



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

MEJORAMIENTO INTEGRAL APR LIMARÍ Y APR CERRILLOS DE TAMAYA, COMUNA DE OVALLE, IV REGIÓN DE COQUIMBO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

GONZALO ANDRÉS ANCÁN LLANCAO

PROFESOR GUÍA:
ADOLFO OCHOA LLANGATO

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

SANTIAGO DE CHILE
2023

MEJORAMIENTO INTEGRAL APR LIMARÍ Y APR CERRILLOS DE TAMAYA, COMUNA DE OVALLE, IV REGIÓN DE COQUIMBO

Chile se encuentra en una crisis hídrica desde el año 2009, donde una de las mayores zonas afectada corresponde a la IV Región de Coquimbo, la cual ha llegado a un déficit hídrico entre 70% y 80%. El cambio climático juega un rol importante en todo esto, puesto que eleva el riesgo hídrico en la medida que acentúa la ocurrencia de daños sociales, ambientales y económicos. Por tanto, en el contexto actual al que se enfrenta el país en cuanto a la escasez del recurso hídrico, se requiere una infraestructura adecuada para enfrentar esta crisis, y aquí es donde el Programa de Agua Potable Rural (APR) es el protagonista, donde su objetivo principal es el dotar de agua potable a la población rural, según calidad, cantidad y continuidad de acuerdo a la Norma Chilena NCh 409 Of. 84.

Si bien el Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través del Programa de APR, es el encargado de realizar los mejoramientos de cada APR, al año 2020, existen 1.962 sistemas de agua potable rural a lo largo de todo Chile, donde debido a esta cantidad elevada se hace imposible tener conocimiento pleno del estado actual del funcionamiento de cada uno de estos sistemas, por lo cual muchos de ellos actualmente se encuentran en el límite de su abastecimiento, presentando problemas de abastecimiento y de presiones al interior de su red.

El presente trabajo de título, toma dos Sistemas de Agua Potable rural que se encuentran en una de las zonas más críticas de escasez hídrica como lo es la IV Región de Coquimbo, donde es imperativo tener una infraestructura adecuada para la distribución de agua potable, cumpliendo con la calidad, cantidad y continuidad dictado por la norma. Los APR's que se analizan corresponden al APR Limarí, el cual abastece a un total de 706 arranques de agua potable, los cuales están repartidos en 3 sectores y al APR Cerrillos de Tamaya, el cual cuenta con un total de 1.041 arranques repartidos en 5 sectores; en particular el APR Limarí nunca ha recibido un mejoramiento a manos del Programa de APR, realizando sus ampliaciones de manera individual, mientras que el APR Cerrillos de Tamaya obtuvo un mejoramiento el año 2018. Sin embargo, según el comité respectivo, actualmente presenta problemas al interior de la red, por tanto, se hace imperativo un análisis del funcionamiento actual y con el objetivo de realizar propuestas para una infraestructura futura, se realiza un análisis a un horizonte proyectado de 20 años, el cual corresponde al horizonte de los análisis solicitados por la Dirección de Obras Hidráulicas.

Agradecimientos

Para comenzar quiero agradecer a mis padres, Misael y Elizabeth, quienes durante todos mis años como estudiante fueron mis principales pilares, quienes me apoyaron incondicionalmente en todas mis decisiones a lo largo de esta etapa, dándome las herramientas que requería para lograr un crecimiento como estudiante y como persona, sin ellos no podría haber llegado a donde estoy en este minuto.

Agradezco también a los profesores que durante la enseñanza media me dieron su guía e inculcaron en mí el gusto por las materias relacionadas a la carrera de Ingeniería Civil, su dedicación y pasión por la docencia, la cual eran capaces de transmitir a los estudiantes, fueron puntos claves para la elección de la carrera universitaria.

Agradezco a todo el equipo docente de la universidad que aportó conocimiento y sabiduría durante todo el paso en estos años dentro de la universidad, tanto profesores como auxiliares de los ramos en los que fui estudiante. Gracias principalmente a mi profesor guía, Adolfo Ochoa, quien confió en mi cuando le propuse el tema relacionado a los mejoramientos de los sistemas de agua potable rural, el trabajo que ya estaba realizando el profesor con las comunidades de la IV Región ya era admirable, y poder aportar con un granito de arena al trabajo que se está realizando es muy importante para mí. Gracias por todo el apoyo que recibí para la realización del presente trabajo de título, por la recopilación de datos necesarios para llevarlo a cabo y por mantener contacto con cada localidad involucrada en este trabajo.

Quiero agradecer a todos mis amigos y amigas que fueron parte de mi vida universitaria a lo largo de todo este periodo, aquellas personas con quien compartí risas en los pasillos y también aquellos que estuvieron conmigo en momentos difíciles. En particular, quiero agradecer a mi grupo más cercano, con quienes durante en temporada de pandemia conversaba a diario por Discord y fueron una pieza importante para sobrellevar toda la situación. Gracias a esas personas aún más cercanas con quienes recorrí la carrera de Ingeniería Civil Hidráulica, con quienes compartía no solamente los tiempos libres, sino que también equipos de trabajo, son personas maravillosas en todo sentido, en particular, agradecer a mi amiga más cercana Claudia, con quien compartí la mayoría del tiempo en el paso por la universidad.

Gracias especiales a aquellas personas que conocí fuera de la universidad, con quienes me podía escapar del mundo universitario y podía relajarme conversando sobre cualquier tema. En particular, agradecer a aquella persona que conocí en mi trabajo de fin de semana, quien durante el último año fue un gran apoyo, con quien tuve conversaciones tardes enteras mientras terminaba mis estudios y con quien me desvelé jugando, quien me hacía olvidar todo el estrés de la universidad y en momentos difíciles estuvo para apoyarme, las risas nunca faltan contigo, gracias por hacer los domingos mejores, gracias por todo verita.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	MOTIVACIÓN	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.2.1	Objetivos Específicos	2
1.3	METODOLOGÍA	3
2	MARCO TEÓRICO	5
2.1	SITUACIÓN HÍDRICA ACTUAL EN CHILE	5
2.2	PROGRAMA DE AGUA POTABLE RURAL (APR)	9
2.3	LEYES Y NORMATIVAS VIGENTES Y APLICABLES A LA FECHA	12
2.3.1	Ley N° 20.998, Regula los Servicios Sanitarios Rurales	12
2.3.2	Decreto 50, Reglamento de la Ley N° 20.998, que regula los servicios sanitarios rurales	15
2.3.3	Normativa Chilena	17
2.3.4	Manuales para Sistemas de Agua Potable Rural	20
3	ANTECEDENTES ZONA DE ESTUDIO, APR LIMARÍ Y APR CERRILLOS DE TAMAYA	21
3.1	INFORMACIÓN BÁSICA	21
3.1.1	Datos Generales	21
3.1.2	Características Climáticas	22
3.1.3	Antecedentes hidrológicos de las fuentes	23
3.1.4	Régimen de lluvias y revisión de nivel estático de las zonas de Limarí y Cerrillos de Tamaya	27
3.2	INFRAESTRUCTURA EXISTENTE	31
3.2.1	APR Limarí	31
3.2.2	APR Cerrillos de Tamaya	46
4	ANÁLISIS ACTUAL DEL APR	59
4.1	APR LIMARÍ	59
4.1.1	Análisis de la Demanda	59
4.1.2	Análisis del Almacenamiento	63
4.1.3	Análisis de la Impulsión	67
4.1.4	Análisis del Funcionamiento	71
4.2	APR CERRILLOS DE TAMAYA	87
4.2.1	Análisis de la Demanda	87
4.2.2	Análisis del Almacenamiento	92

4.2.3	Análisis de la Impulsión	98
4.2.4	Análisis del Funcionamiento	99
5	ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA ACTUAL CON LA DEMANDA	
	PROYECTADA	119
5.1	APR LIMARÍ	120
5.2	APR CERRILLOS DE TAMAYA	128
6	PROPUESTAS PARA EL ANÁLISIS PROYECTADO DEL APR	136
6.1	APR LIMARÍ	136
6.1.1	Sector Los Llanos.....	136
6.1.2	Sector Las Vegas	137
6.1.3	Sector Limarí	138
6.2	APR CERRILLOS DE TAMAYA	139
6.3	PLAZOS PREVISTOS	141
7	RESULTADOS PROYECTADOS	143
7.1	APR LIMARÍ	143
7.1.1	Sector Las Vegas	143
7.1.2	Sector Los Llanos.....	146
7.1.3	Sector Limarí	149
7.1.4	Verificación del Golpe de Ariete	156
7.2	APR CERRILLOS DE TAMAYA	163
7.2.1	Verificación del Golpe de Ariete	172
8	TRABAJOS REALIZADOS EN CONJUNTO A LA I. MUNICIPALIDAD DE	
	OVALLE.....	178
9	CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	179
	BIBLIOGRAFÍA	183
	ANEXOS	184

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3-1. INFORMACIÓN ESTACIÓN METEREOLÓGICA LA TORRE.....	28
TABLA 3-2. INFORMACIÓN POZOS DE MEDICIÓN DGA.....	29
TABLA 3-3. INFORMACIÓN DE FUENTES DE ABASTECIMIENTO	32
TABLA 3-4. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO - LIMARÍ.....	38
TABLA 3-5. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO - LOS LLANOS	39
TABLA 3-6. INFORMACIÓN FUENTES DE ABASTECIMIENTO.	47
TABLA 3-7. INFORMACIÓN BOMBAS Y MOTOR.....	48
TABLA 3-8. INFORMACIÓN ESTANQUES DE AGUA TRATADA	50
TABLA 3-9. INFORMACIÓN IMPULSIÓN - TRAMO I.....	51
TABLA 3-10. INFORMACIÓN IMPULSIÓN - TRAMO II	51
TABLA 3-11. INFORMACIÓN IMPULSIÓN - TRAMO III	52
TABLA 3-12. INFORMACIÓN ESTANQUES CERRILLOS DE TAMAYA.....	52
TABLA 3-13. INFORMACIÓN ESTANQUE QUEBRADA SECA.....	53
TABLA 3-14. INFORMACIÓN ESTANQUE SECTOR EL SIETE.....	53
TABLA 4-1. CAUDALES DE DISTRIBUCIÓN CON HORIZONTE DE 20 AÑOS.....	60
TABLA 4-2. CAUDALES DE DISTRIBUCIÓN - SECTOR LOS LLANOS.....	61
TABLA 4-3. CAUDALES DE DISTRIBUCIÓN - SECTOR LAS VEGAS	61
TABLA 4-4. CAUDALES DE DISTRIBUCIÓN - SECTOR LIMARÍ	62
TABLA 4-5. ANÁLISIS DEL ALMACENAMIENTO - APR LIMARÍ.....	64
TABLA 4-6. ANÁLISIS DEL ALMACENAMIENTO - SECTOR LOS LLANOS	64
TABLA 4-7. ANÁLISIS DEL ALMACENAMIENTO - SECTOR LAS VEGAS	65
TABLA 4-8. ANÁLISIS DEL ALMACENAMIENTO - SECTOR LIMARÍ.....	66
TABLA 4-9. CAUDALES A IMPULSAR Y TIEMPOS DE BOMBEO - IMPULSIÓN LIMARÍ	67
TABLA 4-10. CAUDALES A IMPULSAR Y TIEMPOS DE BOMBEO - IMPULSIÓN LOS LLANOS.....	68
TABLA 4-11. CAUDALES A IMPULSAR Y TIEMPOS DE BOMBEO - IMPULSIÓN LAS VEGAS	69
TABLA 4-12. RESULTADOS DE PRESIONES - SECTOR LIMARÍ	77
TABLA 4-13. RESULTADOS DE VELOCIDADES - SECTOR LIMARÍ	78
TABLA 4-14. RESULTADOS DE PRESIONES - SECTOR LAS VEGAS	82
TABLA 4-15. RESULTADOS DE VELOCIDADES - SECTOR LAS VEGAS	83
TABLA 4-16. RESULTADOS DE PRESIONES - SECTOR LOS LLANOS.....	85
TABLA 4-17. RESULTADOS DE VELOCIDADES - SECTOR LAS VEGAS	86
TABLA 4-18. CAUDALES DE DISTRIBUCIÓN CON HORIZONTE DE 20 AÑOS.....	88
TABLA 4-19. CAUDALES DE DISTRIBUCIÓN - CERRILLOS DE TAMAYA.....	89
TABLA 4-20. CAUDALES DE DISTRIBUCIÓN - SANTA CRISTINA.....	90
TABLA 4-21. CAUDALES DE DISTRIBUCIÓN - QUEBRADA SECA.....	90
TABLA 4-22. CAUDALES DE DISTRIBUCIÓN - LOS OLIVOS	91
TABLA 4-23. CAUDALES DE DISTRIBUCIÓN - EL SIETE	92
TABLA 4-24. ANÁLISIS DEL ALMACENAMIENTO - APR CERRILLOS DE TAMAYA	93
TABLA 4-25. ANÁLISIS DEL ALMACENAMIENTO - CERRILLOS DE TAMAYA	94
TABLA 4-26. ANÁLISIS DEL ALMACENAMIENTO - SANTA CRISTINA	95
TABLA 4-27. ANÁLISIS DEL ALMACENAMIENTO - QUEBRADA SECA	95
TABLA 4-28. ANÁLISIS DEL ALMACENAMIENTO - LOS OLIVOS	96

TABLA 4-29. ANÁLISIS DEL ALMACENAMIENTO - EL SIETE.....	97
TABLA 4-30. CAUDALES A IMPULSAR Y TIEMPOS DE BOMBEO - APR CERRILLOS DE TAMAYA	98
TABLA 4-31. RESULTADOS DE PRESIONES - APR CERRILLOS DE TAMAYA.....	107
TABLA 4-32. RESULTADO DE VELOCIDADES - APR CERRILLOS DE TAMAYA.....	109
TABLA 4-33. RESULTADOS DE PRESIONES CON GRIFO - APR CERRILLOS DE TAMAYA	113
TABLA 4-34. RESULTADOS DE VELOCIDADES CON GRIFO - APR CERRILLOS DE TAMAYA	115
TABLA 5-1. RESULTADOS DE PRESIONES PROYECTADAS - SECTOR LOS LLANOS	121
TABLA 5-2. RESULTADOS DE PRESIONES PROYECTADAS - SECTOR LOS LLANOS	122
TABLA 5-3. RESULTADOS DE PRESIONES PROYECTADA - SECTOR LAS VEGAS	123
TABLA 5-4. RESULTADOS DE VELOCIDAD PROYECTADA - SECTOR LAS VEGAS	123
TABLA 5-5. DEMANDA PROYECTADA - SECTOR LIMARÍ.....	125
TABLA 5-6. RESULTADOS DE PRESIONES PROYECTADA - SECTOR LIMARÍ.....	125
TABLA 5-7. RESULTADOS DE VELOCIDAD PROYECTADA - SECTOR LIMARÍ	127
TABLA 5-8. RESULTADOS DE PRESIONES PROYECTADAS - APR CERRILLOS DE TAMAYA.....	129
TABLA 5-9. RESULTADOS DE VELOCIDADES PROYECTADAS - APR CERRILLOS DE TAMAYA.....	131
TABLA 7-1. RESULTADOS FINALES DE PRESIONES - LAS VEGAS	144
TABLA 7-2. RESULTADOS FINALES DE VELOCIDADES - LAS VEGAS	145
TABLA 7-3. RESULTADOS FINALES DE PRESIONES - LOS LLANOS	147
TABLA 7-4. RESULTADOS FINALES DE VELOCIDADES - LOS LLANOS.....	147
TABLA 7-5. RESULTADOS FINALES DE PRESIONES - LIMARÍ	150
TABLA 7-6. RESULTADOS FINALES DE VELOCIDAD - LIMARÍ	151
TABLA 7-7. RESULTADOS FINALES DE PRESIONES CON GRIFO - LIMARÍ.....	153
TABLA 7-8. RESULTADOS FINALES DE VELOCIDADES CON GRIFO - LIMARÍ.....	154
TABLA 7-9. VERIFICACIÓN GOLPE DE ARIETE - LIMARÍ.....	158
TABLA 7-10. VERIFICACIÓN GOLPE DE ARIETE - LAS VEGAS.....	160
TABLA 7-11. VERIFICACIÓN GOLPE DE ARIETE - LOS LLANOS	161
TABLA 7-12. RESULTADOS DE PRESIONES FINALES - APR CERRILLOS DE TAMAYA	163
TABLA 7-13. RESULTADOS DE VELOCIDADES FINALES - APR CERRILLOS DE TAMAYA.....	165
TABLA 7-14. VERIFICACIÓN GOLPE DE ARIETE - APR CERRILLOS DE TAMAYA.....	172
TABLA 8-1. RECOMENDACIONES DE TUBERÍAS	178
TABLA 9-1. OBRAS PROYECTADAS APR LIMARÍ.....	180
TABLA 9-2. OBRAS PROYECTADAS APR CERRILLOS DE TAMAYA	181

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1. PRECIPITACIONES ACUMULADAS A NOVIEMBRE DE 2022, COMPARADAS CON EL PROMEDIO HISTÓRICO PARA EL MISMO MES ENTRE LOS AÑOS 1991-2020	6
FIGURA 2-2. MAPA DE VARIACIÓN DE CAUDALES PARA EL MES DE JUNIO DE 2022 RESPECTO AL PROMEDIO HISTÓRICO DEL MISMO MES EN EL PERIODO 1991-2020	7
FIGURA 2-3. CRECIMIENTO DE LA CANTIDAD DE SISTEMAS DE APR	12
FIGURA 3-1. UBICACIÓN CERRILLOS DE TAMAYA Y LIMARÍ, EN RELACIÓN A LA CIUDAD DE OVALLE. ..	22
FIGURA 3-2. CUENCA DEL RÍO LIMARÍ	24
FIGURA 3-3. SECTORES HIDROGEOLÓGICOS DE APROVECHAMIENTO COMÚN, OVALLE	27
FIGURA 3-4. GRÁFICO DE PRECIPITACIONES PERIODO 1990-2019	28
FIGURA 3-5. NIVEL ESTÁTICO DE POZO "CANAL TABALI"	29
FIGURA 3-6. NIVEL ESTÁTICO DE POZO "PARCELA 24 LIMARÍ"	30
FIGURA 3-7. PRECIPITACIONES MÁXIMAS MENSUALES Y TOTALES ANUALES EN ESTACIÓN LA TORRE.	30
FIGURA 3-8. IMPULSIÓN DESDE EL POZO 1 HACIA POZO 3	34
FIGURA 3-9. IMPULSIÓN DESDE POZO N°3 A LOS ESTANQUES	37
FIGURA 3-10. LAYOUT DEL SISTEMA APR LIMARÍ	41
FIGURA 3-11. RED DE DISTRIBUCIÓN – SECTOR LIMARÍ	43
FIGURA 3-12. RED DE DISTRIBUCIÓN – SECTOR LAS VEGAS	44
FIGURA 3-13. RED DE DISTRIBUCIÓN – SECTOR LOS LLANOS.....	45
FIGURA 3-14. LAYOUT DEL SISTEMA APR CERRILLOS DE TAMAYA.....	54
FIGURA 3-15. RED DE DISTRIBUCIÓN - CERRILLOS DE TAMAYA.....	56
FIGURA 3-16. RED DE DISTRIBUCIÓN - SANTA CRISTINA	57
FIGURA 3-17. RED DE DISTRIBUCIÓN – QUEBRADA SECA.....	57
FIGURA 3-18. RED DE DISTRIBUCIÓN – LOS OLIVOS	58
FIGURA 3-19. RED DE DISTRIBUCIÓN – EL SIETE	58
FIGURA 4-1. MARCOMEDICIÓN 2020-2021 APR LIMARÍ	70
FIGURA 4-2. CATÁLOGO DE TUBERÍAS PVC.....	72
FIGURA 4-3. ESQUEMA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN - SECTOR LIMARÍ	73
FIGURA 4-4. ESQUEMA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN (SIN FONDO) - SECTOR LIMARÍ.....	74
FIGURA 4-5. RESULTADOS MODELACIÓN EPANET.	75
FIGURA 4-6. ESQUEMA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN - SECTOR LAS VEGAS	80
FIGURA 4-7. ESQUEMA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN (SIN FONDO) - SECTOR LAS VEGAS.....	81
FIGURA 4-8. RESULTADOS MODELACIÓN EPANET.	82
FIGURA 4-9. ESQUEMA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN - SECTOR LOS LLANOS.....	84
FIGURA 4-10. ESQUEMA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN (SIN FONDO) - SECTOR LOS LLANOS	84
FIGURA 4-11. RESULTADOS MODELACIÓN EPANET – SECTOR LOS LLANOS.....	85
FIGURA 4-12. ESQUEMA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN - APR CERRILLOS DE TAMAYA.....	103
FIGURA 4-13. ESQUEMA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN (SIN FONDO) - APR CERRILLOS DE TAMAYA	103
FIGURA 4-14. ESQUEMA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN - CERRILLOS DE TAMAYA.....	104
FIGURA 4-15. ESQUEMA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN - SANTA CRISTINA.....	105
FIGURA 4-16. ESQUEMA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN - QUEBRADA SECA.....	105
FIGURA 4-17. ESQUEMA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN - LOS OLIVOS	106

FIGURA 4-18. ESQUEMA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN - EL SIETE.....	106
FIGURA 4-19. RESULTADOS DESFAVORABLES - SANTA CRISTINA.....	112
FIGURA 5-1. DEMANDA PROYECTADA - SECTOR LOS LLANOS.....	121
FIGURA 5-2. DEMANDA PROYECTADA - SECTOR LAS VEGAS	123
FIGURA 5-3. RESULTADO DE PRESIONES - LOS OLIVOS	135
FIGURA 5-4. RESULTADO DE PRESIONES - SANTA CRISTINA.....	135
FIGURA 7-1. CATÁLOGO POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	143
FIGURA 7-2. RED DE DISTRIBUCIÓN FINAL - LAS VEGAS.....	146
FIGURA 7-3. RED DE DISTRIBUCIÓN FINAL - LOS LLANOS	149
FIGURA 7-4. RED DE DISTRIBUCIÓN FINAL - LIMARÍ.....	156
FIGURA 7-5. PROPIEDADES HDPE TIGRE	157
FIGURA 7-6. RED DE DISTRIBUCIÓN FINAL - CERRILLOS DE TAMAYA	169
FIGURA 7-7. RED DE DISTRIBUCIÓN FINAL - SANTA CRISTINA	170
FIGURA 7-8. RED DE DISTRIBUCIÓN FINAL - QUEBRADA SECA	170
FIGURA 7-9. RED DE DISTRIBUCIÓN FINAL - LOS OLIVOS.....	171
FIGURA 7-10. RED DE DISTRIBUCIÓN FINAL - EL SIETE	171

1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se introduce la motivación y justificación del presente trabajo de título, indicando sus principales objetivos, tanto generales como específicos y los alcances del desarrollo del mismo.

1.1 Motivación

Los sistemas de Agua Potable Rural (APR) son sistemas de captación, acumulación, producción y distribución de agua potable en localidades rurales donde una empresa sanitaria convencional no tiene el alcance para operar. En estas circunstancias, las localidades operan los APR de forma independiente, recibiendo ayuda y/o financiamiento solo para su creación y/o mejora. El objetivo principal de este trabajo de título es estudiar el mejoramiento integral de los APR ubicados en la comuna de Ovalle, IV Región de Coquimbo, Chile, con un enfoque específico en el APR Limarí y el APR Cerrillos de Tamaya. Se cuenta con información inicial de estos APR a partir de informes emitidos por estudiantes del Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile, quienes realizaron su práctica profesional en estas localidades en febrero de 2022.

El programa de Agua Potable Rural (APR) en Chile tiene sus orígenes en la década de 1960, cuando el gobierno comenzó a preocuparse por el acceso al agua potable en zonas rurales del país. Desde entonces, se han desarrollado diversas políticas y programas para mejorar el acceso al agua potable en estas zonas. En particular, uno de los hitos más importantes en la historia del programa APR en Chile fue la creación del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR) en 1979, el cual permitió financiar proyectos de agua potable en zonas rurales. Desde entonces, el FNDR ha sido una de las principales fuentes de financiamiento para el programa APR.

Según los datos proporcionados por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), la cual es una división del Ministerio de Obras Públicas (MOP), en 1964 se creó el Programa de Agua Potable Rural (APR), el cual tiene como objetivo proveer agua potable a las zonas rurales de Chile que no cuentan con acceso a servicios de agua potable. A través del APR se han financiado proyectos de infraestructura, tales como sistemas de captación, tratamiento y distribución de agua potable.

Sin embargo, pese lo anterior, hay APR's que aún no han podido actualizar sus sistemas, ya sea de producción, impulsión o distribución, teniendo deficiencias actuales para el correcto funcionamiento a la población relacionada. Según cifras del Ministerio de Obras Públicas, existe más de 2.000 sistemas de APR en Chile, los cuales han sido financiados por este programa, donde debido a esta gran cantidad es posible que muchos de ellos a lo largo de los años no han podido financiar sus respectivos mejoramientos.

El presente trabajo de título permite abordar uno de los principales temas relacionados con un diseño de mejoramiento integral para un sistema de agua potable rural, donde se definen puntos tales como la recopilación de antecedentes del sector, infraestructura existente de cada APR, un análisis con modelaciones hidráulicas del funcionamiento actual de cada APR, así también como un análisis de la demanda, almacenamiento e impulsión para cada uno de ellos, donde se evalúa todo esto en un horizonte de 20 años, proponiendo mejoras en la red y en el sistema . Todo lo anterior es a nivel de ingeniería conceptual, sin embargo, el estudio pretende ser de gran ayuda para postulaciones futuras a financiamientos para las mejoras de cada APR y para el conocimiento de los dirigentes y trabajadores de los APRs.

1.2 Objetivos

El objetivo general de este estudio es realizar un levantamiento de la situación actual de los sistemas de Agua Potable Rural (APR) de Limarí y Cerrillos de Tamaya, con el fin de comparar su estado actual con el estándar dictado por la Dirección de Obras Hidráulicas u otras entidades pertinentes en esta materia. De esta manera, se podrán identificar las brechas que existen para garantizar la calidad, continuidad y eficiencia en el servicio de abastecimiento de agua potable a las comunidades rurales. A partir de las brechas encontradas, se propondrán mejoras a nivel de ingeniería conceptual para lograr un funcionamiento óptimo en cada APR, respaldado por modelaciones hidráulicas y estudios de los elementos que componen el sistema de APR.

1.2.1 Objetivos Específicos

Para poder cumplir con el objetivo general de este trabajo de título, se han definido los siguientes objetivos específicos:

-
- Determinación de las características de ambos APR's (Limarí y Cerrillos de Tamaya), identificando la estructura existente, operación del sistema, la capacidad del sistema y la operación que ha tenido durante los últimos cinco años.
 - Confección de un catastro de cada APR en el que se refleje la situación actual.
 - Confección de planos y/o cartografías con información acerca de la ubicación de la red de distribución a lo largo de todo el APR.
 - Determinación de las brechas existentes y las principales falencias o déficits de cada APR.
 - Diseño a nivel de ingeniería conceptual de las principales obras o instalaciones necesarias para un mejoramiento integral del APR.

1.3 Metodología

Para poder lograr los objetivos antes mencionados, se define una metodología a seguir:

- Revisión bibliográfica para establecer el estándar que se estima óptimo para la operación de un sistema de agua potable rural.
- Estudio de la normativa técnica sobre sistemas de agua potable rural.
- Estudio del Manual de APR dictado por la Dirección de Obras Hidráulicas, de modo de realizar un trabajo de título lo más similar a un proyecto de mejoramiento integral de APR.
- Recopilar información por parte del comité acerca de cada uno de los APR, de manera de tener un compilado junto con lo observado por cada estudiante en práctica.
- Realizar una modelación hidráulica de la situación actual mediante el software de EPANET, de modo de visualizar las falencias hidráulicas de la red y modificarla de manera que cumpla con la norma vigente.
- Estudio de la demanda actual y futura, considerando un crecimiento poblacional a partir de la información de los últimos años o con lo sugerido por la Dirección de Obras Hidráulicas.
- Estudio del almacenamiento del agua potable en función al crecimiento poblacional.

-
- Realizar cartografías de la red existente, a modo de ayuda a los operadores para localizar cada tubería de la red.
 - Propuesta de alternativas para el mejoramiento integral de cada APR, a un nivel de ingeniería conceptual, las cuales sea posible evaluar en un futuro.

2 MARCO TEÓRICO

Dentro del siguiente capítulo se desarrolla y explican los aspectos teóricos en los cuales se enmarca la presente memoria.

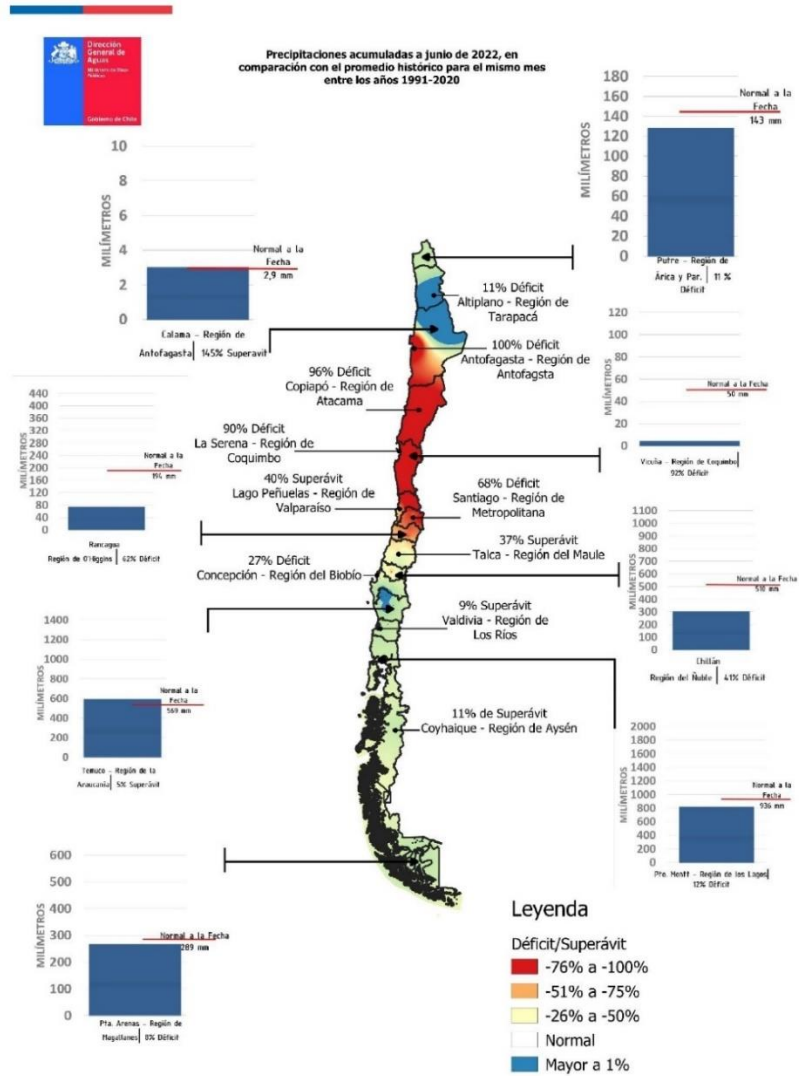
2.1 Situación Hídrica Actual en Chile.

“Sólo en los últimos 50 años el agua ha sido vista como un recurso escaso para la humanidad” (Santibáñez, 2017, p.1), la inminente crisis hídrica a nivel mundial que se ha ido observando a lo largo de los últimos años, ha provocado consecuencias negativas en la población, ecosistemas y economía, alcanzando déficit de este recurso destinados tanto a la agricultura, ganadería y al abastecimiento de agua potable en zonas rurales.

Esto se ve reflejado en el Boletín N°535 del mes de junio del 2022, desarrollado por la Dirección General de Aguas (DGA) a partir de la información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas. En particular, se observa en la Figura 2-1 que la Región de coquimbo presenta un déficit de precipitaciones del 90% comparado con el promedio del último periodo mencionado en la gráfica.

El déficit de precipitaciones mencionado anteriormente, conlleva una disminución en los caudales observados mediante los equipos puestos en marcha por la DGA, donde en particular la Figura 2-2 muestra esta variación, la cual corresponde a una disminución del 80% en el caudal del Río Limarí (el cual es el principal cuerpo de agua superficial del área de estudio), donde la disminución es con respecto al promedio histórico en el periodo de 1991-2020.

Figura 2-1. Precipitaciones acumuladas a noviembre de 2022, comparadas con el promedio histórico para el mismo mes entre los años 1991-2020

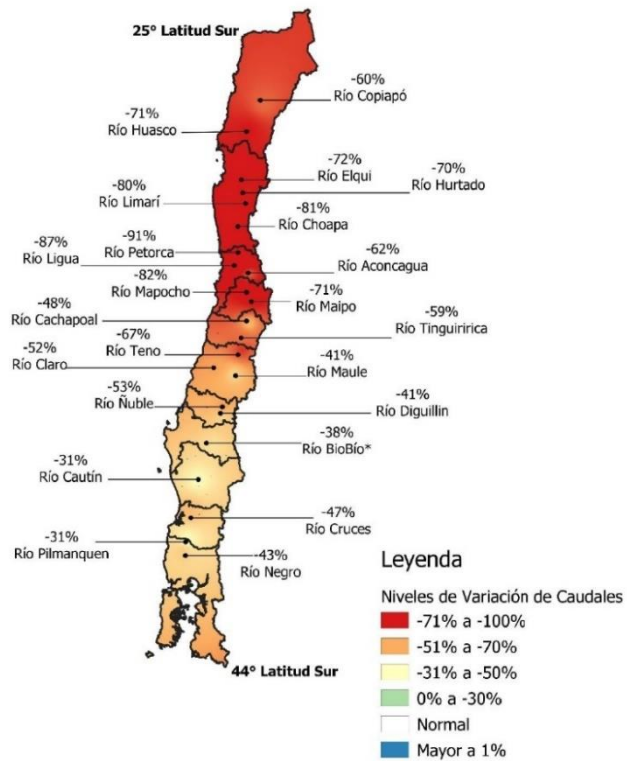


* Dato obtenido mediante interpolación

Figura 2-2. Mapa de variación de caudales para el mes de Junio de 2022 respecto al promedio histórico del mismo mes en el periodo 1991-2020



Mapa de Variación de Caudales para el mes de Junio de 2022 con respecto al promedio histórico del mismo mes en el periodo 1991-2020.



(*) Estación Fluviométrica Río BioBio en Rucalhue se encuentra regulada en su medición por la descarga de caudales provenientes desde una serie de embalses ubicados a en distintos tramos del río aguas arriba. Raico, Pangue y Angostura (desde aguas arriba hacia aguas abajo)



En particular, la crisis hídrica observada en la Región de Coquimbo, Chile, ha sido un tema relevante en los últimos años debido a la escasez de agua que ha afectado a la zona. Esta región se caracteriza por tener un clima semiárido y una disponibilidad limitada de recursos hídricos. Según la Dirección General de Aguas (DGA), la región de Coquimbo es una de las más afectadas por la sequía en el país, presentando niveles de precipitación y caudales de ríos muy bajos durante los últimos años (DGA, 2022).

Las precipitaciones en la Región de Coquimbo son variables, pero en general son bajas. La región se encuentra en la zona semiárida del país, con un promedio de precipitaciones que oscila entre los 100 y 200 mm anuales en las zonas costeras y los 400 y 600 mm anuales en las zonas cordilleras. Estos niveles de precipitación son insuficientes para cubrir la demanda de agua de la población y las actividades económicas de la región, lo que ha llevado a la sobreexplotación de los recursos hídricos disponibles (DGA, 2020), donde esto conlleva una disminución en los caudales de los ríos y embalses de la Región. Según la DGA, algunos ríos en la región han presentado caudales históricos mínimos, como el río Limarí y el río Choapa. Además, los embalses de la zona han visto disminuidos sus niveles de agua, lo que ha afectado la disponibilidad de agua para el riego y otros usos (DGA, 2022).

La crisis hídrica en la Región de Coquimbo se ha atribuido a una serie de factores, tales como la falta de infraestructura adecuada para el almacenamiento y distribución del agua, el aumento de la demanda por parte de la población y las actividades económicas, y el cambio climático. Según estudios realizados por la Comisión Nacional de Riego (CNR), el consumo de agua en la región ha aumentado en un 50% en los últimos 10 años, principalmente debido al aumento de la demanda por parte de la agricultura (CNR, 2017).

Para enfrentar la crisis hídrica en la Región de Coquimbo, se han implementado diversas medidas, como la construcción de infraestructura para el almacenamiento y distribución del agua, la implementación de tecnologías de riego eficientes, y la promoción del uso responsable del recurso hídrico. Además, se han establecido políticas y regulaciones para el uso del agua, con el fin de fomentar la conservación y protección del recurso. Sin embargo, esta crisis es un problema complejo que se ha visto agravado por diversos factores, y que requiere de soluciones a largo plazo para garantizar la sustentabilidad del recurso hídrico en la región.

La crisis hídrica en las zonas rurales ha tenido un impacto significativo en los sistemas de agua potable rural (APR). En muchos casos, las fuentes de agua utilizadas por los sistemas APR se han secado o han disminuido su caudal, lo que ha dificultado la provisión de agua potable a la población rural. Además, la sobreexplotación de los acuíferos ha llevado a la salinización de los pozos, lo que ha afectado la calidad del agua para consumo humano (DGA, 2020), ya que la sobreexplotación interrumpe los tiempos de recarga de los acuíferos utilizados, lo que provoca un aumento en la concentración de sales minerales en su interior, inclusive, en algunos casos, los sistemas APR se han visto obligados a implementar restricciones en el suministro de agua, reduciendo la frecuencia o la cantidad de agua entregada a las familias. Esto ha generado problemas de acceso al agua y ha aumentado la carga de trabajo de las comunidades rurales para obtener agua de otras fuentes, como la lluvia o la compra de agua en camiones.

Esta situación ha llevado a la implementación de medidas de emergencia, como la instalación de puntos de abastecimiento de agua potable en camiones aljibe o la construcción de sistemas de captación de agua de lluvia. Estas medidas, aunque pueden mitigar la falta de agua en el corto plazo, no son soluciones sostenibles a largo plazo y requieren de una planificación adecuada para garantizar su eficacia y seguridad para la población.

2.2 Programa de Agua Potable Rural (APR)

El programa de Agua Potable Rural tiene sus inicios en el año 1964, donde se adopta el Plan Básico de Saneamiento Rural, el cual se crea a partir de dos hitos importantes. El primero de ellos corresponde a la Resolución de la XII Asamblea Mundial de la Salud del año 1959, donde se estableció como prioritario el abastecimiento público de agua potable, mientras que el segundo hito corresponde al acuerdo “Carta de Punta del Este”, del año 1961, la cual establecía como meta el abastecimiento de agua potable al 50% de la población rural en la década 1960-1970.

En sus comienzos, el programa estuvo dirigido a la denominada “Población Rural Concentrada”, la cual al comienzo era definida como aquellas localidades con un mínimo de 100 habitantes y un máximo de 1.000 y una concentración de 40 viviendas por km de red de agua potable (DOH, 2015), a lo largo del tiempo esta definición se ha ido modificando, donde a partir de 1985, se denomina así a aquellas localidades con una población entre 100/150 y 3.000 habitantes y una concentración mínima de 15 viviendas

por km de red de agua potable. Esto fue así hasta que se tuvo una cobertura plena en base a la definición dada, lo cual se logró el año 2010, a partir del cual se amplió también para aquella Población Rural Semi-concentrada, la cual es definida como aquella que está constituida por un mínimo de 80 habitantes y una densidad de a lo menos 8 viviendas por km de red.

A través de este programa, el Ministerio de Obras Públicas provee de infraestructura de agua potable rural a aquellas localidades que cumplen los requisitos establecidos, donde dicha infraestructura se entrega para su administración, operación y mantención a través de los respectivos comités o cooperativas de cada APR.

Según el MOP en su Informe final de evaluación infraestructura hidráulica de agua potable rural (2015), el programa APR produce los bienes y servicios que entrega, organizándolos en torno a tres componentes principales. El primer corresponde a la “Infraestructura de agua potable entregada a localidades rurales que no cuentan con un servicio de APR”, el cual contiene todas aquellas obras necesarias para el funcionamiento de cada sistema, tales como captación, conducción, almacenamiento, desinfección y distribución. El segundo componente corresponde al “Mejoramiento, ampliación y conservación de infraestructura de APR”, el cual contempla aquellas materias relacionadas a las nuevas infraestructuras de ampliación que incrementen la oferta máxima del sistema, mejorando además la calidad del servicio, tales como la presión, calidad de agua y cantidad, mientras que la conservación comprende la ejecución de obras menores y/o de reposición de equipos, de manera de mantener operativo el sistema sin necesidad de renovar todo el sistema. Finalmente, el tercer componente es relacionado al funcionamiento futuro de cada APR, obteniendo mayor autonomía y eficiencia en la gestión, esto con la ayuda de asesorías y talleres.

La Dirección de Obras Hidráulicas menciona hechos importantes vinculados con el desarrollo del Programa APR, entre los cuales se encuentran:

- Suscripción del primer Contrato de Préstamo con el Banco Interamericano del Desarrollo (BID).
- Creación de la Oficina de Saneamiento Rural (O.S.R.) dependiente del ex Servicio Nacional de Salud (S.N.S.), como Organismo Ejecutor.

-
- Desarrollo de la Primera Etapa, con la constitución de 155 Cooperativas de Servicio de Agua Potable, como entidades administradoras de los Sistemas de APR construidos con cargo al Préstamo.
 - Creación del ex Servicio Nacional de Obras Sanitarias (SENDOS, con la fusión de todos los organismos vinculados al sector de los servicios sanitarios, entre ellos, la O.S.R.
 - Suscripción del segundo Contrato de Préstamo con el BID, con SENDOS como Organismo Ejecutor.
 - Desarrollo de la Segunda Etapa, con la constitución de 122 Comités de Agua Potable Rural, como organizaciones responsables de los Sistemas de APR construidos con cargo al Préstamo.
 - Suscripción del tercer Contrato de Préstamo con el BID, continuando SENDOS como Organismo Ejecutor.
 - Desarrollo de la Tercera Etapa con la formación de 198 Comités de Agua Potable Rural.
 - Suscripción del cuarto y quinto Contrato de Préstamo con el BID, siendo sus Organismos Ejecutores, SENDOS hasta el año 1989 y la Dirección de Planeamiento hasta el año 1991.

Según datos de la DOH, desde la creación del Programa APR realizado en la década de 1960, ha habido un crecimiento superando hasta 10 veces en la cantidad de sistemas de APR hasta finales al año 2016, donde en particular al año 1970 se habían construido cerca de 150 sistemas de APR, mientras que a diciembre de 2016 son cerca de 1.772 sistemas a lo largo de todo el país.

Figura 2-3. Crecimiento de la cantidad de Sistemas de APR



Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas.

2.3 Leyes y normativas vigentes y aplicables a la fecha.

2.3.1 Ley N° 20.998, Regula los Servicios Sanitarios Rurales.

La principal ley aplicable a la fecha corresponde a la “Ley 20.998, Regula los Servicios Sanitarios Rurales”, la cual fue promulgada el 6 de febrero del 2016 y publicada el 14 de febrero de 2017 por el Ministerio de Obras Públicas (MOP), la cual ha sido modificada en dos ocasiones, la primera por la Ley 21.401 el 28 de diciembre de 2021, y segunda por la Ley 21.520 el 14 de diciembre de 2022. La presente ley tiene por objeto establecer un marco jurídico e institucional que regule la prestación de servicios sanitarios rurales, entendiéndose por tal la provisión de agua potable, así como la recolección y tratamiento

de las aguas servidas. Establece comités y cooperativas encargados; norma las licencias para prestar el servicio en un área determinada, y las condiciones de los mecanismos de asesoría y fiscalización de sanitarias. La Ley consta con un total de 92 artículos en toda su extensión, donde a continuación se presentan aquellos artículos estrechamente relacionados con la presente memoria.

- Artículo 5º.- Servicio sanitario rural primario. Corresponde a la prestación de servicios de agua potable y saneamiento, en su caso, a las comunidades rurales para uso doméstico, y requiere el abastecimiento de agua de calidad, en cantidad y con continuidad, y en forma universal para todos aquellos usuarios que se ubiquen dentro del área de servicio.
- Artículo 6º.- Servicio sanitario rural secundario. Corresponde a la prestación de servicios de agua potable y saneamiento que exceden del uso doméstico, y cuya prestación sólo procede cuando el operador garantiza la cobertura del servicio sanitario rural primario.
- Artículo 8º.- Área de servicio. El operador prestará el servicio dentro del territorio delimitado en el respectivo decreto que otorgue la licencia.
- Artículo 9º.- Derecho a usar bienes nacionales de uso público e imponer servidumbres. Las licencias otorgan el derecho a usar a título gratuito bienes nacionales de uso público para construir o instalar infraestructura de servicios sanitarios rurales, siempre que no se altere, en forma permanente, la naturaleza y finalidad de éstos. El uso deberá sujetarse a las condiciones dispuestas por las respectivas municipalidades u otros órganos públicos encargados de su administración, cuando estas instalaciones pudieran afectar la normal utilización del bien nacional de uso público. En todo caso, la utilización temporal de cualquier bien nacional de uso público requerido para ejercer este derecho estará exenta de cualquier tipo de cobro.
- Artículo 15.- Objeto. La licencia autoriza a su titular para prestar un servicio sanitario rural. Otorgada la licencia de distribución, el Estado no podrá otorgar, en parte alguna del área de servicio de la licenciataria, licencias de distribución de agua potable y recolección de aguas servidas, ni concesiones sanitarias.
- Artículo 17.- Evaluación. No obstante, el carácter de indefinidas de las licencias, cada cinco años las licenciatarias deberán acreditar ante la Subdirección el

cumplimiento de los requisitos tales como calidad del agua, cantidad, continuidad del servicio la existencia de un fondo de reserva para garantía del servicio.

- Artículo 19.- Ampliaciones. La licenciataria podrá solicitar ampliaciones de su área de servicio conforme al procedimiento establecido en los artículos 20 y siguientes. Si el área de ampliación solicitada estuviere total o parcialmente ubicada dentro de un área urbana o de extensión urbana, la Subdirección solicitará a la Superintendencia que informe si se ha solicitado u otorgado en dicha área una concesión sanitaria.
- Artículo 21.- Incorporación de nuevas zonas al área de servicio. Presentada la solicitud de licencia, la Subdirección podrá ampliar los límites del área de servicio sólo con el objeto de incorporar zonas que desde el punto de vista técnico, económico y social hagan conveniente la constitución de un sistema único, con incidencia en un menor costo para la provisión del servicio.
- Artículo 41.- Obligación de conservación de instalaciones y equipos. Para el cumplimiento de las obligaciones establecidas en el artículo anterior los operadores deberán conservar en perfecto estado de funcionamiento las instalaciones y equipos que conforman la infraestructura del servicio, debiendo para estos efectos proceder a su reparación y mantenimiento, y a la reposición, en su caso.
- Artículo 42.- Fondo de reposición y reinversión. Los operadores que conforme a la clasificación del artículo 70 de esta ley pertenezcan a los segmentos Mediano y Mayor deberán constituir e incrementar, con un porcentaje no inferior al veinte por ciento de sus remanentes resultantes de cada ejercicio anual, un fondo de reserva legal destinado a la reposición y ampliación de largo plazo, según se defina en el reglamento. El fondo mencionado en el inciso anterior no podrá ser destinado a fines distintos de la reposición y ampliación de la infraestructura, y deberá ser mantenido en instrumentos de inversión calificados por el reglamento.
- Artículo 45.- Vertimiento de aguas tratadas en canales de regadío. Los operadores de tratamiento y disposición podrán solicitar, a la organización de usuarios respectiva, autorización para el vertimiento de las aguas tratadas en un canal. En caso de que la organización de usuarios negare la autorización, o no se llegue a acuerdo, el operador podrá recurrir al juzgado de letras en lo civil de la comuna correspondiente al punto de descarga propuesto para que éste, conforme al procedimiento sumario establecido en los artículos 680 y siguientes del Código de

Procedimiento Civil, lo autorice, mientras no signifique riesgo para la salud de la población, a verter las aguas tratadas en el canal, estableciendo las contraprestaciones correspondientes.

- Artículo 46.- ...Los usuarios que se vieran afectados en sus derechos como consecuencia del desempeño de un operador podrán recurrir ante la Superintendencia solicitando la aplicación de las facultades establecidas en los artículos 85 y 89.
- Artículo 48.- Mérito ejecutivo. Las boletas o facturas que se emitan por la prestación de los servicios sanitarios rurales o por los trabajos en los arranques de agua potable rural o uniones domiciliarias de alcantarillado rural, incluidos sus reajustes e intereses, tendrán mérito ejecutivo sólo en cuanto al cobro de aquellas prestaciones.
- Artículo 50.- Facultad de acceso del operador. El usuario deberá permitir el acceso a su inmueble del personal del operador, identificado como tal, para el ejercicio de las funciones que dicen relación con la prestación de los servicios.

2.3.2 Decreto 50, Reglamento de la Ley N° 20.998, que regula los servicios sanitarios rurales.

Otra ley relacionada con los Sistemas de Agua Potable Rural, corresponde al “Decreto 50 Reglamento de la Ley N°20.998, que regula los servicios sanitarios rurales”. Este decreto el cual fue promulgado el 22 de mayo del 2019 y publicado el 10 de octubre del 2020 por el Ministerio de obras Pública, se especifican un total de 128 artículos que permiten la operación de la Ley N° 20.998, cuyo texto se menciona anteriormente, donde sin este documento la ley no pudo ser aplicada antes. A continuación, se presentan artículos y extractos del decreto, los cuales se contextualizan en el presente marco teórico.

- El servicio sanitario rural podrá ser operado por un comité o una cooperativa a los que se les haya otorgado una Licencia por el Ministerio. Excepcionalmente, conforme se establezca en el Reglamento, el servicio podrá ser operado por otra persona natural o jurídica autorizada por el Ministerio, previo informe favorable de la autoridad sanitaria regional. La actividad que desarrolle este operador será sin fines de lucro, en los términos que establecen los artículos 5 y 17 del Reglamento.

-
- Artículo 3.- Cooperativas. Para efectos y aplicación de lo dispuesto en el inciso tercero del artículo 1º de la ley, las cooperativas solo podrán absorber pérdidas acumuladas, si las hubiere, y constituir e incrementar fondos de reserva obligatorios o voluntarios con el remanente generado en el ejercicio económico respectivo. Se prohíbe el pago de intereses al capital, la distribución de excedentes en dinero entre sus socios y la emisión de cuotas de participación liberadas en favor de éstos.
 - Para determinar la dotación correspondiente a un servicio sanitario primario, se considerará un volumen promedio de 20 metros cúbicos mensuales por arranque (m³/mes/arranque), que corresponderá a la suma de 15 (m³/mes/arranque) para el consumo familiar y de 5 (m³/mes/arranque) para el consumo de las actividades de subsistencia señaladas en el inciso anterior. Esta dotación promedio, podrá modificarse excepcionalmente, en el evento que las condiciones hídricas y geográficas en que se emplace un proyecto determinado no permitan satisfacer dicha dotación, correspondiendo a la Subdirección establecer el volumen mínimo de operación que deberán considerar los proyectos en situaciones excepcionales.
 - Artículo 10.- Servicios sanitarios rurales secundarios. En caso de que el operador, conforme a sus excedentes de agua, disponga de recursos hídricos, que permitan satisfacer volúmenes mayores a la demanda del servicio sanitario primario para el período de previsión definido en el diseño del sistema de agua potable, las Licenciatarias podrán disponer de estos excedentes para satisfacer los servicios sanitarios rurales secundarios.
 - Artículo 12.- Contratos con terceros. Los operadores podrán contratar los servicios sanitarios para las etapas de producción de agua potable y de tratamiento y disposición de aguas servidas y el manejo de los lodos con las empresas prestadoras de servicios sanitarios urbanas concesionadas o con otras.
 - Artículo 14.- Bienes nacionales de uso público. La Licencia otorga el derecho a usar, a título gratuito, bienes nacionales de uso público para construir o instalar infraestructura de servicios sanitarios rurales y siempre que no se altere en forma permanente la naturaleza y finalidad de esos bienes.
 - El decreto considera en su artículo 39 como derecho y obligación del operador el mantener en perfecto estado de funcionamiento a fin de evitar interrupciones

en el servicio y asegurar su correcta operación. Ejecutar los trabajos de instalaciones de conexiones domiciliarias y reparaciones. Revisar las instalaciones a fin de determinar su estado de funcionamiento y conservación de acuerdo con las normas vigentes y a las instrucciones que imparta la Subdirección, entre otros.

- Artículo 40.- Calidad de la prestación del servicio. Los servicios sanitarios deberán prestarse en la calidad exigible conforme al decreto supremo N° 735, de 1969, del Ministerio de Salud y sus modificaciones, o la norma que lo reemplace, sin perjuicio de las atribuciones del Ministerio de Salud y de la Superintendencia.
- Artículo 44.- Derechos del usuario. Los usuarios tendrán derecho a recibir los servicios en las condiciones de calidad y continuidad conforme a lo estipulado en la ley, el Reglamento y en el decreto de otorgamiento o de reconocimiento de licencia.
- Artículo 117.- Tramitación de proyectos. Los organismos públicos que financien y, o construyan infraestructura en sistemas de agua potable y saneamiento rural se registrarán por las normas de la ley y el Reglamento. Para los efectos del inciso final del artículo 81 de la ley, corresponderá a la Subdirección visar técnicamente los proyectos e impartir los criterios técnicos que se requerirán para la ejecución de los proyectos.

2.3.3 Normativa Chilena.

A continuación, se mencionan las Normas Chilenas las cuales se utilizarán a lo largo de todo el desarrollo de la memoria:

- NCh 409 – Agua Potable
- NCh 691 – Producción, conducción, almacenamiento y distribución – Requisitos de diseño.
- NCh 692 – Plantas elevadoras – Especificaciones generales.
- NCh 777 – Fuentes de abastecimiento y obras de captación.
- Resolución 666 – Fija tiempo mínimo de contacto Cloro-Agua en servicios públicos de agua potable.

Donde la principal a utilizar corresponde a la NCh 691, ya que este cuenta con todos los parámetros de diseño de los procesos de distribución de agua potable para una localidad. De esta norma es posible extraer las fórmulas relacionadas al cálculo de dotaciones, caudales, así como los factores relacionados a estos mismos, las cuales se presentan a continuación:

- Aguas no contabilizadas (ANC): Las aguas no contabilizadas corresponden a las pérdidas de agua en las obras de agua potable, tales como fugas en las redes, imprecisiones en la macro-medición y en la medición domiciliaria, consumos operacionales, consumos de incendio, usos indebidos.

$$ANC = \frac{(VAP - VAF)}{(VAP)} \times 100\% \quad (1)$$

Donde:

ANC [%]: Aguas no contabilizadas.

VAP [m³]: Volumen de agua producido anualmente, medido a la salida del sistema de producción.

VAF [m³]: Volumen de agua facturado anualmente.

- Coeficiente del mes de máximo consumo (CMMC):

$$CMMC = \frac{\text{Consumo máximo mensual}}{\text{Consumo medio mensual}} \quad (2)$$

- Coeficiente del día de máximo consumo en el mes de máximo consumo (CDMC):

$$CDMC = \frac{\text{consumo máximo diario}}{\text{Consumo medio diario del mes de mayor consumo}} \quad (3)$$

- Factor del día de máximo consumo (FDMC):

$$FDMC = CMMC \times CDMC \quad (4)$$

- Factor de la hora de máximo consumo (FHMC):

$$FHMC = \frac{\text{consumo máximo horario}}{(\text{consumo máximo diario}/24)} \quad (5)$$

-
- Dotaciones de consumo (Dc):

$$Dc = \frac{(VAF/365)}{Pob.A} \quad (6)$$

Donde:

Dc [L/hab/día]: Dotación de consumo.

VAF [L]: Volumen de agua facturado anualmente.

Pob.A [hab]: Población promedio abastecida en el año.

- Dotaciones de producción (Dp):

$$Dp = \frac{VAP/365}{Pob.A} = \frac{Dc}{[1 - (ANC/100)]} \quad (7)$$

Donde:

Dp [L/hab/día]: Dotación de producción.

VAP [L]: Volumen de agua producido anualmente, medido a la salida del sistema de producción.

Pob.A [hab]: Población promedio abastecida en el año.

ANC [%]: Aguas no contabilizadas.

- Caudal medio diario (Qmd):

$$Qmd = \frac{Pob. x Dp}{86400} \quad (8)$$

Donde:

Qmd [L/s]: Caudal medio diario.

Pob. [hab]: Población total.

Dp [L/hab/día]: Dotación de producción.

- Caudal máximo diario (Qmáxd):

$$Qmáxd = FDMC x Qmd \quad (9)$$

Donde:

Qmáxd [L/s]: Caudal Máximo diario;

FDMC: Factor del día de máximo consumo;

Qmd [L/s]: Caudal medio diario.

-
- Caudal máximo horario ($Q_{máxh}$):

$$Q_{máxh} = FHMC \times Q_{máxd} \quad (10)$$

Donde:

$Q_{máxh}$ [L/s]: Caudal máximo horario;

FHMC: Factor de la hora de máximo consumo;

$Q_{máxd}$ [L/s]: Caudal medio diario.

2.3.4 Manuales para Sistemas de Agua Potable Rural

Dentro de los documentos más relevantes para el presente trabajo, se puede encontrar dos manuales desarrollados por entidades estatales, el principal y más actual de ellos corresponde al Manual de Proyectos de Agua Potable Rural, cuya versión es de julio de 2019, este documento corresponde a una Guía para el diseño y contenido de proyectos de sistemas de agua potable rural, el cual es elaborado por la Dirección de Obras Hidráulicas a partir de las normas antes mencionadas, añadiendo también recomendaciones a considerar para el diseño de los sistemas APR.

El segundo documento corresponde al Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales, elaborado por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE) en su versión de octubre de 2009, el cual al igual que el manual antes mencionado, contiene indicaciones y recomendaciones para el diseño de sistemas de agua potable rural en base a las normativas aplicables.

3 ANTECEDENTES ZONA DE ESTUDIO, APR LIMARÍ Y APR CERRILLOS DE TAMAYA

Esta sección tiene por finalidad recabar los antecedentes de terreno a fin de realizar un diagnóstico de los problemas, actualizando y validando la información real del estado de las obras en terreno, respecto de las obras existentes y los diseños de ingeniería anteriores.

Con ello se pretende lograr un conocimiento claro y ajustado a la realidad de la situación existente en las localidades de Limarí y Cerrillos de Tamaya, desde los puntos de vista administrativo, legal y técnico.

Cabe destacar que las principales fuentes de información corresponden a las prácticas profesionales realizadas por el Departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, las cuales fueron realizadas por estudiantes del departamento en el mes de febrero del 2022, donde de manera individual fueron asignadas dos estudiantes para cada uno de los APR's, e información proporcionada por los comités de agua potable durante el transcurso del presente estudio..

3.1 Información Básica

3.1.1 Datos Generales

La memoria consta del análisis y el estudio de dos sistemas de APR's ubicados en la comuna de Ovalle, IV Región de Coquimbo. El primero de ellos corresponde al APR Limarí, ubicado a aproximadamente 8 km al sureste de la ciudad de Ovalle, mientras que el segundo corresponde al APR Cerrillos de Tamaya, ubicada a aproximadamente 20 km de la ciudad de Ovalle. La distancia entre ambos APR's es de aproximadamente 13 km, donde de manera adicional, ambos están ubicados en la cuenca del río Limarí.

Figura 3-1. Ubicación Cerrillos de Tamaya y Limarí, en relación a la ciudad de Ovalle.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Características Climáticas

En la cuenca del Limarí se desarrollan principalmente tres tipos de climas, los cuales son los siguientes:

Semiárido con nublados abundantes:

Se desarrolla en toda la costa, llegando hasta 40 km al interior, a través de los valles transversales y quebradas. Se destaca por la abundante nubosidad, humedad, temperaturas moderadas, entre 5 y 12°C, y un promedio de precipitaciones de 130 mm anuales, presentando periodos secos de 8 a 9 meses.

Clima Semiárido templado con lluvias invernales

Se despliega en los valles del río Limarí, presentando un clima seco, donde la evaporación es superior a la precipitación, sin presencia de excedentes hídricos. Sus temperaturas medias anuales no superan los 18°C.

Clima Semiárido frío con lluvias invernales

Se localiza en la Cordillera de Los Andes sobre los 3.000 metros de altitud, presentando altas precipitaciones, escorrentías, temperaturas bajas y nieves permanentes, las cuales conforman un aporte de agua importante hacia el Sistema Limarí durante periodos estivales.

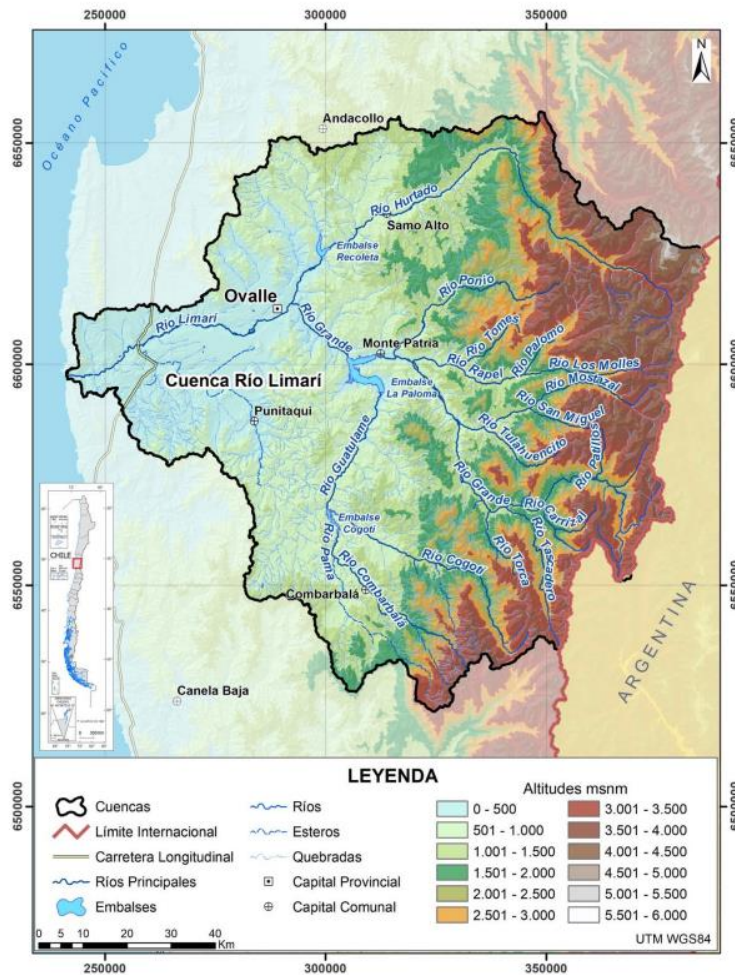
Las localidades de Cerrillos de Tamaya y Limarí poseen el clima identificado como Semiárido con nublados abundantes al ubicarse aproximadamente a 30 km y 40 km del océano Pacífico respectivamente.

3.1.3 Antecedentes hidrológicos de las fuentes

Los antecedentes de las fuentes de agua y su calidad se presentan a continuación.

El área de interés corresponde a la cuenca del Río Limarí, el cual comprende un gran sistema interconectado de ríos y acuíferos el cual se denomina "Sistema Limarí". La Figura 3-2 muestra dicho sistema, en el cual se despliegan sus principales aspectos geográficos, administrativos, geomorfológicos y redes fluviales.

Figura 3-2. Cuenca del Río Limarí



Fuente: Dirección General de Aguas (DGA)

El sistema completo se compone de cuatro partes principalmente: Alta Montaña, Media Montaña, Franja Litoral y el denominado Valles Fluviales transversales.

Para los efectos del presente estudio, la zona de interés se sitúa en esta última parte mencionada, correspondiente a los Valles Fluviales Transversales, ya que se desarrolla como producto de la actividad de las aguas corrientes, en áreas cuya altitud es inferior a los 300 msnm, debajo de las cuales se desarrollan los acuíferos productivos del sistema Limarí, por el establecimiento de secuencias sedimentarias permeables, a lo largo de la historia. Además, presentan un completo sistema de terrazas sedimentarias marinas, las cuales se correlacionan con los cambios del nivel del mar experimentados durante el Cuaternario.

La hidrogeología del área de estudio ocurre en la unidad litológica de sedimentos, que dan origen al relleno que almacena y transmite agua subterránea, es decir, el acuífero. En función de la heterogeneidad en permeabilidad que manifiestan los sedimentos, se distinguen tres unidades hidrogeológicas, las cuales según Ramos (2020), se describen como:

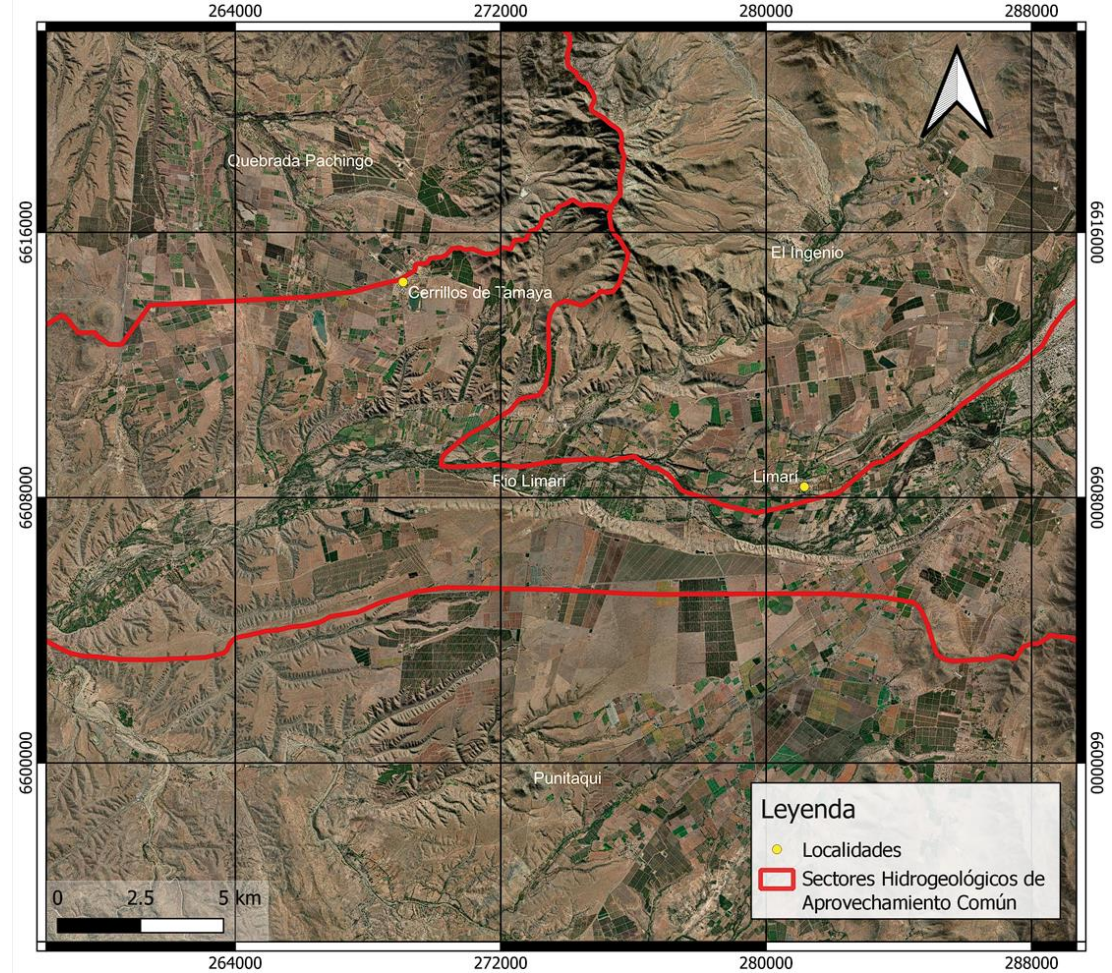
- a) Unidad Hidrogeológica de Alta Permeabilidad: Se presenta en rellenos sedimentarios no consolidados, en los depósitos fluviales a lo largo de los cauces actuales, en conos aluviales, coluviales y terrazas fluviales sub-actuales, todos en edad cuaternaria. Está compuesto principalmente por bolones, gravas, arenas y sedimentos finos en menor cantidad. El espesor de esta parte del acuífero oscila entre los 6 m y 30 m. Presenta características de acuífero libre asociado a los ríos Limarí, Grande, Cogotí y estero Punitaqui, con los cuales tiene una alta interacción. La baja compactación de sus sedimentos condiciona a altas conductividades hidráulicas, variando de 10×10^{-4} a 10×10^{-2} m/s, lo que se traduce en un alto potencial hidrogeológico. En el cauce del río Limarí presenta un nivel freático somero, que no desciende de los 5 m., en los conos aluviales y depósitos coluviales se presentan acuíferos libres, con niveles freáticos que varían entre 5 y 30 m. y que generalmente se encuentran conectados a acuíferos en roca.
- b) Unidad Hidrogeológica Semipermeable: Esta unidad se presenta en rellenos sedimentarios no consolidados, principalmente en los depósitos de terrazas aluviales, con edades entre el Mioceno y Holoceno (Cenozoico), debido a esto y a su compactación presentan una mayor cantidad de materiales finos, como mezclas de arenas, gravas y limos, con una cantidad variable de arcilla, donde esta combinación puede ser clasto o matriz soportada. El espesor de esta zona puede llegar hasta los 100 m. Presenta características de acuífero libre, no obstante, también se pueden encontrar algunos acuíferos cubiertos, semiconfinados y confinados. El coeficiente de permeabilidad varía dependiendo de la cantidad de sedimentos gruesos y finos presentes y en particular de la cantidad de arcilla, oscilando entre $10e^{-8}$ y $10e^{-4}$ m/s. El potencial hidrogeológico de esta unidad es moderado.
- c) Unidad Hidrogeológica de Permeabilidad Media: Esta unidad se presenta en roca, correspondiente al sector este de la cuenca, correspondiente la zona de Intrusivos Mesozoicos y de Rocas Metamórficas Paleozoicas. Corresponde a porciones de roca meteorizadas y/o fracturadas que almacenan agua en distintas proporciones.

Puede presentar una alta porosidad y permeabilidad primaria, pero no conforma un acuífero. No obstante, al encontrarse con porciones de roca meteorizadas y fracturadas pueden lograr almacenar distintos volúmenes de agua, por lo tanto, puede contener acuíferos de permeabilidad media a baja. Su extensión y profundidad no se conoce con exactitud debido al escaso número de pozos en esta zona. Sin embargo, los pozos presentes en estas zonas tienen un carácter de acuífero libre, con niveles freáticos que varían entre 3 m y 30 m, encontrándose en la parte superior del acuífero formaciones de depósitos coluviales que cubren la roca. Su potencial hidrogeológico se ha considerado en la práctica despreciable.

Las localidades de Limarí y Cerrillos de Tamaya se encuentran en la Unidad Hidrológica de Alta Permeabilidad, con un nivel estático entre los -2 a -5 m, con una intercalación de estratos acuíferos hasta los 35 a 50 m de profundidad. En mayores profundidades se ubican los estratos acuicludos que no permiten extracción de aguas subterráneas.

La Figura 3-3 muestra los Sectores Hidrológicos de Aprovechamiento Común (SHAC's) del sistema Limarí, donde en particular se observan 4 SHAC's alrededor de las localidades en estudio. Por su parte, el sector de Cerrillos de Tamaya está ubicado en el SHAC de Río Limarí, mientras que el sector de Limarí está ubicado en el SHAC de El Ingenio.

Figura 3-3. Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común, Ovalle



Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Régimen de Lluvias y revisión de nivel estático de las zonas de Limarí y Cerrillos de Tamaya

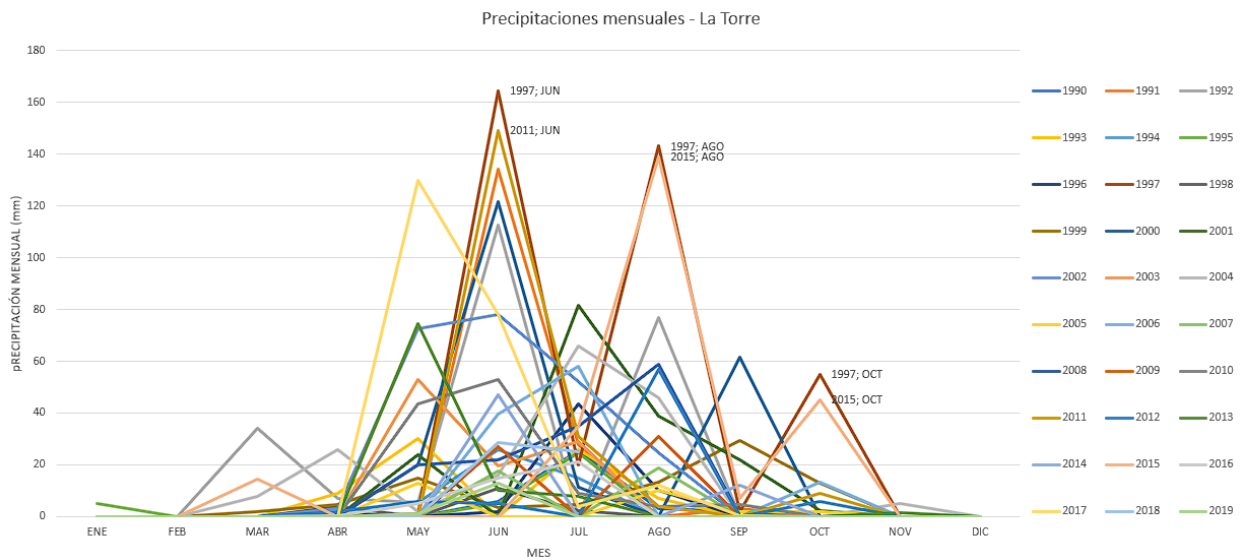
Para las precipitaciones de la zona, se toma en consideración la estación meteorológica cercana a ambas localidades, la cual corresponde a la estación La Torre, ubicada a aproximadamente 5,5 km de Cerrillos de Tamaya y a 8 km de Limarí, a continuación, se muestra la información de la estación y los datos obtenidos a partir de las mediciones.

Tabla 3-1. Información Estación Metereológica La Torre.

Estación Metereológica	Código BNA	Coordenada UTM Este	Coordenada UTM Norte
La Torre	04552002-1	273129	6610680

Fuente: Dirección General de Aguas (DGA).

Figura 3-4. Gráfico de precipitaciones periodo 1990-2019



Fuente: Elaboración propia.

A partir de la Figura 3-4, se observa que casi la totalidad de precipitaciones se concentra en los periodos de mayo-agosto, donde el particular se destaca la irregularidad en las lluvias, teniendo años particularmente húmedos como el 1997, donde las lluvias obtenidas en ese periodo provocaron grandes daños en la zona.

Para los efectos de la presente memoria, resulta de interés estudiar la variación de los niveles estáticos de los pozos más cercanos a cada localidad y relacionarlos con las precipitaciones mostradas anteriormente.

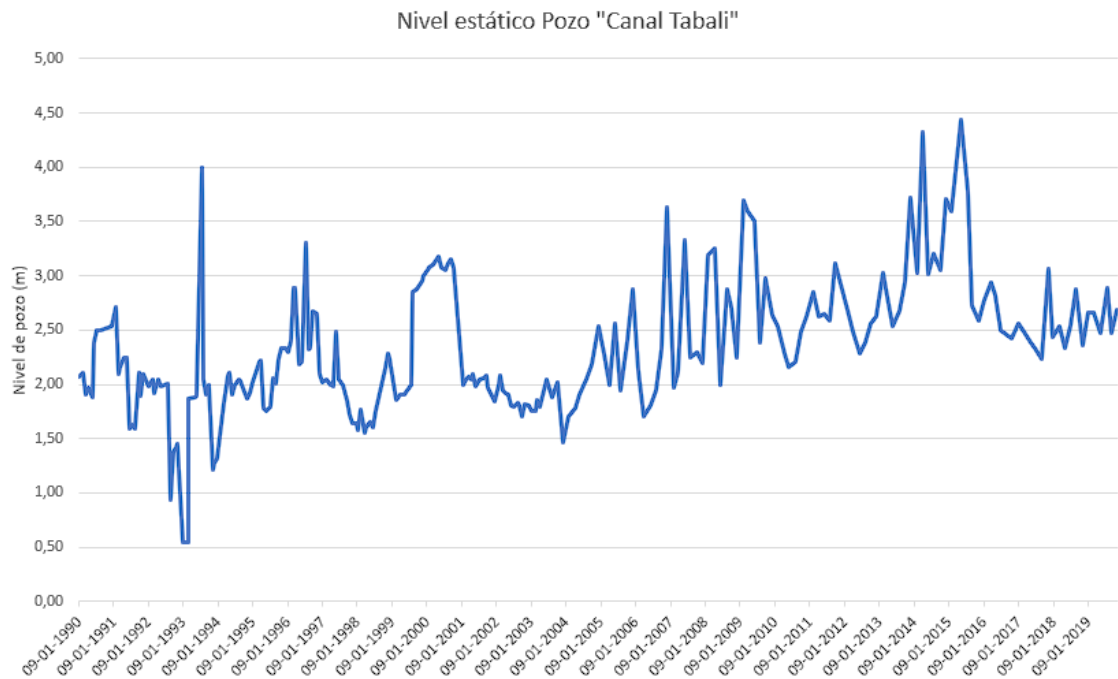
Para ellos, se cuentan con datos de los pozos de control más cercanos a las localidades correspondientes a “Canal Tabali”, ubicado a 6 km de Cerrillos de Tamaya y “Parcela 24 Limarí”, ubicado a 1 km del centro de Limarí.

Tabla 3-2. Información Pozos de medición DGA.

Pozo DGA	Código BNA	Coordenada UTM Este	Coordenada UTM Norte
Canal Tabali	04553008-6	267670	6608638
Parcela 24 Limarí	04550006-3	280126	6607761

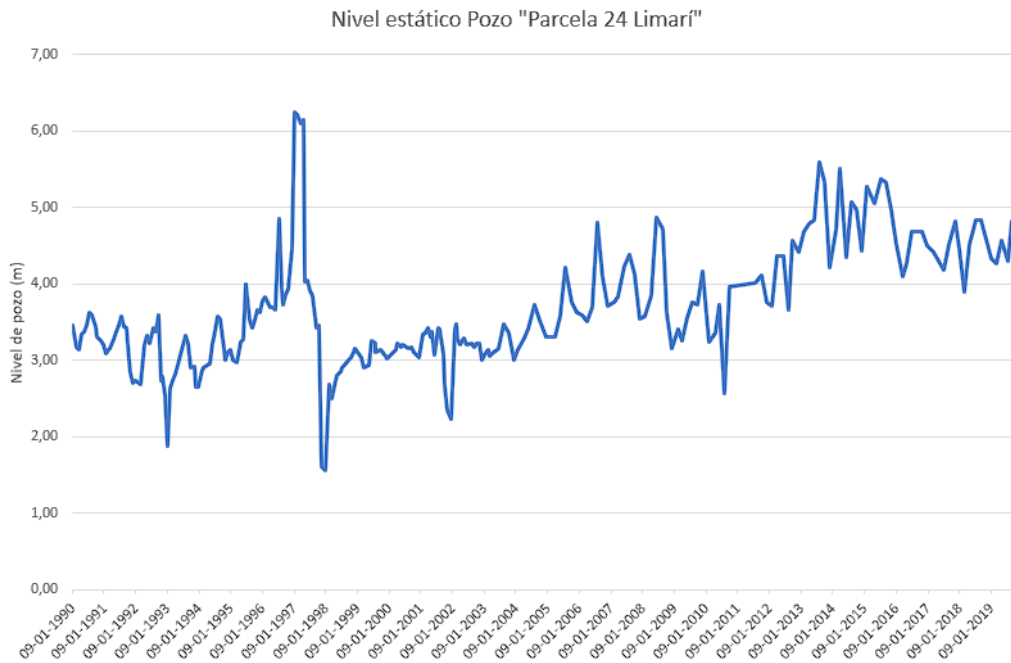
Fuente: Dirección General de Aguas (DGA).

Figura 3-5. Nivel estático de Pozo "Canal Tabali".



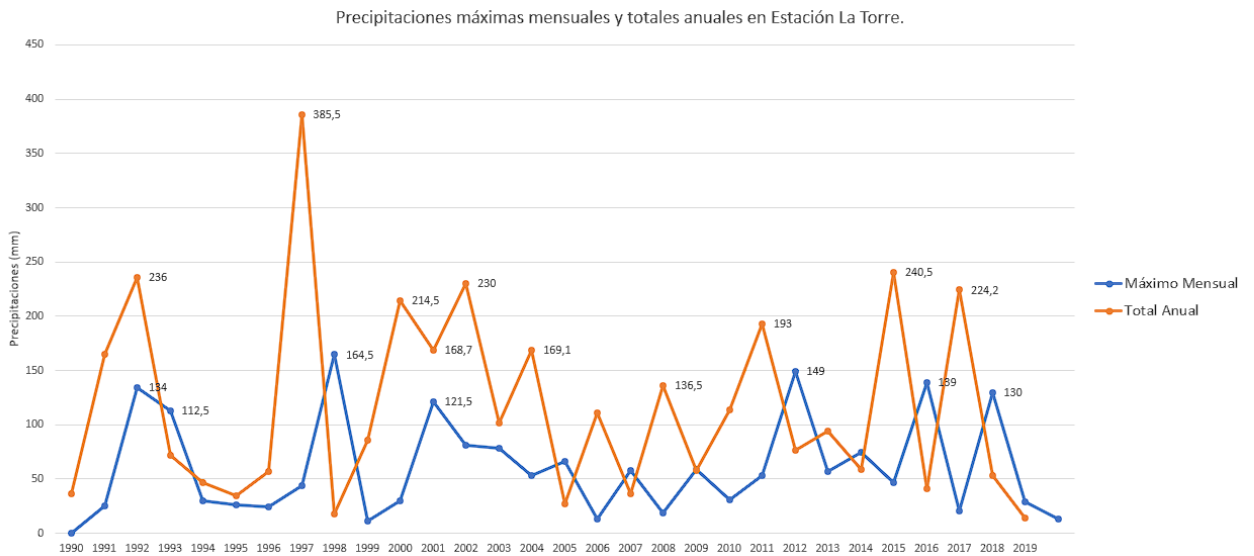
Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DGA.

Figura 3-6. Nivel estático de Pozo "Parcela 24 Limarí"



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DGA.

Figura 3-7. Precipitaciones máximas mensuales y totales anuales en Estación La Torre.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DGA.

A partir de los antecedentes mostrados en las Figura 3-5 y Figura 3-6, es posible ver la fluctuación que han tenido los pozos más cercanos a cada localidad, donde para el pozo de Canal Tabali indica un mínimo de 0,55 metros y un máximo de 4,44 metros,

mientras que para el pozo Parcela 24 Limarí, el mínimo es de 1,55 y un máximo de 6,55 metros. A partir de la comparación realizada a partir del nivel estático de ambos pozos y las precipitaciones mostradas en la Figura 3-7, es posible ver 2 escenarios distintos. En primer lugar para el pozo Parcela 24 Limarí, se tiene una tendencia que se recarga mediante las lluvias ocasionadas, esto se puede observar en mayor detalle entre los años 1997 y 1998, donde el nivel del pozo alcanza su mínimo en este periodo debido a las intensas lluvias del año 1997, sin embargo, este escenario no se observa en el pozo Canal Tabali, por lo que la napa subterránea de este sector no necesariamente se alimenta de las lluvias, por lo que se piensa que debe estar más influenciado por la actividad de regulación de los embalses aguas arriba de la zona.

3.2 Infraestructura Existente

3.2.1 APR Limarí

Como fue mencionado al comienzo, la información referente al APR Limarí fue recopilada y plasmada en un informe escrito por la alumna Alison Napurí, quien realizó su práctica profesional en el APR en febrero de 2022, la cual fue supervisada por el profesor e ingeniero civil Adolfo Ochoa Llangato.

El sistema de APR está organizado por la comunidad, la cual cuenta con una directiva de 6 cargos, entre los cuales se encuentran Presidente/a, Tesorero/a, Secretario/a, entre otro. Por otro lado, el personal que trabaja en el APR es compuesto por un total de 7 personas, donde entre ellos se encuentra un Secretario administrativo y 6 operadores.

A la fecha en la cual se realizó la recopilación de información, el APR Limarí posee un total de 706 arranques de agua potable, los cuales están repartidos en 3 sectores principales:

- Sector de Limarí, cuenta con 448 arranques.
- Sector de Las Vegas, cuenta con 97 arranques.
- Sector de Los Llanos, cuenta con 161 arranques

3.2.1.1 Fuentes de Abastecimiento

Actualmente el APR mantiene su funcionamiento a partir de la extracción de agua subterránea captada mediante tres pozos de bombeo. El primero de ellos está ubicado a aproximadamente 230 metros del Río Limarí y en la cota 150 m.s.n.m., en el cual a partir de pruebas de bombeo realizadas el año 2020 es capaz de entregar un caudal igual a 5

L/s, una profundidad de 18 metros, un nivel estático de 4,27 metros medidos desde el nivel de referencia de la línea de aire a 45 cm desde el nivel del suelo y tiene un diámetro de 10”.

El pozo 2 y 3 se ubican a aproximadamente 1.170 metros del Río Limarí y a 940 metros del pozo 1 descrito anteriormente. El pozo 2 se encuentra a una cota de 156 m.s.n.m., capaz de entregar un caudal de 5 L/s con una profundidad de 18 metros y un diámetro de 12”. El pozo es conocido como “pozo auxiliar” ya que el agua extraída de este es llevada hasta el pozo 3 para completar el caudal necesario que utiliza la bomba allí instalada.

El pozo 3 mantiene una cota de 156 m.s.n.m., cuyo caudal a extraer es el mayor de los 3 pozos, siendo capaz de entregar un caudal de 12.2 L/s, con una profundidad de 16 metros, un nivel estático de 4,6 metros y un diámetro 12”. El pozo es conocido como “pozo principal”, ya que el agua extraída de los otros dos pozos es dirigida hacia el pozo principal para su posterior desinfección e impulsión hacia los sistemas de almacenamiento. A continuación, se presenta una tabla resumen de la información dicha anteriormente junto con las coordenadas de su ubicación, sin embargo, cabe recalcar que el caudal descrito en el pozo 3 es debido a la recarga de los pozos 1 y 2, por lo cual para saber el caudal real que se puede extraer de cada una de las fuentes es necesario realizar pruebas de bombeo y así obtener el caudal disponible real total de las fuentes.

Tabla 3-3. Información de Fuentes de Abastecimiento

Pozo	Coordenada UTM Norte	Coordenada UTM Este	Cota (msnm)	Caudal (L/s)	Profundidad (m)	Nivel Estático (m)	Diámetro (pulg)
1	6.606.809	280.278	150	5	18	4.27	10”
2	6.607.683	280.648	156	5	18	-	12”
3	6.607.695	280.623	156	12.2	16	4.6	12”

Fuente: Alison Napurí, 2022

3.2.1.1.1 Pozo N°1

El terreno donde se emplaza el pozo tiene dimensiones de 10x11 m², donde se encuentra el pozo y un porta-tecle, el cual es utilizado para mantención y/o cambio de bomba. La bomba que opera el pozo está colocada a 15 metros de profundidad y fue instalada el 20

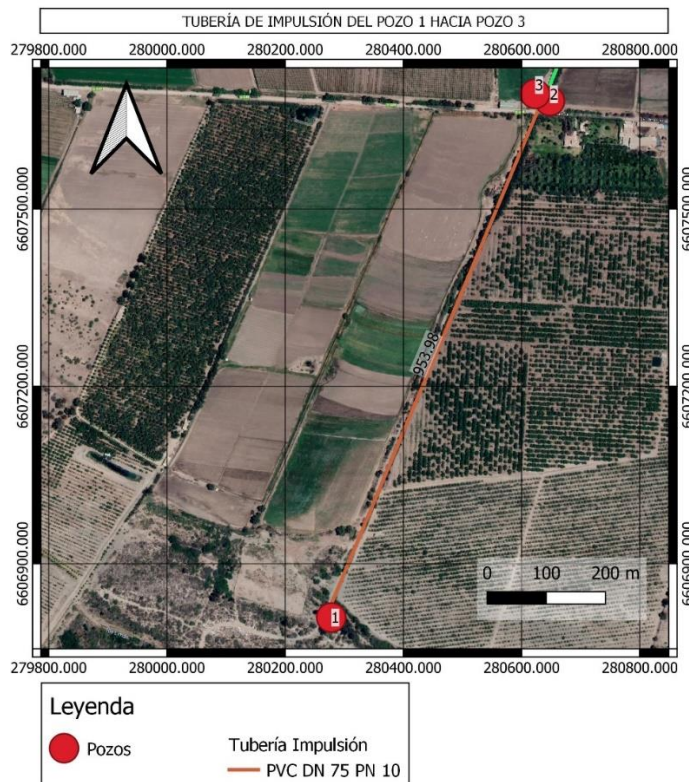
de agosto de 2020, la cual corresponde a una bomba marca Grundfos (modelo sin identificar) y mantiene su funcionamiento con un motor Franklin Electric con N° de serie: 220153 Bluffton Indiana 467147, modelo: 2367126020. La bomba Grundfos es una bomba trifásica con una potencia de 10 HP, 7,5 kW, 400 V, 50Hz, 14,2/16,2 Amp, 2875/3450 rpm, cos 0,86, de 13 etapas y con un caudal de extracción de 5 L/s; tiene una tubería de descarga de acero galvanizado de 4" de diámetro y en el pozo existe una línea de aire de PVC con diámetro 25 mm y 14 metros de profundidad, la cual es utilizada para medir los niveles que mantiene el pozo. También el recinto cuenta con un caudalímetro a la salida del pozo con un diámetro de 200 mm, el cual tiene un registro de caudal instantáneo, que se calcula en función de los relojes y un totalizado en m³ (Qn = 60m³/h, PN 16, ISO 4064, 40°C).

Al estar ubicado en las cercanías del Río Limarí, las aguas extraídas están influenciadas en gran medida por el agua del mismo río, el cual presenta una turbiedad y concentraciones altas de fierro, debido a esto se instaló un filtro floculador de marca Aguasin, el cual trabaja mediante medios filtrantes de arena y antracita, de operación manual, material seco y un diámetro de 1,5 metro, además este cuenta con un presostato el cual mide la presión en las tuberías provenientes del filtro.

El sistema cuenta con válvulas unidireccionales (PN 10, DN 100) para evitar que el flujo de agua se devuelva al pozo al momento de accionar una válvula de corte, válvulas de corte con especificaciones PN16 DN100 y PN 16 DN 80, y una válvula ventosa PN16 DN 80. Se tiene también dos despiches, los cuales son utilizados para realizar mantenciones, limpieza del filtro, pruebas de bombeo, etc. El pozo mantiene sus operaciones entre las 20:00 hrs y las 07:00 hrs de manera independiente, mientras que durante el día opera durante 30 min cada 20 min, alternándose con los pozos 2 y 3.

El sistema de impulsión cuenta con tuberías de acero de 4" que se encuentran superficialmente, las cuales se conectan de manera subterránea a las tuberías de PVC C-10 de diámetro 110 mm, las cuales impulsan el agua hasta el pozo 3.

Figura 3-8. Impulsión desde el Pozo 1 hacia Pozo 3



Fuente: Alison Napurí, 2022

3.2.1.1.2 Pozo N°2

El terreno donde se emplaza el Pozo N°2 tiene unas dimensiones de 12x6 m², donde al igual que en el pozo N°1 cuenta con un porta-tecle, sin embargo, adicional a esto, el sitio cuenta con una caseta de cloración en desuso. La bomba del pozo es marca Grundfos (modelo desconocido) y extrae un caudal de 5 L/s; el motor con el que funciona es un Franklin, modelo: 2367128120 trifásico, cuya potencia es de 10 HP, 7,5kW, 60/50 Hz, 460/380-415 V, 2850/3450 rpm de 6". La bomba tiene una tubería de descarga de acero galvanizado de 2" de diámetro y 14 metros de profundidad. La salida del pozo cuenta con una válvula de corte DN50 PN16. El funcionamiento del pozo es de 7:00 hrs a 20:00 hrs, operando cada 30 minutos durante 20 minutos junto al pozo N°3.

Antiguamente, el agua extraída del pozo N°2 se cloraba en la caseta actualmente en desuso, para luego ser impulsada directamente hasta los estanques, sin embargo, debido a que el pozo 3 no tiene suficiente caudal para abastecer la bomba instalada en dicho

pozo, el agua extraída de este pozo es enviada hacia el pozo N° 3 mediante una conexión subterránea con una manguera corrugada de plástico.

La caseta cuenta con un tablero eléctrico que conecta bombas de motor trifásico y monofásico de baja tensión, este tablero eléctrico se opera desde el tablero principal del pozo N°3 mediante un injerto eléctrico.

3.2.1.1.3 Pozo N°3

El terreno donde se emplaza el pozo N°3 tiene dimensiones de 10x12 m², donde en su interior se encuentra el porta-tecle correspondiente, un generador de energía marca Vielco con potencia de 100 kVA (N° serie: 220301, N° serie motor: 1654602, tensión nominal de 400V, frecuencia nominal: 50 Hz, factor de potencia de 0.8, velocidad: 1500rpm) el cual es utilizado en caso de fallas de la red eléctrica o también para operar en horario de invierno, puesto que está prohibido utilizar la red eléctrica en el horario punta; también se encuentra un transformador que entrega energía de 30 kVA, una caseta de equipos eléctrico y una caseta de cloración. La bomba instalada en el pozo es una Grundfos modelo SP46-9, de 9 etapas, salida de bomba RP-3, con diámetro del motor de 6", Q_{max}=46 m³/h H_{max}=78 metros, cuyo funcionamiento es a partir de un motor Grundfos MS6000, de potencia nominal 15 kW, 50/60 SD, 15 A, 3x380-400-415 V, 50Hz y entrega un caudal de 12,2 L/s. La bomba tiene una tubería de descarga de acero galvanizado de 4" de diámetro, junto con una línea de aire de PVC de diámetro 25 mm. El caudal que puede entregar el pozo N°3 es desconocido, puesto que no se cuentan con pruebas de bombeo, sin embargo, con las recargas del pozo N°1 y N°2 se logra llegar a los 12,2L/s.

A la salida del pozo se cuenta con una válvula unidireccional DN100 PN10, la cual evita que el agua regrese al pozo, además de válvulas de corte DN100 y DN80 ambas con PN16, una válvula de ventosa (propiedades desconocidas debido al óxido), y también cuenta con un despiche, el cual sirve para evacuar el agua que queda al interior de la tubería una vez accionadas las válvulas de corte.

En la caseta de equipos eléctricos se encuentra un caudalímetro Sensus (Q_n= 90 m³/h, PN16, 50°C), tres presostatos (marca Veto y Danfoss) y un manómetro que indica la presión con que va el agua hacia los estanques y la señal que manda de estanque lleno, y una bomba dosificadora marca EMEC modelo AMS PLUS, cuya placa con

características no se pudo obtener. La bomba dosificadora está configurada con una regulación de la señal de inyección en 49%, una regulación de la frecuencia en 45% y una regulación del factor de divisor multiplicador en 4.8 aproximadamente. La preparación de la mezcla que se utiliza para clorar el agua se realiza en tanques de 100 litros de agua, en el cual se agrega una cantidad de 1,2 kg de hipoclorito de calcio al 70%, esta preparación se realiza 24 horas antes en la caseta de cloración correspondiente, ubicada al costado de la caseta de equipos eléctricos.

Dentro de la caseta de equipos eléctricos también se encuentran los tableros eléctricos de alimentación trifásica de baja tensión para operar el pozo N°1 (manual/automático), el tablero de baja tensión para operar la bomba del pozo N°2 en red trifásica (manual/automático), el tablero partidor suave de 15 HP para la bomba del pozo N°3, el variador de frecuencia del pozo N° 1 para el sistema de partida automática o manual y el shopper/resistencia de frenado.

El variador de frecuencia ubicado en el recinto de equipos eléctricos es de la marca Schneider, sin embargo, tiene complicaciones con las tensiones cuando la red tiene mala calidad de suministro, ya que estos variadores de frecuencia tienen baja tolerancia a las fluctuaciones de la red.

A la salida de la caseta, una vez clorada el agua y lista para ser impulsada hacia los estanques, hay una válvula de corte DN100 PN16, la cual se acciona si se requiere cortar el suministro agua. Las tuberías al comienzo de la impulsión son de acero galvanizado de 4" de diámetro, las cuales luego pasan a ser de PVC de diámetro 110 mm, las cuales son encargadas de llevar el agua hacia los estanques.

Figura 3-9. Impulsión desde pozo N°3 a los Estanques



Fuente: Alison Napurí, 2022

3.2.1.2 Sistemas de Almacenamiento

Los sistemas de almacenamiento al interior de todo el APR pueden ser divididos en tres sectores principalmente, los cuales funcionan distribuyendo agua individualmente al sector correspondiente.

3.2.1.2.1 Sector Limarí

El primero de ellos corresponde al almacenamiento ubicado en el sector de Limarí, el cual corresponde al almacenamiento principal, puesto que a los estanques ubicados aquí llega toda el agua impulsada desde el pozo N°3 mediante tuberías de PVC C-10 y 110 mm de diámetro. El agua llevada hasta aquí se distribuye en todo el sector de Limarí y también es llevada hasta las plantas relevadores de los otros dos sectores, correspondientes a

los sectores de Los Llanos y Las Vegas. A continuación, se presentan las características de los dos estanques ubicados en el sector de Limarí.

Tabla 3-4. Sistema de Almacenamiento - Limarí

Estanque	Coordenada UTM Este	Coordenada UTM Norte	Materialidad	Cota de Terreno (msnm)	Elevación (m)	Volumen (m ³)
1	281.140	6.608.288	Metálico	171	20	50
2	281.133	6.608.237	Metálico	171	20	50

Fuente: Elaboración propia.

Los estanques están ubicados físicamente en la plaza de Limarí, en recintos cerrados donde se encuentra toda la indumentaria necesaria para la impulsión y posterior distribución. Las tuberías superficiales al interior del recinto son de acero galvanizado de 4" de diámetro, también se encuentran las válvulas de corte, una válvula de flotador la cual se acciona al momento de que el estanque se llena (marca DOROT, modelo 47 3" 32 2/402292, PN16, 230 psi), una válvula unidireccional, un caudalímetro el cual se encuentra inoperativo, la salida de aire y el despiche correspondiente. Desde el estanque las tuberías que salen para la distribución del sector corresponden a tuberías de PVC C-10 de diámetro 75 mm.

3.2.1.2.2 Sector Los Llanos

El segundo sistema de almacenamiento corresponde a los estanques ubicados en el sector de Los Llanos, la cual es impulsada a partir de la planta relevadora de Los Llanos, cuyo sistema corresponde a dos estanques semienterrados de hormigón con un volumen de 20 m³ de capacidad. Al llegar las tuberías de impulsión a los estanques, se tiene una cámara de válvulas donde están ubicadas las válvulas de corte, válvula ventosa, línea de aire, caudalímetro, válvula de corte de flotador y el despiche correspondiente. El funcionamiento de los estanques es de tal modo que, una vez que se llena el primer estanque, comienza a operar el almacenamiento del segundo estanque gracias a la válvula de flotador. El agua de los estanques es distribuida al sector respectivo mediante tuberías de PVC de diámetros 63 y 75 mm.

Tabla 3-5. Sistema de Almacenamiento - Los Llanos

Estanque	Coordenada UTM Este	Coordenada UTM Norte	Materialidad	Cota de Terreno (msnm)	Volumen (m ³)
1	282.403	6.613.072	Hormigón	347	50
2	282.407	6.613.068	Hormigón	347	50

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2.3 Sector Las Vegas

Finalmente, el último sistema de almacenamiento en el APR corresponde al ubicado en el sector de Las Vegas, el cual contiene un estanque metálico elevado a una altura de 15 metros, cuyo volumen total es de 25 m³. El agua es llevada hasta aquí a partir de la planta relevadora de Las Vegas, donde al igual que la planta relevadora de Los Llanos, es alimentada a partir de la red de distribución de Limarí. A la salida de los estanques se encuentran las tuberías de distribución, cuya materialidad corresponde a PVC de 63 mm de diámetro.

3.2.1.3 Plantas Relevadoras

3.2.1.3.1 Las Vegas

El recinto en el cual se encuentra la planta relevadora de Las Vegas tiene un área de 35 m² (7x5 metros), ubicada en las coordenadas UTM 281.800 Este, 6.608.666 Norte. Al interior del recinto se encuentra el panel eléctrico de baja tensión que controla la bomba, además de un pozo ciego de 3 metros de profundidad y un diámetro de 0,6 metros aproximadamente. La bomba de impulsión a los estanques corresponde a una Pedrollo 4SR4/26 (Qn=20-100 L/min, H=43-159 m, 3 HP, 50 Hz, 2,2 kW) con un motor Pedrollo 4PDm/3 (monofásico, 3 HP, 2,2 kW, 2820 rpm), además a la salida del pozo ciego se tienen válvulas ventosas marca AQUA, un presostato, un manómetro, un caudalímetro (Qn= 15 m³/h, PN=16 bar, 40°C, ISO 4064), válvula unidireccional (PN16) y una válvula de corte por si se desea cerrar la tubería de impulsión hacia los estanques de Las Vegas. Además, se tiene una válvula de corte en la tubería de la red de distribución que llega desde los estanques de Limarí, la cual es utilizada para cortar el paso del agua hacia el pozo ciego. El funcionamiento de la planta relevadora es desde las 02:00 hrs hasta las 19:00 hrs, y la tubería encargada de impulsar el agua hasta el estanque de Las Vegas corresponde a PVC C-10 de diámetro 63 mm.

3.2.1.3.2 Los Llanos

La planta relevadora de Los Llanos se encuentra emplazada en un recinto de 189 m² (21x9 metros), ubicado en las coordenadas UTM 281.526 Este, 6.609.440 Norte. Al interior del recinto está el generador de energía marca Kooper de 40 kVA de potencia (modelo GF3-40, frecuencia nominal: 50 Hz, voltaje nominal: 380/220 V, corriente nominal: 60.8/10.5 A, velocidad nominal: 1500 rpm, factor de potencia: 0.8), además se tiene un tablero eléctrico de baja tensión, un dosificador de cloro marca EMEC (código: TCL20005A0000B00A000, descripción: POMPA TCL 2005 PMMA+FP 230 VAC, 230 VAC, 50-60 Hz, 0.11 A, 2000 kPa-20 bar-290 psi, 5l/h), válvulas de corte, válvulas ventosas, válvulas unidireccionales, caudalímetros, manómetro y presostato.

La planta trabaja con un sistema 1+1, el cual cuenta con una bomba superficial y una bomba sumergida en un pozo ciego, cuya profundidad es de 3 metros y su diámetro de aproximadamente 60 cm. El pozo ciego es abastecido por una sentina de 4 m³ de volumen, la cual es llenada de agua por la red de distribución que llega desde los estanques de Limarí.

La sentina tiene dos salidas, la primera está conectada con la bomba superficial, mientras que la segunda está conectada a la bomba sumergida. La primera corresponde a una tubería de acero galvanizado de 3" de diámetro, la cual está conectada a una bomba marca KSB modelo Movitec LHS6-16 con un motor IE3 (Q=6.5 m³/h, H=258.2 m, velocidad= 2850 rpm, potencia asignada 11kW, frecuencia 50 Hz, 24.1 A, PN 40 a 120°C). Entre la bomba superficial y la sentina se ubica el caudalímetro (Qn=40 m³/h, PN=16 bar, 40°C, ISO 4064), al igual que una reducción del diámetro de la tubería que pasa de 3" a 1 ¼ " de diámetro para la entrada a la bomba superficial. A la salida de la bomba superficial se encuentra una válvula de corte DN80 PN16, una válvula mariposa (DN3" PN 300LB, 50 bar), una válvula ventosa DN50, y una válvula unidireccional.

La segunda salida de la sentina lleva al pozo ciego, donde se encuentra instalada la bomba sumergible marca Grundfos modelo SP9-40 (Q= 9m³/h, H= 212 m, 40 etapas, velocidad 2900 rpm, Rp2, potencia 7.5 kW). A la salida de la bomba se encuentra una tubería de acero galvanizado de 3" de diámetro, una válvula de corte (DN50 PN16), válvula ventosa (DN50 PN16), válvula unidireccional, válvula mariposa y caudalímetro (Qn= 50 m³/h, 20bar), además se tiene un despiche para evacuar el agua en caso de cerrar las válvulas.

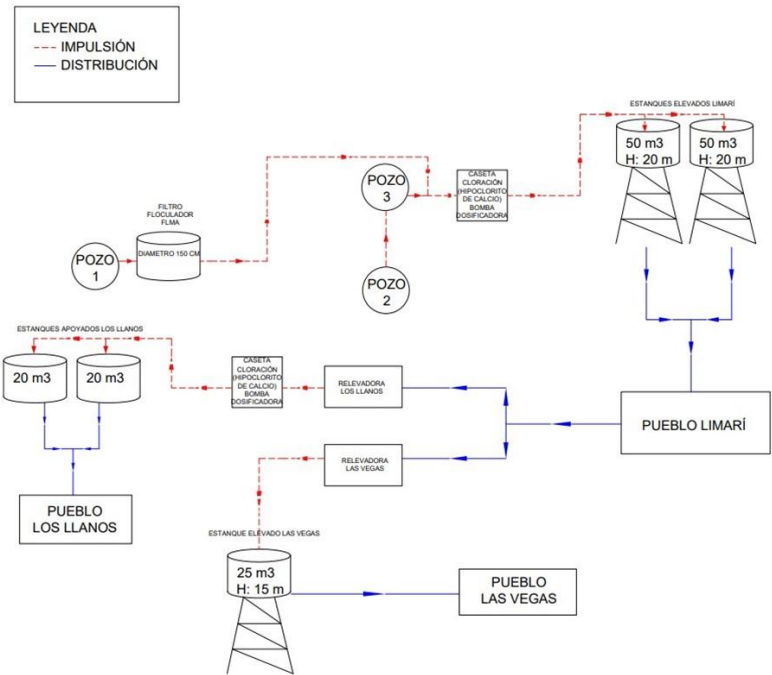
Ambas tuberías se unen mediante una Tee, donde se tiene el presostato y manómetro, además se vuelve a clorar el agua con hipoclorito de calcio (1,2 kg de hipoclorito de calcio por cada 100 litros de agua) con ayuda de la bomba dosificadora, la cual está graduada en 10% en la manopla de regulación de capacidad. Una vez clorada el agua, es impulsada a los estanques de Los Llanos mediante tuberías de acero galvanizado de diámetro 3" en su primer tramo, para luego pasar a tuberías de PVC C-10 DN75.

Finalmente, la planta actualmente opera desde las 04:00 hrs hasta las 17:00 hrs, sin embargo, esta debería de empezar a operar desde las 00:00 hrs, pero esto no sucede debido a problemas por el reloj.

3.2.1.4 Layout del Sistema

Con la información descrita en las secciones anteriores, es posible realizar un layout del funcionamiento que tiene el sistema APR Limarí, de tal manera que se pueda entender de manera más simple el funcionamiento del mismo. A continuación, se presenta la imagen que representa el sistema.

Figura 3-10. Layout del Sistema APR Limarí



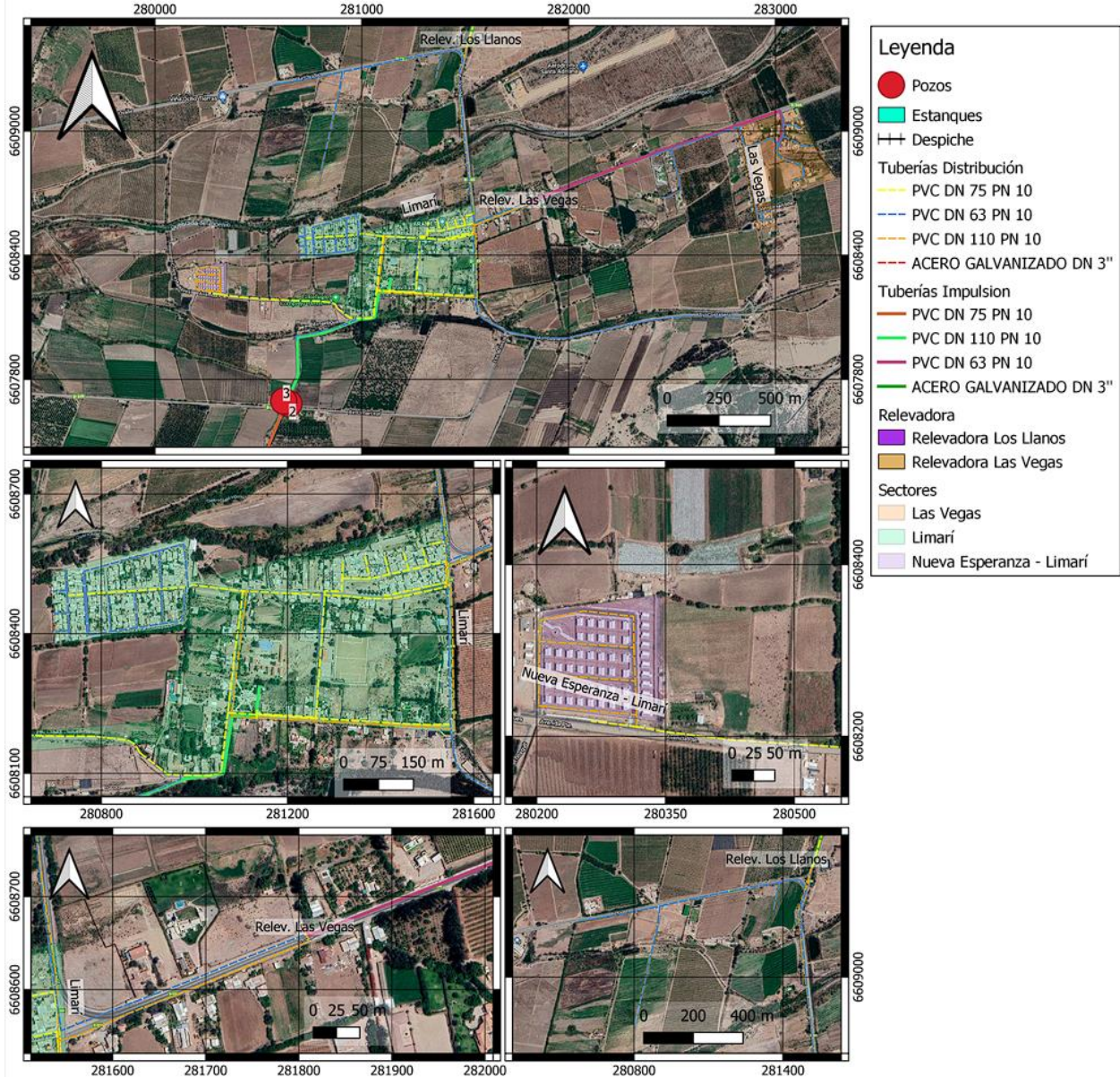
Fuente: Alison Napurí, 2022

3.2.1.5 Redes de Distribución

Las redes de distribución ubicadas a lo largo de todo el emplazamiento del APR Limarí son en su mayoría de PVC C-10, donde en particular los diámetros en los que se encuentran van desde los 63 mm hasta los 110 mm. El APR Limarí puede ser separado en 3 sectores de redes de distribución totalmente individuales, puesto que cuentan con sus propios sistemas de almacenamiento, quedando así los sectores de Limarí, Los Llanos y Las Vegas. Para definir el trazado de la red de distribución que sale desde los estanques, se realizaron durante los meses de noviembre y diciembre del 2022 visitas a terreno, en las cuales se fueron obteniendo puntos de GPS de todas las singularidades superficiales para definir el trazado, esto fue realizado por el profesor a cargo Adolfo Ochoa Llangato, con el apoyo del operador Sr. Jorge Cortés, quien aportó todo su conocimiento y experiencia sobre el trazado de las redes. A partir de este trabajo realizado en terreno, se tienen un total de 172 puntos de GPS indicando sus coordenadas correspondientes, su cota, y la característica del punto, ya sea el final del trazado, una válvula de corte, una válvula de ventosa, un despiche, entre otros.

Para el primero de los sectores, correspondiente a Limarí, se encuentran los 448 arranques de agua potable que fueron mencionados anteriormente, donde la red en particular contiene los 3 diámetros especificados en el párrafo anterior, 63 mm, 75 mm y 110 mm. En cuanto a la impulsión, esta corresponde a una tubería de PVC de 110 mm que va desde el Pozo N°3 descrito en la sección 3.2.1.1, hasta los estanques de Limarí descritos en 3.2.1.2. Además de abastecer a los arranques pertenecientes al sector, esta red de distribución también alimenta a los pozos ciegos y/o sentinas que utilizan las plantas relevadoras de los sectores restantes, tanto para el sector de Los Llanos, como para el sector de Las Vegas. A continuación, se presenta el trazado de la red de distribución perteneciente al primer sector de Limarí.

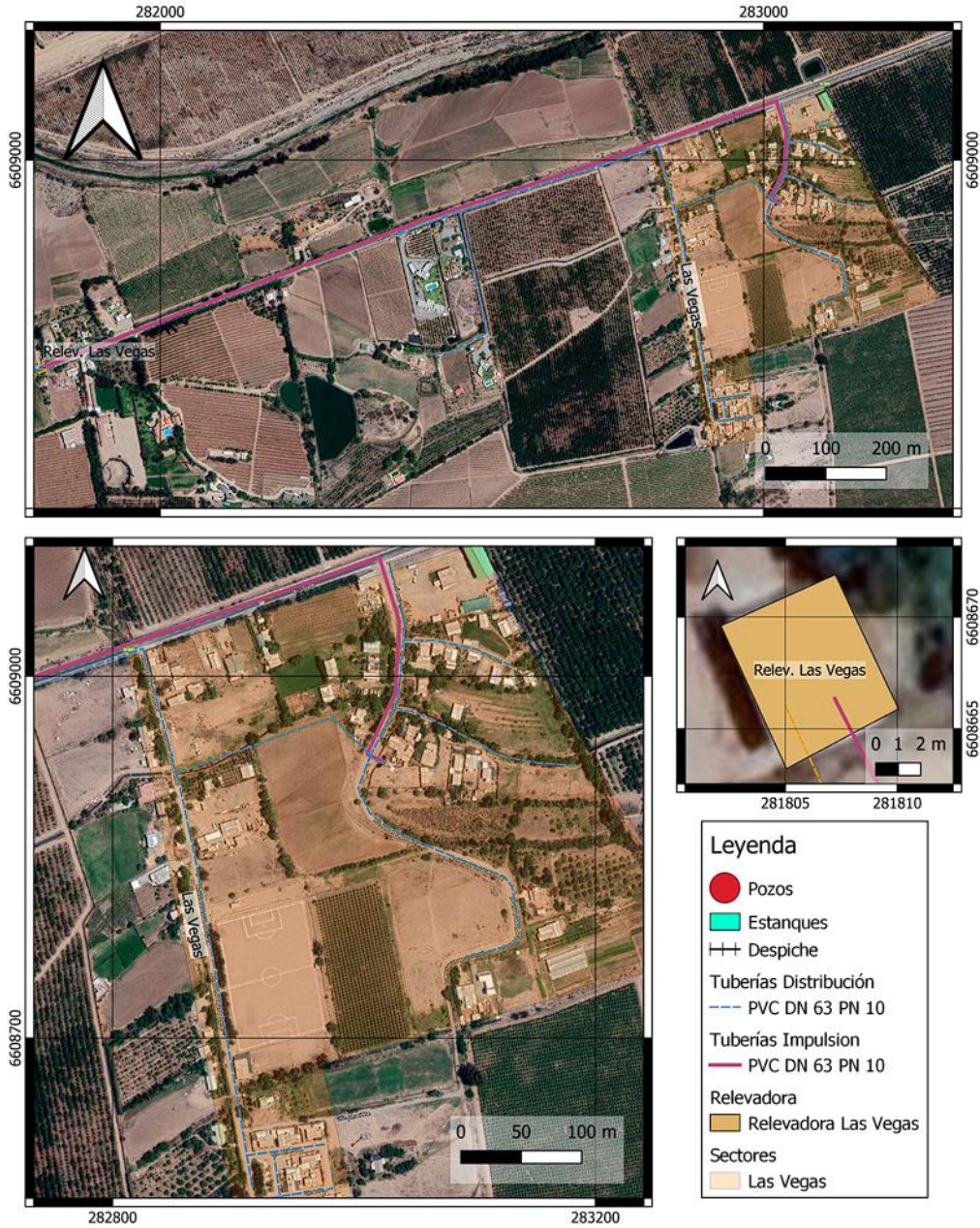
Figura 3-11. Red de Distribución – Sector Limarí



Fuente: Elaboración propia, 2023

Para el segundo sector, se tiene Las Vegas, el cual en su totalidad tiene tuberías de PVC C-10 con un diámetro de 63 mm, tanto para la distribución como para la impulsión desde la planta relevadora.

Figura 3-12. Red de Distribución – Sector Las Vegas

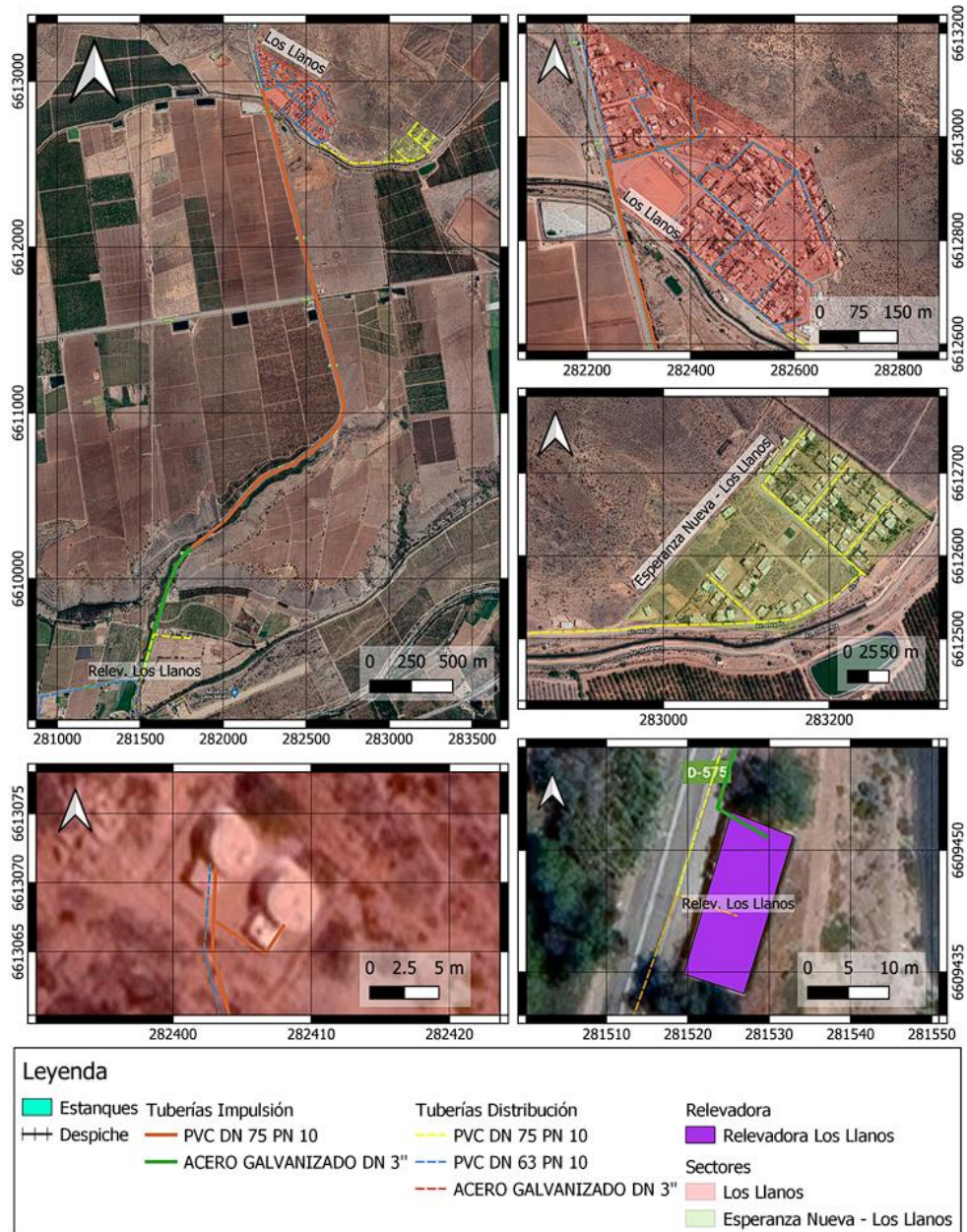


Fuente: Elaboración propia, 2023

Finalmente, para el último de los sectores se tiene Los Llanos, el cual está ubicado al norte de los sectores antes descritos. Para la impulsión de Los Llanos se tienen tuberías de Acero galvanizado con diámetro de 3" al comienzo, para luego pasar a tuberías de

PVC C-10 con un diámetro de 75 mm hasta llegar a los estanques. En cuanto a la red de distribución se tienen tuberías solamente de diámetros 63 mm y 75 mm.

Figura 3-13. Red de Distribución – Sector Los Llanos



Fuente: Elaboración propia, 2023

3.2.2 APR Cerrillos de Tamaya

Como fue mencionado al comienzo, la información referente al APR Cerrillos de Tamaya fue recopilada y plasmada en un informe de la alumna Francisca Rosales, quien realizó su práctica profesional en el APR en febrero de 2022, la cual fue supervisada por el profesor e ingeniero civil Adolfo Ochoa Llangato.

El sistema de APR está organizado por la comunidad como un Comité de Agua Potable Rural, el cual fue creado el año 1994 como respuesta a la necesidad de la comunidad de organizarse para poder acceder al agua potable. Este comité está compuesto por una directiva (Presidente/a, tesorero/a y secretario/a), trabajadores (4 operadores y 2 secretarías administrativas) y los socios. El APR además de abastecer la comuna de Cerrillos de Tamaya, también abastece varios sectores alrededor de la comuna, siendo uno de los APR's más grandes de la Región de Coquimbo.

A la fecha en la cual se realizó la recopilación de información, el APR Cerrillos de Tamaya posee 1.041 arranques lo cuales están repartidos en 5 sectores principales:

- Cerrillos de Tamaya, cuenta con 630 arranques.
- Los Olivos, cuenta con 142 arranques.
- El Siete, cuenta con 25 arranques.
- Santa Cristina, cuenta con 143 arranques.
- Quebrada Seca, cuenta con 101 arranques.

El APR cuenta con un proyecto de mejoramiento cuyo diseño fue realizado el año 2016, denominado "Mejoramiento Sistema APR Cerrillos de Tamaya, Comuna de Ovalle, Provincia Limarí", cuya construcción fue llevada a cabo entre las fechas 25 de Abril de 2018 y 24 de Diciembre del 2019, cuya inversión fue de la suma de \$1.358.544.423, financiado por el Programa Nacional de APR – MOP.

Los objetivos principales del proyecto de mejoramiento fueron los siguientes:

- Ampliar la capacidad de abastecimiento del sistema de agua potable rural de Cerrillos de Tamaya, permitiendo mejorar la calidad de vida de los habitantes a través de dos nuevos estanques, uno semienterrado con capacidad de 200 m³ y otro estanque elevado de 20 m³.

- Aumentar la capacidad de producción de agua del sistema cambiando las bombas existentes por bombas de mayor caudal, renovar toda la red de impulsión por una tubería de mayor diámetro, construcción de un nuevo estanque semienterrado de 20 m³ y la construcción de una nueva planta de osmosis.
- Extender la red de distribución hacia el sector de El Siete generando nuevas conexiones de arranques para los habitantes que no cuentan con abastecimiento del sistema y renovación de redes de distribución en diversas partes dentro del sector de Cerrillos de Tamaya.

Se realizó la solicitud de la documentación (ver Anexo A) relacionada al diseño del mejoramiento por Ley de Transparencia a la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), con el fin de obtener el detalle del APR y poder realizar el análisis correspondiente, sin embargo, la respuesta deriva a comunicación con el profesional de la Subdirección Región Sr. Jaime Henríquez, puesto que el financiamiento del diseño fue a manos del Comité de Agua Potable Rural de Cerrillos de Tamaya, a lo cual no se recibió respuesta alguna.

3.2.2.1 Fuentes de Abastecimiento

Actualmente el APR mantiene su funcionamiento a partir de la extracción de agua subterránea captada mediante dos pozos de bombeo, los cuales se encuentran ubicados a aproximadamente 800 metros de las plantas de tratamiento en el sector de La Sossa. El funcionamiento de estos pozos es de manera alternada, mediante señales provenientes de las plantas de osmosis inversa. A continuación, se presenta la información de los pozos mencionados.

Tabla 3-6. Información Fuentes de Abastecimiento.

Coordenadas UTM	Pozo N°1		Pozo N°2	
	UTM Norte	UTM Este	UTM Norte	UTM Este
	6.609.591	268.691	6.609.623	268.688
Año Construcción	1994		2013	
Operando desde	1995		2015	
Conectado a	PTOI N°2		PTOI N°2	
Diámetro (pulg)	10		10	
Profundidad (m)	30		44	
Sellado (m)	20		-	
Prueba de Bombeo	Si		Si	

	Pozo N°1	Pozo N°2
Rendimiento Máximo (L/s)	15,5	17
Derechos de Aguas (L/s)	3,8	4
Caudal de bombeo (L/s)	12	12

Fuente: Francisca Rosales, 2022

Los derechos de aprovechamiento de aguas que posee el APR corresponden a un total de 7,8 L/s, los cuales se reparten entre los dos pozos con los valores observados en la Tabla 3-6. Sin embargo, a la fecha, se extraen aproximadamente 12 L/s de ambos pozos, siendo el Pozo N°2 el más utilizado de ambos.

La extracción de agua de los pozos mencionados se realiza a través de bombas sumergibles, las cuales fueron renovadas recientemente por el APR. A continuación, se presentan las características de cada una de las bombas y sus respectivos motores.

Tabla 3-7. Información Bombas y Motor.

Bomba Sumergible	Pozo N°1	Pozo N°2
Año Instalación	2022	2022
Marca	KSB	KSB
Modelo	Upachrom 150 CC 30/12	Upachrom 150 CC 48/12
Caudal máximo (L/min)	460	650
Catálogo	Si	Si
Motor Bomba		
Modelo	UMA 150E 13/21	UMA 150E 18/21
Potencia (kW)	12,5	18,5
Tensión (V)	380	380
Frecuencia (Hz)	50	50

Fuente: Francisca Rosales, 2022

El monitoreo y control de ambos pozos se ubica en el lugar físico del Pozo N°1, el cual cuenta con una caseta que en su interior tiene dos tableros eléctricos, el primero corresponde al tablero antiguo el cual solamente monitoreaba el pozo N°1, y el tablero N°2 puede monitorear ambos pozos, por lo cual es el único que actualmente se utiliza.

El tablero utilizado permite observar detalles como el caudal extraído y el nivel de agua de los pozos, donde cuya tecnología permite visualizar esta información desde cualquier

equipo electrónico, ya sean celulares, tabletas, computadores, etc. Al interior de la caseta de control y monitoreo, se tienen dos válvulas de corte tipo compuerta y un caudalímetro.

En particular, el Pozo N°1 cuenca con una válvula ventosa, un presostato, 3 válvulas de corte tipo compuerta, un caudalímetro y un portatecle. Mientras que el Pozo N°2, posee una válvula ventosa un presostato, 2 válvulas de corte tipo compuerta, un caudalímetro y un portatecle.

3.2.2.2 Tratamiento de aguas e Impulsión

El tratamiento para potabilizar el agua captada mediante la extracción subterránea de pozos se realiza a partir de Plantas de Osmosis Inversa, en particular, el APR cuenta con un total de 2 plantas de tratamiento de agua potable, una de ellas se encuentra en funcionamiento desde el año 2004, mientras que la segunda desde el año 2020.

La primera de las plantas trata todas las aguas captadas desde el pozo N°2, ubicada a aproximadamente 800 metros de los Pozos de captación, por otro lado, la segunda planta se encuentra conectada al Pozo N°1, siendo esta segunda una planta de menor capacidad de producción, siendo utilizada solamente cuando el consumo de agua es tal que el agua de los sistemas de almacenamiento sea insuficiente. Ambas plantas tienen como función bajar los niveles de los parámetros al interior del agua cruda que se encuentren por sobre los valores normados en la NCh 409 – Agua Potable.

Luego de procesada el agua mediante el tratamiento de las plantas de osmosis inversa, estas aguas tratadas son almacenadas en estanques de almacenamiento, los cuales están posteriormente conectadas a la Planta elevadora de agua potable para su impulsión a los sistemas de almacenamiento de distribución. Estos estanques corresponden a un total de 2 unidades, donde el estanque más antiguo (Estanque N°1) se encuentra conectado a la planta de osmosis N°1 (Planta año 2004), siendo un estanque de hormigón con un volumen de 20 m³, mientras que el segundo estanque se encuentra conectado a la segunda planta de osmosis, siendo de la misma materialidad y volumen del estanque anterior. A continuación, se presenta la información de cada uno de los estanques.

Tabla 3-8. Información Estanques de Agua Tratada

Coordenadas UTM	Estanque N°1		Estanque N°2	
	UTM Norte	UTM Este	UTM Norte	UTM Este
	6.610.401	268.785	6.610.407	268.784
Alimentado por	PTOI Antigua		PTOI Nueva	
Volumen (m ³)	20		20	
Materialidad	Hormigón		Hormigón	
Inicio operación	2003		2020	
Cota (msnm)	97		98	
Tipo Monitoreo	Telemetría		Telemetría	
Mantenciones	Limpieza y desinfección		Limpieza y desinfección	

Fuente: Francisca Rosales, 2022

En particular, solamente el estanque más nuevo se encuentra en funcionamiento actualmente, siendo toda el agua tratada impulsada desde este estanque, dejando el estanque antiguo utilizado como almacenamiento de emergencia, sin embargo, ambos estanques se encuentran interconectados, por lo que el funcionamiento como tal de almacenamiento funciona de tal manera que puede verse como un solo sistema de un volumen total de 40 m³.

En cuanto a la impulsión al interior del APR, esta puede dividirse principalmente en tres tramos principales, el primero de ellos corresponde a la impulsión desde los pozos de extracción hacia las plantas de tratamiento de osmosis inversa. El segundo tramo corresponde a la impulsión desde los estanques de agua tratada de la planta de tratamiento hasta una planta relevadora ubicada a una distancia de aproximadamente 1.310 metros. Finalmente, el último tramo corresponde a la impulsión desde la planta relevadora hasta los estanques de distribución ubicados en la comuna de Cerrillos de Tamaya ubicada a aproximadamente a 3.700 metros de distancia. Cabe recalcar que todo el sistema de impulsión se encuentra actualizado gracias al mejoramiento ya construido del APR mencionado anteriormente.

3.2.2.2.1 Tramo I impulsión

Impulsión realizada desde los pozos de extracción de agua hasta el recinto de tratamiento, cuenta con tramos de acero galvanizado y PVC C-10, teniendo un total aproximado de 800 metros de longitud.

Tabla 3-9. Información Impulsión - Tramo I

	Distancia (m)	Materialidad	Diámetro (mm)
Tramo I	≈ 750	PVC C-10	160
	≈ 50	Acero Galvanizado	150

Fuente: Francisca Rosales, 2022

En el recinto de tratamiento se encuentra la respectiva cámara de válvulas, donde en su interior se encuentran dos válvulas de corte tipo compuerta y dos caudalímetros.

3.2.2.2.2 Tramo II impulsión

Impulsión desde estanques de agua tratada en el recinto de tratamiento hasta planta relevadora de agua potable. Esta impulsión se hace necesaria debido a la distancia y la diferencia de cotas entre estos dos puntos, ubicando una planta relevadora en plena cuesta de Las Sossas.

Tabla 3-10. Información Impulsión - Tramo II

	Distancia (m)	Materialidad	Diámetro (mm)
Tramo II	≈ 1310	PVC C-16	110
		PVC C-10	110
		Acero Galvanizado	100

Fuente: Francisca Rosales, 2022

Toda el agua impulsada desde la planta de tratamiento se almacena en un estanque de hormigón con volumen de 20 m³, el cual cuenta con una bomba sumergible de potencia 50 HP para eventuales emergencias, como fallas en el sistema o detención inesperada de los equipos. Donde todo el sistema se controla y monitorea por un tablero eléctrico ubicado al interior de la caseta del recinto, el cual cuenta con un sistema de telemetría.

3.2.2.2.3 Tramo III impulsión

Impulsión desde la planta relevadora hasta los estanques de distribución en Cerrillos de Tamaya. Esta impulsión está construida mediante tuberías de PVC C-10 y C-16 junto con acero galvanizado.

Tabla 3-11. Información Impulsión - Tramo III

Tramo III	Distancia (m)	Materialidad	Diámetro (mm)
	≈ 3700	PVC C-16	110
		PVC C-10	110
		Acero Galvanizado	100

Fuente: Francisca Rosales, 2022

3.2.2.3 Sistema de Almacenamiento

Los sistemas de almacenamiento al interior de todo el APR pueden ser divididos en tres sectores principalmente, los cuales funcionan distribuyendo agua individualmente al sector correspondiente.

3.2.2.3.1 Cerrillos de Tamaya

Las aguas procesadas se impulsan desde la planta de osmosis inversa hasta llegar a los estanques ubicados en cerrillos de Tamaya, aquí se encuentran tres estanques de distintos tamaños que abastecen a distintos sectores. En particular se encuentran un estanque de 50 m³, 100 m³ y 200 m³, siendo este último el construido a partir del mejoramiento realizado. A continuación, se presenta la información relevante para cada uno de los estanques mencionados.

Tabla 3-12. Información Estanques Cerrillos de Tamaya

Coordenadas UTM	Estanque N°1		Estanque N°2		Estanque N°3	
	UTM Norte	UTM Este	UTM Norte	UTM Este	UTM Norte	UTM Este
	6.614.805	269.384	6.614.808	269.377	6.614.801	269.414
Volumen (m ³)	50		100		200	
Materialidad	Hormigón		Hormigón		Hormigón	
Tipo	Semi-enterrado		Semi-enterrado		Semi-enterrado	

	Estanque N°1	Estanque N°2	Estanque N°3
Inicio operación	1994	1994	2019
Cota	326	327	330
Monitoreo	No	No	No
Mantenciones	Limpieza y desinfección	Limpieza y desinfección	Limpieza y desinfección

Fuente: Francisca Rosales, 2022

Estos tres estanques se encuentran interconectados entre sí, por lo que, en caso de disminución considerable del nivel de algún estanque, otro lo alimenta y permite que el sistema siga funcionando sin problemas, permitiendo que la distribución del servicio continúe en marcha.

3.2.2.3.2 Quebrada Seca

En el sector de Quebrada Seca se puede encontrar un estanque semi-enterrado de hormigón, el cual tiene un volumen de 50 m³ y es alimentado a partir de los estanques ubicados en cerrillos de Tamaya.

Tabla 3-13. Información Estanque Quebrada Seca

	Estanque Quebrada Seca	
Coordenadas UTM	UTM Norte	UTM Este
	6.620.713	261.811
Volumen (m ³)	50	
Materialidad	Hormigón	
Cota (msnm)	157	
Monitoreo	No	
Mantenciones	Limpieza y desinfección	

Fuente: Francisca Rosales, 2022

3.2.2.3.3 Sector El Siete

El estanque del sector El Siete corresponde a un estanque metálico de 20 m³ de volumen y una elevación de 25 metros, el cual es alimentado por estanques de Cerrillos de Tamaya y está encargado de abastecer a los arranques en el sector El Siete.

Tabla 3-14. Información Estanque Sector El Siete

	Estanque Sector El Siete	
Coordenadas UTM	UTM Norte	UTM Este
	6.615.875	263.275

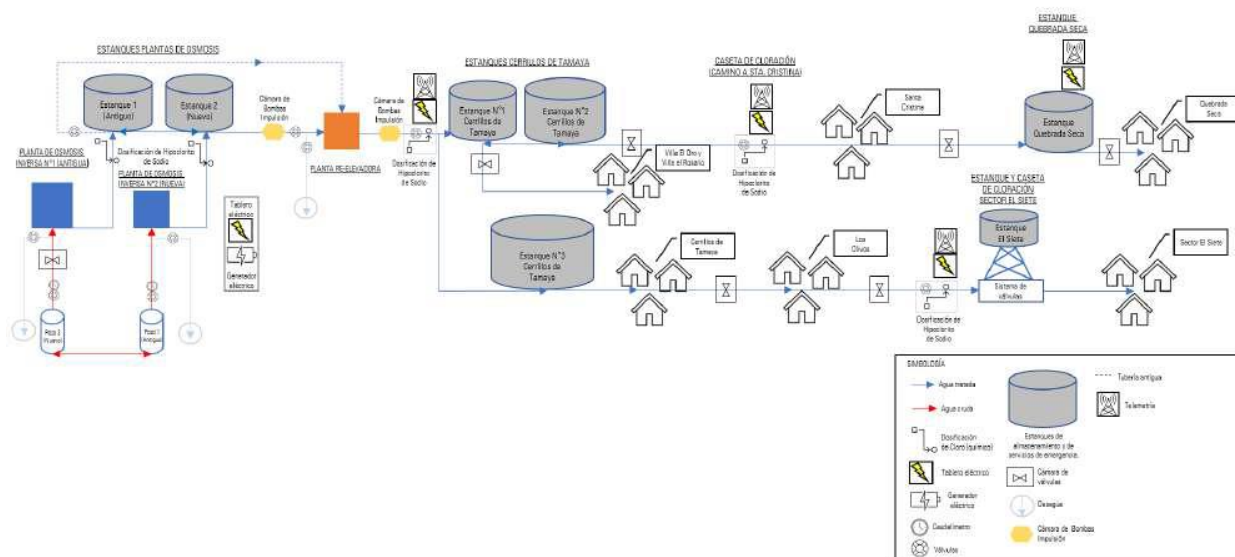
	Estanque Sector El Siete
Volumen (m ³)	20
Materialidad	Metálico
Elevación (m)	25
Cota (msnm)	254
Monitoreo	No
Mantenciones	Limpieza y desinfección

Fuente: Francisca Rosales, 2022

3.2.2.4 Layout del Sistema

Con la información descrita en las secciones anteriores, es posible realizar un layout del funcionamiento que tiene el sistema APR Cerrillos de Tamaya, de tal manera que se pueda entender de manera más simple el funcionamiento del mismo. A continuación, se presenta la imagen que representa el sistema.

Figura 3-14. Layout del Sistema APR Cerrillos de Tamaya



Fuente: Francisca Rosales, 2022

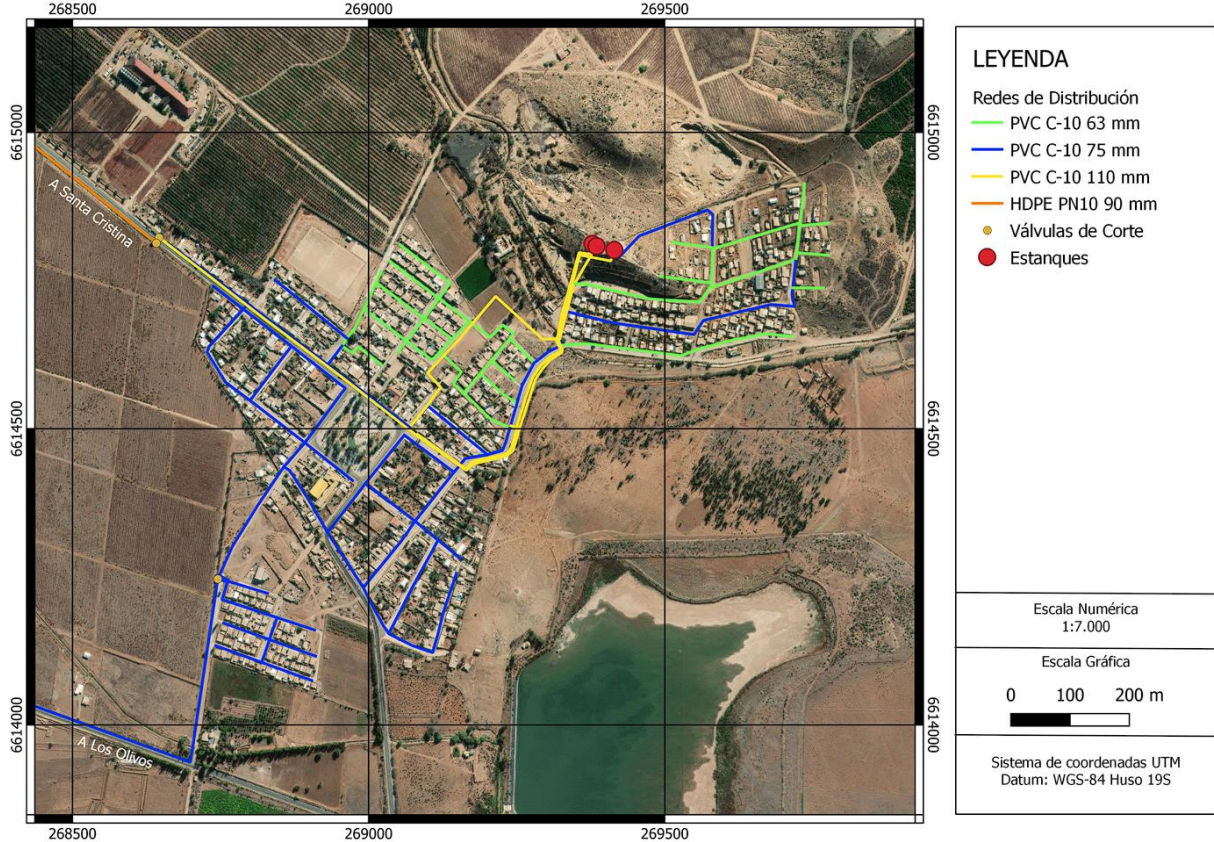
3.2.2.5 Redes de Distribución

Las redes de distribución ubicadas a lo largo de todo el emplazamiento del APR Cerrillos de Tamaya son en su mayoría de PVC-10, donde en particular los diámetros en los que se encuentra van desde los 63 mm hasta los 110 mm. El APR Cerrillos de Tamaya abastece por gravedad a 5 sectores principalmente, los cuales corresponden a las localidades de Cerrillos de Tamaya, Santa Cristina, Quebrada Seca, Los Olivos y El Siete.

Para definir el trazado de la red de distribución desde los estanques se utilizaron dos metodologías, la primera de ellas fue utilizada para el sector de Cerrillos de Tamaya, donde el trazado fue obtenido de uno de los planos que recopiló la alumna Francisca Rosales, en el cual se presenta el trazado existente junto con los proyectados según el mejoramiento diseñado el año 2016, sin embargo, a diferencia de las metodologías antes presentadas, esta no cuenta con la ubicación de válvulas de corte en su interior. Para las demás localidades, la metodología utilizada fue una reunión presencial en conjunto con miembros de la directiva del APR y sus respectivos operadores, donde se fue trazando la red mediante el programa Google Earth Pro, siguiendo las indicaciones dadas por los operadores del APR, quienes son los que tienen esta información con certeza.

El primero de los sectores, Cerrillos de Tamaya, es quien cuenta con la red más extensa, donde se encuentran tuberías de PVC C-10 con diámetros entre los 63 mm y 110 mm. A continuación, se muestra el trazado de la red de distribución contenida en la localidad de Cerrillos de Tamaya.

Figura 3-15. Red de Distribución - Cerrillos de Tamaya



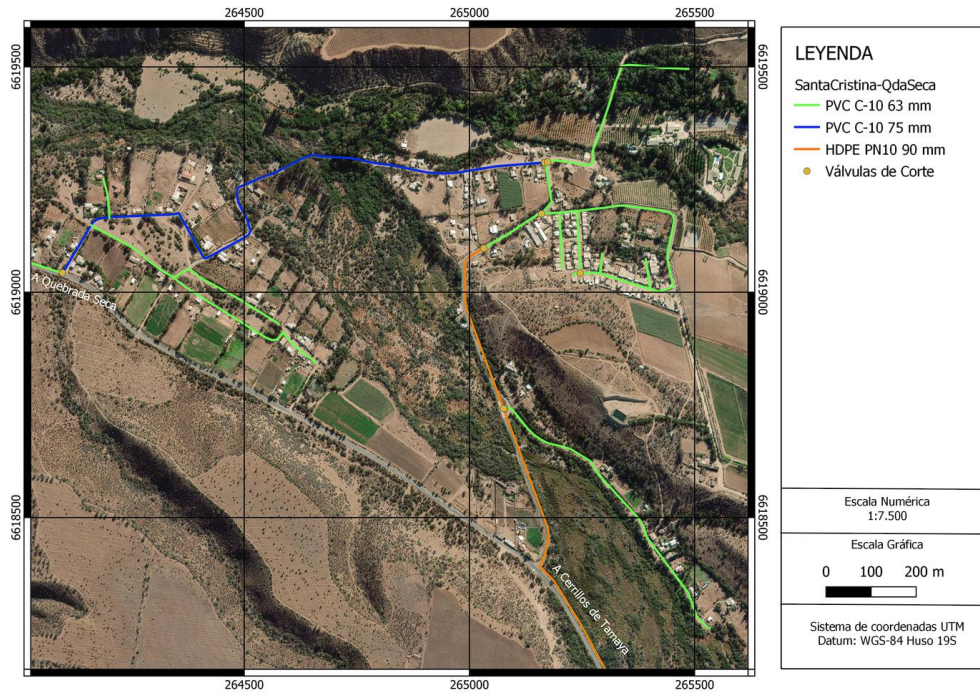
Fuente: Elaboración propia, 2023

Otro de los sectores analizados, corresponde al sector de Santa Cristina, donde se encuentran tuberías de 63 mm y 75 mm de diámetro, mostrado en la Figura 3-16.

El siguiente de los sectores corresponde a Quebrada Seca, donde solamente se encuentran tuberías de diámetro 63 mm en su interior, donde de la misma forma se observa la ubicación del estanque que abastece a esta localidad, según muestra la Figura 3-17.

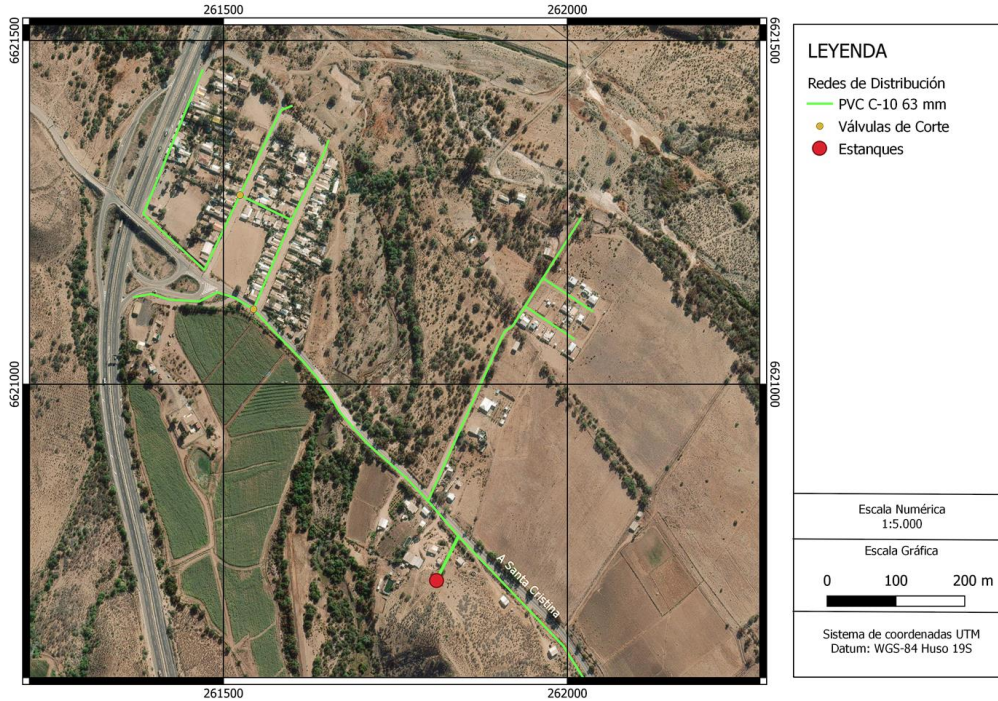
Finalmente se presentan en las Figura 3-18 y Figura 3-19, que representan las redes de Los Olivos y El Siete, respectivamente. En particular Los Olivos presenta diámetros de 63 mm y 75 mm, mientras que El Siete solo presenta tuberías de 63 mm con su respectivo estanque de distribución.

Figura 3-16. Red de Distribución - Santa Cristina



Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 3-17. Red de Distribución – Quebrada Seca



Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 3-18. Red de Distribución – Los Olivos



Fuente: Elaboración propia, 2023

Figura 3-19. Red de Distribución – El Siete



Fuente: Elaboración propia, 2023

4 ANÁLISIS ACTUAL DEL APR

En el presente Capítulo se desarrolla el análisis de cada APR, en el cual podremos observar parámetros tales como la demanda de agua por parte de la población, los caudales necesarios para bombear y el almacenamiento necesario para el APR. Todo esto se realizará tanto para la situación actual como para la situación proyectada, la cual consiste en un horizonte de 20 años, considerando un plazo de 3 años para que se hagan efectivo este horizonte.

4.1 APR Limarí

La demanda del sistema del APR Limarí se agrupa por zonas, siendo estas las tres anteriormente mencionadas a lo largo del documento, teniendo el sector de Limarí, Las Vegas y Los Llanos. Sin embargo, para efectos del análisis de fuentes de producción, se considerará el APR como una zona macro, mientras que, para las redes de distribución, los tres sectores son independientes entre sí.

4.1.1 Análisis de la Demanda

La oferta de los sondajes actualmente en funcionamiento es de 12,2 L/s como caudal máximo instantáneo, sin embargo, no se tiene información acerca de los permisos de aprovechamiento de aguas autorizados por la DGA.

Para realizar el correcto análisis de las demandas del sistema de APR se realiza el cálculo de caudales a partir de la dotación y de la población que se tiene. Para la dotación del APR se toma en consideración las indicaciones dadas por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), la cual especifica que para los sistemas de agua potable rural que cuenten con sistemas de alcantarillado se debe tener una dotación de 150 L/hab/día.

Una vez determinada la dotación se realiza el cálculo de caudales según la norma NCh. 691, cuyas ecuaciones se encuentran descritas en la sección 2.3.3, donde para efectos de los cálculos realizados, los factores FDMC y FHMC, los cuales están relacionados a las ecuaciones descritas, tienen un valor de 1,5, denominado así en la norma como valores mínimos para cuando no se cuenta con información necesaria para poder calcularlos, como lo es en el presente caso.

Para poder proyectar los caudales con un horizonte de 20 años, se procede a considerar un crecimiento poblacional del 4%, cuyo valor es el recomendado para zonas fuera de la Zona Central (desde Región de Valparaíso a Región de Ñuble) por la Dirección de Obras Hidráulicas en su Manual de Proyectos de APR, 2019. De modo que, considerando los 706 arranques notificados en febrero de 2022, y adoptando la densidad de 4 habitantes por arranque, recomendada por el Manual de Proyectos de APR de la DOH, es posible realizar el cálculo de caudales según la metodología antes mencionada. Se recuerda que el caudal disponible se describe en la sección 3.2.1.1 del presente informe.

Tabla 4-1. Caudales de Distribución con horizonte de 20 años

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]	Q disponible (l/s)	Déficit (l/s)
	Año 2022	706	2.824	7,00	10,51	15,76	12,20	3,56
	Año 2023	734	2.937	7,28	10,93	16,39	12,20	4,19
	Año 2024	764	3.054	7,58	11,36	17,04	12,20	4,84
0	Año 2025	794	3.177	7,88	11,82	17,73	12,20	5,53
1	Año 2026	826	3.304	8,19	12,29	18,44	12,20	6,24
2	Año 2027	859	3.436	8,52	12,78	19,17	12,20	6,97
3	Año 2028	893	3.573	8,86	13,29	19,94	12,20	7,74
4	Año 2029	929	3.716	9,22	13,83	20,74	12,20	8,54
5	Año 2030	966	3.865	9,59	14,38	21,57	12,20	9,37
6	Año 2031	1.005	4.019	9,97	14,95	22,43	12,20	10,23
7	Año 2032	1.045	4.180	10,37	15,55	23,33	12,20	11,13
8	Año 2033	1.087	4.347	10,78	16,17	24,26	12,20	12,06
9	Año 2034	1.130	4.521	11,21	16,82	25,23	12,20	13,03
10	Año 2035	1.176	4.702	11,66	17,49	26,24	12,20	14,04
11	Año 2036	1.223	4.890	12,13	18,19	27,29	12,20	15,09
12	Año 2037	1.271	5.086	12,61	18,92	28,38	12,20	16,18
13	Año 2038	1.322	5.289	13,12	19,68	29,52	12,20	17,32
14	Año 2039	1.375	5.501	13,64	20,46	30,70	12,20	18,50
15	Año 2040	1.430	5.721	14,19	21,28	31,92	12,20	19,72
16	Año 2041	1.487	5.950	14,76	22,13	33,20	12,20	21,00
17	Año 2042	1.547	6.188	15,35	23,02	34,53	12,20	22,33
18	Año 2043	1.609	6.435	15,96	23,94	35,91	12,20	23,71
19	Año 2044	1.673	6.693	16,60	24,90	37,35	12,20	25,15
20	Año 2045	1.740	6.960	17,26	25,89	38,84	12,20	26,64

Fuente: Elaboración Propia.

Sin embargo, estos caudales corresponden a un análisis del APR en su totalidad, el cual puede ser individualizado en los 3 sectores, de esta forma es posible observar el crecimiento proyectado para cada una de las localidades por separado, y así poder ver los requerimientos tanto de almacenamiento como de redes por separado. A continuación, se presentan los caudales de distribución para cada una de las localidades.

Tabla 4-2. Caudales de Distribución - Sector Los Llanos

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]
	Año 2022	161	644	1,12	1,68	2,52
	Año 2023	167	670	1,16	1,74	2,62
	Año 2024	174	697	1,21	1,81	2,72
0	Año 2025	181	724	1,26	1,89	2,83
1	Año 2026	188	753	1,31	1,96	2,94
2	Año 2027	196	784	1,36	2,04	3,06
3	Año 2028	204	815	1,41	2,12	3,18
4	Año 2029	212	847	1,47	2,21	3,31
5	Año 2030	220	881	1,53	2,30	3,44
6	Año 2031	229	917	1,59	2,39	3,58
7	Año 2032	238	953	1,65	2,48	3,72
8	Año 2033	248	991	1,72	2,58	3,87
9	Año 2034	258	1.031	1,79	2,69	4,03
10	Año 2035	268	1.072	1,86	2,79	4,19
11	Año 2036	279	1.115	1,94	2,90	4,36
12	Año 2037	290	1.160	2,01	3,02	4,53
13	Año 2038	302	1.206	2,09	3,14	4,71
14	Año 2039	314	1.254	2,18	3,27	4,90
15	Año 2040	326	1.305	2,26	3,40	5,10
16	Año 2041	339	1.357	2,36	3,53	5,30
17	Año 2042	353	1.411	2,45	3,67	5,51
18	Año 2043	367	1.468	2,55	3,82	5,73
19	Año 2044	382	1.526	2,65	3,97	5,96
20	Año 2045	397	1.587	2,76	4,13	6,20

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-3. Caudales de Distribución - Sector Las Vegas

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]
	Año 2022	97	388	0,96	1,44	2,17
	Año 2023	101	404	1,00	1,50	2,25

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]
	Año 2024	105	420	1,04	1,56	2,34
0	Año 2025	109	436	1,08	1,62	2,44
1	Año 2026	113	454	1,13	1,69	2,53
2	Año 2027	118	472	1,17	1,76	2,63
3	Año 2028	123	491	1,22	1,83	2,74
4	Año 2029	128	511	1,27	1,90	2,85
5	Año 2030	133	531	1,32	1,98	2,96
6	Año 2031	138	552	1,37	2,05	3,08
7	Año 2032	144	574	1,42	2,14	3,20
8	Año 2033	149	597	1,48	2,22	3,33
9	Año 2034	155	621	1,54	2,31	3,47
10	Año 2035	162	646	1,60	2,40	3,61
11	Año 2036	168	672	1,67	2,50	3,75
12	Año 2037	175	699	1,73	2,60	3,90
13	Año 2038	182	727	1,80	2,70	4,06
14	Año 2039	189	756	1,87	2,81	4,22
15	Año 2040	197	786	1,95	2,92	4,39
16	Año 2041	204	817	2,03	3,04	4,56
17	Año 2042	213	850	2,11	3,16	4,74
18	Año 2043	221	884	2,19	3,29	4,93
19	Año 2044	230	920	2,28	3,42	5,13
20	Año 2045	239	956	2,37	3,56	5,34

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-4. Caudales de Distribución - Sector Limarí

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]
	Año 2022	448	1.792	4,44	6,67	10,00
	Año 2023	466	1.864	4,62	6,93	10,40
	Año 2024	485	1.938	4,81	7,21	10,82
0	Año 2025	504	2.016	5,00	7,50	11,25
1	Año 2026	524	2.096	5,20	7,80	11,70
2	Año 2027	545	2.180	5,41	8,11	12,17
3	Año 2028	567	2.267	5,62	8,44	12,65
4	Año 2029	590	2.358	5,85	8,77	13,16
5	Año 2030	613	2.452	6,08	9,12	13,69
6	Año 2031	638	2.551	6,33	9,49	14,23
7	Año 2032	663	2.653	6,58	9,87	14,80
8	Año 2033	690	2.759	6,84	10,26	15,39
9	Año 2034	717	2.869	7,12	10,67	16,01

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]
10	Año 2035	746	2.984	7,40	11,10	16,65
11	Año 2036	776	3.103	7,70	11,54	17,32
12	Año 2037	807	3.227	8,00	12,01	18,01
13	Año 2038	839	3.356	8,32	12,49	18,73
14	Año 2039	873	3.491	8,66	12,99	19,48
15	Año 2040	908	3.630	9,00	13,51	20,26
16	Año 2041	944	3.775	9,36	14,05	21,07
17	Año 2042	982	3.926	9,74	14,61	21,91
18	Año 2043	1.021	4.084	10,13	15,19	22,79
19	Año 2044	1.062	4.247	10,53	15,80	23,70
20	Año 2045	1.104	4.417	10,95	16,43	24,65

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2 Análisis del Almacenamiento

Otro de los puntos a analizar es el almacenamiento que actualmente tiene el APR y que se describe en la sección 3.2.1.2, para ello se calcula el volumen de regulación, que corresponde al volumen que se debiera tener en los estanques al interior del APR, el cual es calculado según las recomendaciones descritas en el Manual de Proyectos de APR, considerando un 20% del volumen del día de máximo consumo, por lo cual se utiliza el caudal máximo diario tabulado anteriormente. Del mismo modo que para los caudales de distribución, se presenta tanto el análisis del APR como un todo, así también como el análisis de cada uno de los sectores.

Un punto a analizar dentro del almacenamiento es el caudal de incendio, el cual corresponde considerar cuando el sistema de APR contiene ciertas condiciones, en particular se requiere la instalación de un grifo, y, por tanto, considerar un caudal de incendio cuando el APR corresponde al Segmento Medio según lo descrito en la Ley 20.998, y además posee sobre 400 viviendas en su interior. Dada la naturaleza del APR Limarí, con sus actuales 706 arranques, esto hace imperativo la necesidad de instalar un grifo al interior del mismo, por tanto, se debe considerar un caudal de incendio, el cual debe cubrir un siniestro de 2 horas de duración con un caudal de 16 L/s, lo que se traduce en un volumen adicional de 115 m³. Dicho esto, se procede a presentar el análisis correspondiente.

Tabla 4-5. Análisis del Almacenamiento - APR Limarí

		Volumen Regulación [m3]	Volumen de Incendio [m3]	Vol Total requerido [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
	Año 2022	182	115	297	165	132
	Año 2023	189	115	304	165	139
	Año 2024	196	115	311	165	146
0	Año 2025	204	115	319	165	154
1	Año 2026	212	115	327	165	162
2	Año 2027	221	115	336	165	171
3	Año 2028	230	115	345	165	180
4	Año 2029	239	115	354	165	189
5	Año 2030	248	115	363	165	198
6	Año 2031	258	115	373	165	208
7	Año 2032	269	115	384	165	219
8	Año 2033	279	115	394	165	229
9	Año 2034	291	115	406	165	241
10	Año 2035	302	115	417	165	252
11	Año 2036	314	115	429	165	264
12	Año 2037	327	115	442	165	277
13	Año 2038	340	115	455	165	290
14	Año 2039	354	115	469	165	304
15	Año 2040	368	115	483	165	318
16	Año 2041	382	115	497	165	332
17	Año 2042	398	115	513	165	348
18	Año 2043	414	115	529	165	364
19	Año 2044	430	115	545	165	380
20	Año 2045	447	115	562	165	397

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-6. Análisis del Almacenamiento - Sector Los Llanos

Año		Volumen Regulación [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
	Año 2022	41	40	1
	Año 2023	43	40	3
	Año 2024	45	40	5
0	Año 2025	47	40	7
1	Año 2026	48	40	8
2	Año 2027	50	40	10
3	Año 2028	52	40	12
4	Año 2029	54	40	14

Año		Volumen Regulación [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
5	Año 2030	57	40	17
6	Año 2031	59	40	19
7	Año 2032	61	40	21
8	Año 2033	64	40	24
9	Año 2034	66	40	26
10	Año 2035	69	40	29
11	Año 2036	72	40	32
12	Año 2037	75	40	35
13	Año 2038	78	40	38
14	Año 2039	81	40	41
15	Año 2040	84	40	44
16	Año 2041	87	40	47
17	Año 2042	91	40	51
18	Año 2043	94	40	54
19	Año 2044	98	40	58
20	Año 2045	102	40	62

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-7. Análisis del Almacenamiento - Sector Las Vegas

Año		Volumen Regulación [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
	Año 2022	25	25	0
	Año 2023	26	25	1
	Año 2024	27	25	2
0	Año 2025	28	25	3
1	Año 2026	29	25	4
2	Año 2027	30	25	5
3	Año 2028	32	25	7
4	Año 2029	33	25	8
5	Año 2030	34	25	9
6	Año 2031	36	25	11
7	Año 2032	37	25	12
8	Año 2033	38	25	13
9	Año 2034	40	25	15
10	Año 2035	42	25	17
11	Año 2036	43	25	18
12	Año 2037	45	25	20
13	Año 2038	47	25	22
14	Año 2039	49	25	24
15	Año 2040	51	25	26

Año		Volumen Regulación [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
16	Año 2041	53	25	28
17	Año 2042	55	25	30
18	Año 2043	57	25	32
19	Año 2044	59	25	34
20	Año 2045	61	25	36

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-8. Análisis del Almacenamiento - Sector Limarí

Año		Volumen Regulación [m3]	Volumen de Incendio [m3]	Vol Total requerido [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
	Año 2022	115	115	230	100	130
	Año 2023	120	115	235	100	135
	Año 2024	125	115	240	100	140
0	Año 2025	130	115	245	100	145
1	Año 2026	135	115	250	100	150
2	Año 2027	140	115	255	100	155
3	Año 2028	146	115	261	100	161
4	Año 2029	152	115	267	100	167
5	Año 2030	158	115	273	100	173
6	Año 2031	164	115	279	100	179
7	Año 2032	171	115	286	100	186
8	Año 2033	177	115	292	100	192
9	Año 2034	184	115	299	100	199
10	Año 2035	192	115	307	100	207
11	Año 2036	199	115	314	100	214
12	Año 2037	207	115	322	100	222
13	Año 2038	216	115	331	100	231
14	Año 2039	224	115	339	100	239
15	Año 2040	233	115	348	100	248
16	Año 2041	243	115	358	100	258
17	Año 2042	252	115	367	100	267
18	Año 2043	263	115	378	100	278
19	Año 2044	273	115	388	100	288
20	Año 2045	284	115	399	100	299

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de la Tabla 4-5, se puede observar que al año 2022 ya se tiene un déficit de 132 m³ en el almacenamiento del APR Limarí, el cual es desglosado en las tablas siguientes para cada uno de los sectores. En primer lugar, el sector de Los Llanos, al año 2022 presenta un déficit de 1 m³, el cual aumenta a 62 m³ para el año 2045. El sector de las vegas al año 2022 no presenta un déficit, sin embargo, para 2023 comienza a percibir un

déficit de 1 m³, el cual aumenta a 36 m³ para el año 2045. Finalmente, el sector de Limarí, al año 2022 presenta un déficit de 130 m³, el cual se debe en gran medida a la necesidad del volumen de incendio, el cual se explicará en el párrafo siguiente, este déficit aumenta a 299 m³ para el año 2045. Del análisis anterior, es posible observar que actualmente ya se tiene la necesidad de la construcción de nuevos estanques.

Como se puede observar en la Tabla 4-4, el sector de Limarí es el único que cumple con la condición de tener sobre 400 viviendas en su zona de distribución, lo que lo hace el sector donde se instalará el grifo de incendios, y, por tanto, donde se considera el volumen de incendio.

4.1.3 Análisis de la Impulsión

Otro de los puntos a analizar del funcionamiento del APR corresponde a los sistemas de impulsión, sin embargo, en este caso no se tiene información certera de los caudales impulsados desde las plantas relevadoras por lo que los resultados mostrados a continuación corresponden a los caudales a impulsar en el horizonte proyectado.

Para los sistemas de impulsión se considera el tiempo de bombeo máximo descrito por la DOH en su Manual de APR, el cual consiste en un tiempo máximo de bombeo de 18 horas, sin embargo, adicional a esto se presentan los caudales de impulsión para un tiempo de bombeo de 12 horas.

Tabla 4-9. Caudales a impulsar y tiempos de bombeo - Impulsión Limarí

Año		Qmaxd a elevar [l/s]	Elevar Q [l/s] en 12 horas	Elevar Q [l/s] en 18 horas	Diseño [l/s]	Tiempo bombeo [Hr]
	Año 2022	10,51	21,01	14,01	21,01	4,87
	Año 2023	10,93	21,85	14,57	21,85	5,06
	Año 2024	11,36	22,73	15,15	22,73	5,27
0	Año 2025	11,82	23,64	15,76	23,64	5,48
1	Año 2026	12,29	24,58	16,39	24,58	5,70
2	Año 2027	12,78	25,56	17,04	25,56	5,92
3	Año 2028	13,29	26,59	17,72	26,59	6,16
4	Año 2029	13,83	27,65	18,43	27,65	6,41
5	Año 2030	14,38	28,76	19,17	28,76	6,66
6	Año 2031	14,95	29,91	19,94	29,91	6,93
7	Año 2032	15,55	31,10	20,74	31,10	7,21
8	Año 2033	16,17	32,35	21,56	32,35	7,50

Año		Qmaxd a elevar [l/s]	Elevar Q [l/s] en 12 horas	Elevar Q [l/s] en 18 horas	Diseño [l/s]	Tiempo bombeo [Hr]
9	Año 2034	16,82	33,64	22,43	33,64	7,79
10	Año 2035	17,49	34,99	23,32	34,99	8,11
11	Año 2036	18,19	36,39	24,26	36,39	8,43
12	Año 2037	18,92	37,84	25,23	37,84	8,77
13	Año 2038	19,68	39,35	26,24	39,35	9,12
14	Año 2039	20,46	40,93	27,29	40,93	9,48
15	Año 2040	21,28	42,57	28,38	42,57	9,86
16	Año 2041	22,13	44,27	29,51	44,27	10,26
17	Año 2042	23,02	46,04	30,69	46,04	10,67
18	Año 2043	23,94	47,88	31,92	47,88	11,09
19	Año 2044	24,90	49,80	33,20	49,80	11,54
20	Año 2045	25,89	51,79	34,53	51,79	12,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-10. Caudales a impulsar y tiempos de bombeo - Impulsión Los Llanos

Año		Qmaxd a elevar [l/s]	Elevar Q [l/s] en 12 horas	Elevar Q [l/s] en 18 horas	Diseño [l/s]	Tiempo bombeo [Hr]
	Año 2022	2,40	4,79	3,19	4,79	4,87
	Año 2023	2,49	4,98	3,32	4,98	5,06
	Año 2024	2,59	5,18	3,46	5,18	5,27
0	Año 2025	2,69	5,39	3,59	5,39	5,48
1	Año 2026	2,80	5,61	3,74	5,61	5,70
2	Año 2027	2,91	5,83	3,89	5,83	5,92
3	Año 2028	3,03	6,06	4,04	6,06	6,16
4	Año 2029	3,15	6,31	4,20	6,31	6,41
5	Año 2030	3,28	6,56	4,37	6,56	6,66
6	Año 2031	3,41	6,82	4,55	6,82	6,93
7	Año 2032	3,55	7,09	4,73	7,09	7,21
8	Año 2033	3,69	7,38	4,92	7,38	7,50
9	Año 2034	3,84	7,67	5,11	7,67	7,79
10	Año 2035	3,99	7,98	5,32	7,98	8,11
11	Año 2036	4,15	8,30	5,53	8,30	8,43
12	Año 2037	4,31	8,63	5,75	8,63	8,77
13	Año 2038	4,49	8,97	5,98	8,97	9,12
14	Año 2039	4,67	9,33	6,22	9,33	9,48
15	Año 2040	4,85	9,71	6,47	9,71	9,86

Año		Qmaxd a elevar [l/s]	Elevar Q [l/s] en 12 horas	Elevar Q [l/s] en 18 horas	Diseño [l/s]	Tiempo bombeo [Hr]
16	Año 2041	5,05	10,10	6,73	10,10	10,26
17	Año 2042	5,25	10,50	7,00	10,50	10,67
18	Año 2043	5,46	10,92	7,28	10,92	11,09
19	Año 2044	5,68	11,36	7,57	11,36	11,54
20	Año 2045	5,91	11,81	7,87	11,81	12,00

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-11. Caudales a impulsar y tiempos de bombeo - Impulsión Las Vegas

Año		Qmaxd a elevar [l/s]	Elevar Q [l/s] en 12 horas	Elevar Q [l/s] en 18 horas	Diseño [l/s]	Tiempo bombeo [Hr]
	Año 2022	1,44	2,89	1,92	2,89	4,87
	Año 2023	1,50	3,00	2,00	3,00	5,06
	Año 2024	1,56	3,12	2,08	3,12	5,27
0	Año 2025	1,62	3,25	2,16	3,25	5,48
1	Año 2026	1,69	3,38	2,25	3,38	5,70
2	Año 2027	1,76	3,51	2,34	3,51	5,92
3	Año 2028	1,83	3,65	2,44	3,65	6,16
4	Año 2029	1,90	3,80	2,53	3,80	6,41
5	Año 2030	1,98	3,95	2,63	3,95	6,66
6	Año 2031	2,05	4,11	2,74	4,11	6,93
7	Año 2032	2,14	4,27	2,85	4,27	7,21
8	Año 2033	2,22	4,44	2,96	4,44	7,50
9	Año 2034	2,31	4,62	3,08	4,62	7,79
10	Año 2035	2,40	4,81	3,20	4,81	8,11
11	Año 2036	2,50	5,00	3,33	5,00	8,43
12	Año 2037	2,60	5,20	3,47	5,20	8,77
13	Año 2038	2,70	5,41	3,60	5,41	9,12
14	Año 2039	2,81	5,62	3,75	5,62	9,48
15	Año 2040	2,92	5,85	3,90	5,85	9,86
16	Año 2041	3,04	6,08	4,05	6,08	10,26
17	Año 2042	3,16	6,33	4,22	6,33	10,67
18	Año 2043	3,29	6,58	4,39	6,58	11,09
19	Año 2044	3,42	6,84	4,56	6,84	11,54
20	Año 2045	3,56	7,12	4,74	7,12	12,00

Fuente: Elaboración Propia.


En las tablas es posible observar las 2 opciones de tiempos de bombeo para cada una de las impulsiones al interior del APR, la primera de ellas y la que se considerará en el futuro diseño corresponde a un funcionamiento de 12 horas diarias para el año 20, mientras que la segunda opción corresponde al funcionamiento del máximo de 18 horas diarias, valor máximo descrito por la Dirección de Obras Hidráulicas. Se decide diseñar con el tiempo de bombeo de 12 horas, puesto que es la que actualmente más se asimila al funcionamiento actual del APR.

Cabe recalcar que el caudal a elevar (Q_{maxd}) contempla las pérdidas del 30% que existen al interior de la red, tal como indica la sección 6.2.1 de la norma NCh 691, cuyo porcentaje fue obtenido a partir de las macro-mediciones que se tienen por parte de la directiva del APR, las cuales se presentan en la Figura 4-1, el cual corresponde al cociente entre los m^3 consumidos y producidos.

Figura 4-1. Marcomedición 2020-2021 APR Limarí

MACROMEDICION AÑO 2020		
MESES	M3 PRODUCIDOS	M3 CONSUMIDOS
ENERO	13.956	9.457
FEBRERO	13.171	10.420
MARZO	11.925	8.423
ABRIL	12.113	8.476
MAYO	12.225	9.361
JUNIO	11.090	7.175
JULIO	11.901	8.146
AGOSTO	11.361	7.739
SEPTIEMBRE	13.242	8.892
OCTUBRE	13.464	10.044
NOVIEMBRE	14.426	9.520
DICIEMBRE	13.340	9.759

MACROMEDICION AÑO 2021		
MESES	M3 PRODUCIDOS	M3 CONSUMIDOS
ENERO	14.702	11.516
FEBRERO	13.469	10.870
MARZO	12.919	9.448
ABRIL	14.257	10.411
MAYO	13.626	8.857
JUNIO	13.482	8.837
JULIO	14.044	9.285
AGOSTO	14.874	9.274
SEPTIEMBRE	14.640	10.104
OCTUBRE	13.477	10.131
NOVIEMBRE	13.745	10.553
DICIEMBRE	13.593	10.777



Fuente: Comité APR Limarí.

4.1.4 Análisis del Funcionamiento

Para realizar el análisis del funcionamiento actual del APR se procede a modelar la situación actual, para ello se utiliza el programa de modelación de tuberías EPANET, programa el cual es utilizado para el diseño de redes de agua potable, y comúnmente utilizado en proyectos de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) para realizar modelaciones en los proyectos de mejoramiento de sistemas de agua potable rural.

Para modelar el sistema actual en primer lugar se utiliza una imagen de fondo del sector, el cual ayuda a comprender de mejor manera la disposición de tuberías al interior del APR. Sin embargo, esto solo corresponde a una ayuda visual y en algunos casos no representa dimensiones a escala. Los datos de entrada que requiere la modelación corresponden a los nodos donde existe alguna singularidad al interior de la red, ya sean tee's, puntos de cota alta, puntos de cota baja, cambios de diámetro, etc. Para ubicar estos nodos se utilizan los puntos descritos en el Anexo B, los cuales fueron utilizados para realizar el trazado de las Figura 3-11, Figura 3-12 y Figura 3-13, donde se especifica la cota y a qué singularidad pertenece, del mismo modo, en las figuras mencionadas también se presentan los diámetros respectivos de las tuberías que se utilizarán en la modelación. Por otro lado, gracias al programa Google Earth, es posible obtener las longitudes de los tramos en los que está ubicada la tubería.

Finalmente, para la asignación de la demanda, se utiliza la imagen satelital de Google Earth correspondiente a la fecha de octubre de 2022, identificando la cantidad de arranques ubicados por tramos y asignando el porcentaje de la demanda descrita en las Tabla 4-2, Tabla 4-3 y Tabla 4-4, en función de la cantidad de arranques total del sector y la cantidad de arranques ubicadas en el tramo.

El primer sector por analizar corresponde al Sector de Limarí, el cual es el de mayor tamaño entre los 3 sectores que se divide. Este sector se caracteriza por contar con un total de 448 arranques a la fecha en la cual se realizó la toma de datos, la cual corresponde a febrero 2022. De forma adicional, el sector alimenta las plantas relevadoras respectivas a los sectores de Las Vegas y Los Llanos, por tanto, el caudal a distribuir es el mayor entre los sectores, así mismo, la impulsión que cuenta el sector representa la impulsión principal de todo el APR, y, por tanto, debe de corresponder a la de mayor envergadura.

Dicho lo anterior, se procede a construir la red de distribución e impulsión del sector de Limarí, la cual cuenta con un total de 79 nodos, 93 tramos de tuberías las cuales son de diámetros nominales 63 mm, 75 mm y 110 mm de PVC-C10, sumando un total de 15.535 mts de tubería entre los tres tipos de diámetros. Sin embargo, para la modelación se utilizan los diámetros internos de cada tubería, para lo cual se utiliza el catálogo de tuberías de PVC de la empresa “PVC Vinilit”, el cual corresponde al siguiente:

Figura 4-2. Catálogo de tuberías PVC

TUBERÍA HIDRÁULICA

Color: Celeste, Largo útil: 6.0 m. Cumple normas : NCH 399 y 1721 (fittings).

EXTERIOR		CLASE 4		CLASE 6		CLASE 10		CLASE 16	
REAL	NOMINAL	ESPEJOR	PESO	ESPEJOR	PESO	ESPEJOR	PESO	ESPEJOR	PESO
mm	pulg.	mm.	Kg. Tira	mm.	Kg. Tira	mm.	Kg. Tira	mm.	Kg. Tira
20	1/2					1.5	0.83		
25	3/4					1.5	1.05		
32	1					1.8	1.59		
40	1 1/4			1.8	2.02	2.0	2.21		
50	1 1/2			1.8	2.55	2.4	3.34		
63	2			1.9	3.43	3.0	6.22	4.7	7.86
75	2 1/2	1.8	3.93	2.2	4.78	3.0	7.47	5.6	11.14
90	3	1.0	4.74	2.7	8.53	4.3	10.73	0.7	10.00
110	4	2.2	7.12	3.2	10.07	5.3	16.03	8.2	23.85
125	4 1/2	2.5	9.10	3.7	13.10	6.0	20.54	9.3	30.69
140	5	2.8	11.33	4.1	16.39	6.7	25.75	10.4	38.58
160	6	3.2	14.87	4.7	21.33	7.7	33.75	11.9	50.32
200	8	4.0	22.94	5.9	33.29	9.6	52.76	14.9	79.26
250	10	5.0	35.31	7.3	51.94	12.0	85.50	16.6	123.24
315	12	6.2	56.38	9.2	82.50	15.2	130.68		
355	14	7.0	71.82	10.5	105.21	17.1	169.47		
400	16	8.0	91.35	11.7	132.83	19.2	212.30		

Clase: Indica la presión de trabajo (Kg. / cm²) a 20°C.

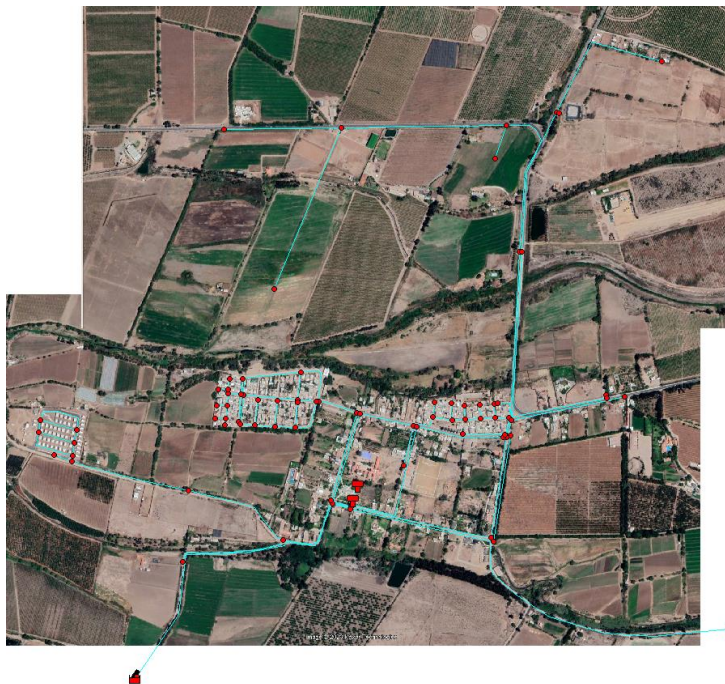
Fuente: PVC Vinilit.

Una vez mencionado lo anterior, se procede a realizar el esquema de la red de distribución, indicando cotas y demandas en los nodos, diámetros y longitudes en las tuberías, características de los estanques, características de la bomba de impulsión, etc.

Las Figura 4-3 y Figura 4-4 muestran lo que sería el esquema de la red de distribución e impulsión del sector de Limarí, para ello se incluyeron todos los datos mencionados

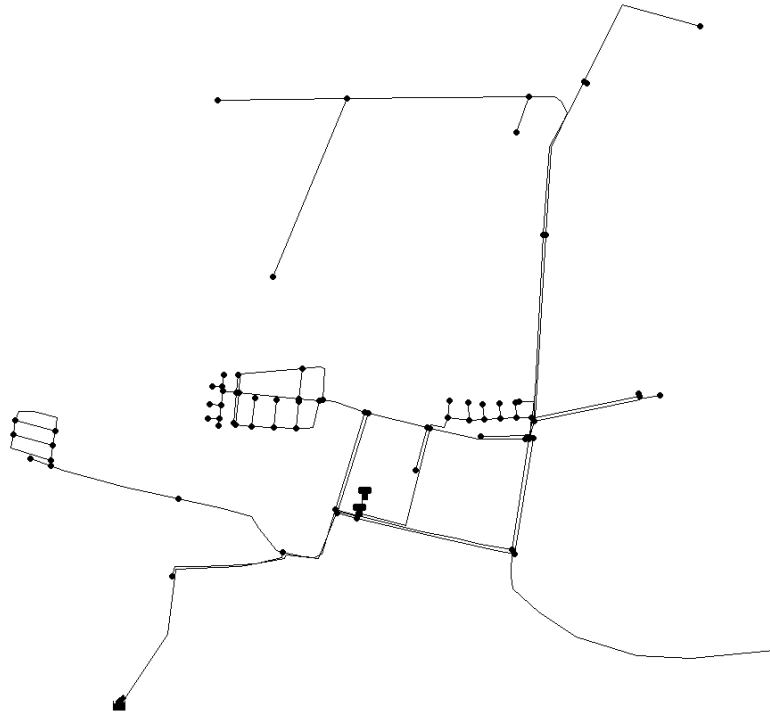
anteriormente, mientras que para la impulsión se incluye la curva de funcionamiento de la bomba instalada en el Pozo N°3, de esta forma es posible obtener el caudal impulsado por la bomba y los diámetros que componen el sistema de impulsión. Sin embargo, en los Anexos C, D y E, se presenta el detalle la nomenclatura que representa cada uno de los nodos y tramos de tuberías a utilizar en la modelación.

Figura 4-3. Esquema del sistema de distribución - Sector Limarí



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-4. Esquema del sistema de distribución (Sin fondo) - Sector Limarí



Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la red, los cuales corresponden a los nodos y los tramos de tuberías junto con su nomenclatura correspondiente, pueden ser visualizados en el Anexo C.

Una vez realizado el esquema es posible realizar la modelación y así obtener los resultados del funcionamiento, donde los principales resultados a analizar corresponden a las presiones en los nodos del sistema de distribución, cuyos valores deben estar en el rango descrito por la norma NCh 691, en donde se especifica una presión mínima de 15 m.c.a. y una presión máxima de 70 m.c.a. Adicional a esto se encuentran las velocidades que se deben obtener en la red, la cual tiene un valor máximo de 3 m/s. Por otro lado, con respecto a la impulsión no existen valores normados para las presiones al interior de esta, sin embargo, la calidad de la tubería debe estar acorde para soportarlas, mientras que, para la velocidad, esta debe estar un rango entre 0,6 m/s y 3 m/s, esto descrito en el Manual de Diseño para proyectos de APR de la DOH. A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la modelación realizada.

Figura 4-5. Resultados modelación EPANET.



Fuente: Resultados EPANET, 2023.

En la Figura 4-5 se observa de manera visual los resultados obtenidos a partir del programa EPANET, donde en particular se tiene que tanto las presiones al interior de toda la red como las velocidades se mantienen en el rango descrito anteriormente, esto es posible verlo numéricamente en la

Tabla **4-12**, donde se tiene que la menor presión al interior de la red tiene un valor de 19,14 mca, mientras que la mayor tiene un valor de 71,31 mca, la cual corresponde a un nodo al interior de la impulsión, por lo cual todos los valores de presiones se encuentran en el rango descrito anteriormente.

Tabla 4-12. Resultados de Presiones - Sector Limarí

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	184	0	21,66	A-41	167	0,2	35,68
A-2	184	0	21,28	A-42	169	0	34,95
A-3	184	0	20,91	A-43	169	0	34,94
A-4	182	0,09	22,8	A-44	170	0	33,78
A-5	182	0	22,73	A-45	170	0,18	33,77
A-6	173	0,22	31,04	A-46	170	0,04	33,66
A-7	169	0,09	34,32	A-47	170	0,18	33,66
A-8	167	0,02	35,66	A-48	170	0,11	33,61
A-9	167	0,04	35,66	A-49	170	0,18	33,6
A-10	166	0,18	36,66	A-50	171	0,11	32,57
A-11	166	0,09	36,65	A-51	170	0,18	33,57
A-12	165	0,07	37,65	A-52	171	0,11	32,55
A-13	162	0,45	40,65	A-53	171	0,13	32,55
A-14	162	0,45	40,65	A-54	171	0,13	32,55
A-15	160	0,13	44,02	A-55	172	0,22	31,54
A-16	168	0,25	36,19	A-56	170	0,07	33,95
A-17	168	0,16	36,24	A-57	171	0,38	33,1
A-18	170	0,11	32,86	A-58	171	0,31	32,83
A-19	170	0	32,84	A-59	173	0,04	30,14
A-20	169	0,18	33,69	A-60	173	0	30,03
A-21	172	0,63	30,41	A-61	173	0	30,04
A-22	172	0	30,4	A-62	173	0,2	30,04
A-23	174	0,13	28,37	A-63	173	0	30,03
A-24	174	0	28,36	A-64	167	0,11	37,04
A-25	174	0,13	28,36	A-65	171	0	31,7
A-26	173	0,13	29,36	A-66	166	0	35,94
A-27	173	0,11	29,34	A-67	166	0,13	35,86
A-28	173	0,13	29,34	A-68	171	0,11	31,7
A-29	173	0,11	29,33	A-69	174	2,17	28,31
A-30	173	0,13	29,33	A-70	174	0,16	28,31
A-31	173	0,04	29,33	A-71	177	0,07	24,58
A-32	171	0,11	31,4	A-72	175	0,07	26,58
A-33	171	0,2	31,39	A-73	172	0,09	29,42
A-34	170	0,13	32,49	A-74	161	0,18	40,36
A-35	169	0,27	33,47	A-75	171	0,07	30,41
A-36	172	0,13	30,41	A-76	174	0,18	27,14
A-37	171	0,27	31,4	A-77	174	3,59	27,13

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-38	171	0,13	31,4	A-78	182	0,18	19,14
A-39	171	0,27	31,38	A-79	174	0,16	28,31
A-40	171	0,11	31,4	A-80	155	0	71,31

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Por otro lado, en la Figura 4-5 también es posible observar si los valores de velocidades al interior de las tuberías se encuentra dentro del rango, como se mencionó anteriormente, al interior de la red de distribución solamente se encuentra la existencia de un valor máximo normado (valor de 3 m/s), mientras que para el sistema de impulsión se encuentra con el mismo valor normado para el máximo, pero en este caso se adiciona la recomendación de la DOH, la cual fija un valor mínimo para la velocidad de 0,6 m/s.

Tabla 4-13. Resultados de Velocidades - Sector Limarí

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
B-1	8	72	3,86	B-47	22	60	0,05
B-2	3	72	3,32	B-48	15	60	0,01
B-3	7	72	2,09	B-49	160	72	0,34
B-4	59	72	0,80	B-50	10	72	0,33
B-5	217	72	0,43	B-51	69	72	0,39
B-6	334	72	0,34	B-52	40	72	0,04
B-7	343	72	0,32	B-53	60	72	0,34
B-8	56	72	0,01	B-54	46	72	0,04
B-9	10	104,7	0,14	B-55	42	72	0,29
B-10	43	104,7	0,08	B-56	37	72	0,04
B-11	38	104,7	0,04	B-57	44	72	0,22
B-12	176	104,7	0,01	B-58	37	72	0,04
B-13	117	104,7	0,02	B-59	42	72	0,14
B-14	38	104,7	0,02	B-60	37	72	0,03
B-15	117	104,7	0,03	B-61	42	72	0,09
B-16	157	104,7	0,05	B-62	173	72	0,05
B-17	321	60	0,05	B-63	388	72	0,55
B-18	52	104,7	0,47	B-64	116	60	0,02
B-19	267	104,7	0,46	B-65	417	72	0,43
B-20	260	72	0,37	B-66	427	104,7	0,52
B-21	10	72	0,59	B-67	258	72	0,49
B-22	119	72	0,90	B-68	7	72	0,08
B-23	3	72	0,70	B-69	5	72	0,39
B-24	51	72	0,43	B-70	8	72	1,01

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
B-25	162	72	0,33	B-71	310	104,7	0,48
B-26	139	60	0,25	B-72	300	60	0,44
B-27	75	60	0,08	B-73	7	72	0,36
B-28	206	60	0,25	B-74	4	104,7	0,19
B-29	117	60	0,39	B-75	1380	60	0,04
B-30	70	60	0,10	B-76	40	72	0,76
B-31	56	60	0,25	B-77	81	72	0,03
B-32	75	60	0,10	B-78	531	104,7	0,47
B-33	59	60	0,11	B-79	297	104,7	0,35
B-34	76	60	0,10	B-80	7	104,7	0,25
B-35	45	60	0,03	B-81	764	60	0,18
B-36	88	60	0,07	B-82	1000	60	0,04
B-37	7	72	0,30	B-83	442	60	0,17
B-38	39	60	0,04	B-84	120	60	0,02
B-39	93	60	0,07	B-85	482	60	0,12
B-40	38	72	0,22	B-86	531	60	0,06
B-41	8	60	0,09	B-87	537	60	0,02
B-42	21	60	0,05	B-88	414	104,7	0,46
B-43	38	60	0,05	B-89	4	104,7	0,42
B-44	39	60	0,18	B-90	438	72	0,04
B-45	22	60	0,05	B-91	52	72	0,04
B-46	39	60	0,10	B-92	50	107,4	0,01
				B-93	924	104,7	1,59

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

A partir de los resultados es posible observar que al interior de la red de distribución se encuentran velocidades sobre los 3 m/s en una sección en particular, la cual corresponde a la salida de los estanques de almacenamiento, esto se debe principalmente al diámetro pequeño que tienen las tuberías, lo cual sumado a los grandes caudales que existen a la salida de los estanques hacen que la velocidad sea superior a lo normado. Por otro lado, con respecto a la velocidad al interior de la impulsión, esta corresponde al último tramo de tubería correspondiente a B-93, donde se tiene una velocidad de 1,59 m/s, la cual se encuentra en el rango mencionado anteriormente.

Sin embargo, aunque tanto las presiones como las velocidades se cumplen en la impulsión de la red, la configuración actual de la bomba junto con los diámetros de la tubería, no son los suficientes para impulsar los caudales presentados en la Tabla 4-9,

donde actualmente se impulsan solamente 12,2 L/s en un tiempo de bombeo de 12 horas, a partir del análisis se deberían de impulsar 31,52 L/s, por lo que de por sí el APR se encuentra en un déficit evidente de fuentes de agua, ya que por temas de fuentes no es posible llegar a este caudal, pero adicional a esto, el equipo de bombeo tampoco es suficiente para poder bombear este caudal, ya que según lo obtenido en la modelación, solamente es posible impulsar un máximo de 13,7 L/s.

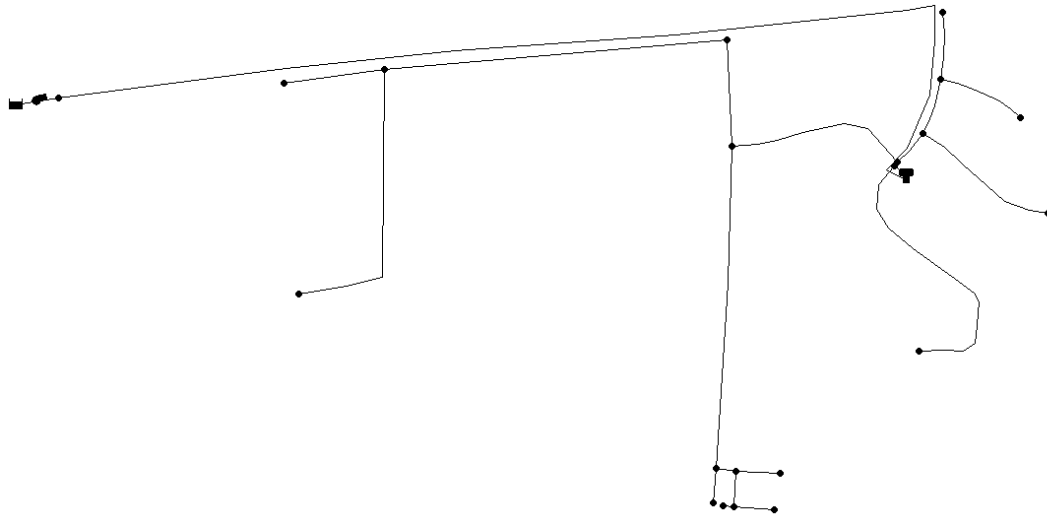
Para el sector de Las Vegas se realiza el mismo análisis, en el cual a partir de la Figura 3-12 donde se muestra el esquema de la red de distribución del sector, se procede a crear el esquema en la modelación hidráulica siguiendo las mismas indicaciones mencionadas anteriormente, para ello se presenta el esquema de la red del sector de Las Vegas.

Figura 4-6. Esquema del sistema de distribución - Sector Las Vegas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-7. Esquema del sistema de distribución (Sin fondo) - Sector Las Vegas



Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la red, los cuales corresponden a los nodos y los tramos de tuberías junto con su nomenclatura correspondiente, pueden ser visualizados en el Anexo D.

Del mismo modo anterior, se incluyen los datos de cotas y demandas en los nodos, y también los datos de longitudes y diámetros internos en los tramos de tuberías respectivos, esto con el objetivo de analizar que todos los valores de presiones y velocidades se encuentren dentro del rango normado y descrito en la norma NCh 691.

Figura 4-8. Resultados modelación EPANET.



Fuente: Resultados EPANET, 2023.

En la Figura 4-8 se observa de manera visual los resultados obtenidos a partir del programa EPANET, donde en particular se tiene que tanto las presiones al interior de toda la red como las velocidades se mantienen en el rango descrito anteriormente, esto es posible verlo numéricamente en la Tabla 4-14, donde se tiene que la menor presión al interior de la red tiene un valor de 26,14 mca, mientras que la mayor tiene un valor de 55,14 mca, donde esta última corresponde a un nodo al interior de la impulsión.

Tabla 4-14. Resultados de Presiones - Sector Las Vegas

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	189	0	27,19	A-11	175	0,04	39,87
A-2	189	0	27,17	A-12	175	0	39,86
A-3	190	0	26,16	A-13	175	0,11	39,86
A-4	190	0,16	26,14	A-14	174	0	40,86
A-5	188	0	28,15	A-15	174	0,07	40,86
A-6	189	0,13	27,15	A-16	173	0,13	41,86
A-7	188	0,04	28,15	A-17	185	0,22	30,43
A-8	175	0,56	40,96	A-18	185	0	30,39
A-9	185	0	30,48	A-19	184	0,07	31,39
A-10	174	0,51	40,87	A-20	185	0,11	30,38
				A-21	170	0	55,14

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Tabla 4-15. Resultados de Velocidades - Sector Las Vegas

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
B-1	30	60	0,76	B-11	37	60	0,01
B-2	4	60	0,56	B-12	21	60	0,11
B-3	40	60	0,12	B-13	45	60	0,04
B-4	153	60	0,06	B-14	34	60	0,07
B-5	57	60	0,06	B-15	15	60	0,02
B-6	91	60	0,05	B-16	43	60	0,05
B-7	64	60	0,01	B-17	105	60	0,14
B-8	275	60	0,2	B-18	347	60	0,06
B-9	183	60	0,45	B-19	115	60	0,02
B-10	324	60	0,3	B-20	297	60	0,04
				B-21	1489	60	0,56

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

A partir de la Tabla 4-15 se observa que todas las velocidades se encuentran al interior del máximo descrito en la norma (3 m/s), sin embargo, el tramo B-21 que corresponde a la impulsión desde la planta relevadora hacia el estanque de almacenamiento no cumple con la velocidad mínima recomendada por el Manual de Criterios de diseño de APR (DOH) cuyo valor es de 0,6 m/s.

Continuando con el análisis de la impulsión, se añade la curva de funcionamiento de la bomba la cual actualmente se encuentra instalada en la planta relevadora de Las Vegas, donde a partir de la modelación se obtiene que con la configuración actual de la bomba y diámetros de tuberías es capaz de funcionar con un caudal de 1,58 L/s, mientras que según la

Tabla 4-11 se debería elevar un caudal de 4,33 L/s con un tiempo de bombeo de 12 horas. Por lo que al igual que el sector de Limarí, el sistema de bombeo de la impulsión está sub-dimensionado.

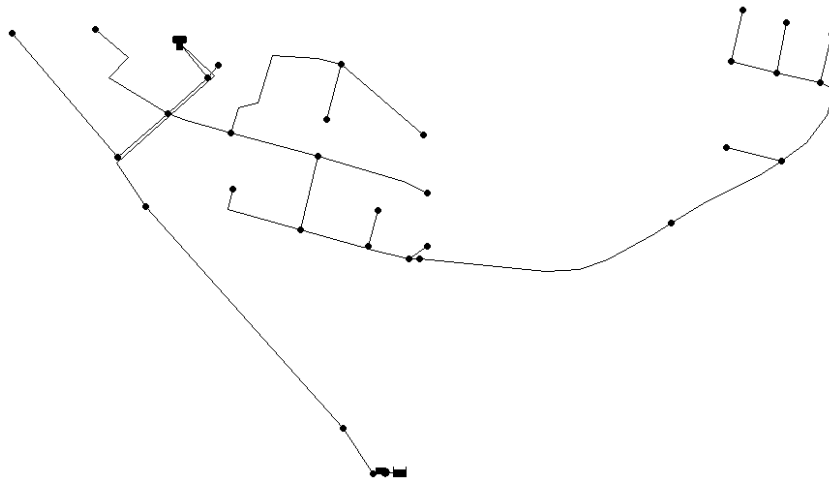
Finalmente, se realiza del mismo modo el análisis para el sector de Los Llanos, donde el esquema es en base a la Figura 3-13, sin embargo, cabe recalcar que para esta modelación las longitudes mostradas en el esquema representan el valor numéricamente en las propiedades de la tubería, ya que estas no se representan de buena manera visualmente.

Figura 4-9. Esquema del sistema de distribución - Sector Los Llanos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-10. Esquema del sistema de distribución (Sin fondo) - Sector Los Llanos



Fuente: Elaboración propia.

El detalle de la red, los cuales corresponden a los nodos y los tramos de tuberías junto con su nomenclatura correspondiente, pueden ser visualizados en el Anexo E.

Luego de ingresar los parámetros de nodos y tuberías, es posible obtener los resultados de presión y velocidad al interior de toda la red de distribución del sector de Los Llanos.

Figura 4-11. Resultados modelación EPANET – Sector Los Llanos



Fuente: Resultados EPANET, 2023.

En la Figura 4-11 se observa de manera visual los resultados obtenidos a partir del programa EPANET, donde en particular se tiene que tanto las presiones al interior de toda la red como las velocidades se mantienen en el rango descrito anteriormente, esto es posible verlo numéricamente en la Tabla 4-16, donde se tiene que la menor presión al interior de la red tiene un valor de 11,4 mca, lo que indicaría que en el punto más lejano de la red se está en presencia de una presión que está bajo la norma, por lo que el funcionamiento de la red de distribución no es correcto, mientras que la mayor tiene un valor de 193.63 mca, donde esta última corresponde a un nodo al interior de la impulsión en los tramos de acero galvanizado.

Tabla 4-16. Resultados de Presiones - Sector Los Llanos

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	312	0	28,39	A-17	291	0,07	43,01
A-2	319	0,04	21,39	A-18	293	0,07	41,01
A-3	302	0	36,41	A-19	291	0	42,97
A-4	321	0,07	17,41	A-20	294	0	39,69
A-5	292	0,11	46,37	A-21	291	0,13	42,51

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-6	300	0,29	38,31	A-22	304	0,11	29,51
A-7	299	0,11	37,55	A-23	293	0,07	40,43
A-8	321	0,37	15,14	A-24	296	0	37,42
A-9	317	0,33	19,09	A-25	296	0,22	37,42
A-10	307	0,11	29,14	A-26	305	0	28,41
A-11	300	0,29	35,23	A-27	306	0,22	27,4
A-12	307	0,26	28,2	A-28	316	0	17,41
A-13	290	0,11	44,61	A-29	322	0,22	11,4
A-14	291	0,15	43,6	A-30	297	0	47,21
A-15	293	0,13	41,19	A-31	225	0	139,29
A-16	298	0,07	36,19	A-32	180	0	193,63

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Tabla 4-17. Resultados de Velocidades - Sector Las Vegas

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
B-1	62,3	60	1,26	B-17	61,7	60	0,39
B-2	22,6	60	0,01	B-18	30,55	60	0,02
B-3	78,1	60	1,24	B-19	16,4	60	0,34
B-4	205,1	60	0,02	B-20	287,1	72	0,24
B-5	98,71	60	0,14	B-21	186	72	0,24
B-6	237	60	0,1	B-22	81,8	72	0,03
B-7	95,9	60	1,08	B-23	138,2	72	0,18
B-8	243,1	60	0,29	B-24	22,2	72	0,16
B-9	160	60	0,12	B-25	72,9	72	0,05
B-10	84	60	0,04	B-26	65,3	72	0,11
B-11	132,5	60	0,75	B-27	74,8	72	0,05
B-12	170,6	60	0,09	B-28	65,52	72	0,05
B-13	108,5	60	0,56	B-29	76,9	72	0,05
B-14	142,87	60	0,05	B-30	941	72	0,67
B-15	103,3	60	0,46	B-31	337,1	72	0,67
B-16	56	60	0,02	B-32	3057,6	72	0,67

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

A partir de la Tabla 4-17 se observa que todas las velocidades se encuentran al interior del máximo descrito en la norma, donde de igual manera en los tramos de la impulsión correspondientes a B-30, B-31 y B-32 se tienen velocidades por sobre el valor recomendado por la Dirección de Obras Hidráulicas.

Continuando con el análisis de la impulsión, se añade la curva de funcionamiento de la bomba la cual actualmente se encuentra instalada en la planta relevadora de Los Llanos, donde a partir de la modelación se obtiene que con la configuración actual de la bomba y diámetros de tuberías es capaz de funcionar con un caudal de 2,74 L/s, mientras que según la Tabla 4-10 se debería elevar un caudal de 7,19 L/s con un tiempo de bombeo de 12 horas. Por lo que al igual que con los sectores anteriores, el sistema de bombeo de la impulsión está subdimensionado para la demanda actual.

4.2 APR Cerrillos de Tamaya

Para realizar el análisis del sistema de APR de Cerrillos de Tamaya se hace necesario en primer lugar la agrupación de arranques por localidades, en este caso se opta por agrupar mediante los 5 sectores antes mencionados, correspondientes a Cerrillos de Tamaya, Santa Cristina, Quebrada Seca, Los Olivos y El Siete. Se realizará el análisis del mismo modo que para el APR Limarí, presentando tanto un análisis a nivel de APR como un análisis de la variación de los parámetros a analizar para cada una de las localidades.

4.2.1 Análisis de la Demanda

La oferta de los sondajes actualmente en funcionamiento es de 12 L/s como caudal máximo instantáneo, sin embargo, la información recopilada indica que el APR solamente cuenta con 7,8 L/s como derechos de aprovechamiento del recurso. Por otro lado, las pruebas de bombeo realizadas a cada uno de los pozos indica un rendimiento máximo de 15,5 L/s y 17 L/s para el Pozo N°1 y Pozo N°2, respectivamente, por lo que utilizando ambos pozos de forma simultánea es posible obtener un caudal de 32,5 L/s.

Para realizar el correcto análisis de las demandas del sistema de APR se realiza el cálculo de caudales a partir de la dotación y de la población que se tiene. Para la dotación del APR se toma en consideración las indicaciones dadas por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), la cual especifica que para los sistemas de agua potable rural que cuenten con sistemas de alcantarillado se debe tener una dotación de 150 L/hab/día.

Una vez determinada la dotación se realiza el cálculo de caudales según la norma NCh. 691, cuyas ecuaciones se encuentran descritas en la sección 2.3.3, donde para efectos de los cálculos realizados, los factores FDMC y FHMC, los cuales están relacionados a las ecuaciones descritas, tienen un valor de 1,5, denominado así en la norma como

valores mínimos para cuando no se cuenta con información necesaria para poder calcularlos, como lo es en el presente caso.

Para poder proyectar los caudales con un horizonte de 20 años, se procede a considerar un crecimiento poblacional del 4%, cuyo valor es el recomendado para zonas fuera de la Zona Central (desde Región de Valparaíso a Región de Ñuble) por la Dirección de Obras Hidráulicas en su Manual de Proyectos de APR, 2019. De modo que, considerando los 1.041 arranques notificados en febrero de 2022, y adoptando una densidad de 4 habitantes por arranque, es posible realizar el cálculo de caudales según la metodología antes mencionada.

Cabe mencionar, a diferencia del APR Limarí, para este APR no se cuenta con los informes sobre la macro-medición del APR, por lo cual no es posible obtener con certeza el porcentaje de pérdidas que existe al interior de la red, sin embargo, se decide por utilizar el mismo porcentaje de pérdidas que para el APR Limarí, considerando un valor conservador del 30%. Se recuerda que el caudal disponible se describe en la sección 3.2.2.1 del presente informe.

Tabla 4-18. Caudales de Distribución con horizonte de 20 años

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]	Q disponible (l/s)	Déficit (l/s)
	Año 2022	1.041	4.164	10,33	15,49	23,24	35,20	-11,96
	Año 2023	1.083	4.331	10,74	16,11	24,17	35,20	-11,03
	Año 2024	1.126	4.504	11,17	16,76	25,13	35,20	-10,07
0	Año 2025	1.171	4.684	11,62	17,43	26,14	35,20	-9,06
1	Año 2026	1.218	4.871	12,08	18,12	27,18	35,20	-8,02
2	Año 2027	1.267	5.066	12,56	18,85	28,27	35,20	-6,93
3	Año 2028	1.317	5.269	13,07	19,60	29,40	35,20	-5,80
4	Año 2029	1.370	5.480	13,59	20,39	30,58	35,20	-4,62
5	Año 2030	1.425	5.699	14,13	21,20	31,80	35,20	-3,40
6	Año 2031	1.482	5.927	14,70	22,05	33,07	35,20	-2,13
7	Año 2032	1.541	6.164	15,29	22,93	34,40	35,20	-0,80
8	Año 2033	1.603	6.410	15,90	23,85	35,77	35,20	0,57
9	Año 2034	1.667	6.667	16,53	24,80	37,20	35,20	2,00
10	Año 2035	1.733	6.933	17,20	25,79	38,69	35,20	3,49
11	Año 2036	1.803	7.211	17,88	26,83	40,24	35,20	5,04
12	Año 2037	1.875	7.499	18,60	27,90	41,85	35,20	6,65
13	Año 2038	1.950	7.799	19,34	29,01	43,52	35,20	8,32
14	Año 2039	2.028	8.111	20,12	30,18	45,26	35,20	10,06
15	Año 2040	2.109	8.435	20,92	31,38	47,07	35,20	11,87
16	Año 2041	2.193	8.773	21,76	32,64	48,96	35,20	13,76

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]	Q disponible (l/s)	Déficit (l/s)
17	Año 2042	2.281	9.124	22,63	33,94	50,91	35,20	15,71
18	Año 2043	2.372	9.489	23,53	35,30	52,95	35,20	17,75
19	Año 2044	2.467	9.868	24,48	36,71	55,07	35,20	19,87
20	Año 2045	2.566	10.263	25,45	38,18	57,27	35,20	22,07

Fuente: Elaboración Propia.

Sin embargo, estos caudales corresponden a un análisis del APR en su totalidad, el cual puede ser individualizado en los 5 sectores antes mencionados, de esta forma es posible observar el crecimiento proyectado para cada una de las localidades por separado, y así poder ver los requerimiento tanto de almacenamiento como de redes por separado. A continuación, se presentan los caudales de distribución para cada una de las localidades.

Tabla 4-19. Caudales de Distribución - Cerrillos de Tamaya

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]
	Año 2022	630	2.520	6,25	9,38	14,06
	Año 2023	655	2.621	6,50	9,75	14,63
	Año 2024	681	2.726	6,76	10,14	15,21
0	Año 2025	709	2.835	7,03	10,55	15,82
1	Año 2026	737	2.948	7,31	10,97	16,45
2	Año 2027	766	3.066	7,60	11,41	17,11
3	Año 2028	797	3.189	7,91	11,86	17,79
4	Año 2029	829	3.316	8,22	12,34	18,51
5	Año 2030	862	3.449	8,55	12,83	19,25
6	Año 2031	897	3.587	8,90	13,34	20,02
7	Año 2032	933	3.730	9,25	13,88	20,82
8	Año 2033	970	3.879	9,62	14,43	21,65
9	Año 2034	1.009	4.035	10,01	15,01	22,51
10	Año 2035	1.049	4.196	10,41	15,61	23,42
11	Año 2036	1.091	4.364	10,82	16,23	24,35
12	Año 2037	1.135	4.538	11,26	16,88	25,33
13	Año 2038	1.180	4.720	11,71	17,56	26,34
14	Año 2039	1.227	4.909	12,17	18,26	27,39
15	Año 2040	1.276	5.105	12,66	18,99	28,49
16	Año 2041	1.327	5.309	13,17	19,75	29,63
17	Año 2042	1.380	5.522	13,69	20,54	30,81
18	Año 2043	1.436	5.742	14,24	21,36	32,05
19	Año 2044	1.493	5.972	14,81	22,22	33,33
20	Año 2045	1.553	6.211	15,40	23,11	34,66

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-20. Caudales de Distribución - Santa Cristina

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]
	Año 2022	143	572	1,42	2,13	3,19
	Año 2023	149	595	1,48	2,21	3,32
	Año 2024	155	619	1,53	2,30	3,45
0	Año 2025	161	643	1,60	2,39	3,59
1	Año 2026	167	669	1,66	2,49	3,73
2	Año 2027	174	696	1,73	2,59	3,88
3	Año 2028	181	724	1,80	2,69	4,04
4	Año 2029	188	753	1,87	2,80	4,20
5	Año 2030	196	783	1,94	2,91	4,37
6	Año 2031	204	814	2,02	3,03	4,54
7	Año 2032	212	847	2,10	3,15	4,72
8	Año 2033	220	881	2,18	3,28	4,91
9	Año 2034	229	916	2,27	3,41	5,11
10	Año 2035	238	952	2,36	3,54	5,31
11	Año 2036	248	991	2,46	3,68	5,53
12	Año 2037	258	1.030	2,55	3,83	5,75
13	Año 2038	268	1.071	2,66	3,99	5,98
14	Año 2039	279	1.114	2,76	4,15	6,22
15	Año 2040	290	1.159	2,87	4,31	6,47
16	Año 2041	301	1.205	2,99	4,48	6,72
17	Año 2042	313	1.253	3,11	4,66	6,99
18	Año 2043	326	1.303	3,23	4,85	7,27
19	Año 2044	339	1.356	3,36	5,04	7,56
20	Año 2045	352	1.410	3,50	5,24	7,87

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-21. Caudales de Distribución - Quebrada Seca

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]
	Año 2022	101	404	1,00	1,50	2,25
	Año 2023	105	420	1,04	1,56	2,34
	Año 2024	109	437	1,08	1,63	2,44
0	Año 2025	114	454	1,13	1,69	2,54
1	Año 2026	118	473	1,17	1,76	2,64
2	Año 2027	123	492	1,22	1,83	2,74
3	Año 2028	128	511	1,27	1,90	2,85
4	Año 2029	133	532	1,32	1,98	2,97
5	Año 2030	138	553	1,37	2,06	3,09
6	Año 2031	144	575	1,43	2,14	3,21
7	Año 2032	150	598	1,48	2,22	3,34
8	Año 2033	155	622	1,54	2,31	3,47
9	Año 2034	162	647	1,60	2,41	3,61

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]
10	Año 2035	168	673	1,67	2,50	3,75
11	Año 2036	175	700	1,74	2,60	3,90
12	Año 2037	182	728	1,80	2,71	4,06
13	Año 2038	189	757	1,88	2,82	4,22
14	Año 2039	197	787	1,95	2,93	4,39
15	Año 2040	205	818	2,03	3,04	4,57
16	Año 2041	213	851	2,11	3,17	4,75
17	Año 2042	221	885	2,20	3,29	4,94
18	Año 2043	230	921	2,28	3,42	5,14
19	Año 2044	239	957	2,37	3,56	5,34
20	Año 2045	249	996	2,47	3,70	5,56

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-22. Caudales de Distribución - Los Olivos

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]
	Año 2022	142	568	1,41	2,11	3,17
	Año 2023	148	591	1,47	2,20	3,30
	Año 2024	154	614	1,52	2,29	3,43
0	Año 2025	160	639	1,58	2,38	3,57
1	Año 2026	166	664	1,65	2,47	3,71
2	Año 2027	173	691	1,71	2,57	3,86
3	Año 2028	180	719	1,78	2,67	4,01
4	Año 2029	187	747	1,85	2,78	4,17
5	Año 2030	194	777	1,93	2,89	4,34
6	Año 2031	202	808	2,01	3,01	4,51
7	Año 2032	210	841	2,09	3,13	4,69
8	Año 2033	219	874	2,17	3,25	4,88
9	Año 2034	227	909	2,26	3,38	5,07
10	Año 2035	236	946	2,35	3,52	5,28
11	Año 2036	246	984	2,44	3,66	5,49
12	Año 2037	256	1.023	2,54	3,81	5,71
13	Año 2038	266	1.064	2,64	3,96	5,94
14	Año 2039	277	1.106	2,74	4,12	6,17
15	Año 2040	288	1.151	2,85	4,28	6,42
16	Año 2041	299	1.197	2,97	4,45	6,68
17	Año 2042	311	1.245	3,09	4,63	6,95
18	Año 2043	324	1.294	3,21	4,82	7,22
19	Año 2044	337	1.346	3,34	5,01	7,51
20	Año 2045	350	1.400	3,47	5,21	7,81

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-23. Caudales de Distribución - El Siete

Año		Arranques	Población	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]
	Año 2022	25	100	0,25	0,37	0,56
	Año 2023	26	104	0,26	0,39	0,58
	Año 2024	27	108	0,27	0,40	0,60
0	Año 2025	28	112	0,28	0,42	0,63
1	Año 2026	29	117	0,29	0,44	0,65
2	Año 2027	30	122	0,30	0,45	0,68
3	Año 2028	32	127	0,31	0,47	0,71
4	Año 2029	33	132	0,33	0,49	0,73
5	Año 2030	34	137	0,34	0,51	0,76
6	Año 2031	36	142	0,35	0,53	0,79
7	Año 2032	37	148	0,37	0,55	0,83
8	Año 2033	38	154	0,38	0,57	0,86
9	Año 2034	40	160	0,40	0,60	0,89
10	Año 2035	42	167	0,41	0,62	0,93
11	Año 2036	43	173	0,43	0,64	0,97
12	Año 2037	45	180	0,45	0,67	1,00
13	Año 2038	47	187	0,46	0,70	1,05
14	Año 2039	49	195	0,48	0,72	1,09
15	Año 2040	51	203	0,50	0,75	1,13
16	Año 2041	53	211	0,52	0,78	1,18
17	Año 2042	55	219	0,54	0,82	1,22
18	Año 2043	57	228	0,57	0,85	1,27
19	Año 2044	59	237	0,59	0,88	1,32
20	Año 2045	62	246	0,61	0,92	1,38

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.2 Análisis del Almacenamiento

Otro de los puntos a analizar es el almacenamiento que actualmente tiene el APR y que se describe en la sección 3.2.2.3, para ello se calcula el volumen de regulación, que corresponde al volumen que se debiera tener en los estanques al interior del APR, el cual es calculado según las recomendaciones descritas en el Manual de Proyectos de APR, considerando un 20% del volumen del día de máximo consumo, por lo cual se utiliza el caudal máximo diario tabulado anteriormente. Del mismo modo que para los caudales de distribución, se presenta tanto el análisis del APR como un todo, así también como el análisis de cada uno de los sectores.

Un punto a analizar dentro del almacenamiento es el caudal de incendio, el cual corresponde considerar cuando el sistema de APR contiene ciertas condiciones, en particular se requiere la instalación de un grifo, y, por tanto, considerar un caudal de

incendio cuando el APR corresponde al Segmento Medio según lo descrito en la Ley 20.998, y además posee sobre 400 viviendas en su interior. Dada la naturaleza del APR Cerrillos de Tamaya, con sus actuales 1.041 arranques, este ya cuenta con grifos actualmente instalados, por tanto, se debe de considerar un caudal de incendio, el cual debe cubrir un siniestro de 2 horas de duración con un caudal de 16 L/s, lo que se traduce en un volumen adicional de 115 m³. Dicho esto, se procede a presentar el análisis correspondiente.

Tabla 4-24. Análisis del Almacenamiento - APR Cerrillos de Tamaya

		Volumen Regulación [m3]	Volumen de Incendio [m3]	Vol Total requerido [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
	Año 2022	268	115	383	420	-37
	Año 2023	278	115	393	420	-27
	Año 2024	290	115	405	420	-15
0	Año 2025	301	115	416	420	-4
1	Año 2026	313	115	428	420	8
2	Año 2027	326	115	441	420	21
3	Año 2028	339	115	454	420	34
4	Año 2029	352	115	467	420	47
5	Año 2030	366	115	481	420	61
6	Año 2031	381	115	496	420	76
7	Año 2032	396	115	511	420	91
8	Año 2033	412	115	527	420	107
9	Año 2034	429	115	544	420	124
10	Año 2035	446	115	561	420	141
11	Año 2036	464	115	579	420	159
12	Año 2037	482	115	597	420	177
13	Año 2038	501	115	616	420	196
14	Año 2039	521	115	636	420	216
15	Año 2040	542	115	657	420	237
16	Año 2041	564	115	679	420	259
17	Año 2042	587	115	702	420	282
18	Año 2043	610	115	725	420	305
19	Año 2044	634	115	749	420	329
20	Año 2045	660	115	775	420	355

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de la Tabla 4-24, es posible observar que al año 2022 el APR no presenta un déficit de almacenamiento, inclusive, mantiene un volumen de 37 m³ de almacenamiento adicional a lo analizado. Sin embargo, esto cambia con el paso del tiempo, donde al año 2026 se comienza a percibir un déficit del almacenamiento de 8 m³, el cual aumenta a un volumen de 355 m³ para el año 2045.

Tal como se menciona anteriormente, se presentan los análisis por separado para cada uno de los 5 sectores. Cabe recalcar, que tanto para el sector de Quebrada Seca como de El Siete presentan estanques propios en sus cercanías, sin embargo, los sectores de Santa Cristina y Los Olivos son abastecidos mediante estanques ubicados en Cerrillos de Tamaya, en particular, el sector de Santa Cristina está abastecido por el estanque de 50 m³, mientras que el resto de Cerrillos de Tamaya es abastecido mediante los estanques de 100 m³ y 200 m³, finalmente, el sector de Los Olivos es abastecido mediante un estanque metálico elevado de 20 m³, ubicado en la parte sur de la zona de Cerrillos de Tamaya. Dicho esto, no se debe olvidar que toda el agua que circula a través del APR proviene de una misma fuente, la cual cuenta con un único sistema de impulsión hasta los estanques de Cerrillos de Tamaya, siendo el resto de la distribución solamente por gravedad.

Tabla 4-25. Análisis del Almacenamiento - Cerrillos de Tamaya

Año		Volumen Regulación [m3]	Volumen de Incendio [m3]	Vol Total requerido [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
	Año 2022	162	115	277	250	27
	Año 2023	168	115	283	250	33
	Año 2024	175	115	290	250	40
0	Año 2025	182	115	297	250	47
1	Año 2026	190	115	305	250	55
2	Año 2027	197	115	312	250	62
3	Año 2028	205	115	320	250	70
4	Año 2029	213	115	328	250	78
5	Año 2030	222	115	337	250	87
6	Año 2031	231	115	346	250	96
7	Año 2032	240	115	355	250	105
8	Año 2033	249	115	364	250	114
9	Año 2034	259	115	374	250	124
10	Año 2035	270	115	385	250	135
11	Año 2036	281	115	396	250	146
12	Año 2037	292	115	407	250	157
13	Año 2038	303	115	418	250	168
14	Año 2039	316	115	431	250	181
15	Año 2040	328	115	443	250	193
16	Año 2041	341	115	456	250	206
17	Año 2042	355	115	470	250	220
18	Año 2043	369	115	484	250	234
19	Año 2044	384	115	499	250	249
20	Año 2045	399	115	514	250	264

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-26. Análisis del Almacenamiento - Santa Cristina

Año		Volumen Regulación [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
	Año 2022	37	100	-63
	Año 2023	38	100	-62
	Año 2024	40	100	-60
0	Año 2025	41	100	-59
1	Año 2026	43	100	-57
2	Año 2027	45	100	-55
3	Año 2028	47	100	-53
4	Año 2029	48	100	-52
5	Año 2030	50	100	-50
6	Año 2031	52	100	-48
7	Año 2032	54	100	-46
8	Año 2033	57	100	-43
9	Año 2034	59	100	-41
10	Año 2035	61	100	-39
11	Año 2036	64	100	-36
12	Año 2037	66	100	-34
13	Año 2038	69	100	-31
14	Año 2039	72	100	-28
15	Año 2040	74	100	-26
16	Año 2041	77	100	-23
17	Año 2042	81	100	-19
18	Año 2043	84	100	-16
19	Año 2044	87	100	-13
20	Año 2045	91	100	-9

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-27. Análisis del Almacenamiento - Quebrada Seca

Año		Volumen Regulación [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
	Año 2022	26	50	-24
	Año 2023	27	50	-23
	Año 2024	28	50	-22
0	Año 2025	29	50	-21
1	Año 2026	30	50	-20
2	Año 2027	32	50	-18
3	Año 2028	33	50	-17
4	Año 2029	34	50	-16
5	Año 2030	36	50	-14
6	Año 2031	37	50	-13

Año		Volumen Regulación [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
7	Año 2032	38	50	-12
8	Año 2033	40	50	-10
9	Año 2034	42	50	-8
10	Año 2035	43	50	-7
11	Año 2036	45	50	-5
12	Año 2037	47	50	-3
13	Año 2038	49	50	-1
14	Año 2039	51	50	1
15	Año 2040	53	50	3
16	Año 2041	55	50	5
17	Año 2042	57	50	7
18	Año 2043	59	50	9
19	Año 2044	62	50	12
20	Año 2045	64	50	14

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-28. Análisis del Almacenamiento - Los Olivos

Año		Volumen Regulación [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
	Año 2022	37	50	-13
	Año 2023	38	50	-12
	Año 2024	39	50	-11
0	Año 2025	41	50	-9
1	Año 2026	43	50	-7
2	Año 2027	44	50	-6
3	Año 2028	46	50	-4
4	Año 2029	48	50	-2
5	Año 2030	50	50	0
6	Año 2031	52	50	2
7	Año 2032	54	50	4
8	Año 2033	56	50	6
9	Año 2034	58	50	8
10	Año 2035	61	50	11
11	Año 2036	63	50	13
12	Año 2037	66	50	16
13	Año 2038	68	50	18
14	Año 2039	71	50	21
15	Año 2040	74	50	24
16	Año 2041	77	50	27
17	Año 2042	80	50	30

Año		Volumen Regulación [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
18	Año 2043	83	50	33
19	Año 2044	87	50	37
20	Año 2045	90	50	40

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4-29. Análisis del Almacenamiento - El Siete

Año		Volumen Regulación [m3]	Capacidad actual [m3]	Déficit [m3]
	Año 2022	6	20	-14
	Año 2023	7	20	-13
	Año 2024	7	20	-13
0	Año 2025	7	20	-13
1	Año 2026	8	20	-12
2	Año 2027	8	20	-12
3	Año 2028	8	20	-12
4	Año 2029	8	20	-12
5	Año 2030	9	20	-11
6	Año 2031	9	20	-11
7	Año 2032	10	20	-10
8	Año 2033	10	20	-10
9	Año 2034	10	20	-10
10	Año 2035	11	20	-9
11	Año 2036	11	20	-9
12	Año 2037	12	20	-8
13	Año 2038	12	20	-8
14	Año 2039	13	20	-7
15	Año 2040	13	20	-7
16	Año 2041	14	20	-6
17	Año 2042	14	20	-6
18	Año 2043	15	20	-5
19	Año 2044	15	20	-5
20	Año 2045	16	20	-4

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de la tabla Tabla 4-25, se observa que actualmente en el año de estudio (2022) el sector se encuentra con un déficit de 27 m³ en cuanto al almacenamiento, el cual aumenta a 264 m³ al último año del horizonte proyectado (2045). Por otro lado, la Tabla 4-26 corresponde al análisis del almacenamiento de Santa Cristina, donde se observa que, dentro de todo el horizonte de análisis, el sector no presenta un déficit. La tabla Tabla 4-27 presenta el análisis de Quebrada Seca, el cual presentará un déficit de

almacenamiento desde el año 14 del estudio realizado, correspondiente al año 2039, el cual aumenta desde 1 m³ hasta 14 m³ para el año 2045. Para el sector de Los Olivos, en la Tabla 4-28, se presenta un déficit del almacenamiento desde el año 6 del estudio, correspondiente a 2031 comenzando con 2 m³ de déficit, el cual aumenta a 40 m³ para el año 2045. Finalmente, para el sector El Siete presentado en la Tabla 4-29, se observa que no presentará un déficit de almacenamiento en los años del análisis.

4.2.3 Análisis de la Impulsión

Otro de los puntos a analizar del funcionamiento del APR corresponde al sistema de impulsión, sin embargo, debido a las actualizaciones recientes de la impulsión, como lo es el sistema de tuberías por el mejoramiento realizado el año 2019 y la actualización de las bombas durante el año 2022, solo se realizará el análisis de los caudales a impulsar considerando pérdidas al interior de la red y tiempos de bombeo, más no un análisis mediante modelación para definir tuberías y bombas.

Para los sistemas de impulsión se considera el tiempo de bombeo máximo descrito por la DOH en su Manual de APR, el cual consiste en un tiempo máximo de bombeo de 18 horas, sin embargo, adicional a esto se presentan los caudales de impulsión para un tiempo de bombeo de 12 horas.

Tabla 4-30. Caudales a impulsar y tiempos de bombeo - APR Cerrillos de Tamaya

Año		Qmaxd a elevar [l/s]	Elevar Q [l/s] en 12 horas	Elevar Q [l/s] en 18 horas	Diseño [l/s]	Tiempo bombeo [Hr]
	Año 2022	15,49	31,0	20,7	-	-
	Año 2023	16,11	32,2	21,5	-	-
	Año 2024	16,76	33,5	22,3	-	-
0	Año 2025	17,43	34,9	23,2	34,9	5,5
1	Año 2026	18,12	36,2	24,2	36,2	5,7
2	Año 2027	18,85	37,7	25,1	37,7	5,9
3	Año 2028	19,60	39,2	26,1	39,2	6,2
4	Año 2029	20,39	40,8	27,2	40,8	6,4
5	Año 2030	21,20	42,4	28,3	42,4	6,7
6	Año 2031	22,05	44,1	29,4	44,1	6,9
7	Año 2032	22,93	45,9	30,6	45,9	7,2
8	Año 2033	23,85	47,7	31,8	47,7	7,5
9	Año 2034	24,80	49,6	33,1	49,6	7,8
10	Año 2035	25,79	51,6	34,4	51,6	8,1
11	Año 2036	26,83	53,7	35,8	53,7	8,4
12	Año 2037	27,90	55,8	37,2	55,8	8,8
13	Año 2038	29,01	58,0	38,7	58,0	9,1
14	Año 2039	30,18	60,4	40,2	60,4	9,5

Año		Qmaxd a elevar [l/s]	Elevar Q [l/s] en 12 horas	Elevar Q [l/s] en 18 horas	Diseño [l/s]	Tiempo bombeo [Hr]
15	Año 2040	31,38	62,8	41,8	62,8	9,9
16	Año 2041	32,64	65,3	43,5	65,3	10,3
17	Año 2042	33,94	67,9	45,3	67,9	10,7
18	Año 2043	35,30	70,6	47,1	70,6	11,1
19	Año 2044	36,71	73,4	49,0	73,4	11,5
20	Año 2045	38,18	76,4	50,9	76,4	12,0

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla es posible observar las 2 opciones de tiempos de bombeo para la impulsión al interior del APR, la primera de ellas y la que se considerará en el futuro diseño corresponde a un funcionamiento de 12 horas diarias para el año 20, mientras que la segunda opción corresponde al funcionamiento del máximo de 18 horas diarias, valor máximo descrito por la Dirección de Obras Hidráulicas.

4.2.4 Análisis del Funcionamiento

Para realizar el análisis del funcionamiento actual del APR se procede a modelar la situación actual, para ello se utiliza el programa de modelación de tuberías EPANET, programa el cual es utilizado para el diseño de redes de agua potable, y comúnmente utilizado en proyectos de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) para realizar modelaciones en los proyectos de mejoramiento de sistemas de agua potable rural.

Para modelar el sistema actual en primer lugar se utiliza una imagen de fondo del sector, el cual ayuda a comprender de mejor manera la disposición de tuberías al interior del APR, sin embargo, esto solo corresponde a una ayuda visual y en algunos casos no representa dimensiones a escala. Los datos de entrada que requiere la modelación corresponden a los nodos donde existe alguna singularidad al interior de la red, ya sean tee's, puntos de cota alta, puntos de cota baja, cambios de diámetro, etc. Para ubicar estos nodos se utilizan las singularidades observadas a partir de los trazados del sistema de distribución mostrados en las Figura 3-15, Figura 3-16, Figura 3-17, Figura 3-18 y Figura 3-19, obteniendo las cotas y longitudes de tuberías según el levantamiento topográfico realizado el año 2016 por la consultora "DAV Ingeniería y Consultoría Spa".

Finalmente, para la asignación de la demanda, se utiliza el caudal descrito por la norma Chile NCh 691, donde se especifica que "Las redes se deben diseñar para la condición de máximo caudal entre el consumo máximo horario y el consumo máximo diario más la

demanda de agua para incendio, cumpliendo con las presiones indicadas”, cuya comparación se realiza con los datos tabulados en la Tabla 4-24 para el año 2022, determinando así que el caudal a utilizar corresponde al caudal máximo diario más el caudal de incendio. Por otro lado, se utiliza la imagen satelital de Google Earth correspondiente a la fecha de octubre de 2022, identificando la cantidad de arranques ubicados por tramos y asignando el porcentaje de la demanda descrita en las Tabla 4-19,

Tabla **4-20**, Tabla 4-21, Tabla 4-22 y Tabla 4-23, en función de la cantidad de arranques total del sector y la cantidad de arranques ubicadas en el tramo.

Por la naturaleza del APR, este no puede individualizar su distribución por sectores para la modelación, es por esto que se debe de realizar una modelación general que incluya todos los sectores y tramos correspondientes al APR, sin embargo, la asignación de la demanda sí se realiza por los sectores descritos anteriormente. Por otro lado, al interior de las redes de distribución es posible encontrar tanto tuberías de PVC como de HDPE, donde para efectos del trabajo realizado se consideran los diámetros internos para cada una, utilizando catálogos respectivos para cada materialidad, donde por su parte para el PVC se utiliza el catálogo de la empresa “PVC Vinilit” mostrado en la Figura 4-2, mientras que para las tuberías de HDPE se utiliza el catálogo de la empresa “HDPE Tigre” mostrado en la Figura 7-1.

A modo de resumen, el sector de Cerrillos de Tamaya, el cual es el de mayor tamaño entre todos los sectores del APR se caracteriza por contar con un total de 630 arranques a la fecha en la cual se realizó la toma de datos, la cual corresponde a febrero 2022. De forma adicional, el sector alimenta mediante los estanques ubicados en su interior, a los estanques ubicados en Quebrada Seca y El Siete, sin embargo, este abastecimiento no es llevado a cabo mediante plantas relevadora, sino más bien por gravedad debido a la cota de los estanques. Al interior del sector se encuentran tuberías de distribución correspondientes a PVC C-10 de diámetros nominales 63 mm, 75 mm y 110 mm.

Con respecto al sector de Santa Cristina, este cuenta con un total de 143 arranques en su interior, cuya distribución es alimentada directamente de los estanques ubicados en Cerrillos de Tamaya, donde en particular, corresponde a una alimentadora que cubre una longitud aproximada de 5.200 metros entre ambas localidades, la cual está compuesta por una tubería de HDPE PN10 con diámetro de 90 mm, donde de manera adicional a esto se encuentra una caseta de cloración entre ambas localidades. En Santa Cristina se pueden encontrar tanto tuberías de 63 mm y de 75 mm, las cuales son las encargadas de abastecer cada una de las viviendas.

Para el sector de Quebrada Seca, esta cuenta con un total de 101 arranques, en el cual se cuenta con un estanque semienterrado de hormigón con un volumen de 50 m³, el cual es abastecido a partir de tuberías provenientes de Santa Cristina de PVC C-10 de 63 mm, teniendo una longitud total aproximada de 3.000 metros, por tanto, al igual que la

localidad anterior, este estanque también es alimentado por los estanques en Cerrillos de Tamaya. Por otro lado, la red de distribución de Quebrada Seca desde el estanque corresponde a tuberías de PVC C-10 de 63 mm en su totalidad.

Para Los Olivos, se cuenta con 142 arranques, este sector se abastece a partir de los estanques de Cerrillos de Tamaya mediante tuberías de 75 mm con una longitud entre localidades de aproximadamente 2.700 metros. Una vez llegada la tubería al sector, los diámetros de la distribución al interior de este cambian en su totalidad a 63 mm, manteniendo su materialidad de PVC C-10.

Finalmente, para el sector El Siete se tiene un total de 25 arranques, donde de manera adicional se cuenta con un estanque elevado a 25 metros de altura con un volumen de 20 m³, el cual es abastecido por tuberías provenientes de Los Olivos correspondientes a PVC C-10 de 63 mm, con una longitud total aproximada de 2.700 metros. A partir del estanque de almacenamiento, la red ubicada en el sector corresponde en su totalidad a PVC C-10 de 63 mm.

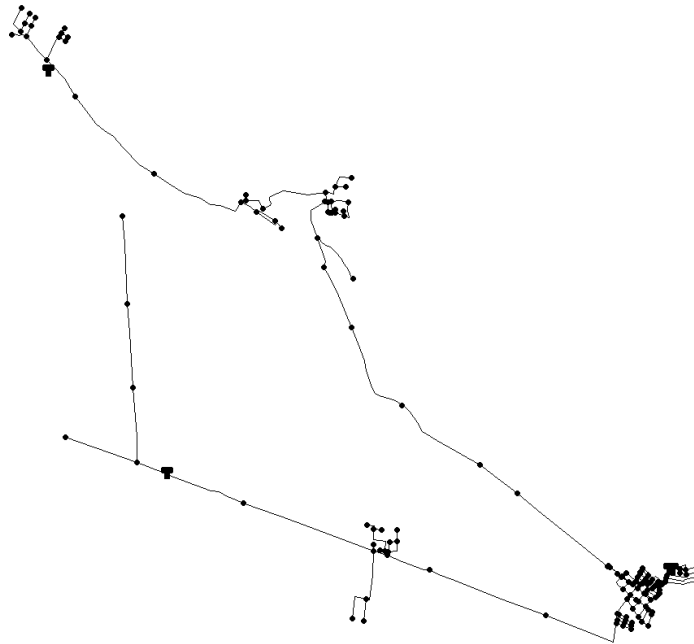
A continuación, se presenta la imagen general de la modelación, en la cual se representan cada uno de los sectores que abastece el APR Cerrillos de Tamaya, en particular en la Figura 4-12 se muestra la modelación con la imagen de fondo donde se puede visualizar de mejor manera el emplazamiento, sin embargo, esta imagen es solo referencial más no a escala, por otro lado, la Figura 4-13 presenta la totalidad de la red sin fondo, mostrando todos los tramos y nodos que forman la red de distribución. De manera adicional en el Anexo F se presenta la nomenclatura utilizada para los nodos y tramos de tubería a utilizar en la modelación.

Figura 4-12. Esquema de la red de distribución - APR Cerrillos de Tamaya



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-13. Esquema de la red de distribución (sin fondo) - APR Cerrillos de Tamaya

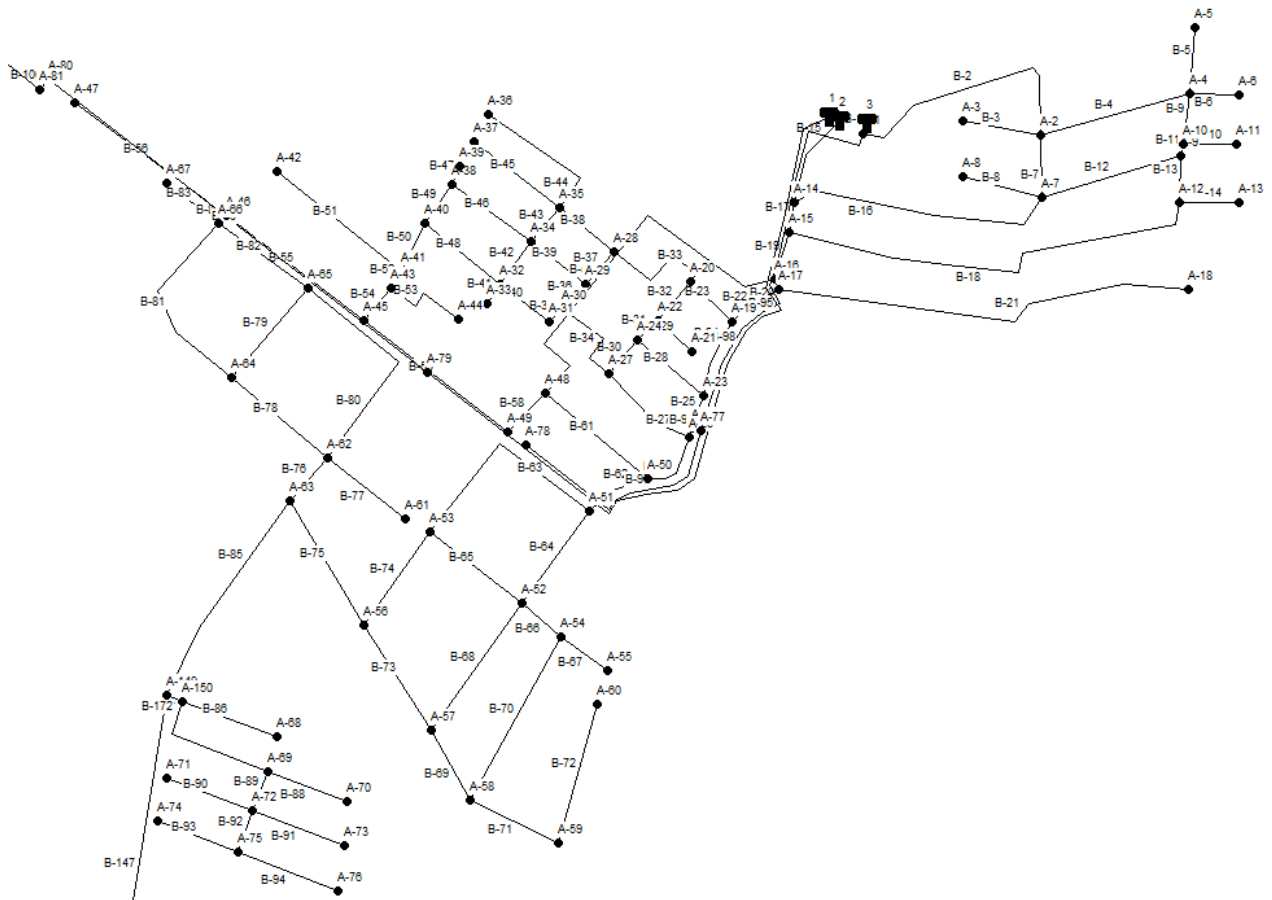


Fuente: Elaboración Propia.

El detalle de la red, los cuales corresponden a los nodos y los tramos de tuberías junto con su nomenclatura correspondiente, pueden ser visualizados en el Anexo F.

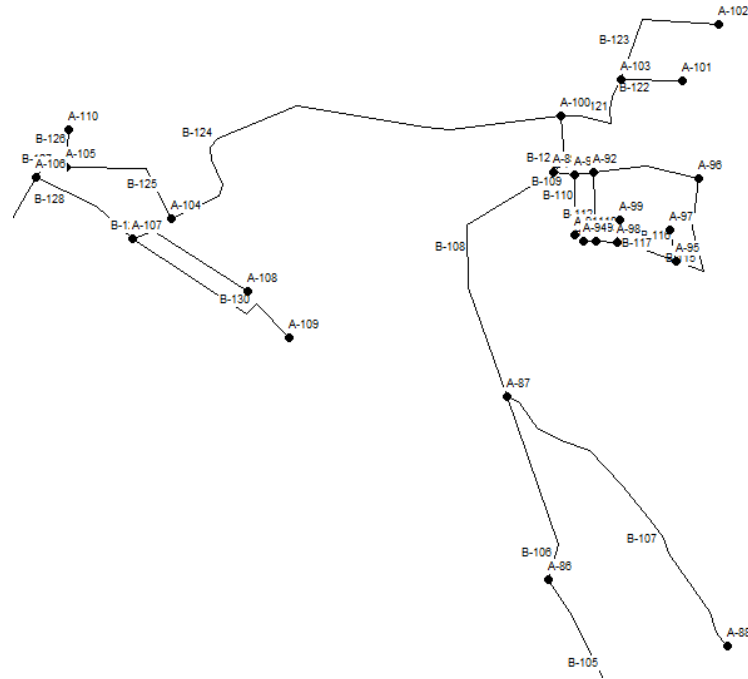
Para completar el análisis se utilizaron un total de 151 nodos y 173 tramos de tubería al interior de toda la red. A continuación, se presentan los esquemas con la numeración de nodos y de tramos para identificar luego en los resultados el sector en cuestión.

Figura 4-14. Esquema de la red de distribución - Cerrillos de Tamaya



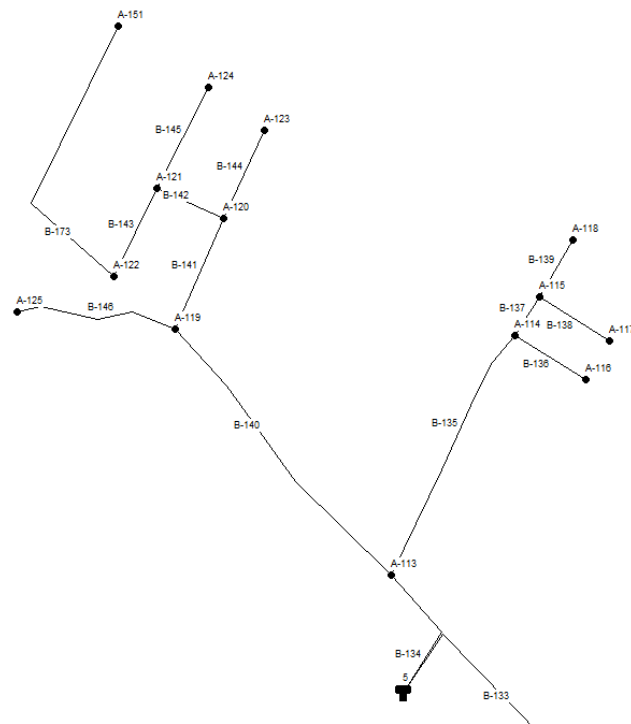
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-15. Esquema de la red de distribución - Santa Cristina



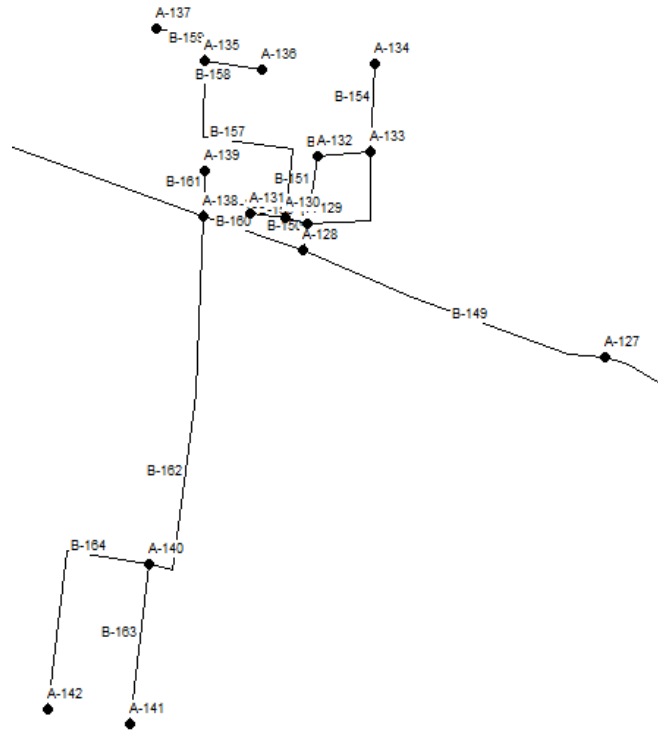
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-16. Esquema de la red de distribución - Quebrada Seca



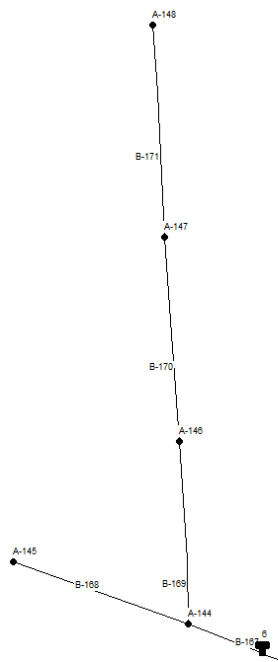
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-17. Esquema de la red de distribución - Los Olivos



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4-18. Esquema de la red de distribución - El Siete



Fuente: Elaboración Propia.

Una vez realizado el esquema es posible realizar la modelación y así obtener los resultados del funcionamiento, donde los principales resultados a analizar corresponden a las presiones en los nodos del sistema de distribución, cuyos valores deben estar en el rango descrito por la norma NCh 691, en donde se especifica una presión mínima de 15 m.c.a. y una presión máxima de 70 m.c.a., adicional a esto se encuentran las velocidades que se deben obtener en la red, la cual tiene un valor máximo de 3 m/s. A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la modelación realizada.

Tabla 4-31. Resultados de Presiones - APR Cerrillos de Tamaya

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	327	0	6,97	A-76	280,6	0,25	42,51
A-2	301	0,09	30,26	A-77	287,5	0	43,15
A-3	313	0,09	18,26	A-78	282,8	0	47,85
A-4	307	0,19	23,62	A-79	282,5	0	43,73
A-5	309	0,09	21,61	A-80	279,8	0	44,63
A-6	315	0,09	15,61	A-81	279,8	0	44,59
A-7	301	0,06	29,74	A-82	263,5	0	44,99
A-8	315	0,1	15,73	A-83	256,5	0	45,95
A-9	303	0,24	27,51	A-84	222	0	67,45
A-10	304	0,07	26,52	A-85	207	0	69,5
A-11	315	0,09	15,52	A-86	196	0	71,45
A-12	300	0,22	30,42	A-87	185	0	78,39
A-13	313	0,09	17,42	A-88	198	0,16	65,37
A-14	304	0,18	26	A-89	193	0,13	64,74
A-15	295	0,4	34,99	A-90	194	0,06	63,71
A-16	293	0,04	36,97	A-91	200	0,18	57,7
A-17	293	0	36,98	A-92	195	0,06	62,69
A-18	293	0,36	36,84	A-93	208,5	0,1	49,14
A-19	289,5	0	40,55	A-94	205	0,04	52,64
A-20	288	0,07	41,95	A-95	211	0,18	46,63
A-21	289	0,07	40,98	A-96	205	0,09	52,65
A-22	287,5	0,04	42,48	A-97	208,5	0,07	49,13
A-23	287,5	0,1	42,73	A-98	209	0,07	48,63
A-24	287,5	0,06	42,51	A-99	204	0,06	53,63
A-25	287,3	0,03	43,29	A-100	191,5	0,07	61,71
A-26	287,2	0	43,25	A-101	191	0,06	62,19
A-27	285,4	0,27	44,6	A-102	188	0,04	65,19
A-28	285,7	0	43,83	A-103	190	0,07	63,19
A-29	284,8	0,03	44,71	A-104	183,2	0,19	57,28
A-30	284,3	0,03	45,23	A-105	181	0,09	56,09

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-31	284	0,01	45,5	A-106	180,9	0,03	55,63
A-32	283	0,15	46,39	A-107	183,2	0,04	53,29
A-33	283,3	0,06	46,09	A-108	186	0,06	50,49
A-34	283,7	0,12	45,69	A-109	187,5	0,13	48,97
A-35	284,5	0,12	44,89	A-110	180,8	0,03	56,29
A-36	284,2	0,45	45,11	A-111	178	0,07	47,49
A-37	283,6	0,33	45,76	A-112	168,5	0	24
A-38	282,8	0,24	46,47	A-113	155,2	0,15	22,56
A-39	283,2	0,06	46,07	A-114	151,7	0,06	25,98
A-40	282,3	0,06	46,95	A-115	151,5	0,03	26,17
A-41	282	0,04	47,11	A-116	152,3	0,09	25,37
A-42	281	0,3	48,09	A-117	152,2	0,09	25,47
A-43	282	0,01	47,09	A-118	155	0,04	22,67
A-44	283,2	0,13	45,88	A-119	153	0,03	23,77
A-45	282	0,07	47,07	A-120	150,8	0,31	25,64
A-46	280,8	0,13	46,26	A-121	150	0,15	26,36
A-47	279,9	0,16	47,14	A-122	153	0,16	23,33
A-48	283,5	0,06	46,16	A-123	149	0,06	27,44
A-49	282,8	0,09	46,83	A-124	148	0,16	28,35
A-50	284,5	0,25	45,14	A-125	155	0,03	21,77
A-51	282,9	0,04	45,84	A-126	275,6	0	39,92
A-52	282,5	0,19	45,69	A-127	257	0	48,37
A-53	281,9	0,09	46,28	A-128	257,5	0,18	39,54
A-54	283,8	0,06	44,35	A-129	257	0,03	39,97
A-55	287,5	0,09	40,65	A-130	259,5	0,03	37,42
A-56	281,4	0,07	46,45	A-131	262,5	0,06	34,42
A-57	281,5	0,12	46,53	A-132	256,5	0,16	40,44
A-58	281,6	0,04	46,45	A-133	252	0,18	44,93
A-59	282,3	0,04	45,73	A-134	251,5	0,18	45,42
A-60	286	0,3	42,02	A-135	265,5	0,37	31,03
A-61	281,8	0,09	44,97	A-136	263,5	0,19	33,02
A-62	281,4	0,1	45,37	A-137	265,2	0,04	31,33
A-63	280,9	0,1	45,78	A-138	266,3	0,1	29,96
A-64	280,9	0,21	45,95	A-139	266,3	0,12	29,96
A-65	281,7	0,07	45,16	A-140	267	0,3	29,04
A-66	280,8	0,28	46,16	A-141	268	0,04	28,04
A-67	280,6	0,07	46,36	A-142	268	0,04	28,03
A-68	280,5	0,06	42,89	A-143	244	0,07	49,73

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-69	281,3	0,24	41,87	A-144	254	0,07	38,35
A-70	281,3	0,09	41,87	A-145	243,3	0,06	49,04
A-71	281,2	0,21	41,92	A-146	248,2	0,09	44
A-72	281	0,06	42,13	A-147	242	0,1	50,12
A-73	281,1	0,21	42,02	A-148	232,8	0,04	59,32
A-74	280,3	0,22	42,81	A-149	280	0	43,41
A-75	280,5	0,06	42,62	A-150	280	0	43,39
				A-151	145	0,13	31,31

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Tabla 4-32. Resultado de Velocidades - APR Cerrillos de Tamaya

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-1	2	104,7	11,83	1,37	B-87	123	72	1,34	0,33
B-2	257	72	-3,53	0,87	B-88	67	72	0,09	0,02
B-3	75	60	0,09	0,03	B-89	40	72	1,01	0,25
B-4	156	60	1,32	0,47	B-90	85	72	0,21	0,05
B-5	56	60	0,09	0,03	B-91	83	72	0,21	0,05
B-6	53	60	0,09	0,03	B-92	40	72	0,53	0,13
B-7	57	60	2,03	0,72	B-93	83	72	0,22	0,05
B-8	94	60	0,1	0,04	B-94	90	72	0,25	0,06
B-9	42	60	0,95	0,34	B-95	401	104,7	8,29	0,96
B-10	60	60	0,09	0,03	B-96	8	104,7	8,29	0,96
B-11	9	60	0,79	0,28	B-97	235	104,7	0	0
B-12	152	60	0,77	0,27	B-98	712	104,7	5,52	0,64
B-13	51	72	1,31	0,32	B-99	465	104,7	5,52	0,64
B-14	69	60	0,09	0,03	B-100	9	104,7	5,52	0,64
B-15	61	104,7	0,26	0,03	B-101	1450	84,6	5,52	0,98
B-16	247	60	-1,11	0,39	B-102	550	84,6	5,52	0,98
B-17	57	104,7	1,18	0,14	B-103	1185	84,6	5,52	0,98
B-18	424	72	-1	0,25	B-104	1180	84,6	5,52	0,98
B-19	31	104,7	1,79	0,21	B-105	825	84,6	5,52	0,98
B-20	23	72	-0,57	0,14	B-106	370	84,6	5,52	0,98
B-21	382	60	0,36	0,13	B-107	694	72	0,16	0,04
B-22	80	72	-0,93	0,23	B-108	544	84,6	5,36	0,95
B-23	60	60	0,83	0,29	B-109	39	72	0,91	0,22
B-24	63	72	-1,76	0,43	B-110	122	60	0,18	0,06
B-25	48	72	-2,91	0,71	B-111	40	72	0,67	0,16

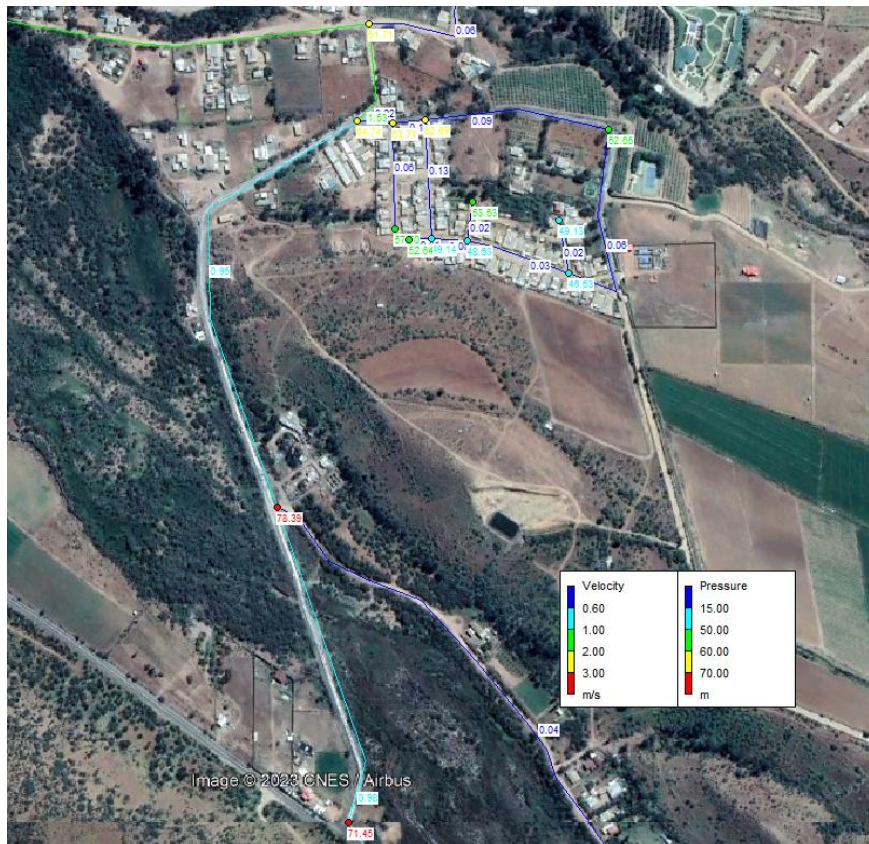
Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-26	6	72	5,36	1,32	B-112	139	60	0,36	0,13
B-27	105	60	1,35	0,48	B-113	18	60	0,04	0,01
B-28	83	60	1,05	0,37	B-114	215	60	0,25	0,09
B-29	54	60	-0,07	0,02	B-115	216	60	0,16	0,06
B-30	51	60	-0,32	0,11	B-116	67	60	0,07	0,02
B-31	26	60	0,67	0,24	B-117	117	60	-0,09	0,03
B-32	39	60	0,56	0,2	B-118	43	60	0,06	0,02
B-33	101	60	1,32	0,47	B-119	44	60	-0,22	0,08
B-34	101	60	1,4	0,49	B-120	122	60	4,32	1,53
B-35	19	60	-0,87	0,31	B-121	200	60	0,17	0,06
B-36	31	60	0,5	0,18	B-122	129	60	0,06	0,02
B-37	43	60	-0,4	0,14	B-123	282	60	0,04	0,01
B-38	65	60	0,92	0,32	B-124	926	72	4,08	1
B-39	61	60	0,87	0,31	B-125	270	72	3,89	0,95
B-40	56	60	0,86	0,3	B-126	86	60	0,03	0,01
B-41	28	60	0,06	0,02	B-127	47	72	3,77	0,93
B-42	50	60	-0,11	0,04	B-128	219	60	0,23	0,08
B-43	42	60	-0,02	0,01	B-129	272	60	0,06	0,02
B-44	142	60	0,45	0,16	B-130	391	60	0,13	0,05
B-45	110	60	0,33	0,12	B-131	1062	72	3,51	0,86
B-46	105	60	0,66	0,23	B-132	1355	60	3,44	1,22
B-47	21	60	0,06	0,02	B-133	575	60	3,44	1,22
B-48	93	60	0,76	0,27	B-134	142	60	1,49	0,53
B-49	51	60	0,36	0,13	B-135	315	60	0,31	0,11
B-50	52	60	1,06	0,37	B-136	87	60	0,09	0,03
B-51	156	72	0,3	0,07	B-137	53	60	0,16	0,06
B-52	18	60	0,72	0,25	B-138	87	60	0,09	0,03
B-53	83	60	0,13	0,05	B-139	102	60	0,04	0,01
B-54	43	72	0,58	0,14	B-140	380	60	1,03	0,36
B-55	168	60	2,34	0,83	B-141	141	60	0,97	0,34
B-56	189	60	0,16	0,06	B-142	83	60	0,6	0,21
B-57	405	104,7	2,32	0,27	B-143	120	60	0,29	0,1
B-58	50	104,7	1,93	0,22	B-144	127	60	0,06	0,02
B-59	177	72	1,84	0,45	B-145	155	60	0,16	0,06
B-60	61	72	4,01	0,98	B-146	170	60	0,03	0,01
B-61	128	72	-0,33	0,08	B-147	1165	72	2,78	0,68
B-62	65	72	4,09	1	B-148	1500	72	2,78	0,68

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-63	213	72	1,67	0,41	B-149	506	60	2,78	0,98
B-64	108	72	2,38	0,58	B-150	44	72	1,24	0,3
B-65	108	72	0,27	0,07	B-151	128	60	0,3	0,1
B-66	51	72	0,89	0,22	B-152	90	60	0,14	0,05
B-67	59	72	0,09	0,02	B-153	249	60	0,22	0,08
B-68	146	72	1,04	0,25	B-154	151	60	0,18	0,06
B-69	83	72	-0,36	0,09	B-155	43	60	0,69	0,24
B-70	182	72	-0,74	0,18	B-156	46	60	0,06	0,02
B-71	77	72	0,34	0,08	B-157	402	60	0,6	0,21
B-72	145	72	0,3	0,07	B-158	93	60	0,19	0,07
B-73	113	72	1,27	0,31	B-159	125	60	0,04	0,01
B-74	104	72	-1,84	0,45	B-160	177	60	1,36	0,48
B-75	146	72	3,05	0,75	B-161	61	60	0,12	0,04
B-76	57	72	-1,23	0,3	B-162	553	60	0,38	0,13
B-77	114	72	0,09	0,02	B-163	140	60	0,04	0,01
B-78	116	72	-0,81	0,2	B-164	215	60	0,04	0,01
B-79	115	72	-0,3	0,07	B-165	1695	60	0,76	0,27
B-80	230	72	-0,61	0,15	B-166	985	60	0,69	0,24
B-81	207	72	-0,72	0,18	B-167	407	60	0,36	0,13
B-82	104	72	-0,98	0,24	B-168	950	60	0,06	0,02
B-83	58	72	0,07	0,02	B-169	937	60	0,23	0,08
B-84	10	60	-2,05	0,73	B-170	1100	60	0,14	0,05
B-85	227	72	4,18	1,03	B-171	1150	60	0,04	0,01
B-86	58	72	-0,06	0,01	B-172	14	72	1,4	0,34
					B-173	345	60	0,13	0,05

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

En las Tabla 4-31 se presentan los resultados obtenidos para las presiones al interior de la red a partir de la modelación del funcionamiento actual del APR. Con respecto a esto, se observa en la tabla una presión mínima de 6,97 metros columna de agua (mca), sin embargo, este nodo corresponde al A-1, el cual está ubicado a la salida del estanque de 200 m³, por lo que no corresponde a un nodo de distribución de algún arranque. En cuanto a las presiones mínimas en los nodos de distribución, se encuentra con un valor mínimo de 15,52 mca, valor el cual se encuentra por sobre la norma, donde se fija un valor mínimo de funcionamiento igual a 15 mca. Por otro lado, con respecto a las presiones máximas al interior de la red, estas tienen un valor de 78,39 mca, el cual sobrepasa los valores máximos de la norma, fijados como 70 mca. Estos valores se ubican en el sector justo antes de llegar al sector de Santa Cristina, el cual se muestra en la Figura 4-19.

Figura 4-19. Resultados desfavorables - Santa Cristina



Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Por otro lado, la Tabla 4-32 muestra los resultados de velocidades al interior de la red, donde de manera adicional se presentan los valores de longitud, diámetro y caudal de cada uno de los tramos de tuberías entre los nodos. Los valores de caudal negativo solo indican que el flujo va en dirección contraria a la dirección indicada al momento de realizar la modelación. Con respecto a los resultados, se obtiene una velocidad máxima al interior de la red de 1,53 m/s, lo cual cumple con la velocidad máxima dicha por la norma, cuyo valor indicado es de 3 m/s. Cabe recalcar que el tramo B-97 corresponde al tramo que conecta el grifo, donde para efectos de los resultados presentes, no se encuentra en funcionamiento.

Dicho lo anterior, a continuación, se presentan los resultados al interior de la red con el grifo en funcionamiento, cuya tubería está conectada directamente con el estanque de 200 m³, de esta manera se asegura el funcionamiento continuo por las 2 horas de siniestro que debe cubrir, utilizando un total de 115 m³, donde para indica que la presión mínima de diseño a la salida del grifo cuando este se encuentre en funcionamiento debe de ser igual a 5 mca.

Tabla 4-33. Resultados de Presiones con Grifo - APR Cerrillos de Tamaya

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	327	0	6,93	A-76	280,6	0,25	38,37
A-2	301	0,09	29,61	A-77	287,5	0	37,5
A-3	313	0,09	17,6	A-78	282,8	16	35,64
A-4	307	0,19	22,75	A-79	282,5	0	43,73
A-5	309	0,09	20,75	A-80	279,8	0	44,63
A-6	315	0,09	14,75	A-81	279,8	0	44,59
A-7	301	0,06	28,98	A-82	263,5	0	44,99
A-8	315	0,1	14,98	A-83	256,5	0	45,95
A-9	303	0,24	26,59	A-84	222	0	67,45
A-10	304	0,07	25,62	A-85	207	0	69,5
A-11	315	0,09	14,61	A-86	196	0	71,45
A-12	300	0,22	29,44	A-87	185	0	78,39
A-13	313	0,09	16,44	A-88	198	0,16	65,37
A-14	304	0,18	25,31	A-89	193	0,13	64,74
A-15	295	0,4	33,56	A-90	194	0,06	63,71
A-16	293	0,04	35,07	A-91	200	0,18	57,7
A-17	293	0	34,51	A-92	195	0,06	62,69
A-18	293	0,36	34,37	A-93	208,5	0,1	49,14
A-19	289,5	0	36,31	A-94	205	0,04	52,64
A-20	288	0,07	37,28	A-95	211	0,18	46,63
A-21	289	0,07	36,22	A-96	205	0,09	52,65
A-22	287,5	0,04	37,72	A-97	208,5	0,07	49,13
A-23	287,5	0,1	37,77	A-98	209	0,07	48,63
A-24	287,5	0,06	37,69	A-99	204	0,06	53,63
A-25	287,3	0,03	37,7	A-100	191,5	0,07	61,71
A-26	287,2	0	37,8	A-101	191	0,06	62,19
A-27	285,4	0,27	39,62	A-102	188	0,04	65,19
A-28	285,7	0	39,24	A-103	190	0,07	63,19
A-29	284,8	0,03	40,11	A-104	183,2	0,19	57,28
A-30	284,3	0,03	40,61	A-105	181	0,09	56,09
A-31	284	0,01	40,9	A-106	180,9	0,03	55,63
A-32	283	0,15	41,86	A-107	183,2	0,04	53,29
A-33	283,3	0,06	41,56	A-108	186	0,06	50,49
A-34	283,7	0,12	41,16	A-109	187,5	0,13	48,97
A-35	284,5	0,12	40,36	A-110	180,8	0,03	56,29
A-36	284,2	0,45	40,58	A-111	178	0,07	47,49
A-37	283,6	0,33	41,22	A-112	168,5	0	24

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-38	282,8	0,24	42,04	A-113	155,2	0,15	22,56
A-39	283,2	0,06	41,64	A-114	151,7	0,06	25,98
A-40	282,3	0,06	42,54	A-115	151,5	0,03	26,17
A-41	282	0,04	42,84	A-116	152,3	0,09	25,37
A-42	281	0,3	43,82	A-117	152,2	0,09	25,47
A-43	282	0,01	42,84	A-118	155	0,04	22,67
A-44	283,2	0,13	41,63	A-119	153	0,03	23,77
A-45	282	0,07	42,84	A-120	150,8	0,31	25,64
A-46	280,8	0,13	41,93	A-121	150	0,15	26,36
A-47	279,9	0,16	42,81	A-122	153	0,16	23,33
A-48	283,5	0,06	42,61	A-123	149	0,06	27,44
A-49	282,8	0,09	43,25	A-124	148	0,16	28,35
A-50	284,5	0,25	40,45	A-125	155	0,03	21,77
A-51	282,9	0,04	41,24	A-126	275,6	0	36,58
A-52	282,5	0,19	41,15	A-127	257	0	46,05
A-53	281,9	0,09	41,74	A-128	257,5	0,18	38,05
A-54	283,8	0,06	39,81	A-129	257	0,03	38,49
A-55	287,5	0,09	36,11	A-130	259,5	0,03	35,93
A-56	281,4	0,07	41,95	A-131	262,5	0,06	32,93
A-57	281,5	0,12	42	A-132	256,5	0,16	38,96
A-58	281,6	0,04	41,91	A-133	252	0,18	43,45
A-59	282,3	0,04	41,2	A-134	251,5	0,18	43,93
A-60	286	0,3	37,49	A-135	265,5	0,37	29,55
A-61	281,8	0,09	40,62	A-136	263,5	0,19	31,54
A-62	281,4	0,1	41,02	A-137	265,2	0,04	29,85
A-63	280,9	0,1	41,43	A-138	266,3	0,1	28,63
A-64	280,9	0,21	41,61	A-139	266,3	0,12	28,63
A-65	281,7	0,07	40,82	A-140	267	0,3	27,71
A-66	280,8	0,28	41,83	A-141	268	0,04	26,71
A-67	280,6	0,07	42,03	A-142	268	0,04	26,7
A-68	280,5	0,06	38,75	A-143	244	0,07	49,27
A-69	281,3	0,24	37,74	A-144	254	0,07	38,35
A-70	281,3	0,09	37,73	A-145	243,3	0,06	49,04
A-71	281,2	0,21	37,79	A-146	248,2	0,09	44
A-72	281	0,06	37,99	A-147	242	0,1	50,12
A-73	281,1	0,21	37,89	A-148	232,8	0,04	59,32
A-74	280,3	0,22	38,68	A-149	280	0	39,28
A-75	280,5	0,06	38,48	A-150	280	0	39,25

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
				A-151	145	0,13	31,31

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Tabla 4-34. Resultados de Velocidades con Grifo - APR Cerrillos de Tamaya

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-1	2	104,7	18,11	2,1	B-87	123	72	1,34	0,33
B-2	257	72	-3,95	0,97	B-88	67	72	0,09	0,02
B-3	75	60	0,09	0,03	B-89	40	72	1,01	0,25
B-4	156	60	1,53	0,54	B-90	85	72	0,21	0,05
B-5	56	60	0,09	0,03	B-91	83	72	0,21	0,05
B-6	53	60	0,09	0,03	B-92	40	72	0,53	0,13
B-7	57	60	2,23	0,79	B-93	83	72	0,22	0,05
B-8	94	60	0,1	0,04	B-94	90	72	0,25	0,06
B-9	42	60	1,16	0,41	B-95	401	104,7	14,16	1,64
B-10	60	60	0,09	0,03	B-96	8	104,7	-1,84	0,21
B-11	9	60	1	0,36	B-97	235	104,7	16	1,86
B-12	152	60	1,02	0,36	B-98	712	104,7	5,52	0,64
B-13	51	72	1,78	0,44	B-99	465	104,7	5,52	0,64
B-14	69	60	0,09	0,03	B-100	9	104,7	5,52	0,64
B-15	61	104,7	9,82	1,14	B-101	1450	84,6	5,52	0,98
B-16	247	60	-1,05	0,37	B-102	550	84,6	5,52	0,98
B-17	57	104,7	10,69	1,24	B-103	1185	84,6	5,52	0,98
B-18	424	72	-1,47	0,36	B-104	1180	84,6	5,52	0,98
B-19	31	104,7	11,76	1,37	B-105	825	84,6	5,52	0,98
B-20	23	72	5,52	1,36	B-106	370	84,6	5,52	0,98
B-21	382	60	0,36	0,13	B-107	694	72	0,16	0,04
B-22	80	72	5,16	1,27	B-108	544	84,6	5,36	0,95
B-23	60	60	2	0,71	B-109	39	72	0,91	0,22
B-24	63	72	3,17	0,78	B-110	122	60	0,18	0,06
B-25	48	72	2,48	0,61	B-111	40	72	0,67	0,16
B-26	6	72	0,61	0,15	B-112	139	60	0,36	0,13
B-27	105	60	-0,25	0,09	B-113	18	60	0,04	0,01
B-28	83	60	0,59	0,21	B-114	215	60	0,25	0,09
B-29	54	60	-0,07	0,02	B-115	216	60	0,16	0,06
B-30	51	60	-1,17	0,41	B-116	67	60	0,07	0,02
B-31	26	60	-0,64	0,23	B-117	117	60	-0,09	0,03
B-32	39	60	-0,75	0,27	B-118	43	60	0,06	0,02

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-33	101	60	1,18	0,42	B-119	44	60	-0,22	0,08
B-34	101	60	0,64	0,23	B-120	122	60	4,32	1,53
B-35	19	60	-0,51	0,18	B-121	200	60	0,17	0,06
B-36	31	60	0,11	0,04	B-122	129	60	0,06	0,02
B-37	43	60	-0,48	0,17	B-123	282	60	0,04	0,01
B-38	65	60	0,7	0,25	B-124	926	72	4,08	1
B-39	61	60	0,55	0,2	B-125	270	72	3,89	0,95
B-40	56	60	0,5	0,18	B-126	86	60	0,03	0,01
B-41	28	60	0,06	0,02	B-127	47	72	3,77	0,93
B-42	50	60	0,02	0,01	B-128	219	60	0,23	0,08
B-43	42	60	0,2	0,07	B-129	272	60	0,06	0,02
B-44	142	60	0,45	0,16	B-130	391	60	0,13	0,05
B-45	110	60	0,33	0,12	B-131	1062	72	3,51	0,86
B-46	105	60	0,25	0,09	B-132	1355	60	3,44	1,22
B-47	21	60	0,06	0,02	B-133	575	60	3,44	1,22
B-48	93	60	0,27	0,09	B-134	142	60	1,49	0,53
B-49	51	60	-0,05	0,02	B-135	315	60	0,31	0,11
B-50	52	60	0,16	0,06	B-136	87	60	0,09	0,03
B-51	156	72	0,3	0,07	B-137	53	60	0,16	0,06
B-52	18	60	-0,18	0,06	B-138	87	60	0,09	0,03
B-53	83	60	0,13	0,05	B-139	102	60	0,04	0,01
B-54	43	72	-0,32	0,08	B-140	380	60	1,03	0,36
B-55	168	60	2,41	0,85	B-141	141	60	0,97	0,34
B-56	189	60	0,16	0,06	B-142	83	60	0,6	0,21
B-57	405	104,7	6,2	0,72	B-143	120	60	0,29	0,1
B-58	50	104,7	2,89	0,34	B-144	127	60	0,06	0,02
B-59	177	72	2,8	0,69	B-145	155	60	0,16	0,06
B-60	61	72	0,87	0,21	B-146	170	60	0,03	0,01
B-61	128	72	-3,25	0,8	B-147	1165	72	2,63	0,65
B-62	65	72	3,87	0,95	B-148	1500	72	2,63	0,65
B-63	213	72	1,58	0,39	B-149	506	60	2,63	0,93
B-64	108	72	2,26	0,55	B-150	44	72	1,24	0,3
B-65	108	72	0,24	0,06	B-151	128	60	0,3	0,1
B-66	51	72	0,85	0,21	B-152	90	60	0,14	0,05
B-67	59	72	0,09	0,02	B-153	249	60	0,22	0,08
B-68	146	72	0,98	0,24	B-154	151	60	0,18	0,06
B-69	83	72	-0,32	0,08	B-155	43	60	0,69	0,24

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-70	182	72	-0,7	0,17	B-156	46	60	0,06	0,02
B-71	77	72	0,34	0,08	B-157	402	60	0,6	0,21
B-72	145	72	0,3	0,07	B-158	93	60	0,19	0,07
B-73	113	72	1,18	0,29	B-159	125	60	0,04	0,01
B-74	104	72	-1,72	0,42	B-160	177	60	1,21	0,43
B-75	146	72	2,83	0,7	B-161	61	60	0,12	0,04
B-76	57	72	-1,3	0,32	B-162	553	60	0,38	0,13
B-77	114	72	0,09	0,02	B-163	140	60	0,04	0,01
B-78	116	72	-0,85	0,21	B-164	215	60	0,04	0,01
B-79	115	72	-0,31	0,08	B-165	1695	60	0,61	0,21
B-80	230	72	-0,64	0,16	B-166	985	60	0,54	0,19
B-81	207	72	-0,75	0,18	B-167	407	60	0,36	0,13
B-82	104	72	-1,02	0,25	B-168	950	60	0,06	0,02
B-83	58	72	0,07	0,02	B-169	937	60	0,23	0,08
B-84	10	60	-2,12	0,75	B-170	1100	60	0,14	0,05
B-85	227	72	4,03	0,99	B-171	1150	60	0,04	0,01
B-86	58	72	-0,06	0,01	B-172	14	72	1,4	0,34
					B-173	345	60	0,13	0,05

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Estos resultados son los obtenidos al incorporar el funcionamiento del grifo, cuya situación se observa a partir de la Tabla 4-33, donde el nodo A-78 corresponde a la ubicación del grifo, cuya demanda es de 16 l/s. A partir de la misma tabla mencionada, se observa una disminución de las presiones mínimas las cuales ahora corresponden a 14,61 mca, cuyo valor es aceptado por la norma mientras se encuentre el siniestro de incendio, con respecto a las presiones máximas se mantienen en los 78,39 mca, por otro lado, las presiones a la salida del grifo tienen un valor de 35,64 mca, cumpliendo con el mínimo determinado por la norma.

Finalmente, en la Tabla 4-34 se presentan las velocidades al interior de la red, donde el máximo aumenta a un valor de 2,1 m/s, el cual se ubica justo a la salida del estanque de 200 m³, lo cual es esperable luego del aumento de 16 l/s en la demanda solicitada a este estanque, sin embargo, pese a este aumento de caudal, las velocidades se mantienen bajo el máximo determinado por la norma.

Luego de obtener los resultados se puede concluir que el funcionamiento actual del APR cumple con las normado en la NCh 691 respecto a presiones y velocidades al interior de la red, sin embargo, también se analiza los caudales que abastecen los estanques de Quebrada Seca y El Siete, donde en la situación sin grifo, el caudal que abastece estos

dos estanques tiene un valor de 3,44 l/s y 0,69 l/s respectivamente, donde los caudales demandados por cada uno de los sectores, el cual corresponde al caudal que sale efectivamente de los estanques tienen valores de 1,49 l/s y 0,36 l/s respectivamente, de forma que los caudales son suficientes para lograr un abastecimiento continuo de todo el APR.

5 ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA ACTUAL CON LA DEMANDA PROYECTADA

El presente capítulo tiene por objetivo analizar el comportamiento de la actual infraestructura del APR con las demandas de la población proyectadas. Esto corresponde a realizar la distribución de la demanda del año 20 descrito en las Tabla 4-2, Tabla 4-3, Tabla 4-4 para el APR Limarí, mientras que para el APR Cerrillos de Tamaya corresponden a las Tabla 4-19,

Tabla **4-20**, Tabla 4-21, Tabla 4-22 y Tabla 4-23, de este modo ingresar estas demandas en las modelaciones con la infraestructura actual para determinar deficiencias futuras en la red de distribución, para las cuales se propondrán soluciones.

5.1 APR Limarí

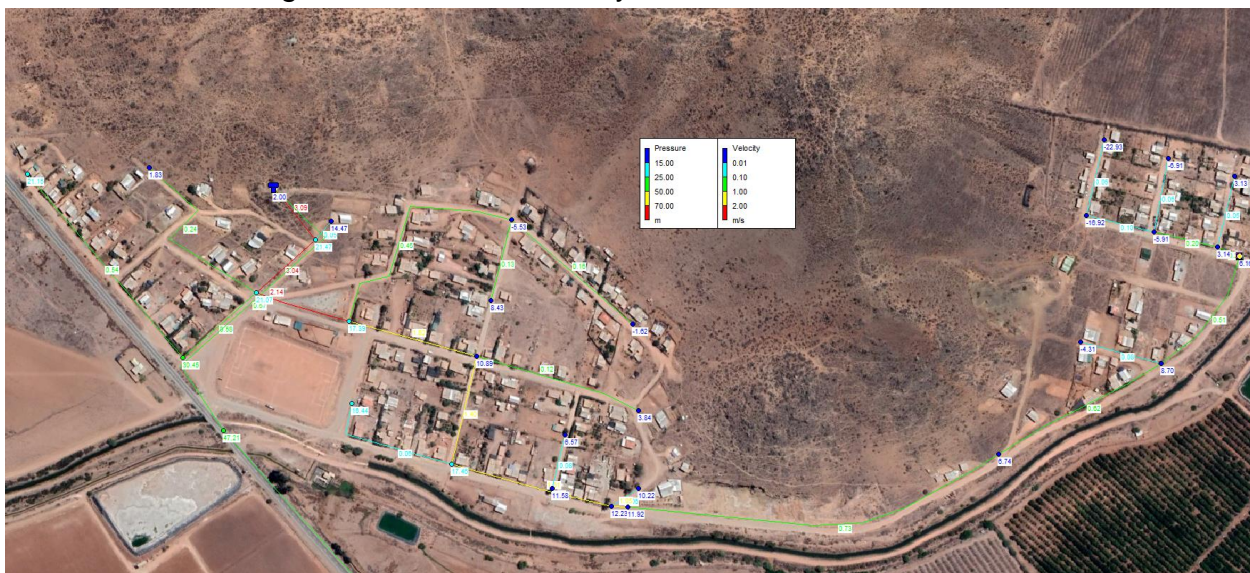
La asignación de la demanda en estos casos proyectados, al no tener información sobre futuras ampliaciones de la red ni terrenos en los cuales se añadirán viviendas, se asigna en aquellos tramos de la red actual en los cuales es probable que se construyan más viviendas, y del mismo modo añadiendo nodos en los extremos de la red y de esta forma simular una ampliación de la red.

En particular, a modo de resumen se presentan los aumentos proyectados en el número de arranques en cada uno de los sectores para el horizonte de 20 años:

- Sector Los Llanos aumenta de 161 arranques a 397 arranques.
- Sector Las Vegas aumenta de 97 arranques a 239 arranques.
- Sector Limarí aumenta de 448 arranques a 1.104.

Los sectores se proceden a analizar en el mismo orden que se realizó la lista anterior, siendo el primero de ellos el sector de Los Llanos, para ellos se procede a asignar la nueva demanda en función de la nueva cantidad de arranques mencionada, donde en los extremos de la red se asigna una mayor cantidad debido a la probabilidad de ampliar la red por estos lados. La demanda se asigna solamente en los nodos de la red, por lo que los diámetros de las tuberías se mantienen exactamente iguales a modo de poder comparar la situación que se obtiene con la nueva demanda al interior de la red actual, esto se presenta en la Figura 5-1. Para observar las diferencias entre las demandas, se recomienda realizar la comparación entre las Tabla 4-16 y Tabla 5-1.

Figura 5-1. Demanda Proyectada - Sector Los Llanos



Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Tabla 5-1. Resultados de Presiones Proyectadas - Sector Los Llanos

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	312	0	21,29	A-17	291	0,13	11,03
A-2	319	0,13	14,29	A-18	293	0,16	9,03
A-3	302	0,22	20,67	A-19	291	0	10,71
A-4	321	0,67	1,43	A-20	294	0,45	5,39
A-5	292	0,11	30,05	A-21	291	0,22	7,27
A-6	300	1,54	20,75	A-22	304	0,33	-5,74
A-7	299	0,22	16,79	A-23	293	1	4,73
A-8	321	0,45	-6,13	A-24	296	0,04	1,71
A-9	317	0,45	-2,22	A-25	296	0,22	1,7
A-10	307	0,36	7,83	A-26	305	0,18	-7,34
A-11	300	0,29	10,07	A-27	306	0,22	-8,34
A-12	307	0,33	3,02	A-28	316	0,18	-18,35
A-13	290	0,11	16,48	A-29	322	0,22	-24,35
A-14	291	0,16	15,46	A-30	297	0	47,21
A-15	293	0,22	10,46	A-31	225	0	139,29
A-16	298	0,22	5,45	A-32	180	0	193,63

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Tabla 5-2. Resultados de Presiones Proyectadas - Sector Los Llanos

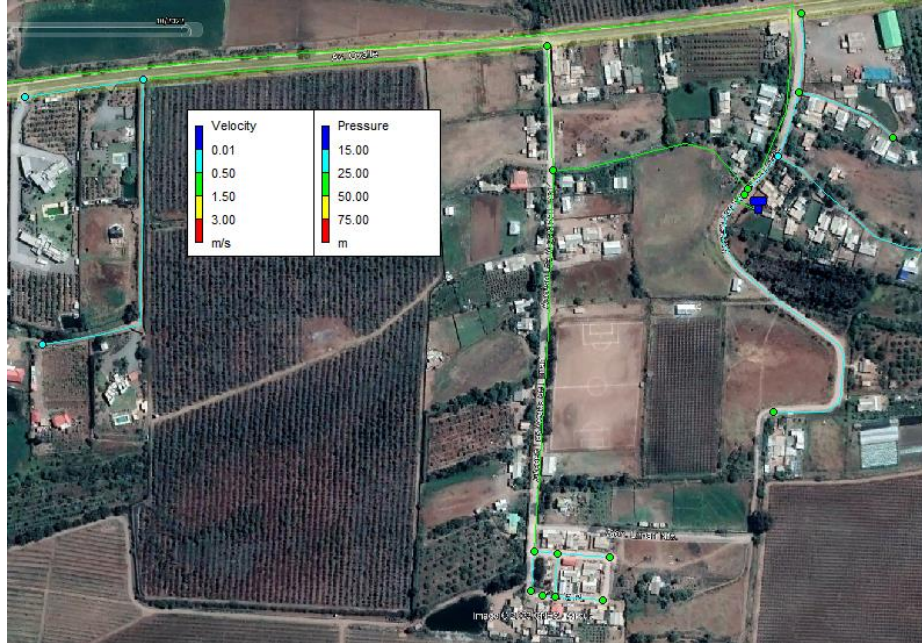
Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
B-1	62,3	60	3,12	B-17	61,7	60	1,18
B-2	22,6	60	0,05	B-18	30,55	60	0,06
B-3	78,1	60	3,08	B-19	16,4	60	1,08
B-4	205,1	60	0,24	B-20	287,1	72	0,75
B-5	98,71	60	0,58	B-21	186	72	0,64
B-6	237	60	0,54	B-22	81,8	72	0,08
B-7	95,9	60	2,18	B-23	138,2	72	0,51
B-8	243,1	60	0,45	B-24	22,2	72	0,26
B-9	160	60	0,16	B-25	72,9	72	0,05
B-10	84	60	0,13	B-26	65,3	72	0,2
B-11	132,5	60	1,66	B-27	74,8	72	0,05
B-12	170,6	60	0,12	B-28	65,52	72	0,1
B-13	108,5	60	1,44	B-29	76,9	72	0,05
B-14	142,87	60	0,06	B-30	941	72	0,67
B-15	103,3	60	1,34	B-31	337,1	72	0,67
B-16	56	60	0,08	B-32	3057,6	72	0,67

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

En particular se observan presiones bajo la norma e incluso negativas en una gran cantidad de nodos, llegando hasta presiones de -24,35 mca, junto con velocidades superiores a lo dictado por la norma con valores de 3,12 m/s, lo cual indica que la actual configuración de diámetros al interior de la red no será suficiente para poder distribuir de buena manera la dotación necesaria a cada uno de los habitantes del sector.

Por otro lado, analizando la asignación de la demanda en la actual red de distribución del sector de Las Vegas ocurre el caso contrario, se puede observar en la Figura 5-2 que tanto las velocidades como las presiones al interior de la red, si bien son de valores superiores a la situación actual, se mantienen dentro del rango permitido por la norma. Para observar el aumento que se tiene en cada uno de los nodos se recomienda comparar las Tabla 4-14 y Tabla 5-3.

Figura 5-2. Demanda Proyectada - Sector Las Vegas



Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Tabla 5-3. Resultados de Presiones Proyectada - Sector Las Vegas

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	189	0	25,85	A-11	175	0,09	34,3
A-2	189	0	25,69	A-12	175	0,04	34,3
A-3	190	0	24,54	A-13	175	0,18	34,3
A-4	190	0,33	24,49	A-14	174	0,13	35,3
A-5	188	0,18	26,42	A-15	174	0,09	35,3
A-6	189	0,27	25,4	A-16	173	0,22	36,3
A-7	188	0,47	26,38	A-17	185	0,31	25,1
A-8	175	0,92	39,26	A-18	185	0,63	23,4
A-9	185	0	25,86	A-19	184	0,27	24,4
A-10	174	0,67	35,32	A-20	185	0,54	23,2
				A-21	170	0	55,1

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Tabla 5-4. Resultados de Velocidad Proyectada - Sector Las Vegas

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
B-1	30	60	1,89	B-11	37	60	0,03
B-2	4	60	1,56	B-12	21	60	0,23
B-3	40	60	0,44	B-13	45	60	0,06

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
B-4	153	60	0,12	B-14	34	60	0,16
B-5	57	60	0,33	B-15	15	60	0,03
B-6	91	60	0,1	B-16	43	60	0,08
B-7	64	60	0,17	B-17	105	60	0,62
B-8	275	60	0,33	B-18	347	60	0,51
B-9	183	60	1,12	B-19	115	60	0,1
B-10	324	60	0,5	B-20	297	60	0,19
				B-21	1489	60	0,56

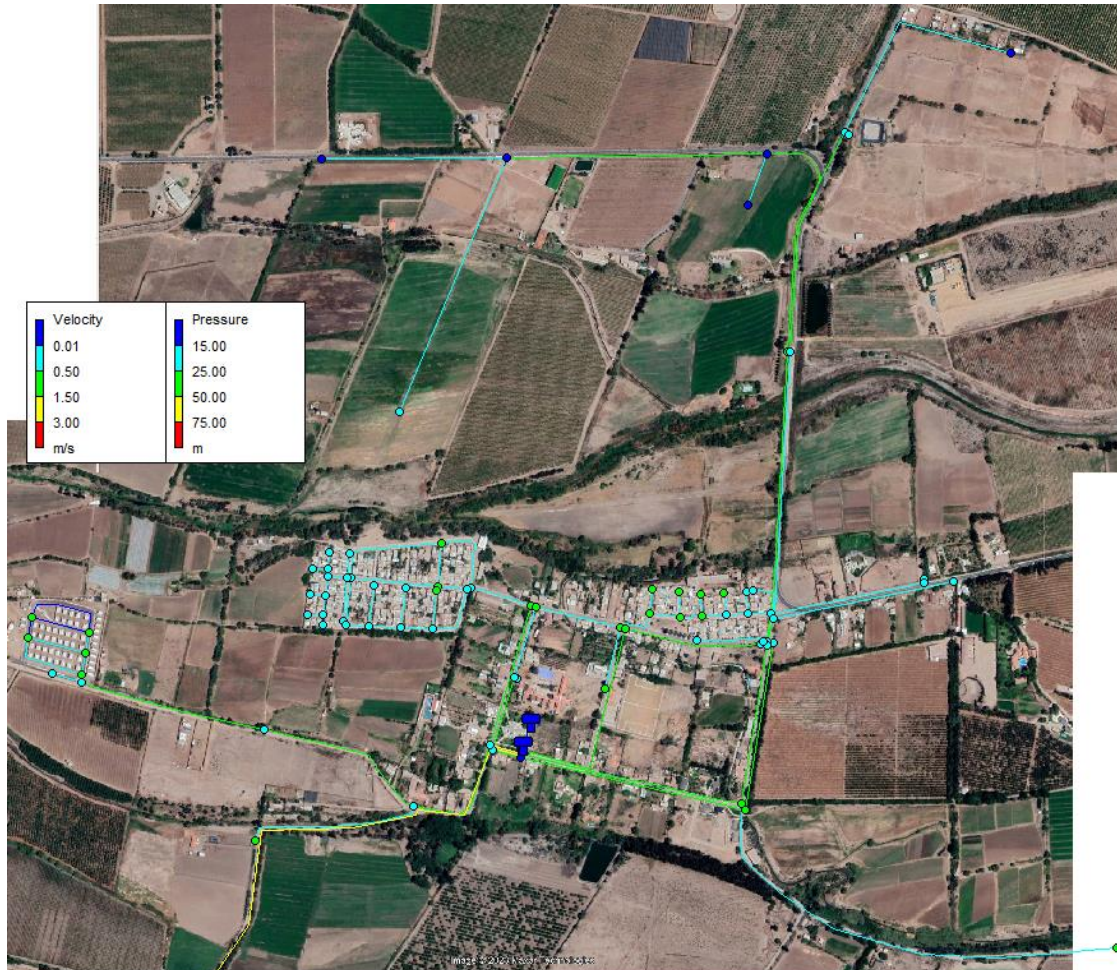
Fuente: Resultados EPANET, 2023.

A partir de las Tabla 5-3 y Tabla 5-4 se puede observar que la presión mínima al interior de la red es igual a 23,2 mca, mientras que la máxima presión corresponde a 55,14 mca ubicada en el tramo de la impulsión. Por otro lado, con respecto a las velocidades, se tiene una velocidad mínima de 0,03 m/s mientras que la máxima es de 1,89 m/s a la salida del estanque.

Finalmente se analiza el comportamiento del sector de Limarí, el que, a diferencia de los otros sectores, debido a su gran cantidad de arranques en la situación proyectada, surge la necesidad de instalar un grifo de incendios en su interior, por lo que se realiza el análisis en la situación más desfavorable, la cual corresponde a la situación cuando el grifo se encuentra en uso, donde se debe tener una presión mínima al interior de la red igual a 5 mca según lo dictado en la norma, esto mientras el grifo se encuentre en uso debido a un siniestro. Sin embargo, como se incluye el grifo en la modelación, la NCh 691 indica que el caudal de modelación en estos casos corresponde al mayor valor entre el caudal medio diario más el caudal de incendio y el caudal máximo horario, donde en este caso en particular se obtiene que la suma de $Q_{med} + Q_{inc}$ es mayor a $Q_{máxh}$. El aumento de la demanda en cada uno de los nodos es posible observarla comparando las

Tabla 4-12 y Tabla 5-6, teniendo en consideración que los nodos A-81 y A-82 de esta última tabla mencionada, corresponden a la adición del grifo a la modelación analizada.

Tabla 5-5. Demanda Proyectada - Sector Limarí



Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Tabla 5-6. Resultados de Presiones Proyectada - Sector Limarí

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	184	0	17,61	A-42	169	0	26,49
A-2	184	0	16,06	A-43	169	0	26,52
A-3	184	0	14,36	A-44	170	0	25,48
A-4	182	0,04	15,39	A-45	170	0,08	25,48
A-5	182	0	15,88	A-46	170	0,02	25,45
A-6	173	0,22	22,73	A-47	170	0,08	25,45

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-7	169	0,3	24,59	A-48	170	0,05	25,44
A-8	167	0,3	24,82	A-49	170	0,08	25,44
A-9	167	1,55	24,69	A-50	171	0,05	24,43
A-10	166	0,08	25,82	A-51	170	0,08	25,43
A-11	166	0,04	25,82	A-52	171	0,05	24,43
A-12	165	0,03	26,82	A-53	171	0,06	24,43
A-13	162	0,2	29,82	A-54	171	0,06	24,43
A-14	162	0,2	29,82	A-55	172	0,1	23,42
A-15	160	0,5	35,51	A-56	170	0,03	25,49
A-16	168	0,11	27,15	A-57	171	0,22	26,27
A-17	168	0,07	27,12	A-58	171	0,24	25,17
A-18	170	0,1	24,83	A-59	173	0,22	21,69
A-19	170	0	24,82	A-60	173	0	21,47
A-20	169	0,08	25,79	A-61	173	0,22	21,49
A-21	172	0,28	22,72	A-62	173	0,15	21,49
A-22	172	0	22,72	A-63	173	0	21,47
A-23	174	0,06	20,71	A-64	167	0,5	29,33
A-24	174	0	20,71	A-65	171	0	22,93
A-25	174	0,06	20,71	A-66	166	0,3	26,3
A-26	173	0,06	21,71	A-67	166	0,38	23,82
A-27	173	0,05	21,71	A-68	171	0,05	22,93
A-28	173	0,06	21,71	A-69	174	2,37	19,3
A-29	173	0,05	21,71	A-70	174	0,07	19,31
A-30	173	0,06	21,7	A-71	177	0,26	8,84
A-31	173	0,02	21,71	A-72	175	0,22	10,82
A-32	171	0,05	23,72	A-73	172	0,3	11,22
A-33	171	0,09	23,72	A-74	161	0,4	21,98
A-34	170	0,06	24,74	A-75	171	0,83	11,28
A-35	169	0,12	25,74	A-76	174	0,08	17,25
A-36	172	0,06	22,73	A-77	174	3,94	17,24
A-37	171	0,12	23,72	A-78	182	0,36	9,18
A-38	171	0,06	23,72	A-79	174	0,14	19,3
A-39	171	0,12	23,72	A-80	155	0	71,31
A-40	171	0,05	23,72	A-81	175	16	19,91
A-41	167	0,09	27,79	A-82	175	0	19,94

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

En particular a partir de la Tabla 5-6 se observa que las presiones mínimas se encuentran bajo lo normado, llegando a un mínimo de 8,84 mca la cual se sitúa en los puntos más

lejanos de la red, mientras que la máxima se sitúa aún en la red de impulsión, esto debido a que aún no se modifican estos componentes, sin embargo, se sigue manteniendo dentro del límite permitido.

Tabla 5-7. Resultados de Velocidad Proyectada - Sector Limarí

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
B-1	8	72	8,19	B-49	160	72	0,38
B-2	3	72	7,11	B-50	10	72	0,39
B-3	7	72	4,73	B-51	69	72	0,17
B-4	59	72	1,71	B-52	40	72	0,02
B-5	217	72	0,84	B-53	60	72	0,15
B-6	334	72	0,66	B-54	46	72	0,02
B-7	343	72	0,59	B-55	42	72	0,13
B-8	56	72	0,38	B-56	37	72	0,02
B-9	10	104,7	0,06	B-57	44	72	0,1
B-10	43	104,7	0,03	B-58	37	72	0,02
B-11	38	104,7	0,02	B-59	42	72	0,07
B-12	176	104,7	0,01	B-60	37	72	0,01
B-13	117	104,7	0,01	B-61	42	72	0,04
B-14	38	104,7	0,01	B-62	173	72	0,02
B-15	117	104,7	0,01	B-63	388	72	1,08
B-16	157	104,7	0,02	B-64	116	60	0,01
B-17	321	60	0,18	B-65	417	72	0,68
B-18	52	104,7	1,49	B-66	427	104,7	0,74
B-20	260	72	0,87	B-67	258	72	0,51
B-21	10	72	0,42	B-68	7	72	0,04
B-22	119	72	0,42	B-69	5	72	0,48
B-23	3	72	0,32	B-70	8	72	1,46
B-24	51	72	0,19	B-71	310	104,7	0,72
B-25	162	72	0,15	B-72	300	60	0,72
B-26	139	60	0,11	B-73	7	72	0,44
B-27	75	60	0,03	B-74	4	104,7	0,26
B-28	206	60	0,11	B-75	1380	60	0,18
B-29	117	60	0,18	B-76	40	72	0,99
B-30	70	60	0,04	B-77	81	72	0,01
B-31	56	60	0,11	B-78	531	104,7	0,66
B-32	75	60	0,04	B-79	297	104,7	0,46
B-33	59	60	0,05	B-80	7	104,7	0,28
B-34	76	60	0,04	B-81	764	60	0,49

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
B-35	45	60	0,01	B-82	1000	60	0,35
B-36	88	60	0,03	B-83	442	60	0,71
B-37	7	72	0,14	B-84	120	60	0,08
B-38	39	60	0,02	B-85	482	60	0,54
B-39	93	60	0,03	B-86	531	60	0,14
B-40	38	72	0,1	B-87	537	60	0,29
B-41	8	60	0,04	B-88	414	104,7	0,51
B-42	21	60	0,02	B-89	4	104,7	0,46
B-43	38	60	0,02	B-90	438	72	0,09
B-44	39	60	0,08	B-91	52	72	0,03
B-45	22	60	0,02	B-92	50	107,4	0,01
B-46	39	60	0,05	B-93	924	104,7	1,59
B-47	22	60	0,02	B-19	133	104,7	1,49
B-48	15	60	0,01	B-94	133	104,7	0,37
				B-95	1	104,7	1,86

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Con respecto a las velocidades, se puede observar en la Tabla 5-7 que las mayores velocidades se encuentran en los primeros tramos, correspondiente a las tuberías inmediatamente a la salida de los estanques, alcanzando un valor máximo de 8,19 m/s, cuyo valor es casi el triple del valor máximo normado (3 m/s).

En resumen, tanto el sector de Limarí como el sector de Los Llanos se encontrarán con problemas de presiones y velocidades si se mantiene la actual configuración de la red de distribución, por lo que se necesitará de una actualización de la red, esto se traduce principalmente como un aumento de los diámetros al interior de la red, de modo que las velocidades disminuyen y las presiones aumenten. Por otro lado, el sector de Las Vegas no presenta problemas para mantener la actual configuración en la red, ya que mantiene sus presiones y velocidades al interior del rango normado.

Sin embargo, este último análisis se realiza solamente respecto a la red de distribución, por lo que se debe agregar a esto los diseños de los nuevos sistemas de impulsión, ya que en los tres sectores se encuentra sub-dimensionado actualmente, junto con el déficit de almacenamiento en cada sector, lo que incluye la propuesta de nuevas opciones de almacenamiento.

5.2 APR Cerrillos de Tamaya

La asignación de la demanda en estos casos proyectados, al no tener información sobre futuras ampliaciones de la red ni terrenos en los cuales se añadirán viviendas, esta se

asigna en aquellos tramos de la red actual en los cuales es probable que se construyan más viviendas, y del mismo modo añadiendo nodos en los extremos de la red y de esta forma simular una ampliación de la red.

En particular, a modo de resumen se presentan los aumentos proyectados en el número de arranques en cada uno de los sectores para el horizonte de 20 años:

- Sector Cerrillos de Tamaya aumenta de 630 arranques a 1.553 arranques.
- Sector Santa Cristina aumenta de 143 arranques a 352 arranques.
- Sector Quebrada Seca aumenta de 101 arranques a 249.
- Sector Los Olivos aumenta de 142 arranques a 350.
- Sector El Siete aumenta de 25 arranques a 62.

El sistema de distribución se procede a analizar del mismo modo en que se realizó el capítulo anterior, donde para ello se procede a asignar la nueva demanda en función de la nueva cantidad de arranques mencionada, donde en los extremos de la red se asigna una mayor cantidad debido a la probabilidad de ampliar la red por estos lados. La demanda se asigna solamente en los nodos de la red, por lo que los diámetros de las tuberías se mantienen exactamente iguales a modo de poder comparar la situación que se obtiene con la nueva demanda al interior de la red actual.

Tabla 5-8. Resultados de Presiones Proyectadas - APR Cerrillos de Tamaya

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	327	0	6,95	A-76	280,6	0,45	17,53
A-2	301	0,21	29,03	A-77	287,5	0	40,37
A-3	313	0,18	17,02	A-78	282,8	0	45,07
A-4	307	0,37	21,92	A-79	282,5	0	42,06
A-5	309	0,37	19,89	A-80	279,8	0	41,86
A-6	315	0,22	13,91	A-81	279,8	0	41,8
A-7	301	0,09	28,45	A-82	263,5	0	32,54
A-8	315	0,22	14,43	A-83	256,5	0	29,85
A-9	303	0,45	25,84	A-84	222	0	43,46
A-10	304	0,09	24,85	A-85	207	0	37,67
A-11	315	0,22	13,84	A-86	196	0	34,13
A-12	300	0,45	28,75	A-87	185	0,3	38,61
A-13	313	0,22	15,74	A-88	198	0,31	25,53
A-14	304	0,45	25,25	A-89	193	0,37	22,48
A-15	295	0,45	33,54	A-90	194	0,06	21,36

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-16	293	0,09	35,14	A-91	200	0,24	15,34
A-17	293	0	34,92	A-92	195	0,06	20,27
A-18	293	1,04	33,9	A-93	208,5	0,24	6,52
A-19	289,5	0,04	38,05	A-94	205	0,04	10,02
A-20	288	0,12	38,82	A-95	211	0,45	3,96
A-21	289	0,07	37,84	A-96	205	0,22	10,06
A-22	287,5	0,06	39,34	A-97	208,5	0,24	6,45
A-23	287,5	0,12	40,05	A-98	209	0,09	5,99
A-24	287,5	0,06	39,36	A-99	204	0,18	10,98
A-25	287,3	0,04	40,45	A-100	191,5	0,15	19,43
A-26	287,2	0	40,17	A-101	191	0,15	19,77
A-27	285,4	0,45	41,26	A-102	188	0,21	22,74
A-28	285,7	0	39,57	A-103	190	0,18	20,78
A-29	284,8	0,15	40,37	A-104	183,2	0,45	17,44
A-30	284,3	0	40,93	A-105	181	0,27	17,29
A-31	284	0,07	41,11	A-106	180,9	0,09	17,05
A-32	283	0,22	41,77	A-107	183,2	0,18	14,47
A-33	283,3	0,06	41,47	A-108	186	0,22	11,63
A-34	283,7	0,12	41,09	A-109	187,5	0,3	10,07
A-35	284,5	0,12	40,32	A-110	180,8	0,06	17,49
A-36	284,2	0,74	40,41	A-111	178	0,19	15,81
A-37	283,6	0,45	41,15	A-112	168,5	0	14,56
A-38	282,8	0,37	41,43	A-113	155,2	0,3	19,3
A-39	283,2	0,12	41,03	A-114	151,7	0,45	21,75
A-40	282,3	0,12	41,79	A-115	151,5	0,09	21,92
A-41	282	0,09	41,28	A-116	152,3	0,24	21,14
A-42	281	0,45	42,25	A-117	152,2	0,24	21,2
A-43	282	0,07	41,1	A-118	155	0,15	18,41
A-44	283,2	0,22	39,89	A-119	153	0,5	17,27
A-45	282	0,15	40,96	A-120	150,8	0,33	18,64
A-46	280,8	0,22	31,22	A-121	150	0,24	19,25
A-47	279,9	1,49	31,14	A-122	153	0,21	16,18
A-48	283,5	0,15	42,07	A-123	149	0,3	20,41
A-49	282,8	0,18	42,64	A-124	148	0,3	21,21
A-50	284,5	0,45	40,23	A-125	155	0,15	15,26
A-51	282,9	0,22	37,24	A-126	275,6	0	14,48
A-52	282,5	0,3	34,9	A-127	257	0	21,36
A-53	281,9	0,37	35,46	A-128	257,5	0,74	11,25

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-54	283,8	0,12	33,37	A-129	257	0,06	11,55
A-55	287,5	0,3	29,66	A-130	259,5	0,06	8,92
A-56	281,4	0,22	34,46	A-131	262,5	0,15	5,92
A-57	281,5	0,52	35,07	A-132	256,5	0,27	11,92
A-58	281,6	0,37	35	A-133	252	0,56	16,4
A-59	282,3	0,52	34,25	A-134	251,5	0,24	16,87
A-60	286	0,3	30,53	A-135	265,5	0,56	2,12
A-61	281,8	0,15	29,34	A-136	263,5	0,21	4,11
A-62	281,4	0,22	29,75	A-137	265,2	0,12	2,41
A-63	280,9	0,27	30,04	A-138	266,3	0,24	2,44
A-64	280,9	0,27	30,46	A-139	266,3	0,18	2,44
A-65	281,7	0,37	29,68	A-140	267	0,74	-1,08
A-66	280,8	0,39	30,88	A-141	268	0,37	-2,14
A-67	280,6	0,74	31,04	A-142	268	0,37	-2,17
A-68	280,5	0,67	18,41	A-143	244	0,33	38,05
A-69	281,3	0,45	16,97	A-144	254	0,22	37,64
A-70	281,3	0,52	16,95	A-145	243,3	0,18	48,24
A-71	281,2	0,24	16,97	A-146	248,2	0,18	42,75
A-72	281	0,06	17,18	A-147	242	0,19	48,58
A-73	281,1	0,45	17,06	A-148	232,8	0,15	57,69
A-74	280,3	0,24	17,85	A-149	280	0,7	19,18
A-75	280,5	0,06	17,66	A-150	280	1,5	18,93
				A-151	145	0,22	24,13

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Tabla 5-9. Resultados de Velocidades Proyectadas - APR Cerrillos de Tamaya

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-1	2	104,7	15,81	1,84	B-87	123	72	2,47	0,61
B-2	257	72	-4,31	1,06	B-88	67	72	0,52	0,13
B-3	75	60	0,18	0,06	B-89	40	72	1,5	0,37
B-4	156	60	1,77	0,63	B-90	85	72	0,24	0,06
B-5	56	60	0,37	0,13	B-91	83	72	0,45	0,11
B-6	53	60	0,22	0,08	B-92	40	72	0,75	0,18
B-7	57	60	2,15	0,76	B-93	83	72	0,24	0,06
B-8	94	60	0,22	0,08	B-94	90	72	0,45	0,11
B-9	42	60	0,81	0,29	B-95	401	104,7	11,5	1,34
B-10	60	60	0,22	0,08	B-96	8	104,7	11,5	1,34

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-11	9	60	0,5	0,18	B-97	235	104,7	0	0
B-12	152	60	1,3	0,46	B-98	712	104,7	7,13	0,83
B-13	51	72	1,35	0,33	B-99	465	104,7	7,13	0,83
B-14	69	60	0,22	0,08	B-100	9	104,7	7,13	0,83
B-15	61	104,7	10,27	1,19	B-101	1450	84,6	7,13	1,27
B-16	247	60	-0,54	0,19	B-102	550	84,6	7,13	1,27
B-17	57	104,7	10,37	1,2	B-103	1185	84,6	7,13	1,27
B-18	424	72	-0,68	0,17	B-104	1180	84,6	7,13	1,27
B-19	31	104,7	10,59	1,23	B-105	825	84,6	7,13	1,27
B-20	23	72	3,32	0,81	B-106	370	84,6	7,13	1,27
B-21	382	60	1,04	0,37	B-107	694	72	0,31	0,08
B-22	80	72	2,28	0,56	B-108	544	84,6	6,52	1,16
B-23	60	60	2,36	0,83	B-109	39	72	1,82	0,45
B-24	63	72	-0,12	0,03	B-110	122	60	0,24	0,08
B-25	48	72	-2,16	0,53	B-111	40	72	1,52	0,37
B-26	6	72	9,3	2,28	B-112	139	60	0,84	0,3
B-27	105	60	1,72	0,61	B-113	18	60	0,04	0,01
B-28	83	60	1,92	0,68	B-114	215	60	0,62	0,22
B-29	54	60	-0,07	0,02	B-115	216	60	0,4	0,14
B-30	51	60	-1,29	0,46	B-116	67	60	0,24	0,08
B-31	26	60	0,57	0,2	B-117	117	60	-0,29	0,1
B-32	39	60	0,44	0,16	B-118	43	60	0,18	0,06
B-33	101	60	2,68	0,95	B-119	44	60	-0,56	0,2
B-34	101	60	2,56	0,91	B-120	122	60	4,33	1,53
B-35	19	60	-1,7	0,6	B-121	200	60	0,54	0,19
B-36	31	60	0,86	0,31	B-122	129	60	0,15	0,05
B-37	43	60	-0,93	0,33	B-123	282	60	0,21	0,07
B-38	65	60	1,75	0,62	B-124	926	72	3,64	0,89
B-39	61	60	1,65	0,58	B-125	270	72	3,19	0,78
B-40	56	60	1,63	0,58	B-126	86	60	0,06	0,02
B-41	28	60	0,06	0,02	B-127	47	72	2,86	0,7
B-42	50	60	-0,44	0,16	B-128	219	60	0,7	0,25
B-43	42	60	-0,44	0,15	B-129	272	60	0,22	0,08
B-44	142	60	0,74	0,26	B-130	391	60	0,3	0,11
B-45	110	60	0,45	0,16	B-131	1062	72	2,07	0,51
B-46	105	60	1,52	0,54	B-132	1355	60	1,88	0,66
B-47	21	60	0,12	0,04	B-133	575	60	1,88	0,66

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-48	93	60	1,79	0,63	B-134	142	60	3,72	1,32
B-49	51	60	1,03	0,37	B-135	315	60	1,17	0,41
B-50	52	60	2,7	0,95	B-136	87	60	0,24	0,08
B-51	156	72	0,45	0,11	B-137	53	60	0,48	0,17
B-52	18	60	2,16	0,76	B-138	87	60	0,24	0,08
B-53	83	60	0,22	0,08	B-139	102	60	0,15	0,05
B-54	43	72	1,87	0,46	B-140	380	60	2,25	0,8
B-55	168	60	5,84	2,07	B-141	141	60	1,6	0,57
B-56	189	60	1,49	0,53	B-142	83	60	0,97	0,34
B-57	405	104,7	7,19	0,83	B-143	120	60	0,43	0,15
B-58	50	104,7	4,3	0,5	B-144	127	60	0,3	0,11
B-59	177	72	4,12	1,01	B-145	155	60	0,3	0,11
B-60	61	72	7,58	1,86	B-146	170	60	0,15	0,05
B-61	128	72	-2,73	0,67	B-147	1165	72	3,01	0,74
B-62	65	72	9,86	2,42	B-148	1500	72	3,01	0,74
B-63	213	72	3,96	0,97	B-149	506	60	3,01	1,06
B-64	108	72	5,68	1,39	B-150	44	72	2,23	0,55
B-65	108	72	0,59	0,14	B-151	128	60	0,6	0,21
B-66	51	72	2,25	0,55	B-152	90	60	0,33	0,12
B-67	59	72	0,3	0,07	B-153	249	60	0,47	0,17
B-68	146	72	2,54	0,62	B-154	151	60	0,24	0,08
B-69	83	72	-0,64	0,16	B-155	43	60	1,1	0,39
B-70	182	72	-1,83	0,45	B-156	46	60	0,15	0,05
B-71	77	72	0,82	0,2	B-157	402	60	0,89	0,31
B-72	145	72	0,3	0,07	B-158	93	60	0,21	0,07
B-73	113	72	2,66	0,65	B-159	125	60	0,12	0,04
B-74	104	72	-4,18	1,03	B-160	177	60	0,04	0,01
B-75	146	72	6,62	1,63	B-161	61	60	0,18	0,06
B-76	57	72	-1,99	0,49	B-162	553	60	1,48	0,52
B-77	114	72	0,15	0,04	B-163	140	60	0,37	0,13
B-78	116	72	-1,37	0,34	B-164	215	60	0,37	0,13
B-79	115	72	-0,39	0,1	B-165	1695	60	-1,86	0,66
B-80	230	72	-0,99	0,24	B-166	985	60	-2,19	0,78
B-81	207	72	-1,25	0,31	B-167	407	60	0,92	0,33
B-82	104	72	-1,75	0,43	B-168	950	60	0,18	0,06
B-83	58	72	0,74	0,18	B-169	937	60	0,52	0,18
B-84	10	60	-4,13	1,46	B-170	1100	60	0,34	0,12

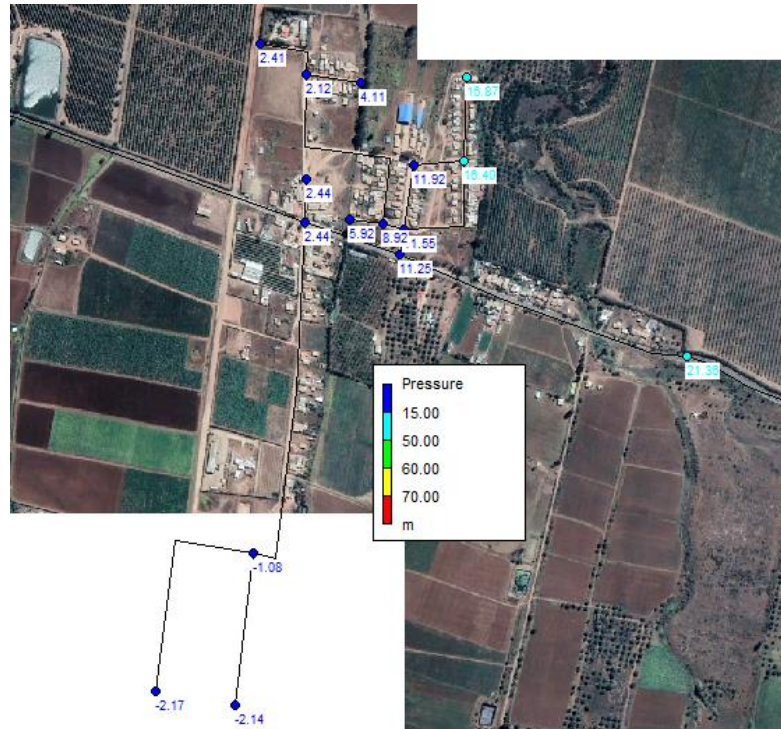
Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-85	227	72	8,35	2,05	B-171	1150	60	0,15	0,05
B-86	58	72	-0,67	0,16	B-172	14	72	4,64	1,14
					B-173	345	60	0,22	0,08

Fuente: Resultados EPANET, 2023.

La Tabla 5-8 muestra los resultados del actual análisis, el cual contempla la infraestructura actual, pero asignando la demanda proyectada en el horizonte de 20 años, la cual es distribuida de tal manera en que se aumenta la cantidad de arranques en aquellos sectores y tramos en los que será más probable que se realice una ampliación en cada una de las localidades. En base a estos resultados tabulados, en particular podemos observar que se obtienen presiones negativas en los nodos A-140, A-141 y A-142, los cuales están ubicados en el sector de Los Olivos y puede ser observado en la Figura 5-3, donde también se observa que en el sector no es donde se encuentran todas las presiones menores a los 15 mca, esto en particular se debe al aumento de la demanda en este sector debido al aumento de la cantidad de arranques, lo que conlleva un aumento de caudal demandado pero con las mismas tuberías actuales, las cuales al ser de 75 mm provocan pérdidas considerables al interior de los 2.700 metros de longitud que existen entre Cerrillos de Tamaya y Los Olivos; esto se vuelve a presentar en el sector de Santa Cristina, donde se encuentran presiones bajo la norma, teniendo presiones entre los 4 mca y 10 mca en el sector más desfavorable, lo cual se presenta en la Figura 5-4. Por otro lado, las presiones máximas disminuyen a 57,69 mca, quedando por debajo de lo dictado por la norma.

Del mismo modo, la Tabla 5-9 muestra los resultados de velocidades al interior de la red en la situación que se está analizando, donde se produce un aumento de la velocidad máxima llegando a 2,42 m/s, la cual se ubica en el tramo B-62 en Cerrillos de Tamaya, donde debido a su diámetro y caudal que pasa por este punto, llega a estas velocidades, sin embargo, se sigue manteniendo por debajo de la norma. A partir de esto, también se puede observar lo provocado por el aumento de la demanda en Los Olivos, donde debido a este aumento en el sector, esto provoca que el estanque ubicado en El Siete tenga que abastecer a El Siete y Los Olivos, por lo tanto, no tienen una recarga constante como lo es en el caso de la situación actual.

Figura 5-3. Resultado de Presiones - Los Olivos



Fuente: Resultados EPANET, 2023.

Figura 5-4. Resultado de Presiones - Santa Cristina



Fuente: Resultados EPANET, 2023.

6 PROPUESTAS PARA EL ANÁLISIS PROYECTADO DEL APR

En esta sección se realizarán las propuestas respectivas para resolver las problemáticas vistas en los capítulos anteriores, donde se observan tanto problemas de impulsión, almacenamiento, presión y velocidad al interior de cada red de distribución.

6.1 APR Limarí

6.1.1 Sector Los Llanos

El primer sector a trabajar corresponde al sector de Los Llanos, donde en particular se observa en la Figura 4-11 y Tabla 4-16 que actualmente presenta problemas de presión en el punto más alejado de la red, esto sumado a las presiones negativas y velocidades por sobre la norma obtenidas por la asignación de la demanda proyectada al año 20 (Tabla 5-1 y Figura 5-1) presentan las principales problemáticas de la red de distribución a resolver para este sector.

En primer lugar, para resolver los problemas de presiones negativas y velocidades por sobre la norma en la situación proyectada, se propone el aumento de diámetro y cambio de materialidad en toda la sección de la red que actualmente se encuentra en PVC C-10 63 mm, a una tubería de HDPE PN-10 de 110 mm, esto se debe a que es el sector más cercano al estanque de almacenamiento, por lo que un aumento de la cantidad de arranques conlleva un aumento de caudal a la salida del estanque, por lo que con diámetros muy pequeños se tendrán velocidades muy grandes y presiones muy bajas, llegando a presiones negativas, por otro lado, el cambio de materialidad se debe a la maleabilidad y mejor funcionamiento a comparación del PVC, puesto que el HDPE puede soportar situaciones más desfavorables y también reduce la cantidad de piezas especiales utilizadas para su instalación. A esto, también se le suma un aumento de diámetro en la conducción de mayor longitud hacia el sector Este de Los Llanos, el cual se encontraba con presiones bajo la norma en el análisis anteriormente realizado, cambiando la tubería de PVC C-10 75 mm a una tubería de HDPE PN10 de 90 mm.

Por otro lado, también se tiene un problema de almacenamiento observado en la Tabla 4-6, donde actualmente el sector se encuentra en un déficit de 1 m³, mientras que este valor sube al año proyectado a un déficit de 62 m³, por lo que en primer lugar se sugiere la implementación de un estanque semienterrado de hormigón de 75 m³, sin embargo, la

diferencia entre la cota actual del estanque (340 msnm) y la cota del nodo último de la red (más alejado, 322 msnm) es de 18 metros, esto sumado a la pérdida de altura al interior de la red hace que en el punto más alejado no se tenga la presión mínima normada y de funcionamiento, por lo que la configuración actual entre los estanques y tuberías actuales no cumplen con una cota suficiente para el actual y futuro funcionamiento, por lo que otra sugerencia sería inhabilitar los estanques actuales y construir un estanque de 100 m³ a una cota más alta, y de esta manera dejar un funcionamiento óptimo tanto en la situación actual como en futuras ampliaciones a cotas similares de la red. Lo dicho anteriormente queda a decisión de la entidad respectiva, ya sea la Consultora a cargo del diseño, el Ingeniero de Proyectos encargado, o bien la Dirección de Obras Hidráulicas, puesto que también se presenta una configuración cambiando tuberías para que se pueda alcanzar las presiones dentro de la norma.

Para terminar con el sector de Los Llanos, se debe de actualizar el sistema de impulsión, puesto que, al realizar la modelación del funcionamiento actual, se observó que el sistema se encontraba sub-dimensionado para surtir la demanda actual. Las recomendaciones de esta impulsión se realizarán mediante iteración en las modelaciones de los resultados.

6.1.2 Sector Las Vegas

Para el sector de Las Vegas, el caso es completamente distinto, puesto que a partir de las Tabla 5-3 y Tabla 5-4 se observa que no existen problemas de presiones ni de velocidad en la red de distribución, por lo que se sugiere dejar la red actual con diámetros de 63 mm, sin embargo, se recomienda que las futuras ampliaciones deban de ser de 75 mm, cambiando la materialidad por HDPE por las mismas razones anteriores.

Para el déficit de almacenamiento del sector observado en la Tabla 4-7, el cual en el horizonte proyectado corresponde a un déficit de 36 m³, se propone la construcción de un estanque elevado metálico de 40 m³ al costado del estanque actual, con la consideración de que ambos estanques se encuentren interconectados a la misma altura de aguas máxima, por lo que existiría una diferencia de altura entre ambos, con respecto a la base de cada uno de ellos. Al igual que para el sector de Los Llanos, el sistema de impulsión actual se encuentra sub-dimensionado, donde las recomendaciones tanto de las características que debe tener el sistema de bombeo como los diámetros de la tubería de impulsión se realizarán en el capítulo de resultados.

6.1.3 Sector Limarí

Finalmente, con respecto al sector de Limarí, este presenta problemas de velocidades, mostrado en la Tabla 5-7, las cuales se ubican en las tuberías que salen directamente del estanque, la cual actualmente tiene un diámetro de 75 mm, por lo cual se propone un aumento de estas tuberías por un diámetro superior de 125 mm o 160 mm. Por otro lado, con respecto a las presiones, estos resultados preliminares se observan en la Tabla 5-6, donde se tienen presiones bajo la norma en los puntos más lejanos de la red, teniendo un mínimo de 8,84 mca con la configuración actual de la red. Este problema puede deberse principalmente a dos factores, el primero corresponde a las pérdidas de altura inevitables al interior de la red, lo que provoca una disminución en las presiones en los nodos más lejanos, mientras que el segundo factor puede ser las pérdidas grandes de presión debido al bajo diámetro de las tuberías a la salida de los estanques. La propuesta final de la solución a los problemas del sector de Limarí se realizará luego de obtener los resultados plasmando los cambios antes mencionados de las tuberías.

Para solucionar el problema de almacenamiento, observado en la Tabla 4-8, donde el déficit al horizonte de 20 años proyectado tiene un valor aproximado de 300 m³ es imperativo la construcción de un estanque nuevo de estas dimensiones, para lo cual se tienen una serie de limitadas opciones las cuales se mencionan a continuación. La primera de ellas corresponde a la construcción de un estanque de hormigón armado semienterrado en una cota natural que sea favorable para el APR, sin embargo, por topografía el sector de Limarí es muy plano, por lo que esta opción es poco factible, ya que el único lugar para poder realizar la construcción corresponde a un sector camino a Los Llanos, por lo cual la impulsión sería de más de 2 km hasta llegar al estanque, lo que hace que sea poco óptimo. La segunda opción, y la más recomendable, corresponde a la construcción de un estanque elevado de hormigón armado de 300 m³, este tipo de estanques conocidos como “copas de agua”. Esta última opción es la más factible y la que se realizará para efectos del presente trabajo, de forma que la ubicación de este nuevo estanque será entre los estanques actuales, pudiendo trabajar en conjunto todos los estanques, sin embargo, la salvedad que se realiza es que el nuevo estanque de 300 m³ tomará el papel de estanque principal, de modo que toda la red de distribución opera desde aquí.

Mientras que el sistema de impulsión también se determinará al momento de realizar las iteraciones en la modelación, puesto que al igual que los demás sectores, el actual

sistema se encuentra sub-dimensionado para la demanda actual. Sin embargo, para el sector de la impulsión, en lugar de juntar toda el agua en un solo pozo e impulsar desde ahí, se propone la utilización de un estanque de mezcla de agua tratada/agua a impulsar, de manera que toda el agua que se almacene en este estanque, la cual viene de los pozos, plantas de tratamiento, o en este caso filtros floculadores, se junte en este estanque, de modo que la mezcla cumpla la normativa chilena NCh 409 – Agua potable, la cual fija los rangos de parámetros que el agua debe tener para que sea de consumo humano. El estanque mencionado no requiere especificaciones únicas, puesto que se trata de un estanque de agua de paso, la cual será impulsada constantemente, por lo que este puede corresponder a un estanque de polietileno de un volumen aproximado de 15 m³.

6.2 APR Cerrillos de Tamaya

El primero de los problemas que presenta el APR Cerrillos de Tamaya corresponde al observado en el análisis del almacenamiento realizado en la sección 4.2.2, donde a partir de la Tabla 4-25, se observa que se presentará un déficit de almacenamiento en el horizonte de 20 años estudiado a nivel de APR con un total de 264 m³, adicional a esto se presenta en las tablas siguientes un análisis del almacenamiento para cada una de las localidades.

Para Santa Cristina, localidad la cual a partir de los planos realizados por la consultora que realizó el diseño del mejoramiento, está abastecida directamente por el estanque de 100 m³ ubicado en Cerrillos de Tamaya, la cual para el año 20 no presenta un déficit de almacenamiento.

Por otro lado, Quebrada Seca, comienza a presentar un déficit recién en el año 14 del presente estudio, el cual corresponde al año 2039, llegando a un déficit de almacenamiento igual a 14 m³ para el año 20.

La situación en el sector de Los Olivos es distinta, puesto que localidad comparte el estanque de 50 m³ junto con parte de la red de Cerrillos de Tamaya, donde considerando este estanque de 50 m³, finalmente presenta un déficit de 40 m³ para el año 20 del estudio.

El sector El Siete, el cual contiene actualmente un estanque elevado de 20 m³, al igual que Santa Cristina, no presenta problemas en su almacenamiento en el horizonte analizado.

Finalmente, Cerrillos de Tamaya con sus dos estanques de 50 m³ y 200 m³, los cuales abastecen toda la red del sector, presenta un déficit de 264 m³ al año 20 del horizonte analizado, el cual en gran parte se debe al mayor aumento de los arranques en el sector.

Para poder solventar los problemas de almacenamiento mencionados anteriormente, siempre es recomendable individualizar los almacenamientos para cada uno de los 5 sectores que cubre el APR, en particular, el único lugar que comparte almacenamiento con otro sector corresponde a Los Olivos, el cual comparte almacenamiento con Cerrillos de Tamaya, por lo cual, para este sector se recomienda implementar un estanque propio, donde a partir de la Tabla 4-28, la capacidad requerida es de un total de 90 m³ para el año 20, por lo que es necesario implementar un estanque de 100 m³, el cual puede estar ubicado junto con los estanques de Cerrillos de Tamaya, de esta manera se aprovecha la cota que se tiene en el cerro, o de otra manera se podría ubicar a la entrada del sector de Los Olivos, parecido al estanque ubicado en El Siete, ya que debido a la topografía del lugar, no es posible construir un estanque semienterrado, por lo que debería ser un estanque elevado, sin embargo, esta última opción no es tan viable, puesto que este estanque tendría que abastecer al estanque de El Siete, el cual se encuentra elevado a una cota de 290 msnm, mientras que la cota de terreno de Los Olivos es de 257 msnm, por lo que elevando un estanque a 25 metros solo alcanzaría una altura de 282 msnm, lo cual es insuficiente para abastecer mediante gravedad al estanque de El Siete, es por esto que se decide por implementar un estanque adicional de 100 m³ al costado de los estanques existentes para abastecer el sector de Los Olivos y el estanque de El Siete.

Por otro lado, para Quebrada Seca, se propone la adición de un estanque de 20 m³ al costado del estanque actual de 50 m³, y de esta manera poder solventar el déficit de 14 m³ que presentará en el año 20 del horizonte proyectado.

Finalmente, para el sector de Cerrillos de Tamaya, el cual necesita un mayor almacenamiento debido a la alta población a la que abastece y también debido a la presencia de grifos de incendio, hay que solventar el déficit de 264 m³ que presentará al año 20, para lo cual se propone la construcción de un estanque de 300 m³ al costado de

los estanques actuales en Cerrillos de Tamaya, el cual se conectará a la red actual del sector, alimentando toda la red.

Con respecto a la red de distribución al interior del APR, según lo obtenido en la sección 5.2, con las demandas futuras asignadas a la red se encuentran presiones bajo la norma tanto en el sector de Los Olivos como en Santa Cristina, donde en particular en los tramos respectivos entre los sectores antes mencionados con Quebrada Seca y El Siete, no existe un caudal suficiente para mantener un nivel óptimo de estos estanques, donde en el caso entre Santa Cristina y Quebrada Seca existe un flujo de caudal hacia el estanque respectivo con un valor de 1,88 l/s, mientras que el caudal demandado desde el estanque es de 3,72 l/s, mientras que en el estanque de El Siete, no existe una recarga del estanque, puesto que debido a las altas demandas, abastece tanto a El Siete como a Los Olivos. En base a lo anterior, se propone aumentar el diámetro de las tuberías, particularmente los diámetros de las conducciones hasta los sectores en cuestión, la cual corresponde a las tuberías entre Cerrillos de Tamaya y Santa Cristina, Santa Cristina y Quebrada Seca, Cerrillos de Tamaya y Los Olivos y finalmente entre Los Olivos y El Siete. Muchas de las tuberías se encuentran actualmente en PVC C-10, sin embargo, debido al cambio propuesto esto también conllevará un cambio en la materialidad de la tubería, escogiendo en este caso tuberías de HDPE PN10, el cual, debido a su maleabilidad, flexibilidad y fácil manejo en obras, es más recomendable que el PVC. Los diámetros finales a aumentar serán obtenidos mediante iteraciones de la modelación junto con los análisis de golpe de ariete al interior de la misma, lo cual será mostrado en la sección de Resultados, sin embargo, en principio las conducciones principales a los sectores se diseñarán con un diámetro de 110 mm, mientras que aquellas tuberías de 63 mm en las localidades de Santa Cristina y Los Olivos, serán aumentadas a 75 mm o 90 mm.

6.3 Plazos Previstos

Para las propuestas mencionadas anteriormente se deben considerar ciertos plazos para ser llevadas a cabo. En primer lugar, se debe considerar los plazos para el diseño profesional y ratificado, ya sea por una consultora mediante la licitación correspondiente por parte de la DOH o por un profesional certificado a cargo. Los plazos para el diseño comúnmente varían entre los 8 y 9 meses como base, esto sin considerar posibles retrasos debido a procesos legales, sin embargo, dado el presente trabajo, es muy probable que este tiempo puede ser disminuido en gran manera, siendo necesario solo ratificar información puntual.

Por otro lado, para el proceso de construcción, los plazos son más variable dependiendo de las obras, en primer lugar, se tienen los estanques, obras las cuales son las principales para la situación actual de cada APR. Según la experiencia de ingenieros civiles, los plazos de construcción para un estanque se estiman en aproximadamente 60 días, esto se considerando un tiempo base, puesto que puede aumentar debido a las condiciones del terreno en el cual se construya, si existe accesibilidad para camiones y los métodos de construcción que se utilicen.

Finalmente, los plazos para los cambios de red son los más variables al interior de todo un mejoramiento, puesto que son muchas variables que pueden afectar las modificaciones del contrato, en particular cuando se reemplazan tuberías existentes, ya que se debe verificar en terreno la ubicación de las tuberías existentes, teniendo especial cuidado al momento de utilizar una retroexcavadora; se debe tener en consideración el tipo de terreno en el cual se realizarán las excavaciones y también la posible existencia de rocas, lo cual demora en gran medida el avance del reemplazo de tuberías; otro punto a considerar es con respecto a la disponibilidad de la autoridad para cada una de las etapas de la construcción, ya sea el ITO determinado por la sanitaria correspondiente para las pruebas de la tubería y reconexión de arranques, de la disponibilidad por parte de Vialidad o de Servio para el relleno y compactación de zanjas, por lo que, dicho lo anterior se estima un plazo conservador de 8 meses para el cambio de redes en cada uno de los APR's.

En base a lo anterior, es posible obtener un tiempo aproximado de 2 años entre el diseño del mejoramiento y la construcción del mismo, sin contar tiempos de licitaciones. Para el APR Limarí en particular, actualmente se encuentra con déficit de almacenamiento, por lo cual no cuenta con estos 2 años para realizar estos trabajos, inclusive actualmente presenta problemas de presión al interior de su red. Por otro lado, para el APR Cerrillos de Tamaya existe un periodo previo a tener problemas en algunos de sus sectores, como lo son Quebrada Seca y Los Olivos, los cuales perciben faltas de almacenamiento al año 2039 y 2031 respectivamente; así también como cuenta con sectores que en los 20 años analizados no presentarán problemas de almacenamiento, como lo son El Siete y Santa Cristina; sin embargo, al igual que con el APR Limarí, el sector de Cerrillos de Tamaya ya cuenta con un déficit de almacenamiento el cual debe ser solventado a la brevedad, por lo cual se debe considerar realizar estos trabajos en los sectores que se requiere.

7 RESULTADOS PROYECTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de cada uno de los sectores al interior de cada APR, en particular se implementan y analizan lo descrito en la sección 6 referente a la propuesta de alternativas para el diseño proyectado. Cabe resaltar que los cambios de tubería, ya sea por materialidad o por aumento de diámetro, son consideradas en HDPE (High Density Polyethylene), donde en particular se utiliza el catálogo de tuberías de HDPE Tigre, el cual se presenta a continuación.

Figura 7-1. Catálogo Polietileno de alta densidad

Presión Nominal PN 4 PN 6 PN 8 PN 10									Presión Nominal PN 12,5 PN 16 PN 20 PN 25								
SDR	Esesor (mm)	Peso (Kg/m)	SDR 26		SDR 21		SDR 17		SDR	SDR 13,6		SDR 11		SDR 9		SDR 7,4	
Díametro Nominal (mm)	e min (mm)	Peso (Kg/m)	e min (mm)	Peso (Kg/m)	e min (mm)	Peso (Kg/m)	e min (mm)	Peso (Kg/m)	Díametro Nominal (mm)	e min (mm)	Peso (Kg/m)	e min (mm)	Peso (Kg/m)	e min (mm)	Peso (Kg/m)	e min (mm)	Peso (Kg/m)
20	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	2,0	0,124	2,3	0,143	3,0	0,172
25	-	-	-	-	-	-	-	-	25	2,0	0,159	2,3	0,183	3,0	0,223	3,5	0,256
32	-	-	-	-	-	-	-	2,0	32	2,4	0,248	3,0	0,295	3,6	0,347	4,4	0,410
40	-	-	-	-	2,0	0,263	2,4	0,316	40	3,0	0,387	3,7	0,456	4,5	0,540	5,5	0,636
50	-	-	2,0	0,332	2,4	0,400	3,0	0,479	50	3,7	0,582	4,6	0,705	5,6	0,834	6,9	0,986
63	-	-	2,5	0,526	3,0	0,612	3,8	0,762	63	4,7	0,924	5,8	1,110	7,1	1,330	8,6	1,550
75	-	-	2,9	0,715	3,6	0,878	4,5	1,077	75	5,6	1,308	6,8	1,548	8,4	1,864	10,3	2,208
90	-	-	3,5	1,039	4,3	1,260	5,4	1,546	90	6,7	1,870	8,2	2,247	10,1	2,688	12,3	3,161
110	-	-	4,2	1,525	5,3	1,885	6,6	2,293	110	8,1	2,774	10,0	3,317	12,3	3,987	15,1	4,733
125	-	-	4,8	1,951	6,0	2,394	7,4	2,926	125	9,2	3,569	11,4	4,309	14,0	5,158	17,1	6,114
140	-	-	5,4	2,274	6,7	2,786	8,3	3,402	140	10,3	4,214	12,7	5,011	15,7	6,037	19,2	7,161
160	-	-	6,2	3,234	7,7	3,932	9,5	4,783	160	11,8	5,813	14,6	7,038	17,9	8,388	21,9	9,932
180	-	-	6,9	3,727	8,6	4,589	10,7	5,628	180	13,3	6,980	16,4	8,307	20,1	9,934	24,6	11,795
200	-	-	7,7	4,616	9,6	5,686	11,9	6,950	200	14,7	8,571	18,2	10,240	22,4	12,292	27,4	14,588
225	-	-	8,6	5,796	10,8	7,191	13,4	8,799	225	16,6	10,877	20,5	12,970	25,2	15,553	30,8	18,446
250	-	-	9,6	7,182	11,9	8,803	14,8	10,797	250	18,4	13,392	22,7	15,958	27,9	19,137	34,2	22,756
280	-	-	10,7	8,961	13,4	11,092	16,6	13,556	280	20,6	16,785	25,4	19,996	31,3	24,035	38,3	28,538
315	7,7	7,527	12,1	11,390	15,0	13,965	18,7	17,171	315	23,2	21,254	28,6	25,320	35,2	30,404	43,1	36,122
355	8,7	9,576	13,6	14,421	16,9	17,723	21,2	21,922	355	26,1	26,940	32,3	32,212	39,7	38,634	48,5	45,813
400	9,8	12,138	15,3	18,271	19,1	22,556	23,7	27,619	400	29,4	34,181	36,3	40,793	44,7	49,010	54,7	58,203
450	11	15,306	17,2	23,098	21,5	28,553	26,7	34,991	450	33,1	43,276	40,9	51,689	50,3	62,033	61,5	73,617
500	12,3	19,055	19,1	28,925	23,9	35,778	29,7	43,856	500	36,8	52,707	45,4	64,610	55,8	77,463	-	-
560	13,7	23,727	21,4	36,278	26,7	44,754	33,2	54,897	560	41,2	66,080	50,8	80,963	62,5	97,160	-	-
630	15,4	30,018	24,1	45,938	30,0	56,554	37,4	69,545	630	46,3	83,536	57,2	102,529	70,3	122,931	-	-
710	17,4	38,261	27,2	58,402	33,9	71,986	42,1	88,209	710	52,2	106,121	64,5	130,266	79,3	156,237	-	-
800	19,6	48,515	30,6	74,008	38,1	91,146	47,4	111,883	800	58,8	134,676	72,6	165,205	89,3	198,234	-	-
900	22	61,193	34,4	93,570	42,9	115,422	53,3	141,510	900	66,2	170,548	81,7	209,117	-	-	-	-
1000	24,5	75,769	38,2	115,424	47,7	142,561	59,3	174,889	1000	72,5	207,760	90,2	256,673	-	-	-	-
1200	29,4	109,074	45,9	166,353	57,2	205,087	67,9	240,989	1200	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Catálogo HDPE Tigre.

7.1 APR Limarí

7.1.1 Sector Las Vegas

El primer sector para el cual se presentan los resultados corresponde al sector de Las Vegas, el cual en su red de distribución no contaba con problemas en el horizonte proyectado, pudiendo mantener su red actual de 63 mm. Con respecto al almacenamiento, este contenía un déficit de 36 m³, por lo que se propone la construcción

de un estanque metálico elevado de 40 m³ al costado del actual, de forma de que puedan trabajar en conjunto.

Finalmente, para el sistema de impulsión, el cual se encuentra sub-dimensionado actualmente, se realizan iteraciones para encontrar un sistema de bombeo suficiente para trabajar de manera óptima, esto incluye un sistema de bombas, un sistema de tuberías acorde a la bomba el cual debe funcionar respetando las presiones al interior de esta como las velocidades. Para ello se recuerda los resultados obtenidos a partir del análisis de la impulsión mostrados en la

Tabla 4-11, donde el caudal de diseño obtenido para un tiempo de bombeo en el año 20 del horizonte proyectado, corresponde a un caudal de 7,12 l/s, mientras que la diferencia de altura entre la planta relevadora y los estanques elevados tiene un valor de 44 metros. Dicho lo anterior se procede a realizar las iteraciones respectivas para encontrar una configuración de bomba y tuberías de impulsión que sea posible satisfacer la demanda solicitada, a lo cual es necesario la implementación de un sistema de bombas que sea capaz de levantar un caudal de 450 l/min (7,6 l/s) a una altura de 50 metros junto con un sistema de tuberías de HDPE PN10 con un diámetro de 125 mm, donde se sugiere que la elección de la bomba a partir de los catálogos respectivos quede en manos de un especialista.

Ingresada esta bomba a la modelación se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 7-1. Resultados Finales de Presiones - Las Vegas

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	189	0	25,85	A-12	175	0,04	34,3
A-2	189	0	25,69	A-13	175	0,18	34,29
A-3	190	0	24,54	A-14	174	0,13	35,28
A-4	190	0,33	24,49	A-15	174	0,09	35,28
A-5	188	0,18	26,42	A-16	173	0,22	36,27
A-6	189	0,27	25,4	A-17	185	0,31	25,12
A-7	188	0,47	26,38	A-18	185	0,63	23,44
A-8	175	0,92	39,26	A-19	184	0,27	24,41
A-9	185	0	25,86	A-20	185	0,54	23,2
A-10	174	0,67	35,32	Imp-1	170	0	51,81
A-11	175	0,09	34,32	Imp-2	185	0	32,95

Fuente: Resultados Epanet, 2023.

Tabla 7-2. Resultados Finales de Velocidades - Las Vegas

Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-1	30	60	5,34	1,89	B-12	21	60	0,66	0,23
B-2	4	60	4,42	1,56	B-13	45	60	0,18	0,06
B-3	40	60	1,25	0,44	B-14	34	60	0,44	0,16
B-4	153	60	0,33	0,12	B-15	15	60	0,09	0,03
B-5	57	60	0,92	0,33	B-16	43	60	0,22	0,08
B-6	91	60	0,27	0,1	B-17	105	60	1,75	0,62
B-7	64	60	0,47	0,17	B-18	347	60	1,44	0,51
B-8	275	60	0,92	0,33	B-19	115	60	0,27	0,1
B-9	183	60	3,17	1,12	B-20	297	60	0,54	0,19
B-10	324	60	1,42	0,5	Imp-1	1076	117,6	7,17	0,66
B-11	37	60	0,09	0,03	Imp-2	405	117,6	7,17	0,66

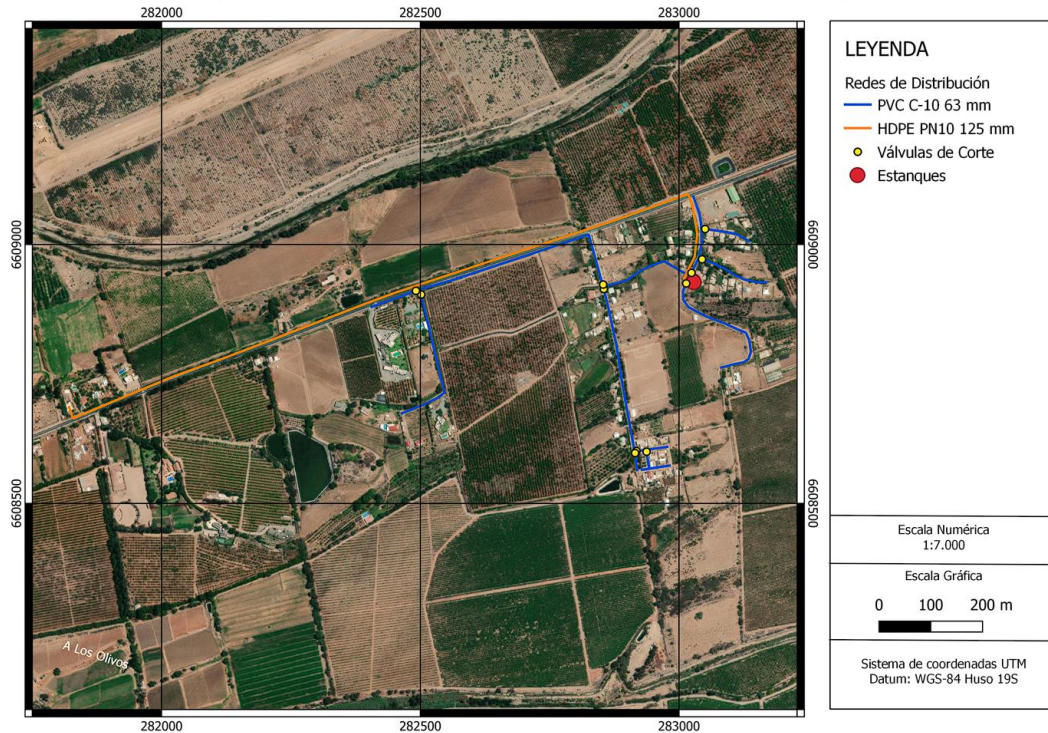
Fuente: Resultados Epanet, 2023.

En particular los nodos desde el A-1 hasta el A-20 presentados en la Tabla 7-1, corresponden a los nodos al interior de la red de distribución, donde se presentan tanto las presiones al interior de esta como las demandas proyectadas donde se presenta una mínima presión de 23,2 mca, mientras que la máxima presión tiene un valor de 51,81 mca, la cual se ubica al interior del sistema de impulsión.

Por otro lado, con respecto a las velocidades, estas se encuentran bajo el máximo dictado por la norma, la cual fija un valor de 3 m/s, teniendo al interior de la red una velocidad máxima de 1,89 m/s, la cual se ubica a la salida del estanque de distribución, por otro lado, las velocidades al interior de la red de impulsión tienen un valor de 0,66 m/s, valor el cual se encuentra por sobre el valor mínimo recomendado por la DOH en su Manual de criterios de diseño de APR's, donde se recomienda que las velocidades de conducción se encuentren por sobre los 0,6 m/s.

A continuación, se presenta la red final proyectada, donde de manera adicional se presentan las propuestas para el acuartelamiento al interior de la red, ubicando las válvulas de corte.

Figura 7-2. Red de Distribución Final - Las Vegas



Fuente: Elaboración Propia.

7.1.2 Sector Los Llanos

En primer lugar, para el sector de Los Llanos se realiza lo mencionado en la sección 6.1.1, donde en particular, se realiza a continuación la primera sugerencia realizada, implementando a la misma cota un estanque adicional de 75 m³, aumentando los diámetros de tuberías en el sector más cercano al estanque y también en la conducción hacia el sector Este de Los Llanos.

Por otro lado, con respecto a la impulsión de Los Llanos, esta se realiza a partir de los caudales a impulsar mostrados en la Tabla 4-10, donde se debe instalar una bomba capaz de impulsar un caudal de 11,81 l/s a una altura de 160 metros, la cual es la diferencia entre la cota de la sentina ubicada en la relevadora de Los Llanos y la cota de los estanques. Dicho lo anterior, se proceden a realizar las iteraciones respectivas, obteniendo una configuración óptima entre bomba-tubería, en donde la bomba debe ser capaz de levantar un caudal de 775 l/min (12,9 l/s) a una altura de 170 metros, mientras que la tubería es de HDPE de 160 mm, donde el primer tramo corresponde a una calidad

de PN25, mientras que el segundo tramo es de PN16, esto es debido a las presiones obtenidas a lo largo de la impulsión.

Tabla 7-3. Resultados Finales de Presiones - Los Llanos

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	312	0	29,39	A-17	291	0,13	48,18
A-2	319	0,13	22,39	A-18	293	0,16	46,18
A-3	302	0,22	38,64	A-19	291	0	48,16
A-4	321	0,67	19,62	A-20	294	0,45	44,1
A-5	292	0,11	48,59	A-21	291	0,22	46,59
A-6	300	1,54	40,5	A-22	304	0,33	33,58
A-7	299	0,22	41,15	A-23	293	0,11	44,34
A-8	321	0,45	19,09	A-24	296	0,04	41,32
A-9	317	0,45	23,08	A-25	296	0,22	41,31
A-10	307	0,36	33,08	A-26	305	0,18	32,27
A-11	300	0,29	39,75	A-27	306	0,22	31,27
A-12	307	0,33	32,74	A-28	316	0,18	21,26
A-13	290	0,11	49,49	A-29	322	0,22	15,26
A-14	291	0,16	48,49	A-30	297	0	46,09
A-15	293	0,22	46,28	A-31	225	0	127,97
A-16	298	0,22	41,28	A-32	180	0	178,88
				A-33	294	0,89	43,32

Fuente: Resultados Epanet, 2023.

Tabla 7-4. Resultados Finales de Velocidades - Los Llanos

Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-1	62,3	103,4	8,83	1,05	B-17	61,7	103,4	3,35	0,4
B-2	22,6	103,4	0,13	0,02	B-18	30,55	103,4	0,16	0,02
B-3	78,1	103,4	8,7	1,04	B-19	16,4	103,4	3,06	0,36
B-4	205,1	103,4	0,67	0,08	B-20	287,1	84,6	3,06	0,54
B-5	98,71	103,4	1,65	0,2	B-21	186	84,6	2,61	0,46
B-6	237	103,4	1,54	0,18	B-22	81,8	72	0,33	0,08
B-7	95,9	103,4	6,16	0,73	B-23	138,2	84,6	2,06	0,37
B-8	243,1	103,4	1,26	0,15	B-24	22,2	72	1,06	0,26
B-9	160	103,4	0,45	0,05	B-25	72,9	72	0,22	0,05
B-10	84	103,4	0,36	0,04	B-26	65,3	72	0,8	0,2
B-11	132,5	103,4	4,68	0,56	B-27	74,8	72	0,22	0,05
B-12	170,6	103,4	0,33	0,04	B-28	65,52	72	0,4	0,1

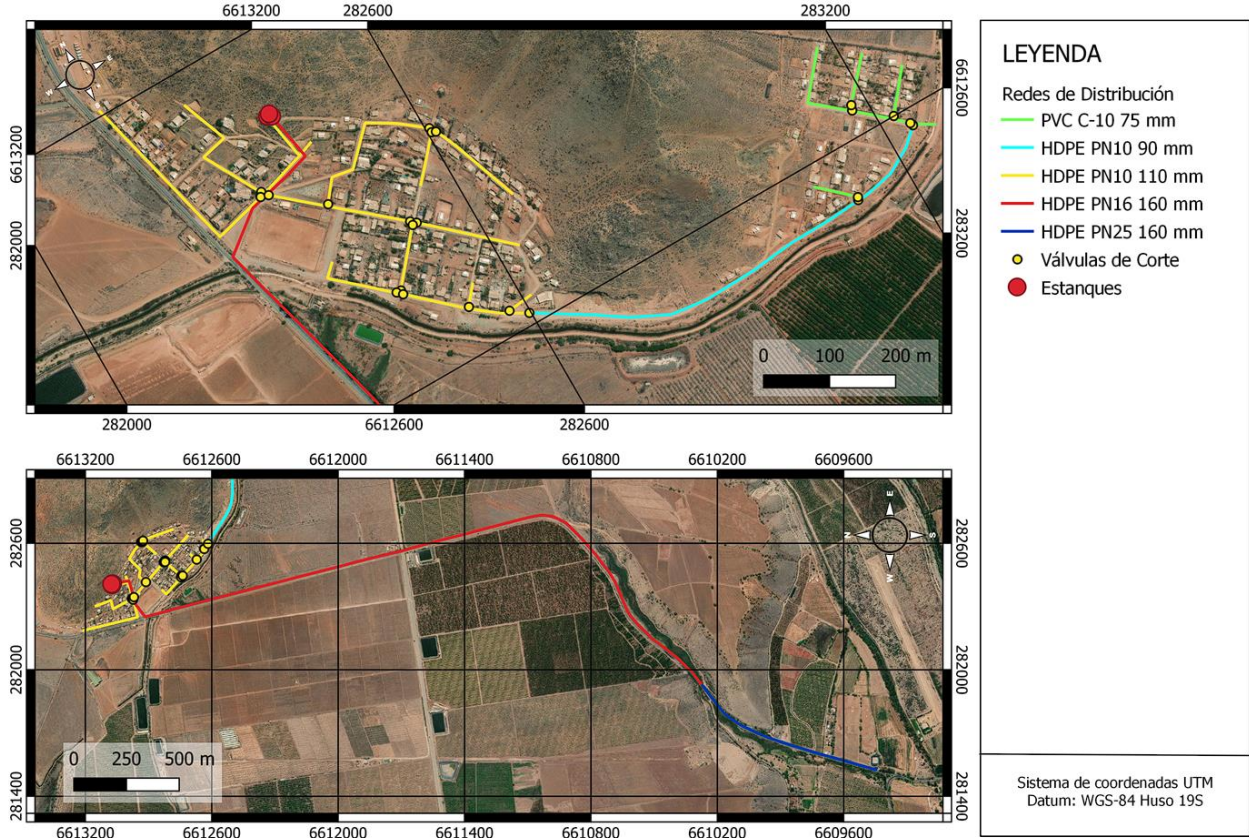
Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-13	108,5	103,4	4,06	0,48	B-29	76,9	72	0,22	0,05
B-14	142,87	103,4	0,16	0,02	B-30	941	138,1	11,85	0,79
B-15	103,3	103,4	3,79	0,45	B-31	337,1	145,4	11,85	0,71
B-16	56	103,4	0,22	0,03	B-32	3057,6	145,4	11,85	0,71
					B-33	30	72	0,89	0,22

Fuente: Resultados Epanet, 2023.

A partir de los resultados obtenidos, es posible observar que, para las presiones al interior de la red, estas se encuentran en un mínimo de 15,26 mca, nodo el cual corresponde al que no cumplía anteriormente con la norma, mientras que las presiones máximas al interior de la red de distribución tienen un valor de 49,49 mca. Por otro lado, para la impulsión, se tiene una presión máxima de 178,88 mca al comienzo de la misma, por lo cual es necesaria la implementación de una tubería de mayor presión nominal como lo es la tubería de HDPE PN25, mientras que para el resto de la impulsión se tiene una presión inferior a los 127,97 mca, por lo cual basta con una tubería de calidad igual a PN16.

Con respecto a las velocidades en las tuberías, estas tienen un máximo valor al interior de la red de distribución igual a 1,05 m/s, la cual se ubica a la salida del estanque, por lo cual está bajo el máximo normado de 3 m/s. Por otro lado, para la impulsión se tiene una velocidad al interior de la tubería igual a 0,71 m/s, superando el mínimo recomendado por la DOH de 0,6 m/s y estando bajo el máximo de 3 m/s, cumpliendo así con todos los criterios de presión y velocidad.

Figura 7-3. Red de Distribución Final - Los Llanos



Fuente: Elaboración Propia.

7.1.3 Sector Limarí

Finalmente, para el sector de Limarí, se realizan los cambios propuestos en la sección 6.1.3, donde se decide aumentar el diámetro de las tuberías que salen directamente desde los estanques, de modo de cumplir con las velocidades y a su vez solucionar los problemas de presiones que se obtuvieron al interior de la red. Para lo anterior, se propone modificar la tubería que sale de los estanques, aumentando de un diámetro actual de 75 mm a una tubería de HDPE PN10 de diámetro 125 mm, mientras que las demás tuberías se mantienen cumpliendo con las presiones y velocidades dictadas por la norma.

Con respecto a la impulsión, esta contiene los caudales a nivel de APR, y no solamente del sector, debiendo cumplir con los caudales de impulsión mostrados en la Tabla 4-9, donde en particular se deben impulsar un total de 51,79 l/s, adicional a esto se tiene que

la diferencia de altura entre el estanque de mezcla de agua tratada y los estanques de almacenamiento de Limarí es de 49 metros. Dicho lo anterior se procede a realizar las iteraciones de la modelación correspondiente, donde se obtuvo que la configuración óptima para el correcto funcionamiento del sistema de impulsión contempla un sistema de bombeo que sea capaz de levantar 3.110 l/min (51,8 l/s) a una altura de 55 metros, mientras que la tubería de impulsión corresponde a HDPE PN16 de 280 mm de diámetro, esto debido a la gran cantidad de caudal que debe ser impulsado.

Tabla 7-5. Resultados Finales de Presiones - Limarí

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	184	0	22,88	A-42	169	0	36,65
A-2	184	0	22,85	A-43	169	0	36,62
A-3	184	0	22,81	A-44	170	0	35,58
A-4	182	0,04	24,71	A-45	170	0,08	35,58
A-5	182	0	24,21	A-46	170	0,02	35,55
A-6	173	0,22	31,05	A-47	170	0,08	35,55
A-7	169	0,3	32,91	A-48	170	0,05	35,54
A-8	167	0,3	33,15	A-49	170	0,08	35,54
A-9	167	1,55	33,02	A-50	171	0,05	34,53
A-10	166	0,08	34,14	A-51	170	0,08	35,53
A-11	166	0,04	34,14	A-52	171	0,05	34,53
A-12	165	0,03	35,14	A-53	171	0,06	34,53
A-13	162	0,2	38,14	A-54	171	0,06	34,53
A-14	162	0,2	38,14	A-55	172	0,1	33,52
A-15	160	0,5	43,83	A-56	170	0,03	35,65
A-16	168	0,11	38,2	A-57	171	0,22	34,01
A-17	168	0,07	38,22	A-58	171	0,24	33,91
A-18	170	0,1	35,87	A-59	173	0,22	30,63
A-19	170	0	35,87	A-60	173	0	30,44
A-20	169	0,08	36,84	A-61	173	0,22	30,46
A-21	172	0,28	33,77	A-62	173	0,15	30,47
A-22	172	0	33,77	A-63	173	0	30,44
A-23	174	0,06	31,76	A-64	167	0,5	37,06
A-24	174	0	31,76	A-65	171	0	31,91
A-25	174	0,06	31,76	A-66	166	0,3	35,27
A-26	173	0,06	32,76	A-67	166	0,38	32,8
A-27	173	0,05	32,75	A-68	171	0,05	31,9
A-28	173	0,06	32,75	A-69	174	2,37	28,27

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-29	173	0,05	32,75	A-70	174	0,07	28,28
A-30	173	0,06	32,75	A-71	177	0,26	17,81
A-31	173	0,02	32,75	A-72	175	0,22	19,79
A-32	171	0,05	34,77	A-73	172	0,3	20,19
A-33	171	0,09	34,77	A-74	161	0,4	30,95
A-34	170	0,06	35,79	A-75	171	0,83	20,25
A-35	169	0,12	36,79	A-76	174	0,08	26,22
A-36	172	0,06	33,77	A-77	174	3,94	26,21
A-37	171	0,12	34,77	A-78	182	0,36	18,15
A-38	171	0,06	34,77	A-79	174	0,14	28,28
A-39	171	0,12	34,76	A-80	155	0	55
A-40	171	0,05	34,77	A-81	175	0	31,47
A-41	167	0,09	38,83	A-82	175	0	31,47

Fuente: Resultados Epanet, 2023.

Tabla 7-6. Resultados Finales de Velocidad - Limarí

Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-1	8	123	17,33	1,46	B-48	15	60	0,02	0,01
B-2	3	123	15,45	1,3	B-49	160	72	1,97	0,48
B-3	7	123	9,66	0,81	B-50	10	72	1,94	0,48
B-4	59	72	3,58	0,88	B-51	69	72	0,71	0,17
B-5	217	72	3,42	0,84	B-52	40	72	0,08	0,02
B-6	334	72	2,7	0,66	B-53	60	72	0,63	0,15
B-7	343	72	2,4	0,59	B-54	46	72	0,08	0,02
B-8	56	72	1,55	0,38	B-55	42	72	0,53	0,13
B-9	10	104,7	0,55	0,06	B-56	37	72	0,08	0,02
B-10	43	104,7	0,3	0,03	B-57	44	72	0,4	0,1
B-11	38	104,7	0,15	0,02	B-58	37	72	0,08	0,02
B-12	176	104,7	0,05	0,01	B-59	42	72	0,27	0,07
B-13	117	104,7	0,07	0,01	B-60	37	72	0,06	0,01
B-14	38	104,7	-0,08	0,01	B-61	42	72	0,16	0,04
B-15	117	104,7	0,1	0,01	B-62	173	72	0,1	0,02
B-16	157	104,7	0,17	0,02	B-63	388	72	1,88	0,46
B-17	321	60	0,5	0,18	B-64	116	60	0,03	0,01
B-18	52	104,7	3,73	0,43	B-65	417	72	2,21	0,54
B-19	133	104,7	3,69	0,43	B-66	427	104,7	5,94	0,69
B-20	260	72	0,16	0,04	B-67	258	72	3,11	0,76

Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-21	10	72	1,65	0,4	B-68	7	72	0,86	0,21
B-22	119	72	1,7	0,42	B-69	5	72	2,12	0,52
B-23	3	72	1,29	0,32	B-70	8	72	-5,48	1,35
B-24	51	72	0,78	0,19	B-71	310	104,7	-5,7	0,66
B-25	162	72	0,61	0,15	B-72	300	60	-1,49	0,53
B-26	139	60	0,31	0,11	B-73	7	72	2,1	0,52
B-27	75	60	-0,1	0,03	B-74	4	104,7	-1,92	0,22
B-28	206	60	0,32	0,11	B-75	1380	60	0,5	0,18
B-29	117	60	0,5	0,18	B-76	40	72	4,02	0,99
B-30	70	60	0,12	0,04	B-77	81	72	0,05	0,01
B-31	56	60	0,32	0,11	B-78	531	104,7	5,68	0,66
B-32	75	60	0,12	0,04	B-79	297	104,7	3,97	0,46
B-33	59	60	0,14	0,05	B-80	7	104,7	2,37	0,28
B-34	76	60	0,12	0,04	B-81	764	60	1,39	0,49
B-35	45	60	-0,04	0,01	B-82	1000	60	-1	0,35
B-36	88	60	-0,09	0,03	B-83	442	60	2,01	0,71
B-37	7	72	0,56	0,14	B-84	120	60	0,22	0,08
B-38	39	60	0,05	0,02	B-85	482	60	1,53	0,54
B-39	93	60	0,09	0,03	B-86	531	60	0,4	0,14
B-40	38	72	0,42	0,1	B-87	537	60	0,83	0,29
B-41	8	60	0,12	0,04	B-88	414	104,7	4,38	0,51
B-42	21	60	0,06	0,02	B-89	4	104,7	3,94	0,46
B-43	38	60	0,06	0,02	B-90	438	72	0,36	0,09
B-44	39	60	0,24	0,08	B-91	52	72	-0,14	0,03
B-45	22	60	0,06	0,02	B-92	50	107,4	0,06	0,01
B-46	39	60	0,13	0,05	B-94	133	104,7	3,69	0,43
B-47	22	60	0,06	0,02	B-95	1	104,7	0	0
					Imp-1	924	254,6	51,8	1,02

Fuente: Resultados Epanet, 2023.

A partir de los resultados es posible que observar que las presiones al interior de la red se mantienen en un rango entre los 17,81 mca como valor mínimo y 55 mca como valor máximo, por tanto cumplen con el rango de presiones de servicio dictado por la norma, mientras que por otra parte, la velocidad máxima al interior de la red tiene un valor de 1,46 m/s, ubicada a la salida de la tubería, la cual contiene el mayor caudal al interior de la red, sin embargo, sigue permaneciendo bajo el valor máximo de 3 m/s dictado por la norma.

Como se menciona anteriormente, a este sector en particular se le debe añadir un grifo debido a sus características de población y arranques, por tanto, se debe verificar que con el grifo en funcionamiento se sigan cumpliendo las condiciones normadas en la NCh 691, por lo que a continuación se presentan estos resultados.

Tabla 7-7. Resultados Finales de Presiones con Grifo - Limarí

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	184	0	22,6	A-42	169	0	33,61
A-2	184	0	22,48	A-43	169	0	33,62
A-3	184	0	22,34	A-44	170	0	32,58
A-4	182	0,04	23,22	A-45	170	0,08	32,58
A-5	182	0	22,57	A-46	170	0,02	32,55
A-6	173	0,22	29,42	A-47	170	0,08	32,55
A-7	169	0,3	31,28	A-48	170	0,05	32,54
A-8	167	0,3	31,51	A-49	170	0,08	32,54
A-9	167	1,55	31,38	A-50	171	0,05	31,53
A-10	166	0,08	32,51	A-51	170	0,08	32,53
A-11	166	0,04	32,51	A-52	171	0,05	31,53
A-12	165	0,03	33,51	A-53	171	0,06	31,53
A-13	162	0,2	36,51	A-54	171	0,06	31,53
A-14	162	0,2	36,51	A-55	172	0,1	30,53
A-15	160	0,5	42,2	A-56	170	0,03	32,61
A-16	168	0,11	34,47	A-57	171	0,22	33,1
A-17	168	0,07	34,46	A-58	171	0,24	32,81
A-18	170	0,1	32,15	A-59	173	0,22	29,09
A-19	170	0	32,14	A-60	173	0	28,83
A-20	169	0,08	33,11	A-61	173	0,22	28,85
A-21	172	0,28	30,05	A-62	173	0,15	28,85
A-22	172	0	30,04	A-63	173	0	28,83
A-23	174	0,06	28,04	A-64	167	0,5	36,15
A-24	174	0	28,04	A-65	171	0	30,3
A-25	174	0,06	28,04	A-66	166	0,3	33,66
A-26	173	0,06	29,04	A-67	166	0,38	31,19
A-27	173	0,05	29,03	A-68	171	0,05	30,3
A-28	173	0,06	29,03	A-69	174	2,37	26,66
A-29	173	0,05	29,03	A-70	174	0,07	26,67
A-30	173	0,06	29,03	A-71	177	0,26	16,2
A-31	173	0,02	29,03	A-72	175	0,22	18,18
A-32	171	0,05	31,04	A-73	172	0,3	18,58

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-33	171	0,09	31,04	A-74	161	0,4	29,34
A-34	170	0,06	32,06	A-75	171	0,83	18,64
A-35	169	0,12	33,06	A-76	174	0,08	24,61
A-36	172	0,06	30,05	A-77	174	3,94	24,6
A-37	171	0,12	31,04	A-78	182	0,36	16,54
A-38	171	0,06	31,04	A-79	174	0,14	26,67
A-39	171	0,12	31,04	A-80	155	0	55
A-40	171	0,05	31,04	Grifo	175	16	27,34
A-41	167	0,09	35,11	A-82	175	0	27,37

Fuente: Resultados Epanet, 2023.

Tabla 7-8. Resultados Finales de Velocidades con Grifo - Limarí

Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-1	8	123	33,33	2,81	B-48	15	60	0,02	0,01
B-2	3	123	29,85	2,51	B-49	160	72	-0,96	0,23
B-3	7	123	20,83	1,75	B-50	10	72	-0,99	0,24
B-4	59	72	6,48	1,59	B-51	69	72	0,71	0,17
B-5	217	72	3,42	0,84	B-52	40	72	0,08	0,02
B-6	334	72	2,7	0,66	B-53	60	72	0,63	0,15
B-7	343	72	2,4	0,59	B-54	46	72	0,08	0,02
B-8	56	72	1,55	0,38	B-55	42	72	0,53	0,13
B-9	10	104,7	0,55	0,06	B-56	37	72	0,08	0,02
B-10	43	104,7	0,3	0,03	B-57	44	72	0,4	0,1
B-11	38	104,7	0,15	0,02	B-58	37	72	0,08	0,02
B-12	176	104,7	0,05	0,01	B-59	42	72	0,27	0,07
B-13	117	104,7	0,07	0,01	B-60	37	72	0,06	0,01
B-14	38	104,7	-0,08	0,01	B-61	42	72	0,16	0,04
B-15	117	104,7	0,1	0,01	B-62	173	72	0,1	0,02
B-16	157	104,7	0,17	0,02	B-63	388	72	3,48	0,86
B-17	321	60	0,5	0,18	B-64	116	60	0,03	0,01
B-18	52	104,7	13,91	1,62	B-65	417	72	2,54	0,62
B-19	133	104,7	13,87	1,61	B-66	427	104,7	6,92	0,8
B-20	260	72	3,06	0,75	B-67	258	72	1,79	0,44
B-21	10	72	-1,25	0,31	B-68	7	72	0,06	0,02
B-22	119	72	1,7	0,42	B-69	5	72	1,66	0,41
B-23	3	72	1,29	0,32	B-70	8	72	-6,46	1,59
B-24	51	72	0,78	0,19	B-71	310	104,7	-6,68	0,78

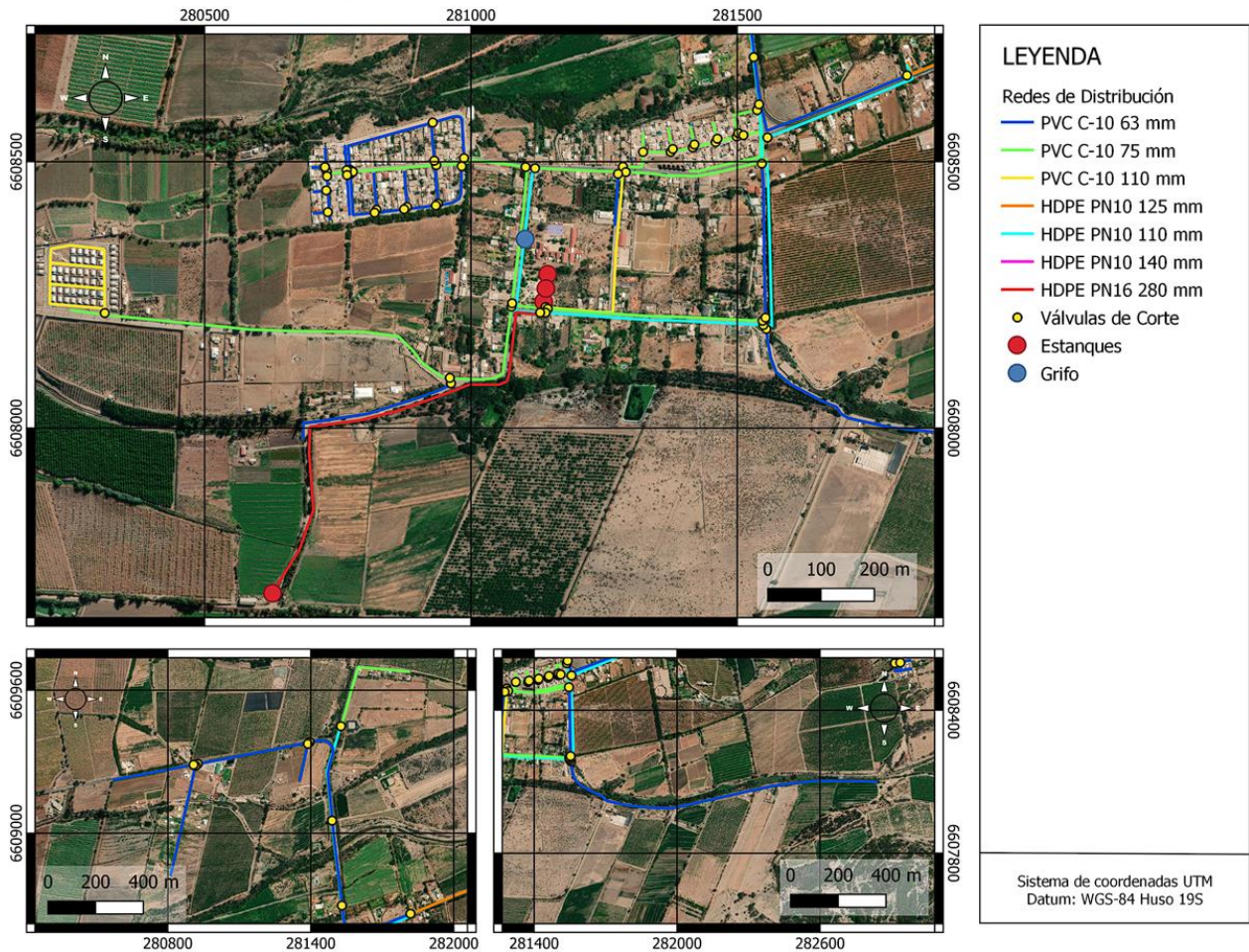
Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-25	162	72	0,61	0,15	B-72	300	60	-1,82	0,64
B-26	139	60	0,31	0,11	B-73	7	72	1,57	0,39
B-27	75	60	-0,1	0,03	B-74	4	104,7	-2,45	0,28
B-28	206	60	0,32	0,11	B-75	1380	60	0,5	0,18
B-29	117	60	0,5	0,18	B-76	40	72	4,02	0,99
B-30	70	60	0,12	0,04	B-77	81	72	0,05	0,01
B-31	56	60	0,32	0,11	B-78	531	104,7	5,68	0,66
B-32	75	60	0,12	0,04	B-79	297	104,7	3,97	0,46
B-33	59	60	0,14	0,05	B-80	7	104,7	2,37	0,28
B-34	76	60	0,12	0,04	B-81	764	60	1,39	0,49
B-35	45	60	-0,04	0,01	B-82	1000	60	-1	0,35
B-36	88	60	-0,09	0,03	B-83	442	60	2,01	0,71
B-37	7	72	0,56	0,14	B-84	120	60	0,22	0,08
B-38	39	60	0,05	0,02	B-85	482	60	1,53	0,54
B-39	93	60	0,09	0,03	B-86	531	60	0,4	0,14
B-40	38	72	0,42	0,1	B-87	537	60	0,83	0,29
B-41	8	60	0,12	0,04	B-88	414	104,7	4,38	0,51
B-42	21	60	0,06	0,02	B-89	4	104,7	3,94	0,46
B-43	38	60	0,06	0,02	B-90	438	72	0,36	0,09
B-44	39	60	0,24	0,08	B-91	52	72	-0,14	0,03
B-45	22	60	0,06	0,02	B-92	50	107,4	0,06	0,01
B-46	39	60	0,13	0,05	B-94	133	104,7	-2,13	0,25
B-47	22	60	0,06	0,02	B-95	1	104,7	16	1,86
					Imp-1	924	254,6	51,8	1,02

Fuente: Resultados Epanet, 2023.

La red de distribución con el grifo en funcionamiento no contiene cambios notables, las presiones mínimas pasan de un valor de 17,81 mca a un valor de 16,2 mca, cumpliendo aún con el mínimo dictado por la norma, mientras que las presiones máximas se mantienen en los 55 mca. Con respecto a las velocidades, estas aumentan del valor previamente obtenido de 1,46 m/s a un valor de 2,81 m/s, esto es debido a la demanda adicional de los 16 l/s debido al grifo, aumentando el caudal que pasa por la tubería principal que sale de los estanques, sin embargo, al igual que con las presiones, estas velocidades se mantienen por debajo del máximo normado, cumpliendo así con ambas condiciones de presión y velocidades.

De manera adicional, el nodo correspondiente al Grifo, contiene una presión de 27,34 mca, donde el valor mínimo de funcionamiento determinado por la norma es de 5 mca, cumpliendo también así con la condición para el funcionamiento correcto del grifo.

Figura 7-4. Red de Distribución Final - Limarí



Fuente: Elaboración propia.

7.1.4 Verificación del Golpe de Ariete

Se realiza la verificación respectiva para el golpe de ariete, de este modo se asegura que la resistencia de la tubería es la correcta. Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$H_a = u \cdot \frac{a}{g}$$

Donde:

u (m/s): Velocidad del agua al cierre brusco de la válvula.

a (m/s): Celeridad de la onda.

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot d}{E \cdot e}}}$$

Donde:

K (kg/m²): Modulo de compresibilidad del agua (220.000.000 (kg/m²))

d (m): Diámetro interior de la tubería.

E (Kg/m³): Módulo de elasticidad HDPE

e (m): Espesor de la tubería.

Donde el módulo de elasticidad de la tubería se obtuvo a partir del catálogo utilizado, cuyas especificaciones para el HDPE utilizado (PE100), se presentan a continuación:

Figura 7-5. Propiedades HDPE Tigre

Propiedad	Método de Ensayo	Unidad	PE 80	PE 100
Densidad	ISO 1183	gr/cm ³	0,945 - 0956	0,957 - 0,965
Resistencia a la tracción	ISO 527-2	MPa	20 - 23	22 - 25
Módulo de Tensión (fluencia)	ISO 527-2	MPa	>600	>800
Tensión de diseño (σ)	No aplica	MPa	6,3	8
Mínimo esfuerzo requerido (MRS)	No aplica	MPa	>8	>10
Alargamiento de rotura	ISO 527-2	%	>550	>550
Coefficiente de dilatación lineal	ASTM D696	mm/m°C	0,17 - 0,2	0,2
Temperatura de fragilidad	ASTM D746	oC	< -70	< -70
Dureza Shore a 20°C	ISO 868	escala D	>55	>60

Fuente: Catálogo HDPE Tigre.

Los datos de espesor, diámetro interno y velocidad al interior de las tuberías se muestran en las Tabla 7-2, Tabla 7-4 y Tabla 7-6, por lo que considerando los datos anteriores es posible obtener la verificación del golpe de ariete para el sistema de tuberías propuesto. A continuación, se presentan los resultados de la verificación del golpe de ariete para cada una de las localidades, para luego comentarlas respectivamente.

Tabla 7-9. Verificación Golpe de Ariete - Limarí

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-1	10	8,3	131,4	1,28	28,0
B-2	10	7,4	117,6	1,29	28,2
B-3	10	7,4	117,6	0,81	17,7
B-4	10	3	72	0,77	13,8
B-5	10	3	72	0,84	15,0
B-6	10	3	72	0,66	11,8
B-7	10	3	72	0,59	10,5
B-8	10	3	72	0,38	6,8
B-9	10	5,3	104,7	0,06	1,2
B-10	10	5,3	104,7	0,03	0,6
B-11	10	5,3	104,7	0,02	0,4
B-12	10	5,3	104,7	0,01	0,2
B-13	10	5,3	104,7	0,01	0,2
B-14	10	5,3	104,7	0,01	0,2
B-15	10	5,3	104,7	0,01	0,2
B-16	10	5,3	104,7	0,02	0,4
B-17	10	3	60	0,18	3,5
B-18	10	5,3	104,7	0,36	7,1
B-19	10	5,3	104,7	0,35	6,9
B-20	10	3	72	0,07	1,3
B-21	10	3	72	0,51	9,1
B-22	10	3	72	0,42	7,5
B-23	10	3	72	0,32	5,7
B-24	10	3	72	0,19	3,4
B-25	10	3	72	0,15	2,7
B-26	10	3	60	0,11	2,1
B-27	10	3	60	0,03	0,6
B-28	10	3	60	0,11	2,1
B-29	10	3	60	0,18	3,5
B-30	10	3	60	0,04	0,8
B-31	10	3	60	0,11	2,1
B-32	10	3	60	0,04	0,8
B-33	10	3	60	0,05	1,0
B-34	10	3	60	0,04	0,8
B-35	10	3	60	0,01	0,2
B-36	10	3	60	0,03	0,6
B-37	10	3	72	0,14	2,5

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-38	10	3	60	0,02	0,4
B-39	10	3	60	0,03	0,6
B-40	10	3	72	0,1	1,8
B-41	10	3	60	0,04	0,8
B-42	10	3	60	0,02	0,4
B-43	10	3	60	0,02	0,4
B-44	10	3	60	0,08	1,6
B-45	10	3	60	0,02	0,4
B-46	10	3	60	0,05	1,0
B-47	10	3	60	0,02	0,4
B-48	10	3	60	0,01	0,2
B-49	10	3	72	0,21	3,8
B-50	10	3	72	0,21	3,8
B-51	10	3	72	0,17	3,0
B-52	10	3	72	0,02	0,4
B-53	10	3	72	0,15	2,7
B-54	10	3	72	0,02	0,4
B-55	10	3	72	0,13	2,3
B-56	10	3	72	0,02	0,4
B-57	10	3	72	0,1	1,8
B-58	10	3	72	0,02	0,4
B-59	10	3	72	0,07	1,3
B-60	10	3	72	0,01	0,2
B-61	10	3	72	0,04	0,7
B-62	10	3	72	0,02	0,4
B-63	10	6,6	103,4	0,39	8,6
B-64	10	3	60	0,01	0,2
B-65	10	3	72	0,52	9,3
B-66	10	5,3	104,7	0,66	13,0
B-67	10	3	72	0,84	15,0
B-68	10	3	72	0,25	4,5
B-69	10	3	72	0,55	9,8
B-70	10	3	72	1,29	23,0
B-71	10	5,3	104,7	0,63	12,4
B-72	10	3	60	0,5	9,8
B-73	10	3	72	0,55	9,8
B-74	10	5,3	104,7	0,21	4,1
B-75	10	3	60	0,18	3,5

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-76	10	3	72	0,99	17,7
B-77	10	3	72	0,01	0,2
B-78	10	5,3	104,7	0,66	13,0
B-79	10	5,3	104,7	0,46	9,0
B-80	10	5,3	104,7	0,28	5,5
B-81	10	3	60	0,49	9,6
B-82	10	3	60	0,35	6,8
B-83	10	3	60	0,71	13,9
B-84	10	3	60	0,08	1,6
B-85	10	3	60	0,54	10,5
B-86	10	3	60	0,14	2,7
B-87	10	3	60	0,29	5,7
B-88	10	5,3	104,7	0,51	10,0
B-89	10	5,3	104,7	0,46	9,0
B-90	10	3	72	0,09	1,6
B-91	10	3	72	0,03	0,5
B-92	10	5,3	104,7	0,01	0,2
B-94	10	5,3	104,7	0,35	6,9
B-95	10	5,3	104,7	0	0,0
Imp-1	16	25,4	254,6	1,02	27,9

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-10. Verificación Golpe de Ariete - Las Vegas

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-1	10	8,3	60	1,28	40,9
B-2	10	7,4	60	1,29	39,1
B-3	10	7,4	60	0,81	24,5
B-4	10	3	60	0,77	15,0
B-5	10	3	60	0,84	16,4
B-6	10	3	60	0,66	12,9
B-7	10	3	60	0,59	11,5
B-8	10	3	60	0,38	7,4
B-9	10	3	60	0,06	1,2
B-10	10	3	60	0,03	0,6
B-11	10	3	60	0,02	0,4
B-12	10	3	60	0,01	0,2
B-13	10	3	60	0,01	0,2

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-14	10	3	60	0,01	0,2
B-15	10	3	60	0,01	0,2
B-16	10	3	60	0,02	0,4
B-17	10	3	60	0,18	3,5
B-18	10	3	60	0,36	7,0
B-19	10	3	60	0,35	6,8
B-20	10	3	60	0,07	1,4
Imp-1	10	7,4	117,6	0,51	11,1
Imp-2	10	7,4	117,6	0,42	9,2

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7-11. Verificación Golpe de Ariete - Los Llanos

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-1	10	8,3	103,4	1,05	25,8
B-2	10	7,4	103,4	0,02	0,5
B-3	10	7,4	103,4	1,04	24,2
B-4	10	6,6	103,4	0,08	1,8
B-5	10	6,6	103,4	0,2	4,4
B-6	10	6,6	103,4	0,18	4,0
B-7	10	6,6	103,4	0,73	16,1
B-8	10	6,6	103,4	0,15	3,3
B-9	10	6,6	103,4	0,05	1,1
B-10	10	6,6	103,4	0,04	0,9
B-11	10	6,6	103,4	0,56	12,3
B-12	10	6,6	103,4	0,04	0,9
B-13	10	6,6	103,4	0,48	10,6
B-14	10	6,6	103,4	0,02	0,4
B-15	10	6,6	103,4	0,45	9,9
B-16	10	6,6	103,4	0,03	0,7
B-17	10	6,6	103,4	0,4	8,8
B-18	10	6,6	103,4	0,02	0,4
B-19	10	6,6	103,4	0,36	7,9
B-20	10	5,4	84,6	0,54	11,9
B-21	10	5,4	84,6	0,46	10,1
B-22	10	3	72	0,08	1,4
B-23	10	5,4	84,6	0,37	8,1
B-24	10	3	72	0,26	4,6

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-25	10	3	72	0,05	0,9
B-26	10	3	72	0,2	3,6
B-27	10	3	72	0,05	0,9
B-28	10	3	72	0,1	1,8
B-29	10	3	72	0,05	0,9
B-30	25	21,9	138,1	0,79	27,0
B-31	16	14,6	145,4	0,71	19,5
B-32	16	14,6	145,4	0,71	19,5
B-33	10	3	72	0,22	3,9

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, analizando los resultados de la verificación del golpe de ariete para el sector de Limarí, se observa en la Tabla 7-9 un valor máximo de la sobrepresión causado por este fenómeno igual a 28,2 metros, donde por otro lado, sumado a la presión máxima obtenida en la Tabla 7-5, cuyo valor es de 55 mca, se tiene un total de 83,2 mca, quedando por debajo de la presión nominal de la tubería de HDPE PN10 y PVC C-10, las cuales soportan una sobrepresión máxima de 100 mca.

Por otro lado, para el sector de Las Vegas, se tiene una sobrepresión máxima de 40,9 metros debido al fenómeno del golpe de ariete, el cual se ubica en el primer tramo de tubería desde los estanques, sin embargo, sumando el valor máximo de presiones al interior de la red de distribución descritos en la Tabla 7-1, igual a 51,81 mca, queda una presión máxima de 92,71 mca, quedando por debajo del máximo permitido tanto por las tuberías de PVC C-10 como de HDPE PN10, donde ambas soportan presiones hasta los 100 mca.

Finalmente, para el sector de Los Llanos, se tiene un valor de sobrepresión máximo de 27 metros, el cual sumado al valor máximo al interior de la red descrito en la Tabla 7-3, cuyo valor es de 49,49 mca, queda un valor máximo de presión igual a 76,49 mca, quedando por debajo de las presiones máximas permitidas por el PVC C-10 y HDPE PN10.

Dicho lo anterior, se verifica que todas las tuberías propuestas en esta sección cumplen con la condición de golpe de ariete sin ningún problema.

7.2 APR Cerrillos de Tamaya

A partir de lo comentado en la sección 6.2, se procede a aplicar las modificaciones mediante la modelación correspondiente, la cual incluye la adición de los estanques a ubicar en el sector de Quebrada Seca y Cerrillos de Tamaya, en particular se recuerda que en Quebrada seca se adiciona un estanque de 20 m³ que funciona en conjunto al actual estanque de 50 m³, por otro lado, en la zona de estanques de Cerrillos de Tamaya se añade un estanque de 300 m³ el cual se conecta a la red de la zona, donde por esta salvedad, se conecta a la tubería que sale del actual estanque de 50 m³, por tanto la cota del nuevo estanque debe coincidir con la cota de aguas del estanque actual, donde para efectos del presente estudio corresponde a una cota de 227 msnm, finalmente se añade un estanque en el mismo sector con un volumen de 100 m³, el cual abastecerá los sectores de Los Olivos y el estanque ubicado en el Siete.

A continuación, se muestran los resultados de las iteraciones realizadas a partir de las modelaciones.

Tabla 7-12. Resultados de Presiones Finales - APR Cerrillos de Tamaya

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-1	327	0	6,94	A-78	282,8	0	46,14
A-2	301	0,21	31,6	A-79	282,5	0	38,06
A-3	313	0,18	19,59	A-80	279,8	0	35,25
A-4	307	0,37	23,63	A-81	279,8	0	35,14
A-5	309	0,37	21,61	A-82	263,5	0	33,17
A-6	315	0,22	15,62	A-83	256,5	0	33,24
A-7	301	0,09	30,19	A-84	222	0	52,81
A-8	315	0,22	16,18	A-85	207	0	52,95
A-9	303	0,45	27,4	A-86	196	0	53,55
A-10	304	0,09	26,43	A-87	185	0,3	59,89
A-11	315	0,22	15,42	A-88	198	0,31	46,81
A-12	300	0,45	30,18	A-89	193	0,37	45,78
A-13	313	0,22	17,17	A-90	194	0,06	44,66
A-14	304	0,45	25,65	A-91	200	0,24	38,64
A-15	295	0,45	34,24	A-92	195	0,06	43,58
A-16	293	0,09	35,96	A-93	208,5	0,24	29,83
A-17	293	0	35,81	A-94	205	0,04	33,33
A-18	293	1,04	34,79	A-95	211	0,45	27,26
A-19	289,5	0,04	39,1	A-96	205	0,22	33,36

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-20	288	0,12	40,02	A-97	208,5	0,24	29,75
A-21	289	0,07	39,04	A-98	209	0,09	29,29
A-22	287,5	0,06	40,54	A-99	204	0,18	34,28
A-23	287,5	0,12	41,12	A-100	191,5	0,15	46,44
A-24	287,5	0,06	40,56	A-101	191	0,15	46,86
A-25	287,3	0,04	41,54	A-102	188	0,21	49,83
A-26	287,2	0	41,35	A-103	190	0,18	47,87
A-27	285,4	0,45	42,51	A-104	183,2	0,45	49,43
A-28	285,7	0	41,09	A-105	181	0,27	48,03
A-29	284,8	0,15	41,91	A-106	180,9	0,09	47,56
A-30	284,3	0	42,46	A-107	183,2	0,18	44,98
A-31	284	0,07	42,67	A-108	186	0,22	42,14
A-32	283	0,22	43,4	A-109	187,5	0,3	40,57
A-33	283,3	0,06	43,1	A-110	180,8	0,06	48,22
A-34	283,7	0,12	42,71	A-111	178	0,19	40,69
A-35	284,5	0,12	41,92	A-112	168,5	0	21,97
A-36	284,2	0,74	42,02	A-113	155,2	0,3	19,3
A-37	283,6	0,45	42,76	A-114	151,7	0,45	21,75
A-38	282,8	0,37	43,21	A-115	151,5	0,09	21,92
A-39	283,2	0,12	42,81	A-116	152,3	0,24	21,14
A-40	282,3	0,12	43,64	A-117	152,2	0,24	21,2
A-41	282	0,09	43,42	A-118	155	0,15	18,41
A-42	281	0,45	44,39	A-119	153	0,5	17,27
A-43	282	0,07	43,32	A-120	150,8	0,33	18,64
A-44	283,2	0,22	42,11	A-121	150	0,24	19,25
A-45	282	0,15	43,25	A-122	153	0,21	16,18
A-46	280,8	0,22	37,42	A-123	149	0,3	20,41
A-47	279,9	1,49	37,34	A-124	148	0,3	21,21
A-48	283,5	0,15	43,65	A-125	155	0,15	15,26
A-49	282,8	0,18	44,26	A-126	275,6	0	40,87
A-50	284,5	0,45	42,12	A-127	257	0	48,78
A-51	282,9	0,22	40,53	A-128	257,5	0,74	38,7
A-52	282,5	0,3	39,05	A-129	257	0,06	39
A-53	281,9	0,37	39,63	A-130	259,5	0,06	36,38
A-54	283,8	0,12	37,57	A-131	262,5	0,15	33,37
A-55	287,5	0,3	33,87	A-132	256,5	0,27	39,38
A-56	281,4	0,22	39,21	A-133	252	0,56	43,85
A-57	281,5	0,52	39,47	A-134	251,5	0,24	44,33

Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)	Nodo	Elevación (msnm)	Demanda (l/s)	Presión (mca)
A-58	281,6	0,37	39,38	A-135	265,5	0,56	29,57
A-59	282,3	0,52	38,63	A-136	263,5	0,21	31,56
A-60	286	0,3	34,91	A-137	265,2	0,12	29,87
A-61	281,8	0,15	36,07	A-138	266,3	0,24	28,6
A-62	281,4	0,22	36,47	A-139	266,3	0,18	28,6
A-63	280,9	0,27	36,94	A-140	267	0,74	25,08
A-64	280,9	0,27	37,02	A-141	268	0,37	24,02
A-65	281,7	0,37	36,23	A-142	268	0,37	23,99
A-66	280,8	0,39	37,24	A-143	244	0,33	49,24
A-67	280,6	0,74	37,41	A-144	254	0,22	37,64
A-68	280,5	0,67	31,92	A-145	243,3	0,18	48,24
A-69	281,3	0,45	30,48	A-146	248,2	0,18	42,75
A-70	281,3	0,52	30,46	A-147	242	0,19	48,58
A-71	281,2	0,24	30,49	A-148	232,8	0,15	57,69
A-72	281	0,06	30,69	A-149	280	0,7	32,69
A-73	281,1	0,45	30,57	A-150	280	1,5	32,45
A-74	280,3	0,24	31,36	A-151	145	0,22	24,13
A-75	280,5	0,06	31,17	A-152	292	0	39,27
A-76	280,6	0,45	31,05	A-153	282,1	0	45,41
A-77	287,5	0	41,44	A-154	280	0	44,77
				A-155	315	0	14,91

Fuente: Resultados Epanet, 2023.

Tabla 7-13. Resultados de Velocidades Finales - APR Cerrillos de Tamaya

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-1	2	104,7	16,61	1,93	B-91	83	72	0,45	0,11
B-2	257	103,4	-6,26	0,75	B-92	40	72	0,75	0,18
B-3	75	60	0,18	0,06	B-93	83	72	0,24	0,06
B-4	156	60	2,41	0,85	B-94	90	72	0,45	0,11
B-5	56	60	0,37	0,13	B-95	401	104,7	10,35	1,2
B-6	53	60	0,22	0,08	B-96	8	104,7	10,35	1,2
B-7	57	60	3,46	1,22	B-97	235	104,7	0	0
B-8	94	60	0,22	0,08	B-98	712	104,7	10,08	1,17
B-9	42	60	1,45	0,51	B-99	465	104,7	10,08	1,17
B-10	60	60	0,22	0,08	B-100	9	104,7	10,08	1,17
B-11	9	60	1,14	0,4	B-101	1450	103,4	10,08	1,2
B-12	152	60	1,5	0,53	B-102	550	103,4	10,08	1,2

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-13	51	72	2,19	0,54	B-103	1185	103,4	10,08	1,2
B-14	69	60	0,22	0,08	B-104	1180	103,4	10,08	1,2
B-16	247	60	-1,65	0,58	B-105	825	103,4	10,08	1,2
B-17	57	104,7	7,67	0,89	B-106	370	103,4	10,08	1,2
B-18	424	72	-1,52	0,37	B-107	694	72	0,31	0,08
B-19	31	104,7	8,74	1,01	B-108	544	103,4	9,47	1,13
B-20	23	72	2,7	0,66	B-109	39	72	1,82	0,45
B-21	382	60	1,04	0,37	B-110	122	60	0,24	0,08
B-22	80	72	1,66	0,41	B-111	40	72	1,52	0,37
B-23	60	60	2,08	0,74	B-112	139	60	0,84	0,3
B-24	63	72	-0,46	0,11	B-113	18	60	0,04	0,01
B-25	48	72	-2,28	0,56	B-114	215	60	0,62	0,22
B-26	6	72	8,03	1,97	B-115	216	60	0,4	0,14
B-27	105	60	1,63	0,58	B-116	67	60	0,24	0,08
B-28	83	60	1,71	0,6	B-117	117	60	-0,29	0,1
B-29	54	60	-0,07	0,02	B-118	43	60	0,18	0,06
B-30	51	60	-1,1	0,39	B-119	44	60	-0,56	0,2
B-31	26	60	0,54	0,19	B-120	122	103,4	7,28	0,87
B-32	39	60	0,41	0,15	B-121	200	70,5	0,54	0,14
B-33	101	60	2,37	0,84	B-122	129	60	0,15	0,05
B-34	101	60	2,28	0,81	B-123	282	60	0,21	0,07
B-35	19	60	-1,49	0,53	B-124	926	103,4	6,59	0,78
B-36	31	60	0,79	0,28	B-125	270	84,6	6,14	1,09
B-37	43	60	-0,81	0,29	B-126	86	60	0,06	0,02
B-38	65	60	1,56	0,55	B-127	47	84,6	5,81	1,03
B-39	61	60	1,45	0,51	B-128	219	60	0,7	0,25
B-40	56	60	1,42	0,5	B-129	272	60	0,22	0,08
B-41	28	60	0,06	0,02	B-130	391	60	0,3	0,11
B-42	50	60	-0,32	0,11	B-131	1062	84,6	5,02	0,89
B-43	42	60	-0,25	0,09	B-132	1355	70,5	4,83	1,24
B-44	142	60	0,74	0,26	B-133	575	70,5	4,83	1,24
B-45	110	60	0,45	0,16	B-134	142	60	3,72	1,32
B-46	105	60	1,26	0,45	B-135	315	60	1,17	0,41
B-47	21	60	0,12	0,04	B-136	87	60	0,24	0,08
B-48	93	60	1,46	0,52	B-137	53	60	0,48	0,17
B-49	51	60	0,77	0,27	B-138	87	60	0,24	0,08
B-50	52	60	2,11	0,75	B-139	102	60	0,15	0,05

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-51	156	72	0,45	0,11	B-140	380	60	2,25	0,8
B-52	18	60	1,57	0,56	B-141	141	60	1,6	0,57
B-53	83	60	0,22	0,08	B-142	83	60	0,97	0,34
B-54	43	72	1,28	0,31	B-143	120	60	0,43	0,15
B-55	168	60	4,6	1,63	B-144	127	60	0,3	0,11
B-56	189	60	1,49	0,53	B-145	155	60	0,3	0,11
B-57	405	104,7	5,94	0,69	B-146	170	60	0,15	0,05
B-58	50	104,7	3,65	0,42	B-148	1500	103,4	7,41	0,88
B-59	177	72	3,47	0,85	B-149	506	84,6	7,41	1,32
B-60	61	72	6,4	1,57	B-150	44	72	2,23	0,55
B-61	128	72	-2,14	0,53	B-151	128	60	0,6	0,21
B-62	65	72	8,1	1,99	B-152	90	60	0,33	0,12
B-63	213	72	3,23	0,79	B-153	249	60	0,47	0,17
B-64	108	72	4,64	1,14	B-154	151	60	0,24	0,08
B-65	108	72	0,35	0,09	B-155	43	60	1,1	0,39
B-66	51	72	1,92	0,47	B-156	46	60	0,15	0,05
B-67	59	72	0,3	0,07	B-157	402	60	0,89	0,31
B-68	146	72	2,07	0,51	B-158	93	60	0,21	0,07
B-69	83	72	-0,31	0,08	B-159	125	60	0,12	0,04
B-70	182	72	-1,5	0,37	B-160	177	84,6	4,44	0,79
B-71	77	72	0,82	0,2	B-161	61	60	0,18	0,06
B-72	145	72	0,3	0,07	B-162	553	60	1,48	0,52
B-73	113	72	1,86	0,46	B-163	140	60	0,37	0,13
B-74	104	72	-3,22	0,79	B-164	215	60	0,37	0,13
B-75	146	72	4,86	1,19	B-165	1695	103,4	2,54	0,3
B-76	57	72	-0,75	0,19	B-166	985	103,4	2,21	0,26
B-77	114	72	0,15	0,04	B-167	407	60	0,92	0,33
B-78	116	72	-0,65	0,16	B-168	950	60	0,18	0,06
B-79	115	72	-0,19	0,05	B-169	937	60	0,52	0,18
B-80	230	72	-0,47	0,12	B-170	1100	60	0,34	0,12
B-81	207	72	-0,73	0,18	B-171	1150	60	0,15	0,05
B-82	104	72	-1,03	0,25	B-172	14	72	4,64	1,14
B-83	58	72	0,74	0,18	B-173	345	60	0,22	0,08
B-84	10	60	-2,89	1,02	B-174	243	103,4	7,41	0,88
B-85	227	72	5,34	1,31	B-175	527	103,4	7,41	0,88
B-86	58	72	-0,67	0,16	B-176	386	103,4	7,41	0,88
B-87	123	72	2,47	0,61	B-177	1165	103,4	7,41	0,88

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Tramo	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)
B-88	67	72	0,52	0,13	B-178	81	103,4	2,67	0,32
B-89	40	72	1,5	0,37	B-179	45	104,7	3,79	0,44
B-90	85	72	0,24	0,06	B-180	51	104,7	6,47	0,75

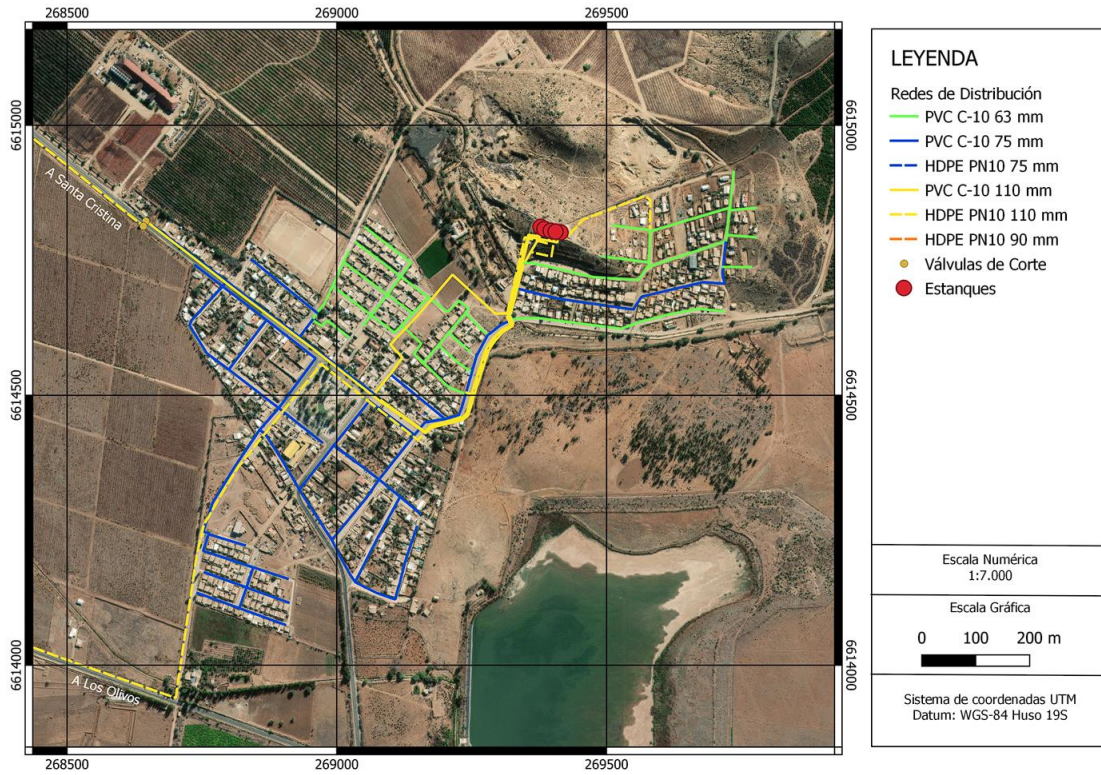
Fuente: Resultados Epanet, 2023.

Los resultados fueron obtenidos a partir de aplicar los aumentos de diámetros correspondientes al interior de la red. En primer lugar, como se menciona anteriormente, se instala un estanque semienterrado en Cerrillos de Tamaya con un volumen de 100 m³ para abastecer Los Olivos y el estanque de El Siete, cuya conducción corresponde a una tubería individual, la cual corresponde a una tubería de HDPE PN10 con un diámetro de 110 mm, donde la longitud entre el estanque y el sector de Los Olivos es de aproximadamente 3.820 metros, la cual reemplaza la tubería de PVC C-10 de 75 mm que abastece Los Olivos. Luego de este tramo de 110 mm, se instala un tramo de HDPE PN10 de 90 mm en el sector de Los Olivos, el cual reemplaza la tubería de PVC C-10 de 63 mm instalada actualmente, donde finalmente hasta desde Los Olivos hasta El Siete se cambia a una tubería de HDPE PN10 de 110 mm reemplazando a la tubería de 63 mm de PVC C-10. Las redes al interior de los ramales tanto de Los Olivos como de El Siete se mantienen de la misma forma, siendo estas de PVC C-10 de 63 mm, pudiendo ser modificadas y cambiadas de materialidad en casos de roturas de matriz.

Por otro lado, la conducción hasta Santa Cristina, la que actualmente se encuentra en HDPE PN10 de 90 mm se aumenta a un diámetro de 110 mm, sin embargo, de manera adicional, el tramo principal cambia de materialidad y diámetro, instalando diámetros de 110 mm y 90 mm en HDPE PN10, para luego terminar hasta el estanque de Quebrada Seca en HDPE PN10 de 75 mm, reemplazando tuberías actuales de PVC C-10 de 63 mm y 75 mm.

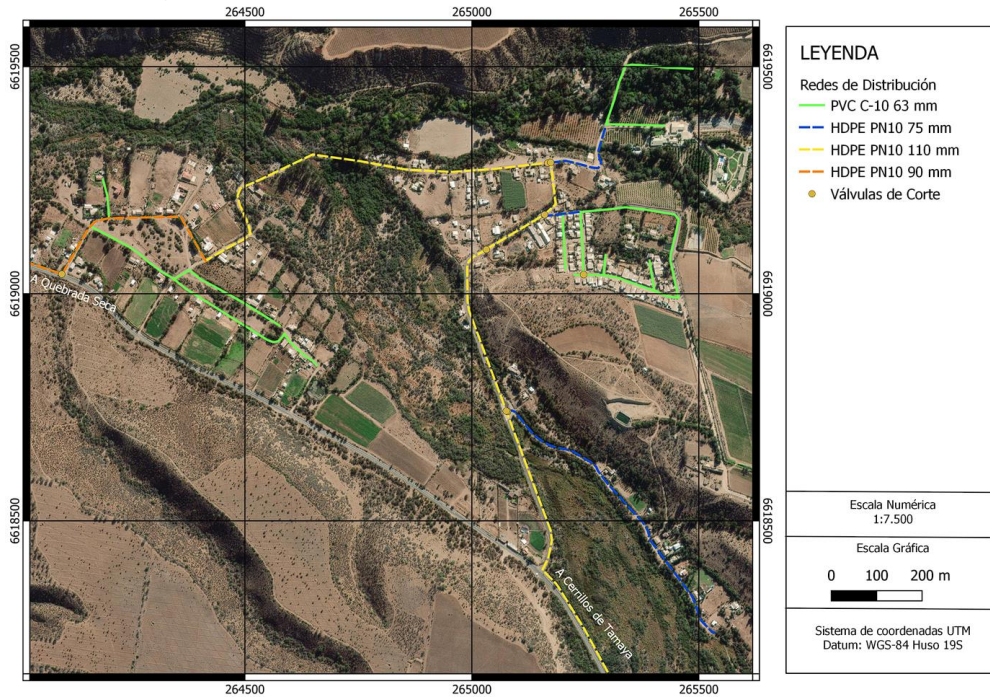
Finalmente, en el sector de Cerrillos de Tamaya solo se realiza un cambio de tuberías, el cual corresponde a un aumento en el diámetro a la salida del estanque de 200 m³ de la tubería que abastece el sector Este de Cerrillos de Tamaya. Lo anterior es posible observarlo en las Figura 7-6, Figura 7-7, Figura 7-8, Figura 7-9 y Figura 7-10.

Figura 7-6. Red de Distribución Final - Cerrillos de Tamaya



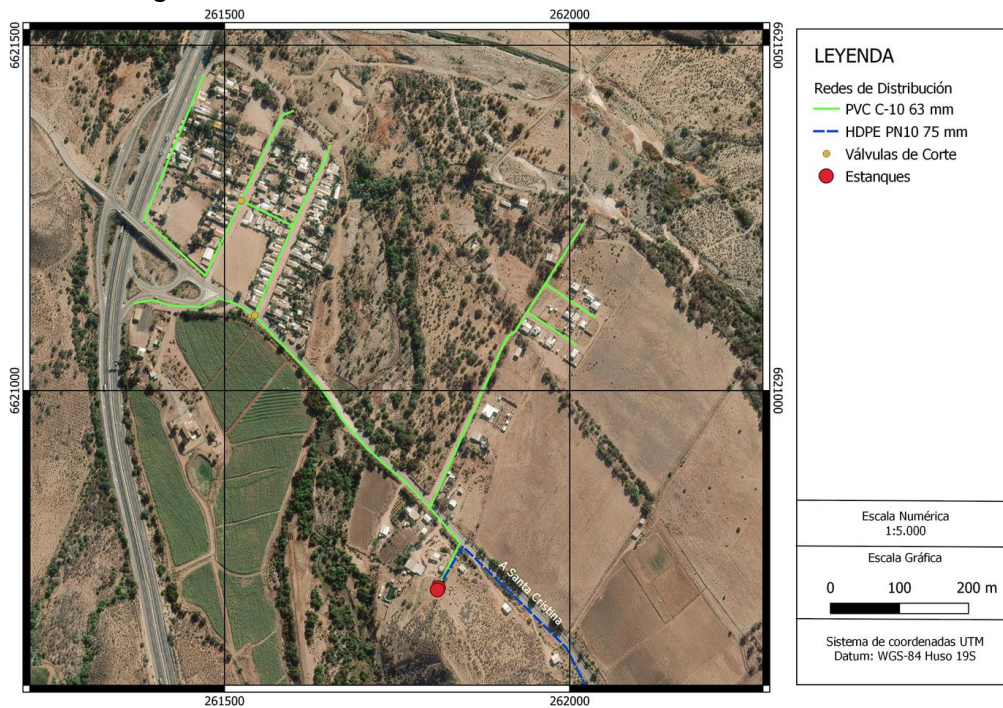
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-7. Red de Distribución Final - Santa Cristina



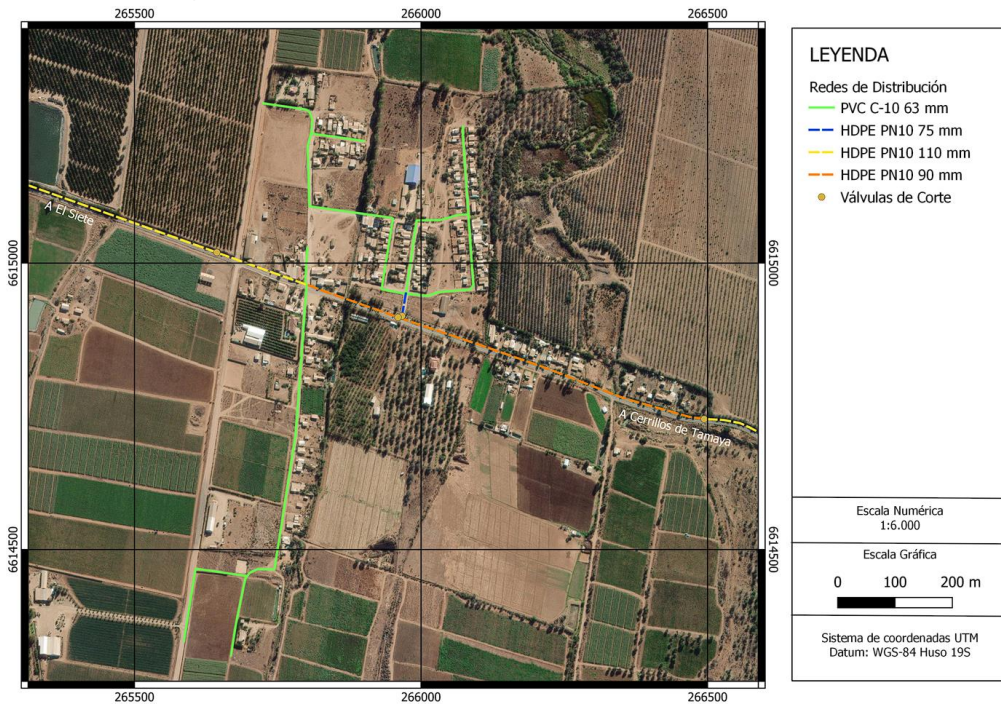
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-8. Red de Distribución Final - Quebrada Seca



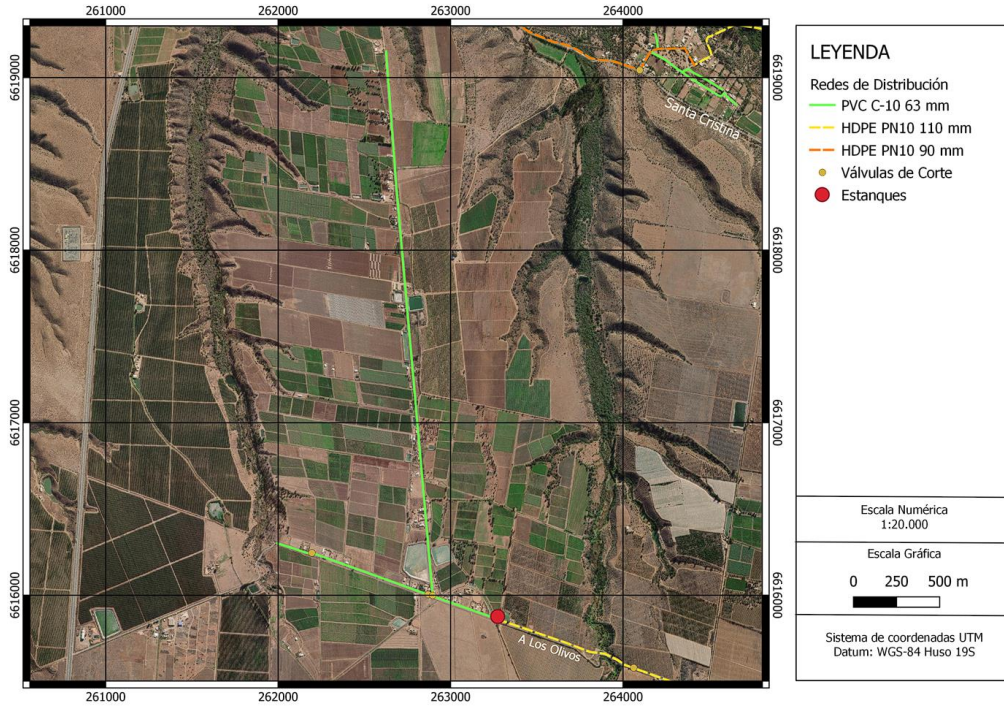
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-9. Red de Distribución Final - Los Olivos



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7-10. Red de Distribución Final - El Siete



Fuente: Elaboración propia.

7.2.1 Verificación del Golpe de Ariete

De manera análoga a la metodología explicada en la sección 7.1.4, se realiza la verificación del golpe de ariete para las tuberías alrededor de toda la red del APR Cerrillos de Tamaya. Para ello es necesario como diámetros internos, espesores y velocidades al interior de cada una de las tuberías, donde dos elementos de los tres antes mencionados se encuentran en la Tabla 7-13, mientras que los espesores de cada una de las tuberías es obtenido a partir de los catálogos de cada una de las materialidades, siendo los mostrados en la Figura 4-2 para las tuberías de PVC y los de la Figura 7-1 para las tuberías de HDPE. En base a lo anterior se procede a realizar el análisis del golpe de ariete.

Tabla 7-14. Verificación Golpe de Ariete - APR Cerrillos de Tamaya

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-1	10	5,3	104,7	1,93	37,9
B-2	10	6,6	103,4	0,75	16,5
B-3	10	3	60	0,06	1,2
B-4	10	3	60	0,85	16,6
B-5	10	3	60	0,13	2,5
B-6	10	3	60	0,08	1,6
B-7	10	3	60	1,22	23,8
B-8	10	3	60	0,08	1,6
B-9	10	3	60	0,51	10,0
B-10	10	3	60	0,08	1,6
B-11	10	3	60	0,4	7,8
B-12	10	3	60	0,53	10,4
B-13	10	3	72	0,54	9,6
B-14	10	3	60	0,08	1,6
B-16	10	3	60	0,58	11,3
B-17	10	5,3	104,7	0,89	17,5
B-18	10	3	72	0,37	6,6
B-19	10	5,3	104,7	1,01	19,8
B-20	10	3	72	0,66	11,8
B-21	10	3	60	0,37	7,2
B-22	10	3	72	0,41	7,3
B-23	10	3	60	0,74	14,5
B-24	10	3	72	0,11	2,0
B-25	10	3	72	0,56	10,0
B-26	10	3	72	1,97	35,2

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-27	10	3	60	0,58	11,3
B-28	10	3	60	0,6	11,7
B-29	10	3	60	0,02	0,4
B-30	10	3	60	0,39	7,6
B-31	10	3	60	0,19	3,7
B-32	10	3	60	0,15	2,9
B-33	10	3	60	0,84	16,4
B-34	10	3	60	0,81	15,8
B-35	10	3	60	0,53	10,4
B-36	10	3	60	0,28	5,5
B-37	10	3	60	0,29	5,7
B-38	10	3	60	0,55	10,7
B-39	10	3	60	0,51	10,0
B-40	10	3	60	0,5	9,8
B-41	10	3	60	0,02	0,4
B-42	10	3	60	0,11	2,1
B-43	10	3	60	0,09	1,8
B-44	10	3	60	0,26	5,1
B-45	10	3	60	0,16	3,1
B-46	10	3	60	0,45	8,8
B-47	10	3	60	0,04	0,8
B-48	10	3	60	0,52	10,2
B-49	10	3	60	0,27	5,3
B-50	10	3	60	0,75	14,6
B-51	10	3	72	0,11	2,0
B-52	10	3	60	0,56	10,9
B-53	10	3	60	0,08	1,6
B-54	10	3	72	0,31	5,5
B-55	10	3	60	1,63	31,8
B-56	10	3	60	0,53	10,4
B-57	10	5,3	104,7	0,69	13,6
B-58	10	5,3	104,7	0,42	8,3
B-59	10	3	72	0,85	15,2
B-60	10	3	72	1,57	28,0
B-61	10	3	72	0,53	9,5
B-62	10	3	72	1,99	35,5
B-63	10	3	72	0,79	14,1
B-64	10	3	72	1,14	20,4

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-65	10	3	72	0,09	1,6
B-66	10	3	72	0,47	8,4
B-67	10	3	72	0,07	1,3
B-68	10	3	72	0,51	9,1
B-69	10	3	72	0,08	1,4
B-70	10	3	72	0,37	6,6
B-71	10	3	72	0,2	3,6
B-72	10	3	72	0,07	1,3
B-73	10	3	72	0,46	8,2
B-74	10	3	72	0,79	14,1
B-75	10	3	72	1,19	21,3
B-76	10	3	72	0,19	3,4
B-77	10	3	72	0,04	0,7
B-78	10	3	72	0,16	2,9
B-79	10	3	72	0,05	0,9
B-80	10	3	72	0,12	2,1
B-81	10	3	72	0,18	3,2
B-82	10	3	72	0,25	4,5
B-83	10	3	72	0,18	3,2
B-84	10	3	60	1,02	19,9
B-85	10	3	72	1,31	23,4
B-86	10	3	72	0,16	2,9
B-87	10	3	72	0,61	10,9
B-88	10	3	72	0,13	2,3
B-89	10	3	72	0,37	6,6
B-90	10	3	72	0,06	1,1
B-91	10	3	72	0,11	2,0
B-92	10	3	72	0,18	3,2
B-93	10	3	72	0,06	1,1
B-94	10	3	72	0,11	2,0
B-95	10	5,3	104,7	1,2	23,6
B-96	10	5,3	104,7	1,2	23,6
B-97	10	5,3	104,7	0	0,0
B-98	10	5,3	104,7	1,17	23,0
B-99	10	5,3	104,7	1,17	23,0
B-100	10	5,3	104,7	1,17	23,0
B-101	10	6,6	103,4	1,2	26,4
B-102	10	6,6	103,4	1,2	26,4

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-103	10	6,6	103,4	1,2	26,4
B-104	10	6,6	103,4	1,2	26,4
B-105	10	6,6	103,4	1,2	26,4
B-106	10	6,6	103,4	1,2	26,4
B-107	10	3	72	0,08	1,4
B-108	10	6,6	103,4	1,13	24,9
B-109	10	3	72	0,45	8,0
B-110	10	3	60	0,08	1,6
B-111	10	3	72	0,37	6,6
B-112	10	3	60	0,3	5,9
B-113	10	3	60	0,01	0,2
B-114	10	3	60	0,22	4,3
B-115	10	3	60	0,14	2,7
B-116	10	3	60	0,08	1,6
B-117	10	3	60	0,1	2,0
B-118	10	3	60	0,06	1,2
B-119	10	3	60	0,2	3,9
B-120	10	6,6	103,4	0,87	19,2
B-121	10	4,5	70,5	0,14	3,1
B-122	10	3	60	0,05	1,0
B-123	10	3	60	0,07	1,4
B-124	10	6,6	103,4	0,78	17,2
B-125	10	5,4	84,6	1,09	24,0
B-126	10	3	60	0,02	0,4
B-127	10	5,4	84,6	1,03	22,7
B-128	10	3	60	0,25	4,9
B-129	10	3	60	0,08	1,6
B-130	10	3	60	0,11	2,1
B-131	10	5,4	84,6	0,89	19,6
B-132	10	4,5	70,5	1,24	27,3
B-133	10	4,5	70,5	1,24	27,3
B-134	10	3	60	1,32	25,8
B-135	10	3	60	0,41	8,0
B-136	10	3	60	0,08	1,6
B-137	10	3	60	0,17	3,3
B-138	10	3	60	0,08	1,6
B-139	10	3	60	0,05	1,0
B-140	10	3	60	0,8	15,6

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-141	10	3	60	0,57	11,1
B-142	10	3	60	0,34	6,6
B-143	10	3	60	0,15	2,9
B-144	10	3	60	0,11	2,1
B-145	10	3	60	0,11	2,1
B-146	10	3	60	0,05	1,0
B-148	10	6,6	103,4	0,88	19,4
B-149	10	5,4	84,6	1,32	29,1
B-150	10	3	72	0,55	9,8
B-151	10	3	60	0,21	4,1
B-152	10	3	60	0,12	2,3
B-153	10	3	60	0,17	3,3
B-154	10	3	60	0,08	1,6
B-155	10	3	60	0,39	7,6
B-156	10	3	60	0,05	1,0
B-157	10	3	60	0,31	6,1
B-158	10	3	60	0,07	1,4
B-159	10	3	60	0,04	0,8
B-160	10	5,4	84,6	0,79	17,4
B-161	10	3	60	0,06	1,2
B-162	10	3	60	0,52	10,2
B-163	10	3	60	0,13	2,5
B-164	10	3	60	0,13	2,5
B-165	10	6,6	103,4	0,3	6,6
B-166	10	6,6	103,4	0,26	5,7
B-167	10	3	60	0,33	6,4
B-168	10	3	60	0,06	1,2
B-169	10	3	60	0,18	3,5
B-170	10	3	60	0,12	2,3
B-171	10	3	60	0,05	1,0
B-172	10	3	72	1,14	20,4
B-173	10	3	60	0,08	1,6
B-174	10	6,6	103,4	0,88	19,4
B-175	10	6,6	103,4	0,88	19,4
B-176	10	6,6	103,4	0,88	19,4
B-177	10	6,6	103,4	0,88	19,4
B-178	10	6,6	103,4	0,32	7,0
B-179	10	5,3	104,7	0,44	8,6

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-180	10	5,3	104,7	0,75	14,7

Fuente: Elaboración propia.

En particular, todas las tuberías instaladas, tanto las de PVC como HDPE tienen una presión nominal de 10 bares, donde la equivalencia corresponde a una presión de 100 m.c.a., por lo que las presiones obtenidas a partir del golpe de ariete sumadas a las presiones de los nodos correspondientes no deben ser superior a una presión de 100 mca. Por su parte, la máxima presión adicional debido al golpe de ariete tiene un valor de 37,9 metros, donde para no analizar los 180 tramos uno por uno, se supone el caso más desfavorable de la red, el cual corresponde a que esta sobrepresión se ubique en el nodo de mayor presión en la red, cuyo valor de 59,89 mca se obtiene a partir de la Tabla 7-12, por tanto la suma de estos dos valores tiene una presión de 97,8 mca, por tanto, toda la red cumple con la verificación del golpe de ariete.

8 TRABAJOS REALIZADOS EN CONJUNTO A LA I. MUNICIPALIDAD DE OVALLE

Durante el transcurso de la realización del presente trabajo de título, el profesor Adolfo Ochoa ha trabajado con los APR's ubicados en la provincia de Limarí y en conjunto a la Municipalidad de Ovalle. Uno de estos trabajos consiste en la renovación de la impulsión de Los Llanos, para lo cual la Municipalidad realizó el levantamiento topográfico para hacer un análisis aterrizado para una propuesta de nueva impulsión en el sector de Los Llanos. Este informe es elaborado en conjunto del profesor e Ingeniero Civil de la Universidad de Chile Adolfo Ochoa Llangato, Ingeniero Civil de la Universidad de Chile, Leonardo Cepeda Araya y el Alumno Memorista de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile Gonzalo Ancán Llancao.

En particular, el informe donde se encuentra la metodología y resultados obtenidos a partir de las modelaciones hidráulicas de la impulsión realizada se presenta en el Anexo G del presente informe, donde a modo de resumen se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 8-1. Recomendaciones de Tuberías

Materialidad	Calidad	Diámetro nominal (mm)	Longitud a instalar (m)	Longitud final (m)
HDPE	PN25	160	453	500
HDPE	PN20	160	655	700
HDPE	PN16	160	3227,7	3.350

Fuente: Elaboración propia.

Donde la tubería actual a reemplazar corresponde a PVC C-10 de 75 mm de diámetro en su mayor parte, donde en las partes más cercanas a la bomba de impulsión tiene una materialidad de Acero Galvanizado de 3" de diámetro.

Este trabajo presenta un aporte por parte del alumno memorista al APR Limarí, ya que permite realizar un estudio focalizado en la impulsión del sector de Los Llanos en conjunto con profesionales, pudiendo lograr la elaboración de un informe de una mejora real a corto plazo.

9 Conclusiones y Comentarios

En el presente trabajo de título se ha llevado a cabo el estudio del mejoramiento integral para los APR's Limarí y Cerrillos de Tamaya, donde para cada uno de ellos se han analizado los factores que influyen en el funcionamiento óptimo de cada uno de los sistemas de agua potable rural. A partir de los análisis realizados a cada uno de los elementos que componen el sistema junto con la revisión de la bibliografía relacionada tanto a los diseños como a los criterios para llevar a cabo esto, se han obtenido conclusiones y recomendaciones para abordar esta problemática de manera efectiva.

Recordando lo mencionado al comienzo de este documento, el objetivo general del trabajo de título era realizar un levantamiento de la situación actual de cada uno de los APR's antes mencionados, comparando este estado actual con el estándar dictado por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), identificando las brechas existentes entre ambas situaciones, sugiriendo mejoras a nivel de ingeniería conceptual para lograr un funcionamiento óptimo en cada uno de los APR's.

Dicho lo anterior, es posible concluir que el objetivo principal ha sido cumplido, ya que se pudo realizar el análisis del funcionamiento actual de cada uno de los APR's, donde por su parte, el APR Limarí tiene falencias actuales en lo que serían las fuentes de agua y sistemas de impulsiones, ya que a partir de los resultados obtenidos, actualmente está trabajando a un 60% de lo que debería trabajar en estos aspectos (considerando que se debiera impulsar 21,02 l/s y actualmente se impulsa 12,2 l/s), donde de manera adicional los equipos de impulsión de los tres sectores que contiene el APR se encuentran subdimensionados, lo que provoca que todo el funcionamiento sea deficiente, teniendo problemas de abastecimiento de agua en los sectores más alejados. Las obras proyectadas para el mejoramiento del APR Limarí se presenta a continuación.

Por otro lado, para el APR Cerrillos de Tamaya, el funcionamiento actual de la red de distribución solo presenta problemas de sobrepresiones en un tramo específico, donde se encuentran presiones por sobre las presiones de servicios normadas en la NCh 691. Sin embargo, en cuanto a las presiones y velocidades al interior del resto de la red no se encuentran problemas. Aun así, el caudal actual que se extrae de los pozos habilitados para el APR solo corresponde al 50% del caudal que debe ser impulsado para satisfacer la población contenida en el APR a la fecha de la toma de información (febrero 2022) (considerando que se debiera impulsar 31 l/s y actualmente se impulsa 15,5 l/s), por lo que el principal problema actual del APR Cerrillos de Tamaya, según el estudio realizado, se ubica en las fuentes de agua.

A lo largo del estudio se realizó el análisis no solo de la situación actual de cada APR, sino también se analiza la factibilidad de uso del sistema actual en un horizonte proyectado de 20 años, donde para realizar este análisis se considera un crecimiento poblacional sugerido por la DOH para esta región, ya que no se cuenta con datos de crecimiento poblacional de cada localidad en los últimos años. En base a ese crecimiento, se analizan los elementos tales como demanda, almacenamiento, requerimientos de la impulsión, donde en particular al realizar el análisis del almacenamiento, se da cuenta del volumen necesario para poder satisfacer el almacenamiento al año 20 del horizonte analizado, donde a partir de esto es posible realizar sugerencias de construcción de estanques de almacenamientos para cada uno de los sectores de las localidades.

Con base en el análisis de las demandas obtenidas, se realizaron las correspondientes modelaciones hidráulicas para determinar si el sistema actual puede satisfacer las demandas proyectadas al año 20. En esta sección se encontraron la mayor cantidad de problemas debido al aumento del caudal que circula por las tuberías, lo que genera mayores pérdidas, presiones negativas y velocidades superiores a los límites permitidos en tuberías de menor diámetro. Por lo tanto, se identifican las zonas de la red de distribución que no cumplen con el estándar necesario y se proponen modificaciones fundamentadas en nuevas modelaciones hidráulicas para garantizar el correcto funcionamiento de la red. Se sugiere aumentar el diámetro de las tuberías en los sectores con deficiencias en presiones y velocidad, y se presentan cartografías para cada sector con las nuevas tuberías propuestas como resultado final, los que de manera adicional se presentan a continuación.

Tabla 9-1. Obras proyectadas APR Limarí

Sector	Tubería Proyectada (mm)	Longitud (m)	Estanque Proyectado	Volumen (m ³)
Limarí	280	924	Elevado Hormigón	300
	110	388		
	145	8		
	125	10		
Las Vegas	125	1.481	Elevado Metálico	40
Los Llanos	110	2.110	Semienterrado Hormigón	75
	90	612		
	160	4.336		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9-2. Obras proyectadas APR Cerrillos de Tamaya

Sector	Tubería Proyectada (mm)	Longitud (m)	Estanque Proyectado	Volumen (m³)
Santa Cristina	110	6.602	-	-
	90	2.130		
Los Olivos	110	6.501	Semienterrado Hormigón	100
	90	683		
Cerrillos de Tamaya	110	257	Semienterrado Hormigón	300
Quebrada Seca	-	-	Semienterrado Hormigón	20

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, es importante destacar que para realizar este análisis se realizaron ciertos supuestos, siendo el más importante la asignación de la demanda proyectada. Esta se asignó en aquellos tramos de la red donde se considera más probable un aumento en la cantidad de arranques instalados, por lo que en los tramos con una mayor densidad de arranques no se asignó una demanda nueva y se mantuvo la cantidad de arranques en el tramo. Asimismo, se utilizó el mismo trazado que tiene la red actual, ya que no se cuenta con información acerca de futuras ampliaciones de la red. Sin embargo, se consideró la posibilidad de ampliar la red en aquellos tramos finales donde sea más factible realizar una expansión, y se les asignó una demanda proyectada superior.

La metodología empleada para el análisis de los elementos se basa en la norma principal para sistemas de abastecimiento de agua, la NCh 691, y se incluyen modelaciones hidráulicas para cada situación prevista, lo que conduce a resultados coherentes con las observaciones en terreno. El APR Limarí muestra más falencias en comparación con el APR Cerrillos de Tamaya, que ya ha recibido un mejoramiento integral entre los años 2016-2018, lo que explica la ausencia de falencias significativas en la situación actual del APR Cerrillos de Tamaya.

No obstante, este estudio presenta algunas limitaciones que se deben tener en cuenta. La principal limitación es la falta de información actualizada sobre los beneficiarios de los sistemas APR, ya que desde febrero de 2022 ha habido un aumento en la población en las localidades analizadas. Es importante destacar que, en el caso del APR Limarí, las cotas utilizadas en las modelaciones hidráulicas se obtuvieron mediante un sistema GPS, utilizando una aplicación móvil o información obtenida de Google Earth. Se realizó una comparación entre las cotas utilizadas en este estudio y las cotas proporcionadas por la I. Municipalidad de Ovalle, lo que reveló una diferencia de aproximadamente 30 metros.

Aunque esta diferencia se mantuvo constante en todo el terreno, es importante considerar que un levantamiento topográfico podría alterar los resultados obtenidos, por lo que los resultados del presente estudio deben o pueden ser verificados con información topográfica precisa, cuando se cuente con esa información.

Respecto a las alternativas de fuentes de agua, fue poco realista pensar que se podría abarcar el análisis de posibles alternativas en conjunto con el trabajo presentado en este estudio. El tema de nuevas fuentes de abastecimiento para zonas con escasez hídrica, como la IV Región, es lo suficientemente amplio como para ser abordado en trabajos de título individuales. Sin embargo, se puede realizar una comparación de la información obtenida en otros trabajos de título que aborden el mismo tema, considerando la necesidad específica de cada uno de los APR analizados en este estudio. Además, tanto la Dirección de Obras Hidráulicas como Aguas del Valle, la empresa sanitaria encargada de la región, están realizando prospecciones de pozos en toda la región, lo que significa que actualmente están buscando soluciones convencionales para satisfacer la demanda de agua de los APR.

Bibliografía

- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2015). NCh 691/3.Of2015 Agua Potable – Producción, conducción, almacenamiento y distribución – Requisitos de diseño
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2000). NCh 692/Of2000 Agua Potable – Plantas elevadoras – Especificaciones generales.
- Ministerio de Obras Públicas (MOP). (2019). Manual de Proyectos de Agua Potable Rural (APR).
- Dirección General de Aguas (DGA). (2022). Boletín N°530 Mes: Junio Año 2022, Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas.
- Dirección General de Aguas (DGA). (2022). Boletín N°535 Mes: Noviembre Año 2022, Información pluviométrica, fluviométrica, estado de embalses y aguas subterráneas.
- Dirección General de Aguas (DGA). (2020). Informe técnico: Diagnóstico del Estado Hidrogeológico de la Cuenca del Limarí.
- Dirección General de Aguas (DGA). (2020). Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca de Limarí.
- Napurí, A. (2022). APR Limarí.
- Rosales, F. (2022). Informe Final APR Cerrillos de Tamaya.
- Dirección General de Aguas (DGA). Base de Datos de Estadísticas de precipitación.
- Dirección General de Aguas (DGA). (2014). Inventario de cuencas, subcuencas, y subsubcuencas de Chile
- Comisión Nacional de Riego (CNR). (2017). Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuencas de Coquimbo.
- Dirección Meteorológica de Chile (2001). Climatología Regional.
- Tigre. (2019). Catálogo de productos Polietileno de alta densidad para conducción de agua potable y riego.
- Ministerio de Planificación. (2008). Metodología preparación y evaluación de proyectos de agua potable.
- Santibáñez, F. (2017). El cambio climático y los recursos hídricos de Chile.

Anexos

Anexo A. Respuesta a solicitud Ley de Transparencia.



**MINUTA DE RESPUESTA
SOLICITUD LEY DE TRANSPARENCIA N° AM007T0002629**

Solicitante: Sr. Gonzalo Ancán Llancao

En atención a su solicitud de acceso a la información, ingresada a la plataforma del Consejo de Transparencia con fecha 05 de Diciembre de 2022, en donde se ha requerido en forma esencial lo siguiente:

"Se solicita la información del proyecto con nombre "MEJORAMIENTO SISTEMA APR CERRILLOS DE TAMAYA, COMUNA DE OVALLE, PROVINCIA DE LIMARI", realizado en el año 2016. En esta solicitud se desea que se incluyan informes de anteproyecto, proyecto, planos realizados y modelaciones. Esto en el marco de la realización de un trabajo de título del alumno Gonzalo Ancán, perteneciente a la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile."

Al respecto es posible informar que:

Durante el año 2018 se desarrolló un Contrato de Mejoramiento al Sistema APR Cerrillos de Tamaya, ejecutado a través del Convenio Ad- Referéndum entre la Dirección Regional de Obras Hidráulicas y la Unidad Técnica Aguas del Valle S.A. Este Contrato ya está Recepcionado y Liquidado. Se adjunta Minuta.

Cabe indicar, que el Diseño de esta Obra fue financiado por el Comité de Agua Potable Rural, no por esta Dirección Regional.

Sin perjuicio de lo anterior, se sugiere coordinar una reunión con profesional de la Subdirección Regional Sr. Jaime Henríquez al correo jaimenhenriquez@mop.gov.cl para resolver sus requerimientos.

**MARCELA MENA MUÑOZ
SUBDIRECTORA (S) DE SERVICIOS SANITARIOS RURALES
REGION DE COQUIMBO
Dirección de Obras Hidráulicas
Ministerio de Obras Públicas**

La Serena, 27 de Diciembre de 2022.

Este documento ha sido firmado electrónicamente de acuerdo con la Ley N° 19.799



Anexo B. Levantamiento GPS APR Limarí.

Punto	Coordenadas Grados y minutos		Cota (msnm)	Tubería	Diámetro (mm)	Descripción
1	30° 35,710	71° 16,168	340	PVC	63	Estanques, 2 de 20 m3 c/u
2	30 35,745	71 16,160	312	PVC	63	
3	30 35,740	71 16,147	319	PVC	63	Fin
4	30 35,756	71 16,207	302	PVC	63	
5	30 35,756	71 16,208	302	PVC	63	Cámara corta
6	30 35,670	71 16,231	321	PVC	63	Fin
7	30 35,768	71 16,267	292	PVC	63	Cámara desagüe
8	30 35,643	71 16,300	300	PVC	63	Fin
9	30 35,792	71 16,164	299	PVC	63	
10	30 35,788	71 16,160	299	PVC	63	Cámara corta
11	30 35,864	71 16,009	317	PVC	63	Fin
12	30 35,784	71 16,045	321	PVC	63	
13	30 35,818	71 16,081	307	PVC	63	Cámara, fin, desagüe
14	30 35,841	71 16,104	300	PVC	63	
15	30 35,906	71 16,030	307	PVC	63	Fin
16	30 35,847	71 16,110	298	PVC	63	Cámara corta
17	30 35,885	71 16,149	290	PVC	63	
18	30 35,847	71 16,198	289	PVC	63	desagüe
19	30 35,832	71 16,187	291	PVC	63	Fin
20	30 35,922	71 16,101	293	PVC	63	
21	30 35,900	71 16,078	298	PVC	63	Fin
22	30 35,944	71 16,072	291	PVC	63	
23	30 35,943	71 16,053	293	PVC	63	Fin
24	30 35,949	71 16,064	291	PVC	63	Cámara cambio diámetro
25	30 36,016	71 15,844	294	PVC	75	Cámara ventosa
26	30 36,013	71 15,728	291	PVC	75	
27	30 35,983	71 15,766	304	PVC	75	Fin
28	30 35,980	71 15,653	293	PVC	75	
29	30 35,981	71 15,651	293	PVC	75	Desagüe
30	30 35,972	71 15,663	296	PVC	75	
31	30 35,943	71 15,633	296	PVC	75	Fin
32	30 35,949	71 15,694	305	PVC	75	
33	30 35,918	71 15,664	306	PVC	75	Fin
34	30 35,925	71 15,726	316	PVC	75	
35	30 35,893	71 15,695	322	PVC	75	Fin

Punto	Coordenadas Grados y minutos		Cota (msnm)	Tubería	Diámetro (mm)	Descripción
36	30 38,312	71 17,024	185	PVC	75	
37	30 38,316	71 17,024	185	PVC	75	
38	30 38,317	71 17,023	184	PVC	75	
39	30 38,316	71 17,025	184	PVC	75	
40	30 38,313	71 17,061	182	PVC	75	
41	30 38,174	71 17,038	181	PVC	75	
42	30 38,171	71 17,040	182	PVC	75	Llave corte
43	30 38,164	71 17,114	179			
44	30 38,164	71 17,116	179			
45	30 38,165	71 17,148	179			
46	30 38,169	71 17,249	176			
47	30 38,172	71 17,276	174			
48	30 38,168	71 17,277	174			
49	30 38,168	71 17,290	174			
50	30 38,147	71 17,278	173			
51	30 38,193	71 17,275	173			
52	30 38,193	71 17,289	173			
53	30 38,214	71 17,274	173			
54	30 38,215	71 17,288	173			
55	30 38,222	71 17,274	173			
56	30 38,173	71 17,251	172			
57	30 38,149	71 17,253	171			
58	30 38,220	71 17,249	171			
59	30 38,217	71 17,247	172			
60	30 38,215	71 17,219	171			
61	30 38,174	71 17,222	171			
62	30 38,212	71 17,183	172			
63	30 38,172	71 17,186	171			
64	30 38,209	71 17,147	170			
65	30 38,171	71 17,150	169			
66	30 38,161	71 17,116	170			Válvula corte
67	30 38,125	71 17,150	168			
68	30 38,146	71 17,250	165			
69	30 38,145	71 17,249	165			Desagüe
70	30 38,167	71 17,249	165			Válvula corte
71	30 38,164	71 17,147	165			Válvula corte

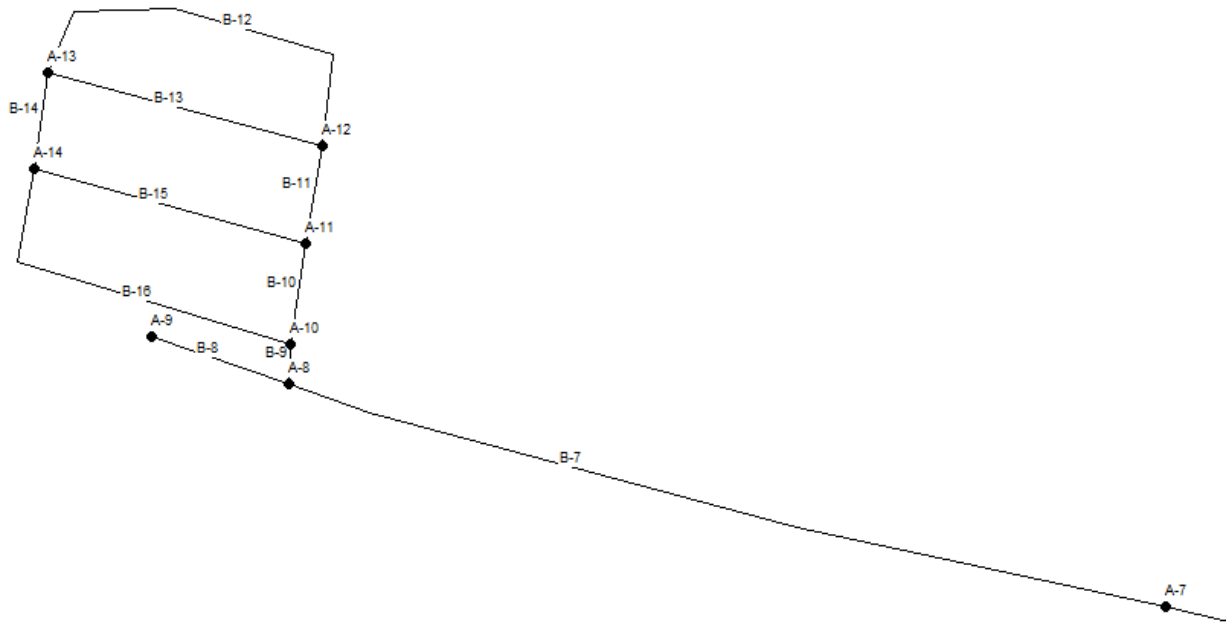
Punto	Coordenadas Grados y minutos		Cota (msnm)	Tubería	Diámetro (mm)	Descripción
72	30 38,314	71 17,061	175			Codo
73	30 38,174	71 17,033	178			Fin
74	30 38,384	71 17,130	173			Válvula corte
75	30 38,441	71 17,308	160			Cámara desagüe
76	30 38,364	71 17,172	172			Válvula corte
77	30 38,316	71 17,534	167			
78	30 38,313	71 17,569	167			Fin
79	30 38,310	71 17,534	166			Cámara corte
80	30 38,286	71 17,535	166			
81	30 38,265	71 17,534	165			
82	30 38,255	71 17,608	164			Cámara desagüe
83	30 38,258	71 17,607	162			
84	30 38,279	71 17,608	162			
85	30 38,299	71 17,608	163			
86	30 38,172	71 17,027	168			Llave corte
87	30 38,178	71 16,933	169			
88	30 38,188	71 16,931	170			Fin
89	30 38,177	71 16,928	170			
90	30 38,170	71 16,767	173			
91	30 38,170	71 16,768	173			
92	30 38,169	71 16,765	173			
93	30 38,169	71 16,764	173			
94	30 38,170	71 16,764	173			
95	30 38,169	71 16,764	173			
96	30 38,169	71 16,759	174			
97	30 38,332	71 16,764	171			
98	30 38,331	71 16,760	171			
99	30 38,401	71 16,730	168			Cámara corte
100	30 38,399	71 15,974	167			Cámara desagüe
101	30 38,320	71 16,945	166			Codo
102	30 38,173	71 16,929	169			Codo
103	30 38,170	71 16,907	170			Cámara corte
104	30 38,160	71 16,905	170			
105	30 38,138	71 16,905	170			Fin
106	30 38,160	71 16,869	170			
107	30 38,135	71 16,875	170			Fin

Punto	Coordenadas Grados y minutos		Cota (msnm)	Tubería	Diámetro (mm)	Descripción
108	30 38,155	71 16,844	170			
109	30 38,135	71 16,848	171			Fin
110	30 38,150	71 16,817	170			
111	30 38,130	71 16,822	171			Fin
112	30 38,145	71 16,792	171			
113	30 38,125	71 16,798	171			Fin
114	30 38,140	71 16,767	171			
115	30 38,118	71 16,767	171			Codo
116	30 38,122	71 16,786	172			Fin
117	30 38,165	71 16,767	172			Codo
118	30 38,179	71 16,845	172			Fin
119	30 38,145	71 16,765	172			
120	30 38,092	71 16,594	174			Codo
121	30 38,083	71 16,568	174			Fin
122	30 38,088	71 16,597	174			
123	30 38,140	71 16,766	173			
124	30 38,139	71 16,767	174			Válvula corte
125	30 38,116	71 16,764	174			Válvula corte
126	30 37,880	71 16,793	166			Cámara corte y desagüe
127	30 37,878	71 16,793	166			
128	30 37,691	71 16,852	177			
129	30 37,695	71 16,852	177			Cámara corte
130	30 37,755	71 16,867	175			Fin
131	30 37,736	71 17,148	172			
132	30 37,740	71 17,149	173			Válvula corte
133	30 37,815	71 17,171	169			Cámara corte
134	30 38,015	71 17,227	161			Desagüe
135	30 37,762	71 17,369	171			Fin
136	30 37,665	71 16,765	174			
137	30 37,665	71 16,763	174			Re-elevadora los llanos
138	30 37,659	71 16,763	173			válvula de corte
139	30 37,544	71 16,723	181			codo
140	30 37,556	71 16,550	182			fin
141	30 38,086	71 16,599	170			válvula de corte
142	30 38,084	71 16,600	170			pozo ciego las vegas
143	30 38,088	71 16,595	172			

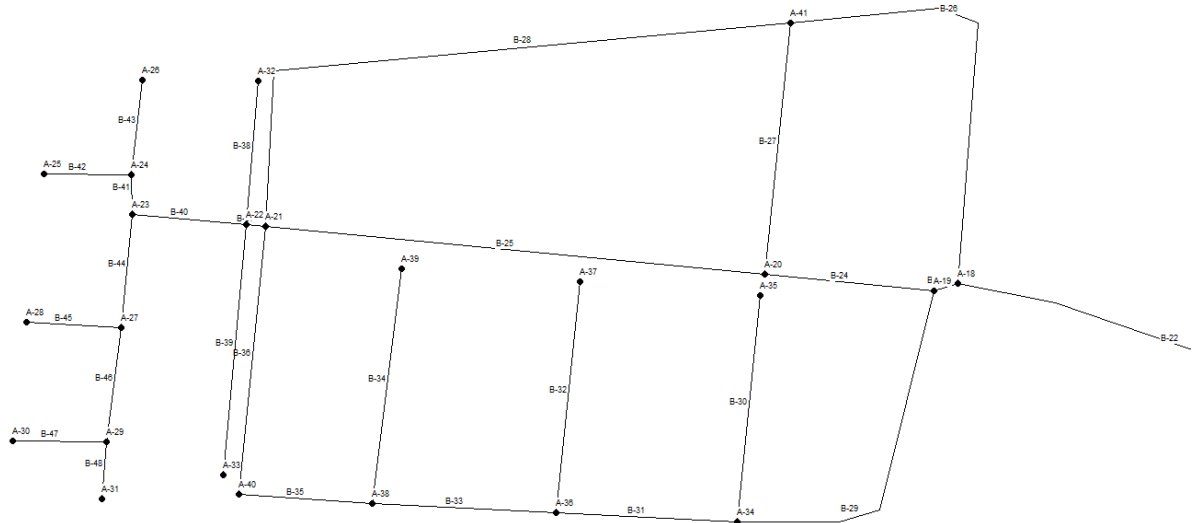
Punto	Coordenadas Grados y minutos		Cota (msnm)	Tubería	Diámetro (mm)	Descripción
144	30 38,009	71 16,346	183			Cámara ventosa
145	30 37,946	71 16,136	186			Cámara ventosa
146	30 37,863	71 15,830	188			codo
147	30 37,955	71 15,833	189			llegada impulsión las vegas
148	30 37,955	71 15,833	189			salida impulsión las vegas
149	30 37,950	71 15,835	189			
150	30 37,932	71 15,824	190			
151	30 37,962	71 15,737	190			
152	30 37,901	71 15,820	188			
153	30 37,913	71 15,766	189			fin
154	30 37,896	71 15,822	187			fin
155	30 37,971	71 15,844	186			
156	30 37,962	71 15,849	186			válvula de corte
157	30 38,045	71 15,793	175			fin
158	30 37,990	71 15,932	185			
159	30 38,131	71 15,907	175			
160	30 38,156	71 15,904	174			fin
161	30 38,130	71 15,900	175			válvula corte
162	30 38,129	71 15,893	175			
163	30 38,126	71 15,867	175			ventosa
164	30 38,153	71 15,889	174			
165	30 38,152	71 15,894	174			fin - desagüe
166	30 38,149	71 15,864	173			fin
167	30 37,909	71 15,956	185			válvula corte
168	30 37,905	71 15,958	185			codo
169	30 37,959	71 16,161	185			
170	30 37,979	71 16,230	184			
171	30 37,962	71 16,161	186			válvula corte
172	30 38,086	71 16,190	185			fin

Fuente: Visita a Terreno, Adolfo Ochoa.

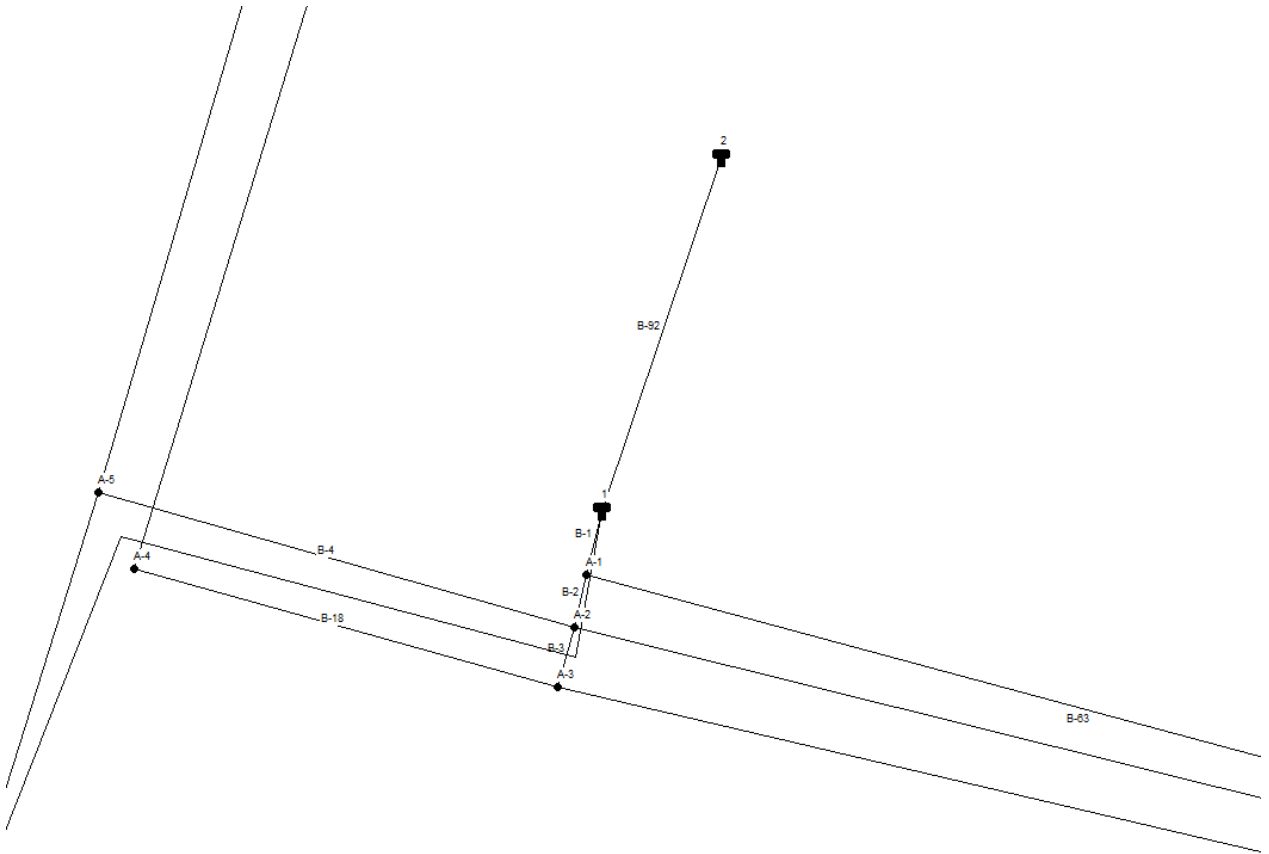
Anexo C. Detalle de Nodos y Tuberías, modelación Sector Limarí.



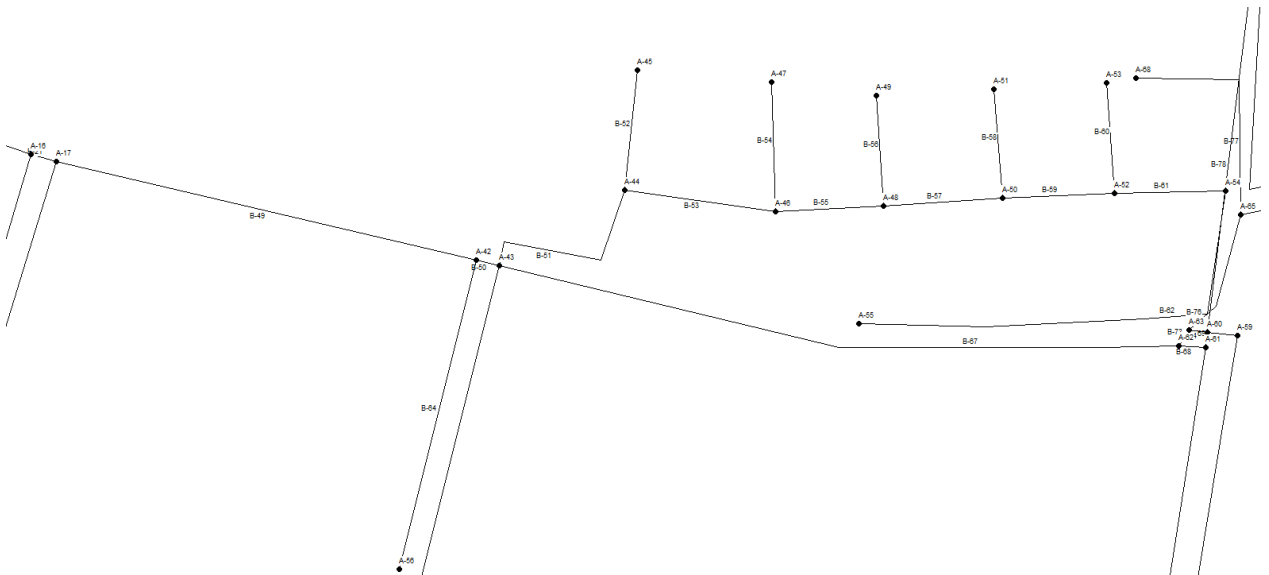
Fuente: Elaboración propia.



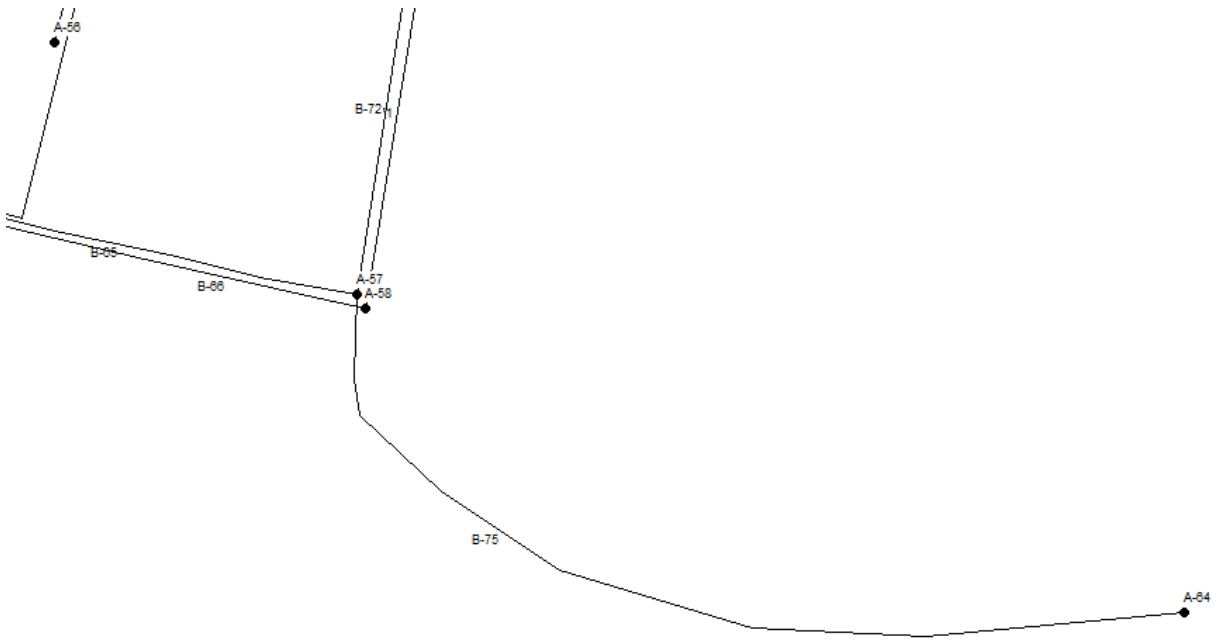
Fuente: Elaboración propia.



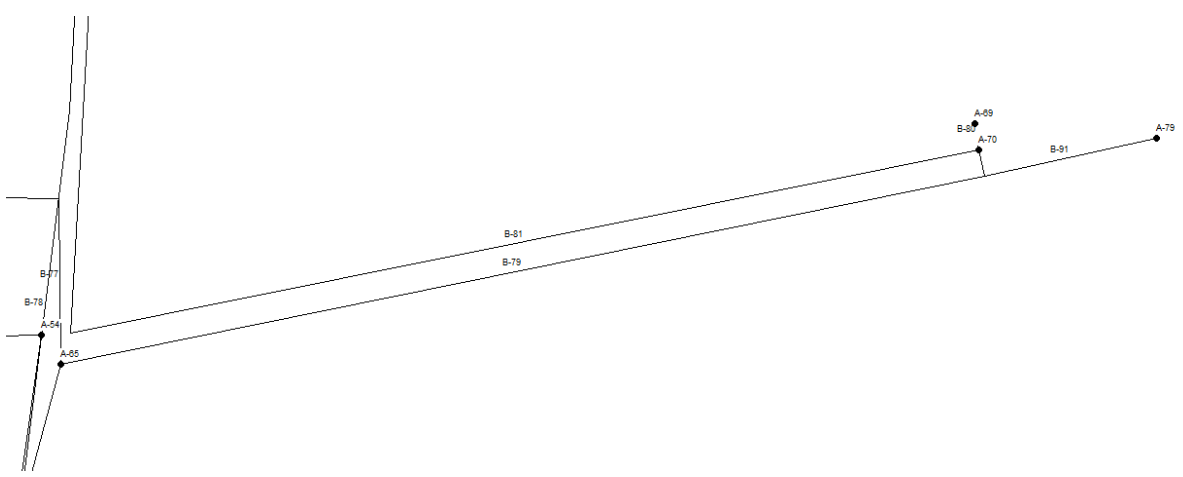
Fuente: Elaboración propia.



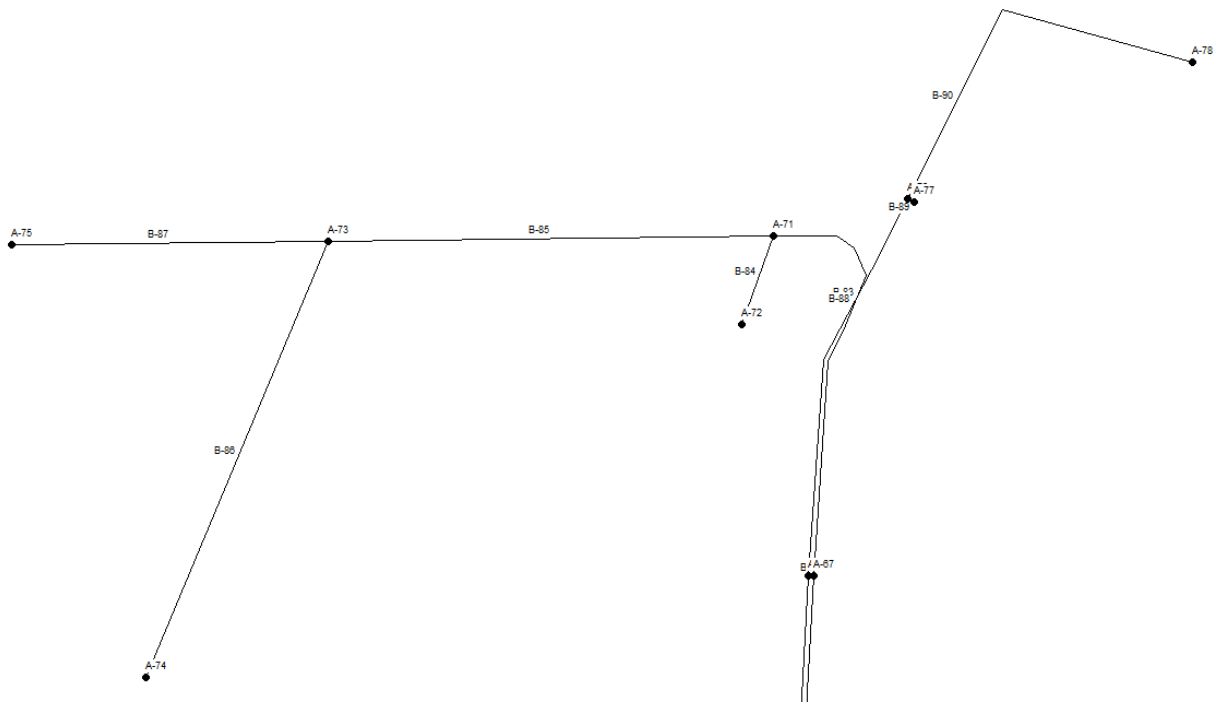
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

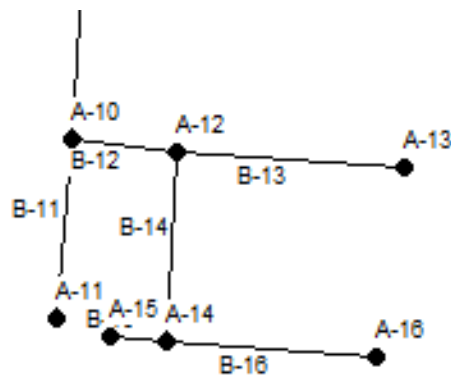


Fuente: Elaboración propia.

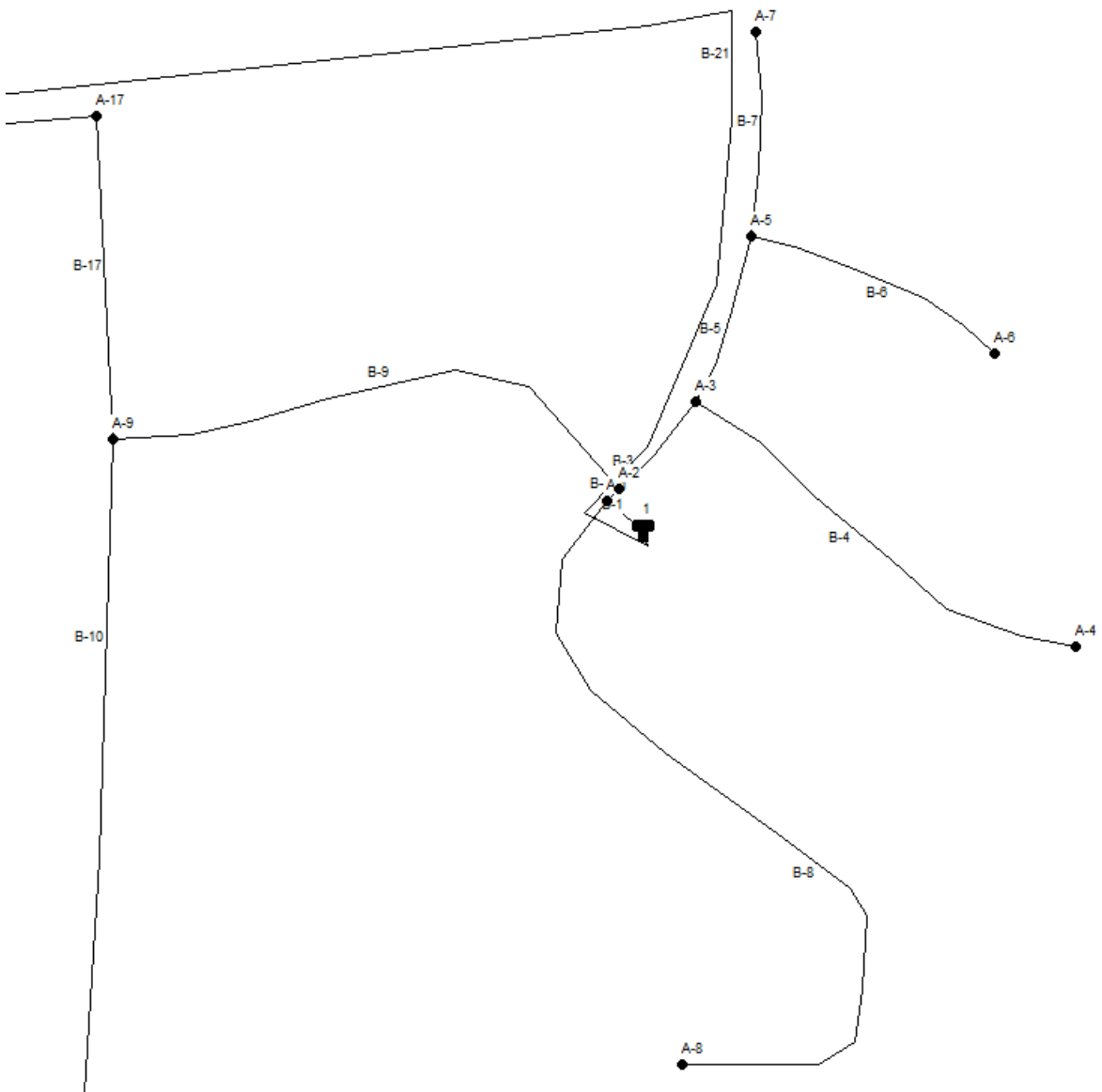


Fuente: Elaboración propia.

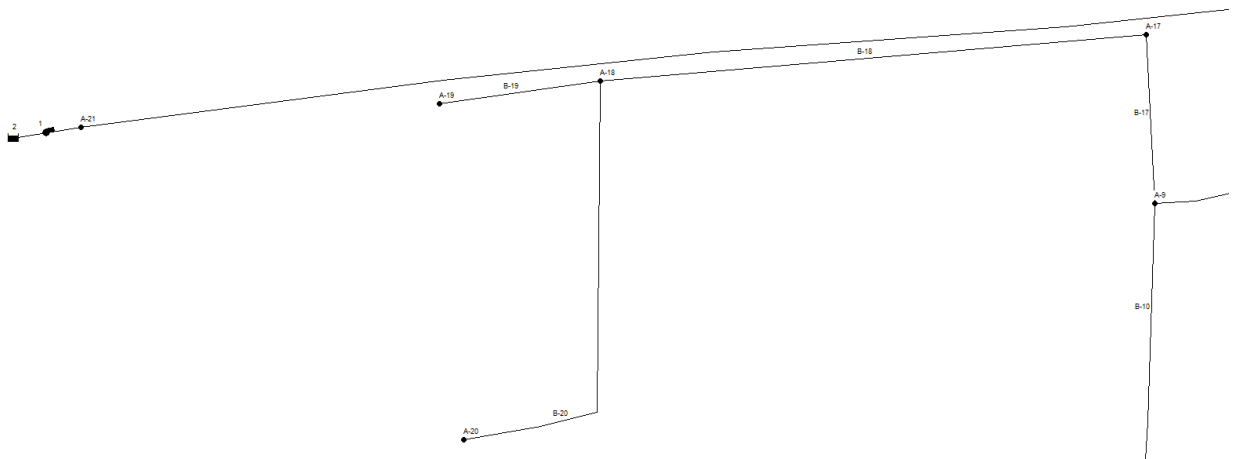
Anexo D. Detalle de Nodos y Tuberías, modelación Sector Las Vegas.



Fuente: Elaboración propia.

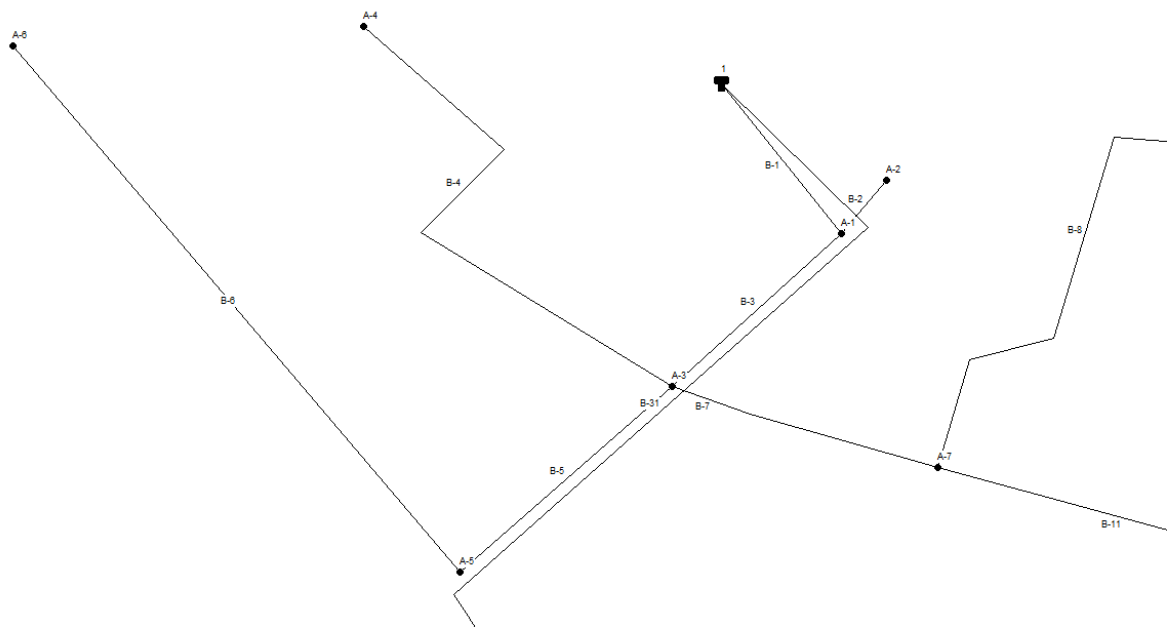


Fuente: Elaboración propia.

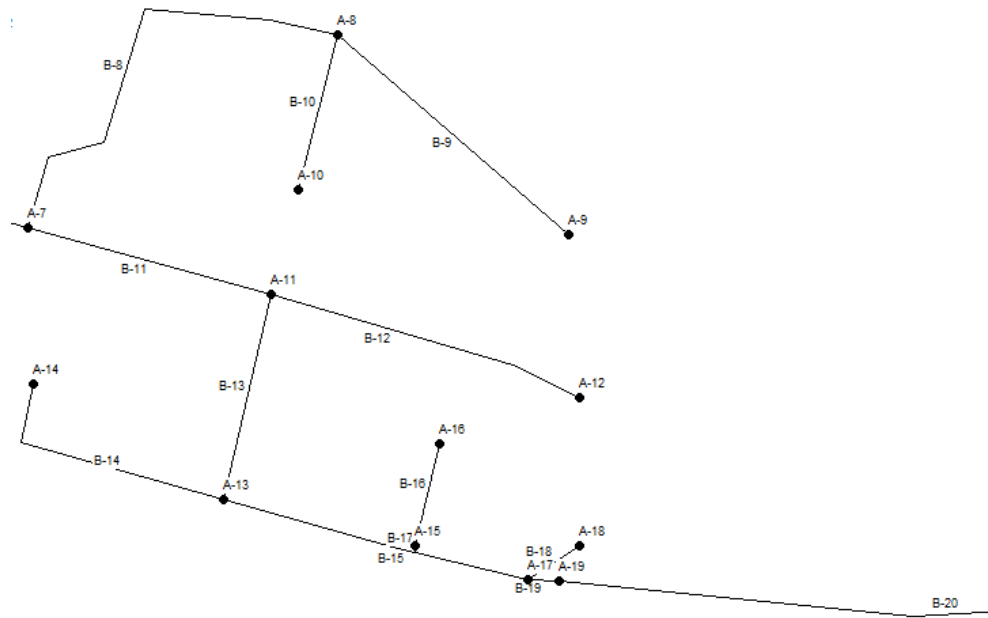


Fuente: Elaboración propia.

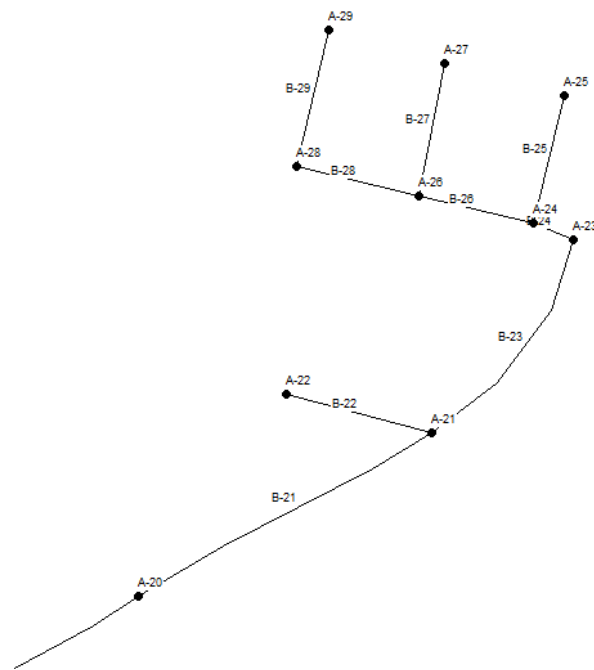
Anexo E. Detalle de Nodos y Tuberías, modelación Sector Los Llanos.



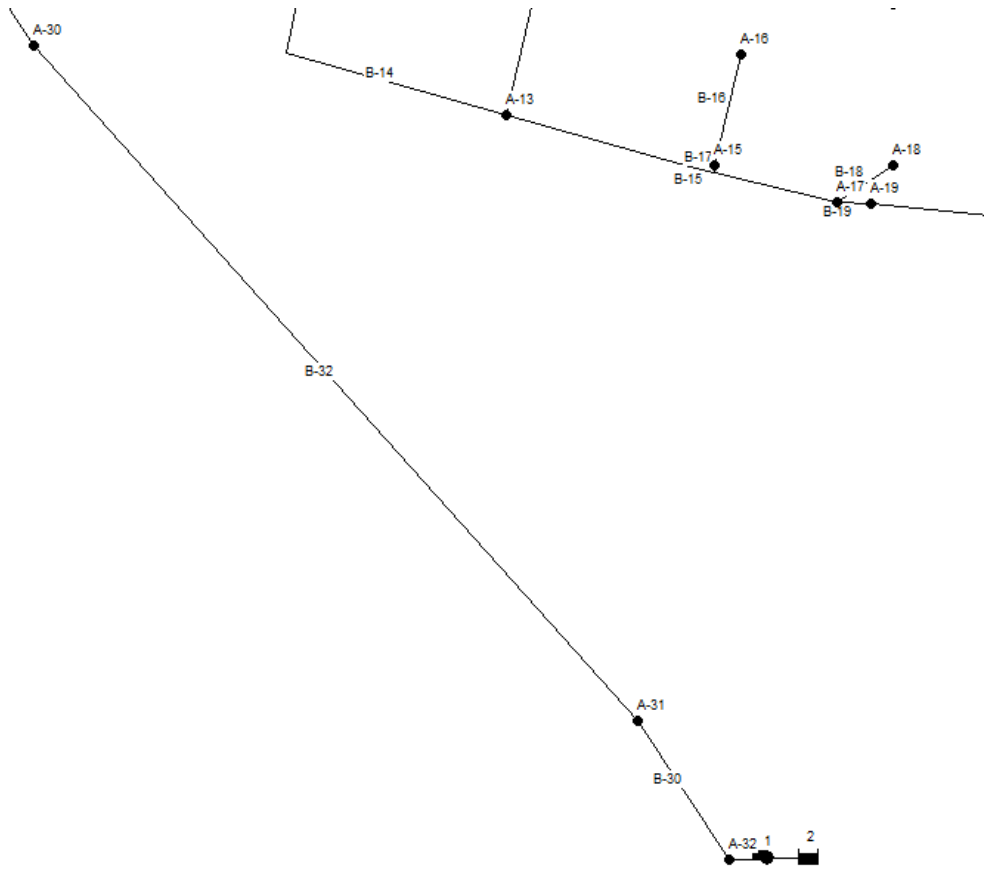
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

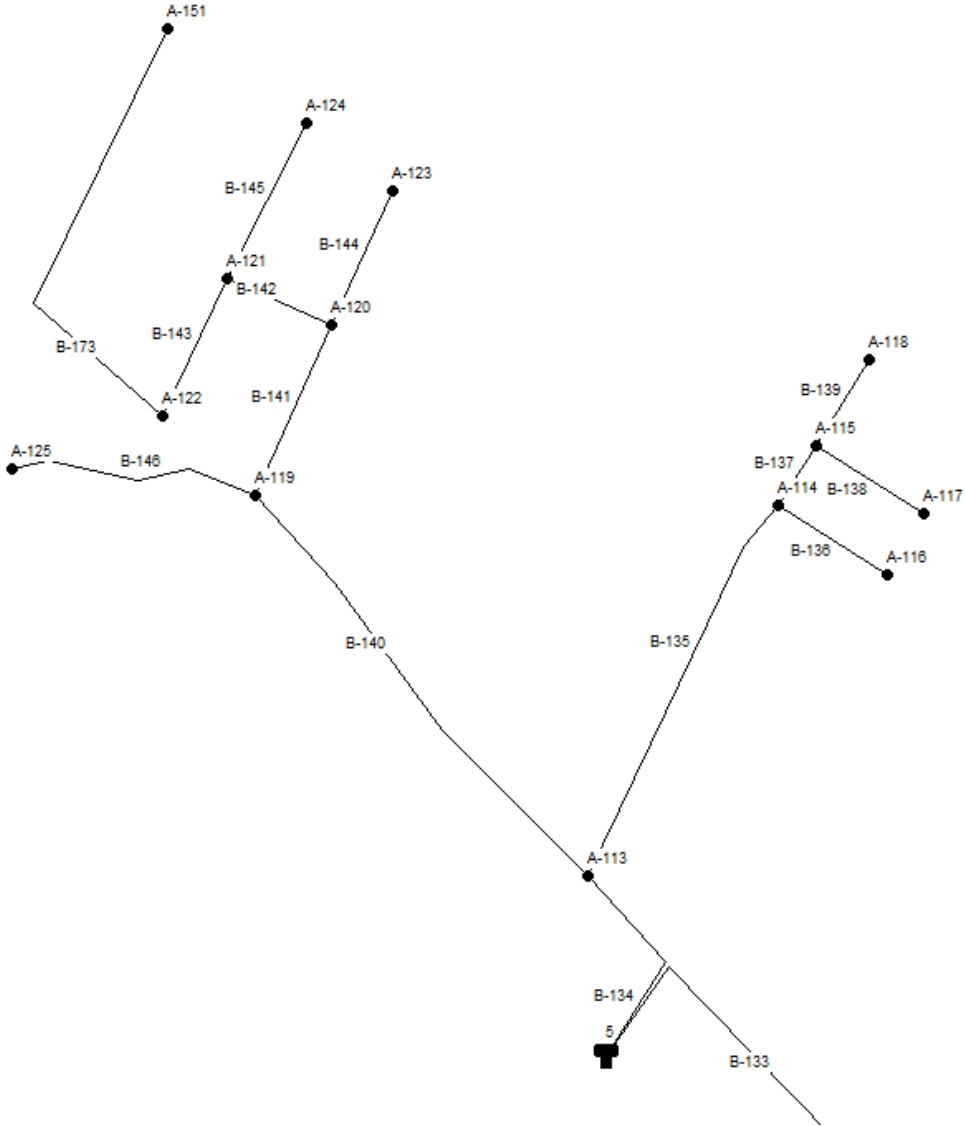


Fuente: Elaboración propia.

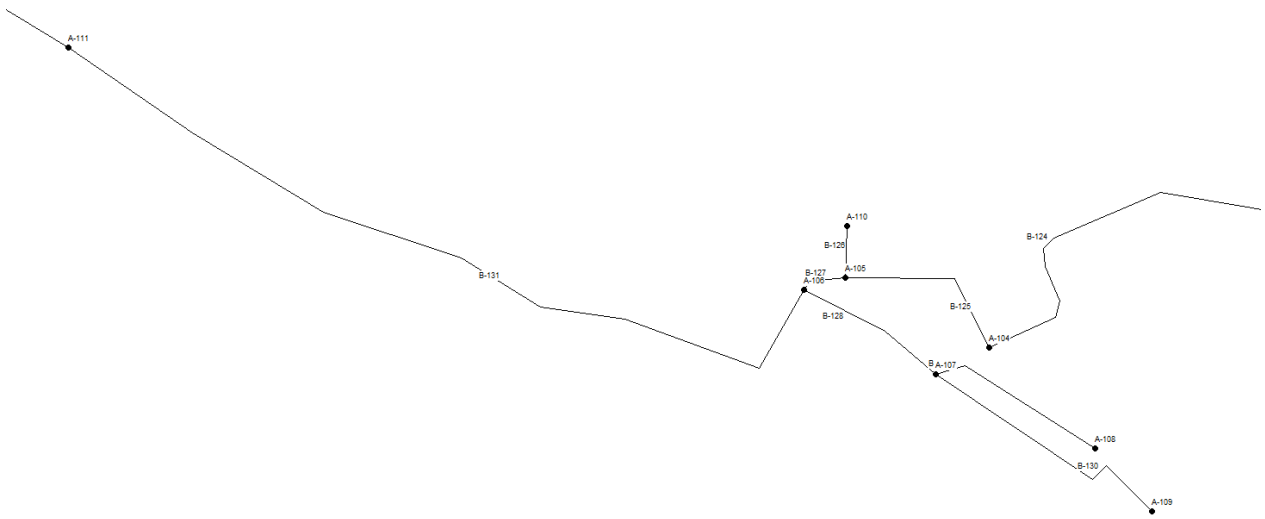


Fuente: Elaboración propia.

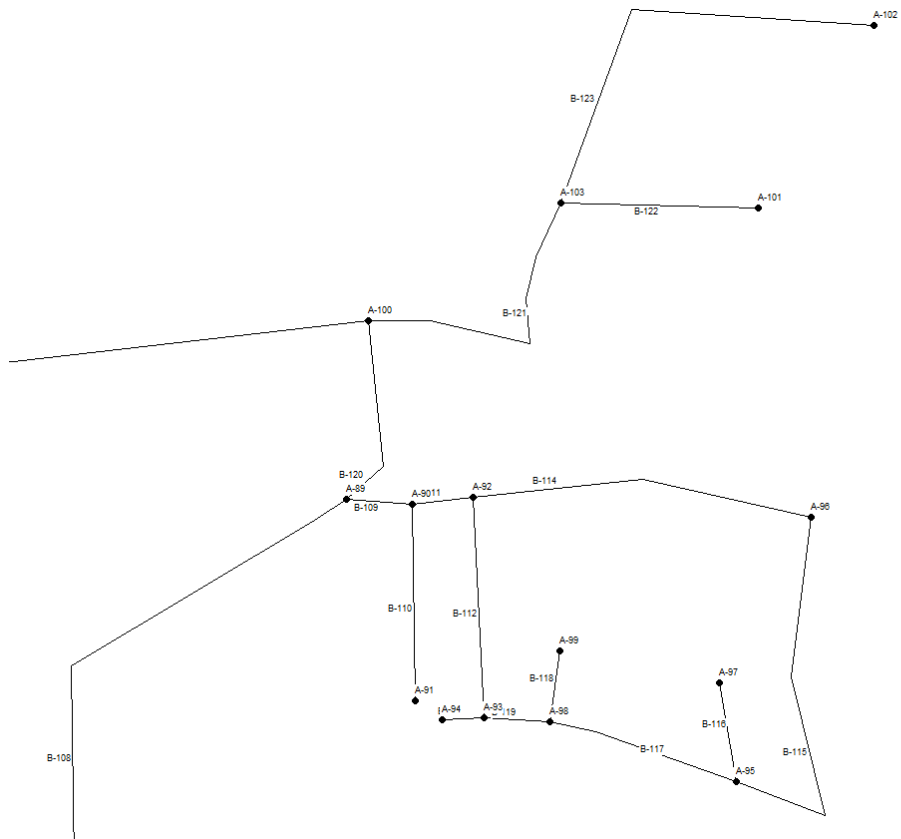
Anexo F. Detalle de Nodos y Tuberías, modelación Cerrillos de Tamaya.



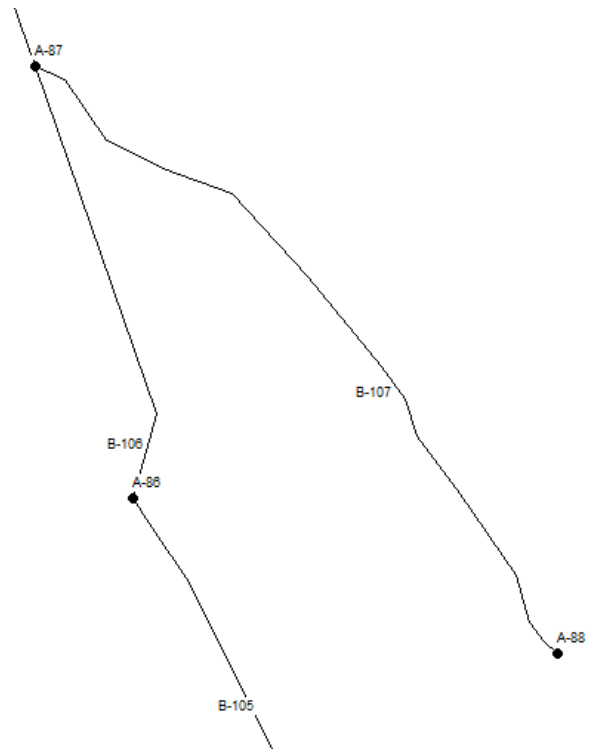
Fuente: Elaboración propia.



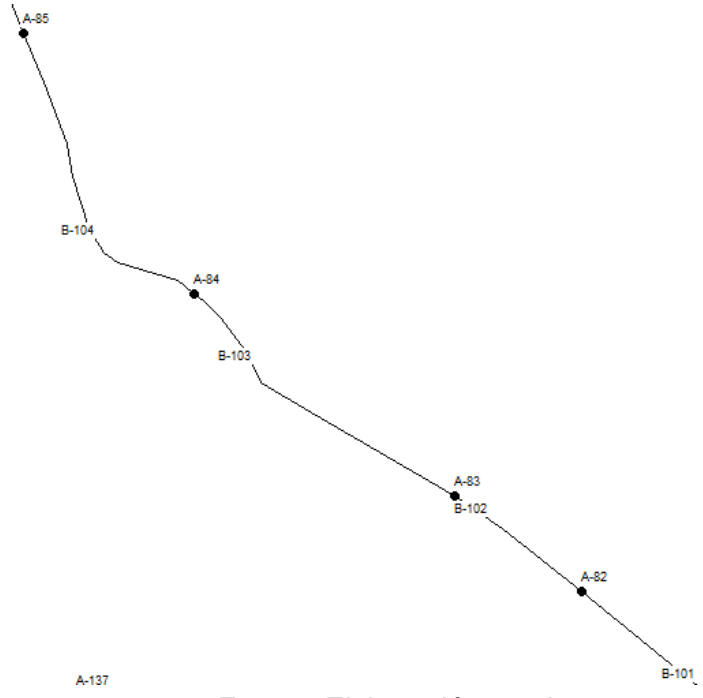
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

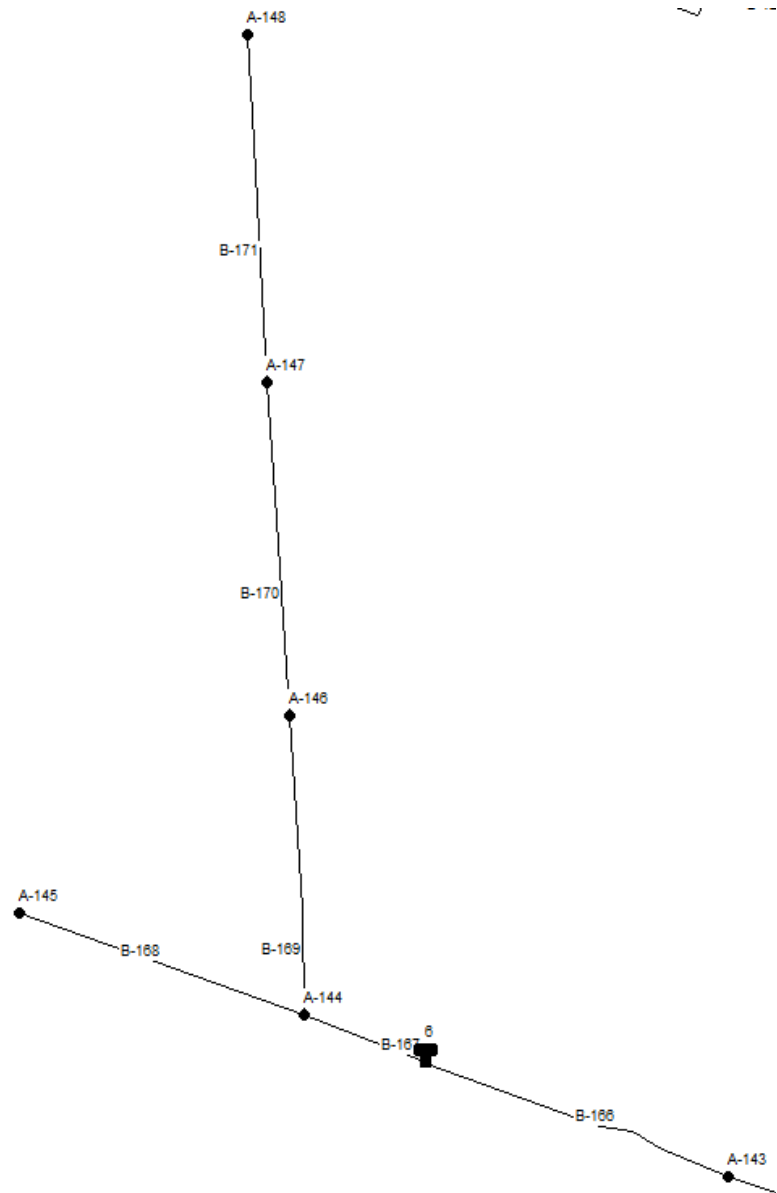


Fuente: Elaboración propia.

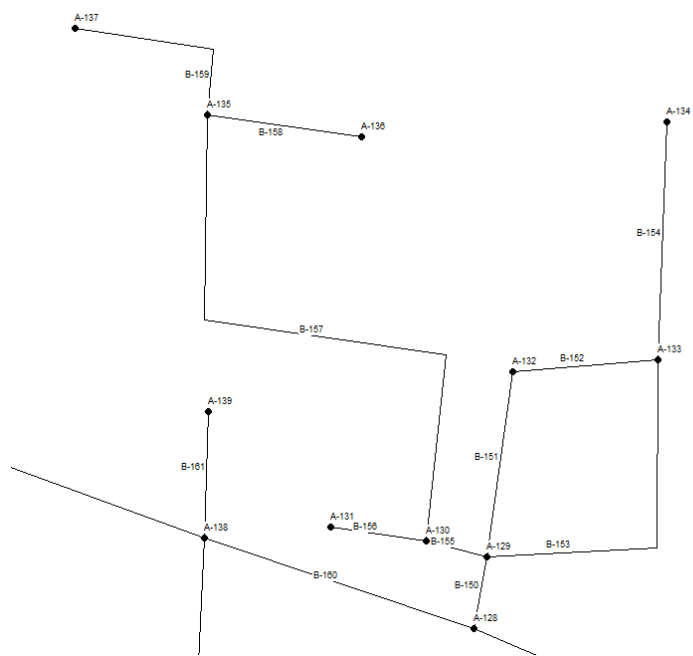


A-137

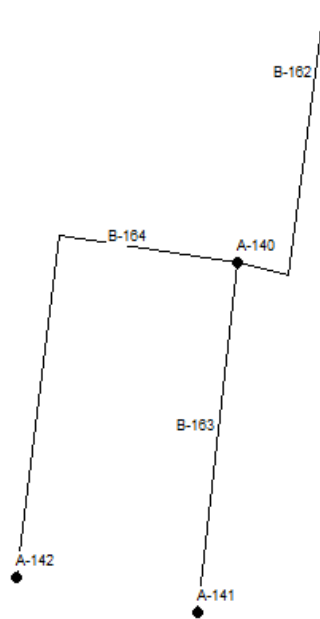
Fuente: Elaboración propia.



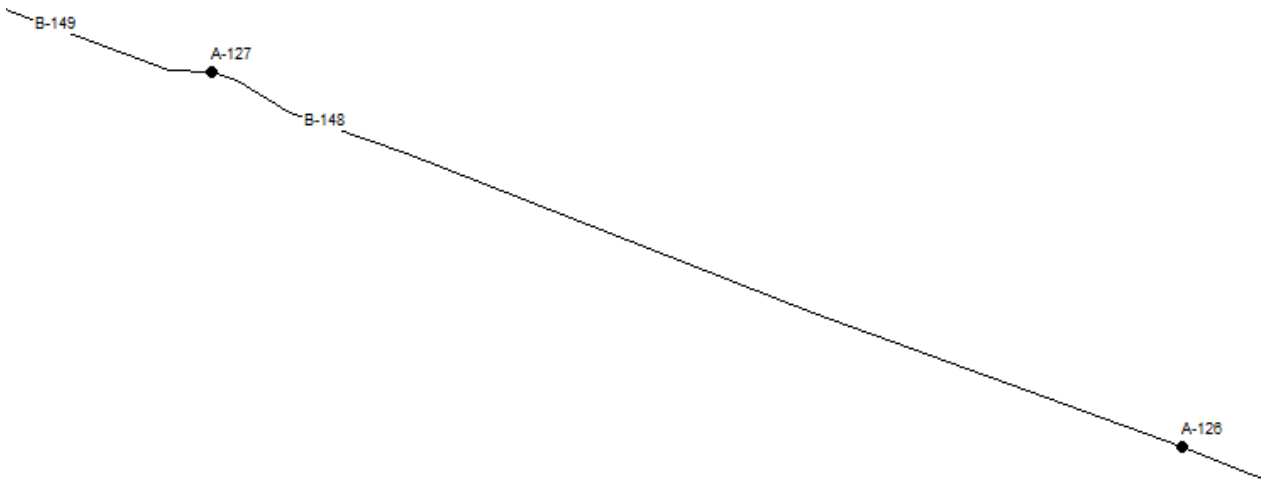
Fuente: Elaboración propia.



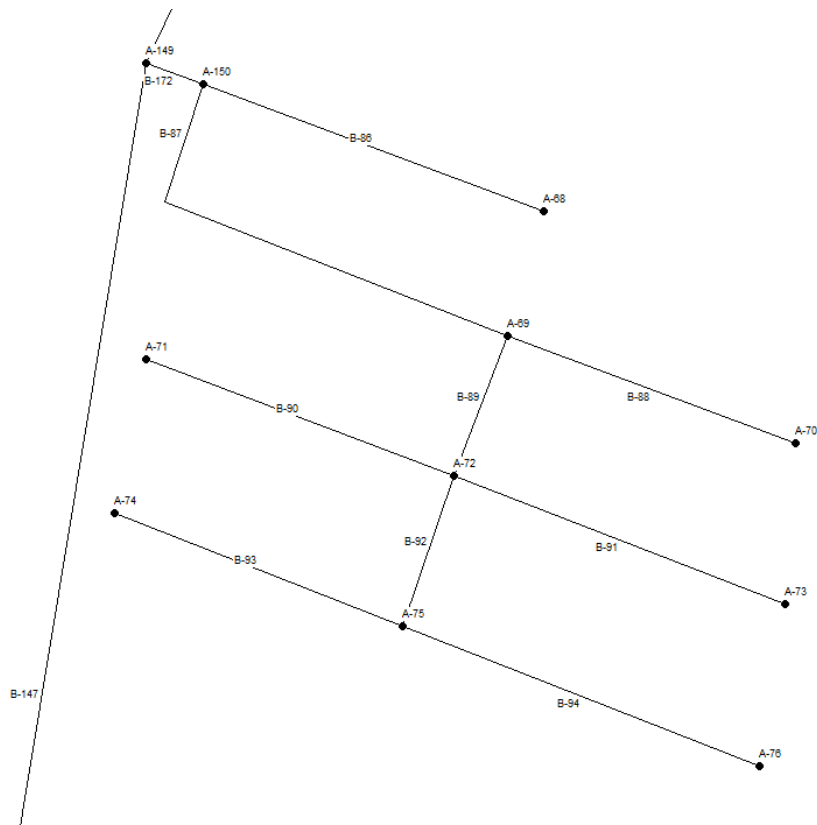
Fuente: Elaboración propia.



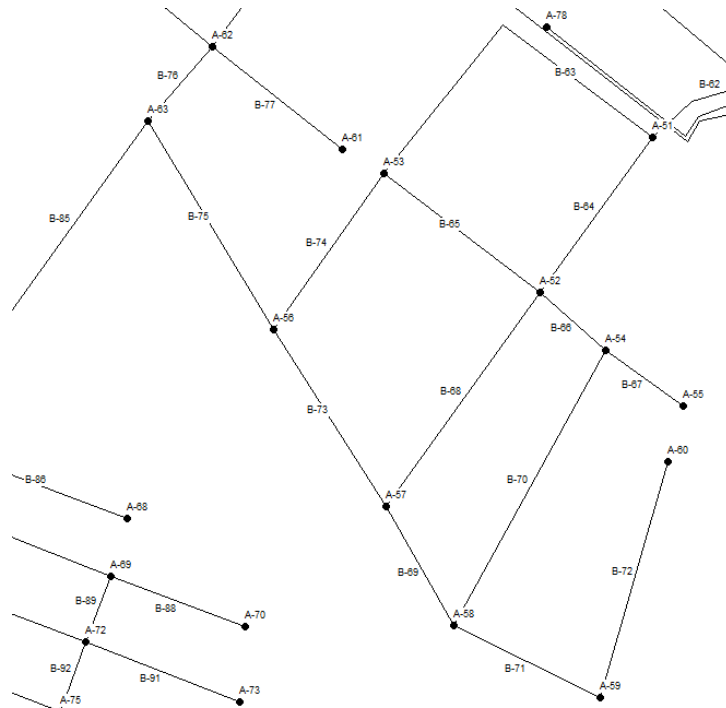
Fuente: Elaboración propia.



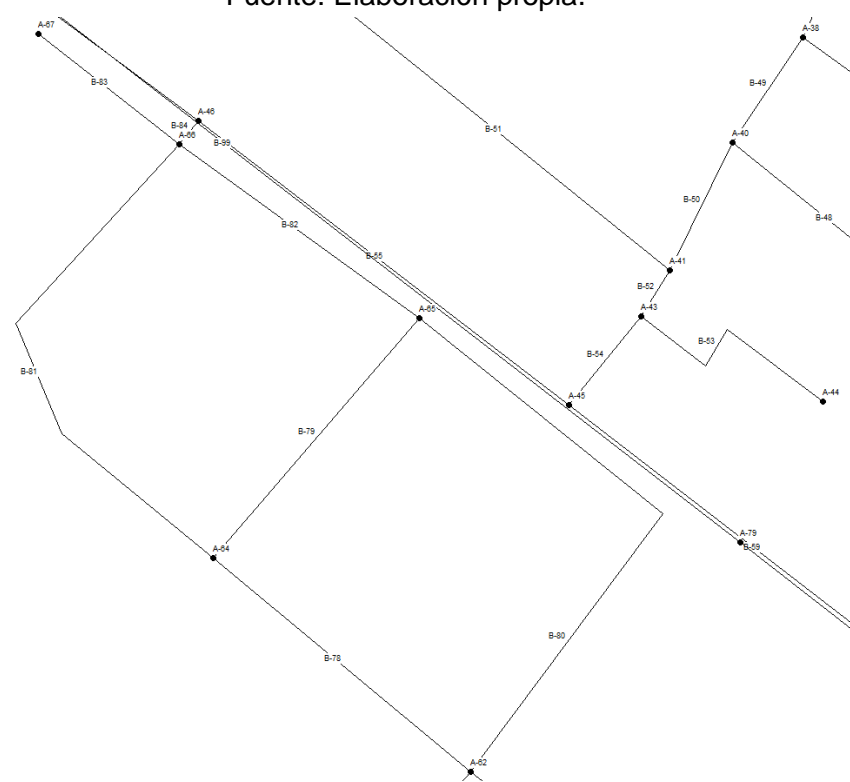
Fuente: Elaboración propia.



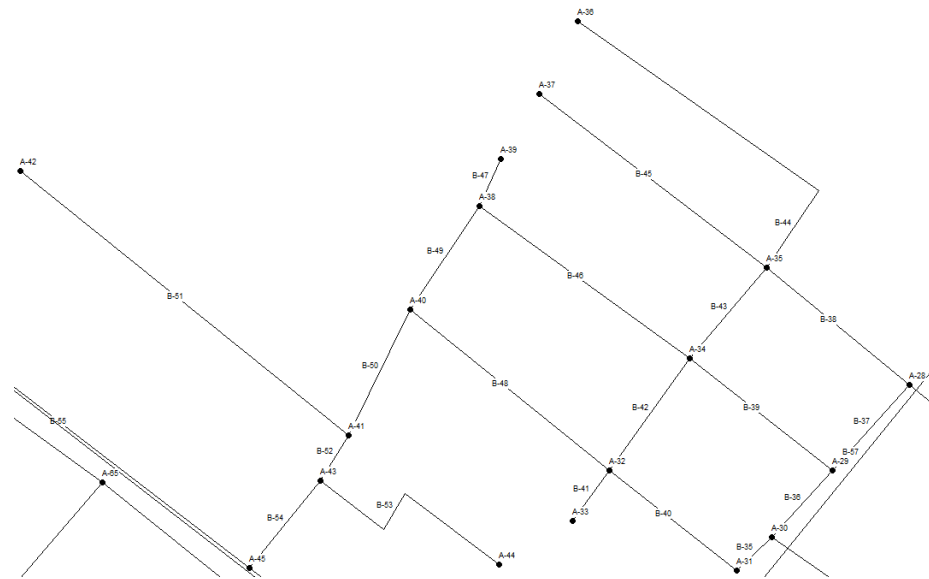
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



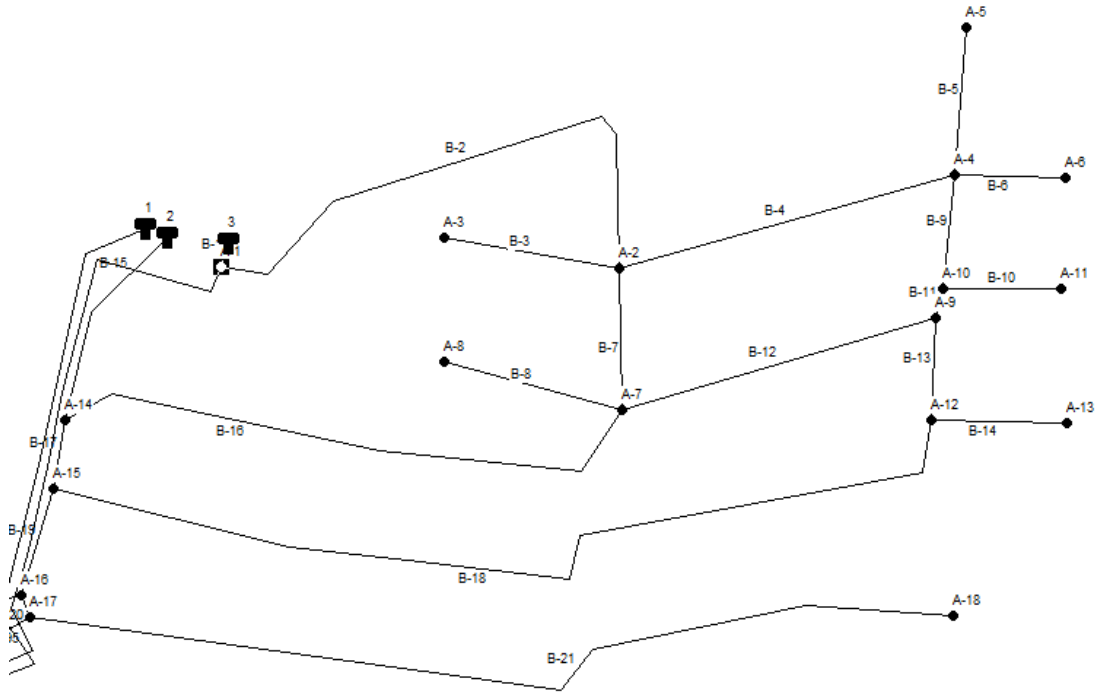
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo G. Informe realizado a la Municipalidad de Ovalle.

Introducción

El presente trabajo está inserto en el programa de colaboración con los sistemas de agua potable rural (APR) de la provincia de Limarí, creado y desarrollado por Adolfo Ochoa LLangato, Ingeniero Civil de la Universidad de Chile, como profesional independiente.

A través de este programa se han desarrollado diversas actividades tendientes a apoyar y brindar soporte técnico a los APRs, para lo cual se ha contado con la colaboración de la Asociación Gremial de APRs de la provincia de Limarí, presidida por don Luis Alfaro; de la Ilustre Municipalidad de Ovalle; y de los alumnos y alumnas de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, quienes han realizado prácticas profesionales en APRs, y otros están desarrollando trabajos de título, o memorias de titulación, aplicados sobre APRs de la comuna de Ovalle.

Como parte de este programa, en la actualidad hay 6 memoristas desarrollando trabajos de título aplicados sobre APRs. Cada uno de ellos(as) tiene dos APRs a cargo, sobre los cuales están trabajando para resolver problemas técnicos. El trabajo de estos

alumnos(as) es guiado y supervisado por el autor de este programa, junto con otros profesionales colaboradores.

Es en este contexto que la ex presidenta del APR Limarí, Sra. Ingrid Marín, solicitó el estudio técnico necesario para definir las características de una nueva tubería, o impulsión de agua, hacia el sector de Los Llanos.

Esta nueva impulsión permitirá salvar las situaciones asociadas a la actual impulsión, que ha tenido muchas filtraciones, roturas y ha debido ser reparada, reemplazada, en diversos tramos.

El sector Los Llanos cuenta con 161 arranques y la red de distribución es abastecida desde dos estanques de hormigón, semi enterrados, de 20 m³ cada uno y ubicados en el mismo sector. Estos estanques son abastecidos por la impulsión materia de este estudio.

La impulsión actual tiene 4.335,7 mts de longitud y comienza en la planta re – elevadora correspondiente. En esta última existen dos bombas, una sumergida y otra superficial, las cuales funcionan alternadamente para superar la diferencia de cota entre la planta re - elevadora y los estanques que alcanza a unos 170 mts. según el levantamiento topográfico realizado. La planta re – elevadora funciona entre las 02 y las 14 hrs. de cada día.

Además, es preciso señalar que el APR Limarí, de acuerdo con lo informado por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), también adolece de otro problema que es la falta de agua; porque sus fuentes actuales no son suficientes para el abastecimiento que requiere el sistema. De esto se tomó conocimiento en reunión comunitaria y con autoridades regionales, realizada el jueves 3 de noviembre de 2022, en la sede del APR. Esta reunión tuvo su origen en los reclamos de vecinos de Los Llanos por falta de agua.

A contar de la fecha de esa reunión, el suscrito se focalizó en contribuir a resolver al problema planteado, comenzando por atender el requerimiento de la ex presidenta de cambiar o reemplazar la actual impulsión por una nueva tubería.

Para lo anterior se realizaron campañas en terreno durante el mes de noviembre de 2022 para levantar información de la red correspondiente, con lo cual se hicieron informes que fueron emitidos el 14 de noviembre y 14 de diciembre de 2022.

Como parte de los trabajos realizados por el suscrito, se emitieron también especificaciones técnicas para la realización de trabajos topográficos y para el estudio de

mecánica de suelos. Los primeros fueron realizados por la I. Municipalidad de Ovalle y fueron aportados para este estudio a mediados de febrero pasado.

Sobre la base de esta información topográfica, en el presente informe se presentan los estudios y análisis técnicos correspondientes y la recomendación de tuberías para la nueva impulsión hacia el sector Los Llanos.

Levantamiento de Información

Para levantar la información, consistente en las coordenadas de puntos de la actual impulsión, se usó la aplicación móvil de Sistema de Posicionamiento Global (GPS) denominada "Polaris Navigator GPS".

En particular, en base a este trabajo, se obtuvo el levantamiento de 22 puntos, entre los cuales se pueden observar puntos al interior de la planta re - elevadora, cámaras de desagüe, cámaras de ventosa, de cambio de diámetro, entre otras. Cabe mencionar, que la información de la cota de cada uno de los puntos se obtuvo mediante el levantamiento topográfico realizado por la I. Municipalidad de Ovalle.

Tabla 0-1. Coordenadas y Cotas Red de Impulsión.

Punto	UTM ESTE	UTM NORTE	Cota topografía [msnm]	Descripción
1	281.527,56	6.609.437,72	202,3	Sentina
2	281.532,12	6.609.458,78	203,2	Caseta recloración, salida galvanizado 75
3	281.530,05	6.609.451,97	202,9	Codo salida caseta, galvanizado 75
4	281.526,14	6.609.455,44	203,1	Idem
5	281.692,43	6.609.991,60	226,9	Cámara válvula ventosa
6	281.764,71	6.610.130,81	232,4	Término galvanizado 75 y comienzo HDP 75
7	281.909,94	6.610.263,18	237,2	Cámara válvula ventosa y desagüe
8	281.912,40	6.610.269,22	237,3	Obra de arte en galvanizado. Cruce canal Romeral 1
9	281.955,71	6.610.299,93	239,5	Termino HDP 75. Comienza PVC 75 clase 16
10	282.049,98	6.610.381,47	247,2	Codo PVC. Cruce 75 PVC
11	282.036,49	6.610.389,18	247,2	Codo PVC 75
12	282.691,51	6.610.941,74	294,9	Codo PVC 75. Cruce
13	282.704,19	6.610.936,12	295,1	Codo PVC 75
14	282.707,70	6.610.942,85	295,8	Cámara válvula ventosa y comienzo PVC 63 PIN 10
15	282.568,19	6.611.686,54	308,7	Cámara válvula ventosa. Salida PVC 63 PIN 10
16	282.264,93	6.612.842,60	319,1	Obra de arte paso ramal canal Villalón
17	282.256,87	6.612.885,47	321,2	Obra de arte canal Villalón
18	282.255,56	6.612.888,33	321,3	Cámara válvula ventosa y desagüe
19	282.240,77	6.612.952,43	324,5	Codo PVC 63

Punto	UTM ESTE	UTM NORTE	Cota topografía [msnm]	Descripción
20	282.419,69	6.613.003,76	346,1	Codo PVC 63
21	282.402,35	6.613.070,55	371,3	Estanque N° 1
22	282.407,57	6.613.067,29	371,3	Estanque N° 2

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la información mostrada, se procede a dibujar la red de impulsión siguiendo los puntos y coordenadas. Sin embargo, para la modelación mediante el programa EPANET no se utilizan los mismos puntos como nodos de modelación, pero se sigue manteniendo el mismo trazado.

En base a la información tabulada anteriormente, se procede a georreferenciar los puntos en cuestión para poder visualizarlos dentro del sector de Los Llanos, obteniendo lo siguiente:

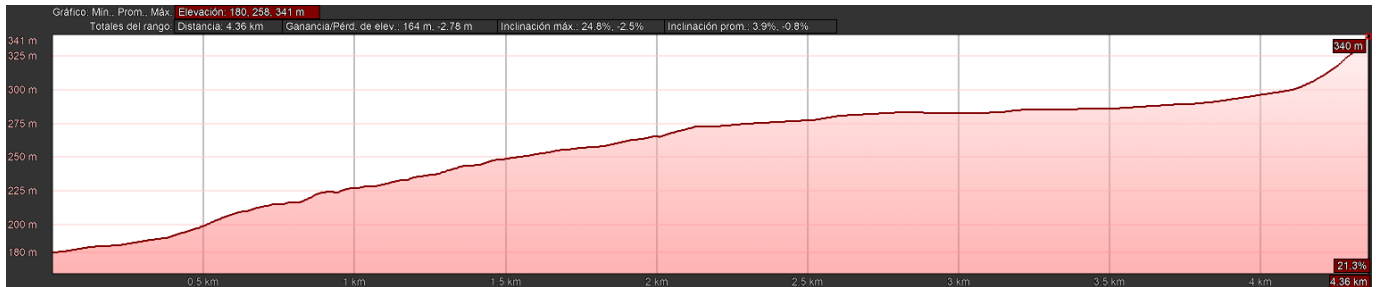
Figura 0-1. Puntos Levantados con Polaris Navigator GPS, Los Llanos.



Fuente: Google Earth.

A lo largo de todo el trazado de la red se logra obtener perfil de elevación mediante Google Earth, en el cual se puede visualizar las diferencias de altura a lo largo de los 4,3 km. que contiene la impulsión de la red.

Figura 0-2. Perfil de Elevación Red de Impulsión.



Fuente: Google Earth.

En base a la Figura 0-1, se procedió a realizar el trazado correspondiente en la red de EPANET, igualando al trazado actual, tanto por los costados en los que se encuentra en la ruta D-575, así también como en los 2 atravesos que tiene a lo largo de esta.

Cabe hacer notar que, dado el formato de la información proporcionada por el topógrafo de la I. Municipalidad de Ovalle, no fue posible obtener un perfil longitudinal sobre la base de esa información. Por ello, sería recomendable que dicho profesional proporcionara el perfil, o acordar el formato que permita realizarlo.

Figura 0-3. Red de Impulsión en EPANET.



Fuente: Elaboración Propia.

En base a esto, se tiene un total de 16 nodos a lo largo de toda la impulsión, considerando que 2 de ellos corresponde a la Sentina de la cual se impulsa el agua y al Estanque al cual se debe de impulsar el agua para su almacenamiento.

Tabla 0-2. Nodos y Elevación de la Red de Impulsión.

Nodo	Elevación (msnm)
A-1	202
A-2	206,8

A-3	218
A-4	225
A-5	246
A-6	246
A-7	274,8
A-8	293,7
A-9	293,9
A-10	299,6
A-11	307,3
A-12	309,6
A-13	311,6
A-14	318,3
Sentina	202
Estanque	371,3

Fuente: Elaboración Propia.

Por otro lado, a partir de los 15 puntos que componen la red de impulsión (el nodo entre la sentina y A-1 no se considera un tramo de tubería, pues va ubicada la bomba), se obtienen 14 tramos de tuberías. Cabe destacar que las longitudes, al igual que las cotas de los nodos, fueron obtenidas a partir del levantamiento topográfico realizado por la I. Municipalidad de Ovalle.

Tabla 0-3. Longitudes de la Red.

Tramo	Longitud [m]
B-1	126
B-2	327
B-3	488
B-4	167
B-5	10,5
B-6	528,5
B-7	342,2
B-8	13,7
B-9	230,9
B-10	455,2
B-11	467,9
B-12	370,6
B-13	471,1
B-14	337,1

Tramo	Longitud [m]
Total	4335,7

Fuente: Elaboración Propia.

En particular, los diámetros de las tuberías a utilizar para la modelación son las especificadas en el catálogo de HDPE Tigre, donde en particular se utilizarán tuberías HDPE desde PN10 hasta PN25, dependiendo de las presiones que se tengan a lo largo de toda la red de impulsión.

Figura 0-4. Catálogo de Tuberías HDPE

Presión Nominal PN 4 PN 6 PN 8 PN 10									Presión Nominal PN 12,5 PN 16 PN 20 PN 25										
SDR	Diámetro Nominal (mm)	PN 4		PN 6		PN 8		PN 10		SDR	Diámetro Nominal (mm)	PN 12,5		PN 16		PN 20		PN 25	
		e min (mm)	Peso (Kg/m)	e min (mm)	Peso (Kg/m)	e min (mm)	Peso (Kg/m)	e min (mm)	Peso (Kg/m)			SDR 13,6	SDR 11	SDR 9	SDR 7,4	e min (mm)	Peso (Kg/m)	e min (mm)	Peso (Kg/m)
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-	2,0	0,124	2,3	0,143	3,0	0,172	
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	2,0	0,159	2,3	0,183	3,0	0,223	3,5	0,256	
32	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	32	2,4	0,248	3,0	0,295	3,6	0,347	4,4	0,410	
40	-	-	-	-	-	2,0	0,263	2,4	0,316	40	3,0	0,387	3,7	0,456	4,5	0,540	5,5	0,636	
50	-	-	2,0	0,332	2,4	0,400	3,0	0,479	-	50	3,7	0,582	4,6	0,705	5,6	0,834	6,9	0,986	
63	-	-	2,5	0,526	3,0	0,612	3,8	0,762	-	63	4,7	0,924	5,8	1,110	7,1	1,330	8,6	1,550	
75	-	-	2,9	0,715	3,6	0,878	4,5	1,077	-	75	5,6	1,308	6,8	1,548	8,4	1,864	10,3	2,208	
90	-	-	3,5	1,039	4,3	1,260	5,4	1,546	-	90	6,7	1,870	8,2	2,247	10,1	2,688	12,3	3,161	
110	-	-	4,2	1,525	5,3	1,885	6,6	2,293	-	110	8,1	2,774	10,0	3,317	12,3	3,987	15,1	4,733	
125	-	-	4,8	1,951	6,0	2,394	7,4	2,926	-	125	9,2	3,569	11,4	4,309	14,0	5,158	17,1	6,114	
140	-	-	5,4	2,274	6,7	2,786	8,3	3,402	-	140	10,3	4,214	12,7	5,011	15,7	6,037	19,2	7,161	
160	-	-	6,2	3,234	7,7	3,932	9,5	4,783	-	160	11,8	5,813	14,6	7,038	17,9	8,388	21,9	9,932	
180	-	-	6,9	3,727	8,6	4,589	10,7	5,628	-	180	13,3	6,980	16,4	8,307	20,1	9,934	24,6	11,795	
200	-	-	7,7	4,616	9,6	5,686	11,9	6,950	-	200	14,7	8,571	18,2	10,240	22,4	12,292	27,4	14,588	
225	-	-	8,6	5,796	10,8	7,191	13,4	8,799	-	225	16,6	10,877	20,5	12,970	25,2	15,553	30,8	18,446	
250	-	-	9,6	7,182	11,9	8,803	14,8	10,797	-	250	18,4	13,392	22,7	15,958	27,9	19,137	34,2	22,756	
280	-	-	10,7	8,961	13,4	11,092	16,6	13,556	-	280	20,6	16,785	25,4	19,996	31,3	24,035	38,3	28,538	
315	7,7	7,527	12,1	11,390	15,0	13,965	18,7	17,171	-	315	23,2	21,254	28,6	25,320	35,2	30,404	43,1	36,122	
355	8,7	9,576	13,6	14,421	16,9	17,723	21,2	21,922	-	355	26,1	26,940	32,3	32,212	39,7	38,634	48,5	45,813	
400	9,8	12,138	15,3	18,271	19,1	22,556	23,7	27,619	-	400	29,4	34,181	36,3	40,793	44,7	49,010	54,7	58,203	
450	11	15,306	17,2	23,098	21,5	28,553	26,7	34,991	-	450	33,1	43,276	40,9	51,689	50,3	62,033	61,5	73,617	
500	12,3	19,055	19,1	28,925	23,9	35,778	29,7	43,856	-	500	36,8	52,707	45,4	64,610	55,8	77,463	-	-	
560	13,7	23,727	21,4	36,278	26,7	44,754	33,2	54,897	-	560	41,2	66,080	50,8	80,963	62,5	97,160	-	-	
630	15,4	30,018	24,1	45,938	30,0	56,554	37,4	69,545	-	630	46,3	83,536	57,2	102,529	70,3	122,931	-	-	
710	17,4	38,261	27,2	58,402	33,9	71,986	42,1	88,209	-	710	52,2	106,121	64,5	130,266	79,3	156,237	-	-	
800	19,6	48,515	30,6	74,008	38,1	91,146	47,4	111,883	-	800	58,8	134,676	72,6	165,205	89,3	198,234	-	-	
900	22	61,193	34,4	93,570	42,9	115,422	53,3	141,510	-	900	66,2	170,548	81,7	209,117	-	-	-	-	
1000	24,5	75,769	38,2	115,424	47,7	142,561	59,3	174,889	-	1000	72,5	207,760	90,2	256,673	-	-	-	-	
1200	29,4	109,074	45,9	166,353	57,2	205,087	67,9	240,989	-	1200	-	-	-	-	-	-	-	-	

Fuente: Catálogo Tuberías HDPE Tigre.

Estimación de caudales y modelación hidráulica

Para poder realizar la modelación correspondiente, en primer lugar, se debe obtener el caudal a impulsar desde la planta re - elevadora, de modo que para esta sección se toman las características normadas en la NCh. 691 Producción, conducción almacenamiento y distribución – Requisitos de diseño, donde se especifica en su sección 6.2.1 que “la conducción de producción se debe diseñar para conducir el caudal máximo diario previsto más las pérdidas en la conducción y las necesidades propias del tratamiento, según

corresponda”, por lo cual, el caudal a utilizar corresponde al caudal máximo diario determinado según lo descrito en los siguientes párrafos, cuyos valores se muestran en la Tabla 0-4.

Para la dotación del APR se toma en consideración las indicaciones dadas por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), la cual especifica que para sistemas de agua potable rural que cuenten con sistemas de alcantarillado se debe tener una dotación de 150 L/hab/día.

Una vez obtenida la dotación, es posible realizar el cálculo de caudales según la norma (NCh. 691), la cual especifica lo siguiente:

- Caudal medio diario (Q_{md}):

$$Q_{md} = \frac{Pob. \times Dp}{86400}$$

Donde:

Q_{md} [L/s]: Caudal medio diario.

Pob. [hab]: Población total.

Dp [L/hab/día]: Dotación de producción.

- Caudal máximo diario ($Q_{máxd}$):

$$Q_{máxd} = FDMC \times Q_{md}$$

Donde:

$Q_{máxd}$ [L/s]: Caudal Máximo diario;

FDMC: Factor del día de máximo consumo;

Q_{md} [L/s]: Caudal medio diario.

- Caudal máximo horario ($Q_{máxh}$):

$$Q_{máxh} = FHMC \times Q_{máxd}$$

Donde:

$Q_{máxh}$ [L/s]: Caudal máximo horario;

FHMC: Factor de la hora de máximo consumo;

$Q_{máxd}$ [L/s]: Caudal medio diario.

Para efectos de los cálculos posteriores, los Factores FDMC y FHMC tienen un valor de 1,5, denominado así en la norma como valores mínimos para cuando no se cuenta con la información necesaria para poder calcularlos, como lo es en el presente caso.

Para poder proyectar los caudales con un horizonte de 20 años, se procede a considerar un crecimiento poblacional del 4%, cuyo valor es el recomendado para zonas fuera de la Zona Central (desde Región de Valparaíso a Región de Ñuble) por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) en su Manual de Proyectos de APR, 2019. De modo que, considerando los 161 arranques notificados en febrero de 2022, y adoptando una densidad de 4 habitantes por arranques, es posible realizar el cálculo de caudales según la metodología anterior.

Tabla 0-4. Caudales de Distribución con Horizonte de 20 años.

Año		Arranques [-]	Población [-]	Qmed [l/s]	Qmaxd [l/s]	Qmaxh [l/s]
	Año 2022	161	644	1,12	1,68	2,52
0	Año 2023	167	670	1,16	1,74	2,62
1	Año 2024	174	697	1,21	1,81	2,72
2	Año 2025	181	724	1,26	1,89	2,83
3	Año 2026	188	753	1,31	1,96	2,94
4	Año 2027	196	784	1,36	2,04	3,06
5	Año 2028	204	815	1,41	2,12	3,18
6	Año 2029	212	847	1,47	2,21	3,31
7	Año 2030	220	881	1,53	2,30	3,44
8	Año 2031	229	917	1,59	2,39	3,58
9	Año 2032	238	953	1,65	2,48	3,72
10	Año 2033	248	991	1,72	2,58	3,87
11	Año 2034	258	1.031	1,79	2,69	4,03
12	Año 2035	268	1.072	1,86	2,79	4,19
13	Año 2036	279	1.115	1,94	2,90	4,36
14	Año 2037	290	1.160	2,01	3,02	4,53
15	Año 2038	302	1.206	2,09	3,14	4,71
16	Año 2039	314	1.254	2,18	3,27	4,90
17	Año 2040	326	1.305	2,26	3,40	5,10
18	Año 2041	339	1.357	2,36	3,53	5,30
19	Año 2042	353	1.411	2,45	3,67	5,51
20	Año 2043	367	1.468	2,55	3,82	5,73

Fuente: Elaboración Propia.


Sin embargo, estos caudales corresponden a los caudales de distribución, por lo que se debe considerar las pérdidas al interior de la red, tanto en la impulsión como en la distribución, las cuales a partir de la Figura 0-5, tomando en consideración el total de m³

producidos y m³ consumidos, se estima en pérdidas del 30%, por lo que los caudales a impulsar desde la planta re - elevadora son los mostrados en la Tabla 0-5.

Figura 0-5. Macromedición 2020-2021 APR Limarí.

MACROMEDICION AÑO 2020			
MESES	M3 PRODUCIDOS	M3 CONSUMIDOS	
ENERO	13.956	9.457	
FEBRERO	13.171	10.420	
MARZO	11.925	8.423	
ABRIL	12.113	8.476	
MAYO	12.225	9.361	
JUNIO	11.090	7.175	
JULIO	11.901	8.146	
AGOSTO	11.361	7.739	
SEPTIEMBRE	13.242	8.892	
OCTUBRE	13.464	10.044	
NOVIEMBRE	14.426	9.520	
DICIEMBRE	13.340	9.759	

MACROMEDICION AÑO 2021			
MESES	M3 PRODUCIDOS	M3 CONSUMIDOS	
ENERO	14.702	11.516	
FEBRERO	13.469	10.870	
MARZO	12.919	9.448	
ABRIL	14.257	10.411	
MAYO	13.626	8.857	
JUNIO	13.482	8.837	
JULIO	14.044	9.285	
AGOSTO	14.874	9.274	
SEPTIEMBRE	14.640	10.104	
OCTUBRE	13.477	10.131	
NOVIEMBRE	13.745	10.553	
DICIEMBRE	13.593	10.777	



Fuente: Comité APR Limarí.

Tabla 0-5. Caudales a Impulsar.

	Qmaxd a elevar [l/s]	Elevar Q [l/s] en 12 horas	Elevar Q [l/s] en 18 horas	Diseño [l/s]	Tiempo bombeo [Hr]
Año 2022	2,40	4,79	3,19	4,79	4,87
Año 2023	2,49	4,98	3,32	4,98	5,06
Año 2024	2,59	5,18	3,46	5,18	5,27
Año 2025	2,69	5,39	3,59	5,39	5,48
Año 2026	2,80	5,61	3,74	5,61	5,70
Año 2027	2,91	5,83	3,89	5,83	5,92
Año 2028	3,03	6,06	4,04	6,06	6,16
Año 2029	3,15	6,31	4,20	6,31	6,41
Año 2030	3,28	6,56	4,37	6,56	6,66
Año 2031	3,41	6,82	4,55	6,82	6,93
Año 2032	3,55	7,09	4,73	7,09	7,21

	Qmaxd a elevar [l/s]	Elevar Q [l/s] en 12 horas	Elevar Q [l/s] en 18 horas	Diseño [l/s]	Tiempo bombeo [Hr]
Año 2033	3,69	7,38	4,92	7,38	7,50
Año 2034	3,84	7,67	5,11	7,67	7,79
Año 2035	3,99	7,98	5,32	7,98	8,11
Año 2036	4,15	8,30	5,53	8,30	8,43
Año 2037	4,31	8,63	5,75	8,63	8,77
Año 2038	4,49	8,97	5,98	8,97	9,12
Año 2039	4,67	9,33	6,22	9,33	9,48
Año 2040	4,85	9,71	6,47	9,71	9,86
Año 2041	5,05	10,10	6,73	10,10	10,26
Año 2042	5,25	10,50	7,00	10,50	10,67
Año 2043	5,46	10,92	7,28	10,92	11,09

Fuente: Elaboración Propia.

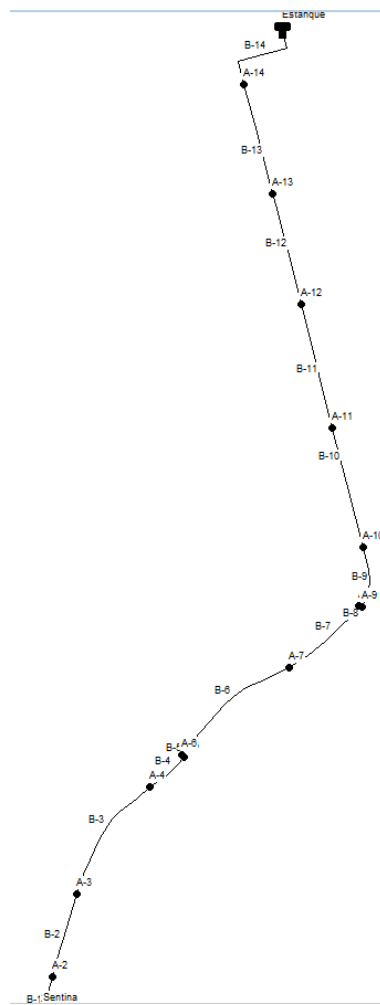
En la Tabla 0-5 es posible observar 2 opciones de tiempo de bombeo para la impulsión, la primera de ellas corresponde a un funcionamiento de 12 horas diarias, mientras que la segunda opción corresponde a un funcionamiento de 18 horas diarias, entre las cuales se decide trabajar los cálculos con la primera opción mencionada, puesto que es la que más se asimila a la que actualmente se encuentra en funcionamiento, siendo el caudal (Qmaxh a elevar), el caudal máximo horario contemplando las pérdidas del 30%, mientras que el caudal de diseño corresponde al seleccionado anteriormente, considerando el tiempo de bombeo de 12 hrs.

Dicho esto, el caudal de impulsión con el cual se trabajará la modelación corresponde al del año 20 de proyección (año 2043), cuyo valor es de 10,9 (l/s), donde la altura a la cual debe elevar este caudal es posible obtenerla mediante los valores de la Tabla 0-2, en donde la diferencia entre la sentina y el estanque corresponde a 170 metros.

Una vez recopilado todos los datos mencionados anteriormente, se procede a realizar la modelación hidráulica correspondiente mediante el programa de modelación de redes EPANET, para ello se utiliza una imagen de fondo para visualizar de mejor forma el sector en el cual se trabajará, para luego situar cada uno de los nodos y tramos de la red mencionados en las Tabla 0-2 y Tabla 0-3.

A continuación, se presenta la imagen correspondiente a la red ya dibujada en el programa EPANET, donde la imagen con el fondo referencial se presenta en la Figura 0-3, de manera que a continuación se muestra la red sin una imagen de fondo para visualizarla de manera distinta.

Figura 0-6. Red de impulsión EPANET, sin fondo.



Fuente: Elaboración Propia.

A partir de los caudales a impulsar y el trazado realizado en EPANET, es posible comenzar a realizar las iteraciones correspondientes para poder impulsar de manera correcta el agua hacia los estanques, respetando presiones máximas de las tuberías y velocidades recomendadas por la Dirección de Obras Hidráulicas.

En particular, la red se diseña con un diámetro nominal de tuberías con un valor de 160 mm, las cuales varían en su calidad entre PN25 para el primer tramo, para luego pasar a dos tramos de PN20 y luego PN16 hasta llegar al estanque. Para obtener los diámetros se utiliza una configuración de bombas que sea capaz de elevar un caudal de 12,3 L/s a una altura de 170 m, configuración que debe ser de la forma $n+1$, siendo n la cantidad de bombas en funcionamiento para operar.

Tabla 0-6. Diámetros y Longitudes de la Red.

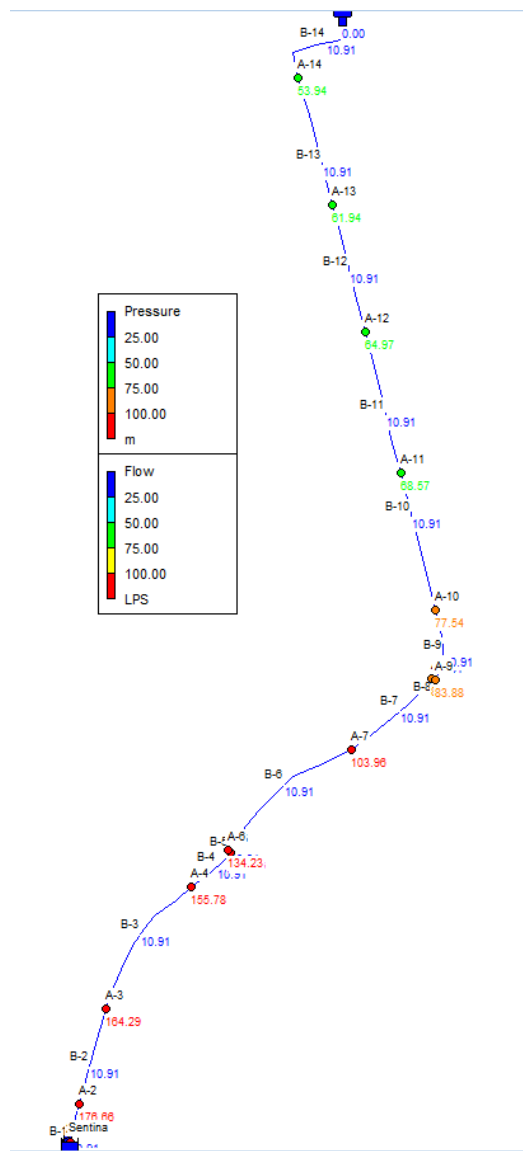
Tramo	Longitud (m)	Presión Nominal (bar)	Diámetro Nominal (mm)	Espesor (mm)	Diámetro Interno (mm)
B-1	126	25	160	21,9	138,1
B-2	327	25	160	21,9	138,1
B-3	488	20	160	17,9	142,1
B-4	167	20	160	17,9	142,1
B-5	10,5	16	160	14,6	145,4
B-6	528,5	16	160	14,6	145,4
B-7	342,2	16	160	14,6	145,4
B-8	13,7	16	160	14,6	145,4
B-9	230,9	16	160	14,6	145,4
B-10	455,2	16	160	14,6	145,4
B-11	467,9	16	160	14,6	145,4
B-12	370,6	16	160	14,6	145,4
B-13	471,1	16	160	14,6	145,4
B-14	337,1	16	160	14,6	145,4

Fuente: Elaboración Propia.

Resultados de la modelación

A partir de la red diseñada, se obtienen los siguientes resultados:

Figura 0-7. Resultados Modelación EPANET.



Fuente: Resultados EPANET.

Sin embargo, debido a la naturaleza de la imagen, también se presentan los resultados obtenidos tabulados para su mejor visualización:

Tabla 0-7. Resultados de Presiones de la Modelación de EPANET

Nodo	Elevación (msnm)	Presión (mca)
A-1	202	182,05
A-2	206,8	176,66
A-3	218	164,29
A-4	225	155,78
A-5	246	134,26
A-6	246	134,23
A-7	274,8	103,96
A-8	293,7	84,11
A-9	293,9	83,88
A-10	299,6	77,54
A-11	307,3	68,57
A-12	309,6	64,97
A-13	311,6	61,94
A-14	318,3	53,94

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 0-8. Resultados en Tramos de la Modelación de EPANET.

Tramo	Longitud (m)	Presión Nominal (bar)	Diámetro Nominal (mm)	Espesor (mm)	Diámetro Interno (mm)	Caudal (L/s)	Velocidad (m/s)
B-1	126	25	160	21,9	138,1	10,91	0,73
B-2	327	25	160	21,9	138,1	10,91	0,73
B-3	488	20	160	17,9	142,1	10,91	0,69
B-4	167	20	160	17,9	142,1	10,91	0,69
B-5	10,5	16	160	14,6	145,4	10,91	0,66
B-6	528,5	16	160	14,6	145,4	10,91	0,66
B-7	342,2	16	160	14,6	145,4	10,91	0,66
B-8	13,7	16	160	14,6	145,4	10,91	0,66
B-9	230,9	16	160	14,6	145,4	10,91	0,66
B-10	455,2	16	160	14,6	145,4	10,91	0,66
B-11	467,9	16	160	14,6	145,4	10,91	0,66
B-12	370,6	16	160	14,6	145,4	10,91	0,66
B-13	471,1	16	160	14,6	145,4	10,91	0,66
B-14	337,1	16	160	14,6	145,4	10,91	0,66

Fuente: Elaboración Propia.

De forma adicional, se realiza la verificación respectiva para el golpe de ariete, de este modo se asegura que la resistencia de la tubería es la correcta. Para ello se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$H_a = u \cdot \frac{a}{g}$$

Donde:

u (m/s): Velocidad del agua al cierre brusco de la válvula.

a (m/s): Celeridad de la onda.

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot d}{E \cdot e}}}$$

Donde:

K (kg/m²): Módulo de compresibilidad del agua (220.000.000 (kg/m²))

d (m): Diámetro interior de la tubería.

E (Kg/m³): Módulo de elasticidad HDPE

e (m): Espesor de la tubería.

Donde el módulo de elasticidad de la tubería se obtuvo a partir del catálogo utilizado, cuyas especificaciones para el HDPE utilizado (PE100), se presentan a continuación:

Figura 0-8. Propiedades HDPE Tigre

Propiedad	Método de Ensayo	Unidad	PE 80	PE 100
Densidad	ISO 1183	gr/cm ³	0,945 - 0956	0,957 - 0,965
Resistencia a la tracción	ISO 527-2	MPa	20 – 23	22 - 25
Módulo de Tensión (fluencia)	ISO 527-2	MPa	>600	>800
Tensión de diseño (σ)	No aplica	MPa	6,3	8
Mínimo esfuerzo requerido (MRS)	No aplica	MPa	>8	>10
Alargamiento de rotura	ISO 527-2	%	>550	>550
Coefficiente de dilatación lineal	ASTM D696	mm/m°C	0,17 - 0,2	0,2
Temperatura de fragilidad	ASTM D746	°C	< -70	< -70
Dureza Shore a 20°C	ISO 868	escala D	>55	>60

Fuente: Catálogo HDPE Tigre.

Los datos de espesor, diámetro interno y velocidad al interior de las tuberías se muestran en la Tabla 0-8, por lo que considerando los datos anteriores es posible obtener la verificación del golpe de ariete para el sistema de tuberías propuesto.

Tabla 0-9. Verificación del Golpe de Ariete

Tramo	Presión Nominal (bar)	Espesor (mm)	Diámetro interno (mm)	Velocidad (m/s)	Ha (m)
B-1	25	21,9	138,1	0,73	24,9
B-2	25	21,9	138,1	0,73	24,9
B-3	20	17,9	142,1	0,69	21,1
B-4	20	17,9	142,1	0,69	21,1
B-5	16	14,6	145,4	0,66	18,1
B-6	16	14,6	145,4	0,66	18,1
B-7	16	14,6	145,4	0,66	18,1
B-8	16	14,6	145,4	0,66	18,1
B-9	16	14,6	145,4	0,66	18,1
B-10	16	14,6	145,4	0,66	18,1
B-11	16	14,6	145,4	0,66	18,1
B-12	16	14,6	145,4	0,66	18,1
B-13	16	14,6	145,4	0,66	18,1
B-14	16	14,6	145,4	0,66	18,1

Fuente: Elaboración propia.

De modo que considerando estos resultados en conjunto con las presiones en los nodos mostradas en la Tabla 0-7, es posible comprobar que la tubería escogida cumple con los requerimientos.

Tabla 0-10. Presiones de la Red con Golpe de Ariete

Nodo	Elevación (msnm)	Presión (mca)	Presión con golpe de ariete (mca)
A-1	202	182,05	207,0
A-2	206,8	176,66	201,6
A-3	218	164,29	185,4
A-4	225	155,78	176,9
A-5	246	134,26	152,4
A-6	246	134,23	152,3
A-7	274,8	103,96	122,1
A-8	293,7	84,11	102,2
A-9	293,9	83,88	102,0
A-10	299,6	77,54	95,6

Nodo	Elevación (msnm)	Presión (mca)	Presión con golpe de ariete (mca)
A-11	307,3	68,57	86,7
A-12	309,6	64,97	83,1
A-13	311,6	61,94	80,0
A-14	318,3	53,94	72,0

Fuente: Elaboración propia.

Es posible observar a partir de esto, que las presiones con golpe de ariete aumentan, donde se puede observar que para los primeros tramos de la red de impulsión superan los 200 mca, es por esto que se recomienda que este primer tramo corresponda a una tubería de HDPE de que resista alta presiones, como lo es la PN25. Luego, le siguen dos tramos donde se encuentra tubería de calidad PN20 debido a las presiones que causa el golpe de ariete, para seguir con el resto de las tuberías en una calidad PN16.

En todo el tramo diseñado se mantiene el diámetro exterior de la tubería, correspondiente a 160 mm.

Por otro lado, con respecto a las velocidades de funcionamiento, todas estas se encuentran bajo el máximo normado de 3 m/s y sobre el mínimo recomendado por la DOH de 0,6 m/s, teniendo un máximo al interior de la red de 0,73 m/s y un mínimo de 0,66 m/s.

En consecuencia, se recomienda lo siguiente:

Tabla 0-11. Recomendaciones de Tuberías

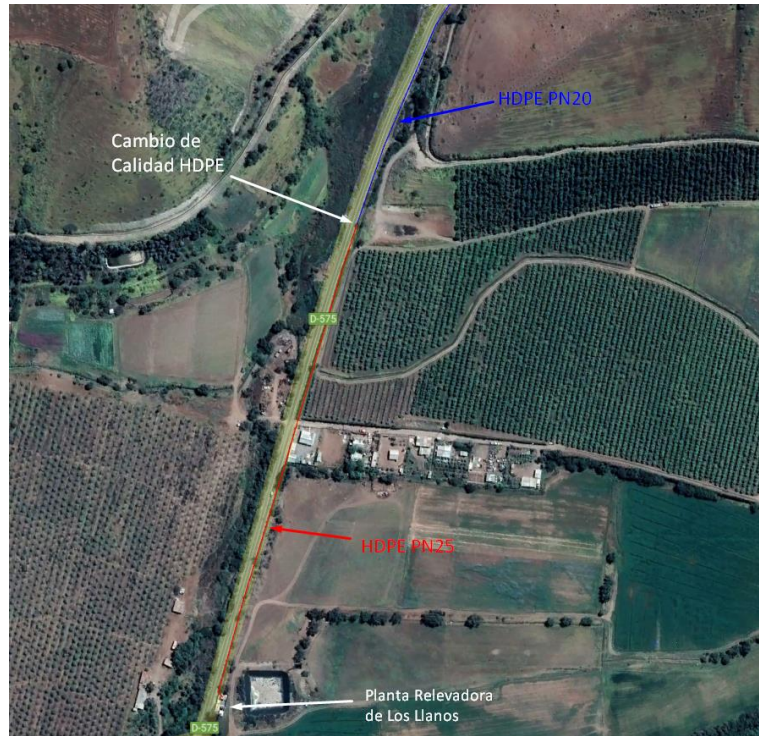
Materialidad	Calidad	Diámetro nominal (mm)	Longitud a instalar (m)	Longitud final (m)
HDPE	PN25	160	453	500
HDPE	PN20	160	655	700
HDPE	PN16	160	3227,7	3.350

Fuente: Elaboración propia.

Se han considerado largos aumentados para suplir posibles pérdidas en el desarrollo de las obras, en longitudes de 50 metros.

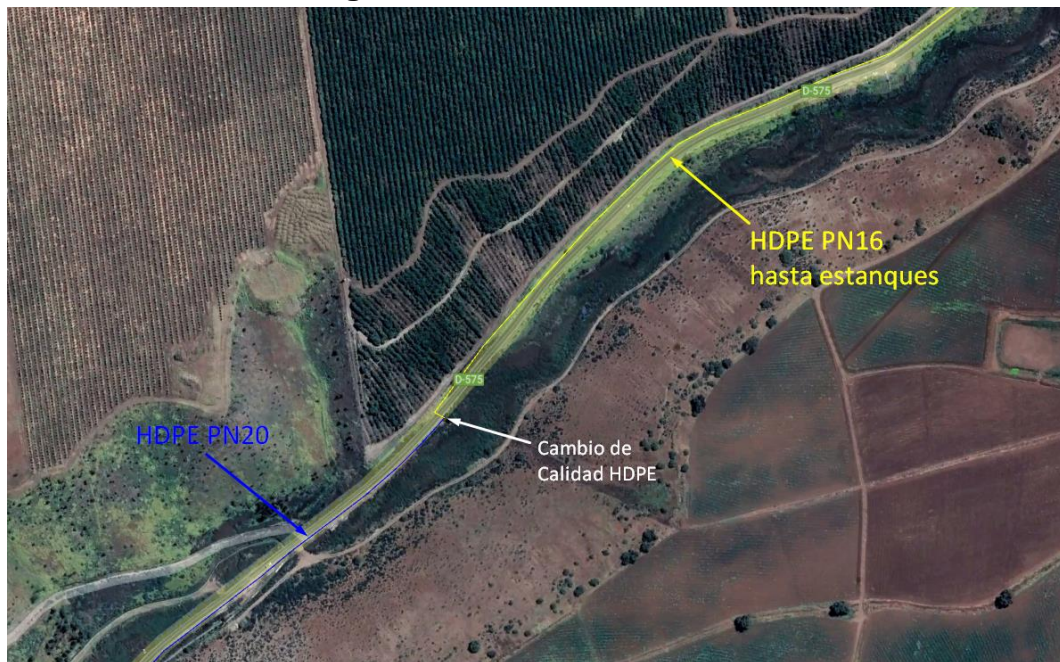
Se estima que la recomendación anterior permitirá efectuar las cotizaciones correspondientes, para continuar con la presupuestación de ejecución de las obras y trabajos necesarios para el reemplazo de la impulsión. Por otro lado, estas tuberías deberán instalarse en los tramos esquematizados en las gráficas de más abajo, donde se presenta la distribución de las tuberías.

Figura 0-9. Tramos a iniciales instalar



Fuente: Elaboración propia.

Figura 0-10 Tramos a instalar



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

En función de lo tratado a lo largo del presente informe, es posible observar que lo recomendable es la utilización de tuberías de HDPE a lo largo de gran parte de la red de impulsión, esto es debido principalmente al fácil manejo y almacenamiento del material tanto en su disposición en zanjas como en su disposición en galpones/bodegas de almacenaje.

Adicional a esto, se debe considerar que la cantidad de uniones y piezas especiales que se deben disponer, disminuyen en comparación de las necesarias para la implementación en PVC, esto es debido a su elasticidad en las curvas, siendo necesarias piezas especiales solamente en curvas pronunciadas, tales como codos de 90° en las secciones de atravesos por la ruta y la curva hacia el estanque, y la pieza especial relacionada con el cambio de materialidad de Acero a HDPE.

Las uniones entre tuberías de HDPE pueden ser realizadas mediante termofusión.

Por otro lado, se debe escoger una bomba o un sistema de bombas en serie para surtir la descripción dada. Una vez determinada el tipo de bomba a utilizar, esta debe ser acompañada por un equipo electrógeno acorde a la potencia requerida por la bomba/sistema de bombas.

Para continuar avanzando con este proyecto se recomienda lo siguiente:

1. Realizar el estudio de mecánica de suelos, para precisar los materiales que serán excavados para instalar la nueva tubería.
2. Con la información anterior preparar las especificaciones técnicas de construcción.
3. Coordinar los aportes que harán diferentes instituciones para materializar el proyecto, tales como:
 - I. Municipalidad de Ovalle que aportaría la maquinaria para las excavaciones.
 - Aporte de mano de obra para excavaciones y rellenos.
 - Aporte de materiales especiales para rellenos, cama de la tubería.
 - Aporte de tuberías.
 - Aporte montaje de tuberías.

-
4. Cotizar la compra de las tuberías y los plazos de suministro por parte de los posibles proveedores.
 5. Definir la Inspección Técnica de Obras (ITO)
 6. Preparar el programa de construcción y montaje de la nueva impulsión.
 7. Preparar el presupuesto de construcción y montaje de la nueva impulsión.