acción de una perilla de control manual (potenciómetro) que va variando la frecuencia con la que se realiza la dosificación, la que puede ir desde 0% a 100% del flujo de aditivos químicos y también cuantos ciclos de dosificación se realizan por minuto. Si el sistema de dosificación trabaja al 100%, implica que la bomba trabaja en su caudal máximo que corresponde a 8 L/s y se realiza un suministro continuo de los distintos agentes químicos dosificados en el agua que pasan por la conexión.

Los aditivos químicos utilizados en el sistema de dosificación son:

- Permanganato de potasio: este sistema de dosificación se realiza antes del proceso de filtración detallado anteriormente. La concentración de la solución agregada a la tubería es elaborada en un estanque independiente al sistema, donde se agregan 700 g de permanganato de potasio por cada 150 L de agua. La inyección de la solución a la tubería se hace por medio de una sonda con un adaptador conectado a la red.



*Figura 15: Bomba dosificadora de permanganato de sodio.*

- Cloro: el sistema de dosificación de cloro es posterior al proceso de filtrado. La solución que es inyectada es preparada en un estanque independiente al sistema y posee una concentración en base a 2,8 kg de cloro por cada 150 L de agua. Al igual que con el permanganato de potasio, la inyección de esta solución a la red de tuberías se hace por medio de una manguera con un adaptador conectado a la red.



*Figura 16: Bomba dosificadora de cloro.*

A continuación, se detallarán las principales características e instalaciones del sistema de conducción que es parte del APR de San Marcos:

- Las conexiones de entrada y salida de los pozos, vertiente y estanques tienen como material de fabricación el acero galvanizado, con tuberías cuyo diámetro es 90 mm. Por otra parte, las conexiones propias de la red domiciliarias tienen como materialidad el PVC.

- Las tuberías que conectan la vertiente “La Ternera” a los pozos tipo profundo y tipo noria están fabricados con HDPE de 75 mm de diámetro (en la figura 17 se puede apreciar con una línea discontinua de color rojo), instaladas en el año 2015. Desde la vertiente al pozo profundo existe una distancia estimada en 1,8 km, mientras que de la vertiente hasta el pozo tipo noria hay una extensión de 2,03 km aproximadamente.
- Se estima que el pozo profundo está situado a 30 m de la caseta de operaciones. Estas dos áreas se conectan por tuberías de PVC de 90 mm de diámetro y 4 mm de espesor. Estas conexiones fueron instaladas en el año 2015. A su vez, el pozo tipo noria está ubicado a 216 m de la caseta de operaciones y están conectados por tuberías confeccionadas en PVC, cuyas dimensiones son 90 mm de diámetro y 4 mm de espesor, instaladas durante el año 2010.
- Desde la caseta de operaciones, sale una tubería en materialidad HDPE de 90 mm de diámetro hacia el estanque “viejo”, que se encuentra emplazado a unos 293 m aproximadamente.
- Existe un segundo estanque del tipo elevado, el cual se encuentra ubicado a 117 m del estanque “viejo”. Ambos estanques se encuentran conectados mediante tuberías de PVC cuyo diámetro es de 63 mm.
- Por último, existe un tercer estanque, el cual es municipal (no se considera como dependencia propia del APR, pero de igual forma es parte del sistema de producción de agua) y se encuentra a 50 m de la caseta de operaciones. Este estanque se abastece de agua potable desde la caseta mediante conexiones de tuberías de PVC de 63 mm de diámetro.

La descripción anterior del sistema de conducción de agua potable en el APR de San Marcos se ilustra en la siguiente imagen:



*Figura 17: Esquema de redes conducción APR San Marcos.*



Servidas (PTAS). A continuación, se detallará el uso y algunas características principales de los generadores mencionados:

- Un generador opera en la caseta de operaciones, encargado de operar cuando se da algún desperfecto eléctrico y mantiene en funcionamiento las bombas a cargo del pozo tipo noria y del pozo profundo. Este generador no opera de forma automática, sino que es el operador quien debe acudir al lugar para ponerlo en operación de forma manual. El equipo es de marca Vielco, de energía trifásica, usa petróleo como combustible y tiene una potencia de 25 kVA.



*Figura 20: Generador asociado a la caseta de operaciones.*

- El segundo generador del APR es el encargado de, ante un corte de energía eléctrica, poner en funcionamiento la bomba que impulsa agua hacia el estanque elevado. Este equipo es de marca Vielco-Kipor, con energía monofásica, funciona con petróleo como combustible y cuenta con una potencia de 10 kVA.



*Figura 21: Generador asociado al estanque elevado.*

- Por último, el generador de la PTAS tiene como función que ante fallas del sistema de distribución eléctrica la planta de tratamiento siga en operación.

Uno de los sistemas fundamentales en el funcionamiento del APR es el sistema de almacenamiento de agua potable, el cual está compuesto por tres componentes:

- a) Un estanque semienterrado denominado “estanque viejo”.
- b) Un estanque elevado.
- c) Un tercer estanque (también elevado) que es municipal y si bien no se considera como parte de las instalaciones del APR de San Marcos, si está operativo gran parte del tiempo para almacenar agua potable.

A continuación, se detallarán las principales características y funciones de cada estanque mencionado:

- El estanque “viejo” fue construido en el año 1977 y entró en operación en el año 1990. El terreno donde está el estanque se encuentra protegido mediante un cierre perimetral de panderetas y, pese a su antigüedad, solo presenta desgastes superficiales, estando en buen estado de funcionamiento. Esta estructura es del tipo semienterrado y está fabricado en materialidad de hormigón armado. Su altura total es de 4,7 m (con 2 m enterrados). Tiene un diámetro de 8,3 m aproximadamente y una capacidad de 200 m<sup>3</sup>. En la parte superior del estanque se encuentra ubicada una compuerta de inspección mediante la cual se realizan las mantenciones al estanque y, además se encuentra una tubería que es por donde llega el agua potabilizada al estanque. A un costado del estanque hay una tubería de cobre conectada a una válvula de corte que usa el flotador cuando se encuentra operativo, más específicamente, cuando el nivel de agua potable en el estanque llega a su punto máximo.



*Figura 22: Estanque “viejo” semienterrado de 200 m<sup>3</sup>.*

- El segundo estanque es del tipo elevado, comenzó sus trabajos durante el año 2010 y es el encargado de abastecer de agua potable a las viviendas ubicadas a

cotas más altas del pueblo y que se encuentran sobre la altura del estanque semienterrado. A un costado de la torre en la cual está instalado el estanque elevado, se encuentra un estanque semienterrado que actualmente no está operativo debido a que quedó por debajo de la cota de las nuevas viviendas del pueblo. El terreno se encuentra cerrado con panderetas perimetrales que impiden el paso de personas ajenas al personal del APR y un portón de fierro para el acceso de los operadores. El estanque se encuentra a 10 m de altura desde el nivel de terreno, tiene una altura propia de 2,5 m y tiene una capacidad de almacenar 15 m<sup>3</sup> de agua.



*Figura 23: Estanque elevado de 15 m<sup>3</sup>.*

- El tercer estanque también es del tipo elevado, pero no es parte del APR formalmente, sino que pertenece a la municipalidad de Combarbalá. Se encuentra emplazado a 25 m aproximadamente del pozo profundo, su material de fabricación es de fibra de vidrio y tiene una capacidad de almacenamiento de 20 m<sup>3</sup>. La función de este estanque es suministrar agua potable de forma diaria a camiones aljibes, los que tienen como capacidad entre 5 m<sup>3</sup> a 20 m<sup>3</sup>. Los camiones son enviados por la municipalidad de Combarbalá, quien es la encargada de comprar el agua para posteriormente trasladarla y abastecer otros sectores de la comuna que no tienen acceso directo al agua potable. El valor de venta del agua es de \$1.500 el m<sup>3</sup> (IVA incluido) y todo el proceso de distribución y administración del proceso es hecho por la Oficina Comunal de Emergencias de la municipalidad, quien se encarga de satisfacer la demanda de agua de todos los sectores de la comuna.



*Figura 24: Estanque municipal abasteciendo a camión aljibe.*

Por último, se tiene la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) la cual es administrada por la municipalidad de Combarbalá y, aunque no forma parte oficial del APR, toda la red de alcantarillado del sector urbano de San Marcos se encuentra conectada a ella y está instalada en la zona más céntrica del pueblo.

El tratamiento de aguas se realiza mediante estanques que operan de distintas formas, pero se encuentran relacionados entre sí, ocupando más específicamente el método de lodos activados con aireación extendidos, en el cual las bacterias (microorganismos aeróbicos) en presencia de oxígeno introducido son capaces de transformar la materia orgánica presente en las aguas servidas en su fuente de alimento. Las aguas servidas son descompuestas por las bacterias, transformándolas en CO<sub>2</sub>, agua y lodo, este último permanece suspendido. Luego, los microorganismos realizan el proceso de sedimentación por gravedad, formando una capa de lodo en el fondo del estanque que es bombeada hacia la parte inicial del estanque de aireación para volver a repetir el ciclo. Todo el exceso de lodo que produce la planta se acumula en canchas de secado sobre una capa de áridos compuesta de arena y grava, la cual filtra el agua que aún pueda estar presente en el lodo, dejándolo deshidratado. El lodo residual se ocupa principalmente como abono para el mejoramiento de la calidad de suelos agrícolas, usados para el cultivo de distintas especies.



*Figura 25: Estanques de aireación, sedimentación y desinfección de la PTAS.*



*Figura 26: Cancha de secado de lodos de la PTAS.*

### 3.1.3 Sistema de operación de agua

A continuación, se detallarán las principales labores realizadas por los operadores del APR de San Marcos, las que pueden ser en los ámbitos técnicos (reparaciones, mantenimientos o mejoramientos) o administrativos (registro de datos en planillas, planificación y actualización de protocolos ante situaciones de emergencia).

Como tareas generales se tienen:

- Visitar al comienzo de la jornada laboral todas las instalaciones y equipos que operan en el APR, es decir, las fuentes de captación, caseta de operaciones, caseta de saneamiento y dosificación del agua y los estanques de almacenamiento. Los operadores deben verificar que todos los equipos y componentes funcionen en forma normal, cuidando que no se presenten fallas en el sistema que puedan afectar el funcionamiento global del APR y por ende el abastecimiento de agua potable a los usuarios.
- A diario, mediante un chequeo visual simple, verificar la calidad del agua. Para esto, se procede a abrir una llave de paso y se llena una botella plástica transparente para tener una muestra del agua que circula por la red.
- Realizar una o dos visitas diarias (dependiendo de las contingencias de la jornada) al estanque semienterrado para verificar que se encuentre con al menos un 70% de su capacidad. Esta labor se realiza con un pozómetro o sensor de nivel, los cuales deben marcar como máximo 1,5 m para no tener posibilidades de problemas de abastecimiento de agua a los usuarios del pueblo.
- Hacer registro diario de la producción de agua mediante la lectura presente en el caudalímetro ubicado en la caseta de operaciones, posterior al proceso de filtrado. Los datos se anotan en una planilla física en el último momento antes de terminar la jornada de trabajo del operador.



*Figura 27: Caja protectora de caudalímetro en caseta de operaciones.*

- Llevar un registro día a día de las horas trabajadas en forma diaria por el sistema de impulsión, esto por medio de la lectura del horómetro presente en el tablero de control de la noria ubicada en la caseta de saneamiento y dosificación. Los datos se anotan en una planilla física de lectura diaria y se hace al término de la jornada de trabajo del operador.



*Figura 28: Horómetro que registra horas trabajadas por el sistema de impulsión.*

- El último día de cada mes se debe realizar una lectura del estado de los medidores de todos los arranques que componen el sistema. Estos datos se anotan en una planilla física, la cual la secretaria del APR las digitaliza para tener un respaldo de la información.
- Otras funciones generales más esporádicas son la instalación o reparación de medidores particulares, hacer reparaciones ante aparición de filtraciones en arranques o en matrices, arreglar desperfectos en los tableros de control, entre otras.

Dentro de las tareas más específicas, se tiene el realizar el proceso de retro-lavado del sistema de filtros, el cual se ejecuta de forma diaria. Esta tarea consiste en:

- Detener las bombas de impulsión de agua desde las fuentes de captación y también las bombas dosificadoras de cloro y permanganato.
- Cerrar las válvulas de paso de agua por el sistema de filtros, dejando solo una abierta (asociada a la fuente de captación de agua).
- Encender la bomba de la fuente de captación y esperar un tiempo de entre 12 min y 15 min para que se ejecute el retro-lavado.
- Detener la bomba de la fuente de captación.
- Cerrar la válvula asociada a la fuente y abrir las demás válvulas.
- Encender la bomba de la fuente de captación y las bombas dosificadores.
- Verificar que el caudalímetro esté operando correctamente.

Los operadores también deben ejecutar las metodologías de dosificación de aditivos químicos para el saneamiento del agua, estos aditivos son cloro y permanganato de sodio. El protocolo de seguridad de esta actividad dice que se deben realizar las tareas con la utilización de equipos de protección personal (EPP), los que son mascarilla anti-vapores corrosivos, guantes contra sustancias químicas, antiparras, pechera y zapatos de seguridad.

Para la cloración se utiliza hipoclorito de calcio sólido en formato granulado, compuesto que se disuelve en agua para su utilización. Se tiene en cuenta que, según la normativa vigente, la concentración de cloro libre residual presente en la red de distribución de agua potable debe estar en un rango de 0,2 mg/L a 2,0 mg/L. Para elaborar la solución se requiere disolver 2,8 kg de hipoclorito de calcio granulado en un estanque de 150 L de agua; luego se revuelve la mezcla con una paleta de madera por 10 min hasta lograr una solución homogénea y dejarla reposar por cerca de 10hrs, para que sedimente una parte de la solución; finalmente, como el sistema de cloración cuenta con dos estanques, de los cuales uno se encuentra operativo y en el otro se prepara la solución diariamente (van rotando sus funciones día por medio), cuando el estanque operativo se encuentra casi vacío se cambia la manguera de conexión al otro estanque con su capacidad completa de la solución preparada recientemente, para luego repetir los pasos detallados anteriormente para preparar una nueva solución.



*Figura 29: Estanques para hacer solución de cloro.*

En lo referido a la dosificación del permanganato de sodio se disuelven 700 g del compuesto químico en un estanque de 150 L de agua, luego se procede a revolver la mezcla con una paleta de madera por cerca de 10 min hasta homogenizar la solución. El sistema del permanganato de sodio posee dos estanques y el proceso de cambio de recipientes funciona de la misma forma que el sistema de cloración detallado anteriormente.



*Figura 30: Estanques para hacer solución de cloro.*

Otra tarea importante a cargo de los operadores del APR es hacer la determinación diaria del cloro libre residual. Para este proceso se toma una muestra en puntos donde exista consumo, principalmente arranques domiciliarios o establecimientos públicos, de preferencias lugares alejados de la matriz principal. La toma de muestras se realiza tres veces al día, a las 08:00 horas, 12:00 horas y 16:00 horas. El registro se realiza en forma manual en planillas que son generadas y distribuidas por la empresa de servicios sanitarios Aguas del Valle. El instrumento para hacer la medición de cloro libre residual o cloro total es el fotómetro. Para esto en un recipiente de medición se introduce una muestra de 10 ml de volumen y se coloca el recipiente dentro de una ranura del fotómetro; luego se tara el fotómetro y se procede a retirar el recipiente para agregar un reactivo a la muestra, para después agitar la muestra y que esta se vuelva homogénea; posteriormente se vuelve a poner el recipiente en la ranura del fotómetro y se procede a leer la muestra, donde el instrumento muestra el valor de cloro libre residual o total en la pantalla y se registra este valor en la planilla, en unidades de mg/L.



*Figura 31: Equipo de medición cloro libre residual.*

Por otra parte, los operadores deben realizar la mantención de los siguientes equipos o componentes del APR:

- Los estanques de almacenamientos se limpian tres veces al año (en los meses de febrero, junio y noviembre), con el fin de evitar la generación de residuos biológicos, acumulación de lodos y otros agentes impuros que afecten la calidad del agua potable a distribuir a los usuarios. Para hacer la limpieza se deben detener las válvulas de la impulsión y de la matriz; abrir la válvula de desagüe para vaciar casi por completo el estanque (quedan 20 cm aproximadamente de nivel de agua residual dentro del estanque); se limpia el fondo y las paredes del estanque con escobillas usando el mismo agua residual; luego se elimina el óxido existente y si es necesario se hace revestimiento de piezas como tuberías, escalera y flotador con pintura antioxidante (una vez seca la pintura, se enjuaga varias veces para sacar cualquier residuo): después se evacua el agua existente, reemplazando con un nivel de 20 cm de agua limpia para hacer un enjuague final; se evacúa este último volumen de agua y se vuelve a normalizar la operación del estanque.
- A los caudalímetros, válvulas de corte, retención y de aire se les realiza mantención una vez al año en el mes de mayo (a menos de que alguno de los componentes falle). La verificación de su estado consiste en desmontar el elemento, hacer un chequeo visual y limpiar el interior eliminando residuos que puedan quedar.
- La válvula del flotador se limpia tres veces al año, en los meses de febrero, junio y noviembre.
- Al flotador se le hace una limpieza dos veces en el año, en los meses de febrero y junio. También se aprovecha de chequear el estado del flotador, en cuanto a desgaste y oxidación.
- El sistema de alcantarillado se revisa una vez por semana, ya que comúnmente se generan obstrucciones en la red.
- Cada dos meses se hace una limpieza de la matriz, la que consiste en desaguar el agua existente en las tuberías, para así eliminar los residuos que pueden existir.
- Finalmente, cada tres meses se efectúa una revisión más exhaustiva del estanque, bombas y las instalaciones anexas, para determinar su estado general, conservación y funcionamiento.

También, los operadores, en conjunto a los demás integrantes del APR de San Marcos confeccionaron un protocolo ante emergencias por fallas del sistema o posibles desastres naturales, con el fin de mitigar lo máximo posible los efectos adversos que pueda ocasionar una emergencia, ya que el suministro de agua potable para la población es indispensable. Considerando lo anterior, el protocolo ante emergencias consiste en lo siguiente:

- Inspección visual del estado de la infraestructura general del APR, haciendo énfasis en los estanques de almacenamiento.
- Proteger las fuentes de captación.

- Apagar el sistema automatizado eléctrico y activar el sistema manual, haciendo uso de los generadores eléctricos.
- Difundir información relevante de forma calmada y clara a los vecinos del pueblo, prefiriendo redes más rápidas y masivas como redes sociales o mensajería de texto instantánea.
- Restringir uso de agua solo para necesidades básicas durante el periodo que dure la emergencia.
- Solicitar abastecimiento temporal de agua potable mediante camiones aljibes a la autoridad encargada (municipalidad u otro) y definir puntos estratégicos en la zona para el abastecimiento de los usuarios. También solicitar a la autoridad estanques temporales, para almacenar agua potable mientras los camiones aljibes no estén.
- Reunirse con dirigentes del APR y del pueblo (junta de vecinos, centro de salud, escuela, entre otros) en general para definir una estrategia operativa, para dar aviso a DOH regional y a la unidad técnica sobre estado general del pueblo y del APR en particular.

## 3.2 APR Huatulame

### 3.2.1 Contextualización

Huatulame (o también escrito como Guatulame) es una pequeña localidad situada en Monte Patria, comuna la cual pertenece a la provincia de Limarí en la cuarta región de Coquimbo, Chile. Este pueblo cuenta con una población fija de aproximadamente 2.500 habitantes, y una población variable de forma estacional estimada de 250 personas, totalizando cerca de 2.750 pobladores. Los sectores en que se divide el pueblo son: El Llano, Av. Bernardo O'Higgins, La Isla, población Gabriela Mistral, población Pablo Neruda y población García Huidobro. La principal actividad económica del pueblo es la agricultura, dedicándose a la producción de frutas tales como mandarinas, uva y olivas.



*Figura 32: Sectores del pueblo Huatulame*

El APR (del mismo nombre que la localidad) cuenta con 554 arranques inscritos. En cuanto a la composición e infraestructura del APR, este cuenta con tres secciones claves para su funcionamiento: la planta de producción y operación de agua potable (se encuentra ubicada a un costado del río Huatulame), allí se realizan los procesos de saneamiento necesarios para potabilizar el recurso hídrico; por otra parte, se encuentra el estanque de almacenamiento el cual es de tipo semienterrado con una capacidad de 150 m<sup>3</sup> y se encuentra emplazado en la ladera del cerro del pueblo, en este lugar se acumula el agua ya lista para su consumo y dispuesta para ser distribuida a los hogares del pueblo; finalmente se encuentra la oficina administrativa la que está operando en dependencias de la sede social de la comunidad de Huatulame, en este lugar se desarrollan labores administrativas por parte de la secretaria del APR y también se habilita una pequeña bodega para guardar algunos insumos o materiales ocupados por los operadores.



*Figura 33: Oficina APR Huatulame.*

### 3.2.2 Sistema de producción de agua e infraestructura

Todo lo que conlleva el proceso de producir el agua potable en el APR de Huatulame se lleva a cabo completamente en la planta de producción, lugar donde también se encuentran las fuentes de captación, sistemas de impulsión y todo lo necesario para realizar el proceso de potabilización del agua.

En el siguiente esquema (lay out) se representa de forma referencial la distribución de las principales instalaciones e infraestructura del sistema de producción del APR Huatulame:

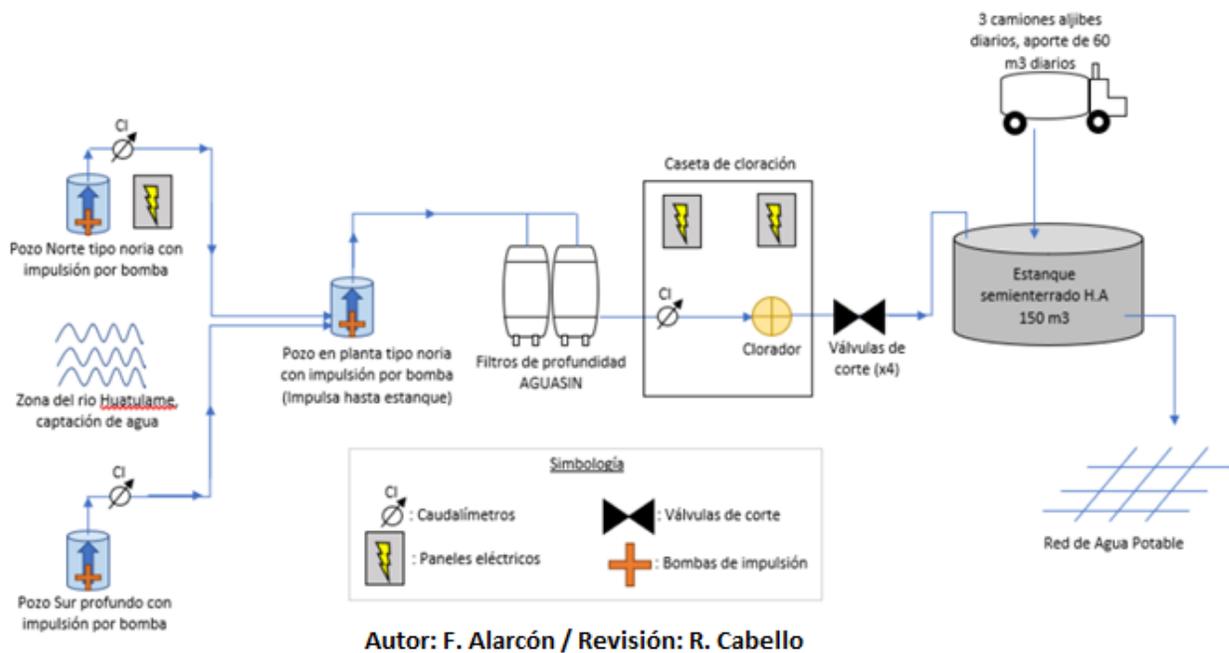


Figura 34: Lay out referencial del funcionamiento del APR Huatulame.

En cuanto al proceso de captación de agua, el APR cuenta con tres fuentes captadoras de agua formales, las que son:

- Un pozo tipo noria en la zona norte ubicado en la caja del río Huatulame, resguardado por un muro de hormigón y un portón metálico para el acceso. Esta fuente tiene una profundidad de 12 m, un diámetro de 2,5 m y se estima un nivel de agua cercano a los 2 m que no varía significativamente en el tiempo. También, aporta un caudal aproximado de 3 L/s al pozo tipo noria ubicado en la zona este.



Figura 35: Pozo tipo noria ubicado en la zona norte.

- Un pozo tipo profundo en la zona sur ubicado en la caja del río Huatulame el que tiene una profundidad de 40 m, teniendo un diámetro de 0,25 m y aporta 3L/s de caudal al pozo de la zona este. Cabe destacar que esta fuente se seca constantemente.



*Figura 36: Pozo tipo profundo ubicado en la zona sur.*

- Un pozo tipo noria en la zona este ubicado en la misma planta del APR, tiene una profundidad de 12 m y un diámetro de 2,5 m. Esta fuente recibe el constante aporte de caudal de los dos pozos anteriores mediante una red de impulsión de cañerías de acero.



*Figura 37: Pozo tipo noria ubicado en la planta del APR.*

Las ubicaciones de las tres fuentes de captación descritas anteriormente se muestran en el siguiente plano referencial:



*Figura 38: Plano de ubicación de las fuentes de captación APR Huatulame.*

Por otro lado, aparte de las tres fuentes principales de agua detalladas, existe un cuarto pozo excavado que se hizo mediante una retroexcavadora y actualmente no se explota, ya que los tres pozos nombrados anteriormente dan abasto para la demanda de agua del pueblo. Este pozo tiene un nivel de agua aproximado de 3 m y una profundidad total de 5 m. Además, existen otros pozos intermedios de unos 30 m que son de prueba y ya no poseen agua.



*Figura 39: Pozo excavado sin uso actual.*

Otro tópico importante dentro del sistema de producción de agua es la forma en que se extrae el agua de las fuentes, esta acción se realiza mediante dos bombas sumergibles marca Grundfos, que cuentan con motor sumergible marca Franklin Electric que poseen

una potencia de 18,5 Kw. También se cuenta con una tercera bomba con las mismas características y está destinada como repuesto ante emergencias. Las bombas utilizadas se levantan mediante tecla o camión pluma y se montan en los almacenes metálicos (portatecles).

Por otra parte, la red de agua fluye a través de dos filtros de profundidad marca Aguasin (Aguas Industriales Ltda.) modelo QMA-150-E. Estos filtros de profundidad operan en base a áridos, es decir, por secciones o capas con arenas y rocas de diversas granulometrías, teniendo un orden ascendente de menor a mayor graduación, donde es importante destacar que el agua se mueve desde abajo hacia arriba por el filtro. De forma estimada, los filtros fueron instalados hace 20 años atrás y es necesario realizarles un trabajo de mantención cada cierto tiempo mediante el sistema de retrolavado (donde el agua se inyecta en sentido contrario a como fluye de forma original en el filtro) y también con cambio de arenas, ya que esto último nunca se ha realizado desde que empezaron su operación.



*Figura 40: Uno de dos sistemas de filtración del APR.*

Luego de que el agua pasa por los filtros de profundidad se dirige hacia la caseta de cloración, donde se encuentran dos tanques que tienen una capacidad para una solución de agua con cloro de 200 L. Estos tanques se llenan con agua hasta una marca indicada y se incorporan 2,4 kg de hipoclorito de calcio en polvo. Según la normativa vigente, la dosificación debe permanecer entre 0,5 ppm y 2 ppm. Los estanques se llenan cada tres días y no se añaden más aditivos químicos. También, la caseta cuenta con un panel eléctrico que verifica que todo esté funcionando de manera correcta. En la zona en que es inyectado el cloro se encuentra ubicado el caudalímetro, instrumento que permite verificar la producción de agua, más específicamente el caudal de agua que sale desde la caseta de cloración hacia la red.



*Figura 41: Tanque para hacer y almacenar solución de cloro.*

En cuanto al abastecimiento de energía, las bombas y el sistema de cloración ubicados en la caseta de operaciones ocupan electricidad proveniente de la red eléctrica de la zona. De todas formas, se cuenta con un generador automático de electricidad marca Vielco que se pone en funcionamiento cuando existen corte de energía en la zona. El generador funciona mediante combustible, más específicamente petróleo. También se destaca que el generador tiene una conexión especial para el uso de bomberos, la cual tiene una llave para realizar la partida de forma manual.



*Figura 42: Generado eléctrico de la caseta de operaciones.*

Dentro del sistema de producción de agua, un punto a destacar es lo relacionado a la impulsión de agua hacia el estanque de almacenamiento. Este proceso se lleva a cabo luego de la cloración del agua haciendo uso de bombas encargadas de impulsar el agua ya potabilizada hasta el estanque de almacenamiento ubicado a una cota alta dentro del pueblo. El agua es conducida a través de cañerías, cuya materialidad es HDPE de 125

mm y espesor 16 mm. El estanque se encuentra a una distancia aproximada de 1,5 km desde el pozo este tipo noria, desde el cual se realiza la impulsión. En toda la extensión de las tuberías que llevan el agua desde el pozo hasta el estanque, existen cuatro válvulas de corte, instrumentos que cumplen con la función de parar el curso de agua ante una emergencia de funcionamiento, como puede ser por ejemplo una rotura de cañería. También hay una cámara con válvula de aire ubicada en lo alto del cerro donde se encuentra el estanque, la cual tiene como utilidad expulsar el aire al interior de las tuberías una vez que se vuelva a dar el paso de agua ante una falla en el sistema.



*Figura 43: Cámara de válvula de corte en el sistema de impulsión.*

En cuanto al estanque de almacenamiento como tal, esta estructura es del tipo semienterrado, tiene una altura total de 8 m (7 m sobre el nivel de terreno y enterado a 1 m de profundidad) y su diámetro es de 6 m. Se encuentra fabricado en materialidad de hormigón armado. Tiene un volumen para contener 150 m<sup>3</sup> de agua. El estanque además se abastece mediante un camión aljibe de 20 m<sup>3</sup> que realiza tres viajes diarios (a cargo del gobierno regional) y también con un segundo aljibe de volumen 20 m<sup>3</sup> igualmente, el cual no tiene una periodicidad de viajes definida (a cargo del municipio de Monte Patria).



*Figura 44: Estanque semienterrado de 150 m<sup>3</sup> de almacenamiento.*

A un costado del estanque, se encuentra enterrada la cámara de tuberías y válvulas que sirven como punto de inspección para controlar el flujo de agua hacia el estanque y también hacia la red de abastecimiento del pueblo de Huatulame. Una tubería principal de acero de 100 mm x 100 mm conduce el agua hacia el estanque y otra de las mismas dimensiones y materialidad lleva el agua hacia el pueblo. Por otra parte, una tubería de 40 mm lleva agua mediante presión al estanque en el caso de que la tubería principal falle. También, existe una tubería baja de acero con dimensiones 100 mm x 100 mm que es la encargada de desaguar el estanque cuando este se lava, proceso que se lleva a cabo cada dos meses de forma estimada, donde se debe vaciar el estanque en su totalidad cortando el suministro de agua por un rango de tiempo de dos horas aproximadamente. Por último, se encuentra instalada de forma permanente una manguera de color amarillo con el fin de que los camiones aljibes hagan la descarga de agua correspondiente a los estanques.



*Figura 45: Entradas a cámaras bajo y sobre el estanque respectivamente.*

### 3.2.3 Sistema de operación de agua

En esta sección se detallan todos los procesos que se llevan a cabo para permitir que el APR se encuentra operativo de forma continua, funcional y eficaz en la medida que los recursos lo permitan. Estas acciones deben ser realizadas principalmente por los operadores del APR con el fin principal de que se logre suministrar el agua potable a los usuarios del pueblo con los estándares exigidos en cuanto a cantidad, continuidad y calidad del servicio de abastecimiento de agua potable entregado.

Los procesos necesarios para llevar a cabo la operación de agua potable en el APR de Huatulame se dividen en dos categorías: los que se encuentran automatizados y los que deben ser realizados por parte de los operadores, principalmente en la zona de la planta del APR y en el estanque de almacenamiento. A continuación, se detallarán los procesos que se realizan según la división de categorías mencionada anteriormente.

Dentro de los procesos automatizados se encuentran:

- Tanto el proceso relacionado a la captación de agua desde las fuentes emplazadas en la caja del río Huatulame (pozo norte tipo noria y pozo sur tipo profundo) y la impulsión de agua desde el pozo este tipo noria ubicado en la planta, se realizan mediante bombas sumergibles las que son automáticas, operando en el bombeo de agua durante todo el día, a excepción de cuando los estanques de almacenamiento están llenos o alguno de los pozos se seca; cuando esto último sucede, el procedimiento es esperar quince minutos aproximadamente para que el nivel de agua del pozo vuelva a subir y continuar con el bombeo. Ambos sucesos que implican la detención de las bombas son controlados mediante sensores de nivel de agua ubicados en los pozos y en el estanque respectivamente, siendo reflejados en los paneles eléctricos ubicados en las casetas de operaciones. De igual manera, los procesos de detención y puesta en marcha de las bombas y de la cloración de agua son automatizados, sin embargo, se pueden realizar estos procesos de forma manual ante alguna emergencia puntual.
- A modo de detallar más los procesos, en la época de invierno se establecen horarios punta en que se para el funcionamiento de bombas, debido principalmente a que el valor económico del consumo eléctrico se duplica o triplica en ocasiones, entonces con la detención de las bombas se busca disminuir el gasto de electricidad y por ende de dinero por parte del APR. La detención de las bombas se hace en el horario de entre las 17:30 horas hasta las 23:00 horas, acción que también es automática.



*Figura 46: Perillas e indicadores de horas punta de las bombas.*

- En el caso de la cloración, funciona con el uso de un inyector de cloro, el cual tiene en su interior una esfera que hace el trabajo de ir abriendo y cerrando el conducto por el cual pasa el cloro, para que este último esté más esparcido en la solución. La acción de abrir y cerrar el paso de cloro ocurre cada 1,3 s aproximadamente, dejando pasar en cada inyección cerca de 0,5 ml de cloro. Dentro de la caseta se encuentran ubicados dos barriles con cloro, de los cuales en uno ocurre la captación y el segundo se ocupa como reposición para cuando se acaba el depósito de cloro en el primero. Una vez que se acaba el elemento en uno de los barriles, solo se cambia el captador de un estanque a otro, reponiendo con cloro el estanque vacío.



*Figura 47: Equipo dosificador e inyección de cloro.*

Un punto muy importante a mencionar es que los procesos automatizados que fueron detallados anteriormente necesitan de una conexión estable y continua a la red de energía eléctrica, por lo que el APR tiene en su poder un generador eléctrico a base de combustible (petróleo), el cual se enciende de forma automática cuando ocurren cortes de electricidad, lo que permite darle continuidad y estabilidad al proceso de potabilización e impulsión de agua.

Ahora se enlistan las acciones que deben cumplir los operadores del APR de forma personal, principalmente en las zonas de la planta o caseta de operaciones y en el estanque de almacenamiento.

- Los operadores se deben preocupar de realizar la revisión de los procesos automáticos dentro de la planta y que estos estén funcionando correctamente. Por ejemplo, se da el caso de que las bombas se detienen (por alguna de las razones anteriormente detalladas), pero el clorador sigue en funcionamiento, lo que provoca que se siga inyectando cloro a la solución, produciendo una saturación excesiva de cloro en el agua que es llevada al estanque almacenamiento (se supera el máximo de 2 ppm de dosificación impuesta en la norma). Para evitar la situación anterior, es que los operadores deben estar atento a detener los sistemas de forma manual si es que es necesario hacerlo.

Siguiendo en este tema, se debe procurar que las luces que indican los diversos parámetros de funcionamiento en el panel eléctrico estén operando adecuadamente. Algunos de los indicadores o situaciones que se pueden observar en los tableros de control son: bomba y clorador funcionando, nivel de agua en el estanque, horarios punta, fallas térmicas (calentamiento entre cables conductores), noria o pozos secos, fallas asimétricas (asociadas a problemas eléctricos como cambios de voltaje, fusibles quemados o desconectados y cruzamiento entre líneas eléctricas), voltímetros (analógicos y suelen estar entre 380 V y 400 V), amperímetros (miden corriente consumida por las bombas), analizador de red (instrumento digital para ver estado de pozos sur y norte, que

cuenta con amperímetro y voltímetro), horómetro (mide el tiempo en horas en que funcionan las bombas), botón IO (usado para encender (I) y apagar (O) las bombas en forma manual), selectores manuales (permiten colocar los sistemas de bombas y cloración en modo manual o automático, también para disponer de horarios de invierno y verano en cuanto a horas punta), botón de parada de emergencia (detiene todo el sistema ante un caso de emergencia).



*Figura 48: Panel eléctrico del pozo tipo noria ubicado en la planta del APR..*

- También, los operadores deben preocuparse de la verificación y reposición de los estanques de “cloro” (solución de hipoclorito de calcio y agua), aditivo que es inyectado mediante un clorador a las tuberías de la matriz de agua. Se debe revisar constantemente el nivel del estanque con el que en ese momento se está inyectando la solución hacia las tuberías de la red, cuando el estanque baja hasta aproximadamente un cuarto de su capacidad total, se cambia el captador al segundo estanque el cual se encuentra lleno y al bajar un poco su nivel, se procede a vaciar la quinta parte restante del primer estanque en el segundo. Luego, se procede a llenar el estanque vacío nuevamente, repitiendo constantemente el proceso. Para hacer la mezcla con que se llenan los tanques vacíos se ocupan 6 tazas de hipoclorito de calcio que corresponden a un volumen de 400 ml (marca de graduación en el tanque) o una masa aproximada de 2,4 kg, posteriormente se llena el tanque con agua hasta una marca indicada en el mismo recipiente y se procede a revolver de forma constante por cerca de diez minutos para lograr la homogenización de la mezcla. Este proceso se realiza cada tres días, que es período de tiempo que tarda en vacar un tanque de cloro.

Es importante en este proceso que el dosificador de cloro se encuentre en una posición adecuada, ya que si esto no ocurre se pueden generar obstrucciones en

el paso normal del cloro hacia las tuberías, provocando una incorrecta dosificación en la potabilización del agua.



*Figura 49: Estanques de cloro repuestos con solución.*

- Otra revisión importante por parte de los operadores es supervisar el nivel de combustible en el generador eléctrico. Como se detalló anteriormente, el generador es requerido cuando se produce un corte en el servicio de energía eléctrica, por lo que cada vez que esto ocurre el operador debe cerciorarse de que el tanque de combustible (petróleo) del generador esté en su máxima capacidad, de modo que pueda funcionar el mayor tiempo posible mientras dure el corte de electricidad. Para esta labor se dispone de bidones de combustible, los cuales deben ser llenados regularmente en la estación de servicio más cercana correspondiente a Monte Patria. El estanque del generador es de 70 L y el rendimiento del equipo es de 7 L/h en su funcionamiento al máximo.
- La verificación de cloro en el agua también es una tarea correspondiente a los operadores. Este es un proceso muy importante ya que corresponde a la desinfección de agentes patógenos o bacterianos que estén presentes en el agua proveniente de su fuente natural. Para esto se lleva un registro diario de la concentración de cloro libre residual existente en la red que distribuye el agua potable en el APR.

A grandes rasgos, para la verificación de cloro se utiliza una máquina analizadora del nivel de cloro marca LaMotte, modelo DC1500 Chlorine. Para el proceso se toma la muestra en dos frascos con 10 ml cada uno (comúnmente de puntos como llaves de lavaplatos o lavamanos, ya que de estos conductos en donde se abastecen de agua potable los usuarios para el consumo humano) y se analizan mediante la máquina analizadora, usando pastillas o sobres de polvo reactivos de cloro libre, cambiando el color de la muestra a un tono violeta, procediendo a escanear la muestra y esta entrega el valor de cloro que posee la muestra en unidades de ppm, este valor se registra en alguna planilla (idealmente digital),

asociándolo al lugar de la red en donde se tomó la muestra. Este proceso se repite en tres zonas distintas para corroborar la concentración de cloro en diversos lugares. Cabe destacar que si el valor de concentración de cloro medido está fuera del rango especificado en la norma (entre 0,5 ppm y 2 ppm), se deben realizar acciones para que el nivel de cloro vuelva a su nivel normal, para esto comúnmente se ajusta la dosificación de cloro desde el clorador, inyectando menos o más cantidad de cloro según la situación lo amerite y volviendo a verificar la concentración de cloro en el agua potable que circula por la red del APR.



*Figura 50: Equipo analizador de niveles de cloro.*

- Los operadores también deben realizar el lavado del estanque de almacenamiento, tarea muy importante para que el agua potable almacenada esté limpia para ser distribuida a los usuarios del pueblo. Para llevar a cabo este proceso, en primera instancia es dar aviso a los camiones aljibes que recargan el estanque con agua potable externa para que no hagan los viajes en la jornada de lavado del estanque. Luego, de forma manual, se detienen las bombas de la planta y se espera a que el estanque se vacíe de forma paulatina mediante el consumo normal por parte de los usuarios, lo que suele tardar alrededor de doce horas y durante este tiempo se debe supervisar que el vaciado se haga correctamente. Cuando el estanque se encuentra casi vacío, se le da paso a la válvula de desagüe con el fin de que toda el agua residual salga completamente del estanque y así ingresar al estanque. Una vez dentro de la estructura, el lavado se hace con una manguera (saliente desde un camión aljibe) y que cuenta con un pistón en su extremo, donde este último libera agua con alta presión que va limpiando las paredes interiores del estanque. La limpieza tarda un estimado de treinta minutos y este proceso se debe realizar cada dos meses aproximadamente.



*Figura 51: Pistón de manguera a presión para hacer el lavado del estanque.*

Relacionado a esta tarea, se debe observar el estado de los escalines exteriores e interiores del estanque (que no se encuentren deteriorados, por ejemplo, debido a efectos de la corrosión), para que los operadores puedan subir y descender de forma segura a través del estanque; la tapa del estanque ubicada en su cara superior debe quedar bien cerrada para que no entren agentes externos al estanque y puedan contaminar el agua potable; y los sistemas de ventilación no se deben encontrar obstruidos con basura, para una correcta circulación de aire.

- Otra acción que se debe ejecutar de forma manual y presencial por parte de los operadores son los arreglos de roturas de matriz y arranques domiciliarios, para esto los trabajadores van al lugar para identificar dónde ocurrió el desperfecto: si en la tubería después del medidor de la casa (de material PVC); en la tubería que va desde la matriz hacia el medidor (también de materialidad PVC); o en la matriz misma (que tiene acero galvanizado como material). Si se da el primer caso, el problema no pasa a ser del APR, sino que, del usuario por lo que los operadores no inciden en los arreglos; en los otros dos casos, los operadores deben excavar (mediante chuzo, pala o martillo demoledor) alrededor del medidor, tubería o matriz, si existe pavimento se necesita contratar los servicios de una máquina excavadora. Una vez encontrado la ubicación de la rotura, lo siguiente es detener el paso de agua en el sector mediante el accionamiento de la llave de corte más cercana y luego se acude a la llave de desagüe correspondiente para evacuar el agua existente en la tubería o elemento dañado (si no existe llave de desagüe asociada al tramo con problemas, se espera que el agua vaya saliendo paulatinamente). En caso de que la rotura sea en el conducto que va hacia la vivienda, se repone la sección de PVC rota con una nueva a medida (copla de reparación) o una pieza singular necesaria (codos, T, empalmes, entre otros), la unión de esta nueva pieza se hace con diluyente para facilitar la penetración, se aplica un pegamento especial (Vinilit) para unir ambas piezas de PVC y finalmente se asegura la unión de piezas con cinta teflón. Al último, se vuelve a rellenar la excavación hecha, para dejar el suelo en las mismas condiciones en que se encontraba originalmente.



*Figura 52: Repuestos de cañerías para reemplazar en medidores y en matriz.*

- En cuanto a la mantención de los componentes que forman la red del APR, se hacen procedimientos preventivos, que son actividades programadas conformes a las necesidades de mantención que requiere el sistema como por ejemplo: chequeo de niveles de los pozos en estados estáticos (sin bombas activas) y dinámicos (con bombas activas), lavado de estanque, estado de válvulas y cámaras de la red, sistema de cloración completo, disposición continua de insumos (como hipoclorito de sodio, petróleo para el generador, piezas de reparación de tuberías, entre otros). Por otra parte, están los mantenimientos correctivos que corresponden a acciones a desarrollar ante imprevistos o situaciones de emergencia y que son necesarias de atender con urgencia, algunos ejemplos de estos procesos son la reparación de cañerías o matrices rotas, cambio de piezas del sistema de distribución de agua potable (como válvulas de cierre o de desagüe), verificación de filtraciones, problemas en arranques domiciliarios, entre otros.
- Sobre los registros de datos importantes que llevan los operadores se destaca el del caudalímetro ubicado en la caseta de cloración, que lleva la cuenta de la producción de agua por parte del APR en unidades de m<sup>3</sup>; este registro se toma dos veces al día con fecha y hora, y es entregado a la secretaria en la oficina del APR para su traspaso a una planilla digital. Otro registro realizado es el del horómetro que indica las horas en que están en funcionamiento las bombas; cabe destacar que este instrumento solo se encuentra operativo en el panel eléctrico asociado al pozo norte y el registro se hace al menos una vez al día con fecha y hora correspondiente. También, se lleva nota del proceso de verificación de concentración de cloro en el agua, tal como fue descrito en detalle anteriormente. Por otra parte, se lleva registro de las fechas en que se hace mantención a alguno de los componentes del sistema de agua potable o en que se presentan emergencias en la red (rotura de cañerías, matrices, etc.), ya sea hecho por los operadores o especialistas externos. De igual forma se lleva un registro de los exámenes bacteriológicos o fisicoquímicos de rutina que se hacen en períodos de dos meses aproximadamente, se archivan la fecha de realización y los resultados

asociados. Por último, los operadores son los responsables de registrar el consumo de agua potable por parte de la población, esto se hace tomando los datos de los medidores de cada hogar y anotando de forma manual en una planilla junto con otros datos como nombre del usuario, dirección, registro anterior, entre otros. Esta tarea es muy importante ya que, con estos datos de consumo, la secretaria se dispone a calcular el monto del servicio entregado a cada usuario y a generar la boleta respectiva para ser entregada en cada casa, esta última tarea también es realizada por parte de los operadores.

- Una última tarea hecha por parte de los operadores es la de realizar asistencia a la población, lo que principalmente consiste en acudir a las casas ante llamados de los usuarios que presentan fallas y realizan una serie de preguntas a las personas para lograr verificar cuál es la problemática y así identificar si esta corresponde a una falla de la red o en la casa misma (medidores, tuberías dentro del predio de los pobladores, piezas mal ajustadas, etc.). Otro tipo de asistencia corresponde a realizar el corte o reposición del servicio de agua potable a usuarios que poseen atrasos con los pagos del consumo, lo que se traduce en deudas con el APR. Cuando se excede con el tiempo máximo sin pagar su propio consumo se procede con corte del suministro de agua y cuando esta deuda es saldada, se realiza la reposición del servicio.

## 4. Metodología de trabajo empleada

En este capítulo se describe toda la metodología de trabajo empleada para hacer el levantamiento de datos en terreno, la rectificación y replanteo de los datos recabados y, finalmente, la modelación de la situación actual de ambos APRs en estudio mediante el software Epanet

### 4.1 Levantamiento de información en terreno

#### 4.1.1 Primera visita a terreno

La primera actividad que se llevó a cabo fueron las visitas a terreno preliminares, las que realizaron la semana del lunes 23 de agosto al viernes 27 de agosto de 2022, más específicamente, el APR Huatulame en Monte Patria se visitó el día miércoles 24 de agosto y el APR San Marcos en Combarbalá se visitó el día jueves 25 de agosto. En estas instancias, con la compañía y apoyo del profesor guía, se hicieron reuniones introductorias en conjunto con las directivas de ambos APRs con el fin de explicarles el trabajo que el alumno memorista iba a desarrollar entorno a cada comité respectivo.

Los integrantes de las directivas de los APRs comunicaron las principales problemáticas con las que ellos se sentían afectados, en cuanto al correcto funcionamiento del comité y al abastecimiento de agua potable como tal. Estas problemáticas fueron registradas y se caracterizaron como problemáticas de diagnóstico, las que se detallan en el siguiente capítulo.

También, a cada APR se les solicitó toda la información que pudieran compartir con respecto a antecedentes que puedan aportar al conocimiento que se tiene sobre el APR, por ejemplo, detalle de la facturación mensuales registradas, planillas con volúmenes de agua producida y facturada, planos geográficos de la zona y de las redes de conducción de agua, pruebas de bombeo en pozos, entre otros.

#### 4.1.2 Segunda visita a terreno

Dada la falta de antecedentes y documentos oficiales en poder de los APR, además de no poder recabar información en organismos públicos relacionados al rubro (municipalidades y DOH regional), se decidió hacer una segunda visita a terreno a las localidades de los APRs para levantar información con la ayuda de alguno de los integrantes de cada comité, también contando con las labores de apoyo y supervisión del profesor guía.

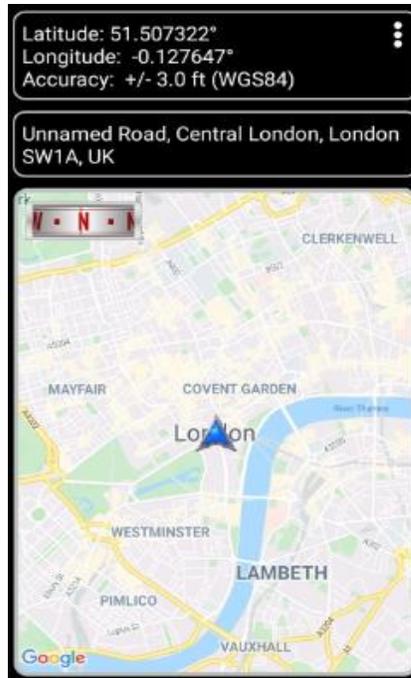
El trabajo de levantamiento de datos en los APR se realizó la primera semana del mes de noviembre de 2022, más específicamente, el día martes 01 en Huatulame y el día jueves 03 en San Marcos. Durante esas jornadas, junto a los operadores de cada APR (Germán Salazar de Huatulame y René Rojas de San Marcos) se recorrieron las principales instalaciones de los comités y, especialmente, las respectivas redes de distribución de agua potable.

Durante estos recorridos se registró:

- La forma de la red, mediante un bosquejo o esquema a mano alzada, registrando todos los puntos singulares que componen el circuito, vale decir, estanques, cámaras de corte y desagüe, ventosas, conexiones especiales de tuberías (codos, T y doble T), puntos de fin de brazos de red, materialidad de las tuberías y puntos donde se producía un cambio de éstas, lugares importantes de la localidad

(escuelas, centros de salud, plazas, entre otros); además en el bosquejo se indicaba el sector dentro del pueblo en el cual se ubicaba cada uno de los puntos singulares registrados.

- También, se ocupó el celular con una aplicación llamada “Polaris Navigation GPS”, la cual proporciona las coordenadas de latitud y longitud de un lugar específico en donde se ubique el celular, entregando esta información con un grado de exactitud según la calidad de conexión con el satélite correspondiente. Con esta aplicación móvil, se tomaron las coordenadas de los puntos singulares de cada una de las redes.



*Figura 53: Imagen referencial de la interfaz de la aplicación Polaris Navigation GPS.*

Luego de terminadas las jornadas de terreno, se procedió a realizar un ordenamiento y digitalización de toda la información levantada, esto mediante archivos Excel, en los cuales a cada punto singular levantado se le asignó un número de nodo el cual sirvió para identificar cada punto en los distintos programas a utilizar. Se confeccionaron dos archivos Excel: uno para la red de distribución asociada al APR Huatulame; y otro archivo con dos hojas de cálculo separadas para el APR de San Marcos, esto ya que en este sistema existen dos redes de distribución independientes entre sí, una red asociada al estanque elevado con capacidad de 15 m<sup>3</sup> y una segunda red asociada al estanque semienterrado de 200 m<sup>3</sup> de volumen.

Las labores hechas en terreno son relevantes ya que permiten materializar de forma concreta el conocimiento que tienen los operadores acerca de las redes de distribución de agua potable en las cuales trabajan. Lo anterior cobra más importancia ante la falta de antecedentes que no pudieron conseguirse con las entidades responsables de los APRs.

## 4.2 Replanteo de la información en Google Earth

Con toda la información y datos recopilados, ordenados y digitalizados, se procedió a hacer el replanteo en el programa Google Earth. En este software se iban ingresando una a una las coordenadas de los puntos singulares registrados en terreno y se les asignaba un marcador de posición identificatorio a cada uno de ellos, de forma de guardar el lugar en el programa de forma permanente.

Dado que la calidad de la conexión a internet en las jornadas de terreno no siempre fue óptima, a medida que se ingresaban los puntos, se iban corrigiendo las posiciones reales en Google Earth, ya que las coordenadas registradas en terreno tenían un margen de error aproximado entre los +/-3 m y +/-10 m. Esta corrección de coordenadas se iba agregando a los archivos Excel para tener el dato más preciso y exacto de la posición de los puntos singulares registrados. Con las coordenadas corregidas, se podía obtener la cota con respecto al nivel del mar a la que se encuentran ubicados cada uno de los puntos de las redes, esto mediante la función elevación con la que cuenta Google Earth. Por último, en el programa, a cada marcador se le agregó una breve descripción de lo que representaba en la red, para tener como referencia de qué tipo de punto singular se trata.

Con todos los puntos registrados y rectificados en Google Earth, se procedió a realizar el trazado de cada una de las redes, para esto se unieron los marcadores que representan cada punto singular de la red mediante trazados individuales, los que en su conjunto forman los trazados totales de las redes en estudio. Con los trazados hechos, se pudo obtener el dato de las distancias entre los puntos singulares, lo que es necesario para obtener la longitud de los tramos de tuberías al modelar la malla de cada red con sus respectivos nodos en Epanet.

Con el fin de hacer una rectificación final antes de ingresar los datos a la modelación en Epanet, se hicieron reuniones remotas con los operadores de los APR en estudio (con Huatulame el martes 22 de noviembre y con San Marcos el miércoles 23 de noviembre), en donde de forma telemática se les presentó el trabajo realizado, más específicamente con los trazados de la red y los puntos singulares asociados. En estas instancias se hicieron acotaciones por parte de los operadores al trabajo realizado, las que fueron corregidas posteriormente en los trazados en Google Earth, complementando así el trabajo realizado originalmente.

A continuación, se muestran los trazados en Google Earth de cada una de las redes a estudiar con sus respectivos nodos:

- Red Huatulame: En el caso de este APR, existe una única red asociada al estanque semienterrado con capacidad de 150 m<sup>3</sup> de almacenamiento. La red abarca los sectores de El Llano, calle Bernardo O'Higgins, sector La Isla, sector costado de carretera y las poblaciones Gabriela Mistral, Pablo Neruda y García - Huidobro.

Según los datos recabados, la red tiene una extensión de aproximadamente 7.685 m, la que se muestra de forma referencial en la siguiente figura:



*Figura 54: Trazado red APR Huatulame.*

Por otra parte, se contabilizaron 51 puntos singulares de la red, entre los que destacan válvulas (corte, desagüe y ventosas), puntos de fin de red, puntos de conexiones especiales (codos, T y doble T), sectores de cambio de materialidad en la red y lugares destacados del pueblo. En la siguiente figura se muestra la distribución de los puntos singulares en la red:



*Figura 55: Trazado con puntos singulares red APR Huatulame.*

- Red estanque elevado APR San Marcos: En este APR existen dos redes independientes entre sí, una de ellas está asociada al estanque elevado con capacidad de 15 m<sup>3</sup> que cubre los sectores de El Villorrio, Villa Colo Colo, calle Cementerio y Vista Hermosa.

Del levantamiento de información realizado, la red tiene una extensión de aproximadamente 2.544 m, la que se observa referencialmente en la siguiente imagen:



Figura 56: Trazado red estanque elevado APR San Marcos.

Para esta red, se registraron 35 puntos singulares de la red. En la siguiente imagen se observa la distribución de los puntos singulares en la red:

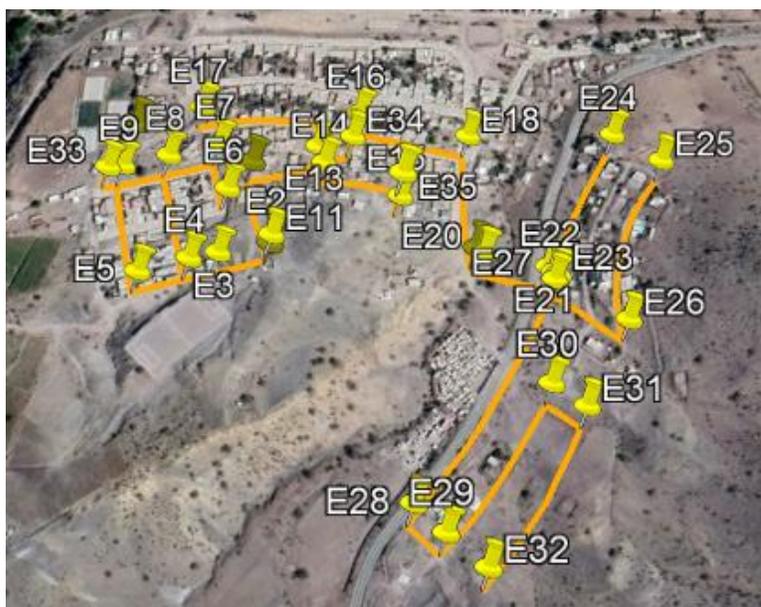


Figura 57: Trazado y puntos singulares red estanque elevado APR San Marcos.

- **Red estanque semi-enterrado APR San Marcos:** La segunda red de este APR está asociada al estanque semi-enterrado con capacidad de 200 m<sup>3</sup> para almacenar agua potable. Esta red es más antigua y extensa en comparación a la red del estanque elevado, abarcando los sectores de San Marcos Viejo, San Marcos Nuevo y Mal Paso.

Según los datos tomados en las visitas a terreno, la red tiene una extensión de aproximadamente 7.929 m, la que se observa de forma referencial en la siguiente imagen:



*Figura 58: Trazado red estanque semi-enterrado APR San Marcos.*

Para esta red, se registraron 51 puntos singulares de la red. En la siguiente imagen se observa la distribución de los nodos que representan los puntos singulares de la red:



*Figura 59: Trazado y puntos singulares red estanque semi-enterrado APR San Marcos.*

Para revisar en detalle la información levantada en terreno y los datos resultantes del proceso de replanteo en Google Earth, revisar el anexo A de este documento.

### **4.3 Modelación de las redes de distribución en Epanet**

Se comenzó realizando un dibujo lo más realista posible de las redes de distribución usando como referencia los trazados hechos anteriormente en Google Earth, para esto se sacaron recortes de pantalla a los trazados y sobre estas imágenes se iban dibujando los nodos unidos con sus respectivos tramos de tuberías, asignándoles un número identificador a cada uno de los elementos, siguiendo el orden tal cual se había hecho en el replanteo de datos.

Luego de dibujar los trazados y formar las respectivas mallas de las tres redes, con sus respectivos estanques, nodos y tuberías, se procedió a ingresar los siguientes datos al programa:

- a) Cotas de nodos: correspondiente a la altura sobre el nivel del mar que se encuentran los puntos de interés, ya sean los estanques o los nodos. Para esto,

se extrajo la información de Google Earth una vez finalizado el proceso de replanteo. Unidad de medida: metros [m].

- b) Largos de tuberías: correspondiente a la longitud que posee cada tramo de tuberías que une dos nodos contiguos. Este dato se obtuvo desde Google Earth y fue resultante del replanteo utilizado, midiendo las distancias con la herramienta medición de ruta del programa. Unidad de medida: metros [m].
- c) Diámetro de tuberías: referido al diámetro interno asociado a cada tramo de tuberías. Este dato fue proporcionado por los operadores de cada APR en las respectivas visitas a terreno. Unidad de medida: milímetros [mm].
- d) Rugosidad: coeficiente que representa la resistencia de un determinado material al paso del agua a través de él. Para determinar este dato se siguió el método de Hazen-Williams, otorgando un coeficiente de 120 para tuberías de acero galvanizado y 140 para las tuberías en materialidad PVC y HDPE. Unidad de medida: adimensional [-].
- e) Consumo por nodo: demanda de agua que tiene cada nodo de forma independiente en las redes. La unidad de medida de ese dato ingresado es litros por segundo [L/s]. Para estimar este dato se realizó un cálculo y análisis más específico que se detalla a continuación:
  - i) Primeramente, cada APR a través de sus secretarías y operadores entregaron documentos en donde se tuviera registro del consumo de agua potable en un mes en específico. Por parte del comité de San Marcos, compartieron una planilla con el detalle del consumo de los 12 meses del año 2021. También, se entregó el detalle de consumo por cada uno de los sectores que componen el pueblo, es decir, los sectores San Marcos Viejo, El Villorrio, Colo Colo, Vista Hermosa, Mal Paso y de las calles Centenario, Arturo Prat, Diego Portales y Bernardo O'Higgins que forman parte de San Marcos Nuevo (para la modelación se escogió el mes de enero de 2021, ya que es el mes con más consumo registrado en el año). Para la red del estanque elevado se facturaron 1.681 m<sup>3</sup> y para la red del estanque semi-enterrado se facturaron 4.619 m<sup>3</sup>.

En el caso del comité de Huatulame, solo entregaron una copia digitalizada de una planilla simple correspondiente del mes de diciembre del año 2020, donde se registra el total de m<sup>3</sup> producidos, facturados, además de mencionar el aporte que realizan camiones aljibes que proporcionan agua potable directamente al estanque del pueblo (se facturaron 7318 m<sup>3</sup> en diciembre de 2020).

Cabe destacar que los consumos mensuales para cada APR fueron amplificados por un factor de 1,3 que considera un aproximado de 30% de pérdidas promedio en los sistemas de distribución de agua potable. Lo anterior con los datos de volúmenes de producción y facturación del APR San Marcos (ver anexo B), tomando esta localidad como similar a Huatulame, usando para ambos APRs el valor de 30% de pérdidas.

- ii) Lo siguiente, fue contar la cantidad de casas (arranques) que se ubican en cada red de los APRs respectivos, para esto se ocupó la imagen satelital más reciente brindada por Google Earth. Entre cada tramo que une dos nodos, se contaban los hogares visibles, asignando un arranque a cada casa. De los datos proporcionados por cada APR tenemos que Huatulame tiene una única red de distribución que cuenta con 554 arranques; por otra parte, el APR San Marcos tiene dos redes de distribución, una para el estanque semienterrado con 319 arranques y la segunda red para el estanque elevado con 163 arranques, teniendo 482 arranques en total.
  - iii) Una vez contabilizados los arranques por tramo en Google Earth, se calculó a cuánto del total correspondía el número de arranques obtenidos. Por ejemplo, si en el tramo entre los nodos 1&2 de Huatulame se contaron 15 arranques y sabemos que en esta red el total de arranques son 554, en el tramo 1&2 existe un 2,71% de los arranques de la red aproximadamente.
  - iv) Luego, con el porcentaje anteriormente obtenido, se procedió a asociar a cuánto consumo del total mensual de cada red correspondía el porcentaje de arranques por tramo calculado. Por ejemplo, si el consumo mensual del APR Huatulame en el mes de estudio fue de 5000 m<sup>3</sup> y el tramo 1&2 tiene el 2,71% de arranques, el consumo de este tramo en específico sería de 135,38 m<sup>3</sup> aproximadamente.
  - v) Después, del consumo de cada tramo se le asignó la mitad a cada uno de los nodos que forma el tramo. Por ejemplo, si el consumo del tramo 1&2 era de 135,38 m<sup>3</sup>, se le asignaba una demanda de 67,69 m<sup>3</sup> a los nodos 1 y 2 respectivamente. Esto se hizo para todos los tramos y cabe destacar que cada nodo podía formar parte de uno, dos, tres o hasta cuatro tramos según el trazado de las redes que se hizo en Google Earth, por lo que la demanda final de cada nodo es el resultado de la suma de las demandas de cada tramo de los cuales formaba parte el nodo en estudio.
  - vi) Ya teniendo las demandas de cada uno de los nodos de las tres redes estudiadas era necesario hacer la transformación de unidades de medida, ya que se encontraba en m<sup>3</sup>/mes y para ingresar el dato al software Epanet es necesario hacerlo en L/s. Para esto el valor de demanda se dividió por un factor de 2.678,4 que es producto de pasar de m<sup>3</sup> a litros y de mes a segundo.
- f) Niveles de estanques: corresponde al nivel de agua que tienen los estanques con respecto a su propia altura y su condición de operación (si es elevado, enterrado o semienterrado). La unidad de medida de este dato es metros [m].

En Epanet se deben ingresar los datos de tres tipos de niveles, los que se detallan a continuación:

- i) Nivel inicial: corresponde a la operación del estanque a la mitad de su altura. Por ejemplo, si un estanque elevado está a 10 m sobre el nivel del suelo y su altura propia es 5 m, el nivel inicial corresponde a 12,5 m.
- ii) Nivel mínimo: se refiere al menor nivel de operación que tiene el estanque. Tiene un valor por defecto a 0,5 m de altura a partir de considerar el estanque vacío (considerando como vacío el nivel de suelo para estanques semienterrados, es decir, 0 m). Por ejemplo, si un estanque elevado está a 10 m sobre el nivel del suelo y su altura propia es 5 m, el nivel mínimo corresponde a 10,5 m.
- iii) Nivel máximo: corresponde al nivel máximo de operación que tiene el estanque. Tiene un valor por defecto de 0,5 m menos de la altura total del estanque. Por ejemplo, si un estanque elevado está a 10 m sobre el nivel del suelo y su altura propia es 5 m, el nivel máximo corresponde a 14,5 m.

Para revisar los datos de entrada al programa Epanet para modelar las redes de distribución de los APRs estudiados, revisar el anexo B de este documento.

## 5. Caracterización de problemáticas identificadas

En este capítulo se enlistan las principales problemáticas que se encontraron con respecto a todos los aspectos que engloban un correcto funcionamiento de un APR. Las problemáticas se dividirán en dos secciones: primero los problemas encontrados en la etapa de levantamiento de información tanto de informes como en terreno, los que serán relacionados a un diagnóstico previo y funcionamiento general del APR y su comunidad; y por una segunda parte, se detallarán las problemáticas surgidas luego de modelar las redes de ambos APRs en el software Epanet, las cuales serán más propias a fallas técnicas de operación y funcionamiento de las redes.

### 5.1 Problemáticas previas de diagnóstico

#### 5.1.1 APR Huatulame

- Falta de implementación y operación de un software que apoye las labores de administración y gestión en la oficina del APR.
- Necesidad de realizar una mantención al sistema de filtros ubicado en la caseta de operaciones, más específicamente, se debe hacer el proceso de cambio de arenas.
- Los usuarios del APR perciben una sequía persistente en el pozo profundo del sector que abastece al pueblo.
- En el sector La Isla, ubicado en el extremo norte del pueblo, algunos usuarios han reportado problemas en sus arranques domiciliarios debido a altas presiones de forma persistentes, causando daños en tuberías interiores de los hogares. Se destaca que en este sector se encuentran las menores cotas del APR.
- Existen 4 familias que no poseen acceso a agua potable mediante la red del APR, ya que sus casas se encuentran en terrenos no regularizados legalmente (tomas) por lo que no se les puede entregar la factibilidad necesaria para acceder a los arranques particulares que se conecten a la red de distribución del APR. Actualmente, estas familias se abastecen de agua mediante camiones aljibes enviados por la municipalidad de Monte Patria.
- Problema de relacionamiento comunitario, ya que la DOH está desarrollando un proyecto que involucra llevar agua desde un pozo ubicado en el límite entre Huatulame y la localidad vecina de El Tome, pero los habitantes de ambos sectores no quieren compartir el agua con otras personas que no sean de su mismo pueblo, oponiéndose a que este proyecto se lleve a cabo por parte de la autoridad correspondiente.
- Ante este nuevo proyecto desarrollado por la DOH, se necesita de un nuevo estanque de almacenamiento para el sector de Huatulame (con su respectiva red de impulsión), ya que el pozo del sector El Tome, según las pruebas de bombeo realizadas, produce un caudal aproximado de 28 L/s, por lo que el estanque semienterrado existente de 150 m<sup>3</sup> no es suficiente para almacenar el agua necesaria producida por esta nueva fuente de captación de agua.

### 5.1.2 APR San Marcos

- Realización de mantención al sistema de control en la caseta de operaciones, más específicamente a los tableros, ya que los operadores y personal del APR no cuentan con el conocimiento ni la capacitación necesaria para hacer esta labor.
- Falta de implementación y operación de un software que apoye las labores de administración y gestión en la oficina del APR.
- En la red eléctrica del pueblo se producen constantes cambios de voltaje, lo que ha producido desperfectos técnicos en los diferentes instrumentos que componen el sistema de bombeo de agua desde las fuentes de captación.
- Aproximadamente un 47% de las casas del pueblo no poseen alcantarillado (228 casas no tienen conexión a alcantarillado de un total de 482), ubicándose principalmente en los sectores periféricos del pueblo.
- El sector más nuevo de Vista Hermosa reporta hogares con problemas de bajas presiones, sobre todo en horarios de alta demanda de agua por parte de los usuarios del APR, generando inconvenientes tales como no poder encender el sistema de calentamiento de agua para ducha y lavaplatos. Este sector se encuentra ubicado al comienzo de la falda del cerro del pueblo y conectado a la red de distribución asociada al estanque elevado.
- Problemática de relacionamiento comunitario ya que, al igual que la situación que pasa en Huatulame, la DOH está desarrollando un proyecto que involucra llevar agua desde un pozo ubicado en el límite entre los sectores de San Marcos y Las Moraledas, pero los habitantes de ambos sectores no quieren “compartir” el agua con otras personas que no sean de su mismo pueblo, por lo que se oponen a la realización de este proyecto por parte de la DOH.

## 5.2 Problemáticas técnicas de operación post modelación

Luego de desarrollada la etapa de modelación en el software Epanet, se identificaron las siguientes problemáticas que son detalladas según el APR respectivo en el cual se encuentran.

Para revisar el detalle de los datos a ingresar al software Epanet y los resultados de la modelación realizada para los casos de las situaciones actuales de las redes de los APRs en estudio, revisar los anexos B y C respectivamente de este documento.

### 5.2.1 APR Huatulame

A continuación, se detallan las problemáticas técnicas relacionadas a la operación de la red de distribución de agua potable del APR respectivo, las que fueron resultantes luego de realizar un proceso de modelación en el software especializado.

#### 5.2.1.1 Altas presiones en sector La Isla

En la situación actual de este APR, se identificaron dos nodos (25 y 26) ubicados en el extremo norte del sector La Isla que tenían presiones por sobre lo que indica la norma

como valores máximos permitidos y un tercer nodo (27) con presiones justo por debajo de este límite.



Figura 60: Vista satelital sector La Isla con problemas de altas presiones.

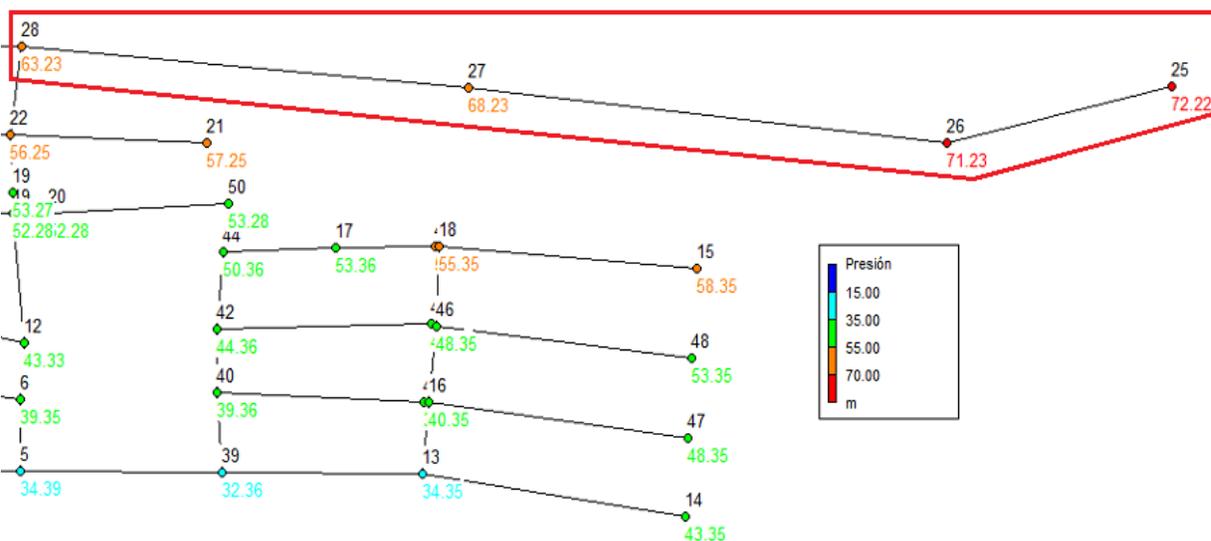


Figura 61: Resultados de modelación de altas presiones en sector La Isla.

Como se puede ver en la imagen anterior (en el polígono de color rojo) y sabiendo que la normativa indica presiones máximas de 70 mca (metros columna de agua), existen dos nodos de color rojo con presiones de 72,22 mca (nodo 25) y 71,23 mca (nodo 26), mientras que, de derecha a izquierda, el nodo que le sigue (nodo 27) tiene una presión de 68,23 mca, es decir, justo por debajo de la presión máxima permitida y el último nodo del tramo con problemáticas (nodo 28) tiene una presión de 63,23 mca.

### 5.2.1.2 Ampliación de red existente para población futura

Por otra parte, se realizó una simulación proyectada del APR a un horizonte de 10 años, para este periodo de tiempo se calculó que habría una población de 4.580 habitantes aproximadamente lo que, estimando una densidad real de 5 habitantes por casa (según información de población y arranques proporcionada por el área administrativa del APR), se traduce a 916 arranques proyectados en el pueblo (las tablas de cálculo se muestran

más avanzado el documento). Esto versus los actuales 2.750 pobladores y los 554 arranques de la localidad abastecida por el APR.

Con el conocimiento de esta situación, nace la problemática de donde ubicar esta población proyectada en el pueblo y, más específicamente, cómo ampliar la red de distribución de agua potable existente para satisfacer las demandas futuras. Para esto se visualiza un terreno ubicado al costado norte de población García-Huidobro, donde se pretende ubicar un nuevo asentamiento para la construcción de una villa que albergue gran parte de la población futura que se proyecta, con la respectiva ampliación de la red de agua potable. El terreno cuenta una superficie estimada de 4,19 Ha.



*Figura 62: Terreno para ubicar la ampliación de la red en APR Huatulame.*

En la imagen se puede ver un polígono con un relleno de tono anaranjado que representa el terreno escogido para albergar una nueva población en Huatulame.

### 5.2.2 APR San Marcos

A continuación, se muestran las dificultades técnicas asociadas a la operación de la red de distribución de agua potable del APR respectivo, las que fueron resultantes luego de realizar el proceso de modelación en el software Epanet.

#### 5.2.2.1 Bajas presiones en sector Vista Hermosa

Al ejecutar la modelación de la situación actual para este APR se identificó una zona del sector Vista Hermosa con presiones por debajo de lo que indica la normativa asociada (presión mínima de 15 mca). Cabe recalcar que en esta zona la red de distribución de agua potable se encuentra instalada y existen loteos de terrenos ya adjudicados, pero no se encuentran casas construidas ni arranques instalados, por lo que con el paso del tiempo la presión de este tramo de la red debería disminuir aún más, ya que en el corto plazo el sector comenzará a ser habitado y, por ende, empezarán a generarse consumos de agua potable a esta red del APR. Además, en cuanto a la geografía del lugar, se tiene una pendiente en altura, ya que se encuentra al comienzo de la falda de un cerro del sector.



Figura 63: Lugar con bajas presiones en sector Vista Hermosa, San Marcos.

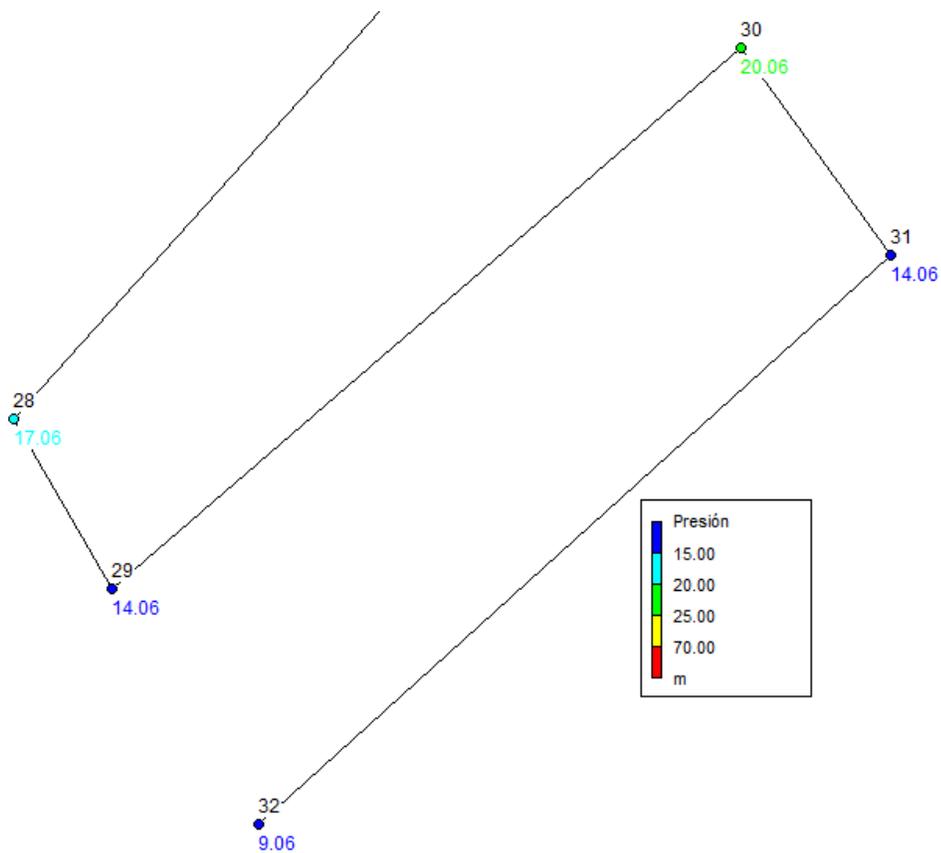


Figura 64: Resultados de modelación de bajas presiones en sector Vista Hermosa.

Como se observa en la imagen, existen tres nodos con presiones bajo el mínimo establecido por la normativa asociada (15 mca), más específicamente, dos nodos tienen una presión de 14,06 mca y uno de ellos tiene 9,06 mca. Mientras que los otros dos nodos visibles, tienen una presión que pasa por poco el mínimo normado (17,06 mca y 20,06 mca), por lo que una vez instalados algunos arranques de los terrenos del sector sus presiones pueden descender por debajo de los 15 mca mínimos.

Para ver tablas con detalle de resultados de modelaciones, ver el anexo C del documento.

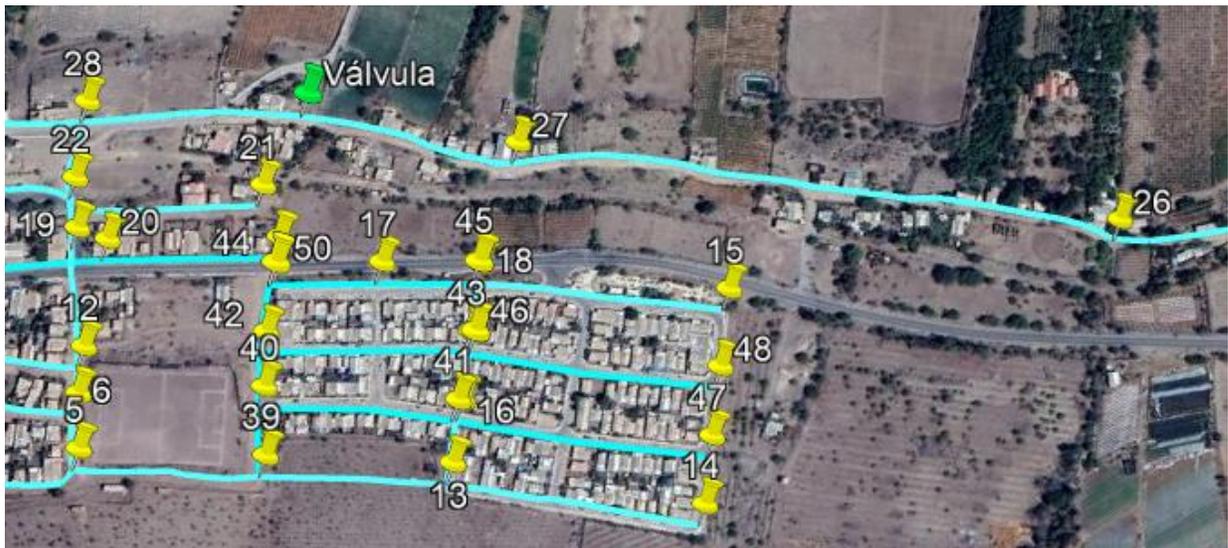
## 6. Soluciones propuestas a las problemáticas

En este capítulo se presentan las soluciones técnicas propuestas a las problemáticas detalladas en el capítulo 4 del presente documento, detallando cómo las soluciones escogidas resuelven las dificultades técnicas resultantes de la modelación hecha mediante el software Epanet (para ver detalle de resultados de la modelación, ver anexo C).

### 6.1 Altas presiones en sector La Isla, Huatulame

Para solucionar la problemática de altas presiones en el tramo de la red de distribución ubicado en el sector La Isla, se recomienda instalar una válvula reductora de presión aguas abajo de la red entre los nodos 28 y 27, en el punto medio del tramo de tuberías que une estos dos puntos, como el tramo mide 319,22 m, la válvula reductora se instala a 159,61 m hacia cada dirección.

Por otra parte, la ubicación exacta para la instalación de la válvula reductora se encuentra descrita por las coordenadas  $-30.835427^\circ$  de latitud y  $-70.978456^\circ$  de longitud, a una cota de 445 m de altura. La siguiente figura muestra la ubicación referencial de la válvula reductora de presión en la red:



*Figura 65: Plano referencial de ubicación válvula reductora..*

Para hacer la modelación en Epanet, la metodología realizada fue la siguiente:

- Establecer dos nodos ficticios (F1 y F2), para que entre estos dos puntos se añadiera la válvula reductora de presión.
- Las cotas de los nodos F1 y F2 corresponden a la misma altura de la ubicación a la que se quiere instalar la válvula, la que en este caso era de 445 m.
- Ya que F1 y F2 son nodos ficticios, no se les asigna una demanda de agua.
- El tramo que une los nodos F1 y F2 también es ficticio, por lo que no tiene una longitud asociada. Sin embargo, si se le añaden las variables de rugosidad y diámetro de las tuberías que forma el tramo de la red (PVC de coeficiente 140 de

rugosidad y 110 mm de diámetro), ya que estos datos serán parte de la conexión de la válvula a la red y, por ende, de su funcionamiento.

En cuanto a características técnicas de la válvula reductora, esta está ubicada en un tramo de tuberías que es de materialidad PVC, diámetro de 110 mm y una calidad asociada clase 10. A su vez, se le asignó una consiga de 45 mca como presión de salida, con lo que su efecto sobre la presión de los nodos involucrados en la problemática de la red es:

- El nodo 28 mantiene su presión de 63,23 mca.
- El nodo ficticio F1 tiene una presión de 67,23 mca (no influye en el desempeño de la red).
- El nodo ficticio F2 tiene una presión de 45 mca, correspondiente a la presión de salida de la válvula reductora (no influye en el desempeño de la red).
- El nodo 27 desciende su presión en 22,23 mca, específicamente de 68,23 mca a 46,00 mca.
- El nodo 26 baja su presión respectiva de 71,23 mca a 49 mca, estando en el rango de presiones de servicio permitidos por la normativa.
- El nodo 25, que tenía la presión más alta con 72,22 mca, disminuye su presión significativamente a 50 mca, ajustándose a los valores establecidos en la norma asociada.

Los descensos en las presiones de los nodos que se ven afectados por la instalación de la válvula reductora están dentro de los valores aceptables, ya que estos equipos pueden reducir valores máximos cercanos a los 25 mca y esta válvula en específico usada en la modelación reduce como mayor valor 22,23 mca de presión.

En la modelación, el efecto de la instalación de la válvula reductora en el tramo de tuberías del sector La Isla se observa en la siguiente imagen:

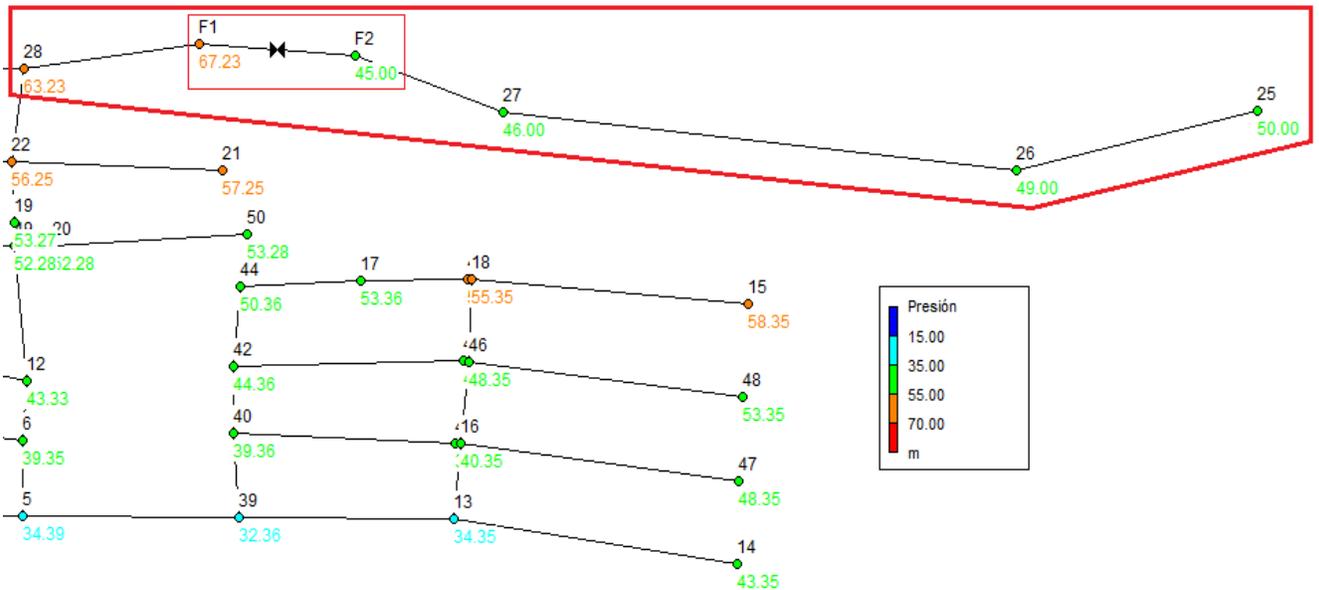


Figura 66: Modelamiento de la corrección de altas presiones sector La Isla.

## 6.2 Ampliación de red existente para población futura, Huatulame

Tal como indica el Manual de Proyectos de Agua Potable Rural 2019, para diseñar una red de distribución se deben modelar tres casos:

- Caso estático.
- Caso dinámico con N° de años a proyectar.
- Caso dinámico con N° de años a proyectar + volumen de incendio.

Partiendo con el caso estático (en las condiciones actuales), la cual corresponde al caso expuesto en la subsección anterior (6.1), es decir, con la instalación de la válvula reductora de presión para disminuir las altas presiones generadas en los nodos ubicados en el sector La Isla. Con este elemento reductor de presión instalado en la red, se tiene que la cota del estanque se encuentra a 508 m, mientras que el punto de menor cota corresponde al nodo 25 con una cota de 439 m, por lo que la diferencia de cotas corresponde a 69 m, estando dentro del rango indicado en la norma que admite como máxima presión 70 mca.

Ahora, pasando al caso dinámico que contempla la ampliación de la red existente, de acuerdo a los antecedentes que se tienen del APR y las estimaciones de poblaciones a un futuro de 10 años, para el proyecto de ampliación parcial de la red de distribución de agua potable existente se tienen los siguientes datos relevantes a tener en cuenta para el cálculo del diseño:

- Se considera un factor de densidad real de 5 hab/casa, teniendo en cuenta la población y el número de arranques actuales en el pueblo (incluyendo población escolar), información registrada por el área administrativa del APR a la fecha de este estudio.
- De acuerdo a lo indicado en el Manual de Proyectos de Agua Potable del año 2019, se determina una tasa de crecimiento anual del 4%.

- Se estima un periodo de construcción del proyecto desde el diseño del mismo hasta su ejecución y construcción de 3 años.

Con lo anterior, siguiendo lo indicado en el manual de diseño, se calculan:

$$Población\ Base = Población\ Actual * (1 + r)^n$$

Donde:

r es la tasa de crecimiento anual.

n=3 años, equivalente a los años entre término de diseño y ejecución de obras.

$$Población\ Futura = Población\ Base * (1 + r)^n$$

Donde:

r es la tasa de crecimiento anual.

n es el número de años a proyectar.

- En la situación futura (a 10 años) se calcula una población de 4.580 habitantes, produciéndose una diferencia de 1.830 habitantes con respecto a la situación actual.
- El aumento de población, considerando la densidad real adoptada, se traduce a 916 arranques, es decir, una diferencia de 362 arranques domiciliarios, que sería el dato con el cual se debe diseñar la ampliación de la red futura.

*Tabla 1: N° de habitantes y arranques en proyección a 10 años APR Huatulame.*

Año	N° Habitantes	N° Arranques
1	3218	644
2	3347	670
3	3481	697
4	3620	724
5	3765	753
6	3915	783
7	4072	815
8	4235	847
9	4404	881
10	4580	916

*Tabla 2: Cuadro de cálculo resumen población proyectada APR Huatulame.*

Población actual [hab]	2750
N° Casas actuales	554
Densidad real [hab/casa]	5
Tasa de crecimiento	4%
Tiempo ejecución diseño [años]	3

Población base [hab]	3094
Tiempo a proyectar [años]	10
Población futura [hab]	4580
Arranques futuros	916

- En cuanto a las dotaciones, se consideró 150 L/hab/día como valor de dotación máxima diaria.
- Considerando la cantidad de habitantes y arranques que habrá en el pueblo, se obtuvo una dotación mensual por arranque de 23.250 L/mes, equivalente a 0,009 L/s aproximadamente.

*Tabla 3: Cálculo de dotaciones para red APR Huatulame.*

Población futura	4580
Arranques futuros	916
Dotación máxima diaria [L/hab/día]	150
Dotación máxima mensual [L/hab/mes]	4650
Dotación población [L/mes]	21297000
Dotación población [m3/mes]	21297
Dotación por arranque [m3/mes]	23,250
Dotación por arranque [L/mes]	23250,000
Dotación por arranque [L/s]	0,009

Cabe destacar que ante la falta de información sobre datos de producción y facturación de agua potable del APR Huatulame, la asignación de consumo por nodos siguió la misma metodología empleada en el capítulo 4.3 de este documento, pero actualizando las dotaciones por arranques según la proyección de población a 10 años realizada (ver anexo B).

Según la distribución de arranques en las poblaciones Pablo Neruda y García-Huidobro (que se encuentran aledañas al terreno donde se ubicará la nueva población), la zona donde se diseñará la ampliación de la red de distribución de agua potable no podrá albergar los 362 arranques que se necesitan agregar al APR. Es por lo anterior que para los tramos de la red actual que estén en zonas con baja densidad de casas y en zonas alejadas del centro más urbano del pueblo, se les añadió aproximadamente un 30% más de arranques con su respectiva demanda de agua asociada. Este supuesto también sirve para que el consumo futuro por parte de los pobladores sea más realista y representativo, ya que no se concentraría en un sector específico del APR, si no que estaría mejor distribuido en toda la extensión de la red. De esta forma, de los 362 arranques nuevos a agregar a la red de distribución, 146 arranques se añadieron a la red ya existentes, por lo que quedarían 216 arranques para agregar a la ampliación del proyecto futuro.

De acuerdo al terreno escogido para albergar la nueva población en el pueblo, el trazado de la red queda definido por la siguiente configuración:



*Figura 67: Trazado de la ampliación de red de distribución en Huatulame.*

Como se observa en la imagen, se asignaron 12 nodos en los vértices relevantes del trazado que tiene una distribución “simétrica” (en cuanto a ramificaciones del trazado y nodos que la componen), donde los nodos A1, A2, A3 y A4 conectan la red de distribución de la población García-Huidobro con la red futura. Las coordenadas de ubicación y cotas de los nodos se presentan en la siguiente tabla:

*Tabla 4: Datos nodos de ampliación de red APR Huatulame.*

Nodo	Latitud [°]	Longitud [°]	Cota [msnm]
A1	-30,834445	-70,974248	466
A2	-30,834190	-70,974669	462
A3	-30,833923	-70,975096	457
A4	-30,833623	-70,975580	452
A5	-30,833610	-70,973455	465
A6	-30,833335	-70,973888	461
A7	-30,833052	-70,974318	455
A8	-30,832754	-70,974762	450
A9	-30,832752	-70,972672	464
A10	-30,832453	-70,973091	459
A11	-30,832142	-70,973515	454
A12	-30,831847	-70,973919	449

Los tramos formados por la conexión de los nodos anteriormente descritos serán de materialidad PVC con un diámetro de 110 mm. A continuación, en la siguiente tabla, se describen las principales características de los tramos resultantes de la unión de los nodos ubicados, más específicamente las longitudes y el número de arranques asignados:

Tabla 5: Características de los tramos ampliación red APR Huatulame.

Tramo	Longitud [m]	N° Arranques por tramo
A1&A2	49,03	6
A2&A3	50,51	6
A3&A4	57,15	6
A1&A5	119,55	12
A5&A6	51,05	12
A2&A6	120,32	24
A6&A7	51,80	12
A3&A7	121,96	24
A7&A8	53,56	12
A4&A8	124,53	12
A5&A9	121,10	12
A9&A10	52,19	6
A6&A10	124,02	24
A10&A11	53,17	6
A7&A11	127,05	24
A11&A12	50,76	6
A8&A12	128,68	12

En cuanto a la asignación de los consumos por nodos, teniendo en cuenta la dotación estimada por arranque y la cantidad de arranques por tramo con respecto al total existente en el APR, el consumo de cada uno de los nodos en la ampliación de la red se muestra a continuación:

Tabla 6: Consumo por nodos de ampliación de red Huatulame.

Nodos	Consumo [L/s]
A1	0,058
A2	0,115
A3	0,115
A4	0,058
A5	0,115
A6	0,231
A7	0,231
A8	0,115
A9	0,058
A10	0,115
A11	0,115
A12	0,057

Como resultado de la modelación, para el caso dinámico proyectado a 10 años, se obtuvieron presiones de servicio dentro del rango indicado por la norma (15 mca y 70

mca), esto tanto en la zona de la ampliación como en el resto de la red del APR. Por lo anterior, el diseño realizado resultó satisfactorio y da cumplimiento a la problemática abordada sobre la ampliación de la red de distribución del APR Huatulame, de acuerdo a una proyección de aumento de población a un horizonte de 10 años.

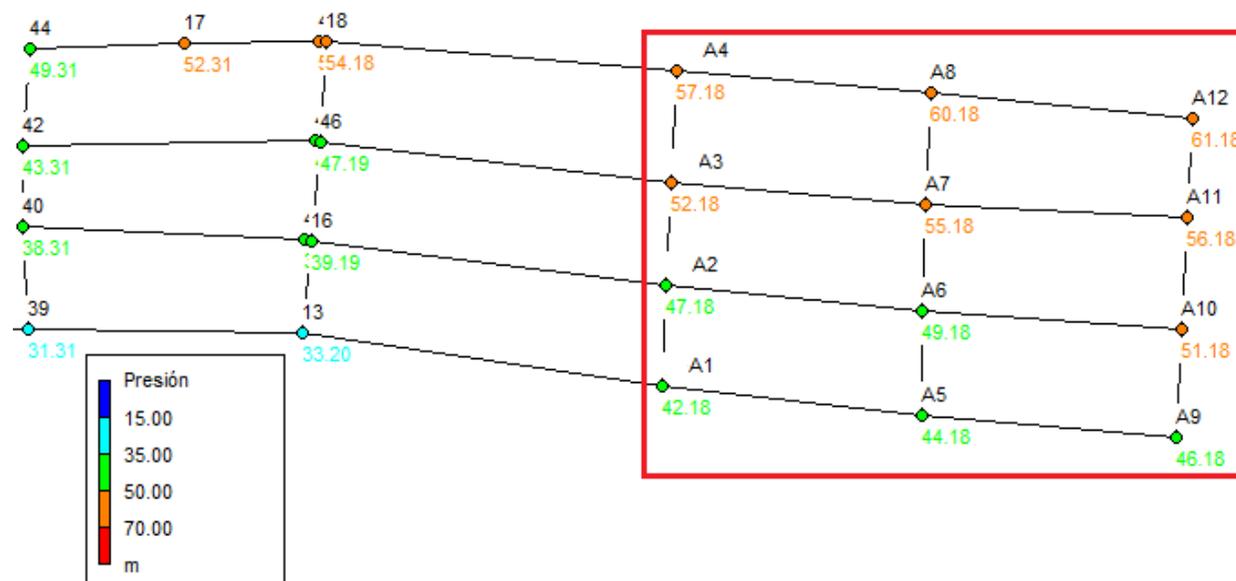


Figura 68: Modelación del trazado ampliación de red de distribución en Huatulame.

Por otra parte, para el caso dinámico considerando el volumen de incendio, siguiendo lo indicado en la norma NCh691, el volumen de incendio se determina de acuerdo con el caudal de los grifos en uso y la duración del siniestro, considerando al menos 2 horas de tiempo de duración con un caudal mínimo de 16 L/s en cada grifo.

Para el caso del APR Huatulame, al tratarse de un sistema que abastece a menos de 6.000 habitantes, se requiere solo un grifo en funcionamiento con un volumen mínimo de incendio de 115 m<sup>3</sup>.

Por otra parte, la normativa señala que la distancia a través de calles o pasajes entre los grifos y las edificaciones habitacionales aisladas o pareadas debe ser 150 m como máximo.

También, se destaca que en los nodos 14 y 15 ya existen grifos instalados, por lo que parte de la zona a ampliar ya estará cubierta con estos instrumentos.

Con las consideraciones anteriores, se decidió instalar 3 grifos en las siguientes ubicaciones referenciales:

- Grifo 1 en el punto medio del tramo A6\_A7, con una cota de 458 m. Las coordenadas son -30.833206°; -70.974084°
- Grifo 2 en el mismo punto del nodo A9 (mismas coordenadas), con una cota de 464 m.
- Grifo 3 en el mismo punto del nodo A12 (mismas coordenadas), con una cota de 449 m.



Figura 69: Plano de ubicación referencial de grifos en ampliación de red APR Huatulame.

Con la distribución anterior de la ampliación de la red y la ubicación de los grifos contra incendio, todos los tramos de la red estarán cubiertos, ya que se encontrarán a una distancia máxima de 150 m de un grifo.

Tabla 7: Distancia de nodo a grifo más cercano en ampliación red APR Huatulame.

Nodo	Grifo más cercano	Distancia [m]
A1	Grifo de red preexistente (nodo A1)	0,00
A2	Grifo de red preexistente (nodo A1)	49,03
A3	Grifo de red preexistente (nodo A4)	57,15
A4	Grifo de red preexistente (nodo A4)	0,00
A5	Grifo1	76,95
A6	Grifo1	25,90
A7	Grifo1	25,90
A8	Grifo1	79,46
A9	Grifo 2	0,00
A10	Grifo 2	52,19
A11	Grifo 3	50,76
A12	Grifo 3	0,00

En cuanto a las simulaciones, tal como se indica en la norma, solo uno de los grifos debe estar en funcionamiento de forma simultánea, por lo que a continuación se muestran los tres casos posibles con cada uno de los grifos funcionando de forma separada con un caudal de 16 L/s:

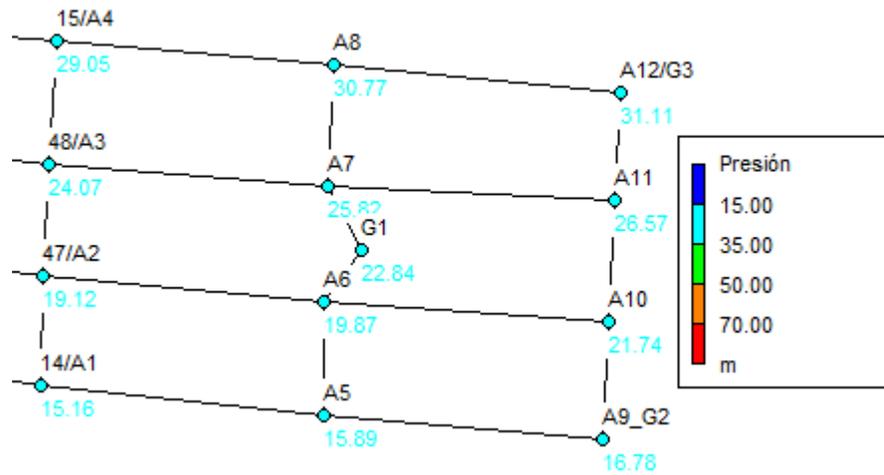


Figura 70: Ampliación red APR Huatulame con Grifo 1 (G1) funcionando.

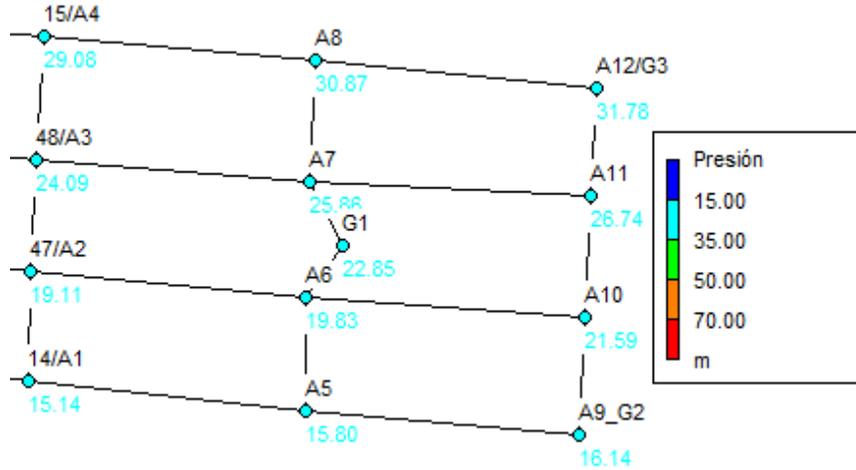


Figura 71: Ampliación red APR Huatulame con Grifo 2 (G2) funcionando.

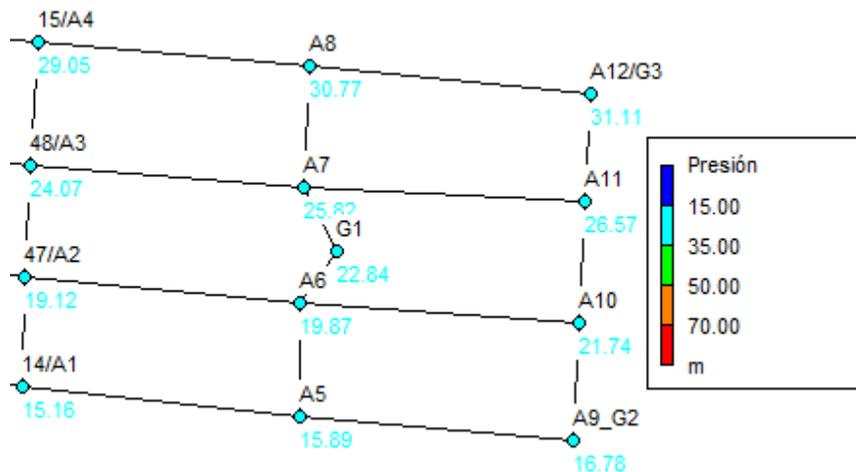


Figura 72: Ampliación red APR Huatulame con Grifo 3 (G3) funcionando.

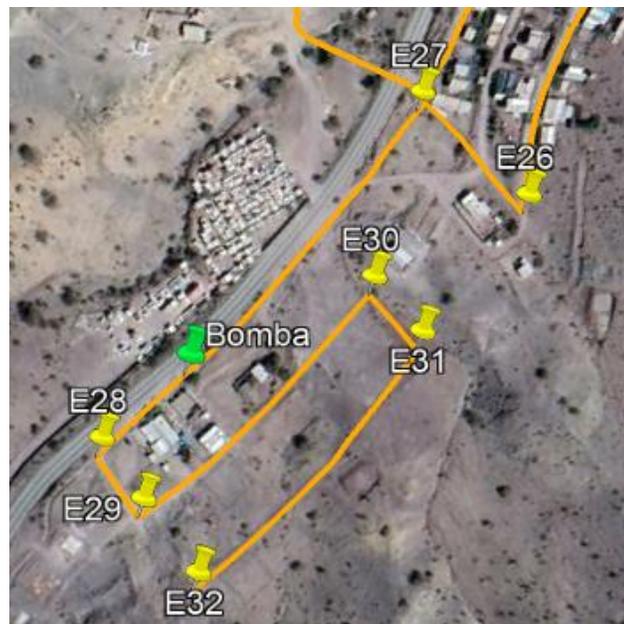
Como se observa en las figuras anteriores, en ninguno de los casos con los grifos funcionando de forma independiente, se presentan presiones fuera del rango permitido en la norma, por lo que la solución propuesta cumple los requerimientos necesarios para un correcto desempeño de la red diseñada.

Se destaca que el proyecto de ampliación de la red considerando 10 años de plazo debe ser complementario al proyecto de instalación de la válvula reductora en el sector La Isla ya que, si esto no se considera, en el sector mencionado se generan presiones por sobre los 70 mca que indica la norma, haciendo que el proyecto de ampliación detallado no cumpla los estándares requeridos y por lo tanto no sea aprobado por la autoridad respectiva.

### 6.3 Bajas presiones en sector Vista Hermosa, San Marcos

Con el objetivo de dar solución a la problemática de bajas presiones presentes en el tramo de la red de distribución ubicado en la falda del cerro sector Vista Hermosa, se propone instalar una bomba presurizadora, que tiene como principal función aumentar la presión en un tramo determinado de la red. La instalación de este equipo se hará entre los nodos 27 y 28, tramo que, si bien no presenta problemas de bajas presiones, al instalar la bomba en este punto se evitan posibles problemáticas ante una futura población del sector y los respectivos arranques anexados a la red existente.

La ubicación exacta para la instalación de la bomba presurizadora está descrita por las coordenadas  $-30.959358^\circ$  de latitud y  $-71.065088^\circ$  de longitud, a una cota de 570 m. La siguiente imagen ilustra la ubicación referencial de la bomba presurizadora en la red del estanque elevado:



*Figura 73: Plano referencial de ubicación bomba presurizadora.*

El tramo de tuberías formado por los nodos 27 y 28, que es donde se ubicará la bomba, tiene una longitud de 260,08 m, por lo que, con la instalación del equipo, el tramo se dividirá desde el nodo 27 al punto de la bomba que mide 195,17 m y, desde la bomba al nodo 28 cuya longitud es 64,91 m.

Para hacer la instalación de la bomba inyectora de presión en la red de distribución modelada en Epanet, la metodología realizada fue la siguiente:

- Establecer dos nodos ficticios (F1 y F2), para que entre estos dos puntos se instale la bomba presurizadora.
- Las cotas de los nodos F1 y F2 corresponden a la misma altura de la ubicación a la que se requiere instalar la bomba, la que en este caso es de 570m.
- Ya que F1 y F2 son nodos ficticios, no se les asigna una demanda de agua.
- El tramo de que une los nodos F1 y F2 también es ficticio, por lo que no tiene características propias de tuberías en el programa (longitud, diámetro y rugosidad).

En cuanto a la modelación de la bomba propiamente tal, se debe diseñar una curva de funcionamiento referencial que grafique la altura de presión y el caudal que se requieren asegurar en el sistema. Para esto, se debe definir un punto de diseño caudal vs presión, para tener el punto base de la curva y luego, con otro par de puntos definir el comportamiento referencial que debe tener el funcionamiento de la curva para resolver la problemática existente. La metodología para definir el punto base de la curva asociada a la bomba presurizadora fue la siguiente:

- Se decidió escoger una presión de 30 mca, para asegurar presiones correctas en el sector que estén dentro de la norma, considerando que el punto con menor presión es el nodo 32 con una presión de 9,06 mca y el punto con mayor presión del sector tiene un valor de 20,06 mca correspondiente al nodo 30, por lo que subiendo los 30 mca, las presiones resultantes variarían en un rango aproximado entre 40 mca y 50 mca.
- Para el caso del caudal, este valor debe corresponder al coeficiente del caudal máximo horario (Qmaxh). Para estimar este valor se hizo siguiendo lo indicado en el Manual de Diseño de APR de la siguiente forma:

- Lo primero es calcular la dotación de producción anual (Dp) según la siguiente fórmula:

$$Dp = \frac{VPA}{(Pob.A * 365)}$$

Donde:

VPA es volumen de agua producido anualmente (L);

Pob.A es población abastecida en el año (hab).

Considerando que, en el año 2021, el APR registró un volumen de agua producido de 80.930 m<sup>3</sup> y la población abastecida es de 2.400 habitantes, la dotación de producción resulta en 92,39 L/hab/día.

- Luego se requiere calcular el caudal medio diario (Qmd) que está definido por la siguiente expresión:

$$Q_{md} = \frac{Pob * Dp * Cob}{86.400 * 100}$$

Donde:

Pob es la población total (hab);

Dp es la dotación de producción anual (L/hab/día);

Cob es la cobertura anual (en porcentaje).

Teniendo en cuenta que el APR tiene 100% de cobertura, el caudal medio diario es 2,57 L/s.

- Lo siguiente es calcular el caudal máximo diario ( $Q_{máxd}$ ), que está determinado por la siguiente relación:

$$Q_{máxd} = FDMC * Q_{md}$$

Donde:

FDMC es el factor del día de máximo consumo.

Según la información que se tiene, el FDMC correspondiente es 1,5, por lo que el  $Q_{máxd}$  resulta en 3,85 L/s.

- Finalmente, para obtener el caudal máximo horario ( $Q_{máxh}$ ) se debe calcular la siguiente expresión:

$$Q_{máxh} = FHMC * Q_{máxd}$$

Donde:

FHMC es el factor de la hora de máximo consumo.

De acuerdo a los datos que se tienen, el FHMC correspondiente es 1,5, por lo que el  $Q_{máxh}$  resultante en 5,77 L/s.

Así, el punto base para formar la curva característica de operación para bomba presurizadora está dado por el par 30 mca de presión y 5,77 L/s de caudal.

- Para el segundo punto, se impone una presión mayor a la de diseño, que para este caso se escogió 33mca y se asocia a un caudal de 0 L/s.
- El tercer y último punto, se impone una presión cercana a la mínima generada en el sector, que para este caso se tomó 9 mca y un caudal mayor al caudal de diseño calculado, imponiendo un 20% más que el  $Q_{máx}$  obtenido, resultando 6,93 L/s.

De acuerdo a lo detallado, los tres puntos que formen la curva de funcionamiento referencial de la bomba presurizadora son:

- 5,77 L/s; 30 mca (punto base de diseño).
- 0 L/s; 33 mca.
- 6,93 L/s; 9 mca.

Así, la curva característica referencial resultante de la bomba presurizadora se muestra en la siguiente imagen:

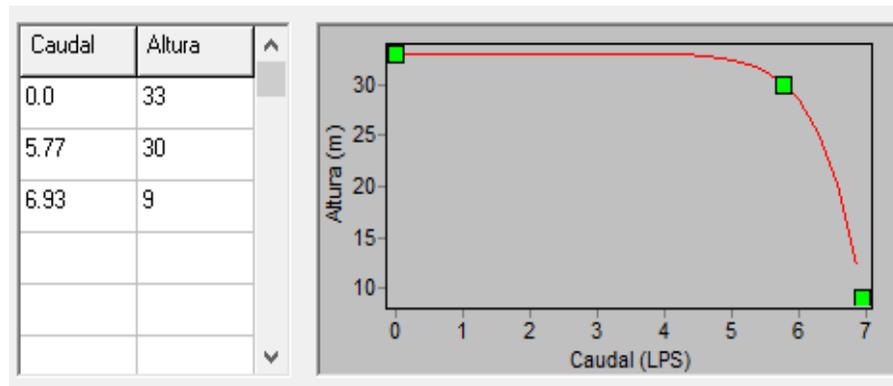


Figura 74: Curva referencial característica de la bomba presurizadora sugerida.

Con esta curva referencial, se puede buscar un equipo real dentro de los proveedores que cumpla con los requerimientos necesarios para solucionar la problemática y así tener las especificaciones técnicas del equipo a instalar para este proyecto.

Finalmente, en la modelación en Epanet, el sector de Vista Hermosa que tenía la problemática de bajas presiones, quedó de la siguiente forma:

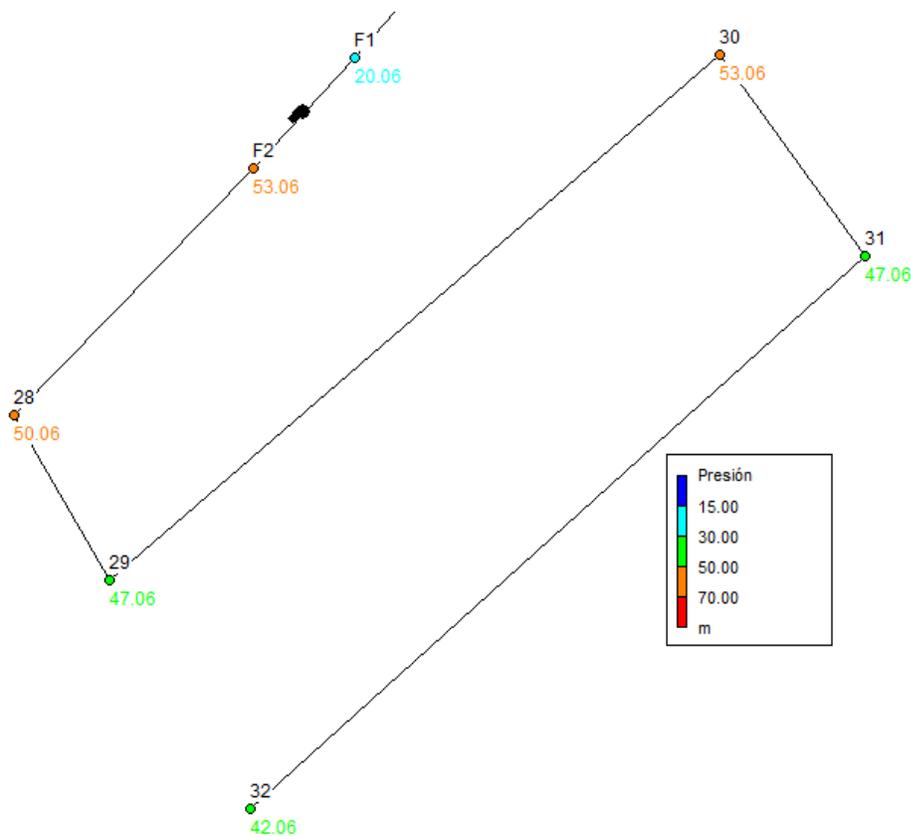


Figura 75: Modelamiento de la corrección de bajas presiones sector Vista Hermosa.

Como se puede observar, los nodos con presiones bajas ahora tienen presiones dentro de la normativa asociada, por lo que la solución propuesta llevada a cabo fue exitosa.

## 7. Elección de soluciones y sus especificaciones

En esta sección se detallarán las especificaciones de las soluciones técnicas propuestas en el capítulo anterior. Se indicarán los elementos, materiales y equipos necesarios para llevar a cabo la materialización de las soluciones propuestas a las problemáticas resultantes en la modelación realizada en Epanet. Se destaca que todos los equipos hidráulicos y sus respectivas piezas especiales fueron cotizadas formalmente con empresas proveedores especializadas, con elementos presentes en sus respectivos catálogos.

### 7.1 Altas presiones en sector La Isla, Huatulame

Para solucionar la problemática de altas presiones en el tramo de la red del sector La Isla, como se detalló anteriormente, se propone instalar una válvula reductora de presión con las siguientes consideraciones:

- La presión de salida para el tramo que sigue después a la válvula es de 45 mca.
- La válvula debe ser de diámetro nominal 100mm y de calidad clase 10.
- El tramo del sector donde se instala la válvula es de materialidad PVC, diámetro 110mm y calidad clase 10.

Para resguardar el buen estado y conservación de la válvula reductora de presión, esta se recomienda instalar en una cámara de dimensiones sugeridas de 1,7 m x 1,7 m de área y a una profundidad de 2 m desde el nivel de suelo, teniendo en cuenta que la cota del punto superficial en terreno es de 455 m. También, se recomienda que la cámara debe ser de materialidad hormigón armado, con su respectiva tapa que indique que la cámara es de agua potable.

Para la tapa de cámara se sugiere:

- Proveedor: Provaltec.
- Modelo: Tapa FD D-400 A. POTABLE NCH2080
- Con sistema de bloqueo que impide que la tapa se cierre involuntariamente.
- Con sistema antirrobo.
- Valor referencial (sin IVA): 145.500 (CLP).



Figura 76: Tapa de cámara sugerida.

De acuerdo a lo anterior, para la válvula reductora se escogió un equipo que cumpliera con los requerimientos anteriormente señalados. Las características o especificaciones propias del equipo escogido para solucionar la problemática se destacan:

- Proveedor: Provaltec.
- Marca: SBM-PTV.
- Modelo: Serie 425.
- Tipo: Pilotada interior.
- Diámetro: 4".
- Presión salida: 3-20 bar.
- Presión entrada: 50 bar.
- Material del cuerpo: WCB A216.
- Conexión: Flanges 300RF.
- Valor referencial (sin IVA): 1.483.140 (CLP).



*Figura 77: Válvula reductora de presión pilotada.*

Además, para hacer la correcta unión de la válvula reductora en uno de sus extremos a la red de tuberías de PVC se necesita de:

- Unión autobloqueante BB 100 PN-10/16:
  - Proveedor: Fluimat.
  - Materialidad de cuerpo: Acero ASTM A-36 ES.
  - Revestimiento: Fusion Bonded Epoxy.
  - Sellos: Caucho NR SBR.
  - Presión de ensayo: 1,5 veces Presión Nominal.
  - Valor referencial (sin IVA): 83.200 (CLP).



*Figura 78: Unión autobloqueante de tubería PVC a válvula reductora.*

- Adaptador para PVC B CA con goma 100x110 PN-10/16.
  - Proveedor: Fluimat.
  - Valor referencial (sin IVA): 27.814 (CLP).



*Figura 79: Adaptador para PVC con goma.*

También, para hacer la correcta unión de la válvula reductora a la red de tuberías de PVC por el otro extremo se necesita de:

- Tubo Brida - Brida BB 100x0,60 MTS PN-10/16.
  - Proveedor: Fluimat.
  - Materialidad: Fundición dúctil GGG-50 DIN 1693.
  - Revestimiento: Fusion Bonded Epoxy.
  - Valor referencial (sin IVA): 59.800 (CLP).



*Figura 80: Tubo Brida - Brida para conexión a tubería PVC.*

- Adaptador para PVC B CA con goma 100x110 PN-10/16 (figura 79).

## **7.2 Ampliación de red existente para población futura, Huatulame**

De acuerdo a lo expuesto en el capítulo anterior, para dar solución a esta problemática los requerimientos necesarios se detallan a continuación.

En cuanto a las conexiones de la red de distribución diseñada se requiere lo siguiente:

- Para los nodos A1 y A4 se necesitan dos (2) conexiones tipo T para anexar la red existente a la nueva ampliación diseñada. El tramo de la red tiene una materialidad en PVC, diámetro de 110 mm y calidad clase 10.
- Para los nodos A2 y A3 se necesitan dos (2) conexiones tipo doble T para anexar la red existente al nuevo diseño de la ampliación de la red. El tramo de la red tiene una materialidad en PVC, diámetro de 110 mm y calidad clase 10.
- Para los nodos A5, A8, A10 y A11 se necesitan cuatro (4) conexiones tipo T para dar continuación a los tramos de la red que están compuestos por estos nodos. El tramo de la red tiene una materialidad en PVC, diámetro de 110 mm y calidad clase 10.
- Para los nodos A6 y A7 se necesitan dos (2) conexiones tipo doble T para dar continuidad a los tramos de la red que pasan por estos nodos. El tramo de la red tiene una materialidad en PVC, diámetro de 110 mm y calidad clase 10.
- Para los nodos A9 y A12 se necesitan dos (2) conexiones tipo codo (curva) para dar continuación al trazado de la red que pasa por estos puntos. El tramo de la red tiene una materialidad en PVC, diámetro de 110 mm y calidad clase 10.

Para las conexiones enlistadas anteriormente, se ocuparán los siguientes productos que cumplen con los requerimientos necesarios:

- Tanto para la conexión T (simple) como la doble T se ocupará:
  - Tee BBB 100x100 PN-10/16.
  - Proveedor: Fluimat.
  - Materialidad: Fundición dúctil GGG-50 DIN 1693.
  - Revestimiento: Fusion Bonded Epoxy.
  - Valor referencial (sin IVA): 74.292 (CLP).



*Figura 81: Conexión tipo T.*

- Además, para unir las conexiones T a las tuberías de PVC se requiere en cada uno de sus tres extremos:
  - Adaptador para PVC B CA con goma 100x110 PN-10/16.  
(descrito anteriormente y mostrado en la figura 79.)
- Para conexión tipo codo (curva) se requiere:
  - Curva Brida - Brida BB CA 100x1/4 PN-10/16.
  - Proveedor: Fluimat.
  - Valor referencial (sin IVA): 42.686 (CLP).



*Figura 82: Conexión tipo codo (curva).*

- Además, para unir los codos (en ambos extremos de las piezas) a las tuberías de PVC se requiere:
  - Adaptador para PVC B CA con goma 100x110 PN-10/16. (descrito anteriormente y mostrado en la figura 79).

Por otra parte, se deben instalar válvulas de corte y desagüe (ambas del tipo compuerta), que permitan un funcionamiento y sectorización óptima de la red ante situaciones de emergencias como labores de mantenimiento o reparaciones. El detalle de las válvulas se muestra a continuación:

- Una (1) válvula de corte en el nodo A1 a 1m de profundidad (el nodo se encuentra a una cota de 468 m). La materialidad del tramo es PVC, diámetro 110 mm y calidad clase 10.
- Una (1) válvula de corte en el nodo A3 a 1 m de profundidad (el nodo se encuentra a una cota de 458 m). La materialidad del tramo es PVC, diámetro 110 mm y calidad clase 10.
- Una (1) válvula de corte en el nodo A6 a 1 m de profundidad (el nodo se encuentra a una cota de 461 m). La materialidad del tramo es PVC, diámetro 110 mm y calidad clase 10.
- Una (1) válvula de corte en el nodo A8 a 1 m de profundidad (el nodo se encuentra a una cota de 450 m). La materialidad del tramo es PVC, diámetro 110mm y calidad clase 10.
- Una (1) válvula de desagüe a 1 m de profundidad en el punto de menor elevación de la red, el que corresponde al nodo 12 (que se encuentra a una cota de 449 m). La materialidad del tramo es PVC, diámetro 110 mm y calidad clase 10.

Para las válvulas mencionadas anteriormente, se ocuparán los siguientes equipos que cumplen con los requerimientos respectivos:

- Tanto para las válvulas de corte como la válvula de desagüe se ocupará:
  - Válvula de compuerta elastomérica BB100 PN-10/16 C/VOL.
  - Proveedor: Fluimat.
  - Materialidad de cuerpo, tapa y compuerta: Hierro dúctil GGG-50 DIN 1963.
  - Revestimiento cuerpo y tapa: Resina Epoxy.
  - Revestimiento compuerta: EPDM.
  - Materialidad de eje: Acero inoxidable.
  - Materialidad de tuerca: Bronce.
  - Presión de trabajo: 10/16 bar.
  - Presión de prueba: 15/24 bar.
  - Temperatura de trabajo: 0.6°C – 52°C.
  - Valor referencial (sin IVA): 89.200 (CLP).



*Figura 83: Válvula de compuerta elastomérica.*

- Además, para hacer la correcta unión de las válvulas de corte en uno de sus extremos a la red de tuberías de PVC se necesita de:
  - Unión autobloqueante BB 100 PN-10/16.  
(descrito anteriormente y mostrado en la figura 78.)
  - Adaptador PVC B CA con goma 100x110 PN-10/16.  
(descrito anteriormente y mostrado en la figura 79.)
  
- También, para hacer la correcta unión de las válvulas de corte a la red de tuberías de PVC por el otro extremo se necesita de:
  - Tubo Brida - Brida BB 100x0,60 MTS PN-10/16.  
(descrito anteriormente y mostrado en la figura 80.)
  - Adaptador PVC B CA con goma 100x110 PN-10/16.  
(descrito anteriormente y mostrado en la figura 79.)
  
- Para la válvula de desagüe solo se ocupará el sistema Unión autobloqueante BB 100 PN-10/16 (figura 67) y el respectivo Adaptador PVC B CA con goma 100x110 PN-10/16 (figura 68) para unir la red de distribución de agua potable a la válvula, sistema detallado anteriormente.

Dado que las válvulas se instalarán en un pasaje vecinal, estas se deben ubicar en una cámara bajo tierra, de materialidad hormigón armado, albañilería o prefabricada, con su respectiva tapa de cámara con el rótulo que indique que se trata de un equipo perteneciente a la red de agua potable. Se considera una profundidad aproximada de 2m, teniendo en cuenta la cota de los nodos en los cuales irán instaladas cada una de las válvulas.

En cuanto a los tramos de tuberías que componen la red de la ampliación diseñada se tienen las siguientes características y requerimientos:

- La longitud total de la suma de los tramos es de 1.456,43 m. A lo anterior se le agrega un 20% por imprevistos como errores de medición, material seccionado sobrante, etc., lo que suma aproximadamente 1748 m de tubería a considerar.
  
- La materialidad de las tuberías es PVC.

- El diámetro de todos los tramos es de 110 mm.
- La calidad de las tuberías debe ser como mínimo clase 10.

En este caso de válvulas de corte y desagüe, también se recomienda que su instalación sea en una cámara de dimensiones sugeridas de 1,7 m x 1,7 m de área y a una profundidad de 2 m desde el nivel de suelo, teniendo en cuenta que la cota del punto superficial en terreno es de 455 m. La cámara debe ser de materialidad hormigón armado, con su respectiva tapa que indique que la cámara es de agua potable.

En cuanto a la tapa de cámara respectiva, se sugiere que sea de las mismas características que lo indicado para resguardar la válvula reductora, es decir, una tapa FD D-400 A. POTABLE NCH2080 (figura 76).

Para los tramos de tuberías mencionadas anteriormente, se ocuparán los siguientes materiales que cumplen con los requerimientos necesarios:

- Tubo de PVC Hidráulico 110 mm Clase 10 x 6mts:
  - Proveedor: Punto Maestro.
  - Valor referencial (con IVA): 56.990 (CLP).



*Figura 84: Tubería de PVC 110mm.*

Para los grifos a instalar, se recomiendan ocupar los siguientes equipos y materiales:

- Grifo Brida Intermedia 100 NCh1646.
  - Proveedor: Fluimat.
  - Valor referencial (sin IVA): 475.250 (CLP).



*Figura 85: Grifo Brida Intermedia 100.*

También, para hacer la correcta unión del grifo a la red de tuberías de se necesita de:

- Tubo Brida - Brida BB 100x0,60 MTS PN-10/16.  
(descrito anteriormente y mostrado en la figura 80.)

Para unir el tubo Brida – Brida a la red, se necesita de:

- Curva Patín BB 100x1/4 PN-10/16
  - Proveedor: Fluimat.
  - Valor referencial (sin IVA): 51.213 (CLP).



*Figura 86: Curva Patín BB 100x1/4 PN-10/16.*

- Adaptador PVC B CA con goma 100x110 PN-10/16.  
(descrito anteriormente y mostrado en la figura 79.)

### **7.3 Bajas presiones en sector Vista Hermosa, San Marcos**

Para dar solución a la problemática de bajas presiones generadas en el tramo de la red de distribución ubicado en la falda del sector Vista Hermosa, se propone instalar una bomba presurizadora (que aumente la presión en un sector de la red) tal como se detalló

en el capítulo anterior, donde lo más relevante es que cumpla con la curva característica ilustrada en la figura 74.

Entonces, para satisfacer los requerimientos necesarios, se escoge una bomba presurizadora con las siguientes características y especificaciones:

- Equipo presurizador para agua limpia.
- Proveedor: KSB
- Modelo: Delta Basic SVP 3 10/4 2 in 1,5 kw.
- Punto de operación de caudal total 5,77 L/s y altura 30 mca.
- Sistema 2+1 que incluye:
  - 3 Bombas Movitec VF 01004B.
  - 3 Motores KSB Supreme Eficiencia Premium IE5 de 1,5kw.
  - 3 Variadores de frecuencia Pumpdrive 2 Eco de 1.5kw montados en motor.
  - 1 Manifold de succión y uno de descarga en inoxidable 1,4301.
  - 1 Válvula check en descarga de cada bomba.
  - 1 Estanque hidroneumático de 8L con válvula de corte Flowjet para protección de fluidos estancos.
  - 1 Sensor de presión para el control de la presión de suministro.
  - 1 Sensor para protección de funcionamiento en seco.
  - 1 Base doblada con juego de pies para instalación de equipo en superficies irregulares.
- Valor referencial (sin IVA): 10.279,20 (USD).

En las siguientes figuras se observa una imagen del equipo presurizador escogido y una planimetría referencial en vistas en perfiles con las dimensiones del sistema:



*Figura 87: Equipo presurizador Delta Basic.*

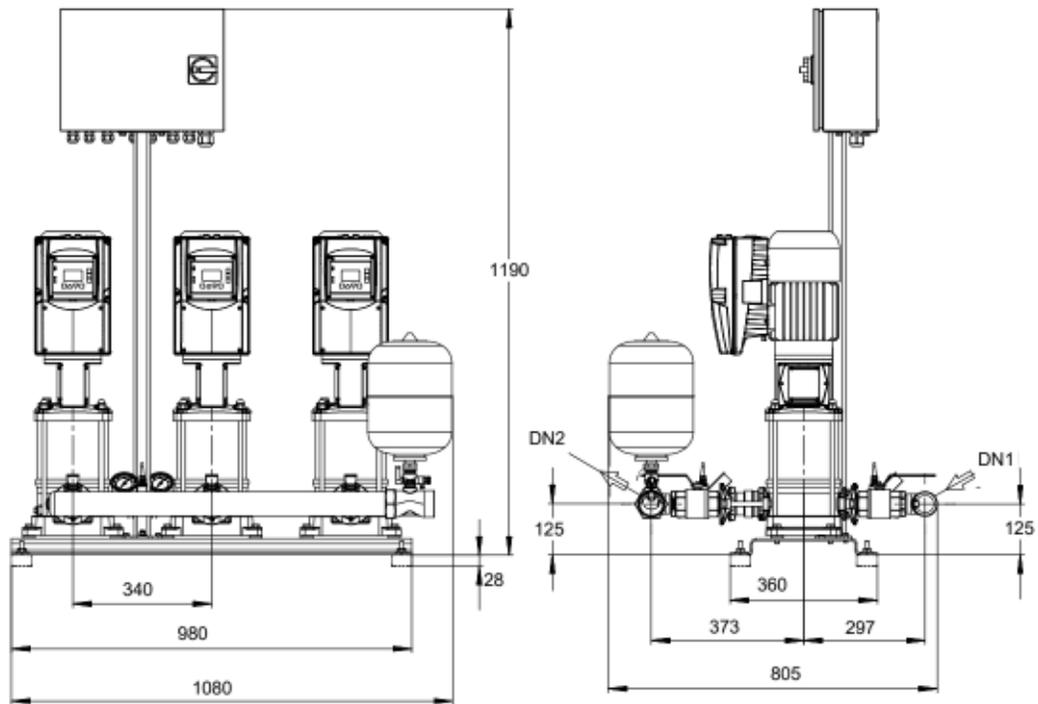


Figura 88: Perfiles con dimensiones del equipo presurizador Delta Basic.

Por otra parte, en la siguiente figura se tiene la curva característica del funcionamiento del equipo presurizador escogido (caudal vs altura de bombeo), la cual será la real que debe ser introducida a la modelación original realizada en Epanet:

### DeltaBasic

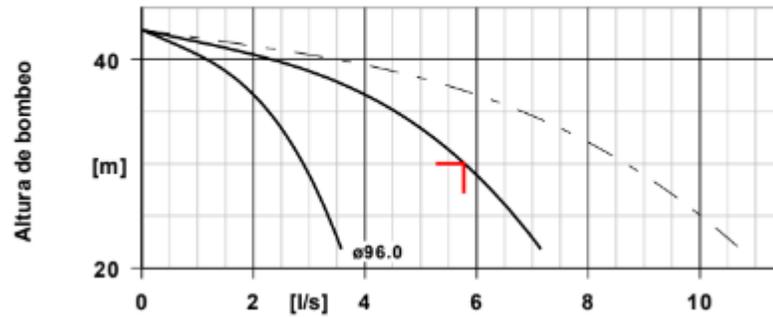


Figura 89: Curva característica de funcionamiento equipo presurizador Delta Basic.

## 8. Conclusiones y comentarios

A modo general, en cuanto a los objetivos propuestos al comienzo del trabajo, se considera que fueron cumplidos, ya que se siguió paso a paso la metodología de trabajo propuesta, es decir, a través de la bibliografía seleccionada se logró entender el contexto del programa APR y como es la situación de estos sistemas en las localidades rurales en las que se ubican; las jornadas de terreno fueron provechosas ya que se recabó toda la información y datos necesarios para hacer un diagnóstico previo con las principales problemáticas que presentaban los APRs en estudio; se modeló con un alto grado de detalle el estado actual de cada una de las redes de distribución de los sistemas, lo que permitió identificar los problemas técnicos de operación de los APRs; a raíz de los problemas encontrados se propusieron opciones técnicas concretas y factibles que dieran solución a las problemáticas; todo para terminar diseñando soluciones a nivel de ingeniería conceptual que otorgaran un mejoramiento integral a cada uno de los sistemas APR.

Un aspecto a destacar en los trabajos prácticos es la importancia del trabajo realizado en terreno, ya que permite visibilizar en primera persona todo el contexto que envuelve a una problemática a resolver, lo que solo el trabajo en gabinete no permite comprender o involucrarse en el proyecto, aún más cuando se trata de proyectos de índole social, como lo es en este caso, el mejoramiento de servicios de APR en zonas afectadas por la actual crisis hídrica.

Relacionado con el ámbito del punto anterior, en las jornadas de trabajo en terreno es muy importante trabajar con prolijidad a la hora de recabar información a través de personas o de tomar datos concretos, ya que con esta información posteriormente se modelarán las distintas situaciones mediante un software, por lo que el trabajo metódico y ordenado cobra mucha relevancia para obtener resultados con el mayor grado de precisión y exactitud posible, para así identificar las verdaderas problemáticas que estén afectando el buen desempeño del sistema de APR. Además, en este caso, al tratarse de zonas alejadas del lugar donde se hace el trabajo en gabinete, el volver a terreno para rectificar información se hace difícil, perdiendo recursos económicos y de tiempo, retrasando así el avance del proyecto. Ante esta situación fue muy importante mantener un contacto mediante teléfono y video-conferencias con el personal que trabaja en los APRs (operadores, secretarías administrativas y las directivas), ya que teniendo una comunicación rápida y permanente se pudo rectificar información de forma rápida, optimizando el tiempo de trabajo.

Una de las principales dificultades enfrentadas en el desarrollo de este trabajo es que los APRs contaban con muy poca información relevante con la cual tener una base de donde partir y marcar una ruta en el trabajo. No contaban con planos actualizados de las redes de impulsión o distribución de los APRs, faltaban registros físicos y digitales de producción, consumo y pérdidas de agua. Además, cuando se solicitó información sobre estos datos a los organismos públicos relacionados, tampoco se recibió una respuesta con estos documentos. Por lo anterior, el trabajo inicial se vio estancado y el desarrollo del trabajo de título atrasó los plazos planificados en un comienzo.

En cuanto a las soluciones técnicas propuestas para el alcanzar el mejoramiento de los APRs, se considera que estas son completamente viables en torno a aspectos económicos y de factibilidad ejecución, ya que los diseños bajo la consigna de ingeniería conceptual fueron realizados siguiendo la normativa actual asociada (Manual de

Proyectos Agua Potable Rural del año 2019). Para materializar estas soluciones, se requiere que organismos públicos asociados (como municipios, DOH o GORE) tomen estos estudios como base para generar proyectos formales y que sean financiados con los recursos económicos, humanos y técnicos que estas instituciones tienen a su disposición, siguiendo todos los procesos administrativos requeridos.

Sin duda las soluciones técnicas planteadas, en caso de materializarse, tendrán un beneficio social tangible en los habitantes de las localidades de Huatulame y San Marcos, ya que estos proyectos ayudarán en el correcto abastecimiento de agua potable a las personas de estas zonas rurales, bajo la premisa de la cantidad, calidad y continuidad del servicio, que resguarde el derecho humano básico de acceso permanente al agua potable consagrado en la Asamblea General de las Naciones Unidas (Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005-2015, 2014).

Por otro lado, ante la crisis hídrica que se vive en Chile y especialmente en la zona de estudio, las comunidades rurales a través de los sistemas de APR no se pueden dar el lujo de tener deficiencias en su funcionamiento, lo que está estrictamente relacionado a cierto grado de desaprovechamiento del recurso hídrico. En línea con esta idea, se hace necesario que tanto los APRs como los organismos públicos que lo asesoran (municipios, DOH, GORE, entre otros) organicen y planifiquen sus proyectos de corto, mediano y largo plazo siguiendo una metodología preventiva y no reactiva como se trabaja actualmente, ya que, por ejemplo, cuando falla un sistema recién se empieza a trabajar para solucionar la problemática y no se hacen las labores de mantención respectivas para que no genere la falla. Complementado lo anterior, es notoria la falta de planificación a nivel central de parte de las autoridades pertinentes, para asegurar el correcto funcionamiento y desarrollo de los APRs.

Tanto en la información recopilada en la bibliografía leída como en las visitas a terreno a las localidades donde se encuentran emplazados los APRs estudiados, se pudo constatar una precariedad en los recursos económicos, técnicos y de capital humano que tienen los APR. Esta situación dificulta una mejora concreta y continua en todas las aristas que involucran el correcto funcionamiento de estos sistemas. Se necesita de un apoyo persistente por parte de la autoridad pública que asesora a los APRs, para así lograr equiparar la cancha en cuanto a calidad de vida de los habitantes de zonas rurales que se abastecen de agua potable a través de APR, en comparación, por ejemplo, a las personas que viven en zonas urbanas y son abastecidos a través de empresas concesionadas privadas, las que cuentan con una cantidad de recursos mucho mayor a las de un APR.

Como comentario final, es de suma urgencia que las políticas públicas del presente y futuro asuman que la sequía y la crisis hídrica que se está viviendo en gran parte del país, corresponden a fenómenos recurrentes y de períodos prolongados en el tiempo. Lo anterior, es la única forma de darle la importancia que requieren a los proyectos necesarios para combatir estos fenómenos, sobre todo en las zonas rurales más afectadas, ya que la mayoría de estos sectores son poblados por personas de escasos recursos, por lo que van quedando más a la deriva ante el claro avance la sequía y el continuo déficit hídrico, aumentando los niveles de desigualdad social en zonas rurales.

## 9. Bibliografía

- Alarcón Franco. (2022). *Informe Final Práctica en Agua Potable Rural, Localidad de Huatulame*.
- Alarcón Franco. (2022). *Manual de Operación de Agua Potable Huatulame*.
- Bomberos de Chile: Departamento de Estudios Operaciones Bomberiles. (2014). *Situación de Agua Potable Rural a Nivel Nacional*.
- “Catálogo de Productos Fluimat”.  
<https://www.fluimat.cl/>
- “Catálogo de Productos KSB”.  
<https://www.ksb.com/es-cl/lc/productos/sistema/equipo-de-presion/deltaprime/D08A>
- “Catálogo de Productos Provaltec”.  
<https://www.provaltec.cl/producto/reductora-pilotada-wcb-ss410-3-20-bar-300frpsb-1zdj9-02-8>
- “Catálogo de Productos Punto Maestro”.  
<https://puntomaestro.cl/ferreteria/gasfiteria/ca-erias-tubos-y-fitting/tuberia-hidraulica-azul-c10-110-x-6mt.html>
- Center for Climate and Resilience Research (cr2). (2015). *La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro*.
- Center for Climate and Resilience Research (cr2). (2020). *¿Qué ocurre en Chile, sequía o escasez hídrica?*
- Chacón. (2021). *Análisis del funcionamiento del programa de agua potable rural (APR) ante problemas de abastecimiento y ausencia de saneamiento en la zona sur de Chile: caso del APR Bahía Mansa*.
- Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005-2015. (2014). *Ocho datos sobre el derecho humano al agua y al saneamiento*.  
[https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/facts\\_and\\_figures\\_human\\_right\\_to\\_water\\_spa.pdf](https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/facts_and_figures_human_right_to_water_spa.pdf)
- Del Pino Sebastián. (2022). *Producción, Operación y Servicio APR San Marcos*.
- Donoso, G., Calderón, C., & Silva, M. (2015). *Informe Final de evaluación Programa de Infraestructura Hidráulica de Agua Potable Rural. Dirección de Presupuestos del Ministerio de Hacienda (DIPRES)*.
- Escenarios Hídricos 2030. Fundación Chile (2018). *Radiografía del Agua. Brecha y Riesgo Hídrico en Chile*.
- Fundación Amulen. (2019). *Radiografía del agua rural en Chile: visualización de un problema oculto*.

- Garreaud, R., C. Alvarez-Garreton, J. Barichivich, J.P. Boisier, D.A. Christie, M. Galleguillos, C. LeQuesne, J. McPhee, M. Zambrano-Bigiarini. (2017). *The 2010-2015 mega drought in Central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, 1–21.*
- Garreaud, R., JP. Boisier, R. Rondanelli, A. Montecinos, H. Sepúlveda and D. Veloso-Águila. (2019). *The Central Chile Mega Drought (2010-2018): A Climate dynamics perspective. International Journal of Climatology. 1-19.*
- INE. (2017). *Resultados CENSO de Población y Vivienda 2017.*
- INE. (2017). *Síntesis de Resultados CENSO 2017.*
- Instituto Nacional de Normalización. (2015). *NCh 691: Agua potable – Producción, conducción, almacenamiento y distribución – Requisitos de diseño.*
- Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (mayo 2014). *Análisis de la situación hídrica en Chile, propuestas y políticas.*
- Ministerio de Obras Públicas: Dirección General de Aguas. (julio 2022). *Decretos declaración zona de escasez vigentes – Decreto MOP N°109*
- MOP: Dirección de Obras Hidráulicas. (2019). *Manual de Proyectos Agua Potable Rural.*
- MOP. (2015). *Informe Final de Evaluación Infraestructura Hidráulica de Agua Potable Rural.*
- MOP (2018). Ley N° 20.988: Regulación de Servicios Sanitarios Rurales.
- MOP. (2019). *Tríptico: Historia Programa Agua Potable Rural.*  
<https://doh.mop.gob.cl/APR/Materiales/Triptico%20Historia%20APR%202019act.pdf>
- Van Loon, A. F., & Van Lanen, H. A. (2013). *Making the distinction between water scarcity and drought using an observation-modeling framework. Water Resources Research, 49(3), 1483-1502.*
- Van Loon, A. F., Stahl, K., Di Baldassarre, G., Clark, J., Rangelcroft, S., Wanders, N., ... & Uijlenhoet, R. (2016). *Drought in a human-modified world: reframing drought definitions, understanding, and analysis approaches.*
- Zambrano-Bigiarini, M.; Baez-Villanueva, O. M. (2019a). *Characterizing meteorological droughts in data scarce regions using remote sensing estimates of precipitation, in Extreme Hydroclimatic Events and Multivariate Hazards in a Changing Environment – A remote sensing approach.*
- Zambrano-Bigiarini, M. (2019b). Columna de opinión publicada en El Mostrador, 13 de septiembre de 2019.  
 Disponible en: <https://www.cr2.cl/sequia-y-escasez-hidrica-en-chile-parecidas-pero-no-iguales-por-mauricio-zambrano-bigiarini>

## Anexos

### ANEXO A. Datos levantados en terreno y replanteo

Los datos levantados en terreno fueron los correspondientes a la cantidad de puntos singulares (nodos) que tenía la red, asignándoles un número identificador y a qué tipo de elemento correspondía (estanques, válvulas, conexiones, cambios de materialidad, entre otros). También, se registraron los datos de latitud y longitud de cada nodo, mediante el uso de la aplicación de "Polaris Navegación GPS". Luego, mediante Google Earth se siguió con el trabajo de replanteo, con el que se pudieron obtener las cotas de cada nodo.

Los datos mencionados anteriormente se muestran en las siguientes tablas para cada una de las redes de los APRs estudiados:

*Tabla 8: Datos levantados en terreno red APR Huatulame.*

Nodo	Elemento	Latitud [°]	Longitud [°]	Cota [msnm]
1	Estanque	-30,840355	-70,977498	508
2	Tubería	-30,840295	-70,977527	506
3	Válvula de corte	-30,838765	-70,977422	477
4	Punto extremo	-30,840587	-70,978725	481
5	Válvula de corte	-30,837813	-70,977302	477
6	Válvula de corte	-30,837610	-70,977270	472
7	Válvula de corte	-30,838383	-70,977877	471
8	Válvula de corte	-30,839143	-70,978655	472
9	Punto extremo	-30,839443	-70,978945	472
10	Punto extremo	-30,839163	-70,979077	466
11	Válvula de corte	-30,838332	-70,978377	466
12	Válvula de corte	-30,837467	-70,977533	468
13	Ventosa/punto extremo	-30,835737	-70,975512	477
14	Punto extremo (grifo)	-30,834445	-70,974248	466
15	Punto extremo (grifo)	-30,833653	-70,975592	452
16	Válvula de corte	-30,835460	-70,975863	471
17	Punto extremo	-30,835517	-70,977042	458
18	Válvula de corte	-30,834967	-70,976695	456
19	Válvula de corte	-30,837190	-70,978305	458
20	Lugar importante	-30,837007	-70,978257	459
21	Punto extremo	-30,835822	-70,978025	454
22	Punto de conexión	-30,836940	-70,978595	455
23	Válvula de desagüe	-30,839345	-70,980308	453
24	Punto extremo	-30,839417	-70,980405	453
25	Punto extremo	-30,829258	-70,973905	439
26	Válvula de desagüe	-30,831137	-70,974580	440
27	Válvula de corte	-30,834400	-70,977385	443
28	Punto referencial	-30,836732	-70,979238	448

29	Válvula de corte	-30,838047	-70,980023	450
30	Lugar importante	-30,839842	-70,981788	444
31	Punto extremo	-30,854900	-70,990227	465
32	Punto referencial	-30,849565	-70,990847	469
33	Punto referencial	-30,846462	-70,991725	461
34	Válvula de corte	-30,845580	-70,991350	455
35	Válvula de desagüe	-30,844232	-70,988828	449
36	Válvula de corte	-30,841717	-70,984138	451
37	Válvula de desagüe	-30,840033	-70,982240	444
39	Conexión T	-30,836749	-70,976181	479
40	Conexión T	-30,836556	-70,976642	472
41	Fin de brazo	-30,835504	-70,975847	472
42	Conexión T	-30,836383	-70,976998	467
43	Fin de brazo	-30,835225	-70,976251	463
44	Codo Conexión	-30,836127	-70,977417	461
45	Fin de brazo	-30,834973	-70,976678	456
46	Conexión T	-30,835208	-70,976226	463
47	Fin de brazo	-30,834190	-70,974669	462
48	Fin de brazo	-30,833923	-70,975096	457
49	Doble T conexión	-30,837183	-70,978305	459
50	Fin de brazo	-30,836019	-70,977588	458
51	Fin de brazo	-30,839687	-70,979974	459
52	Codo Conexión	-30,838576	-70,979020	462

*Tabla 9: Datos levantados en terreno red estanque elevado APR San Marcos.*

Nodo	Elemento	Latitud [°]	Longitud [°]	Cota [msnm]
E	Estanque elevado	-71,067952	-30,959300	579
2	Cámara corte - T	-71,067970	-30,959282	579
3	Cámara corte	-71,068143	-30,959703	579
4	T conexión	-71,068293	-30,959908	578
5	Codo conexión	-71,068592	-30,960318	575
6	Fin de red	-71,068715	-30,959263	575
7	Codo conexión	-71,069153	-30,959053	571
8	T conexión	-71,069447	-30,959398	570
9	Cámara desagüe - T	-71,069693	-30,959772	569
10	Llave desagüe	-71,069985	-30,959378	565
33	Codo conexión	-71,069782	-30,959815	568
11	Codo conexión	-71,066798	-30,959452	579
12	Codo conexión	-71,068755	-30,958902	573
13	Cámara corte - T	-71,068373	-30,958347	572
14	Codo conexión	-71,068257	-30,958405	573
35	Codo conexión	-71,067632	-30,957971	570

15	Cámara desagüe	-71,067463	-30,958128	571
34	Codo conexión	-71,068315	-30,958038	570
16	T conexión	-71,068422	-30,957905	568
17	Fin de red	-71,069602	-30,958838	566
18	Codo conexión	-71,067535	-30,957372	562
19	Codo conexión	-71,066530	-30,958028	564
20	Cámara desagüe	-71,066443	-30,958038	563
21	Cámara corte	-71,065827	-30,957662	565
22	T conexión	-71,065805	-30,957645	565
23	T conexión	-71,065747	-30,957692	566
24	Fin de red	-71,066497	-30,956377	565
25	Fin de red	-71,065877	-30,956388	577
26	Codo conexión	-71,064925	-30,957575	577
27	Cámara corte/desagüe	-71,065677	-30,957815	566
28	Codo conexión	-71,064907	-30,959995	573
29	Codo conexión	-71,064502	-30,959940	576
30	Cámara corte/desagüe/T	-71,064912	-30,958483	570
31	Codo conexión	-30,958403	-71,064487	576
32	Cámara desagüe	-30,959818	-71,064027	581

Tabla 10: Datos levantados en terreno red estanque semi-enterrado APR San Marcos.

Nodo	Elemento	Latitud [°]	Longitud [°]	Cota [msnm]
1	Cámara desagüe	-30,967433	-71,072908	560
2	T conexión	-30,960816	-71,075449	550
3	Codo conexión	-30,960848	-71,075722	556
4	Cámara corte/desagüe/T	-30,959127	-71,075753	554
5	Cámara ventosa	-30,958927	-71,073470	542
6	Cámara desagüe	-30,958277	-71,076013	564
7	T conexión	-30,962208	-71,075730	553
8	Fin de red	-30,963633	-71,075092	557
9	T conexión	-30,962238	-71,076122	559
10	Fin de red	-30,961565	-71,076150	563
11	Cámara desagüe	-30,963865	-71,075410	565
E	Estanque	-30,958743	-71,069093	572
12	Caudalímetro	-30,958657	-71,069123	571
13	Codo conexión	-30,959198	-71,069497	569
14	T conexión	-30,958567	-71,070098	560
42	Cámara corte	-30,958626	-71,070256	559
43	Cámara desagüe	-30,958748	-71,070400	559
15	Cámara corte	-30,958478	-71,070030	561
44	Cambio de costado	-30,958227	-71,069888	560
16	Codo conexión	-30,956767	-71,067603	558

17	Cámara desagüe	-30,956122	-71,067847	554
18	T conexión	-30,958235	-71,070590	555
19	Cámara corte - codo	-30,958202	-71,070552	555
20	Cámara desagüe	-30,958878	-71,071315	550
21	Cámara corte - desagüe	-30,955912	-71,067917	553
22	Cámara corte	-30,958193	-71,070975	551
23	T conexión	-30,957987	-71,071249	548
24	Cámara corte (2) - codo	-30,958073	-71,071442	548
25	Cámara desagüe	-30,955227	-71,068275	549
26	T conexión	-30,955245	-71,069518	544
27	Cámara desagüe	-30,954935	-71,069917	543
28	Lugar referencial	-30,955293	-71,069563	544
29	Lugar referencial	-30,954562	-71,068693	544
30	Lugar referencial	-30,953815	-71,068045	543
31	Cámara desagüe	-30,952372	-71,065942	545
32	Cámara desagüe	-30,939720	-71,050590	531
33	T conexión	-30,942155	-71,054530	538
34	Codo conexión	-30,942005	-71,052868	553
35	Cámara desagüe	-30,943362	-71,052773	562
36	Cámara desagüe	-30,943390	-71,055393	533
37	Codo conexión	-30,943142	-71,055309	537
38	Codo conexión	-30,943036	-71,055521	534
39	Codo conexión	-30,946255	-71,061175	538
40	Codo conexión	-30,946548	-71,061312	554
41	Cámara corte	-30,951393	-71,063968	557
45	Codo conexión	-30,954968	-71,066953	555
46	Codo conexión	-30,954803	-71,067195	552
47	Cambio de materialidad	-30,958776	-71,072923	541
48	Cambio de materialidad	-30,958693	-71,072607	541
49	Cambio de costado	-30,963549	-71,074242	550
50	Cambio de costado	-30,963502	-71,074373	551

De los datos recabados en terreno, también se registró la materialidad y los respectivos diámetros de las tuberías que componen las redes de distribución.

Con el trabajo de replanteo realizado, se pudieron medir las longitudes de los tramos de tuberías (de nodo a nodo). Con los tramos definidos, mediante una inspección visual, se contabilizaron la cantidad de arranques para cada uno de los tramos.

Los datos mencionados anteriormente se registraron en las siguientes tablas para cada una de las redes de los APRs estudiados:

Tabla 11: Características por tramo de red APR Huatulame.

Tramo	Longitud [m]	Materialidad	Diámetro [mm]	N° Arranques
1&2	8,15	Acero Galvanizado	110	0
2&3	183,29	Acero Galvanizado	110	0
3&4	268,96	Acero Galvanizado	110	22
3&5	117,13	Acero Galvanizado	110	8
5&6	39,57	Acero Galvanizado	110	3
6&7	102,23	Acero Galvanizado	110	11
7&8	111,68	Acero Galvanizado	110	15
8&9	50,58	Acero Galvanizado	110	7
6&12	34,39	Acero Galvanizado	110	2
12&11	124,43	Acero Galvanizado	110	16
11&10	115,44	Acero Galvanizado	110	13
13&14	182,72	Acero Galvanizado	110	16
13&16	49,00	Acero Galvanizado	110	18
19&22	36,81	Acero Galvanizado	110	4
21&22	138,37	Acero Galvanizado	110	9
22&23	302,04	Acero Galvanizado	110	17
23&24	13,72	Acero Galvanizado	110	2
22&28	57,61	Acero Galvanizado	110	0
28&27	319,21	PVC clase 10	110	24
27&26	448,97	PVC clase 10	110	21
26&25	222,08	PVC clase 10	110	9
28&29	166,94	Acero Galvanizado	110	11
29&30	262,13	Acero Galvanizado	110	23
30&37	57,04	Acero Galvanizado	110	10
37&36	255,76	Acero Galvanizado	110	32
36&35	536,77	Acero Galvanizado	110	41
35&34	372,36	Acero Galvanizado	110	17
34&33	107,69	Acero Galvanizado	110	6
33&32	363,75	Acero Galvanizado	110	27
32&31	603,43	Acero Galvanizado	110	8
12&49	76,98	Acero Galvanizado	110	6
19&49	9,62	Acero Galvanizado	110	2
49&20	21,91	Acero Galvanizado	110	1
50&20	124,25	Acero Galvanizado	110	10
49&52	168,84	Acero Galvanizado	110	7
52&51	153,6	Acero Galvanizado	110	13
39&40	49,08	Acero Galvanizado	110	0
40&41	139,48	Acero Galvanizado	110	14
40&42	39,24	Acero Galvanizado	110	0
42&43	146,87	Acero Galvanizado	110	16

42&44	49,20	Acero Galvanizado	110	0
44&17	76,58	Acero Galvanizado	110	7
17&45	69,57	Acero Galvanizado	110	7
16&47	181,31	Acero Galvanizado	110	28
18&15	180,79	Acero Galvanizado	110	20
5&39	134,09	Acero Galvanizado	110	2
39&13	133,23	Acero Galvanizado	110	0
16&46	48,45	Acero Galvanizado	110	0
46&48	179,02	Acero Galvanizado	110	29
46&18	50,63	Acero Galvanizado	110	0

*Tabla 12: Características por tramo de red estanque elevado APR San Marcos.*

Tramo	Longitud [m]	Materialidad	Diámetro [mm]	N° Arranques
E&2	4,85	Acero Galvanizado	63	0
2&3	50,76	PVC clase 10	63	2
3&4	28,18	PVC clase 10	63	2
4&5	50,13	PVC clase 10	63	5
5&9	120,12	PVC clase 10	63	11
9&33	14,60	PVC clase 10	63	1
33&10	58,09	PVC clase 10	63	3
4&8	118,63	PVC clase 10	63	12
8&9	46,05	PVC clase 10	63	2
8&7	50,08	PVC clase 10	63	2
7&6	52,33	PVC clase 10	63	5
2&11	4,77	PVC clase 10	63	0
11&12	85,39	PVC clase 10	63	2
12&13	66,20	PVC clase 10	63	3
13&14	19,99	PVC clase 10	63	1
14&35	79,27	PVC clase 10	63	4
35&15	23,61	PVC clase 10	63	2
13&34	35,67	PVC clase 10	75	2
34&16	28,71	PVC clase 10	75	2
16&17	159,58	PVC clase 10	75	28
16&18	110,21	PVC clase 10	75	14
18&19	125,60	PVC clase 10	75	13
19&20	9,36	PVC clase 10	63	0
20&21	63,22	PVC clase 10	63	0
21&22	7,89	PVC clase 10	63	0
22&24	162,18	PVC clase 10	63	14
22&23	5,25	PVC clase 10	63	0
23&26	82,67	PVC clase 10	63	4
26&25	178,06	PVC clase 10	63	18

23&27	6,33	PVC clase 10	63	0
27&28	260,08	PVC clase 10	63	6
28&29	40,82	PVC clase 10	63	1
29&30	175,13	PVC clase 10	63	4
30&31	40,62	PVC clase 10	63	0
31&32	179,35	PVC clase 10	63	0

Tabla 13: Características por tramo de red estanque semi-enterrado APR San Marcos.

Tramo	Longitud [m]	Materialidad	Diámetro [mm]	Nº Arranques
1&49	464,06	PVC clase 10	63	17
49&50	14,97	PVC clase 10	63	0
50&2	317,74	PVC clase 10	63	21
2&3	32,15	PVC clase 10	63	1
3&7	147,61	PVC clase 10	63	7
7&8	190,45	PVC clase 10	63	8
7&9	45,96	PVC clase 10	63	1
9&10	102,85	PVC clase 10	63	6
9&11	223,24	PVC clase 10	63	7
2&4	191,36	PVC clase 10	63	17
4&6	93,47	PVC clase 10	63	7
4&5	218,25	PVC clase 10	63	2
5&47	57,41	PVC clase 10	63	0
47&48	31,49	HDPE	63	0
48&23	152,66	PVC clase 10	63	4
E&12	14,29	Acero Galvanizado	110	0
12&13	62,50	PVC clase 10	110	2
13&14	95,85	PVC clase 10	110	5
14&42	12,91	PVC clase 10	63	0
42&43	19,29	PVC clase 10	63	0
14&15	16,56	PVC clase 10	75	0
15&44	30,11	PVC clase 10	75	3
44&16	270,90	PVC clase 10	75	31
16&17	74,15	PVC clase 10	75	5
14&18	54,76	PVC clase 10	63	3
18&19	8,44	PVC clase 10	63	1
19&20	110,20	PVC clase 10	63	10
18&22	36,33	PVC clase 10	63	0
22&23	34,82	PVC clase 10	63	0
23&24	17,10	PVC clase 10	63	1
24&25	416,86	PVC clase 10	63	35
24&28	336,10	PVC clase 10	63	24
28&26	9,43	PVC clase 10	63	2

26&27	55,31	PVC clase 10	63	6
26&29	109,26	PVC clase 10	63	14
29&30	107,74	PVC clase 10	63	6
30&31	257,09	PVC clase 10	63	14
19&21	358,64	PVC clase 10	63	22
21&45	141,21	PVC clase 10	63	8
45&46	29,49	PVC clase 10	63	1
46&41	488,23	Acero Galvanizado	63	3
41&40	631,24	Acero Galvanizado	63	1
40&39	71,51	Acero Galvanizado	63	1
39&36	775,83	PVC clase 10	63	7
36&38	23,27	PVC clase 10	63	0
38&37	24,05	PVC clase 10	63	1
37&33	146,31	PVC clase 10	63	3
33&34	164,51	PVC clase 10	63	0
34&35	150,17	PVC clase 10	63	3
33&32	490,01	PVC clase 10	63	9

## ANEXO B. Datos para modelación en Epanet

Para asignar el valor de las pérdidas de agua, se usó como referencia la información de producción y facturación de volúmenes de agua del APR San Marcos en el año 2021, el que se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 14: Volúmenes de agua producidos y facturados año 2021 APR San Marcos.*

Mes	m3 Producidos	m3 Facturados	m3 Pérdidas
Enero	7865	6300	1565
Febrero	7381	4859	2522
Marzo	6902	4545	2357
Abril	5898	4178	1720
Mayo	5677	3647	2030
Junio	5029	3078	1951
Julio	5538	3254	2284
Agosto	5844	3645	2199
Septiembre	6433	4913	1520
Octubre	6721	4766	1955
Noviembre	8060	5333	2727
Diciembre	9582	4939	4643
<b>TOTAL</b>	<b>80930</b>	<b>52908</b>	<b>27473</b>

Fuente: Administración APR San Marcos.

Los valores de consumo de agua para los nodos pertenecientes a cada una de las redes modeladas se presentan a continuación en las siguientes tablas:

Tabla 15: Consumo por nodos red APR Huatulame.

Nodo	Consumo [L/s]
1	0,000
2	0,000
3	0,096
4	0,071
5	0,042
6	0,051
7	0,083
8	0,071
9	0,022
10	0,042
11	0,093
12	0,077
13	0,109
14	0,051
15	0,064
16	0,147
17	0,045
18	0,064
19	0,019
20	0,035
21	0,029
22	0,096
23	0,061
24	0,006
25	0,029
26	0,096
27	0,144
28	0,112
29	0,109
30	0,106
31	0,026
32	0,112
33	0,106
34	0,074
35	0,186
36	0,234
37	0,135
39	0,006
40	0,045
41	0,045

42	0,051
43	0,051
44	0,022
45	0,022
46	0,093
47	0,090
48	0,093
49	0,051
50	0,032
51	0,042
52	0,064

*Tabla 16: Consumo por nodos estanque elevado red APR San Marcos.*

Nodo	Consumo [L/s]
E	0,000
2	0,005
3	0,010
4	0,048
5	0,040
6	0,013
7	0,018
8	0,040
9	0,035
10	0,008
33	0,010
11	0,005
12	0,013
13	0,015
14	0,013
35	0,015
15	0,005
34	0,010
16	0,110
17	0,070
18	0,068
19	0,033
20	0,000
21	0,000
22	0,035
23	0,010
24	0,035
25	0,045

26	0,055
27	0,015
28	0,018
29	0,013
30	0,010
31	0,000
32	0,000

*Tabla 17: Consumo por nodos estanque semienterrado red APR San Marcos.*

Nodo	Consumo [L/s]
1	0,060
2	0,137
3	0,028
4	0,091
5	0,007
6	0,025
7	0,056
8	0,028
9	0,049
10	0,021
11	0,025
E	0,000
12	0,007
13	0,025
14	0,028
42	0,000
43	0,000
15	0,011
44	0,119
16	0,127
17	0,018
18	0,014
19	0,116
20	0,035
21	0,105
22	0,000
23	0,018
24	0,211
25	0,123
26	0,077
27	0,021
28	0,091

29	0,070
30	0,070
31	0,049
32	0,032
33	0,042
34	0,011
35	0,011
36	0,025
37	0,014
38	0,004
39	0,028
40	0,007
41	0,014
45	0,032
46	0,014
47	0,000
48	0,014
49	0,060
50	0,074

Para asignar las propiedades de los estanques, es necesario tener los datos de los niveles de agua que cada uno de los depósitos de almacenamiento tiene, los que son el nivel inicial, nivel mínimo y nivel máximo. Además, para obtener los niveles, es necesario conocer la altura propia del estanque y la distancia desde la base al nivel del suelo (altura o profundidad). Los datos anteriores se muestran en las siguientes tablas:

*Tabla 18: Alturas y niveles de agua estanque semi-enterrado APR Huatulame.*

Altura propia estanque [m]	8,00
Distancia de base estanque al nivel de suelo [m]	-1,00
Nivel inicial [m]	4,00
Nivel mínimo [m]	0,50
Nivel máximo [m]	7,50

*Tabla 19: Alturas y niveles de agua estanque elevado APR San Marcos.*

Altura propia estanque [m]	2,50
Distancia de base estanque al nivel de suelo [m]	10,00
Nivel inicial [m]	11,25
Nivel mínimo [m]	10,50
Nivel máximo [m]	12,00

*Tabla 20: Alturas y niveles de agua estanque semi-enterrado APR San Marcos.*

Altura propia estanque [m]	4,70
Distancia de base estanque al nivel de suelo [m]	-2,00
Nivel inicial [m]	2,35
Nivel mínimo [m]	0,50
Nivel máximo [m]	4,20

Para el caso de la ampliación de red del APR Huatulame, luego de hacer proyección del crecimiento poblacional de la localidad, fue necesario estimar los nuevos consumos por nodos originales y añadidos a la red de distribución, para así modelar la situación proyectada. En la siguiente tabla se muestran los valores de consumo por nodos:

*Tabla 21: Nuevos consumos por nodo en ampliación de red APR Huatulame.*

Nodo	Consumo [L/s]
1	0,000
2	0,010
3	0,151
4	0,106
5	0,054
6	0,051
7	0,087
8	0,074
9	0,022
10	0,048
11	0,103
12	0,087
13	0,147
14	0,054
15	0,067
16	0,154
17	0,045
18	0,067
19	0,019
20	0,048
21	0,038
22	0,151
23	0,090
24	0,006
25	0,038
26	0,135
27	0,208
28	0,176

29	0,125
30	0,112
31	0,038
32	0,163
33	0,151
34	0,103
35	0,260
36	0,289
37	0,141
39	0,058
40	0,074
41	0,048
42	0,074
43	0,054
44	0,032
45	0,022
46	0,093
47	0,093
48	0,093
49	0,058
50	0,045
51	0,045
52	0,067
A1	0,058
A2	0,115
A3	0,115
A4	0,058
A5	0,115
A6	0,231
A7	0,231
A8	0,115
A9	0,058
A10	0,115
A11	0,115
A12	0,058

### ANEXO C. Resultados principales de la modelación en Epanet

Las presiones registradas luego de modelar las situaciones actuales de las redes de cada APR se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 22: Presiones por nodo red APR Huatulame.

Nodo	Presión [mca]
1	4,00
2	5,98
3	34,61
4	30,61
5	34,39
6	39,35
7	40,35
8	39,35
9	39,35
10	45,33
11	45,33
12	43,33
13	34,35
14	43,35
15	58,35
16	40,35
17	53,36
18	55,35
19	53,27
20	52,28
21	57,25
22	56,25
23	58,25
24	58,25
25	72,22
26	71,23
27	68,23
28	63,23
29	61,19
30	67,14
31	46,06
32	42,06
33	50,07
34	56,07
35	62,08
36	60,11
37	67,13
39	32,36
40	39,36
41	39,36

42	44,36
43	48,36
44	50,36
45	55,36
46	48,35
47	48,35
48	53,35
49	52,28
50	53,28
51	52,28
52	49,28

*Tabla 23: Presiones por nodo red estanque elevado APR San Marcos.*

Nodo	Presión [mca]
E	11,25
2	11,24
3	11,23
4	12,23
5	15,23
6	15,23
7	19,23
8	20,23
9	21,23
10	25,23
33	22,23
11	11,24
12	17,17
13	18,11
14	17,11
35	20,11
15	19,11
34	20,1
16	22,09
17	24,09
18	28,08
19	26,07
20	27,07
21	25,06
22	25,06
23	24,06
24	25,06
25	13,05

26	13,05
27	24,06
28	17,06
29	14,06
30	20,06
31	14,06
32	9,06

*Tabla 24: Presiones por nodo red estanque semi-enterrado APR San Marcos.*

Nodo	Presión [mca]
1	12,89
2	22,93
3	16,92
4	19,06
5	31,28
6	9,06
7	19,91
8	15,91
9	13,91
10	9,91
11	7,91
E	2,35
12	3,34
13	5,30
14	14,24
42	15,24
43	15,24
15	13,23
44	14,23
16	16,22
17	20,22
18	18,83
19	18,83
20	23,83
21	20,72
22	22,68
23	25,54
24	25,52
25	24,50
26	29,39
27	30,99
28	29,39

29	29,38
30	30,38
31	28,37
32	42,50
33	35,50
34	20,50
35	11,50
36	40,51
37	36,50
38	39,51
39	35,55
40	19,56
41	16,63
45	18,70
46	21,70
47	32,34
48	32,37
49	22,89
50	21,89

Para el caso de la ampliación de la red del APR Huatulame y la proyección a 10 años realizada, las presiones del caso dinámico en los nodos para dicha simulación se presentan en la siguiente tabla:

*Tabla 25: Presiones por nodo ampliación de red APR Huatulame.*

Nº Nodo	Presiones [mca]
1	4,00
2	5,96
3	34,02
4	30,01
5	33,46
6	38,40
7	39,40
8	38,40
9	38,40
10	44,36
11	44,36
12	42,36
13	33,20
14	42,18
15	57,18
16	39,19
17	52,31

18	54,18
19	52,27
20	51,28
21	56,24
22	55,24
23	57,24
24	57,24
25	60,99
26	59,99
27	57,00
28	62,20
29	60,14
30	66,06
31	44,92
32	40,92
33	48,92
34	54,92
35	60,94
36	59,00
37	66,05
39	31,31
40	38,31
41	38,31
42	43,31
43	47,31
44	49,31
45	54,31
46	47,18
47	47,18
48	52,18
49	51,28
50	52,28
51	51,28
52	48,28
A1	42,18
A2	47,18
A3	52,18
A4	57,18
A5	44,18
A6	49,18
A7	55,18
A8	60,18
A9	46,18

A10	51,18
A11	56,18
A12	61,18