



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

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO O RENOVACIÓN DE
INFRAESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE RURAL (APR) CAMARICO CHICO Y
NUEVO FUTURO POTRERILLO ALTO DE LA COMUNA DE OVALLE,
REGIÓN DE COQUIMBO**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JORGE IGNACIO TRUJILLO GONZÁLEZ

PROFESOR GUÍA:
ADOLFO OCHOA LLANGATO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
LEONARDO CEPEDA ARAYA
EZEQUIEL CAMUS HAYDEN

SANTIAGO DE CHILE
2023

RESUMEN DE MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
POR: JORGE IGNACIO TRUJILLO GONZÁLEZ
FECHA: 2023
PROF. GUÍA: ADOLFO OCHOA LLANGATO

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO O RENOVACIÓN
DE INFRAESTRUCTURA DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN Y
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE RURAL (APR) CAMARICO CHICO
Y NUEVO FUTURO POTRERILLO ALTO DE LA COMUNA DE OVALLE,
REGIÓN DE COQUIMBO**

Uno de los grandes problemas a los que se enfrenta Chile en la actualidad es la situación de mega-sequía que afecta a gran parte del país. Si bien esta situación genera problemas en distintas aristas del desarrollo nacional, uno de los ejes más importantes corresponde al acceso al agua potable, particularmente en el sector rural, donde la falta del recurso hídrico afecta directamente la subsistencia de las comunidades.

Las localidades rurales se abastecen de agua potable mediante los sistemas de agua potable rural (APR), cuyo desarrollo y construcción es impulsado por el “Programa de Agua Potable Rural” de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP). Sin embargo, la gran cantidad de sistemas de APR a nivel nacional provoca que no sea posible monitorear el correcto funcionamiento de estos, lo cual significa que muchos sistemas presentan problemas que no han sido solucionados.

Por esta razón, en este documento se presentan los resultados del estudio del estado actual de dos sistemas ubicados en la comuna de Ovalle de la región de Coquimbo, correspondientes al APR Camarico Chico, que abastece de agua potable a 183 arranques, y el APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto, que abastece 345 arranques. Los comités encargados de la administración y el funcionamiento de estos sistemas indican que existen problemas dentro de ellos, por lo que en este trabajo se compara el funcionamiento de ambos sistemas de APR con lo establecido en la normativa vigente mediante la modelación hidráulica de éstos. Así, el objetivo es el entregar propuestas de solución a nivel de ingeniería conceptual con un horizonte de 23 años, considerando reemplazos de tuberías, instalación de bombas hidráulicas y ampliación de las capacidades de almacenamiento de los sistemas, tal que éstos puedan tener un correcto funcionamiento.

*Nunca des por sentado que el mundo es tal como lo ves,
atrévete a verlo como podría ser.*

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi profesor guía, Adolfo Ochoa, por apoyarme durante el proceso de escritura de esta memoria y ayudarme cada vez que tuviera alguna inquietud, con cada reunión me sentía más tranquilo sobre mis avances.

A los profesores que me hicieron clases durante la media y que despertaron en mí el interés por las matemáticas y la física, su dedicación a la docencia me sigue impresionando.

A los docentes que conocí en mi estancia en la universidad, que guiaron mi interés por el área de la ingeniería hidráulica y me demostraron lo bonita y humana que puede ser esta carrera.

A los amigos que hice durante la universidad, creo que no pude haber tenido más suerte encontrando personas con intereses afines y con los que realmente pude conectar. Gracias por estar ahí siempre.

A mi abuelita y mi tía Marisol, que constantemente me animaron y celebraron mis logros como si fueran propios. Su confianza en mí es sumamente reconfortante, las amo.

A mi hermana, Javiera, que fue un pilar fundamental para mi salud mental durante este último año. Gracias por escuchar mis quejas, por cuidarme y por ser la mejor hermana que podría tener. No podría haber logrado esto sin ti, te amo.

A mis papás, Viviana y Marco, que me han dado todo su apoyo durante mi vida universitaria. Se que lo han dado todo por mí y es gracias a ustedes que logré ser la persona que soy hoy, los amo.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. Metodología de trabajo	3
2. Marco teórico	4
2.1. Sistemas de agua potable rural (APR)	4
2.1.1. Instituciones asociadas	4
2.1.2. Elementos de un sistema de APR	5
2.1.3. Estructura organizacional de un sistema de APR	7
2.2. Normativa de diseño	7
2.2.1. Requisitos de calidad de agua potable	7
2.2.2. Bases de cálculo	10
2.2.3. Elementos del sistema	15
2.3. Antecedentes comunales	19
2.3.1. Caracterización demográfica	19
2.3.2. Niveles de pobreza	19
2.3.3. Actividad económica	19
2.3.4. Problemas y actividades a realizar	19
2.4. Caracterización espacial de la zona de estudio	20
2.4.1. Clima	22
2.4.2. Precipitaciones	22
2.4.3. Geomorfología	22
2.4.4. Hidrogeología	22
2.4.5. Balance Hídrico	22
2.4.6. Estado del SHAC Punitaqui	23
2.5. Caracterización de sistemas de APR en la región	23
2.5.1. Tipos de tratamiento	24
2.5.2. Almacenamiento	24
2.5.3. Estado de fuentes de agua	24
2.5.4. Declaraciones de agotamiento y restricción de SHAC	24
2.5.5. Derechos de aprovechamiento de aguas	25
2.5.6. Antigüedad de los sistemas	25
2.5.7. Nivel de escolaridad de comités	25
2.6. Problemáticas	26
2.6.1. Área administrativa	26

2.6.2.	Área técnica	27
3.	Casos de estudio	28
3.1.	APR Camarico Chico	28
3.1.1.	Caracterización de la zona	28
3.1.2.	Contexto y organización	28
3.1.3.	Caracterización demográfica	29
3.1.4.	Características del sistema	29
3.2.	APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto	33
3.2.1.	Caracterización de la zona	33
3.2.2.	Contexto y organización	33
3.2.3.	Caracterización demográfica	34
3.2.4.	Características del sistema	34
4.	Problemáticas en los APR de estudio	40
4.1.	APR Camarico Chico	40
4.2.	APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto	40
5.	Metodología de resolución de problemas	42
5.1.	Funcionamiento de <i>EPANET</i>	42
5.2.	Información de entrada de los modelos	43
5.3.	Elaboración de las redes de distribución	44
5.3.1.	Elaboración de redes proyectadas	46
5.3.2.	Determinación de demandas para cada situación	46
5.3.3.	Identificación de problemas en la red de distribución	47
5.3.4.	Verificación de golpe de ariete	47
5.3.5.	Verificación de estanques	48
5.3.6.	Verificación de fuentes de abastecimiento	49
6.	Modelación de los sistemas existentes	50
6.1.	APR Camarico Chico	50
6.1.1.	Análisis de red de distribución	50
6.1.1.1.	Escenario actual (Año 2023)	50
6.1.1.2.	Ampliación	55
6.1.1.3.	Escenario Base (Año 2026)	58
6.1.1.4.	Escenario Futuro (Año 2046)	60
6.1.2.	Análisis de almacenamiento	64
6.1.3.	Análisis de fuentes de abastecimiento	66
6.2.	APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto	68
6.2.1.	Análisis de red de distribución	68
6.2.1.1.	Escenario Actual (Año 2023)	68
6.2.1.2.	Escenario Base (Año 2026)	73
6.2.1.3.	Escenario Futuro (Año 2046)	76
6.2.2.	Análisis de almacenamiento	80
6.2.3.	Análisis de fuentes de abastecimiento	81
7.	Propuestas de solución	84
7.1.	APR Camarico Chico	84

7.1.1.	Modificaciones de red de distribución	84
7.1.1.1.	Ampliación	84
7.1.1.2.	Escenario Base (Año 2026)	88
7.1.1.3.	Escenario Futuro (Año 2046)	90
7.1.2.	Aumento de almacenamiento	98
7.1.3.	Ampliación de captaciones	98
7.2.	APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto	99
7.2.1.	Modificaciones de red de distribución	99
7.2.1.1.	Escenario Actual (Año 2023)	99
7.2.1.2.	Escenario Base (Año 2026)	104
7.2.1.3.	Escenario Futuro (Año 2046)	105
7.2.2.	Aumento de almacenamiento	112
7.2.3.	Ampliación de captaciones	112
7.3.	Resumen de propuestas	112
7.3.1.	APR Camarico Chico	113
7.3.2.	APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto	113
8.	Conclusiones	115
	Bibliografía	117
	Anexos	119
A.	Antecedentes de los sistemas de APR	119
A.1.	Camarico Chico - Camarico Viejo	119
A.2.	Nuevo Futuro Potrerillo Alto	120
B.	Detalles de modelos de redes de distribución	121
B.1.	Camarico Chico	121
B.1.1.	Escenario Actual	121
B.1.2.	Ampliación y Escenario Base	122
B.1.3.	Escenario Futuro	125
B.2.	Nuevo Futuro Potrerillo Alto	130
B.2.1.	Escenario Actual	130
B.2.2.	Escenario Base	133
B.2.3.	Escenario Futuro	134
C.	Resultados de simulaciones en <i>EPANET</i>	135
C.1.	Camarico Chico - Camarico Viejo	135
C.1.1.	Escenario Actual	135
C.1.2.	Ampliación	138
C.1.3.	Escenario Base	142
C.1.4.	Escenario Futuro	146
C.2.	Nuevo Futuro Potrerillo Alto	152
C.2.1.	Escenario Actual	152
C.2.2.	Escenario Base	158
C.2.3.	Escenario Futuro	165
D.	Detalles de modelos de redes de distribución con soluciones implementadas	174
D.1.	Camarico Chico	174
D.1.1.	Ampliación y escenario base	174
D.1.2.	Escenario futuro	175

D.2.	APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto	176
	D.2.1. Escenario Actual	176
	D.2.2. Escenario Futuro	177
E.	Detalles de soluciones propuestas	179
E.1.	APR Camarico Chico	179
	E.1.1. Escenario Futuro	179
E.2.	APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto	181
	E.2.1. Escenario Futuro	181
F.	Resultados de simulaciones en <i>EPANET</i> con soluciones implementadas . . .	183
F.1.	APR Camarico Chico	183
	F.1.1. Ampliación	183
	F.1.2. Escenario Base	188
	F.1.3. Escenario Futuro	192
F.2.	APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto	199
	F.2.1. Escenario Actual	199
	F.2.2. Escenario Base	205
	F.2.3. Escenario Futuro	212

Índice de Tablas

2.1.	Límites máximos de elementos químicos presentes en el agua potable a nivel comunal. Fuente: INN (2005).	8
2.2.	Límites máximos de productos secundarios del proceso de desinfección. Fuente: INN (2005).	9
2.3.	Límites máximos de parámetros asociados a características organolépticas. Fuente: INN (2005).	9
3.1.	Miembros del comité y funcionarios del APR Camarico Chico.	29
3.2.	Miembros del comité y funcionarios del APR Nuevo Futuro.	34
3.3.	Características de los estanques del sistema de APR Nuevo Futuro.	35
3.4.	Antecedentes de consumo de agua potable de los años 2020, 2021 y 2022 del APR Nuevo Futuro.	36
5.1.	Espesores de tuberías según diámetro y material. Fuentes: Petroflex (2022) y Novoplast (2020).	48
6.1.	Arranques y factores de corrección por sector en el APR Camarico Chico.	50
6.2.	Detalles de estanques de almacenamiento del APR Camarico Chico.	52
6.3.	Arranques proyectados en cada sector de ampliación en el APR Camarico Chico.	55
6.4.	Verificación de volúmenes de estanque requeridos para cada escenario del APR Camarico Chico.	64
6.5.	Requerimientos de volumen de estanques por año para el APR Camarico Chico	65
6.6.	Verificación de volúmenes y caudales de extracción requeridos en cada escenario del APR Camarico Chico.	66
6.7.	Verificación de volúmenes y caudales de extracción requeridos en cada año del APR Camarico Chico.	67
6.8.	Dimensiones de estanques del APR Nuevo Futuro utilizadas en <i>EPANET</i>	69
6.9.	Verificación de volúmenes de estanque requeridos para cada escenario del APR Nuevo Futuro.	80
6.10.	Requerimientos de volumen de estanques por año para el APR Nuevo Futuro	81
6.11.	Verificación de volúmenes y caudales de extracción requeridos en cada escenario del APR Nuevo Futuro.	82
6.12.	Verificación de volúmenes y caudales de extracción requeridos en cada año del APR Nuevo Futuro.	83
A.1.	Antecedentes de producción y consumo de agua potable del año 2022 del APR Camarico Chico.	119
A.2.	Crecimiento histórico de arranques del APR Nuevo Futuro.	120
C.1.	Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario actual del APR Camarico Chico.	135
C.2.	Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario actual del APR Camarico Chico.	136

C.3.	Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario de ampliación del APR Camarico Chico.	138
C.4.	Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario de ampliación del APR Camarico Chico.	140
C.5.	Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario base del APR Camarico Chico.	142
C.6.	Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario base del APR Camarico Chico.	144
C.7.	Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario futuro del APR Camarico Chico, considerando uso de grifo en el nodo 41.	146
C.8.	Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario futuro del APR Camarico Chico, considerando uso de grifo en el nodo 41.	149
C.9.	Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario actual del APR Nuevo Futuro.	152
C.10.	Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario actual del APR Nuevo Futuro.	155
C.11.	Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario base del APR Nuevo Futuro.	158
C.12.	Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario base del APR Nuevo Futuro.	161
C.13.	Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario futuro del APR Nuevo Futuro, considerando uso de grifo en el nodo 107.	165
C.14.	Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario futuro del APR Nuevo Futuro, considerando uso de grifo en el nodo 107.	169
E.1.	Tuberías reemplazadas en el escenario futuro del APR Camarico Chico con soluciones implementadas.	179
E.2.	Tuberías reemplazadas en el escenario futuro del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.	181
F.1.	Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario de ampliación del APR Camarico Chico con soluciones implementadas.	183
F.2.	Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario de ampliación del APR Camarico Chico.	185
F.3.	Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario base del APR Camarico Chico con soluciones implementadas.	188
F.4.	Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario base del APR Camarico Chico.	190
F.5.	Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario futuro del APR Camarico Chico con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en el nodo 41.	192
F.6.	Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario futuro del APR Camarico Chico con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en el nodo 41.	195
F.7.	Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario actual del APR Camarico Chico con soluciones implementadas.	199
F.8.	Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario actual del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.	202

F.9.	Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario base del APR Camarico Chico con soluciones implementadas.	205
F.10.	Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario base del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.	208
F.11.	Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario futuro del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en el nodo 107.	212
F.12.	Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario futuro del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en el nodo 107.	216

Índice de Ilustraciones

2.1.	Delimitaciones de cuenca, sub-cuenca y SHAC asociados a las zonas de estudio.	21
2.2.	Nivel educacional de los funcionarios de cada área de comités y cooperativas los sistemas de APR de la comuna de Ovalle. Fuente: CAZALAC (2016).	26
3.1.	Filtro abatidor de hierro-manganeso del sistema de APR Camarico Chico. . .	30
3.2.	Layout del sistema de producción del APR Camarico Chico.	32
3.3.	Cartografía de la red de distribución actual del APR Camarico Chico.	33
3.4.	Layout del sistema de producción del APR Nuevo Futuro.	38
3.5.	Cartografía de la red de distribución actual del APR Nuevo Futuro.	39
6.1.	Red de distribución modelada en <i>EPANET</i> para el escenario actual del APR Camarico Chico.	51
6.2.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación dinámica del escenario actual del sistema de APR Camarico Chico.	52
6.3.	Detalle de ID de nodos en el sector Camarico Viejo (b) del APR Camarico Chico.	53
6.4.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación estática del escenario actual del sistema de APR Camarico Chico.	54
6.5.	Detalle de ID de nodos en el sector Camarico Viejo (a) del APR Camarico Chico.	54
6.6.	Red de distribución modelada en <i>EPANET</i> para el escenario de ampliación y escenario base del APR Camarico Chico.	55
6.7.	Cartografía de la red de distribución del APR Camarico Chico del escenario de ampliación.	56
6.8.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación dinámica del escenario actual + ampliación del sistema de APR Camarico Chico.	57
6.9.	Detalle de ID de nodos en el sector de ampliación 2 en el escenario de ampliación del APR Camarico Chico.	57
6.10.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación estática del escenario actual + ampliación del sistema de APR Camarico Chico.	58
6.11.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación dinámica del escenario base del sistema de APR Camarico Chico.	59
6.12.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación estática del escenario base del sistema de APR Camarico Chico.	60
6.13.	Red de distribución modelada en <i>EPANET</i> para el escenario futuro del APR Camarico Chico.	61
6.14.	Cartografía de la red de distribución del APR Camarico Chico del escenario futuro.	61
6.15.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación dinámica del escenario futuro del sistema de APR Camarico Chico.	62
6.16.	Detalle de ID de nodos en el sector La Villa del APR Camarico Chico.	63

6.17.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación estática del escenario futuro del sistema de APR Camarico Chico.	64
6.18.	Red de distribución modelada en <i>EPANET</i> para el escenario actual del APR Nuevo Futuro.	68
6.19.	Detalle de ID de nodos en la bajada del estanque del APR Nuevo Futuro. . . .	70
6.20.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación dinámica del escenario actual del sistema de APR Nuevo Futuro.	71
6.21.	Detalle de ID de nodos en el sector norte del APR Nuevo Futuro.	71
6.22.	Detalle de ID de nodos en el sector este del APR Nuevo Futuro.	72
6.23.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación estática del escenario actual del sistema de APR Nuevo Futuro.	72
6.24.	Red de distribución modelada en <i>EPANET</i> para el escenario base del APR Nuevo Futuro.	73
6.25.	Cartografía de la red de distribución en el escenario base del APR Nuevo Futuro.	74
6.26.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación dinámica del escenario base del sistema de APR Nuevo Futuro.	75
6.27.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación estática del escenario base del sistema de APR Nuevo Futuro.	76
6.28.	Red de distribución modelada en <i>EPANET</i> para el escenario futuro del APR Nuevo Futuro.	77
6.29.	Cartografía de la red de distribución en el escenario futuro del APR Nuevo Futuro.	77
6.30.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación dinámica del escenario futuro del sistema de APR Nuevo Futuro.	78
6.31.	Detalle de ID de nodos en el sector oeste (a) del APR Nuevo Futuro.	79
6.32.	Resultados del modelo de <i>EPANET</i> para la situación estática del escenario futuro del sistema de APR Nuevo Futuro.	80
7.1.	Detalle de ID de tuberías en el sector de ampliación 2 del APR Camarico Chico.	85
7.2.	Curva característica de la bomba implementada en el escenario de ampliación del APR Camarico Chico.	85
7.3.	Detalle de ID de tuberías en el sector La Villa del APR Camarico Chico. . . .	86
7.4.	Detalle de resultados del modelo en escenario de ampliación del sector de ampliación 2 en el APR Camarico Chico.	87
7.5.	Resultados del modelo con soluciones implementadas en escenario de ampliación del APR Camarico Chico.	88
7.6.	Detalle de ID de tuberías en el sector Camarico Viejo (a) del APR Camarico Chico.	89
7.7.	Resultados del modelo con soluciones implementadas en escenario base del APR Camarico Chico.	90
7.8.	Cartografía de la red de distribución del APR Camarico Chico incluyendo nodos que consideran uso de grifos.	91
7.9.	Cartografía de la red de distribución del APR Camarico Chico, considerando las tuberías requeridas en el escenario futuro.	92
7.10.	Curva característica de la bomba implementada en el sector de ampliación 2 en el escenario futuro del APR Camarico Chico.	92
7.11.	Sector con bajas presiones ante uso de grifos en el escenario futuro del APR Camarico Chico.	93

7.12.	Detalle de ID de tuberías en el sector Camarico Viejo (b) del APR Camarico Chico.	93
7.13.	Curva característica de la bomba implementada al final de Camarico Viejo en el escenario futuro del APR Camarico Chico.	94
7.14.	Detalle de ID de nodos en el sector de ampliación 5 del APR Camarico Chico.	94
7.15.	Detalle de ID de nodos en el sector de ampliación 3 del APR Camarico Chico.	95
7.16.	Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 245 del APR Camarico Chico. . .	95
7.17.	Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 127 del APR Camarico Chico. . .	96
7.18.	Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 29 del APR Camarico Chico. . .	96
7.19.	Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 119 del APR Camarico Chico. . .	97
7.20.	Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 41 del APR Camarico Chico. . .	97
7.21.	Detalle de ID de tuberías en el sector este del APR Nuevo Futuro.	99
7.22.	Curva característica de la bomba implementada en el sector este del APR Nuevo Futuro en el escenario actual.	100
7.23.	Resultados de la situación dinámica del escenario actual del sector este del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.	100
7.24.	Detalle de ID de tuberías en el sector norte del APR Nuevo Futuro.	101
7.25.	Curva característica de la bomba implementada en la tubería 55 del sector norte del APR Nuevo Futuro en el escenario actual.	101
7.26.	Curva característica de la bomba implementada en la tubería 63 del sector norte del APR Nuevo Futuro en el escenario actual.	102
7.27.	Resultados de la situación dinámica del escenario actual del sector norte del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.	102
7.28.	Detalle de ID de tuberías en la bajada del estanque del APR Nuevo Futuro. . .	103
7.29.	Resultados de la situación dinámica del escenario actual del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.	103
7.30.	Resultados de la situación dinámica del escenario base del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.	105
7.31.	Cartografía de la red de distribución del APR Nuevo Futuro incluyendo nodos que consideran uso de grifos.	106
7.32.	Cartografía de la red de distribución del APR Nuevo Futuro, considerando las tuberías requeridas en el escenario futuro.	107
7.33.	Curva característica de la bomba implementada en el sector este del APR Nuevo Futuro en el escenario futuro.	108
7.34.	Detalle de ID de nodos en el sector oeste (b) del APR Nuevo Futuro.	108
7.35.	Detalle de ID de nodos en el sector sur del APR Nuevo Futuro.	109
7.36.	Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 58 del APR Nuevo Futuro. . . .	109
7.37.	Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 121 del APR Nuevo Futuro. . . .	110
7.38.	Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 32 del APR Nuevo Futuro. . . .	110

7.39.	Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 107 del APR Nuevo Futuro. . . .	111
7.40.	Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 73 del APR Nuevo Futuro. . . .	111
B.1.	Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector Camarico Chico del APR Camarico Chico.	121
B.2.	Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 1 del APR Camarico Chico.	122
B.3.	Detalle de ID de tuberías en el sector de ampliación 3 del APR Camarico Chico.	123
B.4.	Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 4 en el escenario de ampliación del APR Camarico Chico.	124
B.5.	Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 2 en el escenario futuro del APR Camarico Chico.	125
B.6.	Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 4 en el escenario futuro del APR Camarico Chico.	126
B.7.	Detalle de ID de tuberías en el sector de ampliación 5 del APR Camarico Chico.	126
B.8.	Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 6 del APR Camarico Chico.	127
B.9.	Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 7 del APR Camarico Chico.	128
B.10.	Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 8 del APR Camarico Chico.	129
B.11.	Detalle de ID de nodos y tuberías en sector central del APR Nuevo Futuro.	130
B.12.	Detalle de ID de tuberías en sector oeste del APR Nuevo Futuro (a).	131
B.13.	Detalle de ID de tuberías en sector oeste del APR Nuevo Futuro (b).	131
B.14.	Detalle de ID de nodos y tuberías en el inicio del bypass del sector oeste del APR Nuevo Futuro.	132
B.15.	Detalle de ID de nodos y tuberías en el tramo intermedio del bypass del sector oeste del APR Nuevo Futuro.	132
B.16.	Detalle de ID de nodos y tuberías en el final del bypass del sector oeste del APR Nuevo Futuro.	132
B.17.	Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación del escenario base del APR Nuevo Futuro.	133
B.18.	Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación del escenario futuro del APR Nuevo Futuro.	134
D.1.	Detalle de ID de nodos del escenario base del APR Camarico Chico con soluciones implementadas, sector de ampliación 2.	174
D.2.	Detalle de ID de nodos del escenario futuro del APR Camarico Chico con soluciones implementadas, sector Camarico Viejo (b).	175
D.3.	Detalle de ID de nodos del escenario futuro del APR Camarico Chico con soluciones implementadas, sector de bajas presiones en Camarico Viejo (b).	175
D.4.	Detalle de ID de nodos del escenario actual del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, bajada de estanque.	176
D.5.	Detalle de ID de nodos del escenario actual del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, sector este.	176
D.6.	Detalle de ID de nodos del escenario actual del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, sector norte.	177

D.7.	Detalle de ID de nodos del escenario futuro del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, sector este.	177
D.8.	Detalle de ID de nodos del escenario futuro del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, sectores norte y oeste (b).	178
D.9.	Detalle de ID de nodos del escenario futuro del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, sector oeste (a).	178

Capítulo 1

Introducción

El acceso al agua potable es un derecho humano fundamental, pero cuando se trata de localidades pequeñas y remotas donde la conexión a las redes de ciudades no es posible, es necesario el analizar distintas alternativas para entregarle agua a sus habitantes. Dentro de estas alternativas se encuentran los sistemas de agua potable rural (APR), que corresponden a sistemas de captación, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua potable en sectores rurales, los cuales no son manejados por la concesionaria sanitaria correspondiente a la región, sino que son operados de forma local por operadores pertenecientes a la comunidad beneficiada.

En los últimos años, el Departamento de Ingeniería Civil (DIC) de la Universidad de Chile ha coordinado prácticas profesionales para los estudiantes de la FCFM, en donde los participantes han trabajado en distintos APR's de la provincia de Limarí en la región de Coquimbo, buscando identificar y posiblemente solucionar problemas que estos presentasen. Según testimonios recogidos, en muchos casos los sistemas de APR no pueden solventar sus problemas de manera autónoma y los procesos para que las autoridades los solucionen no son ágiles. Por lo tanto, lo que motiva el presente trabajo de título es el continuar con los avances desarrollados en las prácticas profesionales mediante el levantamiento de información y la propuesta de soluciones a nivel de ingeniería conceptual, tal que los comités conozcan las opciones que tienen y tengan antecedentes para la materialización de un proyecto más acabado.

Los sistemas de APR a estudiar corresponden al APR Camarico Chico y APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto, ambos ubicados en la región de Coquimbo, comuna de Ovalle, a 25 km al suroeste y 17 km al sur de la ciudad de Ovalle, respectivamente. Durante el verano de 2023 se realizó una visita a terreno a ambos sistemas de APR, en donde se llevó a cabo un reconocimiento de sus sistemas de producción de agua potable y se conversó con los comités encargados de su manejo, escuchando sus inquietudes y los problemas que ellos han identificado respecto al funcionamiento de cada sistema. Además, ambos sistemas de APR recibieron practicantes durante el mes de febrero de 2023, permitiendo levantar la información necesaria para la realización de éste trabajo.

Dicho esto, en el presente trabajo de título se proponen soluciones a los distintos problemas que afectan a los sistemas de APR de estudio, considerando las características de la zona, los antecedentes de los APR's, el análisis de modelos hidráulicos de sus sistemas de distribución y el análisis de sus capacidades de almacenamiento y captación, considerando un horizonte de 23

años en un trabajo de ingeniería conceptual, que busca sentar servir de base conceptual para futuros proyectos de mejoramiento de cada sistema y, además, ofrecer un mayor entendimiento a los comités y comunidades beneficiadas respecto a las posibles soluciones a considerar.

1.1. Objetivos

Los objetivos del trabajo de título se dividen en general y específicos, los cuales se detallan a continuación.

1.1.1. Objetivo general

Realizar un levantamiento de información respecto al funcionamiento actual de los sistemas de APR Camarico Chico y Nuevo Futuro Potrerillos Alto, tal que se puedan identificar problemas y proponer soluciones a ellos, basándose en los estándares de calidad y funcionamiento establecidos por la Dirección de Obras Hidráulicas y la normativa vigente.

1.1.2. Objetivos específicos

- Revisión bibliográfica de los sistemas de agua potable rural en Chile, particularmente en la región de Coquimbo, provincia de Limarí.
- Determinar las características de cada sistema APR, definiendo las instalaciones y equipos existentes, las formas de tratamiento para la producción de agua potable y la operación y funcionamiento de los sistemas.
- Realizar un levantamiento de información in situ de los APR de Camarico Chico y Nuevo Futuro Potrerillos Alto, identificando aquellas diferencias entre su estado actual y la normativa vigente que generen problemas.
- Modelar el sistema de abastecimiento de agua potable rural en el software EPANET para determinar la suficiencia del recurso y las instalaciones usando una proyección de crecimiento del sistema.
- Desarrollar diseños a nivel de ingeniería conceptual para solucionar los problemas identificados en la distribución de agua potable, el almacenamiento y las captaciones de cada APR.

1.2. Metodología de trabajo

La metodología del trabajo de título contempla las siguientes actividades para alcanzar los objetivos establecidos:

- Estudio de normativa técnica de sistemas de APR, especialmente la NCh 691, con el objetivo de establecer una línea base con la que comparar el estado actual de los sistemas de interés.
- Familiarización con la zona de estudio mediante lectura bibliográfica del estado actual de la comuna.
- Visita a terreno, con el objetivo de conocer los APR's, acceder a sus antecedentes y poder realizar una caracterización de cada sistema. Durante esta visita se consideran reuniones con los dirigentes y operadores, en donde se consulta sobre los principales problemas presentes en cada APR.
- Uso de la información recopilada en terreno para establecer el estado actual de cada APR y compararlos con la línea base, tal de identificar problemas presentes.
- Comparación de problemas identificados in situ con problemáticas indicadas por los dirigentes y operadores de cada sistema de APR.
- Modelación hidráulica de los sistemas de APR en el software *EPANET*, con el objetivo de verificar el estado de la red de distribución y si esta cumple con la normativa.
- Estudio de alternativas de solución a nivel de ingeniería conceptual y selección de aquellas más convenientes, con el objetivo de mejorar el funcionamiento de los sistemas de APR .

Capítulo 2

Marco teórico

En este capítulo se presentará la información relevante para este estudio obtenida desde la revisión bibliográfica de diversos documentos, permitiendo conocer, dentro del contexto de los sistemas de APR, antecedentes de la zona, normativa pertinente e información general respecto a dichos sistemas a nivel regional y comunal.

2.1. Sistemas de agua potable rural (APR)

Un sistema de agua potable rural es, como indica su nombre, un sistema que considera la captación, impulsión, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua potable en localidades rurales que no son abastecidas por las redes de distribución urbanas a cargo de empresas concesionarias del servicio de agua potable. Por esta razón, son sistemas independientes a los urbanos, administrados y operados por miembros de las comunidades beneficiadas, los cuales se organizan en comités o cooperativas.

Históricamente, los sistemas de APR se engloban dentro de la iniciativa del “Programa de Agua Potable Rural” de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH), que desde 1964 busca el proveer a la población rural con infraestructura de APR. A noviembre de 2022, éste programa abastece a 2.146.000 habitantes del sector rural a nivel nacional, organizados en 2.340 comités y cooperativas (Dirección de Obras Hidráulicas, 2022). Además de esto, la DOH tiene la responsabilidad de que los sistemas de APR en operación reciban apoyo técnico y administrativo a través de las empresas concesionarias de servicios sanitarios de la región, mediante visitas técnicas y capacitaciones de los miembros de los comités. En caso de que existan problemas que requieran de una mayor intervención, la empresa sanitaria debe informar a la DOH para evaluar la elaboración de un proyecto de conservación.

2.1.1. Instituciones asociadas

Existen varias instituciones que guardan relación directa con los sistemas de APR. Tomando como caso concreto a la Región de Coquimbo, estos organismos se presentan a continuación:

- **Ministerio de Obras Públicas**

A través de la DOH, corresponde al organismo técnico asociado al manejo del recurso hídrico, además de otorgar derechos de agua y aprobar los derechos de concesión relacio-

nados a los servicios sanitarios (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2009). Como fue mencionado anteriormente, también se encarga de llevar a cabo el “Programa de Agua Potable Rural”, que tiene como objetivo el brindar infraestructura de APR a localidades rurales mediante la elaboración de proyectos.

- **Aguas del Valle**

En el caso de la región de Coquimbo, Aguas del Valle es la empresa concesionaria de servicios sanitarios, por lo que realiza la labor de Unidad Técnica de la DOH de la región. Esto se materializa en visitas programadas y no programadas a los sistemas de APR, que buscan evaluar los problemas y dar un diagnóstico de su estado. Cuando estas problemáticas son simples pueden ser solucionadas por el comité, pero en caso contrario se informa a la DOH para considerarlo en las obras de conservación del MOP (CAZALAC, 2016).

Hasta el año 2020, según el Art. 52 Bis del DFL 382, tenían la facultad de venderle agua potable a Comités o Cooperativas de APR que lo requiriesen, mientras no se viese afectado el suministro del sector urbano (CAZALAC, 2016), aunque con la entrada de vigencia de la ley 20.998 en noviembre de 2020 el organismo responsable de esta labor es la DOH.

- **Ministerio de Salud**

Junto con la DOH, aprueba los diseños de sistemas de agua potable rural y de tratamiento de aguas servidas, además de autorizar su funcionamiento para que sean puestos en marcha (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2009), a través de resoluciones sanitarias.

- **Comités y Cooperativas de APR**

Son las organizaciones encargadas de administrar y operar el sistema de APR, conformadas por miembros de la comunidad beneficiada. Las diferencias entre Comités y Cooperativas nacen del tipo de organización a la que corresponden; los Comités se rigen por la Ley N° 19.418 sobre Juntas de Vecinos y demás Organizaciones Comunitarias, mientras que las Cooperativas son empresas que buscan mejorar las condiciones económicas de sus socios y que son reguladas por un marco legal propio, mediante la Ley General de Cooperativas DFL 5 (Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2009)

2.1.2. Elementos de un sistema de APR

Los sistemas de APR no son iguales entre sí, puesto que para la elaboración del proyecto se consideran las condiciones específicas de la zona y las necesidades de las personas. En esta sección se da una breve descripción de los elementos que comúnmente componen al sistema, y en secciones posteriores se especificarán distintos criterios a considerar según lo indicado por normativa. Dicho esto, siguiendo el orden desde la captación de agua cruda hasta la conexión al medidor del beneficiario, un APR generalmente consta con las siguientes partes:

- **Captación**

La captación se refiere al punto de donde se obtiene el agua cruda y puede ser de una fuente superficial (estero, vertiente o río) o subterránea (pozo, noria, dren o sondaje)

(Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2009). En los casos de fuentes subterráneas, el agua cruda es captada utilizando una bomba hidráulica sumergida dentro del pozo, la cual permite elevar el agua hasta la superficie y, en caso de que la capacidad de la bomba sea suficiente, hasta el estanque de almacenamiento.

- **Impulsión**

Tanto para fuentes superficiales como para subterráneas, en aquellos casos en que la presión dentro de las tuberías no es suficiente para operar correctamente el sistema, se pueden utilizar bombas hidráulicas para elevar la presión, también conocidas como bombas de impulsión. Además de esto, a las tuberías que conectan el sistema desde la captación hasta la entrada del estanque de almacenamiento se conoce como red de impulsión o de producción.

- **Tratamiento**

Dependiendo de la calidad del agua cruda, son necesarios distintos tipos de tratamientos, que comúnmente buscan eliminar elementos químicos específicos del agua o abatir turbiedad, tal de cumplir con los parámetros físico-químicos establecidos en la normativa. Algunos ejemplos corresponden a filtros abatidores de hierro-manganeso, de arsénico, de turbiedad o desnitrificadores, entre otros. Ahora bien, puesto que lo anterior depende de la calidad de la fuente, en algunos casos no es necesario ningún tipo de tratamiento, con la excepción de la desinfección, que por normativa es obligatoria. Esta consiste en la cloración del agua cruda, que puede realizarse mediante hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio o gas cloro, en función de las necesidades del sistema (Dirección de Obras Hidráulicas, 2019). Alternativamente, también se pueden utilizar desinfectantes que no generen cloro activo, siempre y cuando sea aprobado por la Autoridad Competente correspondiente (Instituto Nacional de Normalización, 2005). Dependiendo del tamaño de la red de distribución y de los resultados de parámetros de calidad del agua dentro de ésta, pueden existir puntos de re-cloración.

- **Almacenamiento**

Luego del tratamiento, el agua potable se almacena en estanques, los cuales pueden ser semi-enterrados o elevados. La elección entre ambos depende de las características de la zona; puesto que los estanques no se encuentran a presión, es necesario que estos se ubiquen en una cota mayor que la red de distribución, tal de asegurar la presión dentro de esta, lo que se logra construyéndolos en altura. De esta forma, cuando la topografía lo permite, se pueden construir estanques semi-enterrados, que son estanques de hormigón armado que se encuentran a nivel de suelo, por lo que usualmente se ubican sobre cerros o en laderas de éstos. Por otro lado, los estanques elevados son estanques metálicos que se ubican sobre una torre, lo que eleva la presión al aumentar la altura.

- **Distribución**

La distribución corresponde a la red de tuberías que, como indica su nombre, permite distribuir el agua potable a los beneficiarios desde el estanque de almacenamiento hasta cada arranque. Por normativa, la conducción del agua debe ser mediante tuberías cerradas y no canales abiertos.

- **Arranque**

Se asocia a la tubería que conecta la red de distribución con el medidor del domicilio correspondiente, entregando el agua a los beneficiarios del sistema. Debido a que su uso es doméstico, el diámetro de estas tuberías es menor que el de la red de distribución.

2.1.3. Estructura organizacional de un sistema de APR

Como fue mencionado anteriormente, un sistema de APR es operado por un comité o una cooperativa. Fuera del marco legal que regula a cada tipo de organización, usualmente constan de diversos cargos, que CAZALAC (2016) describe como:

- **Presidente/a**

Corresponde al representante legal del comité, además de dirigir las reuniones de directorio y asambleas generales, donde también representa a la directiva del comité frente a los beneficiarios y les informa del estado del sistema y la organización, además del estado financiero.

- **Secretario/a**

Su rol es el de llevar el libro de actas, el registro de beneficiarios, el registro de asistencias a asambleas generales, el registro de las solicitudes de incorporaciones aceptadas y pendientes y de recibir y archivar la correspondencia.

- **Tesorero/a**

Es el responsable, junto al presidente/a, del manejo de fondos del comité. Además, debe depositarlos en un banco, asegurar el pago de remuneraciones al personal, supervisar al secretario administrativo y, anualmente, preparar un balance que se presenta en asamblea general.

- **Secretario/a Administrativo/a**

Tiene la labor de dar atención al público para recaudación, recibir consultas y reclamos, cálculo del consumo efectivo mensual del sistema, enviar citaciones a reuniones de directorio y asambleas, recaudar ingresos y cancelar pagos, entre otros.

- **Operador/a**

Está asociado al área técnica del sistema, por lo que tiene las labores de operar la infraestructura, revisar las instalaciones, controlar el funcionamiento del sistema de tratamiento, realizar retrolavado de filtros en caso de que el sistema los tenga, ejecutar cortes cuando sea necesario, realizar reparaciones, registrar la producción de agua, entre otros.

2.2. Normativa de diseño

2.2.1. Requisitos de calidad de agua potable

Los requisitos de calidad de agua potable corresponden a los límites y criterios de distintos parámetros presentes en el agua potable, según lo indicado por la NCh409/1 (Instituto Nacional de Normalización, 2005), que contempla parámetros microbiológicos y de turbiedad,

elementos o sustancias químicas, elementos radiactivos, elementos asociados a características organolépticas y parámetros de desinfección, indicados como Tipo I al V, respectivamente. Ahora bien, CAZALAC (2016) indica que, dentro de los sistemas de APR que pertenecían al Programa de Agua Potable Rural de la DOH al año de realización del estudio, que contempla los sistemas de la región de Coquimbo, aquellos que presentaban sistemas de filtrado de algún tipo consideraban filtros de hierro-manganeso, de arsénico, desnitrificadores, de turbiedad y/o de carbón activado, por lo que, para los criterios Tipo II, solo se presentarán aquellos asociados a estos parámetros de interés. De esta forma, según el INN (2005), los criterios son los siguientes:

- **Criterios para parámetros microbiológicos y de turbiedad (Tipo I)**

En relación a los parámetros microbiológicos, los microorganismos de interés son los coliformes y la bacteria *Escherichia coli*. En el caso de los coliformes totales, cuando se analizaron menos de 10 muestras en el mes, se pueden presentar en una muestra, mientras que si se tomaron 10 o más, pueden presentarse en 10% de ellas. Además, para una concentración mayor o igual a 5 UFC (unidad formadora de colonias) o NMP (número más probable) por 100 ml, solo se acepta este valor en una muestra si se analizaron menos de 20 muestras en el mes o, alternativamente, en el 5% de las muestras si se analizaron 20 o más. En cambio, en ninguna de las muestras puede haber presencia de *E. coli*, que se verifica analizando la muestra que tenga coliformes totales (Instituto Nacional de Normalización, 2005).

Por otro lado, en el caso de la turbiedad, se establece que la turbiedad media mensual debe ser menor o igual a 2 UNT (unidad nefelométrica de turbidez). Además, cuando se analizan menos de 20 muestras mensuales, se puede superar el umbral de 4 UNT en solo una muestra, mientras que si se tomaron 20 o más, puede superarse en el 5% de ellas. Por último, de las muestras mensuales, aquellas que presenten valores de turbiedad entre 10 UNT y 20 UNT no pueden haber sido tomadas en las mismas 24 horas, y ninguna muestra puede exceder el valor de 20 UNT (Instituto Nacional de Normalización, 2005).

- **Criterios para elementos o sustancias químicas (Tipo II)**

Considerando los elementos asociados a los filtros indicados anteriormente, estos no pueden presentarse en concentraciones totales mayores a las indicadas en la Tabla 2.1. La razón nitrato + nitrito se refiere a la “suma de las razones entre la concentración medida de cada uno y su respectivo límite máximo” (Instituto Nacional de Normalización, 2005).

Tabla 2.1: Límites máximos de elementos químicos presentes en el agua potable a nivel comunal. Fuente: INN (2005).

Elemento	Símbolo o fórmula	Límite máximo [mg/L]
Hierro	<i>Fe</i>	0,3
Manganeso	<i>Mn</i>	0,1
Arsénico	<i>As</i>	0,01
Nitrato	NO_3^-	50
Nitrito	NO_2^-	3
Razón nitrato + nitrito	-	1

Además de los elementos químicos anteriores, al realizar el proceso de desinfección puede haber presencia de los productos indicados en la Tabla 2.2, dependiendo del tipo de sistema de cloración que se utilice. Similar al caso anterior, el límite de los Trihalometanos se refiere a la “suma de las razones entre la concentración medida de cada uno y su respectivo límite máximo” (Instituto Nacional de Normalización, 2005).

Tabla 2.2: Límites máximos de productos secundarios del proceso de desinfección. Fuente: INN (2005).

Producto	Límite máximo [mg/L]
Monocloroamina	3
Dibromoclorometano	0,1
Bromodichlorometano	0,06
Tribromometano	0,1
Triclorometano	0,2
Trihalometanos	1

- **Criterios para elementos asociados a características organolépticas (Tipo IV)**

Con respecto a los parámetros organolépticos, el agua potable debe cumplir con los límites establecidos en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Límites máximos de parámetros asociados a características organolépticas. Fuente: INN (2005).

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo
Físicos:			
Color verdadero	-	Unidad Pt-Co	20
Olor	-	-	Inodora
Sabor	-	-	Insípida
Inorgánicos:			
Amoníaco	NH_3	mg/L	1,5
Cloruro	Cl^-	mg/L	400
pH	-	-	6,5 < pH < 8,5
Sulfato	SO_4^{-2}	mg/L	500
Sólidos disueltos totales	-	mg/L	1500
Orgánicos:			
Compuestos fenólicos	Fenol	$\mu g/L$	2

- **Criterios para parámetros de desinfección (Tipo V)**

Según el INN (2005), el agua potable distribuida a través de redes debe haber pasado por un proceso de desinfección, además de existir una concentración residual de desinfectante (cloro libre) en toda la red. Esta concentración residual de cloro libre puede moverse entre los rangos de 0,2 - 2,0 mg/L en cualquier punto de la red, pero el límite superior

puede ser mayor en condiciones especiales si una Autoridad Competente lo exige. Por otro lado, dentro de las muestras mensuales de un servicio de agua potable, un 10 % o menos puede tener una concentración residual de desinfectante activo menor al límite inferior. En cambio, si se analizan hasta 100 muestras, solo una puede tener completa ausencia de cloro residual libre, mientras que si se analizan mas de 100, pueden ser hasta tres. Por último, cualquier desinfectante distinto a uno generador de cloro activo debe ser autorizado por la Autoridad Competente correspondiente, que debe establecer los criterios anteriores asociados a este desinfectante.

Además de lo anterior, el INN (2005) establece que los elementos y parámetros de las Tablas 2.1 y 2.3 corresponden a parámetros críticos que comparten criterios de tolerancia asociados a sus muestras. Así, para estos parámetros críticos, cuando mensualmente se analizan menos de 10 muestras, solo una de ellas puede superar los límites establecidos, mientras que si son 10 o más muestras, el 10 % de ellas pueden excederlos. Por otra parte, la media aritmética de las muestras analizadas en el mes no puede superar los valores indicados en las tablas anteriores. Por último, en el caso del nitrato y nitrito, ninguna muestra puntual puede superar el doble de su límite máximo asociado.

2.2.2. Bases de cálculo

Para poder realizar el dimensionamiento de un sistema de agua potable, se requiere de distintas estadísticas, coeficientes y factores asociados a la población, el consumo, las dotaciones, entre otros, los cuales se encuentran indicados en la NCh691 Agua Potable - Producción, conducción, almacenamiento y distribución - Requisitos de diseño (Instituto Nacional de Normalización, 2015). Esta norma establece que se deben utilizar las estadísticas de población abastecida, producción y consumo existentes de la localidad donde se desarrolle el proyecto, o de sectores con características geográficas, socioeconómicas y poblacionales similares. Alternativamente, también se pueden utilizar valores referenciales, los cuales deben estar correctamente justificados. Así, a continuación se presentan distintos conceptos y ecuaciones requeridos por normativa para el diseño de un sistema de agua potable.

- **Aguas no contabilizadas (ANC)**

Las aguas no contabilizadas son las pérdidas de agua potable dentro del sistema, debido a fugas, imprecisiones en las mediciones, conexiones domiciliarias no registradas, consumos operacionales, entre otros. De esta forma, considerando un mismo período anual, se calculan según la Ecuación 2.1 (Instituto Nacional de Normalización, 2015).

$$ANC = \frac{VAP - VAF}{VAP} \cdot 100 \% \quad (2.1)$$

Donde:

- ANC: Aguas no contabilizadas [%].
- VAP: Volumen de agua producido anualmente, medido a la salida del sistema de producción [m³].
- VAF: Volumen de agua facturado anualmente [m³].

Por otro lado, la DOH (2019) indica que, en caso de no contar con información o si el sistema es nuevo, se considera un 20 % de aguas no contabilizadas.

- **Coefficientes y factores de máximo consumo**

Los coeficientes y factores de máximo consumo corresponden a cálculos necesarios para poder determinar los valores de los caudales de diseño que se presentan dentro del sistema y que se utilizan para el dimensionamiento de éste, como el caudal máximo diario o el caudal máximo horario. Para esto, se debe utilizar información de al menos los últimos cinco años de la zona de estudio o una localidad con características similares. Ahora, para poder entender estos factores, la NCh691 del INN (2015) define los siguientes términos:

- **Consumo medio mensual:** Volumen de agua potable que se obtiene de dividir el consumo anual por 12.
- **Consumo máximo mensual:** Volumen de agua potable consumido en el mes de mayor consumo en un período de uno o más años.
- **Consumo medio diario:** Volumen de agua potable que se obtiene de dividir el consumo anual por 365.
- **Consumo máximo diario:** Volumen de agua potable consumida en el día de máximo consumo del mes de máximo consumo, medido a la salida del estanque de regulación.
- **Consumo máximo horario:** Volumen de agua potable consumido en la hora de máximo consumo del día de máximo consumo, en el mes de máximo consumo, medido a la salida del estanque de regulación.

Dicho esto, los coeficientes y factores de interés son los siguientes:

- **Coefficiente del mes de máximo consumo (CMMC)**

Corresponde al cociente entre el consumo máximo mensual y el consumo medio mensual, según lo indicado en la ecuación 2.2.

$$CMMC = \frac{\text{Consumo máximo mensual}}{\text{Consumo medio mensual}} \quad (2.2)$$

- **Coefficiente del día de máximo consumo en el mes de máximo consumo (CDMC)**

Se refiere al cociente entre el consumo máximo diario y el consumo medio diario del mes de mayor consumo, determinado por la ecuación 2.3. Como mínimo, debe tener un valor de 1,1.

$$CDMC = \frac{\text{Consumo máximo diario}}{\text{Consumo medio diario del mes de mayor consumo}} \quad (2.3)$$

- **Factor del día de máximo consumo (FDMC)**

Corresponde al producto entre el coeficiente del mes de máximo consumo (CMMC) y el coeficiente del día de máximo consumo en el mes de máximo consumo (CDMC), como indica la ecuación 2.4.

$$FDMC = CMMC \cdot CDMC \quad (2.4)$$

– **Factor de la hora de máximo consumo (FHMC)**

Es el cociente entre el consumo máximo horario y el consumo medio horario en el día de consumo máximo diario, según la ecuación 2.5. Como mínimo, su valor debe ser de 1,5.

$$FHMC = \frac{\text{Consumo máximo horario}}{(\text{Consumo máximo diario}/24)} \quad (2.5)$$

Por último, para el cálculo de los coeficientes y factores anteriores, la DOH (2019) indica que, en el caso de estudios de sistemas existentes se deben utilizar estadísticas de consumo de los últimos 12 meses y, en caso de que no se disponga de la información suficiente, se debe adoptar un valor de 1,5 para el Factor del día de máximo consumo y el Factor de la hora de máximo consumo.

• **Proyección de demanda**

La DOH (2019) establece que, para poder estimar la demanda de agua potable de una localidad, primero es necesario conocer la población base, que corresponde a la población actual proyectada a 3 años (tiempo estimado entre el término del diseño y la ejecución de las obras), y la población futura, que es la población base proyectada a un horizonte de 20 años, tal de asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

Para lograr lo anterior, primero se debe determinar la densidad de habitantes mediante el levantamiento de información en terreno, siguiendo la Ecuación 2.6 (Dirección de Obras Hidráulicas, 2019).

$$\text{Densidad real} = \frac{\text{Número de habitantes (encuesta)}}{\text{Número de viviendas encuestadas}} \quad (2.6)$$

Donde:

- Número de habitantes: Total de habitantes encuestados en cada vivienda.
- Número de viviendas encuestadas: Total de viviendas encuestadas.

Ahora bien, cuando no se tiene información de la localidad o la información no representa a toda la comunidad, se adopta una densidad máxima de 4 hab/viv. En aquellos casos de localidades pequeñas o aisladas, si se estima que la densidad es menor a 4 hab/viv., se considera el promedio comunal para la población rural.

Habiendo estimado la densidad poblacional, se determina la población actual mediante la Ecuación 2.7 (Dirección de Obras Hidráulicas, 2019).

$$P.A = N^{\circ} \text{ de Viviendas} \cdot \text{Densidad} + P.E + P.T \quad (2.7)$$

Donde:

- P.A: Población actual.
- N° de Viviendas: Total de viviendas consideradas dentro del proyecto.
- P.E: Población escolar, que corresponde al 35 % del alumnado total en localidades que cuentan con establecimientos educacionales. En el caso de internados, el porcentaje es de 85 %.

- P.T: Población turística, la cual debe ser estimada mediante antecedentes de consumo del sistema existente o de los municipios. En caso de no tener información, se puede estimar con antecedentes de localidades cercanas o dentro de la comuna, con características turísticas similares.

De esta forma, el último paso necesario para poder realizar la proyección poblacional es la determinación de la tasa de crecimiento que, según la DOH (2019), se determina de acuerdo a la fórmula de tasa de crecimiento geométrico, considerando que se tienen antecedentes poblacionales de algún estudio anterior. La Ecuación 2.8 indica la fórmula de tasa de crecimiento geométrico establecida.

$$Tasa\ de\ crecimiento = \left[\left(\frac{P.\ actual}{P.\ previo} \right)^{\frac{1}{Año\ actual - Año\ previo}} - 1 \right] \cdot 100\ \% \quad (2.8)$$

Donde:

- P. actual: Población actual.
- Año actual: Año del estudio en ejecución.
- P. previo: Población existente en estudio anterior.
- Año previo: Año en que se realizó estudio anterior.

Por otro lado, si no se tiene información previa catastrada, la DOH (2019) indica que se debe adoptar una tasa de crecimiento del 4% para zonas que no se encuentren entre la región de Valparaíso y la región de Ñuble. En cambio, el Ministerio de Planificación (2008) sugiere una tasa de crecimiento anual de 2%, la cual puede ser modificada de acuerdo a la información disponible de la zona de estudio.

Finalmente, para realizar la proyección de la población, la DOH (2019) adopta el modelo de crecimiento geométrico de la población. Así, la población base (proyección de población actual a 3 años) se determina según la Ecuación 2.9.

$$Población\ Base = Población\ Actual \cdot (1 + r)^n \quad (2.9)$$

Donde:

- r: Tasa de crecimiento anual.
- n: 3 años, correspondientes al tiempo estimado entre término de diseño y ejecución de obras.

Así, conocida la población base, se puede estimar la población futura con un horizonte de 20 años de forma similar, según la Ecuación 2.10:

$$Población\ Futura = Población\ Base \cdot (1 + r)^n \quad (2.10)$$

Donde:

- Población Futura: Población estimada al año n.
- r: Tasa de crecimiento anual.

– n: Número de años.

• Dotaciones

La dotación se refiere a la cantidad de agua asociada a cada habitante, usualmente expresada en litros por habitante por día. El INN (2015) establece que la dotación de consumo es “el cociente entre el volumen facturado anualmente dividido en 365 días y la población promedio abastecida en el año” y se calcula según la Ecuación 2.11.

$$D_c = \frac{(VAF/365)}{Pob. A} \quad (2.11)$$

Donde:

- D_c : Dotación de consumo [L/hab-día].
- VAF: Volumen de agua facturado anualmente [L].
- Pob.A: Población promedio abastecida en el año [hab]

Ahora bien, en caso de que no se tenga la información necesaria para determinar la dotación de consumo, la DOH (2019) indica que se debe adoptar una dotación entre 120 - 150 L/hab-día, mientras que la SUBDERE (2009) recomienda entre 100 - 140 L/hab-día.

Por otra parte, la dotación de producción corresponde al “cociente entre el volumen de agua producido anualmente dividido por 365 días y la población promedio abastecida en el año” (Instituto Nacional de Normalización, 2015), y se calcula según la Ecuación 2.12.

$$D_p = \frac{VAP/365}{Pob. A} = \frac{D_c}{1 - (ANC/100)} \quad (2.12)$$

Donde:

- D_c : Dotación de producción [L/hab-día].
- VAP: Volumen de agua producido anualmente, medido a la salida del sistema de producción [L].
- Pob. A: Población promedio abastecida en el año [hab].
- ANC: Aguas no contabilizadas [%].

• Caudales

Dependiendo de la demanda a la que se enfrente el sistema existen distintos caudales que se presentan dentro de éste, que corresponden a los siguientes:

– Caudal medio diario (Q_{md})

Corresponde al consumo medio de agua potable en un día, expresado en unidades de litros por segundo o dimensiones equivalentes. Su valor se determina según la ecuación 2.13.

$$Q_{md} = \frac{Pob. \cdot D_p \cdot (Cob./100)}{86.400} \quad (2.13)$$

Donde:

- Q_{md} : Caudal medio diario [L/s].
- Pobl.: Población total [hab].
- D_p : Dotación de producción anual [L/hab-día].
- Cob.: Cobertura anual [%].

– **Caudal máximo diario ($Q_{máxd}$)**

Es el consumo máximo de agua potable durante un día, considerando información de un período de un año, sin considerar las demandas de incendio que hayan ocurrido, expresado en unidades de litros por segundo o dimensiones equivalentes. Se calcula utilizando la ecuación 2.14.

$$Q_{máxd} = FDMC \cdot Q_{md} \quad (2.14)$$

- $Q_{máxd}$: Caudal máximo diario [L/s].
- FDMC: Factor del día de máximo consumo.
- Q_{md} : Caudal medio diario [L/s].

– **Caudal máximo horario ($Q_{máxh}$)**

Se refiere al consumo máximo de agua potable durante una hora en el día de máximo consumo, sin considerar las demandas de incendio que se puedan haber presentado, expresado en litros por segundo o en dimensiones equivalentes. Su valor se determina según la ecuación 2.15.

$$Q_{máxh} = FHMC \cdot Q_{máxd} \quad (2.15)$$

- $Q_{máxh}$: Caudal máximo horario [L/s].
- FHMC: Factor de la hora de máximo consumo.
- $Q_{máxd}$: Caudal máximo diario [L/s].

2.2.3. Elementos del sistema

Con los distintos valores anteriores calculados, la NCh691 (Instituto Nacional de Normalización, 2015) establece las siguientes consideraciones y requerimientos para cada elemento del sistema.

- **Sistema de producción**

El sistema de producción engloba la captación del agua hasta el punto de entrega del agua potable producida al sistema de distribución, es decir, el almacenamiento. Para el diseño de éste, la capacidad mínima de todas las obras asociadas debe satisfacer el caudal máximo diario. Además, el sistema debe contar con unidades de reserva o algún tipo de solución asociada a los elementos del sistema de producción tal de mantener la continuidad y calidad del servicio.

- **Conducción**

La NCh 691 (Instituto Nacional de Normalización, 2015) define la conducción como el transporte de agua por medio de tuberías o canalizaciones. Según los criterios técnicos y económicos, la conducción puede ser mediante canal abierto o en tubería a presión, puede transportar aguas crudas o tratadas y su funcionamiento puede ser por gravedad

o por bombeo. Para definir su trazado se deben considerar distintas características de la zona, como si el terreno es público o privado, la facilidad de acceso, la interferencia con instalaciones existentes, las características del suelo y los riesgos asociados a deslizamientos e inundaciones.

En el caso de canales abiertos, es necesario considerar las pérdidas por infiltración y tomar medidas para minimizarlas, además de proteger la conducción ante el ingreso de elementos ajenos al sistema de producción. Por otro lado, en el caso de conducciones cerradas se debe resguardar su estanqueidad y deben ser protegidas ante la entrada de elementos ajenos al sistema de producción y distribución. También es un requisito el utilizar conductos cerrados cuando se cruce por zonas pobladas o industriales, para proteger ante la contaminación de la conducción. Por último, en ningún caso se permite la mezcla de agua potable con agua no potable.

- **Conducción de producción**

Como indica su nombre, corresponde a las tuberías o canalizaciones del sistema de producción para transportar agua potable o cruda, las cuales deben ser diseñadas para conducir el caudal máximo diario calculado más las pérdidas en la conducción y las posibles necesidades del tratamiento. La conducción de aguas tratadas siempre debe ser a través de conductos cerrados, mientras que en el caso del transporte de aguas crudas, si bien se pueden utilizar canales abiertos, se debe privilegiar el uso de ductos cerrados. Además, solo se permiten conexiones con otras obras de producción o con estanques.

- **Conducción de distribución**

Similar al caso anterior, se refiere a las tuberías del sistema de distribución que transportan agua potable, las cuales deben ser diseñadas para conducir el máximo caudal entre el consumo máximo horario y el consumo máximo diario más la demanda de agua para incendio, según corresponda. Además, el diseño de estas tuberías debe considerar escurrimiento a presión.

- **Estanques**

La NCh 691 (Instituto Nacional de Normalización, 2015) establece que el dimensionamiento de la capacidad de los estanques depende de las características de cada sistema de APR, considerando los siguientes volúmenes:

- Volumen de agua cruda, potable o ambas en estanques separados para la operación del sistema de producción.
- Volumen de regulación de agua potable en el sistema de distribución, para compensar la diferencia entre el caudal producido y el consumo durante el día de máximo consumo.
- Volumen de agua potable en el sistema de distribución para apagar incendios.
- Volumen de reserva de agua cruda, potable o ambas en estanque separados, para atender emergencias en los sistemas de producción o distribución.

Ahora bien, el Manual de proyectos de APR (Dirección de Obras Hidráulicas, 2023) solamente considera el volumen de regulación y el de incendio, si es que corresponde. Así, el volumen de regulación se calcula en base de las curvas de conducción primaria (entre fuentes de abastecimiento y elementos de regulación del sistema de producción) y

de consumo, asociadas al día de máximo consumo. Si no se cuenta con esta información, se considera el 20 % del volumen del día de máximo consumo.

Por otro lado, el volumen de incendio depende de las características del sistema. Para sistemas que se encuentren en zonas urbanas normadas que posean planes reguladores comunales, el volumen de incendio se determina según lo establecido en la NCh691, mientras que para sistemas rurales se considera un volumen de incendio de 115 m³ para proyectos que tengan una cantidad de arranques proyectados entre 600 y 1.500. En caso de que se superen los 1.500 arranques se considera un volumen de incendio de 230 m³, y si la cantidad de arranques proyectados es menor a 600 no se considera volumen de incendio. De esta forma, el volumen del estanque se determina dependiendo de si se debe considerar el volumen de incendio o no:

- El sistema supera los 600 arranques proyectados: $V_{\text{estanque}} = V_{\text{regulación}} + V_{\text{incendio}}$
- El sistema tiene 600 arranques proyectados o menos: $V_{\text{estanque}} = V_{\text{regulación}}$

Por último, el manual también indica que los estanques pueden ser elevados o semi-enterrados, dependiendo de las consideraciones técnicas y la topografía de la zona. Además, se debe contar con el volumen y elevación suficiente para realizar retrolavado, en caso de que el tratamiento cuente con filtración.

• Sistema de distribución

El sistema de distribución debe considerar que el área servida esté dividida en sectores de distribución, que a su vez se subdividen en cuarteles. Estos cuarteles deben incluir válvulas de corte que permitan aislarlos, limitando el corte de suministro a no más de cuatro cuarteles. Además, en el área rural, los cuarteles deben ser proyectados de forma tal que la longitud total de las tuberías sea menor a 2.000 m. Por último, cada cuartel también debe considerar el lavado de la red mediante válvulas, grifos y puntos de desagüe.

Por otro lado, en relación a las tuberías, el trazado de éstas debe ser por aceras, con la excepción de los cruces bajo calzada, y la profundidad mínima de la red debe ser de 1,10 m, medido sobre la clave de la tubería. Además, se permiten tuberías alimentadas por un solo extremo, como en el caso de pasajes con acceso único o en calles al final de urbanizaciones, considerando que la red debe estar preparada para limpiar dichos puntos.

Con respecto a los diámetros de tubería, el diámetro interior mínimo es de 90 mm, aunque se acepta 75 mm para pasajes que tengan conexiones a tuberías de mayor diámetro a menos de 50 m de cualquier punto de la tubería. La DOH (2023) indica que el criterio anterior aplica específicamente para sistemas del segmento mayor, mientras que para el resto de segmentos el diámetro interior mínimo es de 75 mm, aceptando 63 mm para pasajes y/o ramales, aunque en la práctica este diámetro no se recomienda. Además, el manual también indica que aquellas tuberías que abastecen grifos tienen que tener un diámetro interior mínimo de 90 mm desde el punto de alimentación.

Continuando con las presiones de diseño, para el caudal máximo horario, la presión mínima de diseño debe ser de 15 m.c.a, mientras que la presión máxima, asociada a la presión estática, debe ser menor que 70 m.c.a. Además, en el caso del uso de grifos, la

presión mínima debe ser mayor o igual a 5 m.c.a, considerando el caudal máximo diario más la demanda de incendio, en caso de que corresponda.

Por otra parte, la normativa establece que todas las redes de distribución deben incluir grifos de incendio, donde las tuberías que conectan los grifos con el estanque deben tener un diámetro interior mínimo de 90 mm. Además, se establecen lineamientos para la distancia entre grifos y la línea oficial de la propiedad más alejada, asociados específicamente a la distancia máxima a través de calles, los cuales indican que:

- Para conjuntos de edificaciones aisladas, la distancia máxima debe ser de 150 m.
- Para conjuntos de edificaciones continuas, entre 3 a 50 unidades habitacionales, la distancia máxima debe ser de 100 m.
- Para conjuntos de edificaciones continuas de más de 50 unidades habitacionales, la distancia máxima debe ser de 50 m.

Ahora bien, según la DOH (2023), solo se consideran grifos de incendio para proyectos con más de 600 arranques proyectados, donde se considera el uso de un grifo simultáneo cuando los arranques proyectados más los existentes se encuentren entre 600 y 1.500, mientras que si se superan los 1.500 arranque se consideran dos grifos de uso simultáneo. Además, se indica que para zonas que tengan una distribución de viviendas y equipamiento con características urbanas, la distancia máxima entre los grifos y la línea oficial de la propiedad más alejada es de 150 m. En cambio, cuando los sistemas no presentan estas características o tienen una cantidad menor a 600 arranques, se indica la instalación de un solo grifo a la salida del estanque, que puede ser ubicado en otro punto en caso de que el estanque sea de difícil acceso, dadas las autorizaciones correspondientes.

Con respecto a los materiales de las tuberías, la NCH691 (Instituto Nacional de Normalización, 2015) indica que la selección de materiales debe tener en consideración las condiciones del terreno y las diversas características asociadas a la red, como la demanda, diámetros, presiones de servicio, entre otros, y a su vez los materiales deben cumplir con la normativa chilena pertinente. No se hace mención sobre materiales específicos, pero la DOH (2023) establece que, para tuberías expuestas a la intemperie, se debe utilizar acero galvanizado, acero al carbono o HDPE. Además, se indica que el material de las tuberías de la red de distribución debe ser de PVC o HDPE, cumpliendo con calidades mínimas de Clase 10 o Presión Nominal 10, según corresponda. Para cada caso, los materiales deben estar autorizados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios y contar con Certificación de Calidad de Producto.

Por último, la DOH (2023) establece que para poder diseñar la red de distribución de agua potable se debe modelar en un software computacional para tres situaciones.

- Situación estática.
- Situación dinámica al año 20.
- Situación dinámica al año 20 + demanda de agua por incendio.

La situación estática consiste en el caso en que no existe demanda sobre el sistema, tal que se pueda verificar que no se superen las presiones máximas dentro de éste. En cambio, la situación dinámica considera el criterio de máximo caudal entre el consumo máximo horario y el consumo máximo diario más la demanda de agua para incendio,

cuando corresponda. Así, se deben cumplir los límites de presión establecidos y, para el caso de la velocidad dentro de las tuberías, su valor no puede superar los 3 m/s, a menos que sea justificado técnicamente y autorizado por la Autoridad Competente.

2.3. Antecedentes comunales

Puesto que tanto Potrerillo Alto como Camarico Chico se encuentran dentro de la comuna de Ovalle, a continuación se presentan distintos antecedentes a nivel comunal que permiten caracterizar a su población.

2.3.1. Caracterización demográfica

En relación a la población de la comuna de Ovalle, la Municipalidad de Ovalle (2020) indica que, según el Censo 2017, a ese año la comuna tenía 111.272 habitantes. Del número anterior, el Plan Regulador Intercomunal de la Provincia de Limarí (PRI) señala que 35.692 habitantes pertenecen a la zona rural (Municipalidad de Ovalle, 2020). Ahora bien, se establece que el PRI refleja de mejor manera la población rural de la comuna que los resultados del Censo 2017 debido a diferencias en su definición de ruralidad.

2.3.2. Niveles de pobreza

El PLADECO de la Municipalidad de Ovalle (2020) establece que, según la Encuesta de Caracterización Socioeconómica CASEN 2015, el 23,45 % de la población está en el nivel de pobreza multidimensional, siendo un número mayor al regional y nacional, de 19,9 % y 16,63 %, respectivamente. Por otro lado, en el mismo documento también se indica que el porcentaje de la población sin acceso a servicios básicos dentro de la comuna es de 16,6 %, que es ligeramente superior al porcentaje regional de 15,7 % y nacional de 14,4 %.

2.3.3. Actividad económica

Las principales actividades económicas en la comuna de Ovalle, según el Censo 2017, son la Agricultura y ganadería, Comercio, Construcción, Educación y Transporte (Municipalidad de Ovalle, 2020). Además, la misma fuente indica que, a noviembre de 2019, la tasa de desocupación es de 5,6 % y existen 32.630 ocupados.

2.3.4. Problemas y actividades a realizar

Mediante conversaciones con los dirigentes de la Unión Comunal de Juntas de Vecinos Rurales, la Municipalidad de Ovalle (2020) indica que las problemáticas identificadas por dichos dirigentes, asociadas al recurso hídrico, son las siguientes:

- Ampliar los sistemas APR y mejorar la fiscalización y repartición de agua.
- Fiscalización de pozos ilegales.
- Desarrollar proyectos para aprovechar captación de aguas lluvias.
- Las grandes empresas (agrícolas, mineras, “ripiernas”) ocupan mucha agua, debe regularse su desempeño.

Además, la Municipalidad de Ovalle (2020) establece soluciones asociadas a distintas áreas de trabajo. Acotándose al uso del agua, en el área de Cambio Climático y Medio Ambiente los planes son principalmente actividades asociadas al diseño de marcos normativos para protección del medio ambiente e implementación de medidas de protección y mitigación, además de actuar hacia la optimización del uso de agua, distribución y concientización de la comunidad. Por otro lado, en el área de “Desarrollo Urbano e Infraestructura” la única actividad asociada al recurso hídrico es el “Diseño y desarrollo de proyectos de servicios sanitarios y de electrificación en localidades y sectores que lo requieran” (Municipalidad de Ovalle, 2020), cuyo responsable es la Secretaría Comunal de Planificación (SECPLAN). De esta forma, si bien las problemáticas establecidas por los dirigentes se consideran en parte, como la elaboración de marcos normativos, no se entrega una solución directa.

2.4. Caracterización espacial de la zona de estudio

Para poder elaborar cualquier proyecto asociado a sistemas de APR, es necesario conocer distintos antecedentes de la zona, como su clima, geomorfología, fuentes de abastecimiento, entre otros. En la Figura 2.1 se puede observar que tanto Potrerillo Alto como Camarico Chico se ubican dentro de la cuenca del Río Limarí, sub-cuenca Río Limarí y dentro del SHAC Punitaqui. Los SHAC corresponden a delimitaciones territoriales definidas por la Dirección General de Aguas que buscan agrupar acuíferos o partes de ellos para efectos de su evaluación hidrogeológica, por lo que son independientes de líneas divisorias de aguas subterráneas y a divisiones de cuencas y sub-cuencas (Dirección General de Aguas, 2020).

Localidades de estudio Delimitación de cuenca, sub-cuenca y SHAC Región de Coquimbo

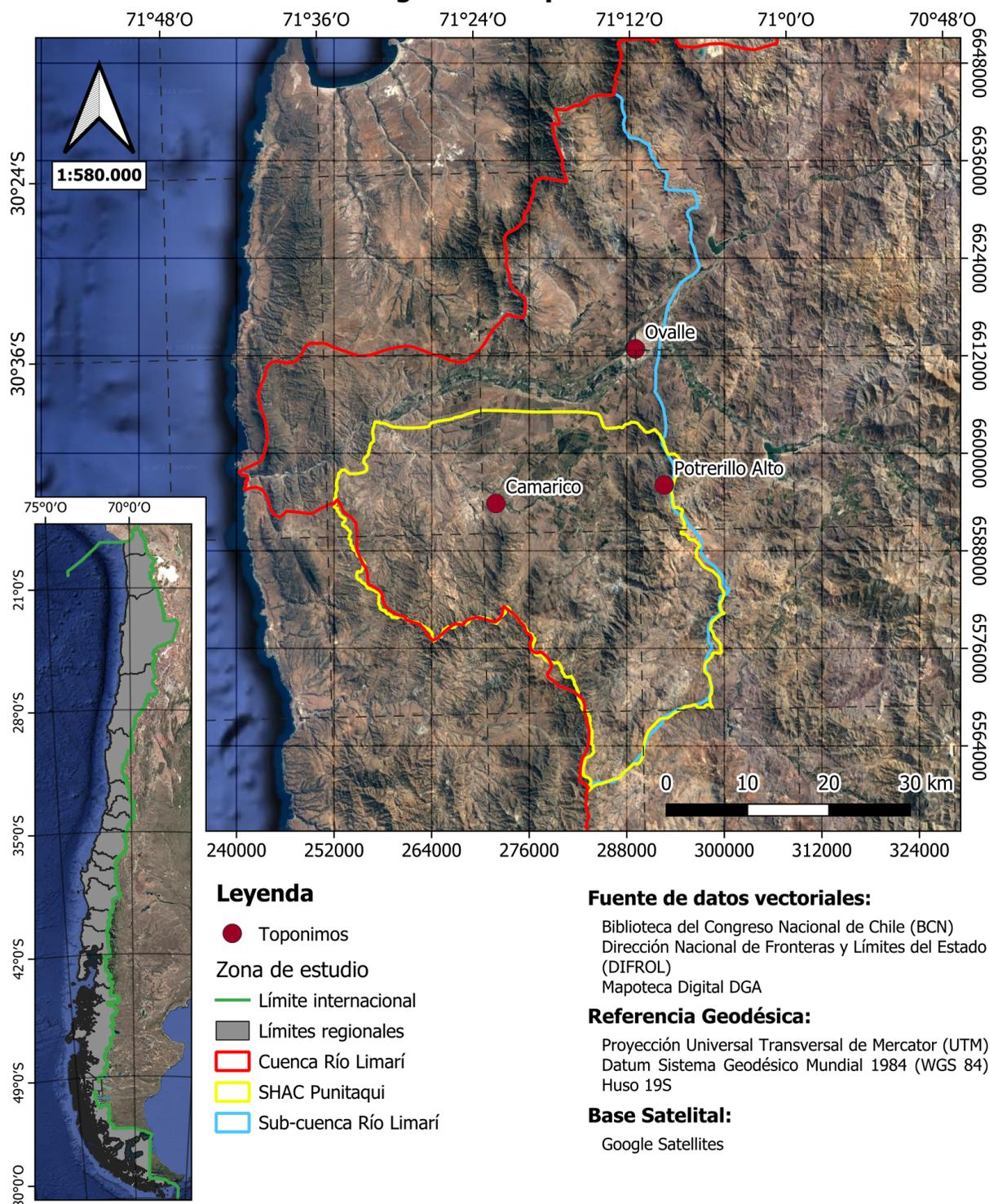


Figura 2.1: Delimitaciones de cuenca, sub-cuenca y SHAC asociados a las zonas de estudio.

A continuación se presentan los antecedentes asociados a la cuenca del Río Limarí y al

SHAC Punitaqui de manera general, mientras que en el siguiente capítulo se adentrará en aquellos antecedentes asociados a los dos APR de estudio:

2.4.1. Clima

Según la DGA (2020), la cuenca del Río Limarí “se encuentra bajo la influencia de un bioclima seco y árido, que implica sequías prácticamente todo el año”, con la excepción de los meses de invierno, en donde ocurren el 70 % de las precipitaciones. Además, la temperatura media anual es de alrededor de 17 °C, con una mínima de 10 °C y una máxima de 24 °C. (Dirección General de Aguas, 2020).

2.4.2. Precipitaciones

Los mayores eventos de precipitación ocurren sobre los 1.000 m de altura y, a escala de cuenca, anualmente se recibe un promedio de 90 mm por el norte y 280 mm por el sur, pero existe una tendencia a la baja de -25 mm/década (Dirección General de Aguas, 2020).

2.4.3. Geomorfología

El relieve de la cuenca del Río Limarí es montañoso, con gran presencia de angostos valles alargados, en algunos casos de gran extensión (Dirección General de Aguas, 2020). Según la misma fuente, en las zonas de la Cordillera de los Andes se presentan alturas entre los 3.500 m y 6.000 m, con capacidad de retención nival. Bajo esta zona, a alturas menores a los 3.000 m, el relieve es desmembrado y discontinuo. Luego, entre los 500 m y 300 m existen terrazas de sedimentación marina, con quebradas formadas por los ríos y esteros que desembocan al mar. Finalmente, bajo los 300 m la cuenca se compone completamente de terrazas sedimentarias y se ubican los acuíferos productivos de la cuenca, debido a la permeabilidad del suelo.

2.4.4. Hidrogeología

La DGA (2020) indica que la hidrogeología de la cuenca del Río Limarí “ocurre en la unidad litológica de sedimentos”, lo que permite la formación de acuíferos, que varían en permeabilidad dependiendo de su composición. Los sectores más permeables tienen una alta interacción con los principales ríos de la cuenca, formándose acuíferos libres de entre 6 m y 30 m con una alta conductividad hidráulica. Por otro lado, hay sectores con una conductividad hidráulica menor a la anterior debido a la presencia de arenas, gravas y limos, con espesores que llegan hasta los 100 m, conformando principalmente acuíferos libres, pero también algunos semi-confinados y confinados. Por último, en el sector este de la cuenca se presentan zonas con rocas fracturada donde se pueden conformar acuíferos de media a baja permeabilidad. Los pozos de esta zona corresponden a acuíferos libres de entre 3 m a 30 m.

2.4.5. Balance Hídrico

La modelación hidrogeológica de la cuenca elaborada por la DGA (2020) arroja que el balance hídrico entre 1964 y 2018 tiene una diferencia entre entradas y salidas de $-0,03 \text{ m}^3/\text{s}$, mientras que entre 2008 y 2018 esta diferencia es de $-0,35 \text{ m}^3/\text{s}$, provocado por el aumento de las extracciones y la disminución de las recargas.

2.4.6. Estado del SHAC Punitaqui

La DGA, mediante el Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos (2008) establece las condiciones necesarias para establecer un SHAC como área de restricción, tal que no se puedan otorgar derechos de aprovechamiento para extracciones de aguas subterráneas. Para establecer un área de restricción es necesario que se cumpla una o más de cinco condiciones, definidas como los siguientes criterios por la DGA (2020):

- **Criterio 1:** Descensos sustentables en el tiempo a nivel de sector de acuífero

Los descensos de volumen de aguas subterráneas en el largo plazo (50 años) no deben afectar más allá de un 5 % del volumen total del acuífero.

- **Criterio 2:** Interferencia río-acuífero

Establece que el flujo entre río y acuífero debe ser menor que el 10 % del caudal medio anual del río con un 85 % de probabilidad de excedencia.

- **Criterio 3:** Satisfacción de la demanda

Indica que el caudal de recarga del acuífero en el punto de extracción tiene que ser mayor que el 95 % del caudal de extracción simulado como consumo efectivo.

- **Criterio 4:** Pozos secos

Se refiere a que, en cada SHAC, el número de pozos secos no debe ser mayor al 5 % con respecto al número de pozos totales.

- **Criterio 5:** Afectación de sectores abiertos

Establece que el aumento de demanda de un sector no debe afectar desfavorablemente a áreas vecinas, por ejemplo, que se deje de cumplir algún criterio anterior. Puesto que la DGA (2020) realiza la modelación hidrogeológica de la cuenca, se considera este criterio como que el flujo lateral neto de un sector no debe verse afectado sobre un 5 % del volumen total acumulado al último año de simulación.

Según la modelación hidrogeológica de la cuenca del Río Limarí desarrollada por la DGA (2020), se determinó que el SHAC Punitaqui sólo cumple con los criterios 1 y 2, además de que, al analizar su cambio en el almacenamiento mensual de aguas subterráneas, en el período evaluado entre 1964 a 2018, se presentan más años con cambios negativos, con valores positivos en 2014 y 2016 y nuevamente negativos en 2018, por lo que el SHAC se encuentra en riesgo. Aún así, según la información obtenida del proyecto realizado en el software *QGIS*, el SHAC Punitaqui se encuentra abierto al otorgamiento de nuevos DAA, aunque la DOH (2020) afirma que, comparando el volumen entregado por el SHAC a esa fecha con el volumen sustentable requerido, no hay caudal restante, por lo que en la realidad no tendría disponibilidad, aún cuando el SHAC se encuentre abierto.

2.5. Caracterización de sistemas de APR en la región

Al año 2016, en la Región de Coquimbo existían 185 Comités y Cooperativas de APR registrados dentro del Programa de Agua Potable Rural de la DOH, donde 33 pertenecen a la comuna de Ovalle (CAZALAC, 2016). Ahora bien, existen sistemas de APR que no

se encuentran dentro del programa, por lo que en la realidad la cantidad es superior. A continuación se presentan distintas características de los APR dentro de la región y de la comuna de Ovalle.

2.5.1. Tipos de tratamiento

CAZALAC (2016) afirma que, de los 185 sistemas considerados dentro de la región, existen 34 sistemas con plantas de filtrado. De los anteriores, 10 pertenecen a la comuna de Ovalle, donde los parámetros que abaten sus filtros son hierro, manganeso, nitritos, nitratos y/o turbiedad. Además, nuevamente a nivel regional, hay 11 sistemas que tienen plantas de osmosis inversa para tratar aguas salobres. A nivel comunal, ocho sistemas tienen este tipo de plantas, cuyas fuentes son continentales.

2.5.2. Almacenamiento

De los 33 sistemas de APR considerados dentro de la comuna de Ovalle, 72% tienen estanques semi-enterrados de hormigón armado, mientras que el 28% restante posee estanques de acero inoxidable (CAZALAC, 2016).

2.5.3. Estado de fuentes de agua

Según CAZALAC (2016), 59 de los 185 sistemas de APR de la región tienen algún tipo de problema en sus fuentes de agua. Específicamente en los sistemas de la comuna de Ovalle, 16 no presentan problemas, 13 tienen fuentes que no entregan la dotación necesaria para abastecer a su población, uno presenta un déficit severo, que significa que es abastecido mediante camiones aljibe, uno es abastecido por Aguas del Valle a través del Art. 52 Bis y se encuentra disconforme con el servicio entregado y, por último, no se tiene información respecto a 2 sistemas.

2.5.4. Declaraciones de agotamiento y restricción de SHAC

Dentro de la región de Coquimbo, solamente 27 de 185 de los sistemas de APR no se encuentran dentro de una zona con declaración de agotamiento de recursos superficiales. Particularmente en la comuna de Ovalle, 31 sistemas se encuentran dentro del área de agotamiento del río Limarí y sus afluentes, con los dos restantes encontrándose fuera del área (CAZALAC, 2016).

Por otro lado, a nivel regional 95 de 185 sistemas de APR se encuentran dentro de SHAC con restricción de otorgamiento de DAA, con solo 8 de ellos pertenecientes a la comuna de Ovalle (CAZALAC, 2016). Ahora bien, tal como se mencionó anteriormente, el SHAC Punitaqui se encuentra abierto pero, en la realidad, no tiene la disponibilidad de recursos como para otorgar más DAA, el cual es el caso de todos los SHAC de la sub-cuenca del Río Limarí con la excepción de Higuierilla, ya que tiene restricción (Dirección de Obras Hidráulicas, 2020). Por esta razón, la cantidad de sistemas de APR dentro de un SHAC con o sin restricción no es información suficiente para establecer su situación ante solicitudes/otorgamiento de nuevos DAA.

2.5.5. Derechos de aprovechamiento de aguas

A escala regional, 98 de 185 sistemas de APR tienen sus DAA regularizados, con 20 de ellos pertenecientes a la comuna de Ovalle. Con respecto al resto de sistemas a nivel comunal, cinco realizan compra de agua a Aguas del Valle mediante el Art. 52 Bis, otros cinco no poseen DAA pero se encuentran en trámite y los últimos tres no tienen DAA ni se encuentran en trámite (CAZALAC, 2016).

Por otro lado, según el estudio realizado por la DOH (2020) que contempla 93 sistemas de APR limitados a la cuenca del río Limarí compuestos por 188 captaciones, 77 de ellas no poseen DAA según los registros de la DGA. De las 111 captaciones restantes, la ubicación en terreno de solo 15 de ellas se encuentra a menos de 10 m de lo indicado en el registro de DAA.

Por último, la DOH (2020) también analizó las transacciones del mercado de aguas a nivel de cuenca y por SHAC, determinando el precio de sus DAA. De esta forma, el precio del L/s en el SHAC Punitaqui, a octubre de 2020, era de 178,3 UF, que corresponde a la mediana de 112 transacciones realizadas dentro de dicho SHAC.

2.5.6. Antigüedad de los sistemas

Respecto a la antigüedad de los sistemas de APR a nivel comunal, considerando sus años de servicio, ocho de ellos tienen más de 30 años, nueve se encuentran en el rango entre 20-30 años, ocho entre 10-20 años y nueve entre 1-10 años (CAZALAC, 2016).

2.5.7. Nivel de escolaridad de comités

Según las encuestas realizadas a los 185 sistemas considerados dentro del programa, CAZALAC (2016) agrupa a los miembros de los comités y cooperativas en tres áreas: dirigencial, administrativa y operativa. La primera está compuesta por el presidente, secretario y tesorero, la segunda por el secretario administrativo y la última por el operador. De esta forma, la Figura 2.2 presenta los niveles de escolaridad de cada área dentro de los sistemas de APR de la comuna de Ovalle detallados en el mismo estudio.

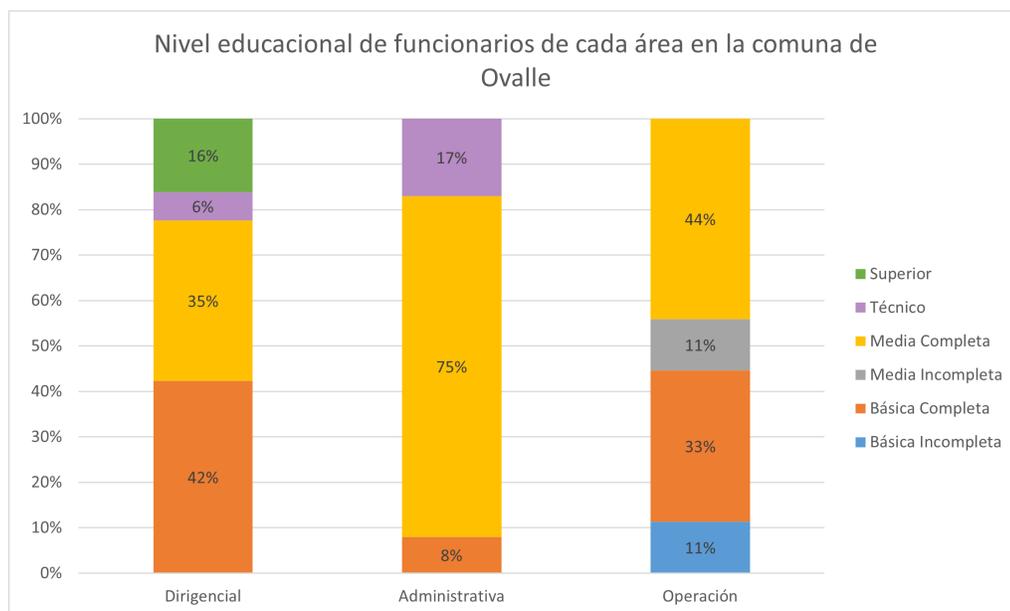


Figura 2.2: Nivel educacional de los funcionarios de cada área de comités y cooperativas los sistemas de APR de la comuna de Ovalle. Fuente: CAZALAC (2016).

2.6. Problemáticas

La caracterización de los sistemas de APR de la región permite vislumbrar la existencia de distintas problemáticas que los afectan, como el estado de fuentes de agua, la situación de DAA, la disponibilidad de recurso hídrico en los SHAC, entre otros. Por esta razón, considerando los problemas identificados por CAZALAC (2016), los informes de alumnos que realizaron sus prácticas profesionales durante el año 2022 en distintos APR de la región y el informe de Aguas del Valle (2021), que describe la asesoría a 202 comités del Programa de Agua Potable Rural en las provincias de Elqui, Limarí y Choapa de la región de Coquimbo durante el año 2020, a continuación se presentan distintos problemas identificados en los APR de la región agrupados en las áreas administrativa y técnica.

2.6.1. Área administrativa

- **Tarifas estáticas**

Según Aguas del Valle (2021), muchos de los comités de los sistemas de APR visitados se esfuerzan por mantener una tarifa fija en el tiempo, con el objetivo de no molestar a los beneficiarios, lo que provoca que se genere un déficit de dinero debido a los crecientes gastos fijos y variables asociados al funcionamiento del sistema, que deriva a una falta de recursos para realizar inversiones o mejoras.

- **Anomalías en jornadas laborales**

Aguas del Valle (2021) también afirma que no todos los sistemas llevan registro de asistencia o de horas trabajadas de sus trabajadores, que corresponde a una obligación del empleador según el artículo 33 del Código del Trabajo. Además, también se indica que hay operadores que superan la cantidad de horas trabajadas que permite la normativa.

- **Desorganización de registros y falta de digitalización**

Tanto las experiencias de las prácticas profesionales realizadas por los estudiantes del DIC durante el 2022 como CAZALAC (2016) establecen que los sistemas de APR de la región presentan una falta de sistemas de gestión de sus archivos (inventarios, niveles freáticos, consumos, monitoreo de calidad del agua, etc.), además de no tener esta información digitalizada. Por otro lado, en general, los sistemas no cuentan con un registro histórico completo y ordenado de las obras realizadas, lo que significa la falta de planos del sistema (red de distribución, recinto de tratamiento, captación, estanques, entre otros). Ahora bien, independiente a lo indicado por CAZALAC, testimonios de distintos comités indican que no recibieron información de planos o diseños del sistema por parte de las autoridades.

2.6.2. Área técnica

- **Cierres perimetrales dañados**

Aguas del Valle (2021) indica que en los sistemas visitados los cierres perimetrales de distintas instalaciones del sistema se encuentran dañados debido a su antigüedad, lo que constituye un riesgo de accidentes de los miembros de los comités o incluso terceros.

- **Operadores sin elementos de protección personal**

En los distintos APR visitados por Aguas del Valle (2021) se les da poca importancia a los elementos de protección personal, ya sea por parte de la directiva o de los mismos trabajadores.

- **Falta de gestión administrativa del operador**

Si bien el operador se encarga del área técnica, también es responsable del registro de información relevante para el funcionamiento del sistema, como la producción de agua, las pérdidas, el control del cloro libre residual, entre otros. Según Aguas del Valle (2021), aún cuando la situación ha ido mejorando, todavía existen algunos comités que requieren mayor trabajo en éste ámbito.

- **Existencia de pozos irregulares**

Aguas del Valle (2021) también afirma que, dada la escasez hídrica en la zona, la construcción de pozos clandestinos afecta en gran medida a los comités de la región, ya que genera una mayor carga en los niveles freáticos de los pozos de los sistemas, siendo esta una problemática externa a los propios comités.

Capítulo 3

Casos de estudio

Establecida una imagen del estado actual de los sistemas de APR a nivel regional/comunal, en este capítulo se realizará una caracterización de los dos sistemas de APR de interés, Camarico Chico y Nuevo Futuro, mediante la información bibliográfica revisada, la información recopilada durante la visita a terreno realizada en enero de 2023 y los informes de práctica de los estudiantes que trabajaron en estos sistemas durante el verano de 2023.

3.1. APR Camarico Chico

3.1.1. Caracterización de la zona

Camarico es una localidad ubicada en la región de Coquimbo, comuna de Ovalle, a alrededor 25 km al suroeste de la ciudad de Ovalle y aproximadamente 33 km de la costa, y se divide en tres zonas: Camarico Chico, Camarico Viejo y La Villa.

Además, la localidad se encuentra dentro de la cuenca del Río Limarí, por lo que comparte las características climatológicas y de precipitaciones de la cuenca presentadas en el capítulo anterior. Según la información de terreno y *Google Earth Pro*, presenta elevaciones entre 130 - 180 m s. n. m., además de estar caracterizado por sus montes.

3.1.2. Contexto y organización

El sistema de APR Camarico Chico fue fundado el año 1999, siendo administrado y operado por un comité conformado por los siguientes miembros:

Tabla 3.1: Miembros del comité y funcionarios del APR Camarico Chico.

Cargo	Nombre
Presidenta	Rosa Margarita Morales Tello
Secretaria	Maria Fernanda Conteras Tello
Tesorero	Jose Agustín Araos Rivera
Operador	Juan Mundaca
Secretaria	Evelyn Vega
Suplente	Ema Isabel Zepeda Rodriguez
Suplente	Bartola Antonieta Araya Castro
Suplente	Marcela del Carmen Urrua Tello

3.1.3. Caracterización demográfica

El comité del sistema informa que los habitantes de Camarico tienen como principal ocupación la agricultura, ganadería y minería, donde la mayoría de la población es adulto mayor. La DOH (2020) indica que, al año 2019, se abastecía a 233 personas, y la información de terreno establece que el sistema cuenta con 183 arranques a la fecha de marzo de 2023. Dicho esto, según el Instituto Nacional de Estadísticas (2019a), Camarico Viejo corresponde a un caserío con 86 habitantes y 43 viviendas, que significa una densidad de habitantes de 2 hab/vivienda, mientras que no se hace mención de La Villa ni Camarico Chico. Por otro lado, información georreferenciada del INE (2017) indica que la localidad de Camarico pertenece a los distritos censales “Camarico Viejo” y “Camarico”, que tienen una densidad de habitantes de 2,26 hab/vivienda y 2,57 hab/vivienda, respectivamente (Instituto Nacional de Estadísticas, 2019b).

Por otro lado, respecto al crecimiento poblacional, la DOH (2020) afirma que, considerando la información censal de los años 2022 y 2017 y la ecuación 2.8, la tasa de crecimiento geométrica del APR Camarico Chico - Camarico Viejo es de 0,52 %, aunque también presentan una tasa de crecimiento estandarizada de 1 %, puesto que establecieron un límite inferior de 1 % para evitar tasas de crecimiento negativas en otros sistemas de APR.

3.1.4. Características del sistema

La visita a terreno y el informe de práctica entregan los siguientes detalles respecto a las características y funcionamiento del sistema:

- **Captación - Impulsión**

Las fuentes de agua que abastecen el sistema son subterráneas, contando con una noria y un pozo.

- **Noria**

Tiene una profundidad de 7 m y diámetro de 3 m, conectada a la red mediante dos tubos de UPVC. Entrega 1,35 L/s mediante una bomba marca Franklin Electric de 3 HP, 2880 RPM, 14,3 A y 220 V, la cual funciona entre 14 a 15 horas por día de forma alternada con la bomba del pozo, semana por medio.

– Pozo

Posee una profundidad de 52 m y conecta a la red mediante 12 tuberías de UPVC. Cuenta con 3 sondas para medir el nivel del agua en el pozo, a 38 m, 35,5 m y 27 m de profundidad. Entrega 1,35 L/s, utiliza el mismo modelo de bomba que la noria y tiene el mismo funcionamiento que ésta, es decir, entre 14 a 15 horas por día de forma alternada con la bomba de la noria, semana por medio.

Además, las tuberías de la impulsión de ambas fuentes son de 75 mm y de HDPE, que corresponden a las mismas características de las tuberías que conectan con los estanques de almacenamiento.

Por último, dentro del registro de derechos de aprovechamiento de aguas otorgados por la DGA (2023), se indica que el comité de APR de Camarico Chico - Camarico Viejo tiene asignado un caudal de 18 L/s con ejercicio permanente y continuo.

• Tratamiento

El sistema cuenta con un filtro de hierro-manganeso y desinfección mediante un dosificador de cloro. La Figura 3.1 muestra una fotografía del filtro de hierro-manganeso tomada en la visita a terreno, mientras que el detalle de su funcionamiento se indica más adelante.



Figura 3.1: Filtro abatidor de hierro-manganeso del sistema de APR Camarico Chico.

Además, el comité informa que que no han tenido problemas de calidad del agua, realizando ensayos físico-químicos cada tres meses y bacteriológico una vez al año.

- **Almacenamiento**

El agua potable es almacenada en dos estanques, uno elevado metálico de 25 m³ y 25 m de alto y otro de hormigón armado semi-enterrado de 20 m³, donde el primero es el principal debido a que tiene una mayor cota que el segundo y permite abastecer a todo el sistema. Ambos estanques cuentan con flotadores, que envían una señal al presostato para que éste detenga la bomba en cuanto se alcance la máxima capacidad de almacenamiento. Además, los estanques se encuentran estandarizados por el ex-Servicio Nacional de Obras Sanitarias, por lo que se dispone de sus planos tipo.

- **Distribución**

Dependiendo del sector, las tuberías de la red de distribución son de PVC o HDPE, de 63 mm y 75 mm. Además de esto tienen múltiples cámaras de válvulas de corte en distintos puntos de la red en caso de fallas, pero el consumo no se encuentra sectorizado, informando a Aguas del Valle del consumo mensual de todo el sistema. Por otro lado, se abastecen 183 arranques a la fecha de marzo de 2023, con 73 solicitudes de conexión a la espera, que corresponden a residentes del lugar y no a segundas viviendas.

- **Antecedentes de producción**

Dentro de la información disponible en el informe de práctica recibido, se indica la producción y consumo de agua durante el año 2022, por lo que utilizando la ecuación 2.1, se obtiene que el sistema tiene un porcentaje de aguas no contabilizadas de 18,79 %. En el anexo A.1 se pueden verificar los detalles de producción y consumo del sistema.

- **Instalaciones**

Todas las instalaciones del sistema se encuentran dentro de recintos cerrados, aunque durante la visita a terreno se observó que el portón del recinto del pozo se encontraba en mal estado. Además de esto, la noria, el sistema de tratamiento y la caseta de operación se encuentran dentro del mismo recinto. Dentro de la caseta se ubica el dosificador de cloro y su respectivo tanque de almacenamiento, además del presostato, tablero eléctrico, caudalímetro y distintas válvulas. El presostato se comunica con el estanque de almacenamiento y las bombas del pozo y la noria, deteniendo el funcionamiento de dichas bombas cuando los niveles de agua disminuyen o cuando el estanque de almacenamiento se encuentra lleno. Además, el tablero eléctrico permite observar el funcionamiento de las bombas y, cuando sea necesario, accionarlas de forma manual.

- **Antecedentes de proyectos anteriores**

El comité informa que el sistema de APR ha contado con los siguientes proyectos desde su construcción:

- Habilitación de estanque semi-enterrado de hormigón armado y cambio de carga del filtro abatidor de hierro-manganeso en 2018.
- Cambio de bomba y ampliación de red de distribución en 2019, realizado con ayuda del municipio.
- Cambio de tuberías de red de distribución del sector Camarico Chico, a PVC con 75 mm de diámetro. También consideró el cambio de cámaras de corte y desagüe.

Por último, en la Figura 3.2 se presenta un esquema del sistema de producción del APR, donde se detalla el funcionamiento del filtro y el retrolavado, mientras que la Figura 3.3 corresponde a una cartografía de la red de distribución.

Layout de sistema de producción de agua potable del APR Camarico Chico

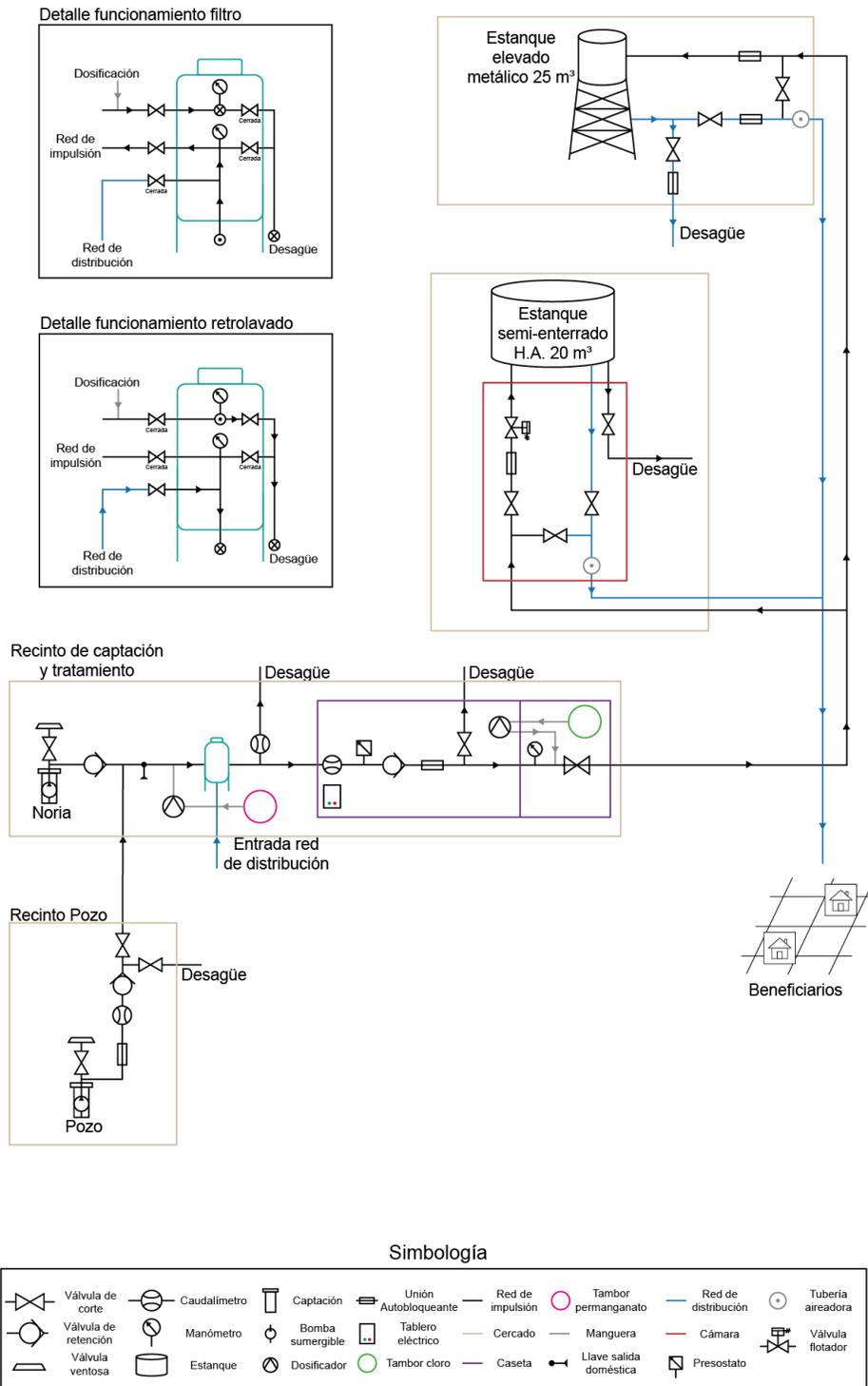


Figura 3.2: Layout del sistema de producción del APR Camarico Chico.

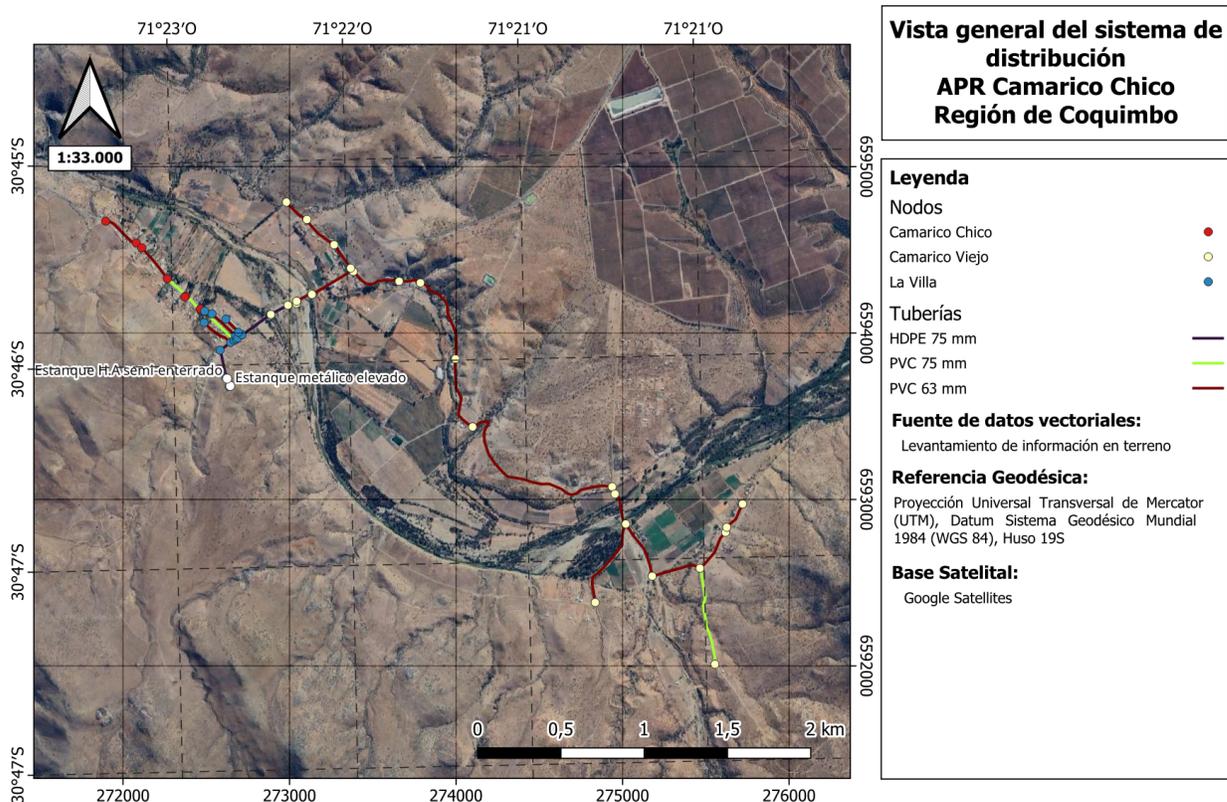


Figura 3.3: Cartografía de la red de distribución actual del APR Camarico Chico.

3.2. APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto

3.2.1. Caracterización de la zona

Potrerillo Alto es una localidad que se ubica en la región de Coquimbo, comuna de Ovalle, a alrededor de 12 km al sur de la ciudad de Ovalle. Al igual que el otro caso de estudio, Potrerillo Alto se encuentra dentro la cuenca del Río Limarí, por lo que también presenta las mismas características climatológicas y de precipitaciones indicadas en el capítulo anterior. La información levantada en terreno establece que la localidad presenta elevaciones entre 290 - 385 m s. n. m., además de estar rodeada por múltiples cerros.

3.2.2. Contexto y organización

El sistema de APR Nuevo Futuro fue fundado el 4 de diciembre del 2003 y es administrado y operado por un comité. Los miembros de dicho comité y los funcionarios del sistema se encuentran en la Tabla 3.2

Tabla 3.2: Miembros del comité y funcionarios del APR Nuevo Futuro.

Directiva	
Cargo	Nombre
Presidente	Hernán Segovia
Secretaria	Jacqueline Rivera
Tesorero	Luis Araya
Primer Director	Pedro Mondaca
Segundo Director	Luis Alfaro
Funcionarios	
Cargo	Nombre
Operador	Ruben Olivares
	Ricardo Bolados (reemplazo)
	Carlos Rojo (reemplazo)
Secretaria	Loreto Ramos
	Diana Otarola (reemplazo)
Personal Aseo	Norma Marin

3.2.3. Caracterización demográfica

Según lo indicado por el comité durante la visita a terreno, el sistema abastece a aproximadamente 1.300 personas, compuesto por agricultores, empleados que trabajan en Ovalle, mineros, crianceros y adultos mayores sin ocupación. Además, según el informe de práctica, a la fecha de marzo de 2023 se abastecen 345 arranques, por lo que, considerando las 1.300 personas informadas y que cada arranque corresponde a una casa o vivienda, la densidad de habitantes es de aproximadamente 3,77 hab/vivienda.

En relación al crecimiento poblacional, la DOH (2020) establece que, según información censal de los años 2002 y 2017 y la ecuación 2.8, la tasa de crecimiento geométrica del APR Nuevo Futuro es de 1,11 %.

3.2.4. Características del sistema

Al igual que en el caso de Camarico Chico, la información del informe de práctica y la visita a terreno entregan los siguientes detalles respecto a las características y el funcionamiento del sistema:

- **Captación - Impulsión**

Las fuentes de agua que abastecen al sistema son subterráneas, contando con tres pozos activos, uno inactivo y uno en implementación.

- **Pozo 1**

Corresponde al pozo inactivo, debido a que ya no es posible extraer agua de él.

- **Pozo 2**

Tiene una profundidad de 78 m y un diámetro de 10". Entrega 3 L/s, mediante una bomba sumergible marca Stairs modelo SP90-17 con un motor trifásico marca

Franklin Electric de 15 HP, funcionando durante 24 horas solo un día por semana. La tubería de impulsión que conecta con este pozo es de PVC y posee un diámetro de 110 mm.

– **Pozo 3**

Posee una profundidad de 90 m y un diámetro de 10". Entrega 3 L/s pero solo funciona entre 15 a 30 minutos, por lo que funciona en caso de emergencia y para que no se agripen las bombas. Utiliza la misma bomba sumergible que el pozo 2 y con un motor de la misma marca, pero de 25 HP. Su tubería de impulsión es de HDPE y tiene un diámetro de 110 mm.

– **Pozo 4**

Presenta una profundidad de 122 m y un diámetro de 10". Entrega 4 L/s, utilizando la misma bomba sumergible que los pozos 2 y 3, pero con un motor trifásico marca Vansan de 20 HP, funcionando las 24 horas durante toda la semana. Su tubería de impulsión tiene las mismas características que la del pozo 3.

– **Pozo 5**

Corresponde al pozo por implementar, que posee una profundidad de 144 m y un diámetro de 8". Se contempla utilizar dos bombas, una marca Franklin Electric modelo FPS 630/13 con un motor de 15 HP y otra marca KSB modelo 150 CC 30/13, también con un motor de 15 HP. El comité informa que entrega 8 L/s durante las pruebas de bombeo.

Por último, dentro del registro de derechos de aprovechamiento de aguas otorgados por la DGA (2023), se indica que el comité de APR Nuevo Futuro tiene asignado un caudal de 4 L/s con ejercicio permanente y continuo.

• **Tratamiento**

El sistema solo realiza la desinfección del agua, ya que la calidad de ésta no requiere de filtros. La desinfección se hace mediante una bomba dosificadora de cloro. Además, se realizan ensayos bacteriológicos una vez al año en enero y físico-químicos cada tres meses, y el operador mide el nivel de cloro todos los días.

• **Almacenamiento**

El agua potable es almacenada en cinco estanques, con dos semi-enterrados de hormigón armado y tres plásticos de la marca Bioplastic. Las características de éstos se detallan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Características de los estanques del sistema de APR Nuevo Futuro.

Estanque	Tipo	Altura [m]	Diámetro [m]	Capacidad [m ³]
1	Semi-enterrado Hormigón Armado	4,35	5,80	100
2	Semi-enterrado Hormigón Armado	6,20	4,00	70
3 - 4 - 5	Plástico	2,30	3,33	20

Las valores anteriores corresponden a las dimensiones externas de los estanques, puesto que fueron medidas por el operador, por lo que para el cálculo del volumen es necesario considerar el grosor de los muros y la altura del agua dentro del estanque.

Además, todos los estanques cuentan con flotador, que se comunica con el presostato para detener el funcionamiento de las bombas en cuanto se alcance la máxima capacidad de almacenamiento.

- **Distribución**

La red de distribución tiene distintas características dependiendo del sector, por lo que el sistema está conformado por tuberías de HDPE con diámetros de 63 mm y 110 mm, y tuberías de PVC con diámetros de 63 mm, 75 mm y 110 mm. Además de esto, existen múltiples cámaras con válvulas de corte, de ventosa o de desagüe, especialmente en los puntos donde ocurren cambios de dirección de la red, como en curvas, codos o tees. Por último, también existen dos válvulas reguladoras de presión, donde una fija la presión entre 4 a 5 bar y la otra entre 6 a 7 bar, debido a que existe un sector del sistema que, dada la diferencia de elevación con el estanque, alcanzaría presiones muy altas sin la existencia de las válvulas.

- **Antecedentes de consumo**

La Tabla 3.4 presenta consumos mensuales del sistema en los últimos tres años del APR. Ahora bien, respecto a los antecedentes de producción, la información no se correspondía con los volúmenes consumidos, por lo que se opta por omitirla. Además, el comité informó que la facturación del consumo corresponde a todo el sistema, por lo que no hay sectorización en ese aspecto.

Tabla 3.4: Antecedentes de consumo de agua potable de los años 2020, 2021 y 2022 del APR Nuevo Futuro.

Mes	Consumo Año 2020 [m ³]	Consumo Año 2021 [m ³]	Consumo Año 2022 [m ³]
Enero	3475	5058	6268
Febrero	3252	5720	5463
Marzo	3036	4083	5902
Abril	2896	4888	4631
Mayo	2896	3952	4776
Junio	2791	4143	3955
Julio	2351	3698	3620
Agosto	2241	4250	3858
Septiembre	2802	4920	4693
Octubre	3597	4928	4943
Noviembre	4895	5388	5604
Diciembre	7016	5382	6065
Anual	41248	56410	59778

- **Instalaciones**

Todas las instalaciones del sistema se encuentran dentro de recintos cerrados, ya sean cercados o casetas. Debido a las ubicaciones de los pozos, las aguas extraídas de los pozos 3 y 4 son desinfectadas en la misma caseta, mientras que las del pozo 2 son desinfectadas en otra caseta. Dentro de cada caseta se encuentra el dosificador de cloro con su tanque de almacenamiento, el presostato, caudalímetros, distintas válvulas y un tablero eléctrico asociado a cada pozo. Como fue mencionado anteriormente, el presostato se comunica con los estanques de almacenamiento y las bombas de cada pozo, deteniendo el funcionamiento de las bombas cuando disminuyen los niveles de agua en los pozos o se alcanza la capacidad máxima de los estanques. Cada tablero eléctrico permite observar el estado de su bomba asociada y accionarla de forma manual, en caso de que sea necesario. Por último, el pozo 5 se ubica en el mismo recinto que los pozos 3 y 4.

- **Antecedentes de proyectos anteriores**

Según lo informado por el comité, el sistema de APR ha contado con los siguientes proyectos desde su construcción:

- Construcción de estanque de 100 m³ en 2018.
- Pozo 4 construido en 2020 e implementado a mediados de 2021.
- Conservación, mejoramiento de redes y ampliación, que se encuentra en fase de diseño.

Por último, en la Figura 3.4 se presenta un esquema del sistema de producción del APR, mientras que en la Figura 3.5 se observa una cartografía del sistema de distribución.

Layout de sistema de producción de agua potable del APR Nuevo Futuro, Potrerillo Alto

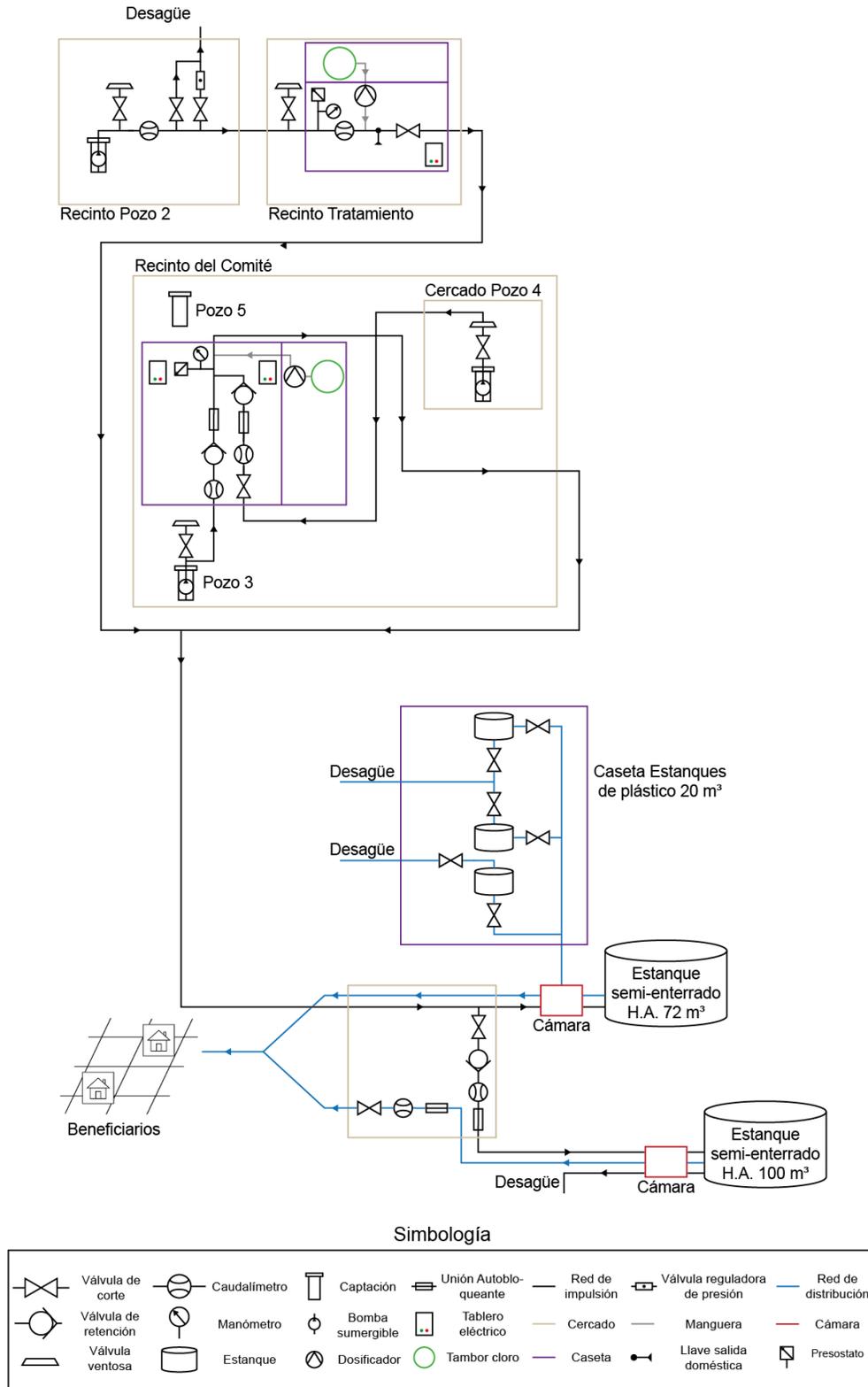


Figura 3.4: Layout del sistema de producción del APR Nuevo Futuro.

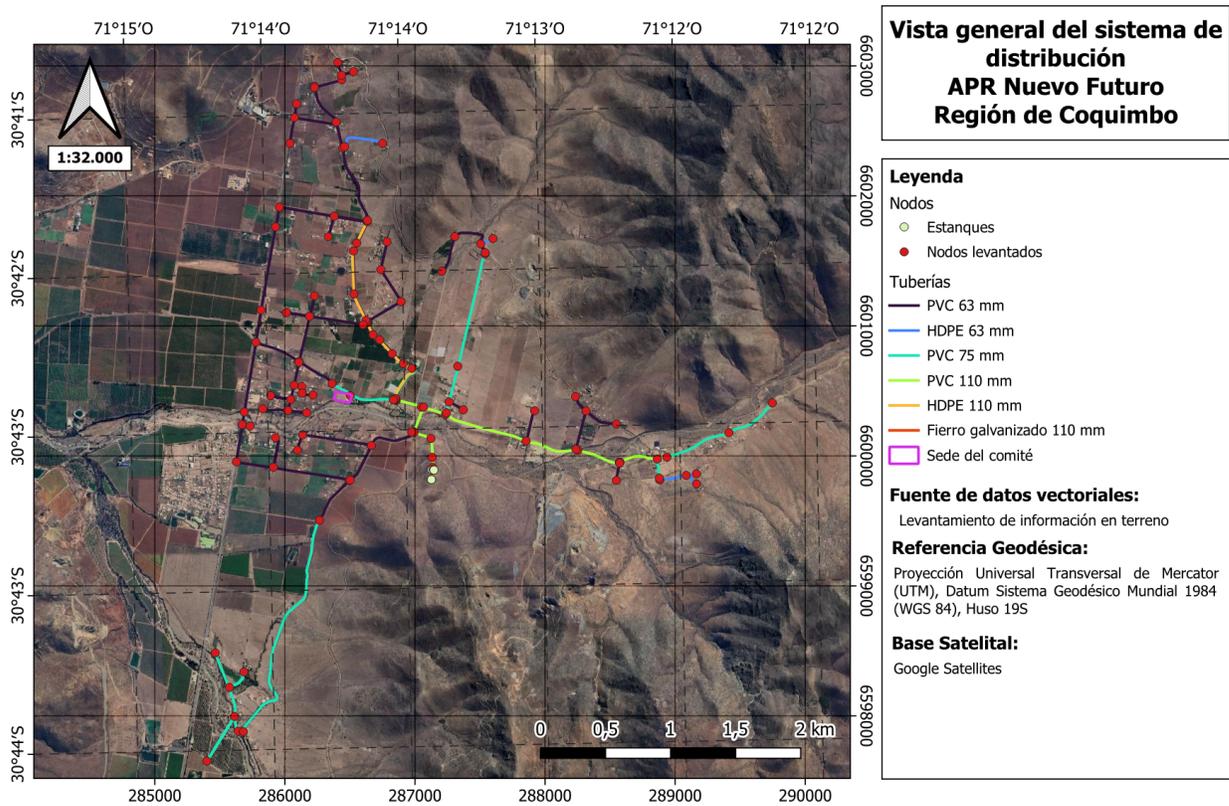


Figura 3.5: Cartografía de la red de distribución actual del APR Nuevo Futuro.

Capítulo 4

Problemáticas en los APR de estudio

A continuación se presentan las problemáticas informadas por los comités de cada sistema de APR, los informes de práctica recibidos y lo observado en la modelación de los sistemas de distribución.

4.1. APR Camarico Chico

Los principales problemas que se presentan en el sistema de APR Camarico Chico son los siguientes:

- No se dispone de los planos del sistema ni de la red de distribución.
- Existen 73 solicitudes para sumarse al sistema, distribuidos en cuatro sectores donde aún no está implementada la red de distribución. Estas solicitudes corresponden a locatarios, no a segundas viviendas.
- Falta de recursos para extender la red de distribución.
- La red de distribución del sector Camarico Viejo tiene 23 años, por lo que es muy antigua. Además, toda la red de éste sector es de PVC con un diámetro de 63 mm, lo cual no es recomendable.
- El sector donde existe la mayor cantidad de solicitudes para sumarse al sistema presenta presiones por debajo del límite de 15 m, debido a que, según la información de imágenes satelitales, se ubican sobre la cota estática de los estanques.

4.2. APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto

Las principales problemáticas del sistema de APR Nuevo Futuro son las siguientes:

- No tienen disponibles los planos del sistema, ni de la red de distribución actualizada con las correspondientes características de las tuberías.
- No existen planos de mantención de las bombas ni válvulas.
- No se dispone de los catálogos de las bombas.
- No se dispone de la estratigrafía de los pozos 1 y 2.

- Existen sectores que se ubican sobre la cota estática de los estanques, por lo que presentan problemas de presión.
- Existen familias sin conexión a la red.
- Medidores utilizados por varias familias, usualmente cosanguíneos, que aumenta el costo para estos beneficiarios debido a que las tarifas tienen un comportamiento exponencial.
- Falta de registros de información de producción de agua potable y niveles de agua en los pozos.
- Los registros disponibles no están digitalizados.

Capítulo 5

Metodología de resolución de problemas

Para poder resolver los problemas en la red, es necesario conocer de manera clara el estado de esta, más allá de la información cualitativa obtenida durante la visita a terreno. Para lograr esto, se utiliza el software *EPANET*, que permite modelar y realizar simulaciones de redes de distribución de agua potable, expresada como un conjunto de enlaces conectados a nodos. En la siguiente sección se detallan algunos conceptos clave necesarios para entender los modelos de *EPANET*.

5.1. Funcionamiento de *EPANET*

EPANET expresa las redes de distribución como un conjunto de enlaces conectados a nodos, donde los nodos corresponden a nudos, depósitos y tanques, mientras que los enlaces aluden a tuberías, bombas y válvulas de control. A continuación se listan las características de cada elemento según el Manual del usuario de *EPANET* (Agencia de Protección Ambiental de EE.UU, 2020):

- **Nudos**

Corresponden a aquellos puntos de la red en donde se unen distintos enlaces y donde sale o ingresa agua. La información de entrada requerida son las coordenadas del punto, su elevación y demanda, entregando como salida la carga hidráulica y la presión.

- **Depósitos**

Son nodos que representan fuentes infinitas de agua, utilizados para modelar ríos, lagos, acuíferos y conexiones a otros sistemas. No son utilizados en este trabajo debido a que no se realiza el modelo del sistema de tratamiento.

- **Tanques**

Se refiere a los estanques de almacenamiento del sistema, cuyo volumen puede variar durante las simulaciones. La información de entrada requerida son las coordenadas del punto, su elevación, forma, dimensiones, nivel de agua inicial, mínimo y máximo, entregando como salida la carga hidráulica (altura del agua).

- **Tuberías**

Corresponden a las conexiones que transportan el agua desde un punto a otro, donde el software supone que las tuberías siempre están llenas. La información de entrada son los nodos de entrada y salida, el diámetro interior, la longitud, el coeficiente de rugosidad y el estado de la tubería (abierto, cerrado o válvula de retención), entregando como salida el caudal, la velocidad y las pérdidas de carga. Para el cálculo de las pérdidas de carga, *EPANET* permite usar las fórmulas de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach y Chezy-Manning, utilizando la primera en este trabajo debido a su amplio uso. Además de esto, también se le puede asignar un coeficiente de pérdida a las tuberías, que permiten modelar las pérdidas locales causadas por los cambios de dirección o válvulas.

- **Bombas**

Son conexiones que aumentan la carga hidráulica del agua. Los parámetros de entrada son los nodos de entrada y salida y su curva, es decir, la combinación de cargas y flujos que puede producir. Alternativamente, se puede establecer que la bomba funciona de forma constante, suministrando una cantidad fija de energía al agua para todas las combinaciones de carga y flujo. Su información de salida son el flujo y la ganancia de carga. Además, existen distintas configuraciones para las bombas, como considerar una velocidad variable o el encendido o apagado en función de condiciones específicas de la red o de patrones de tiempo.

- **Válvulas**

Corresponden a conexiones que limitan la presión en un punto de la red. Ahora bien, si bien ambos sistemas cuentan con válvulas de corte, estas solo se utilizan en casos de emergencia para cortar el suministro a un sector en específico o para limpiar la red, por lo que no serán incluidas en el modelo al no funcionar de forma permanente.

Con estos elementos, *EPANET* simula el comportamiento de la red según las especificaciones entregadas. En el caso de este trabajo, los resultados de interés corresponden a la presión en cada nodo y la velocidad en las tuberías, tal que se encuentren dentro de los rangos establecidos por normativa. Cabe destacar que se toma el supuesto de que los estanques se encuentran llenos debido a que, cuando esto no ocurre, se abastecen entre ellos, afectando los resultados del resto de la red, lo cual no representaría correctamente la realidad. Por último, es necesario mencionar que el software también permite modelar la calidad del agua dentro de la red, lo cual no es utilizado en este trabajo.

5.2. Información de entrada de los modelos

Durante las prácticas profesionales realizadas en verano de 2023 en los APR de estudio, los estudiantes en práctica, con la ayuda de los operadores, llevaron a cabo el levantamiento de la red de distribución de cada APR. Este trabajo consistió en recorrer dicha red, registrando las coordenadas y elevación de los puntos de mayor interés, como aquellos donde hay cambios de dirección (curvas, codos o tee's), estanques, cámaras de válvulas (corte, ventosa o desagüe) o cambios en las características de las tuberías (diámetro o material). Esta información se obtuvo mediante la aplicación de teléfono celular llamada *Polaris Navigation GPS*. Luego, los estudiantes importaron estos puntos al software *Google Earth Pro* y dibujaron la red desde

una vista satelital, además de respaldar la información anterior en una planilla *Excel*.

Con esta información es posible elaborar los modelos de cada red en el software *EPANET*, donde se considera como nudos a los puntos levantados por los estudiantes en práctica (con la excepción de los estanques, que se modelan como tanques) y como tuberías a las uniones entre cada nodo según los dibujos en *Google Earth Pro*. De esta forma, se toma el supuesto de que en los puntos levantados ocurre la extracción del agua para abastecer a los beneficiarios, lo cual si bien no es lo que ocurre en la realidad, es lo que se realiza para la modelación.

5.3. Elaboración de las redes de distribución

Para comenzar esta sección, es necesario mencionar que, debido a la cantidad de puntos y a la extensión de los APR, la información de nudos, tuberías y estanques fue organizada en una planilla *Excel*, para luego exportar esta información al formato que utiliza *EPANET*. Así, en primer lugar se transformaron las coordenadas de todos los puntos, que se encontraban en coordenadas geográficas, al sistema de coordenadas UTM, ya que esto permite trabajar en metros. Luego, se describieron y caracterizaron todas las tuberías (uniones entre nudos) según lo observado en la vista satelital de *Google Earth Pro*, indicando los nodos de inicio y término, la longitud entre ambos, el diámetro de la tubería y su coeficiente de rugosidad.

En el caso de la longitud de una tubería, se calculó la distancia entre las coordenadas del nodo de inicio y el de término, incluyendo sus cotas, y también se midió la distancia entre ambos puntos con la herramienta de regla de *Google Earth Pro*, tomando como longitud de tubería a aquella distancia que tuviese un mayor valor. Se tomó este criterio para evitar imprecisiones provocadas por la regla de *Google Earth Pro* para tuberías que simplemente son rectas y, por otro lado, para representar correctamente la longitud de tuberías que tienen cambios de dirección. Además, con respecto a los coeficientes de rugosidad utilizados, según Mays (1999), el rango del coeficiente de rugosidad del PVC es de 135 - 150 y el del acero es de 110 - 130, mientras que Powers et. al. (2007) indican que el rango del HDPE es de 150 - 160. Para el caso de pérdidas friccionales según la fórmula de Hazen-Williams, mientras mayor es el valor del coeficiente, más suave o nueva es la tubería, y puesto que ambos APR de estudio fueron construidos hace alrededor de 20 años, se consideraron las cotas inferiores del rango para cada material, es decir, 135 para el PVC, 110 para el acero y 150 para el HDPE.

Por otra parte, al recorrer las redes de ambos sistemas de APR en *Google Earth Pro* se observó que en sectores en donde la red de distribución tiene un cambio de dirección, como un codo, curva o tee, usualmente se ubica una cámara de válvula luego de dicho cambio de dirección, por lo que al levantar estos puntos en terreno se forman cúmulos de coordenadas en rangos de alrededor de 15 m. Además, en otros casos la distribución espacial de los puntos no describía correctamente la red de distribución, lo que puede estar asociado al error de la aplicación utilizada para levantar la información. Así, puesto que para la modelación en *EPANET* los nodos se utilizan principalmente para representar la demanda en distintos sectores, se decide eliminar aquellos puntos que se consideran redundantes o sin sentido, respetando siempre la forma original de la red de distribución.

Un detalle asociado a los puntos ubicados incorrectamente es que, además del trazado de la red de distribución en *Google Earth Pro*, los estudiantes también realizaron dibujos a mano

alzada de la red, elaborados según el recorrido de la red que siguieron con el operador, por lo que es posible identificar las ubicaciones correctas de dichos puntos, pero no sus coordenadas en terreno. Esto, en conjunto con puntos que simplemente no fueron levantados pero si indicados en los dibujos, significa que en aquellos casos en que existiesen estos problemas, se agregan los puntos de forma manual en *Google Earth Pro*, utilizando las coordenadas y la cota entregada por el software, que si bien no es tan preciso como la información levantada en terreno, permite modelar la red de una forma más fiel a la realidad que utilizando la información disponible.

Con todos los elementos de la red de distribución descritos, el último paso es asignar las demandas a cada nodo. Puesto que no es posible considerar un nodo que represente la conexión a cada casa, se busca que la demanda de cada nodo esté definida por varios arranques. Para esto, se observan las casas dentro del sistema en *Google Earth Pro* y se busca y asignan al nodo más cercano, obteniendo una cantidad de arranques asociada a cada nodo.

Para facilitar la asignación de viviendas a cada nodo, primero se identifican las casas en *Google Earth Pro* mediante inspección visual, puesto que algunas construcciones son galpones o bodegas. Esto significa que la cantidad de casas contadas en total no necesariamente corresponde a la cantidad de arranques informados por los comités, por lo que se considera el factor de corrección de la ecuación 5.1, que calcula el cociente entre la cantidad de arranques informado por el comité y el total de las casas identificadas en *Google Earth Pro*.

$$F_c = \frac{\text{Total arranques real}}{\text{Total casas contadas}} \quad (5.1)$$

Donde:

- F_c : Factor de corrección.

Considerando esto, para poder calcular el valor de la demanda de un nodo se requiere de parámetros que varían entre cada APR, como una dotación de consumo, densidad poblacional, porcentaje de aguas no contabilizadas y el factor de corrección. De esta forma, utilizando la ecuación 5.2, que pondera los parámetros anteriores con la cantidad de casas contadas asociadas al nodo, se obtiene la demanda de dicho nodo. Así, el objetivo del factor de corrección es que la demanda represente la cantidad de arranques real y no las casas contadas.

$$D_d = \frac{D_c \cdot P \cdot C_c \cdot F_c}{86.400 \cdot \left(1 - \frac{ANC}{100}\right)} \quad (5.2)$$

Donde:

- D_d : Demanda media diaria [L/s].
- D_c : Dotación de consumo [L/hab-día].
- P : Densidad poblacional [hab/viv].
- C_c : Cantidad de casas contadas asociadas al nodo [viv].
- F_c : Factor de corrección.
- ANC : Aguas no contabilizadas [%].

5.3.1. Elaboración de redes proyectadas

Para la evaluación del estado del sistema se consideran tres escenarios: actual (año 2023), base (año 2026) y futuro (año 2046), siguiendo las proyecciones poblacionales indicadas en el capítulo de *Marco teórico*. La razón de esta medida es el verificar los problemas que se presentan en el sistema en función del aumento de la demanda sobre éste, provocado por el crecimiento poblacional, lo que implica la elaboración de modelos para cada uno de éstos escenarios. Por esta razón, es necesario proyectar la red a los sectores en donde podrían ubicarse las viviendas de los nuevos habitantes. Para determinar estos sectores, se verificaron las imágenes satelitales de *Google Earth Pro* desde el 2017 hasta el 2023 y se consideraron los siguientes criterios:

- Zonas con baja pendiente.
- Terrenos que, históricamente, no se utilicen para agricultura.
- Sectores que no se encuentren al final de la red.

De esta forma, para aquellos sectores que cumplan con los criterios anteriores, se dibuja la red y se ubican puntos en *Google Earth Pro* formando manzanas de 100 m x 100 m, aunque en algunos casos se consideran longitudes entre 60 m a 150 m dependiendo del espacio disponible. Así, para poder determinar la cantidad de viviendas que se ubican dentro de estas manzanas proyectadas, en cada APR se toma como referencia un asentamiento donde las casas se ubiquen de forma contigua, verificando la cantidad de casas en 100 m lineales, interpolando linealmente esta cantidad cuando la longitud sea mayor o menor a 100 m. Finalmente, se asigna a cada nodo la cantidad de viviendas/arranques correspondientes.

Ahora, para determinar la extensión de la red proyectada, es necesario conocer el total de arranques que existirán en cada escenario. Para esto, se pondera la cantidad de arranques actual por la densidad poblacional, obteniendo la población total actual asociada a cada APR. Luego, se utiliza la ecuación 2.9 para determinar la población base, considerando una tasa de crecimiento poblacional anual de 4% al no disponer de antecedentes. Así, esta población se divide por la densidad poblacional y se obtiene la cantidad de viviendas/arranques para el escenario base. Para el caso del escenario futuro se sigue el mismo procedimiento, utilizando la ecuación 2.10 y dividiendo por la densidad poblacional.

5.3.2. Determinación de demandas para cada situación

Para el análisis del comportamiento del sistema se consideran las siguientes tres situaciones para cada uno de los escenarios:

- Situación estática.
- Situación dinámica.
- Situación dinámica + demanda de agua por incendio, cuando corresponda.

Como fue mencionado anteriormente, la situación estática corresponde al caso en donde no existe demanda dentro del sistema, es decir, la demanda en cada nodo es cero, buscando verificar si se cumple con el criterio de presiones máximas. Por otro lado, la situación dinámica

considera el criterio de máximo caudal entre el consumo máximo horario y el consumo máximo diario más la demanda de agua para incendio, por lo que se analiza caso a caso. Ahora bien, solo se considera este caso cuando se incluyen grifos en la red, que a su vez solo ocurre si los arranques existentes más los proyectados son 600 o más (Dirección de Obras Hidráulicas, 2023). Así, en caso de que no se cumpla este criterio, la demanda de la situación dinámica está definida por el consumo máximo horario. Por último, si bien la DOH (2019) establece que se debe considerar la situación dinámica solo en el año 20 (escenario futuro), se consideró apropiado el analizar este caso en cada escenario para verificar el correcto funcionamiento del sistema, respetando los criterios recién indicados.

5.3.3. Identificación de problemas en la red de distribución

Con los modelos de ambos sistemas de APR completos, incluyendo cada escenario y situación, se analizan los problemas que surgen en cada caso. En este trabajo, los modelos de *EPANET* se utilizan principalmente para verificar presiones en los distintos nodos, la velocidad en las tuberías y las pérdidas de carga dentro de éstas, por lo que los problemas que se pueden observar están asociados a estos elementos.

Ahora bien, en relación a las propuestas de solución, se considera que estas son aditivas, es decir, las soluciones implementadas en el escenario actual (año 2023) se mantienen en el escenario base (año 2026). Para el escenario futuro (año 2046) se aplica el mismo criterio.

5.3.4. Verificación de golpe de ariete

En aquellos casos en donde los problemas identificados requieren de reemplazo de tuberías, para poder determinar las características requeridas se debe conocer las sobre-presiones o sub-presiones producidas por el fenómeno del golpe de ariete. Para esto se considera el uso de las siguientes ecuaciones:

$$\Delta H = \frac{c \cdot v}{g} \quad (5.3)$$

Donde:

- ΔH : Valor del golpe de ariete [m].
- c : Celeridad de la onda [m/s].
- v : Velocidad del agua [m/s].

$$c = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + \frac{10^{10}}{\epsilon} \cdot \frac{D}{e}}} \quad (5.4)$$

Donde:

- ϵ : Módulo de elasticidad del material [kg/m²].
- D : Diámetro interno de la tubería [mm].
- e : Espesor de la tubería [mm].

Según catálogos de tuberías de HDPE y PVC de Petroflex (2022) y Novoplast (2020), los módulos de elasticidad del HDPE y PVC son de 14271 kg/cm² y 30000 kg/cm², respectivamente. Los espesores de tuberías indicados en dichos folletos se pueden observar en la Tabla 5.1, específicamente aquellos asociados a los diámetros que se presentan dentro del sistema y considerando tuberías PN 10. Esto último se refiere a la presión máxima que soporta la tubería, que en el caso de PN 10 son 10 bar, lo cual se traduce a alrededor de 100 m.c.a. y corresponde al mínimo establecido por la DOH (2019). Dado que se desconoce la calidad de las tuberías que poseen los sistemas actualmente, se toma el supuesto de que son PN 10, tal que se atengan a lo indicado en manuales de diseño.

Tabla 5.1: Espesores de tuberías según diámetro y material. Fuentes: Petroflex (2022) y Novoplast (2020).

Material	Diámetro [mm]	Espesor [mm]
HDPE	63	3,8
	75	4,5
	90	5,4
	110	6,6
	125	7,4
	140	8,3
	160	9,5
PVC	63	3,3
	75	3,9
	110	4,6

Luego de implementadas las soluciones propuestas, en cada escenario se calcula el valor del golpe de ariete para todas las tuberías y se verifica que no se supere el límite de presión que puede soportar el material. Dicho esto, dado que se consideran tuberías PN 10 y recordando que el límite máximo de presión dentro de la red de distribución es de 70 m.c.a., en aquellos casos en donde el golpe de ariete calculado sea menor a 30 m, se considera que no existen problemas en éste ámbito, puesto que, incluso en el escenario más desfavorable, no se superaría el límite de 100 m.c.a. En cambio, si su valor supera los 30 m, se analiza caso a caso los nodos afectados para verificar si las tuberías de PN 10 son suficientes.

5.3.5. Verificación de estanques

Habiendo determinado las demandas de los sistemas para cada escenario, se debe verificar que los estanques sigan cumpliendo los criterios establecidos en el capítulo de *Marco Teórico*. Así, en caso de que no se cuente con los antecedentes necesarios, se debe determinar el volumen de regulación como el 20 % del volumen del día de máximo consumo, considerando el caudal máximo diario. Para determinar este valor se utiliza la ecuación 5.5, que considera la dotación de producción, que depende de la dotación de consumo y las aguas no contabilizadas, y el FDMC, para trabajar con el volumen asociado al día de máximo consumo.

$$V_{regulación} = \frac{P_{ob.} \cdot D_p}{1000} \cdot FDMC \cdot 0,2 \quad (5.5)$$

Donde:

- $V_{\text{regulación}}$: Volumen de regulación [m^3].
- D_p : Dotación de producción [$\text{L}/\text{hab-día}$].
- Pobl.: Población total del escenario.
- FDMC: Factor de día de máximo consumo.

Por otro lado, si en alguno de los escenarios se superan los 600 arranques, también se considera el volumen de incendio de 115 m^3 para el rango entre 600 y 1.500 arranques proyectados, mientras que si se superan los 1.500 arranques proyectados se considera un volumen de 230 m^3 . Luego, se determina el volumen requerido del estanque, es decir, el volumen de regulación o el volumen de regulación + volumen de incendio, y se compara con los volúmenes de los estanques que actualmente poseen los sistemas. En aquellos casos en donde el volumen actual sea inferior al requerido, se deben tomar medidas para ampliar la capacidad de almacenamiento del sistema y así lograr que cumpla con los requerimientos establecidos.

5.3.6. Verificación de fuentes de abastecimiento

Similar al caso de los estanques, conociendo las demandas de cada escenario, se debe verificar que las fuentes de abastecimiento actuales sean capaces de satisfacer la demanda de los escenarios a estudiar. La NCh691 (Instituto Nacional de Normalización, 2015) indica que las obras asociadas al sistema de producción deben satisfacer el caudal máximo diario, por lo que se determina éste valor utilizando las ecuaciones 2.13 y 2.14, que consideran la población total, la dotación de producción y el FDMC, para posteriormente comparar el resultado obtenido con el caudal y volumen que extraen las captaciones de cada sistema y verificar si es necesario ampliarlas o no.

Capítulo 6

Modelación de los sistemas existentes

En éste capítulo se presenta toda la información, criterios y supuestos utilizados para la elaboración de los modelos de *EPANET* de cada sistema, considerando los distintos escenarios y situaciones, incluyendo los resultados obtenidos en cada caso. Para dar mayor facilidad a la lectura, la información de los modelos se presentará principalmente a través de figuras de las redes de distribución, donde se deben verificar las leyendas y sus intervalos de colores para interpretar las presiones y velocidades alcanzadas en los distintos elementos del sistema, aunque también se presentan los detalles de los resultados en el anexo C, lo cual se indicará de forma oportuna en cada caso. Además, también se verifican los requerimientos de almacenamiento y de captación de los sistemas de APR de estudio en los escenarios actual, base y futuro.

6.1. APR Camarico Chico

6.1.1. Análisis de red de distribución

6.1.1.1. Escenario actual (Año 2023)

Siguiendo los procedimientos establecidos en el capítulo de metodología, en primer lugar se construye la red de distribución del sistema de APR. Como se había mencionado antes, la información de terreno establece que se abastecen 183 arranques, mientras que se contaron 188 arranques en la vista satelital, distribuidos en cada sector según la Tabla 6.1, donde también se presentan los factores de corrección asociados a cada sector.

Tabla 6.1: Arranques y factores de corrección por sector en el APR Camarico Chico.

Sector	Arranques Informados	Arranques Observados	Factor de corrección
La Villa	54	49	1,102
Camarico Chico	59	59	1,000
Camarico Viejo	70	80	0,875
Total	183	188	

Por otro lado, se considera una dotación de consumo de 120 L/hab-día, según lo recomendado por la DOH para sistemas de APR sin alcantarillado, el porcentaje de aguas no

contabilizadas de 18,79% indicado anteriormente y una densidad poblacional de 3 hab/vivienda, debido a que los antecedentes presentados en el capítulo de *Casos de estudio* indican densidades entre 2-3 hab/vivienda y se toma un enfoque conservador. Con esta información se determina la demanda media diaria de cada nodo según la ecuación 5.2 y se construye el modelo del sistema en *EPANET* que se observa en la Figura 6.1, donde también se indican los límites de cada sector.

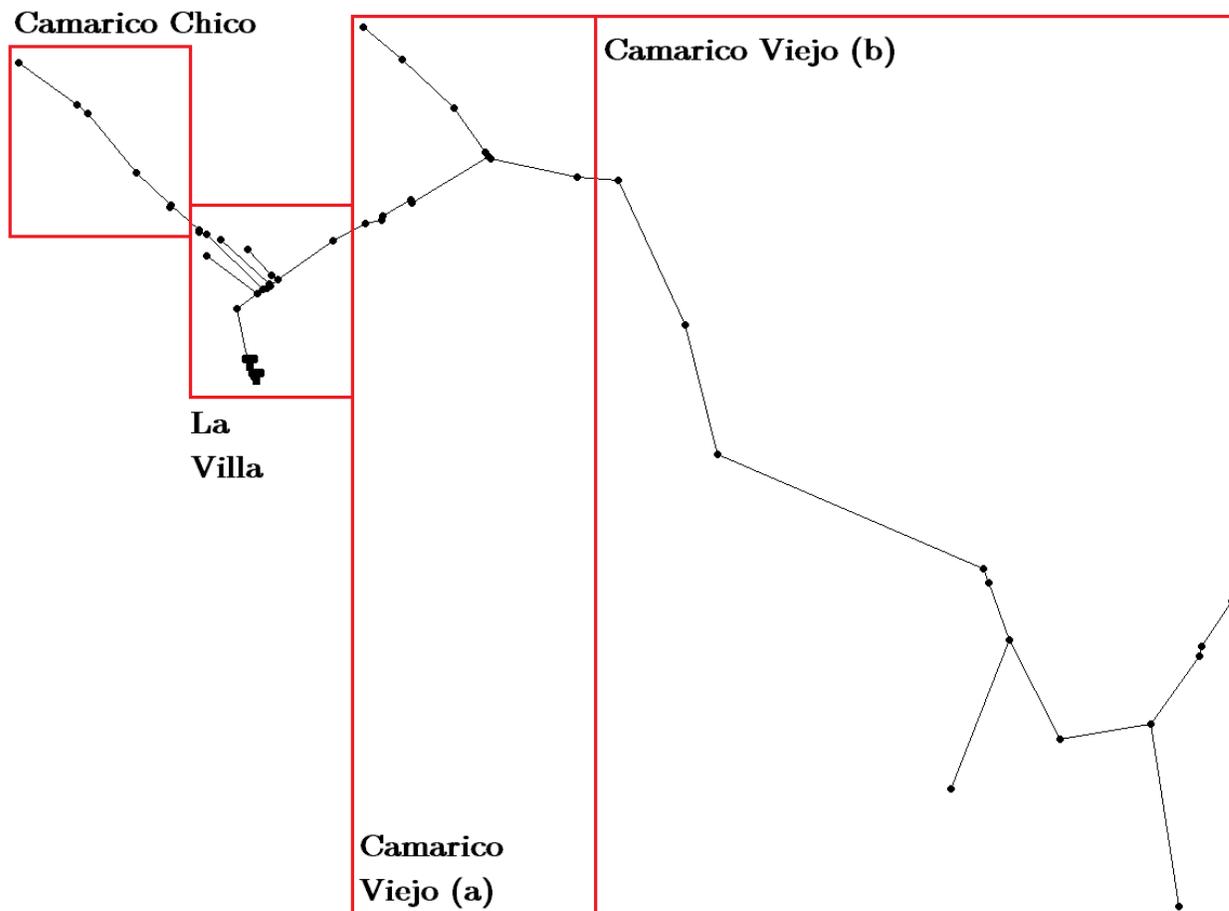


Figura 6.1: Red de distribución modelada en *EPANET* para el escenario actual del APR Camarico Chico.

Por otra parte, en la Tabla 6.2 se listan las características consideradas para modelar los estanques en *EPANET*. Estos datos corresponden a planos de un estanque elevado metálico de 25 m³ y uno semi-enterrado de hormigón armado de 20 m³, que cuentan con el sello del IDIEM. Tanto los diámetros como las alturas de los planos corresponden a mediciones internas de los estanques, pero al calcular el volumen con dichos valores se obtienen volúmenes superiores a los establecidos, por lo que para la modelación en *EPANET* se utilizan las altura indicadas en la tabla, que entregan los volúmenes nominales de los estanques.

Tabla 6.2: Detalles de estanques de almacenamiento del APR Camarico Chico.

Capacidad [m ³]	25	20
Cota [m]	20	0
Diámetro [m]	3,34	3,6
Altura planos [m]	3	2
Altura <i>EPANET</i> [m]	2,853	1,964

Ahora bien, puesto que el sistema abastece a solo 183 arranques, no se considera demanda por incendio, por lo que la situación dinámica contempla el caudal máximo horario. Así, al no contar con antecedentes suficientes para calcular el FDMC ni el FHMC, se considera que el valor de ambos es de 1,5, y utilizando las ecuaciones 2.14 y 2.15 se determina la demanda de cada nodo en la situación dinámica. La Figura 6.2 muestra los resultados de esta situación en *EPANET*, mientras que los detalles de los resultados asociados a cada nodo y tubería se encuentran en el anexo C.1.1. De esta simulación, se obtiene que la presión mínima es de 25,91 m en el nodo 41, que se puede identificar en la Figura 6.3, y las velocidades dentro de las tuberías se mantienen bajo el límite de 3 m/s.

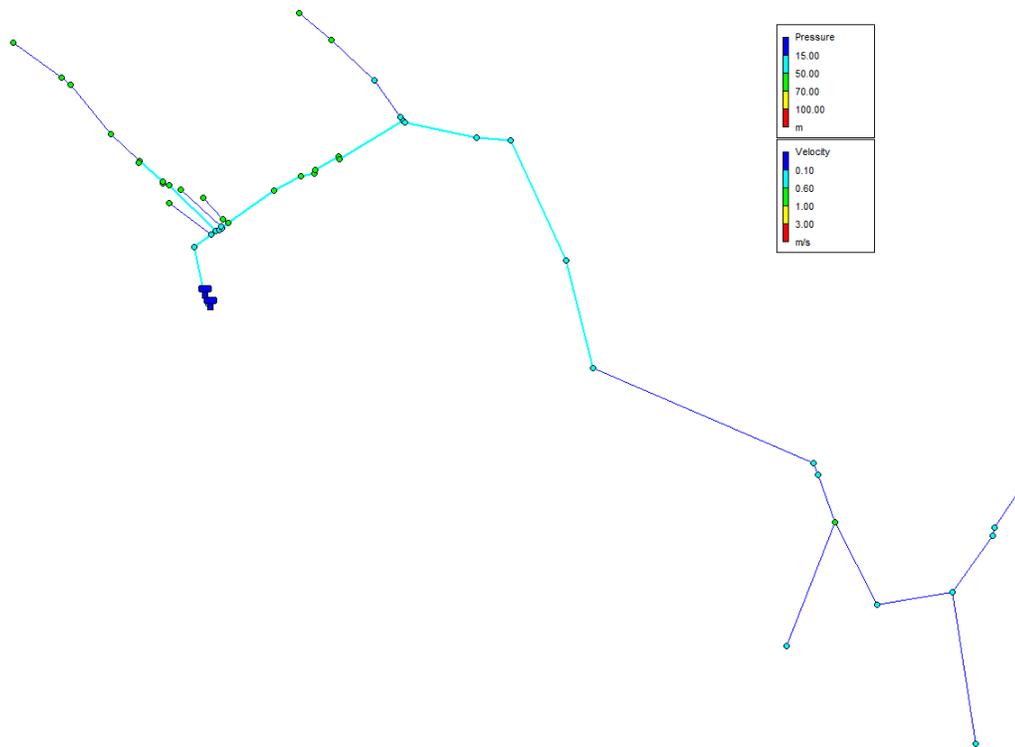


Figura 6.2: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación dinámica del escenario actual del sistema de APR Camarico Chico.

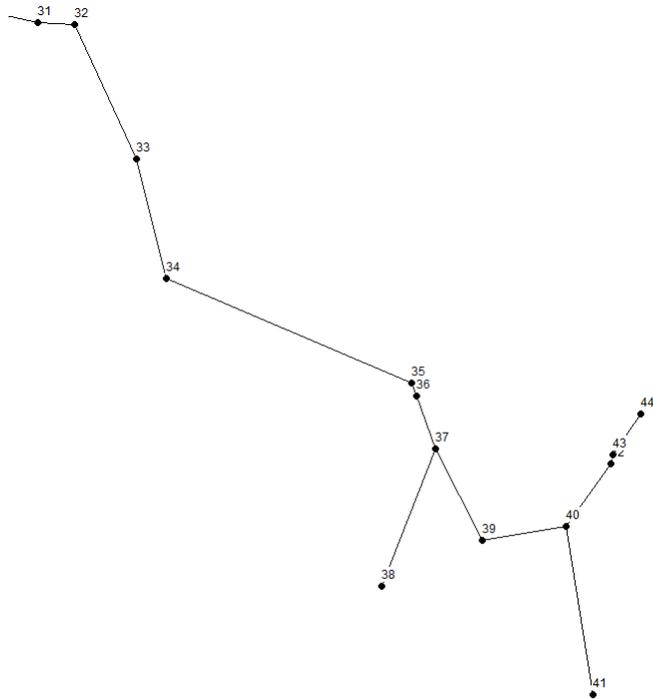


Figura 6.3: Detalle de ID de nodos en el sector Camarico Viejo (b) del APR Camarico Chico.

Por otro lado, en la Figura 6.4 se observa la red de *EPANET* para la situación estática, donde la presión máxima es de 68,85 m en los nodos 20, 21 y 22, que se pueden identificar en la Figura 6.5. De esta forma, el modelo indica que no existen problemas en la situación actual.

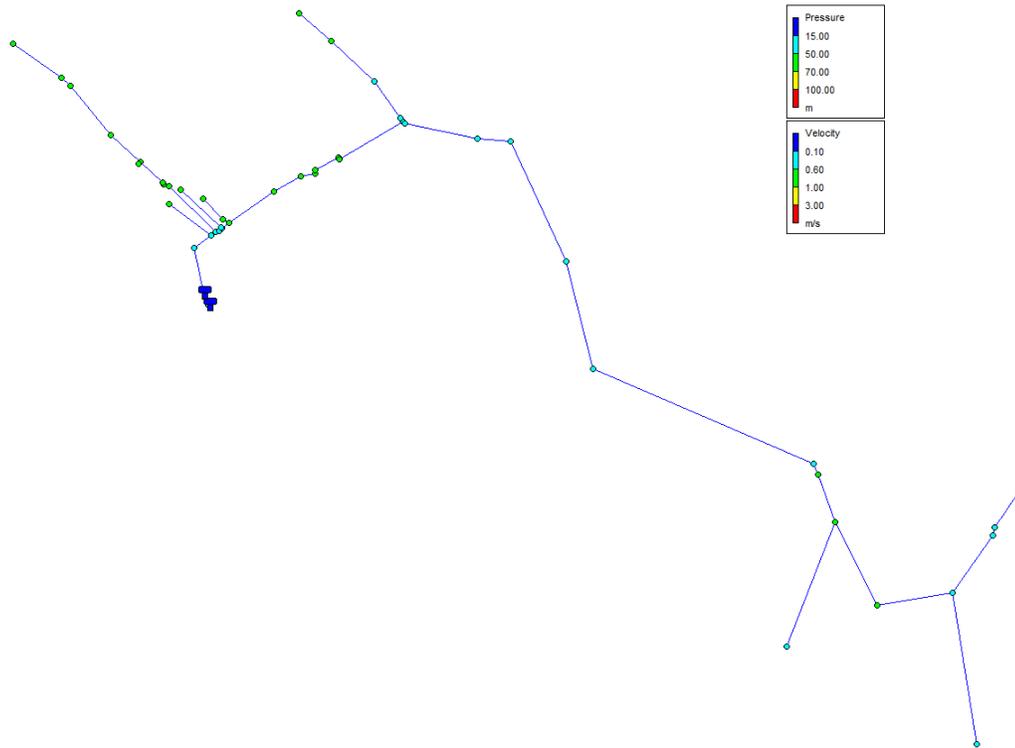


Figura 6.4: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación estática del escenario actual del sistema de APR Camarico Chico.

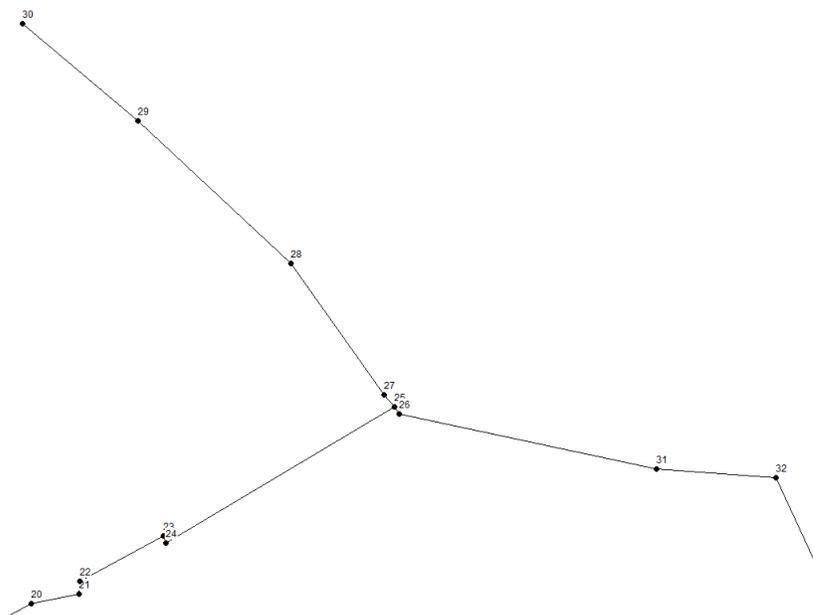


Figura 6.5: Detalle de ID de nodos en el sector Camarico Viejo (a) del APR Camarico Chico.

6.1.1.2. Ampliación

Para el caso de éste APR se considera un escenario agregado, que corresponde a los arranques de la situación actual más los 73 arranques que se encuentran a la espera de sumarse al sistema, esto con el objetivo de identificar los problemas más inmediatos asociados a estos nuevos sectores. Así, se consideraron los mismos criterios que en el caso del escenario actual y se proyectó la red a los sectores de ampliación informados, donde la cantidad de arranques por sector se observa en la Tabla 6.3. La Figura 6.6 muestra el modelo considerado para éste escenario, además de las ubicaciones de los sectores de ampliación. Por otro lado, en la Figura 6.7 se presenta una cartografía del sistema de distribución, considerando las proyecciones de red a cada sector de ampliación.

Tabla 6.3: Arranques proyectados en cada sector de ampliación en el APR Camarico Chico.

Sector Ampliación	Arranques
1	18
2	20
3	16
4	19
Total	73

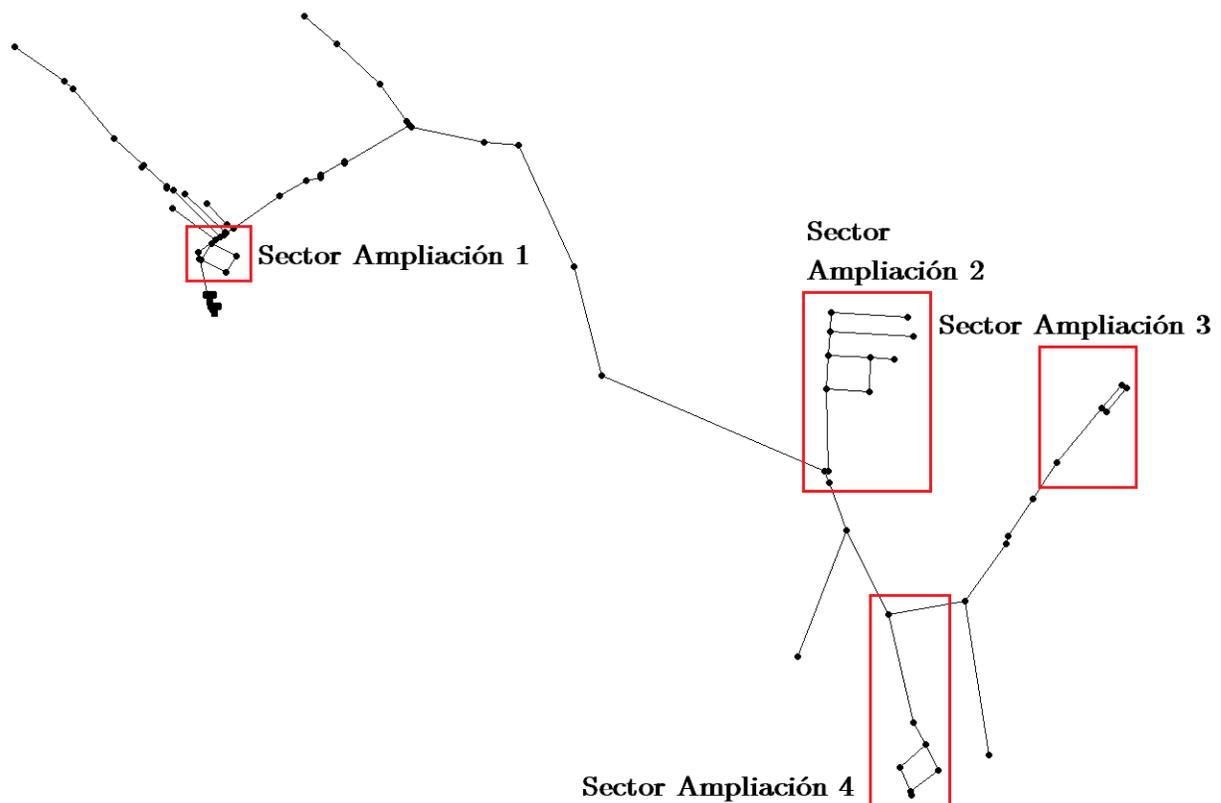


Figura 6.6: Red de distribución modelada en *EPANET* para el escenario de ampliación y escenario base del APR Camarico Chico.

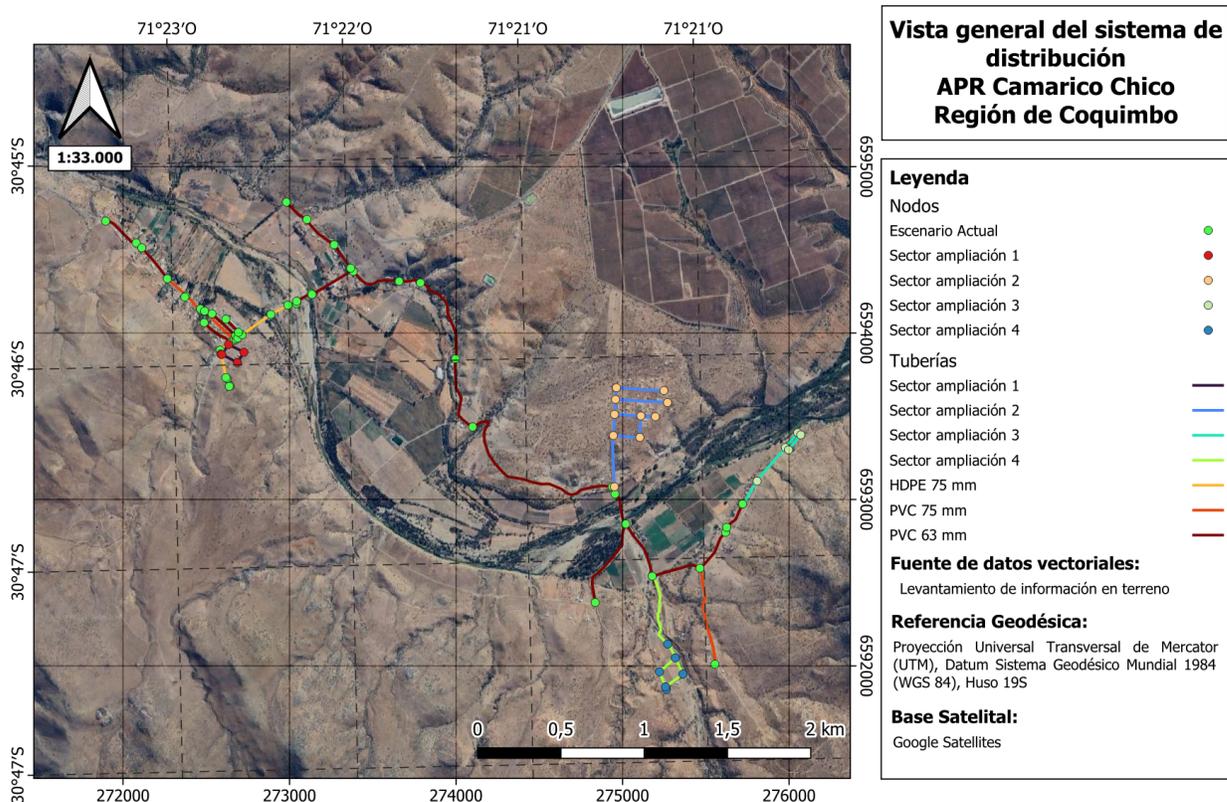


Figura 6.7: Cartografía de la red de distribución del APR Camarico Chico del escenario de ampliación.

Ahora bien, al verificar la cantidad de casas mediante la vista satelital de *Google Earth Pro* se contaron alrededor de 25 viviendas, con 20 de éstas en el sector 2, cuatro en el sector 4 y una en el sector 1. Por esta razón, las casas restantes fueron proyectadas considerando 7 casas cada 100 m lineales, según la distribución de viviendas del sector de La Villa. Además, se consideró que todas las tuberías proyectadas son de HDPE PN10 y 75 mm de diámetro interno, puesto que es el diámetro mínimo que establece la DOH (2023). Además, se utiliza un coeficiente de rugosidad de 160, a diferencia del valor de 150 considerado para las tuberías existentes del sistema, ya que en éste caso las tuberías proyectadas son nuevas.

La Figura 6.8 muestra el resultado del modelo de *EPANET* para la situación dinámica considerando los sectores de ampliación, donde se puede observar que el sector 2 no cumple con los criterios de presión mínima, alcanzando una presión negativa de -1,59 m en el nodo 118, cuya ubicación puede ser verificada en la Figura 6.9. Por otro lado, en la Figura 6.10 se observan los resultados para la situación estática, en donde la presión máxima es de 68,85 m en los nodos 20, 21 y 22 y los nodos 114, 116 y 118 del sector 2 no cumplen con los criterios de presión mínima. Los detalles de los resultados asociados a cada nodo y tubería pueden ser verificados en el anexo C.1.2

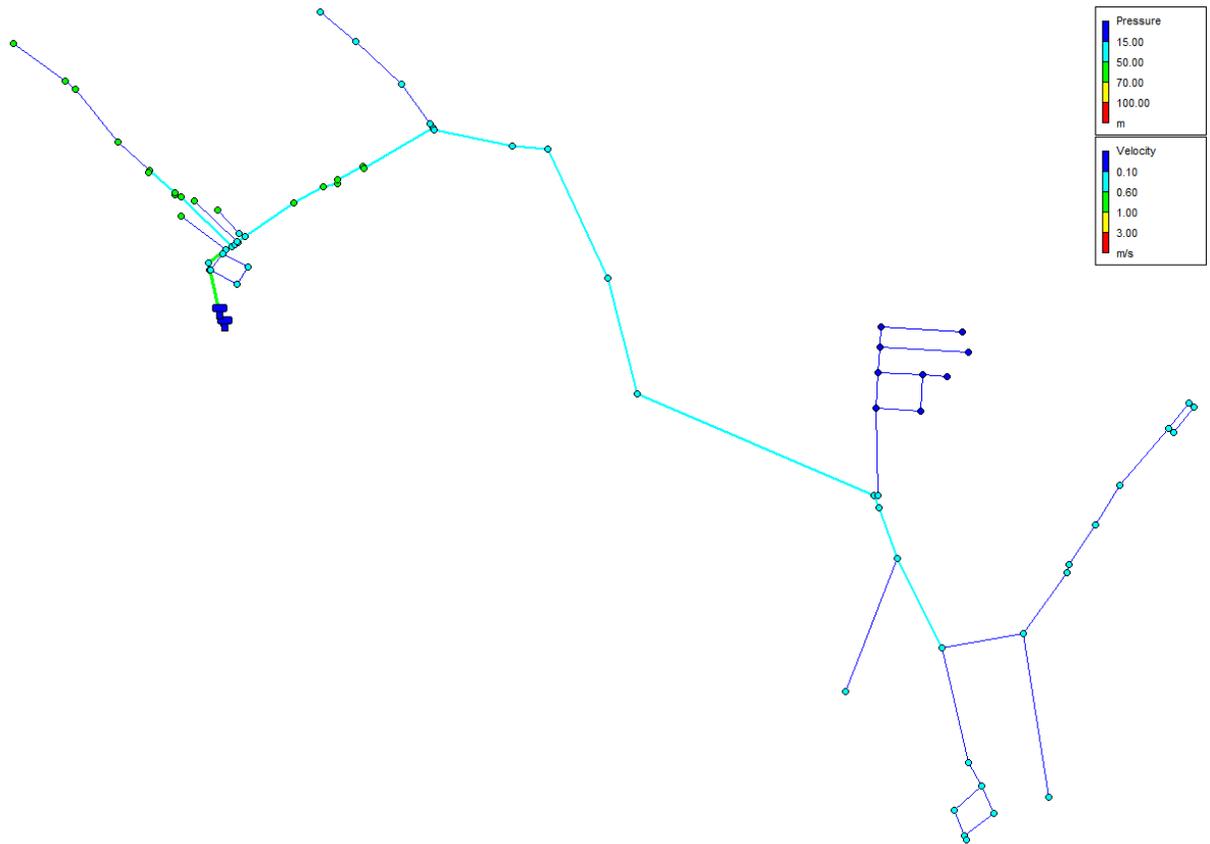


Figura 6.8: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación dinámica del escenario actual + ampliación del sistema de APR Camarico Chico.

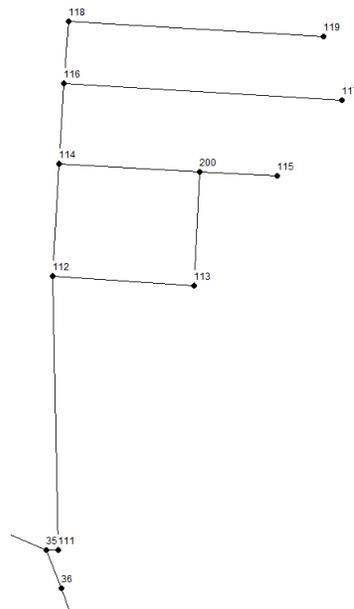


Figura 6.9: Detalle de ID de nodos en el sector de ampliación 2 en el escenario de ampliación del APR Camarico Chico.

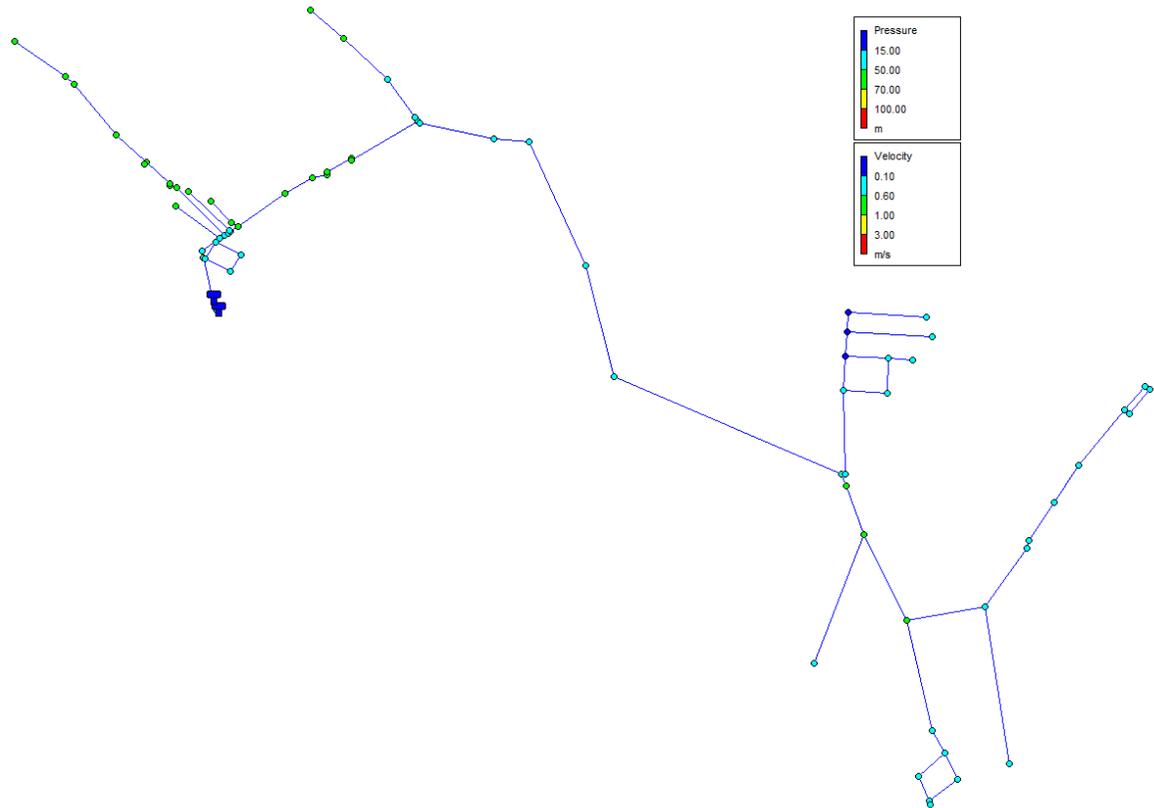


Figura 6.10: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación estática del escenario actual + ampliación del sistema de APR Camarico Chico.

Para este caso, es necesario mencionar que el sector de ampliación 3 no se proyectó como una manzana sino que como pasajes, debido a que las pendientes en dicho sector son muy altas (alrededor de 18%), además de que no habían casas construidas, por lo que se optó por proyectar pocas casas para respetar lo indicado por el comité de APR y considerar esta zona como un sector de ampliación.

6.1.1.3. Escenario Base (Año 2026)

Puesto que no existen mayores antecedentes de crecimiento poblacional para éste sistema de APR, se consideró un 4% de crecimiento anual, para mantener un enfoque conservador según lo indicado por la DOH (2019). Dicho esto, para determinar la demanda, se ponderó el número de arranques del escenario actual por la densidad de 3 hab/vivienda y se utilizó la ecuación 2.9 para determinar la población base. Luego, esta población base se divide por el mismo valor de densidad, obteniendo una cantidad de arranques, a la cual se le suman los 73 arranques a la espera de unirse al sistema, que entrega un total de 279 arranques para el escenario base. Esto significa que se proyectan 23 arranques más que en el caso de ampliación, por lo que simplemente se utiliza la misma red de distribución que en el caso anterior, que se puede observar en las Figuras 6.6 y 6.7, modificando la demanda de aquellos nodos asociados a manzanas que aún disponían de espacio para agregar nuevas casas.

De esta forma, considerando los mismos criterios para el cálculo de las demandas por nodo que en el escenario actual, se obtienen los resultados de la situación dinámica (determinada

por el caudal máximo horario) que se observan en la Figura 6.11, donde los nodos del sector de ampliación 2 presentan presiones aún más bajas que en el caso anterior, alcanzando presiones negativas de -6,69 m en el nodo 118. Además, el nodo 41, que se puede identificar en la Figura 6.3, tiene una presión de 11,62 m, incumpliendo el requerimiento de presiones mínimas. Por otro lado, la Figura 6.12 muestra los resultados de la situación estática, que nuevamente alcanza presiones máximas de 68,85 m en los nodos 20, 21 y 22. Por último, el sector de ampliación 2 sigue presentando presiones bajo el requerimiento, mientras que el nodo 41 tiene una presión de 28,85 m. Los detalles de los resultados de cada nodo y tubería pueden ser verificados en el anexo C.1.3.

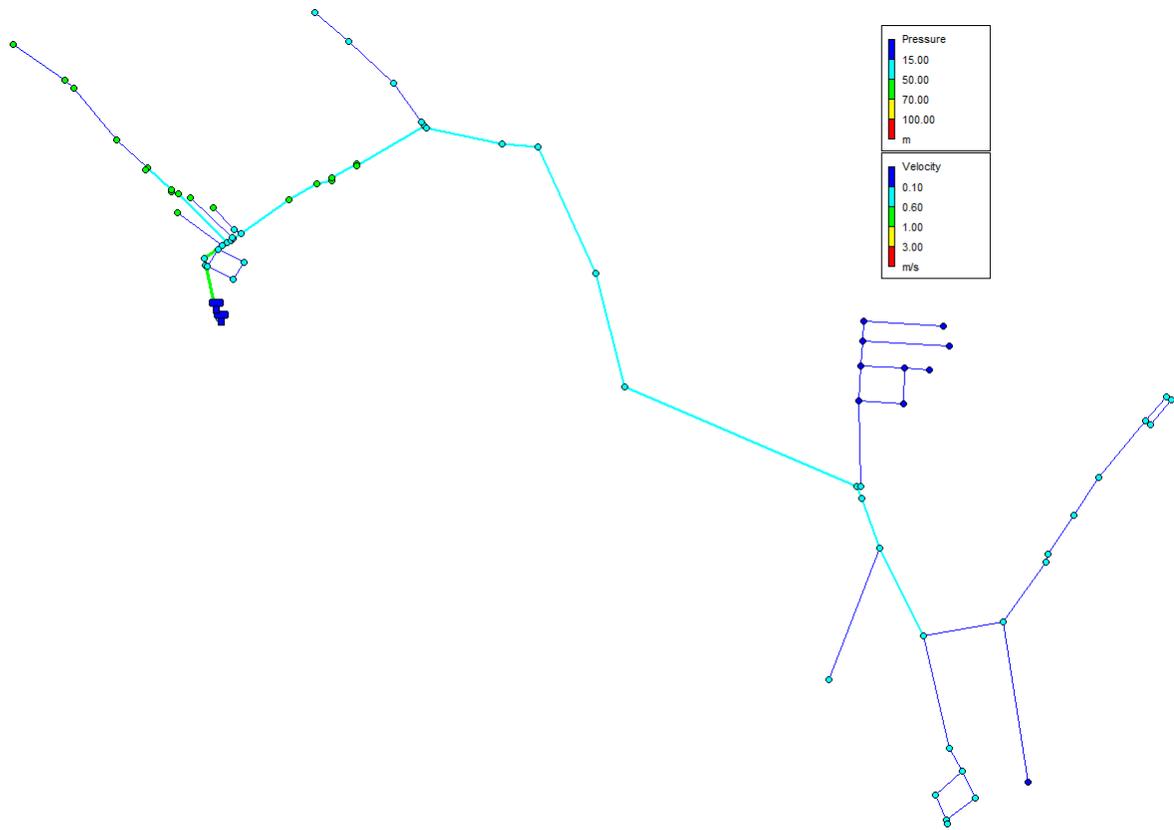


Figura 6.11: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación dinámica del escenario base del sistema de APR Camarico Chico.

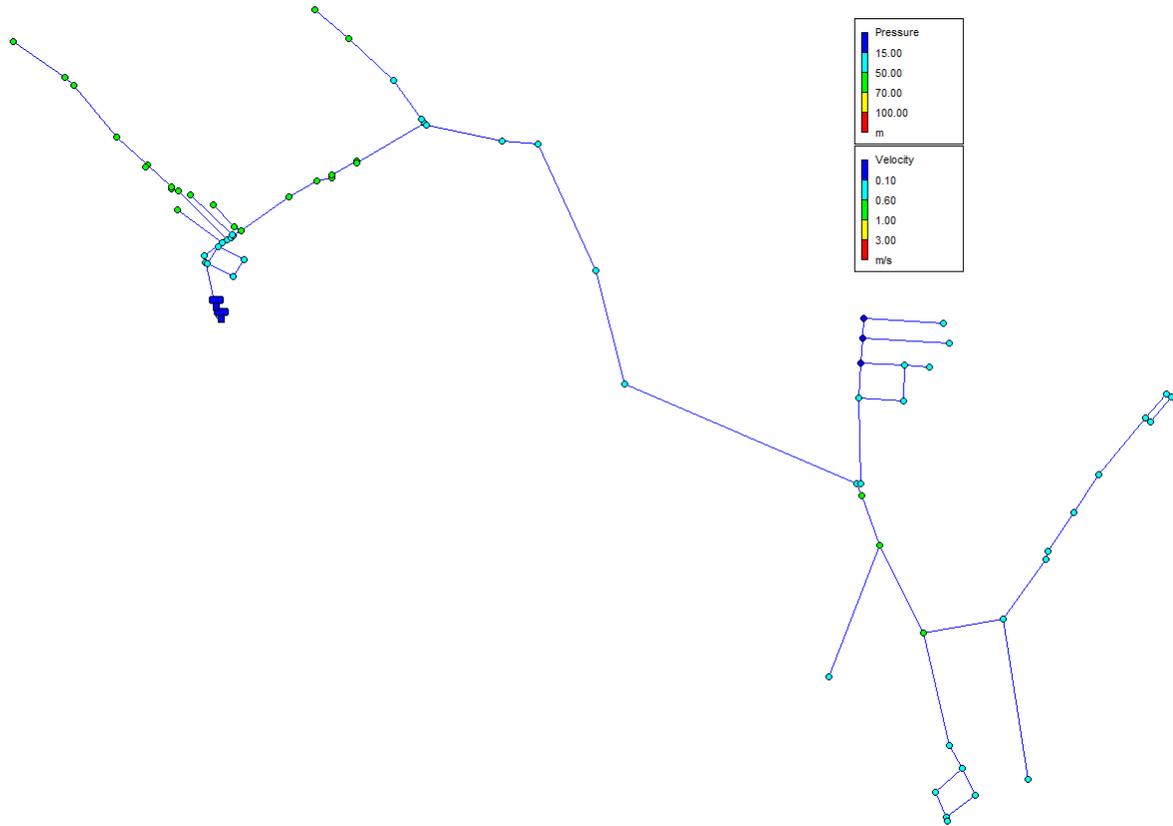


Figura 6.12: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación estática del escenario base del sistema de APR Camarico Chico.

6.1.1.4. Escenario Futuro (Año 2046)

A diferencia de los escenarios anteriores, en este caso se considera una dotación de 150 L/hab-día, ya que se contempla que el sistema cuente con alcantarillado, que significa un mayor consumo diario por persona. Por otro lado, la cantidad de arranques proyectados es de 612, por lo que para el análisis de la situación dinámica se considera el caudal máximo diario más la demanda por incendio. Para agregar estos nuevos arranques se incluyen nuevas zonas de ampliación, que consideran los mismos criterios de tuberías que el escenario base. Estas zonas de ampliación pueden ser observadas en la 6.13, mientras que en la Figura 6.14 se presenta una cartografía que también las incluye.

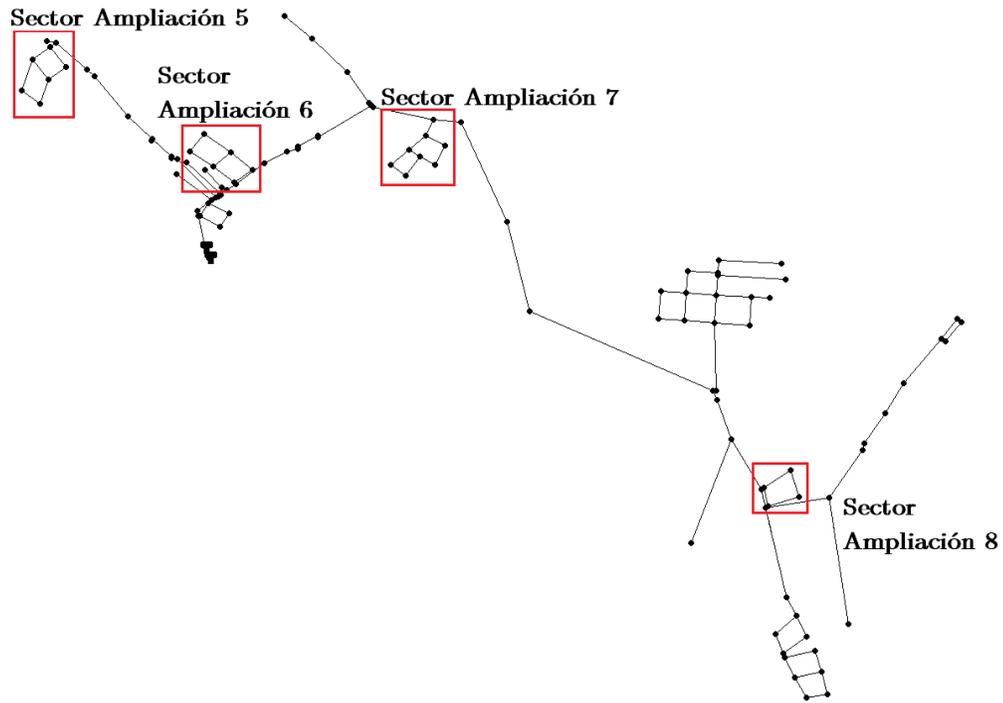


Figura 6.13: Red de distribución modelada en EPANET para el escenario futuro del APR Camarico Chico.

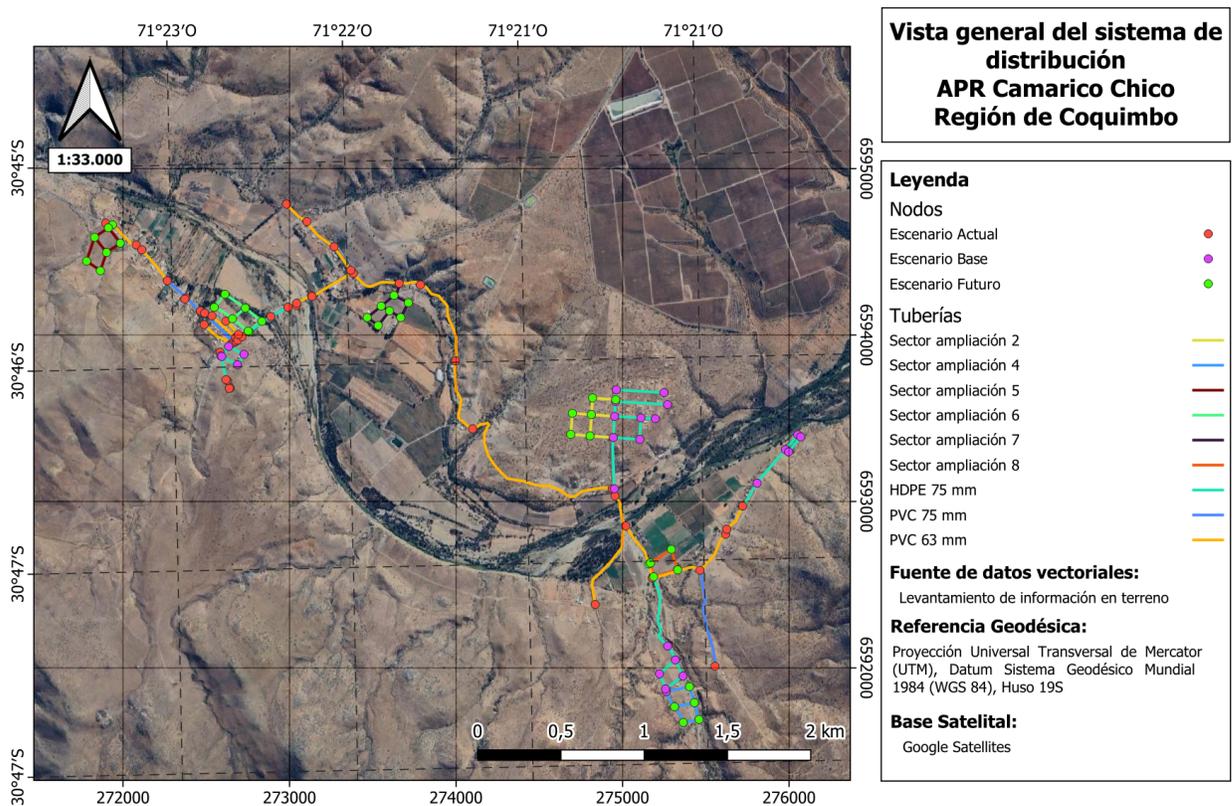


Figura 6.14: Cartografía de la red de distribución del APR Camarico Chico del escenario futuro.

Ahora bien, el caso de incendio considera una demanda de 16 L/s en múltiples puntos de la red, por lo que no es posible mostrar el comportamiento de ésta para cada grifo. Por esta razón, la Figura 6.15 muestra el resultado de la situación dinámica considerando un grifo en el nodo 41, que corresponde a uno de los puntos más desfavorables de la red y su ubicación puede ser verificada en la Figura 6.3. Como se puede observar, considerando las características actuales de la red más las ampliaciones en tuberías de HDPE de 75 mm, el sistema colapsa, obteniendo presiones negativas en todos los nodos con la excepción de los nodos 2 y 3 a la salida del estanque cuya ubicación puede ser identificada en la Figura 6.16, además de velocidades sobre los 3 m/s en todas las tuberías que conectan el estanque con el nodo 41.

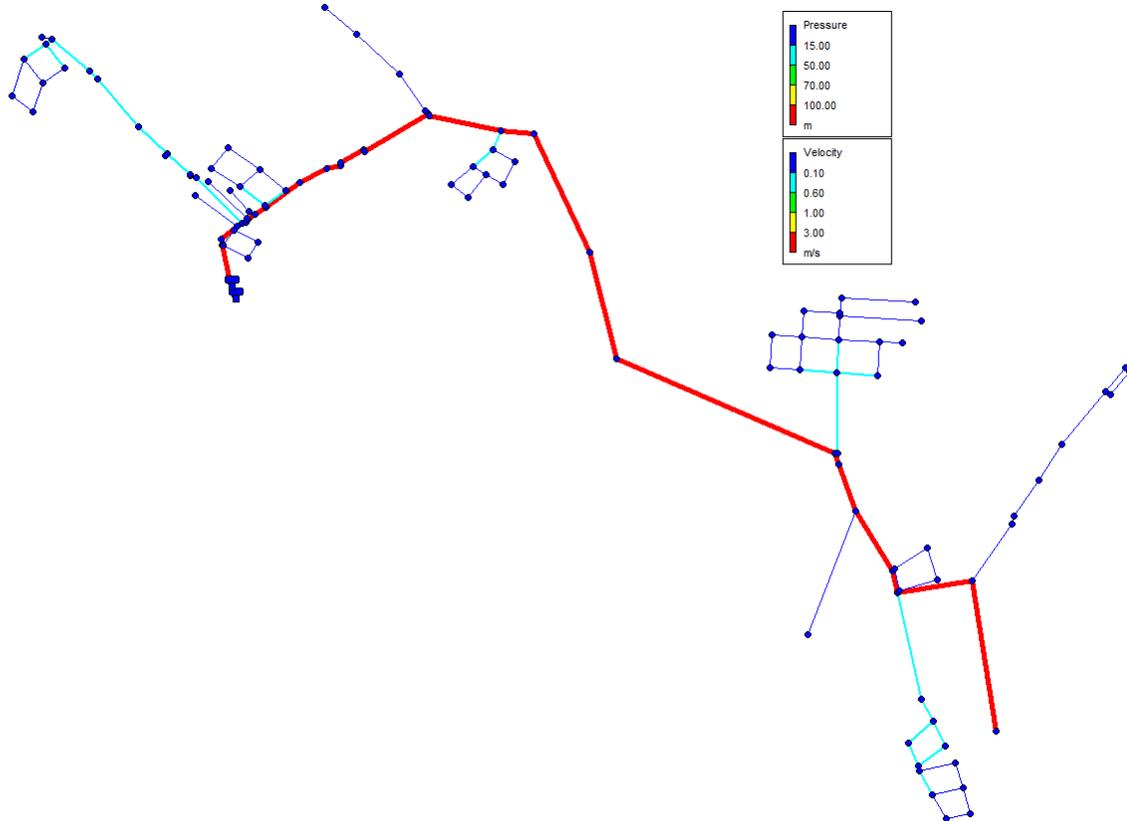


Figura 6.15: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación dinámica del escenario futuro del sistema de APR Camarico Chico.

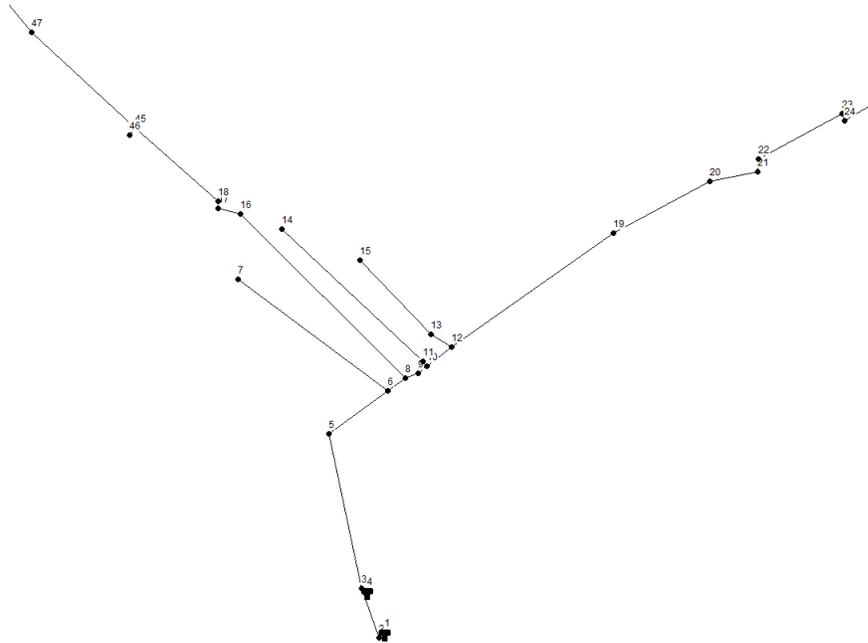


Figura 6.16: Detalle de ID de nodos en el sector La Villa del APR Camarico Chico.

Por otra parte, la Figura 6.17 muestra el resultado del modelo para la situación estática, donde la presión máxima sigue siendo de 68,85 m en los nodos 20, 21 y 22, que se observan en la Figura 6.5, además de presentar los mismos problemas de bajas presiones en el sector de ampliación 2 identificados en los escenarios anteriores. Los detalles de los resultados de cada nodo y tubería se presentan en el anexo C.1.4, en donde se consideró el uso del grifo del nodo 41.

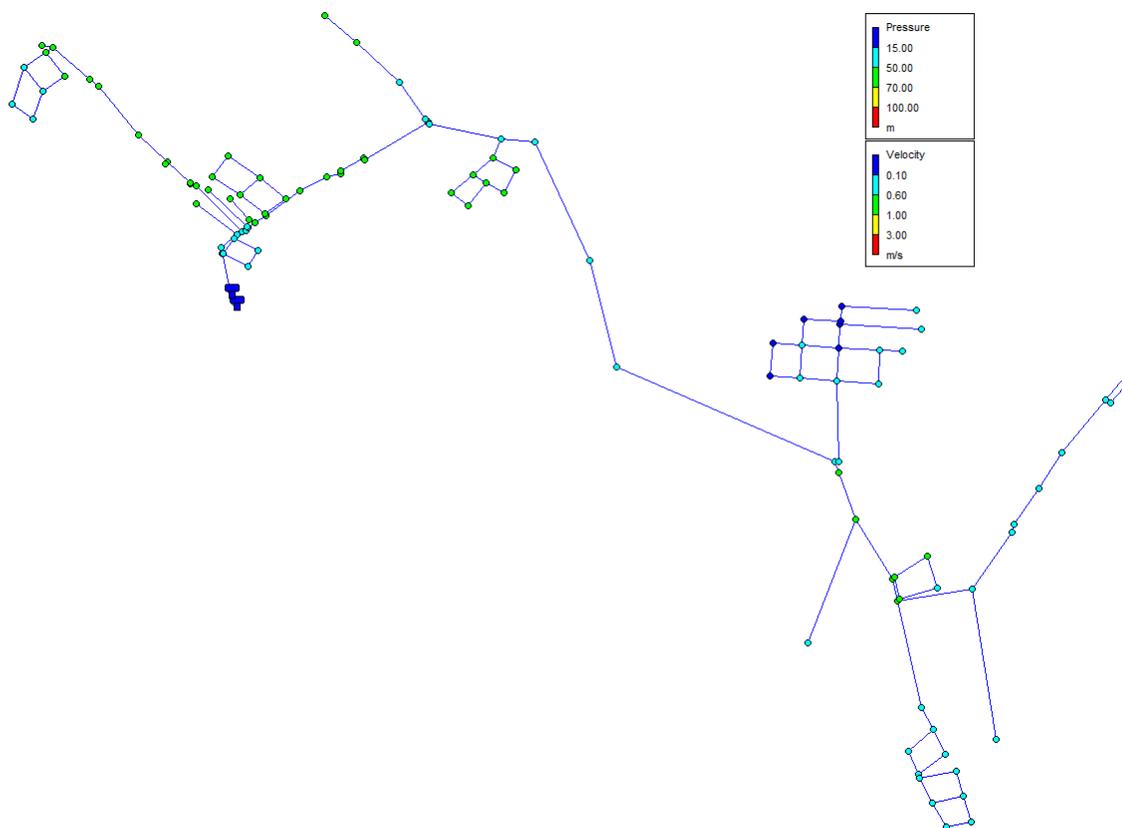


Figura 6.17: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación estática del escenario futuro del sistema de APR Camarico Chico.

6.1.2. Análisis de almacenamiento

Como fue mencionado anteriormente, el sistema actualmente cuenta con un estanque semi-enterrado de hormigón armado de 20 m³ y uno metálico elevado de 25 m³, es decir, 45 m³ de almacenamiento en total. De esta forma, para cada escenario se considera un porcentaje de crecimiento poblacional anual de 4%, un FDMC con un valor de 1,5 y un porcentaje de aguas no contabilizadas de 18,79 %, permitiendo obtener los resultados de la Tabla 6.4, que resume los volúmenes de regulación (calculados según la ecuación 5.5), incendio y estanque requeridos para cada escenario.

Tabla 6.4: Verificación de volúmenes de estanque requeridos para cada escenario del APR Camarico Chico.

Escenario	Dotación producción [L/hab-dia]	Pob. Total	Nº arr.	V regulación [m3]	V incendio [m3]	V estanque [m3]
Actual	147,8	549	183	24	-	24
Ampliación	147,8	768	256	34	-	34
Base	147,8	837	279	37	-	37
Futuro	184,7	1834	612	101	115	216

Según lo presentado en la tabla anterior, se puede observar que se requieren de medidas en el escenario futuro, que presenta un déficit de 171,62 m³, ya que en todo el resto de escenarios los volúmenes calculados son inferiores a la capacidad de almacenamiento actual del sistema. Ahora bien, es necesario verificar cuando se deja de cumplir con el requerimiento de volumen de estanques, puesto que puede ser necesario un aumento de su capacidad antes de alcanzar el escenario futuro. Por esta razón, en la Tabla 6.5 se presentan los volúmenes de estanque calculados para cada año, donde en el año 2026, que corresponde al escenario base, se agregan los 73 arranques que actualmente se encuentran a la espera de sumarse al sistema. Para el cálculo de ésta información se consideraron los mismos criterios anteriores, con la excepción del año 2046, que corresponde al escenario futuro, donde la dotación de consumo es de 150 L/hab-día. Cabe destacar que para todos los años exceptuando el año 2046, el volumen de estanque corresponde al volumen de regulación, dado que los arranques superan los 600 solamente en el año 2046.

Tabla 6.5: Requerimientos de volumen de estanques por año para el APR Camarico Chico

Año	Población Total	Nº Arranques	Volumen req. estanque [m³]	Diferencia respecto volumen actual [m³]
2023	549	183	24,336	20,664
2024	571	191	25,311	19,689
2025	594	198	26,330	18,670
2026	837	279	37,102	7,898
2027	871	291	38,609	6,391
2028	906	302	40,161	4,839
2029	942	314	41,756	3,244
2030	980	327	43,441	1,559
2031	1019	340	45,170	-0,170
2032	1060	354	46,987	-1,987
2033	1102	368	48,849	-3,849
2034	1146	382	50,799	-5,799
2035	1192	398	52,838	-7,838
2036	1239	413	54,922	-9,922
2037	1289	430	57,138	-12,138
2038	1341	447	59,443	-14,443
2039	1394	465	61,792	-16,792
2040	1450	484	64,275	-19,275
2041	1508	503	66,846	-21,846
2042	1568	523	69,505	-24,505
2043	1631	544	72,298	-27,298
2044	1696	566	75,179	-30,179
2045	1764	588	78,193	-33,193
2046	1834	612	216,620	-171,620

De esta forma, al observar la tabla anterior se verifica que al año 2031 se deja de cumplir con el requerimiento de volúmenes de almacenamiento del sistema.

6.1.3. Análisis de fuentes de abastecimiento

Dentro de los antecedentes presentados se indicó que el APR Camarico Chico extrae 1,35 L/s durante 14 a 15 horas por día, ya sea de la noria o del pozo, por lo que, considerando un funcionamiento de 15 horas diarias, el sistema extrae un volumen de 72,9 m³ al día. Por otro lado, considerando los mismos criterios de porcentaje de crecimiento poblacional anual, porcentaje de aguas no contabilizadas, FDMC y dotación de consumo del análisis de almacenamiento, se elabora la Tabla 6.6, en donde los valores de caudal calculados consideran extracción durante 24 horas. Según los resultados presentados, el sistema actualmente extrae menos volumen que el requerido, lo cual será discutido en el siguiente capítulo.

Tabla 6.6: Verificación de volúmenes y caudales de extracción requeridos en cada escenario del APR Camarico Chico.

Escenario	Dotación producción [L/hab-día]	Volumen extraído req. [m³/día]	Caudal extraído req. [L/s]	Diferencia respecto vol. extraído actual [m³/día]
Actual	147,758	121,679	1,408	-48,779
Ampliación	147,758	170,217	1,970	-97,317
Base	147,758	185,510	2,147	-112,610
Futuro	184,697	508,102	5,881	-435,202

Además, en la Tabla 6.7 se presentan los requerimientos de volumen de extracción y caudal asociado a cada año. Para esto, se consideran los mismos criterios anteriormente mencionados, con la excepción del año 2046 (escenario futuro), donde la dotación de consumo utilizada es de 150 L/hab-día. Además, el caudal extraído requerido considera extracción durante 24 horas.

Tabla 6.7: Verificación de volúmenes y caudales de extracción requeridos en cada año del APR Camarico Chico.

Año	Población Total	Volumen extraído [m³/día]	Caudal extraído [L/s]	Diferencia respecto vol. extraído actual [m³/día]
2023	549	121,679	1,408	-48,779
2024	571	126,555	1,465	-53,655
2025	594	131,652	1,524	-58,752
2026	837	185,510	2,147	-112,610
2027	871	193,046	2,234	-120,146
2028	906	200,803	2,324	-127,903
2029	942	208,782	2,416	-135,882
2030	980	217,204	2,514	-144,304
2031	1019	225,848	2,614	-152,948
2032	1060	234,935	2,719	-162,035
2033	1102	244,244	2,827	-171,344
2034	1146	253,996	2,940	-181,096
2035	1192	264,191	3,058	-191,291
2036	1239	274,608	3,178	-201,708
2037	1289	285,690	3,307	-212,790
2038	1341	297,215	3,440	-224,315
2039	1394	308,962	3,576	-236,062
2040	1450	321,373	3,720	-248,473
2041	1508	334,228	3,868	-261,328
2042	1568	347,526	4,022	-274,626
2043	1631	361,490	4,184	-288,590
2044	1696	375,896	4,351	-302,996
2045	1764	390,967	4,525	-318,067
2046	1834	508,102	5,881	-435,202

Observando los resultados de la tabla anterior, al comparar el volumen de extracción actual con el requerido se determina que en todos los años existe déficit.

6.2. APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto

6.2.1. Análisis de red de distribución

6.2.1.1. Escenario Actual (Año 2023)

Según lo informado por el comité, el sistema de APR Nuevo Futuro abastece 345 arranques, mientras que en *Google Earth Pro* se contabilizaron 317. Ahora bien, si bien el comité del sistema identifica distintos sectores, no se dispone de la cantidad de arranques asociados a cada uno, por lo que en este caso se consideró un único factor de corrección de 1,088 para todo el sistema. Además de esto, se considera una densidad poblacional de 4 hab/vivienda, ya que se aproxima la densidad presentada en el capítulo de *Casos de estudio* al entero más cercano. Por otro lado, al considerar esta densidad poblacional junto con los antecedentes de consumo que se puede encontrar en la Tabla 3.4, se obtiene una dotación de aproximadamente 120 L/hab-día. Con respecto a las aguas no contabilizadas, se considera un porcentaje de 20% según lo establecido por la DOH (2019) cuando no se tienen antecedentes. Con esta información se construye el modelo en *EPANET*, que se observa en la Figura 6.18, donde también se identifican los nombres asignados a cada sector.

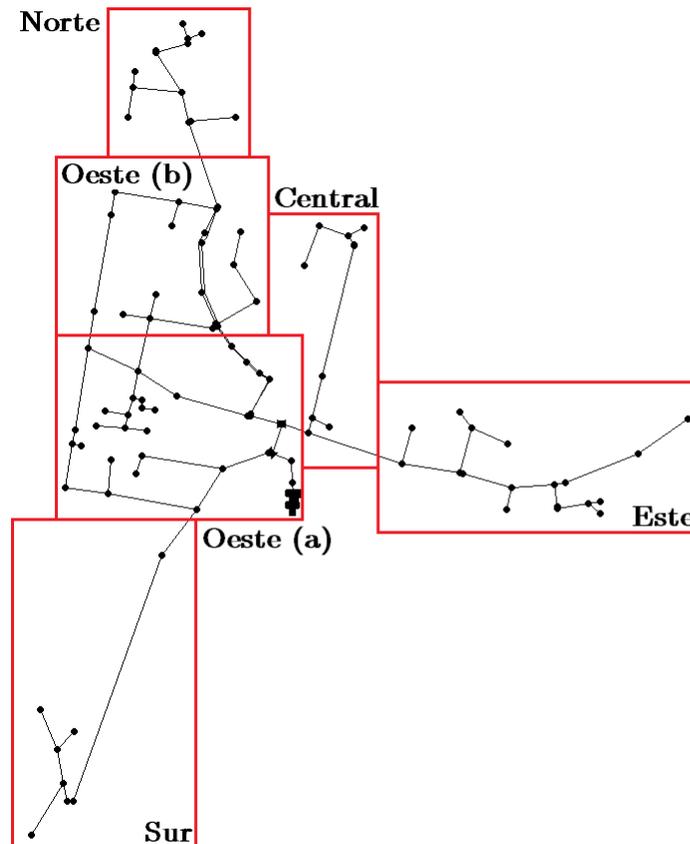


Figura 6.18: Red de distribución modelada en *EPANET* para el escenario actual del APR Nuevo Futuro.

En relación a los estanques de almacenamiento, anteriormente se indicaron las dimensiones externas tomadas por el operador del sistema, pero para la implementación en el modelo se tomaron algunas consideraciones. En primer lugar, para determinar el diámetro de los

estanques semi-enterrados de hormigón armado se consideró un ancho de muro de 0,2 m, que corresponde a los anchos de los planos de estanques de 20 m³ y 40 m³, ambos con sello del IDIEM, dado que no se disponía de los planos de estanques de hormigón armado con mayores dimensiones. Por otro lado, para todos los estanques se consideró una altura tal de que al calcular el volumen se obtuviera el valor nominal, al igual que en el caso de Camarico Chico. En la Tabla 6.8 se presentan las dimensiones utilizadas.

Tabla 6.8: Dimensiones de estanques del APR Nuevo Futuro utilizadas en *EPANET*.

Estanque	Tipo	Altura [m]	Diámetro [m]	Capacidad [m³]
1	Semi-enterrado Hormigón Armado	4,36	5,4	100
2	Semi-enterrado Hormigón Armado	6,87	3,6	70
3 - 4 - 5	Plástico	2,29	3,33	20

Por otro lado, en este caso no se considera incendio debido a que los arranques totales son menores a 600, por lo que la situación dinámica contempla el caudal máximo horario. Puesto que no se cuentan con antecedentes para calcular el FDMC ni el FHMC, se considera que ambos tienen un valor de 1,5, por lo que se utilizan las ecuaciones 2.14 y 2.15 para determinar la demanda de cada nodo. Además, el operador del sistema informó que en dos puntos de la red existen válvulas reguladoras de presión, debido a problemas de altas presiones en el sector oeste del sistema. Estas válvulas corresponden a los pares de nodos 6-7 y 10-9, que se encuentran al pie del cerro donde se ubica el estanque, donde el par 6-7 limita la presión entre 4 y 5 bar (40-50 m.c.a), mientras que el par 10-9 entre 6 y 7 bar (60-70 m.c.a), según lo indicado por el operador. Las ubicaciones de estos nodos pueden ser identificadas en la Figura 6.19.

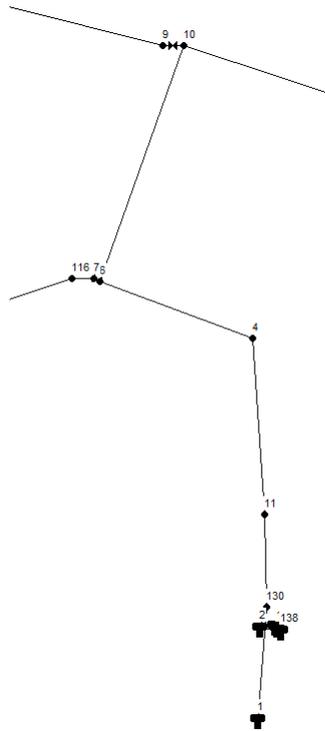


Figura 6.19: Detalle de ID de nodos en la bajada del estanque del APR Nuevo Futuro.

También se informó que, en algunas ocasiones, el sector oeste presenta presiones entre 7 y 8 bar, lo que se ve reflejado en el modelo al fijar las presiones de las válvulas a los valores indicados. Por esta razón, en el modelo se consideró que la válvula del par 6-7 limita la presión a 40 m, mientras que la del par 10-9 a 43 m, ya que provoca que las presiones máximas alcanzadas en los nodos más desfavorables no superen los 70 m y, al tratarse de una optimización del funcionamiento del sistema que no requiere mayor intervención, no se estimó apropiado el considerar este cambio como una propuesta de solución.

De esta forma, la Figura 6.20 muestra los resultados del modelo para la situación dinámica, donde se observa que no se cumple con el criterio de presiones mínimas en parte del sector este y en algunos nodos del sector norte del sistema. Con respecto al sector este, las bajas presiones son consecuencia de las elevaciones de los nodos problemáticos, dado que se encuentran a alturas similares a las de los estanques, mientras que en el sector norte las alturas de los nodos con problemas no son tan elevadas, pero sus presiones se ven afectadas por la válvula reguladora de presión del par de nodos 9-10, que es necesaria para que el sector oeste del sistema no alcance presiones superiores a los 70 m. Analizando los valores de presiones, en el sector norte el nodo más crítico es el 132 con una presión de 5,46 m, mientras que en el sector este son los nodos 127 y 32, con presiones de 0,74 m y 1,72 m, respectivamente. Las ubicaciones de los nodos del sector norte se observan en la Figura 6.21, mientras que la Figura 6.22 muestra los del sector este. Además, si bien no se identifica correctamente en la Figura 6.20, en el nodo 6 (ubicado justo antes de la válvula reguladora de presión, al pie del cerro donde se encuentra el estanque) se alcanza una presión de 71,63 m, que se escapa de lo permitido por la normativa.

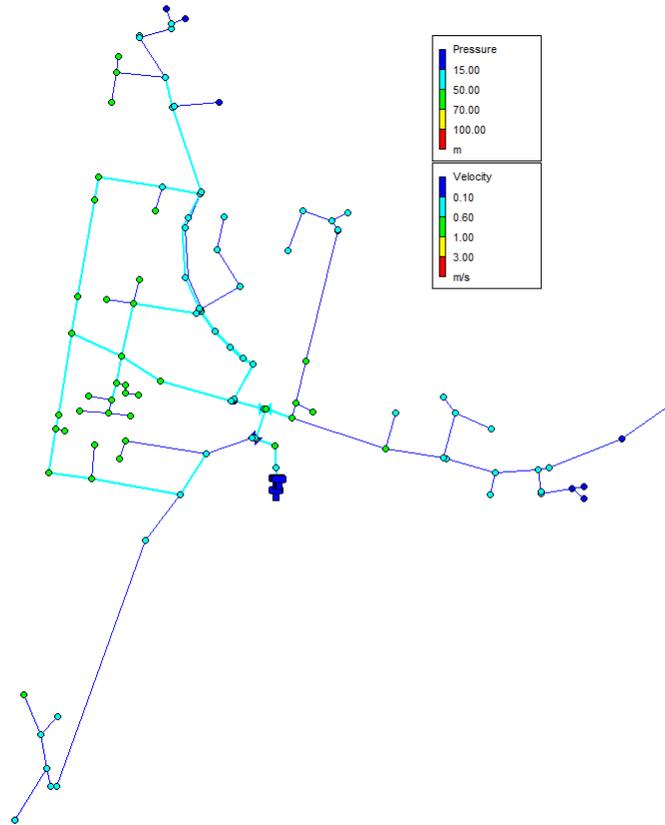


Figura 6.20: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación dinámica del escenario actual del sistema de APR Nuevo Futuro.

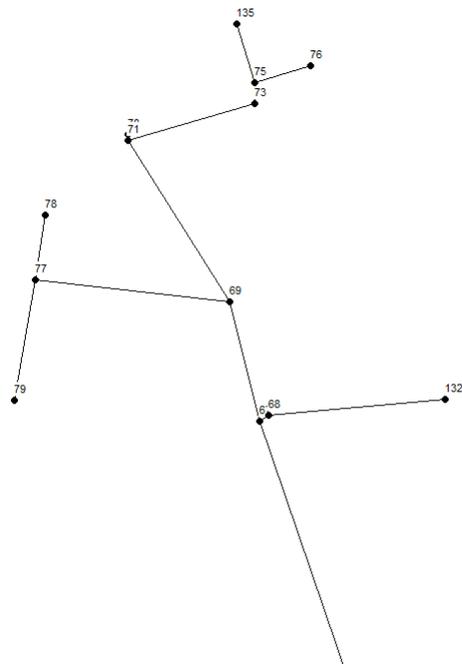


Figura 6.21: Detalle de ID de nodos en el sector norte del APR Nuevo Futuro.

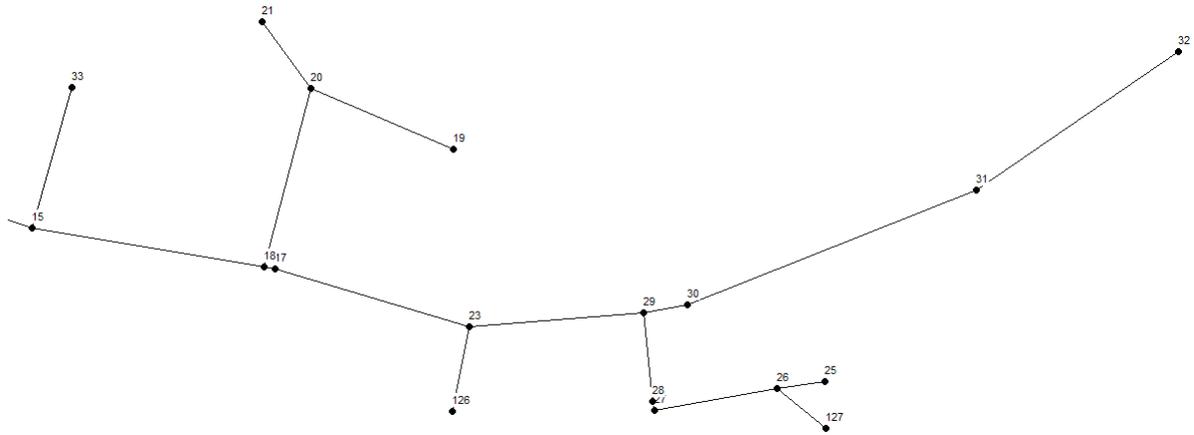


Figura 6.22: Detalle de ID de nodos en el sector este del APR Nuevo Futuro.

Por otro lado, en la Figura 6.23 se observan los resultados del escenario estático, en donde el sector oeste del sistema alcanza una presión máxima de 69 m, mientras que algunos nodos en el sector norte y este siguen presentando presiones inferiores a 15 m. Ahora bien, la presión máxima alcanzada en todo el sistema nuevamente corresponde al nodo 6, con una presión de 73,37 m. Los detalles de los resultados de los nodos y tuberías del sistema pueden ser verificados en el anexo C.2.1

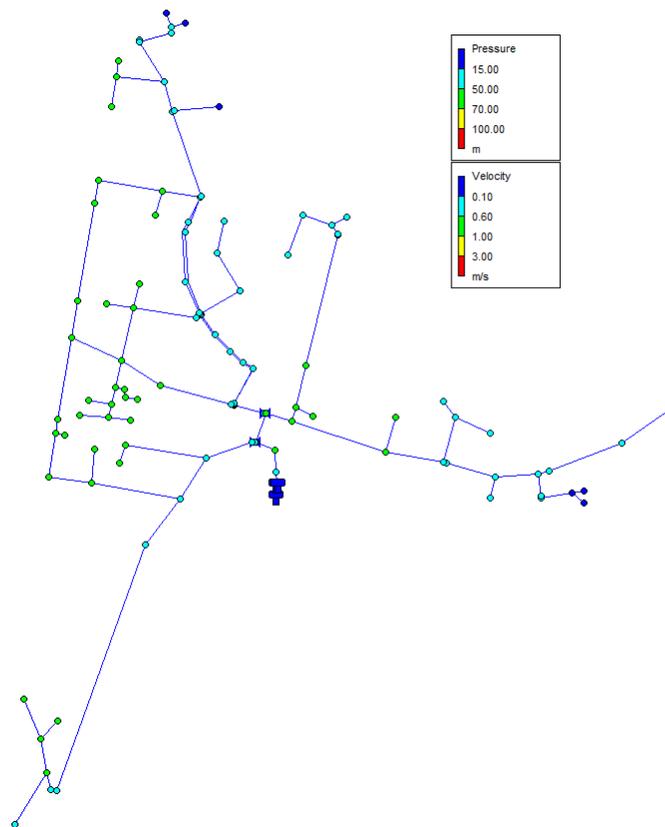


Figura 6.23: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación estática del escenario actual del sistema de APR Nuevo Futuro.

6.2.1.2. Escenario Base (Año 2026)

Para la elaboración de éste modelo se utilizan los mismos criterios del escenario actual, considerando un 4% de crecimiento poblacional anual, según lo indicado por la DOH (2019) al no contar con mayores antecedentes. Así, calculando la población como la cantidad de arranques ponderado por la densidad poblacional, se obtiene la población base utilizando la ecuación 2.9. Con esta información se determina que, para éste escenario, la cantidad de arranques a abastecer es de 389, proyectando la red considerando tuberías de HDPE y 90 mm de diámetro. Además, dado que no se informó de sectores de ampliación o de viviendas a la espera de ser agregadas al sistema, se proyectaron las casas según los criterios establecidos en el capítulo de *Metodología de resolución de problemas*, considerando 6 casas en 80 m lineales, que corresponde a la distribución de la población de Nueva Aurora que se encuentra frente a Potrerillo Alto, la cual presenta características similares a las urbanas. La Figura 6.24 muestra el modelo elaborado para éste escenario, donde también se indica el sector de ampliación. Por otro lado, en la Figura 6.25 se presenta la cartografía del sistema, que también incluye este sector de ampliación.

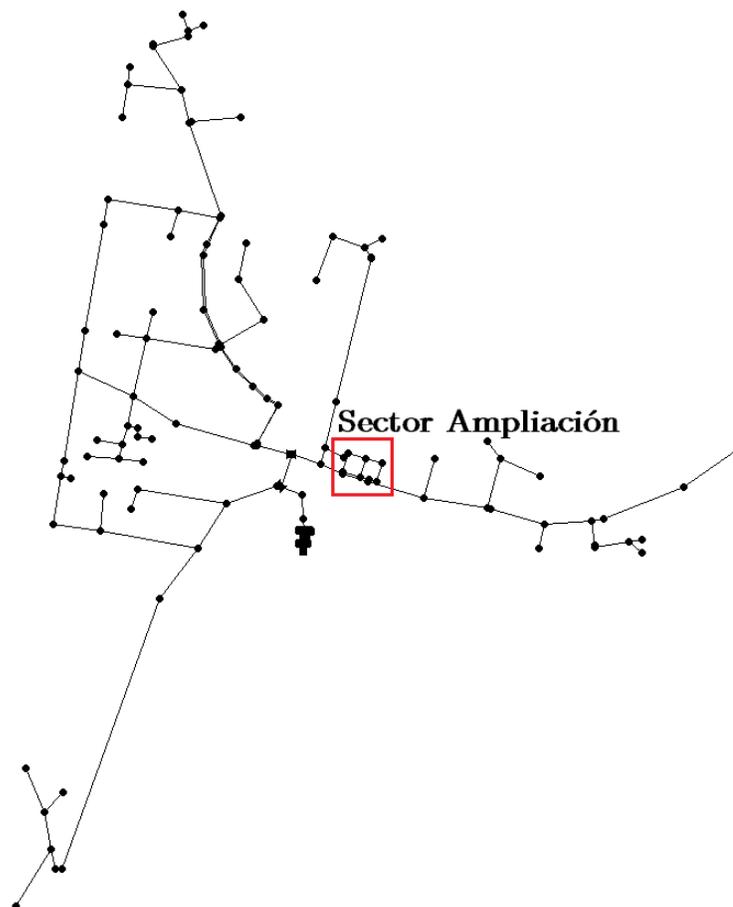


Figura 6.24: Red de distribución modelada en *EPANET* para el escenario base del APR Nuevo Futuro.

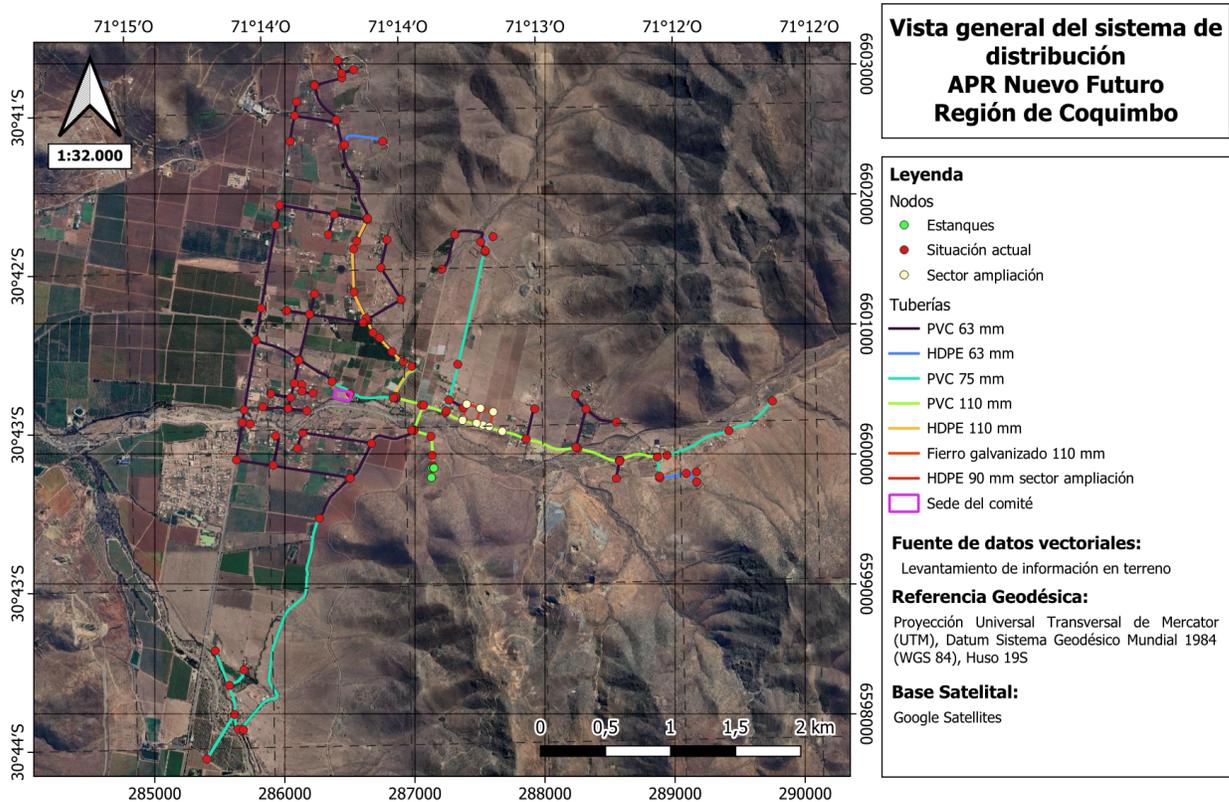


Figura 6.25: Cartografía de la red de distribución en el escenario base del APR Nuevo Futuro.

Con todos los antecedentes anteriores se determinan las demandas para la situación dinámica, que consideran el caudal máximo horario, obteniendo los resultados presentados en la Figura 6.26. En ésta imagen se observa que el sector de ampliación se encuentra dentro del rango de presiones aceptables, mientras que los nodos que presentaban presiones inferiores a lo permitido en el escenario actual siguen siendo afectados por el mismo problema. Por otro lado, el nodo 6, cuya ubicación se presenta en la Figura 6.19, tiene una presión de 71,44 m, incumpliendo los límites establecidos. Además, la Figura 6.27 presenta los resultados del modelo para la situación estática, donde nuevamente el sector oeste alcanza presiones máximas de 69 m y el nodo 6 una presión de 73,37 m. En el anexo C.2.2 se pueden verificar los resultados de cada nodo y tubería.

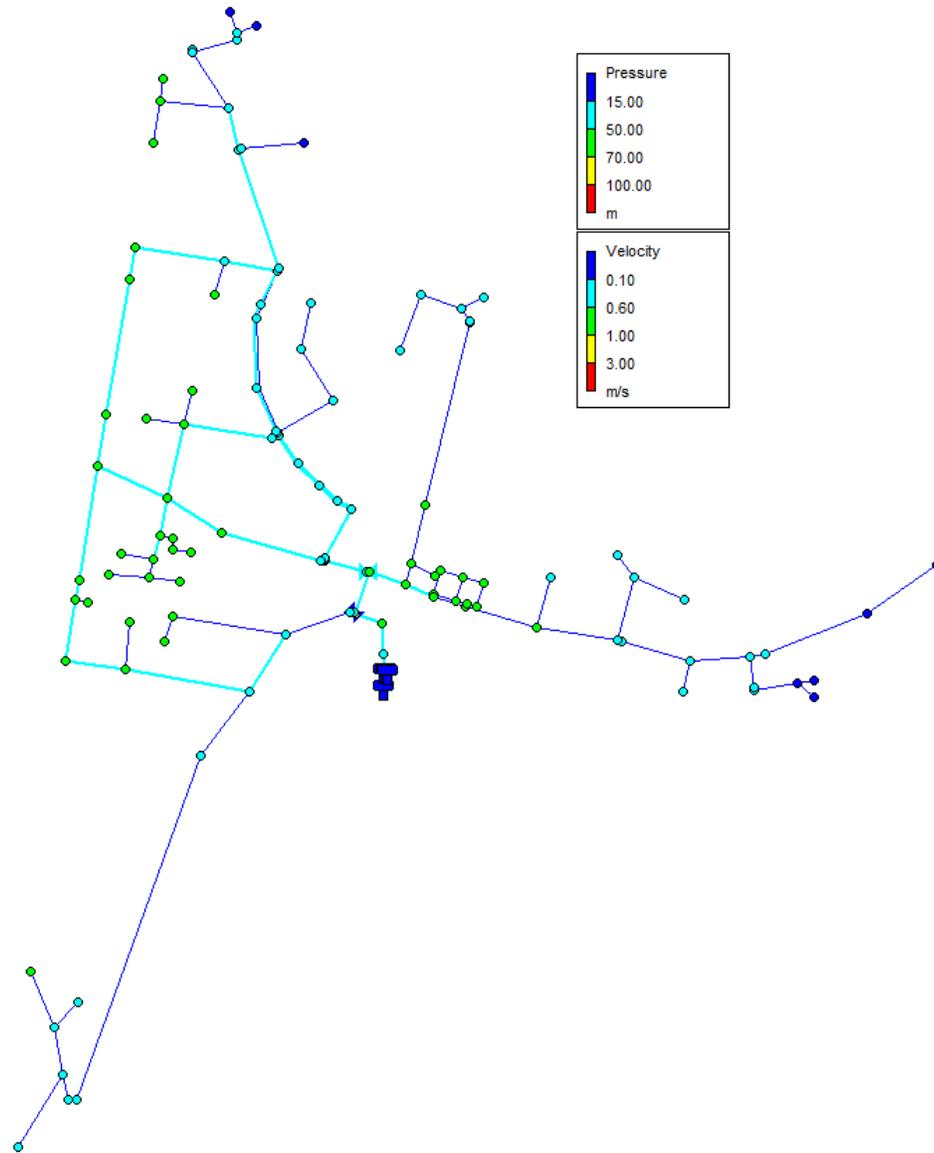


Figura 6.26: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación dinámica del escenario base del sistema de APR Nuevo Futuro.

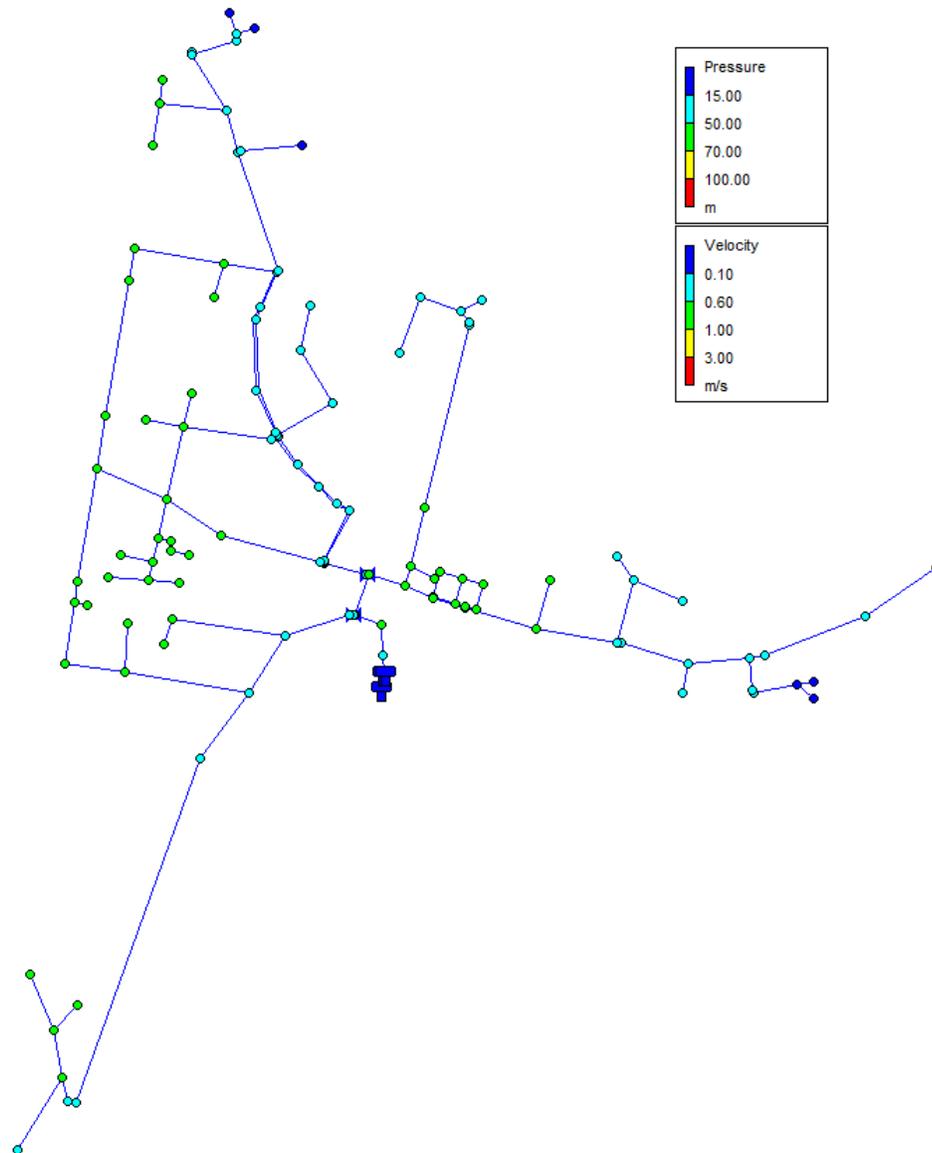


Figura 6.27: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación estática del escenario base del sistema de APR Nuevo Futuro.

6.2.1.3. Escenario Futuro (Año 2046)

Al igual que en el caso del escenario futuro del APR Camarico Chico, se considera una dotación de 150 L/hab-día, puesto que se toma el supuesto de que el sistema cuente con sistema de alcantarillado. Considerando los mismos criterios que en los dos escenarios anteriores, con la excepción de la dotación, se utiliza la ecuación 2.10 y la densidad poblacional para determinar que la cantidad de arranques proyectados es de 851, por lo que para el análisis de la situación dinámica se considera el caudal máximo diario más la demanda por incendio. De esta manera, luego de proyectar la nueva ampliación de red en tuberías de HDPE con diámetro de 90 mm, en la Figura 6.28 se observa el modelo elaborado en *EPANET*, mientras que en la Figura 6.29 se presenta la cartografía del sistema para éste escenario.

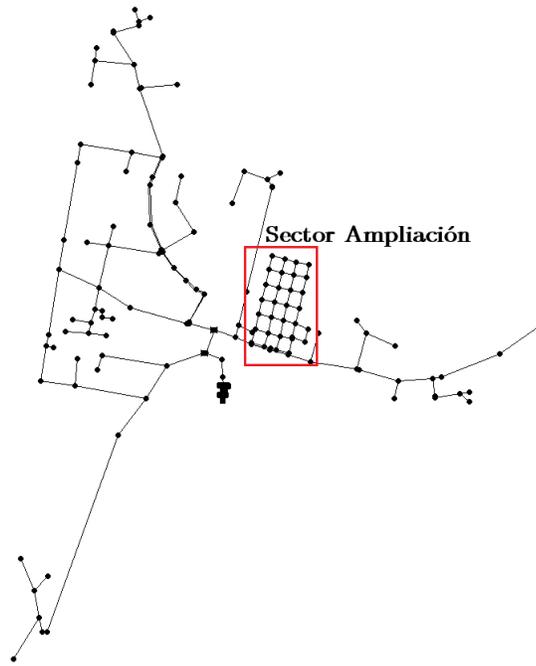


Figura 6.28: Red de distribución modelada en *EPANET* para el escenario futuro del APR Nuevo Futuro.

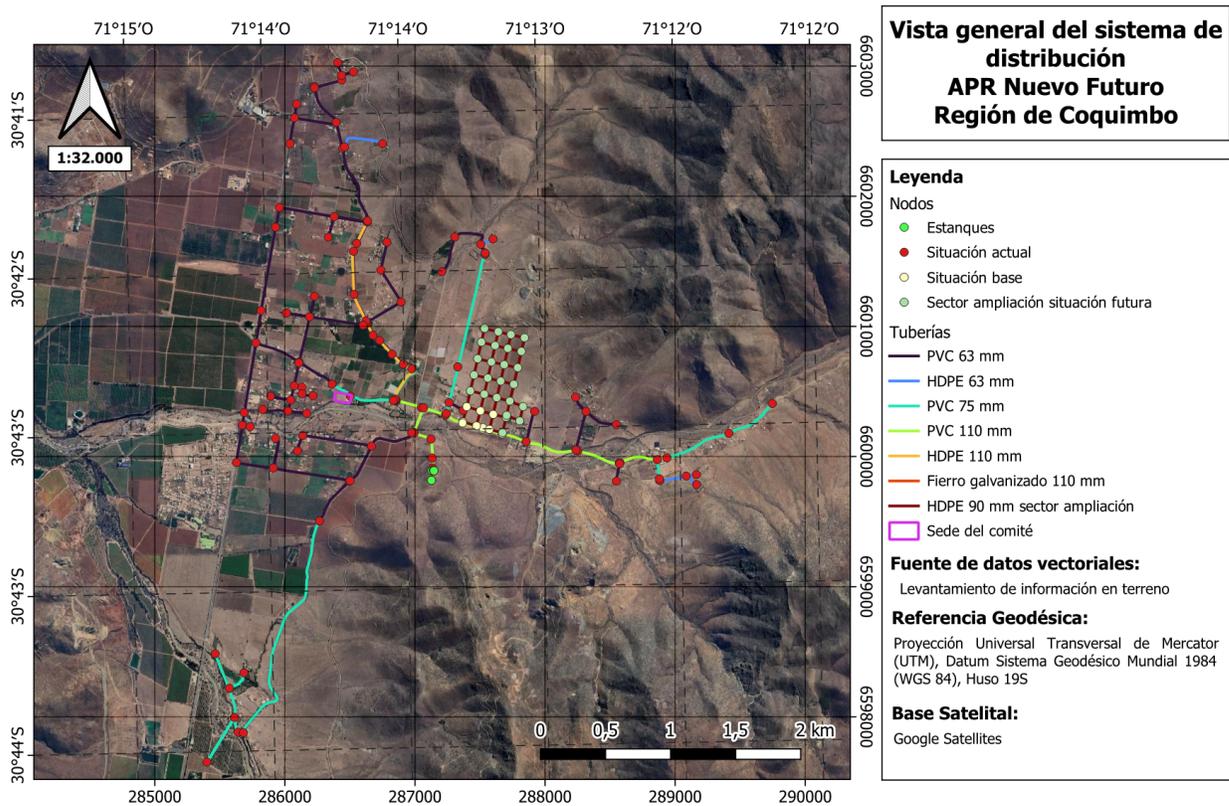


Figura 6.29: Cartografía de la red de distribución en el escenario futuro del APR Nuevo Futuro.

Dada la cantidad de arranques proyectados, la DOH (2023) establece el uso de solo un grifo de forma simultánea, con una demanda de 16 L/s por grifo. Ahora bien, la demanda de los grifos se debe considerar en múltiples puntos de la red, por lo que no es posible mostrar el comportamiento del modelo para cada grifo. Así, en la Figura 6.30 se observan los resultados de la situación dinámica considerando la demanda del grifo en el nodo 107, que se encuentra en el extremo más alejado del estanque del sector oeste, ubicación que puede ser verificada en la Figura 6.31. Puesto que el caudal que sale del estanque principal es de 27,08 L/s, es claro que éste nivel de demanda provoca que el sistema colapse, con múltiples nodos alcanzando presiones negativas y las tuberías más cercanas al grifo presentando velocidades superiores a los 3 m/s.

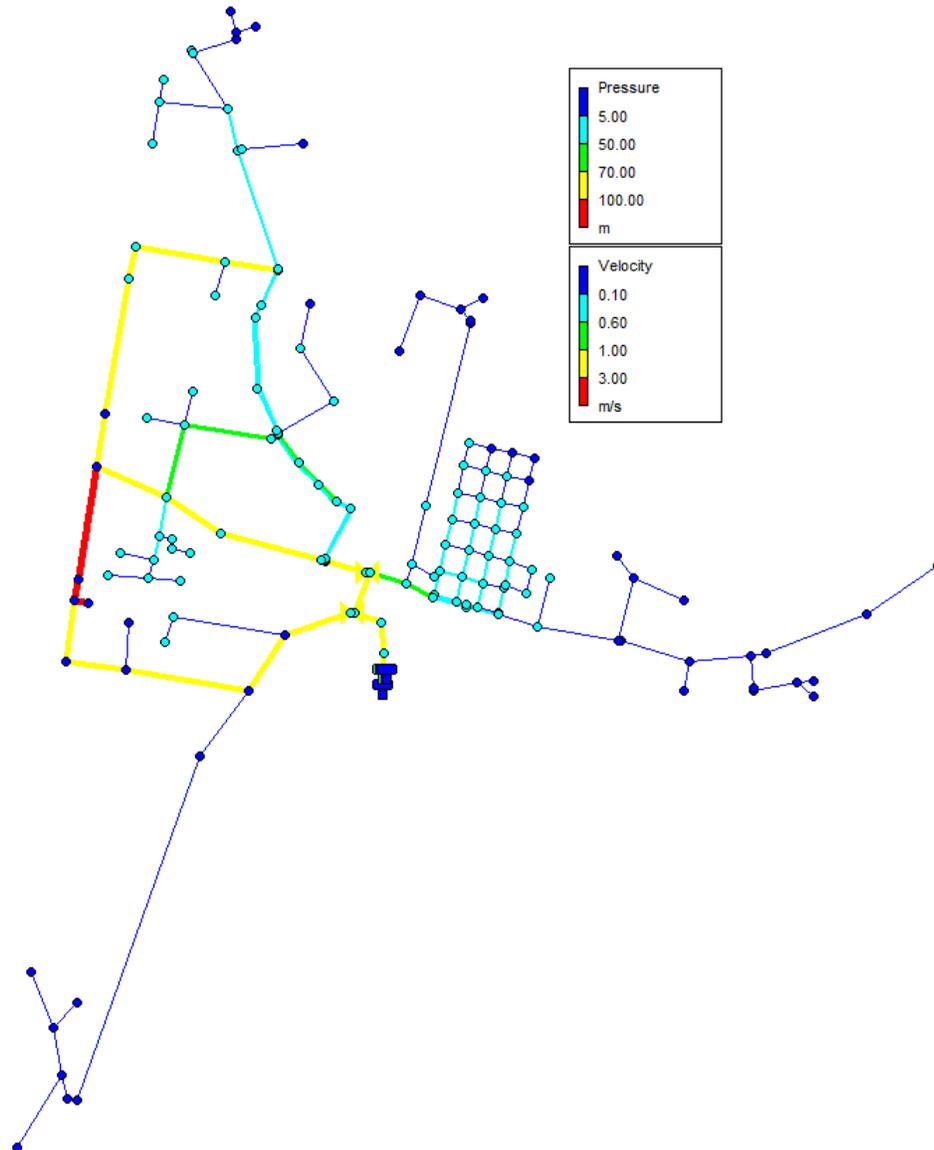


Figura 6.30: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación dinámica del escenario futuro del sistema de APR Nuevo Futuro.

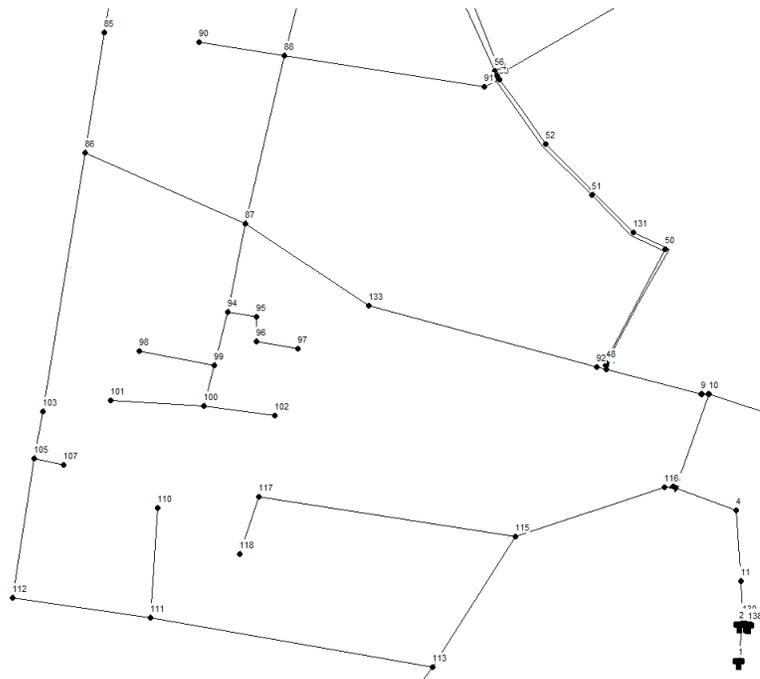


Figura 6.31: Detalle de ID de nodos en el sector oeste (a) del APR Nuevo Futuro.

Por otro lado, la Figura 6.32 muestra los resultados para la situación estática, los cuales son similares a los dos escenarios anteriores, con los nodos en el sector norte y este presentando presiones bajo el límite de 15 m, además del nodo 6 alcanzando una presión de 73,37 m. En el anexo C.2.3 se presentan los resultados de cada nodo y tubería, considerando el uso del grifo del nodo 107.

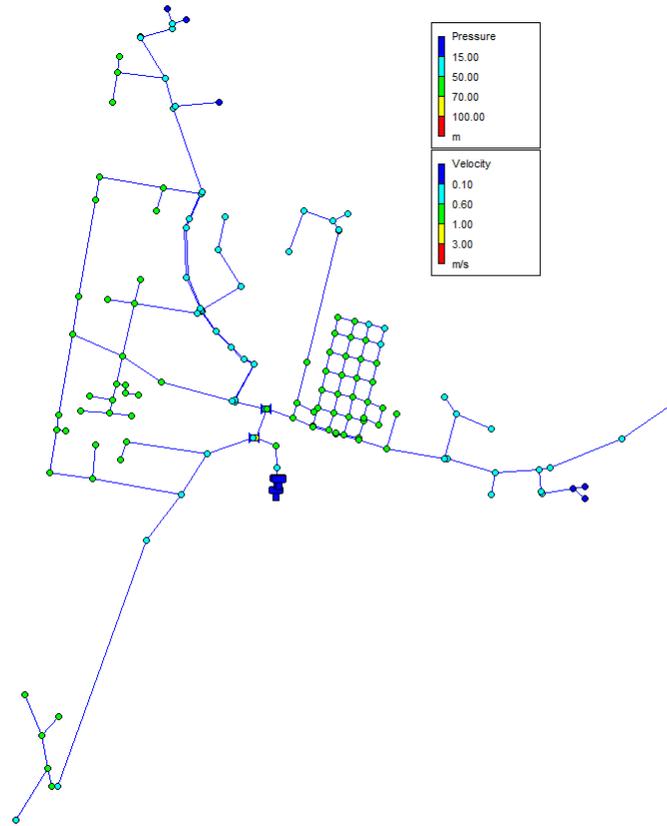


Figura 6.32: Resultados del modelo de *EPANET* para la situación estática del escenario futuro del sistema de APR Nuevo Futuro.

6.2.2. Análisis de almacenamiento

La capacidad de almacenamiento actual del sistema es de 230 m³, por lo que, considerando un crecimiento poblacional anual de 4 %, un valor del FDMC de 1,5 y un porcentaje de aguas no contabilizadas del 20 %, se elabora la Tabla 6.9, que muestra los valores del volumen de regulación, incendio y estanque requeridos en cada escenario.

Tabla 6.9: Verificación de volúmenes de estanque requeridos para cada escenario del APR Nuevo Futuro.

Escenario	Dotación producción [L/hab-día]	Pob. Total	Nº arr.	V regulación [m3]	V incendio [m3]	V estanque [m3]
Actual	150,0	1380	345	62	-	62
Base	150,0	1553	389	69	-	69
Futuro	187,5	3402	851	191	115	306

De la tabla anterior se determina que único escenario en donde no se cumple con los requerimientos del volumen del estanque es el futuro, donde se observa un déficit de 76,363 m³. Ahora bien, al igual que en el caso del APR Camarico Chico, se debe verificar cuando se deja de cumplir con el requerimiento de volumen de estanques. De esta forma, en la Tabla 6.10

se presentan los volúmenes de estanque requeridos en cada año, utilizando los mismos valores de crecimiento poblacional, FDMC y ANC anteriormente mencionados, con la excepción de que en el año 2046 se considera una dotación de consumo de 150 L/s. Es necesario mencionar que desde el año 2038 en adelante se agrega el volumen de incendio al volumen requerido del estanque, puesto que se superan los 600 arranques proyectados.

Tabla 6.10: Requerimientos de volumen de estanques por año para el APR Nuevo Futuro

Año	Población Total	Nº Arranques	Volumen req. estanque [m³]	Diferencia respecto volumen actual [m³]
2023	1380	345	62,100	167,900
2024	1436	359	64,620	165,380
2025	1493	374	67,185	162,815
2026	1553	389	69,885	160,115
2027	1615	404	72,675	157,325
2028	1679	420	75,555	154,445
2029	1747	437	78,615	151,385
2030	1816	454	81,720	148,280
2031	1889	473	85,005	144,995
2032	1965	492	88,425	141,575
2033	2043	511	91,935	138,065
2034	2125	532	95,625	134,375
2035	2210	553	99,450	130,550
2036	2298	575	103,410	126,590
2037	2390	598	107,550	122,450
2038	2486	622	226,870	3,130
2039	2585	647	231,325	-1,325
2040	2689	673	236,005	-6,005
2041	2796	699	240,820	-10,820
2042	2908	727	245,860	-15,860
2043	3024	756	251,080	-21,080
2044	3145	787	256,525	-26,525
2045	3271	818	262,195	-32,195
2046	3402	851	306,363	-76,363

Observando la tabla anterior, es claro que el sistema deja de cumplir con el requerimiento de volumen de estanque en el año 2039, puesto que se superan los 230 m³ de almacenamiento actualmente disponibles.

6.2.3. Análisis de fuentes de abastecimiento

En el capítulo *Casos de estudio* se mencionó que el abastecimiento del sistema se realiza principalmente a través del pozo 4, que extrae 4 L/s y funciona durante 24 toda la semana, lo

que se traduce en un volumen de 345,6 m³ extraídos diariamente. Considerando los mismos criterios de porcentaje de crecimiento poblacional, porcentaje de aguas no contabilizadas y FDMC que en el análisis de almacenamiento, en la Tabla 6.11 se presentan los volúmenes y caudales de extracción requeridos en cada escenario, considerando extracción durante las 24 horas, además de la diferencia respecto al volumen de extracción actual. Así, se verifica que tanto en el escenario base como en el futuro las captaciones del sistema dejan de ser suficientes.

Tabla 6.11: Verificación de volúmenes y caudales de extracción requeridos en cada escenario del APR Nuevo Futuro.

Escenario	Dotación producción [L/hab-día]	Volumen extraído req. [m³/día]	Caudal extraído req. [L/s]	Diferencia respecto vol. extraído actual [m³/día]
Actual	150,000	310,500	3,594	35,100
Base	150,000	349,425	4,044	-3,825
Futuro	187,500	956,813	11,074	-611,213

Por otro lado, considerando los mismos criterios ya indicados, con la excepción de una dotación de consumo de 150 L/s en el año 2046, en la Tabla 6.12 se presentan los requerimientos de volúmenes de extracción y caudales asociados a cada año, incluyendo la diferencia respecto al volumen extraído actualmente.

Tabla 6.12: Verificación de volúmenes y caudales de extracción requeridos en cada año del APR Nuevo Futuro.

Año	Población Total	Volumen extraído [m³/día]	Caudal extraído [L/s]	Diferencia respecto vol. extraído actual [m³/día]
2023	1380	310,500	3,594	35,100
2024	1436	323,100	3,740	22,500
2025	1493	335,925	3,888	9,675
2026	1553	349,425	4,044	-3,825
2027	1615	363,375	4,206	-17,775
2028	1679	377,775	4,372	-32,175
2029	1747	393,075	4,549	-47,475
2030	1816	408,600	4,729	-63,000
2031	1889	425,025	4,919	-79,425
2032	1965	442,125	5,117	-96,525
2033	2043	459,675	5,320	-114,075
2034	2125	478,125	5,534	-132,525
2035	2210	497,250	5,755	-151,650
2036	2298	517,050	5,984	-171,450
2037	2390	537,750	6,224	-192,150
2038	2486	559,350	6,474	-213,750
2039	2585	581,625	6,732	-236,025
2040	2689	605,025	7,003	-259,425
2041	2796	629,100	7,281	-283,500
2042	2908	654,300	7,573	-308,700
2043	3024	680,400	7,875	-334,800
2044	3145	707,625	8,190	-362,025
2045	3271	735,975	8,518	-390,375
2046	3402	956,813	11,074	-611,213

Los resultados de la tabla anterior indican que el volumen extraído actualmente deja de ser suficiente en el año 2026, asociado al escenario base.

Capítulo 7

Propuestas de solución

En el siguiente capítulo se presentan las distintas propuestas de solución para los problemas identificados en los dos sistemas de APR de estudio. Ahora bien, antes de continuar es importante mencionar que las propuestas de solución buscan solucionar de forma puntual los problemas observados en cada sistema, asegurando el correcto funcionamiento de cada APR con la menor cantidad de cambios a sus elementos, puesto que se reconoce que los comités pueden no contar con los recursos económicos para efectuar modificaciones a gran escala dentro de los sistemas. Sin perjuicio de lo anterior, respecto a la red de distribución, se recomienda el recambio de todas las tuberías de PVC con diámetro de 63 mm por tuberías de, como mínimo, 75 mm de diámetro, ya sea de PVC o HDPE PN 10, primero por que la DOH establece que diámetro mínimo es de 75 mm y, más importante, debido a que las proyecciones consideradas podrían no reflejar la realidad, por lo que los sectores en donde no se detectaron problemas podrían presentarlos si aumenta la demanda en ellos producto de la instalación de nuevos arranques.

7.1. APR Camarico Chico

7.1.1. Modificaciones de red de distribución

En el capítulo anterior se identificó que los principales problemas que aquejan al sistema de APR Camarico Chico corresponden a las bajas presiones en el sector de ampliación 2 y en el nodo 41, que se ubica en uno de los puntos más alejados del resto del sistema. Estos problemas persisten en el escenario de ampliación y en el base, mientras que en el escenario futuro se requiere de una gran intervención de la materialidad de la red de distribución debido a que el sistema colapsa ante la demanda por incendio. Por esta razón, se presentarán las soluciones para cada escenario de forma separada, tal de reconocer cuales son los problemas más urgentes, manteniendo las soluciones de escenarios previos en los posteriores si es que es posible.

7.1.1.1. Ampliación

Con respecto a la ampliación, se observan los problemas de bajas presiones en el sector de ampliación 2 y en el nodo 41, que se observan en las Figuras 6.9 y 6.3, respectivamente, por lo que se propone la implementación de una bomba elevadora de presión y el cambio de parte de la red de distribución. Con respecto a la bomba, el sector 2 recibe un caudal de 0,23 L/s, por lo que se considera una bomba ubicada en la tubería 107, indicada en la Figura 7.1,

que eleva 0,25 L/s a una altura de 30 m, mientras que cuando no existe flujo se eleva a una altura de 32 m, tal de cumplir con los requerimientos de presiones máximas en la situación estática. En la Figura 7.2 se puede observar la curva considerada para esta bomba.

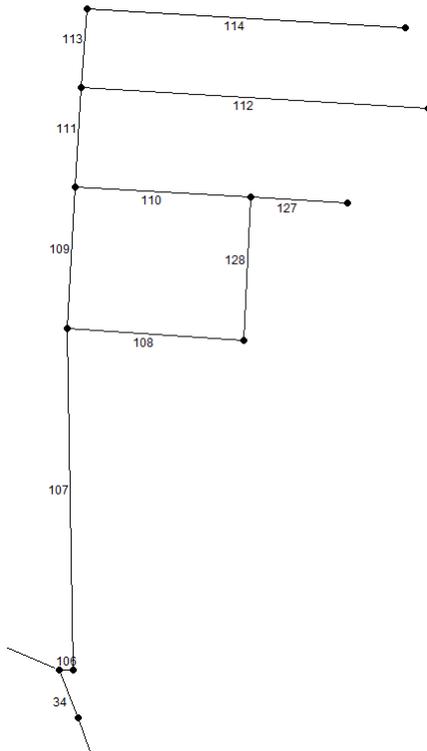


Figura 7.1: Detalle de ID de tuberías en el sector de ampliación 2 del APR Camarico Chico.

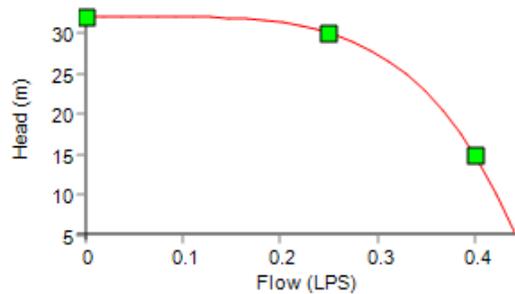


Figura 7.2: Curva característica de la bomba implementada en el escenario de ampliación del APR Camarico Chico.

Por otro lado, el cambio de tuberías corresponde a las tuberías a la salida del estanque hasta el inicio del sector de La Villa, reemplazando tuberías de HDPE de 75 mm por HDPE PN10 de 110 mm, correspondientes a las tuberías del 1 al 5, que se pueden observar en la Figura 7.3, sumando una longitud de 319,77 m. Este cambio se implementa principalmente para aumentar la presión del nodo 41, que pasa de 16,93 m a 18,58 m, recordando que el modelo se elabora con los estanques llenos, por lo que, si ése no es el caso, la cota del estanque sería ligeramente inferior y los nodos con presiones cercanas a los 15 m podrían

alcanzar presiones inferiores a este valor límite.

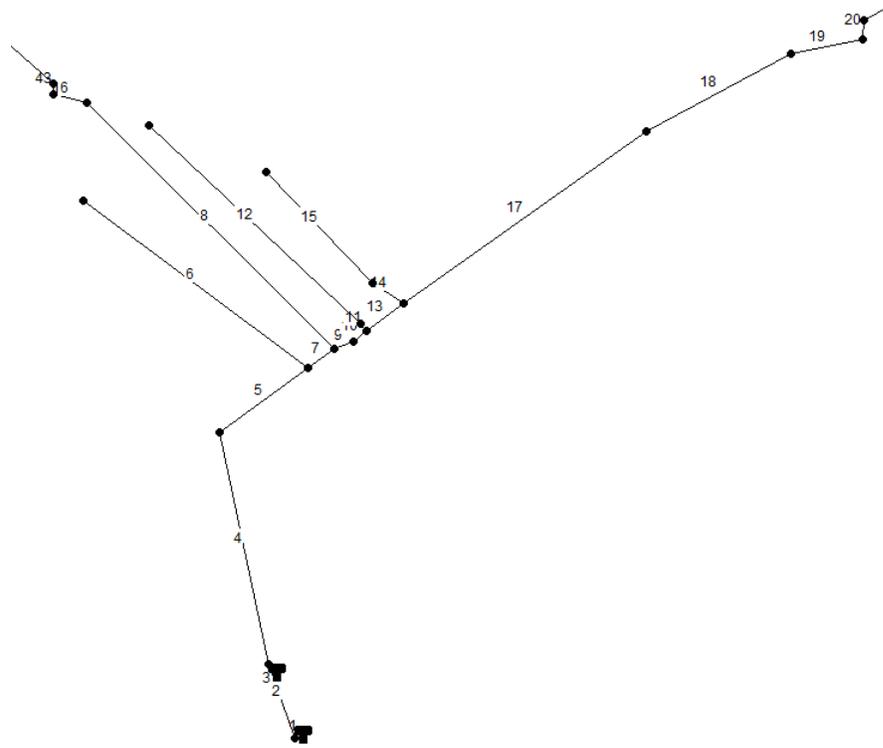
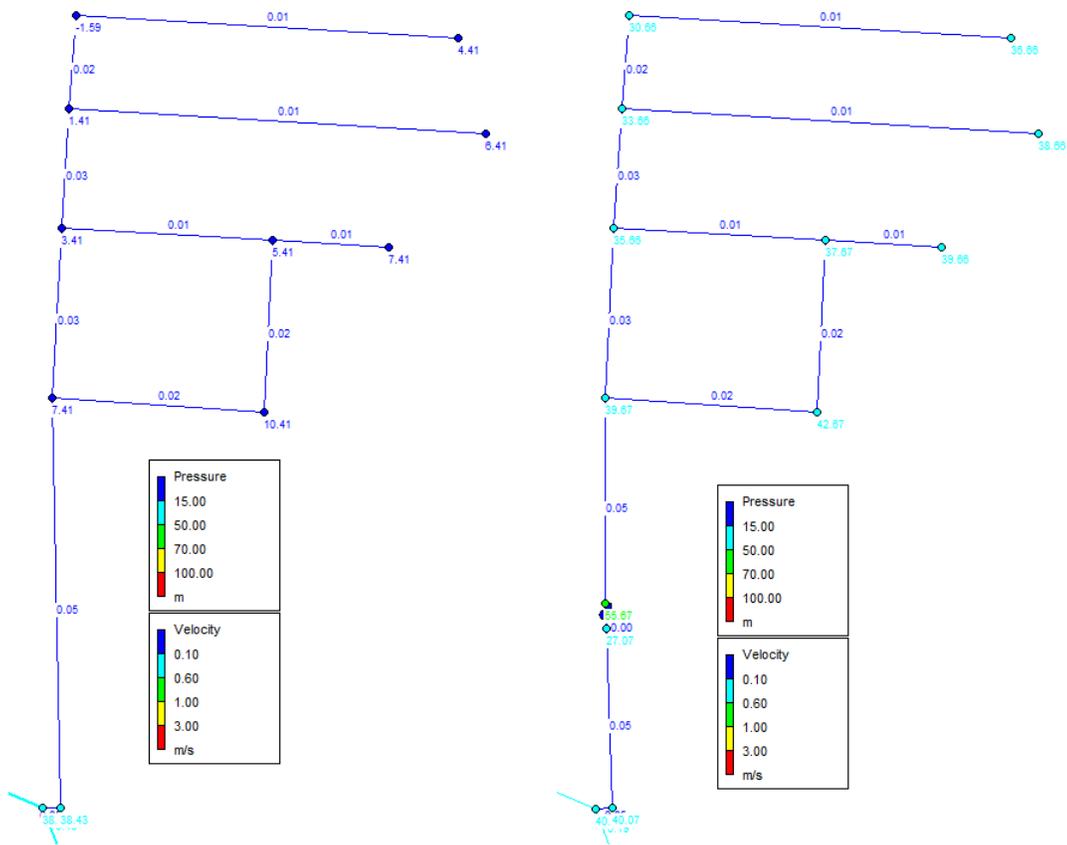


Figura 7.3: Detalle de ID de tuberías en el sector La Villa del APR Camarico Chico.

Por otra parte, en la Figura 7.4 se observa el detalle de las presiones y velocidades en el sector de ampliación 2 antes y después de la implementación de la bomba y del cambio de red matriz, mientras que la Figura 7.5 muestra el resultado del modelo al implementar todas las soluciones anteriores, verificando que las presiones y velocidades en cada nodo y tubería, respectivamente, se encuentran dentro de los límites establecidos. Además, la verificación del golpe de ariete calculado para cada una de las tuberías arroja que la sobre-presión máxima es de 18,53 m y se alcanza en las tuberías 19, 20 y 21, por lo que, recordando el supuesto de que las tuberías originales del sistema se consideran como PN 10, no existen problemas en éste ámbito. En el anexo D.1.1 se pueden verificar las ubicaciones de los nuevos nodos agregados, mientras que en el anexo F.1.1 se presentan los resultados de cada nodo y tubería, además de los valores del golpe de ariete para cada una.



(a) Situación original.

(b) Situación con soluciones.

Figura 7.4: Detalle de resultados del modelo en escenario de ampliación del sector de ampliación 2 en el APR Camarico Chico.

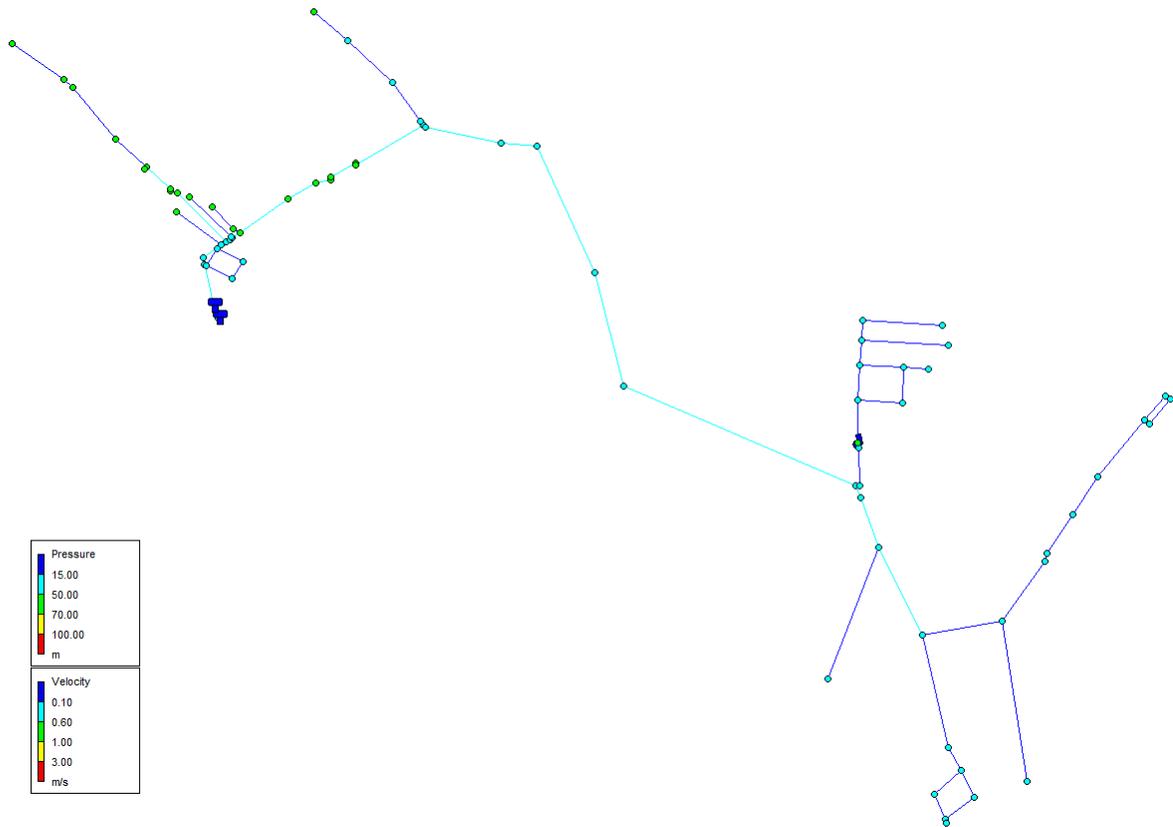


Figura 7.5: Resultados del modelo con soluciones implementadas en escenario de ampliación del APR Camarico Chico.

7.1.1.2. Escenario Base (Año 2026)

Éste escenario presenta los mismos problemas que el anterior, es decir, bajas presiones en el sector de ampliación 2 y en el nodo 41, donde la ubicación de éste último puede ser observada en la Figura 6.3. Ahora bien, a diferencia del caso previo, la mayor demanda provocada por el aumento de arranques genera que el nodo 41 alcance una presión de 13,57 m considerando las soluciones del escenario de ampliación, además de que el nodo 118 del sector de ampliación 2, cuya ubicación puede ser verificada en la Figura 6.9, presenta una presión de 15,43 m, que se encuentra demasiado cerca del límite, por lo que es necesario implementar más soluciones. En este caso se considera nuevamente un cambio de parte de la red matriz, reemplazando tuberías de PVC y 63 mm, que corresponden a las tuberías desde la 19 a la 23 y de la 28 a la 30, por tuberías de HDPE PN 10 de 90 mm, que en total suman 908,72 m de tubería a sustituir. Estas tuberías son las que dan inicio al sector de Camarico Viejo y su ubicación se observa en la Figura 7.6.

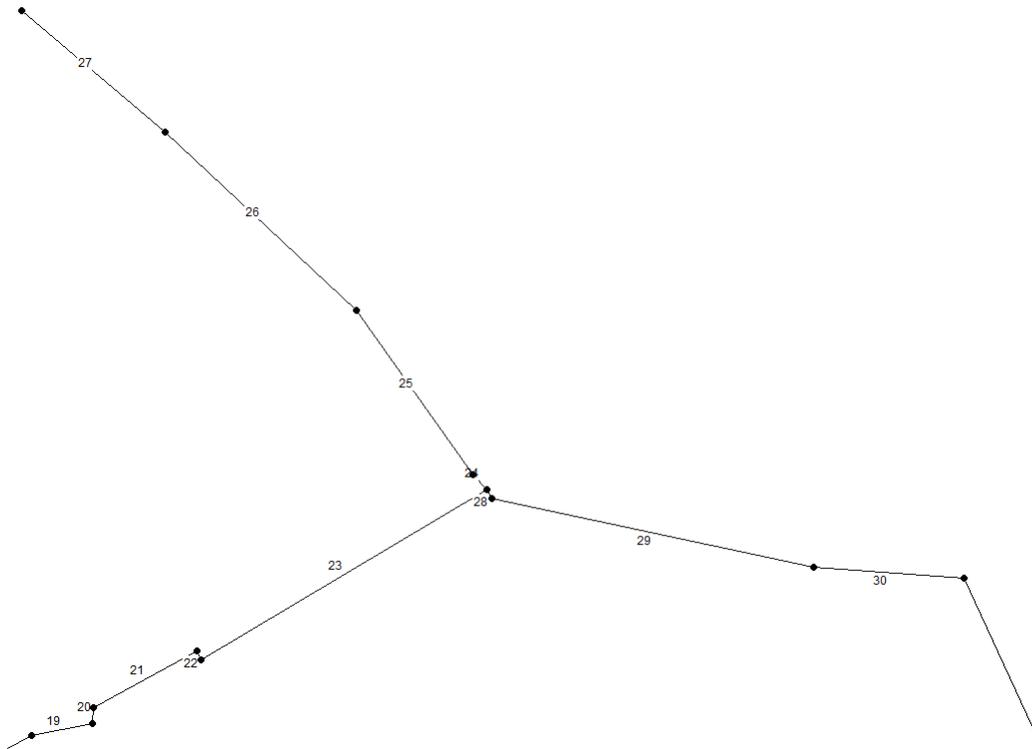


Figura 7.6: Detalle de ID de tuberías en el sector Camarico Viejo (a) del APR Camarico Chico.

De esta forma, para el escenario dinámico, el nodo 41 alcanza una presión de 18,03 m y el nodo 118 del sector de ampliación 2 una presión de 19,89 m. En la Figura 7.7 se observan los resultados del modelo al implementar los cambios de tubería, además de considerar las mismas soluciones del escenario de ampliación. Respecto a las sobre-presiones provocadas por el golpe de ariete, el máximo valor de éste es de 18,82 m y se alcanza en la tubería 7, por lo que no significaría un problema. Por último, los resultados de cada nodo y tubería, incluidos los valores de golpe de ariete, pueden ser consultados en el anexo F.1.2.

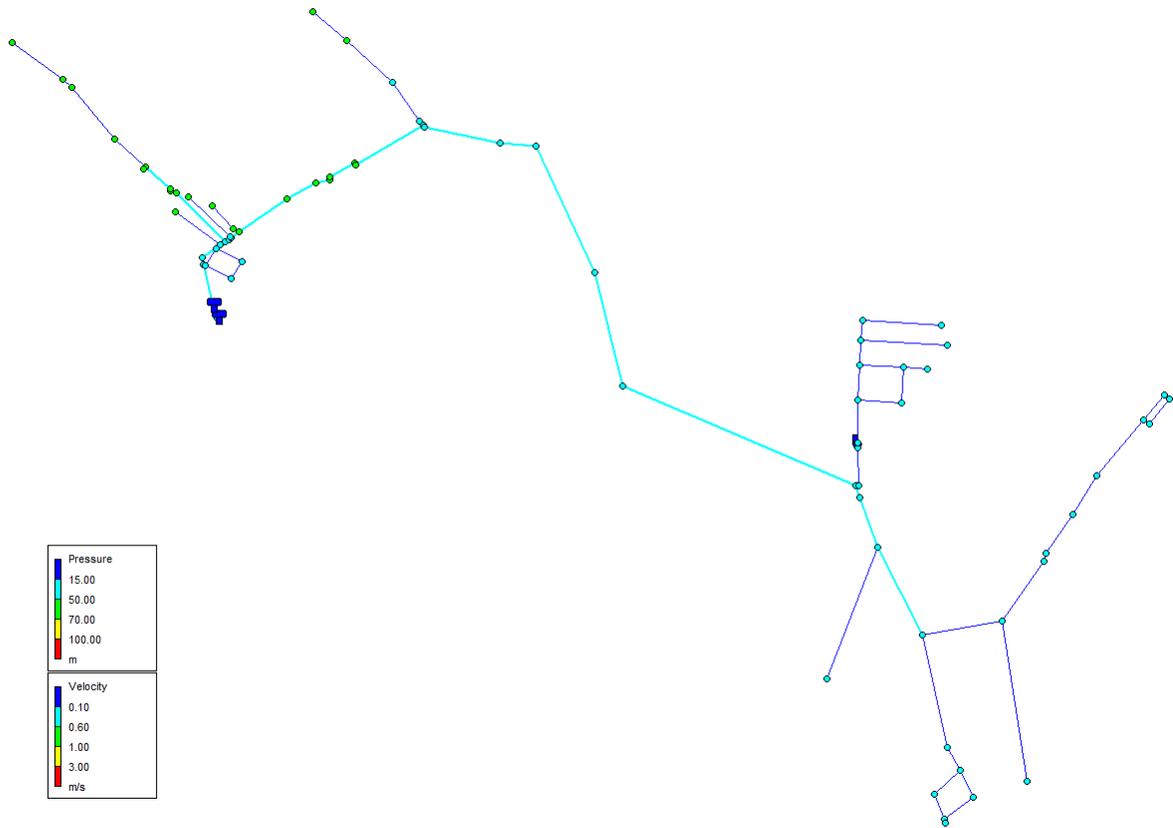


Figura 7.7: Resultados del modelo con soluciones implementadas en escenario base del APR Camarico Chico.

7.1.1.3. Escenario Futuro (Año 2046)

Como fue mencionado en el capítulo anterior, la situación dinámica del escenario futuro contempla el caso de incendio, que se traduce en el uso de grifos y mayor demanda en el sistema. En primer lugar, cada vivienda tiene que tener una distancia máxima de 150 m hasta el grifo más cercano, por lo que en la Figura 7.31 se muestran los nodos en donde se consideró la demanda del uso de un grifo.

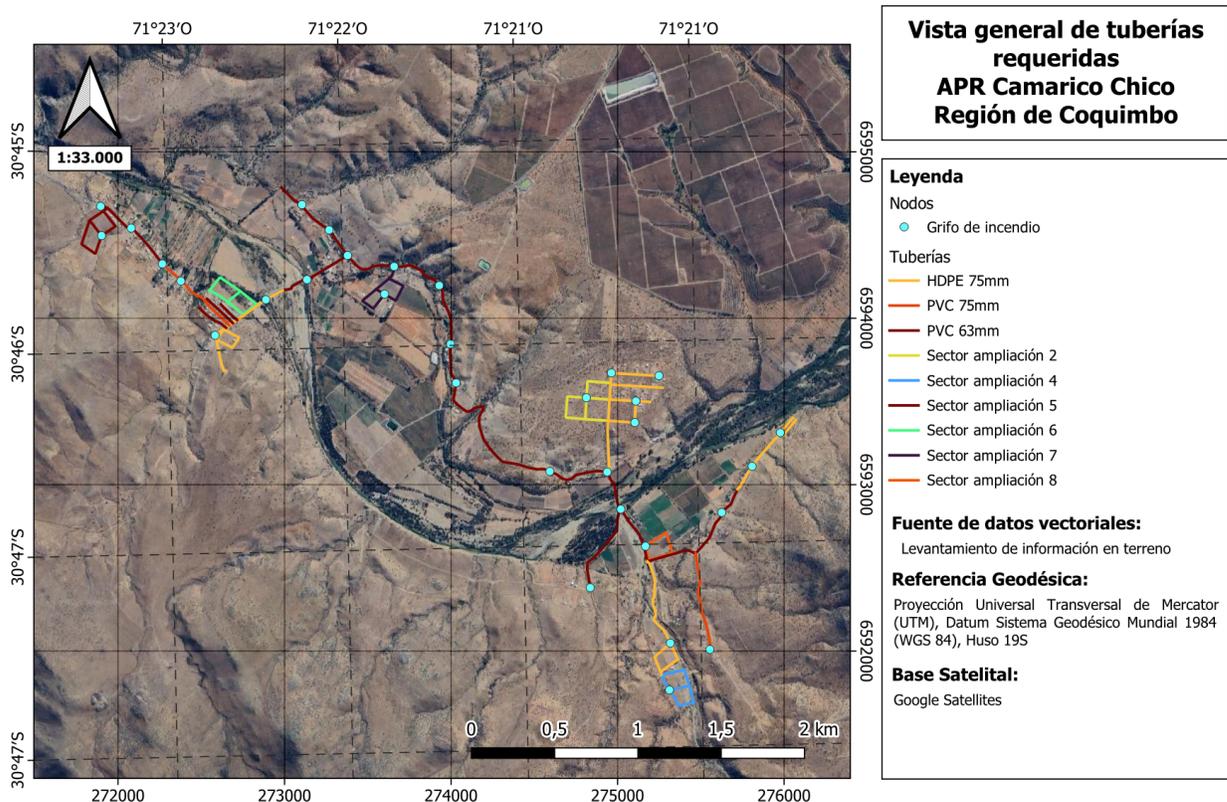


Figura 7.8: Cartografía de la red de distribución del APR Camarico Chico incluyendo nodos que consideran uso de grifos.

Ahora bien, según lo establecido en el Manual de proyectos de APR (Dirección de Obras Hidráulicas, 2023), las tuberías que conectan los grifos con la fuente de abastecimiento, en este caso los estanques de almacenamiento, deben tener un diámetro interno mínimo de 90 mm, por lo que es necesario reemplazar prácticamente toda la red. Además de esto, el cambio de tuberías se vuelve necesario al observar las grandes velocidades y pérdidas en cada uno de los tramos de red, debido a que las tuberías no tienen el diámetro suficiente para satisfacer la demanda. De esta forma, luego de ubicar la demanda de grifos en cada uno de los nodos indicados, se determinaron los diámetros necesarios de cada tubería tal de que todos los nodos del sistema presenten presiones superiores a 8 m, independiente del grifo que esté en uso, tal de mantener un margen con el límite de 5 m establecido en la NCh 691 (Instituto Nacional de Normalización, 2015). Así, en la Figura 7.9 se pueden observar los cambios de tuberías considerados en la red de distribución, donde todas corresponden a tuberías PN 10, mientras que en la Tabla E.1 del anexo se presentan las características de cada una de las tuberías reemplazadas. Además, las ubicaciones de los nuevos nodos considerados pueden ser verificadas en el anexo D.1.2.

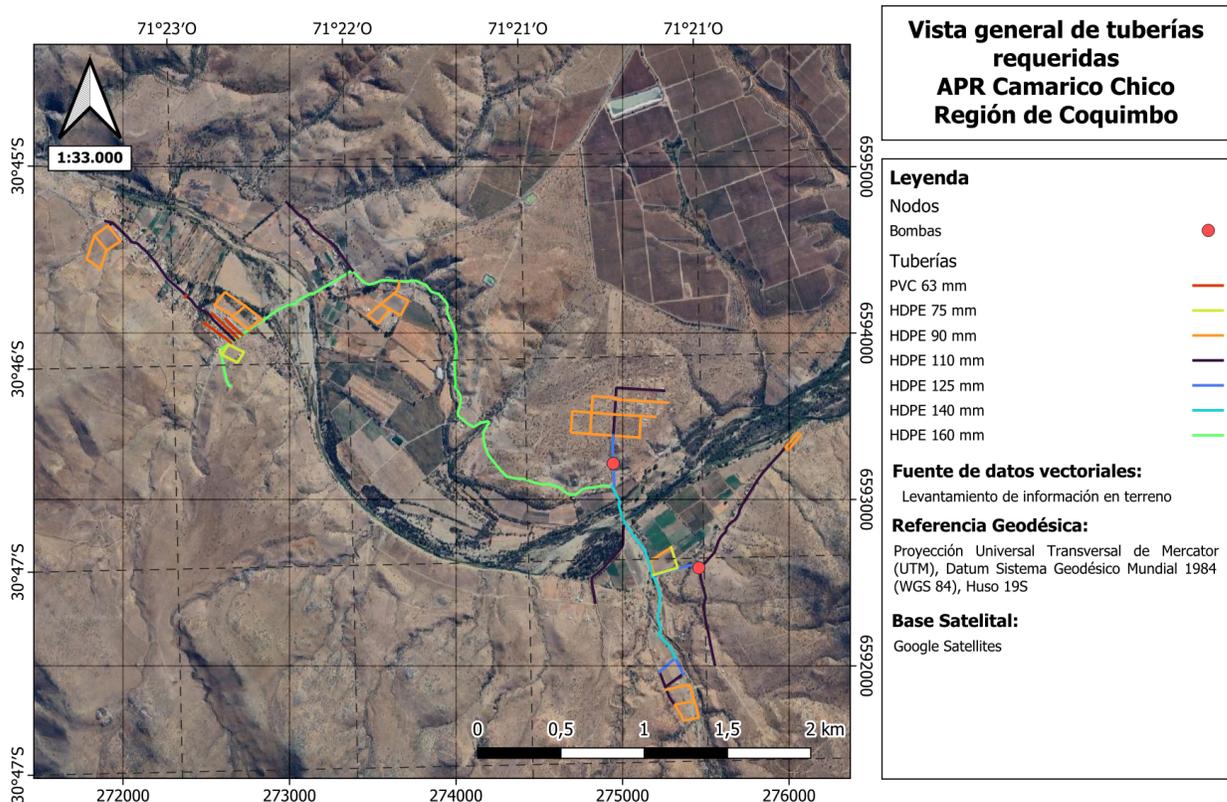


Figura 7.9: Cartografía de la red de distribución del APR Camarico Chico, considerando las tuberías requeridas en el escenario futuro.

Por otro lado, al ubicar un grifo en el sector de ampliación 2 la bomba indicada en los escenarios anteriores no es suficiente, por lo que es necesario reemplazarla. Considerando un grifo de incendio en el nodo 118, el sector de ampliación 2 recibe un caudal de 18,07 L/s, por lo que se considera una bomba que es capaz de elevar 18 L/s a una altura de 27 m, utilizando la curva característica que se observa en la Figura 7.10.

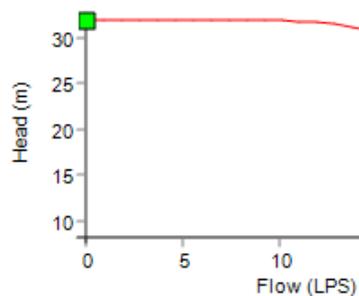


Figura 7.10: Curva característica de la bomba implementada en el sector de ampliación 2 en el escenario futuro del APR Camarico Chico.

Por otra parte, el sector que se observa en la Figura 7.11, donde se ubica el nodo 41 y el sector de ampliación 3, también presenta problemas de presiones inferiores a los 5 m al ubicar grifos en dichas zonas, por lo que también se considera la instalación de una bomba en la tubería 38, cuya ubicación puede ser observada en la Figura 7.12.

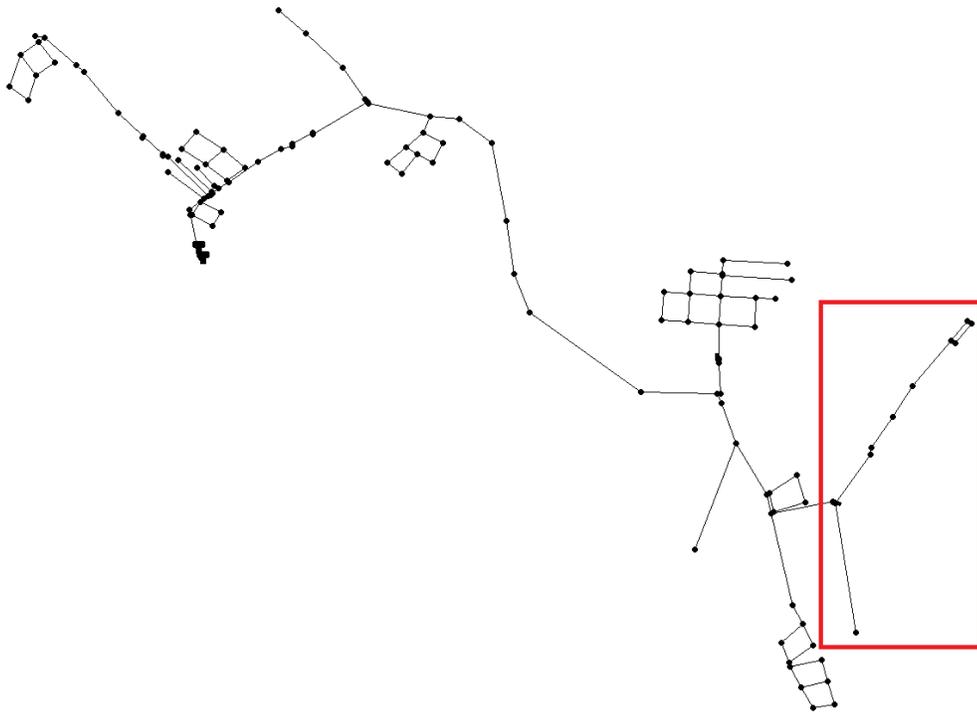


Figura 7.11: Sector con bajas presiones ante uso de grifos en el escenario futuro del APR Camarico Chico.

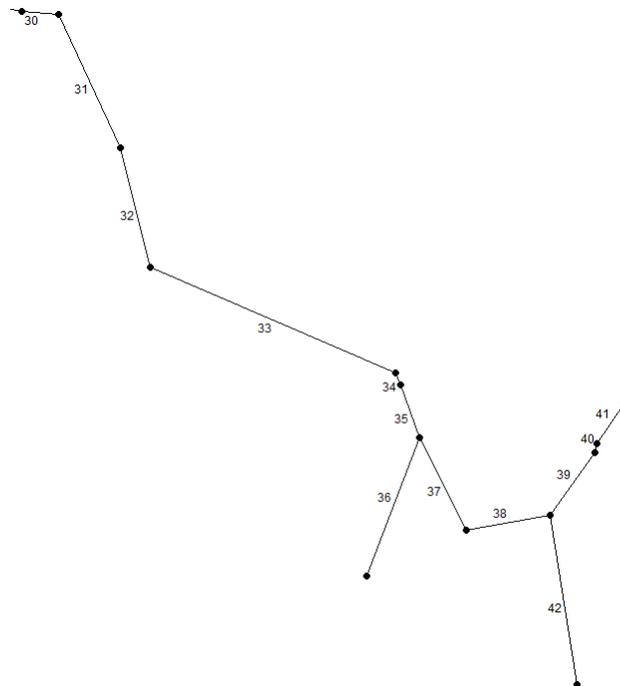


Figura 7.12: Detalle de ID de tuberías en el sector Camarico Viejo (b) del APR Camarico Chico.

Al considerar el uso de un grifo ya sea en los nodos del sector de ampliación 3 o en el nodo 41, el caudal que pasa por la tubería 38 es de 16,2 L/s, por lo que se considera el uso de una bomba capaz de elevar 16 L/s a una altura de 20 m, utilizando la curva característica presentada en la Figura 7.13.

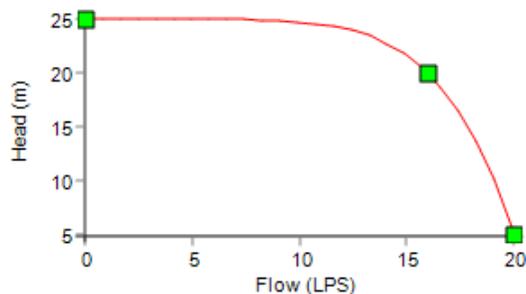


Figura 7.13: Curva característica de la bomba implementada al final de Camarico Viejo en el escenario futuro del APR Camarico Chico.

Dicho esto, considerando el uso de los grifos del nodo 245, cuya ubicación se establece en la Figura 7.14, el nodo 127, que se observa en la Figura 7.15, y los nodos 29, 119 y 41, que se encuentran en las Figuras 6.5, 6.9 y 6.3, respectivamente, en las Figuras 7.16, 7.17, 7.18, 7.19 y 7.20 se presentan los resultados del modelo para cada uno de los casos recién listados, notando que no se presentan problemas de presión en ninguno de ellos.

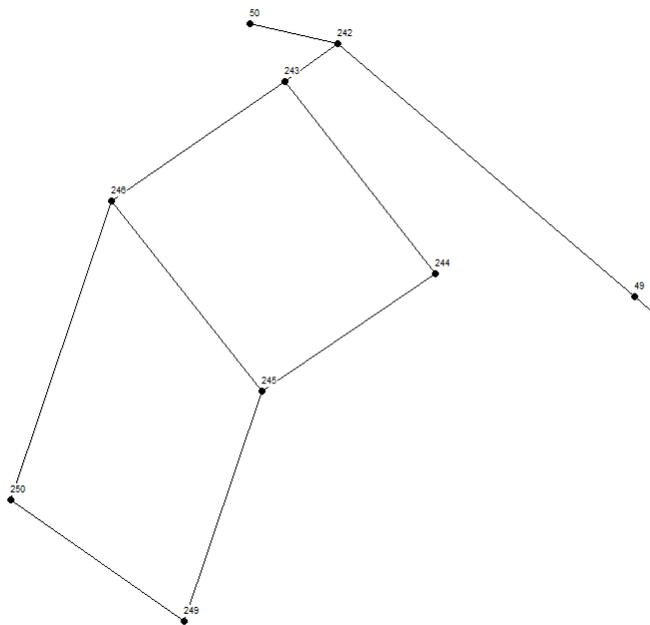


Figura 7.14: Detalle de ID de nodos en el sector de ampliación 5 del APR Camarico Chico.

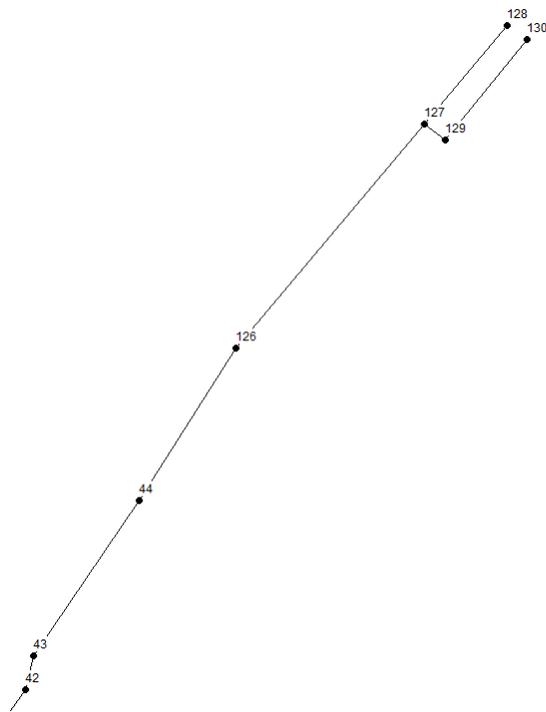


Figura 7.15: Detalle de ID de nodos en el sector de ampliación 3 del APR Camarico Chico.

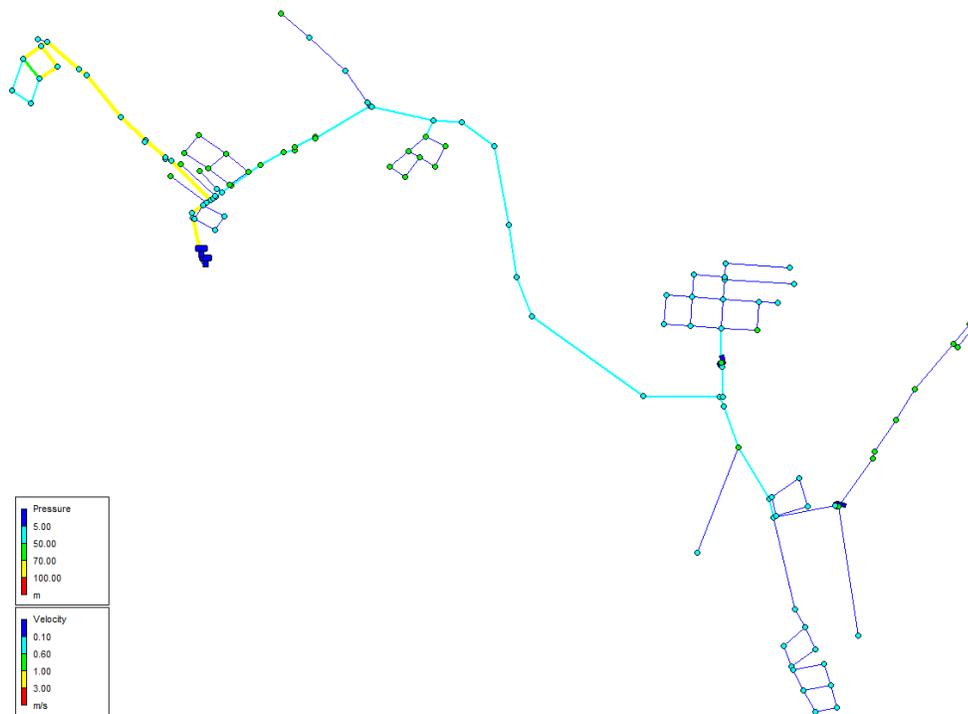


Figura 7.16: Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 245 del APR Camarico Chico.

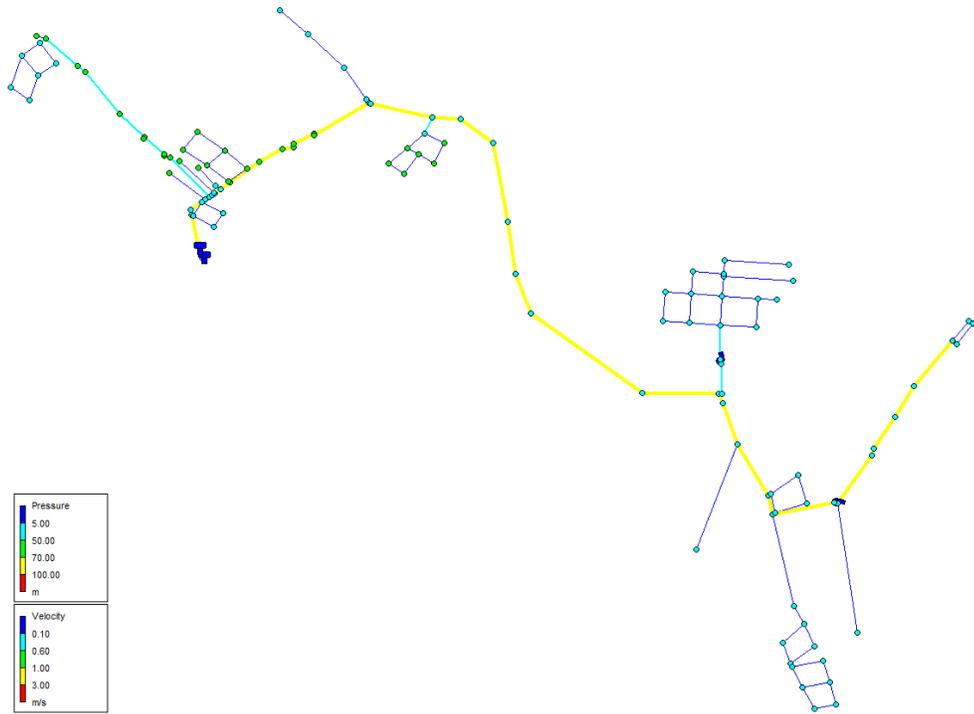


Figura 7.17: Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 127 del APR Camarico Chico.

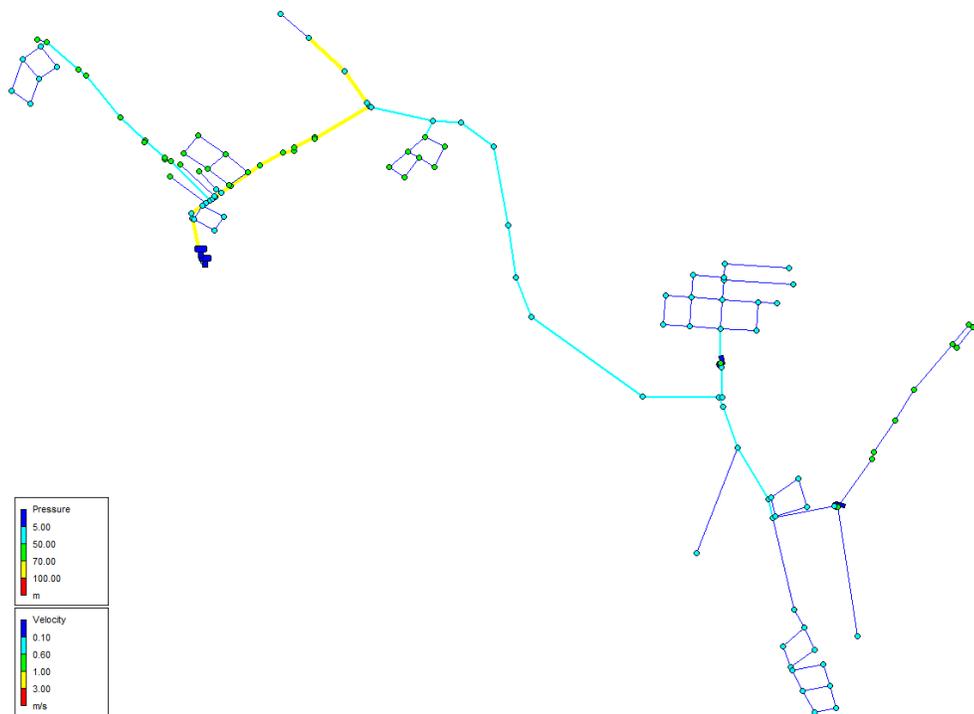


Figura 7.18: Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 29 del APR Camarico Chico.

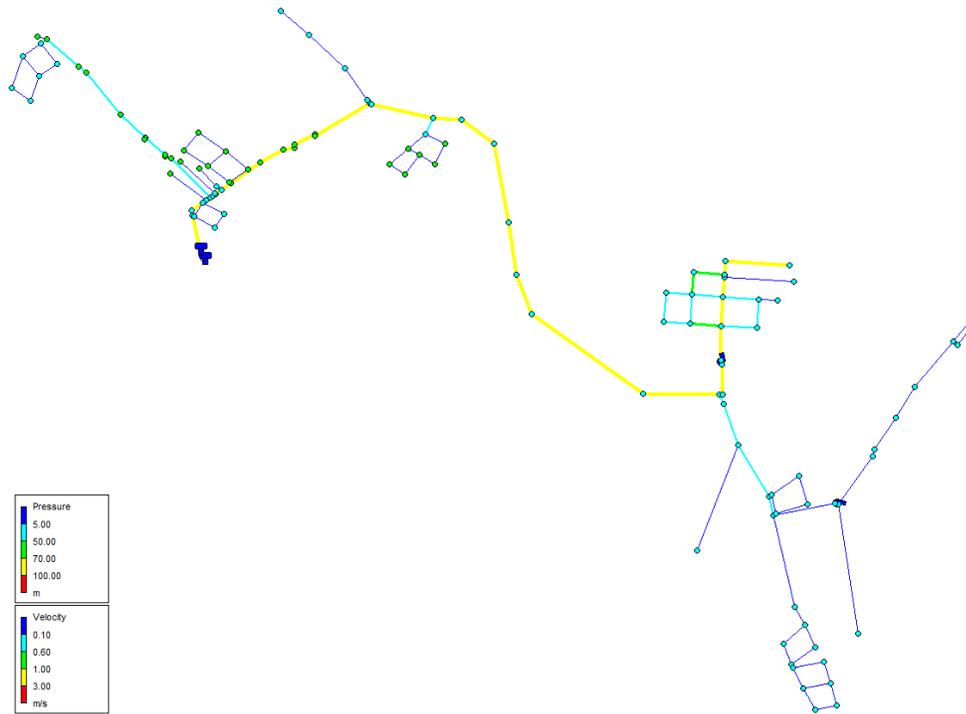


Figura 7.19: Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 119 del APR Camarico Chico.

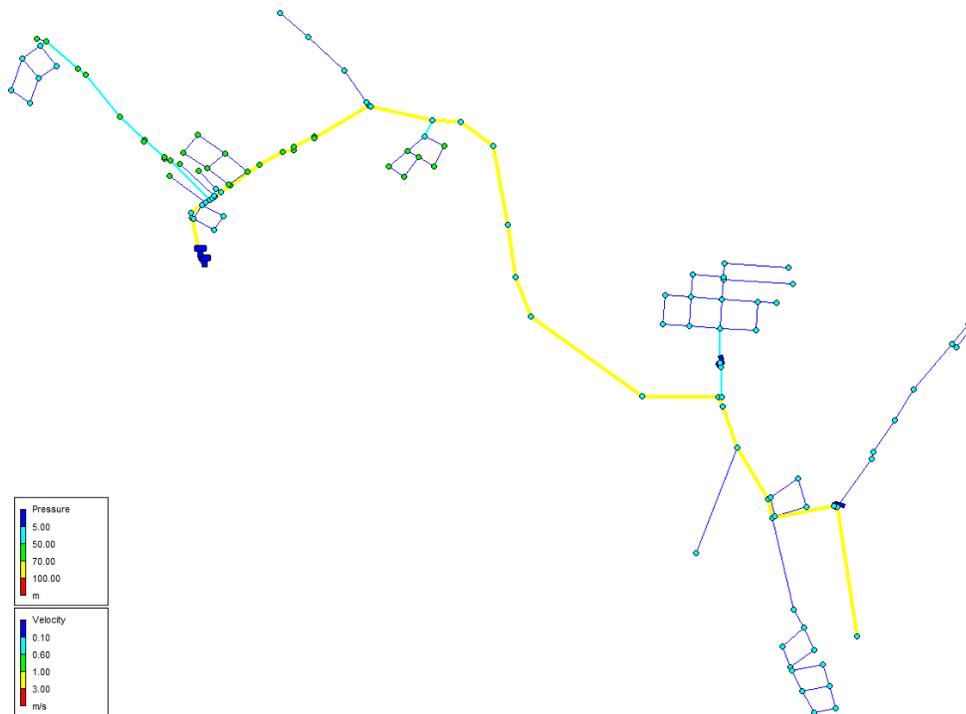


Figura 7.20: Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 41 del APR Camarico Chico.

En relación a la verificación del golpe de ariete, considerando el uso del grifo del nodo 41, el máximo valor de sobre-presión alcanzado es de 48,95 m, que se presenta en la tubería que conecta los nodos 40 y 41 que se observa en la Figura 6.3. Si bien este valor es alto, los nodos afectados tienen presiones de 30,26 m y 8,79 m, respectivamente, por lo que la presión máxima alcanzada sería de 79,21 m. De esta manera, al no superarse los 100 m de presión que soporta la tubería, no existen problemas por golpe de ariete. Por último, los resultados de los nodos y tuberías considerando el uso del grifo del nodo 41 se presentan en el anexo F.1.3, el cual incluye los resultados de golpe de ariete. El detalle de los resultados correspondientes al uso del resto de grifos no se presenta, dado que aumentaría excesivamente la extensión del documento.

7.1.2. Aumento de almacenamiento

Según los resultados presentados en el capítulo anterior, el único escenario que no cumple con los criterios de almacenamiento corresponde al futuro, provocado por la gran cantidad de arranques proyectados, el aumento de la dotación y la consideración del volumen de incendio, aunque se determinó que en el año 2031 se deja de cumplir con los criterios, dado que se superan los 45 m³ disponibles actualmente. De esta forma, considerando los estanques tipo establecidos en el Manual de proyectos de APR de la DOH (2023), se propone el agregar un estanque elevado metálico con una capacidad de 50 m³ y una elevación de 25 m antes del año 2031, el cual elevaría el almacenamiento hasta los 95 m³, por lo que no sería necesario extender la capacidad de almacenamiento hasta que se superen 600 arranques, es decir, se vuelva necesario el considerar el volumen de incendio. Así, para cumplir con el volumen de 216,62 m³ requerido en el año 2046, se pueden instalar dos estanques elevados metálicos de 25 metros de altura y capacidades de 25 m³ y 100 m³, además del estanque de 50 m³ ya indicado, alcanzando un volumen de 220 m³.

7.1.3. Ampliación de captaciones

En el capítulo anterior se determinó que actualmente el sistema de APR extrae un caudal menor que el requerido. Ahora bien, según lo informado por el comité, el sistema no presenta problemas en sus captaciones, indicando que no ha existido racionamiento y que en las pruebas de bombeo se han podido extraer 8 L/s de la noria. Por esta razón, la diferencia entre el caudal de extracción real y el calculado se atribuye a los supuestos considerados para el cálculo de éste último, principalmente respecto a las dotaciones y a la densidad poblacional consideradas. Ahora bien, los valores utilizados corresponden a los recomendados por la DOH, por lo que si bien pueden ser conservadores, consideran el correcto funcionamiento del sistema. Independiente de esto, los resultados de la Tabla 6.7 indican que es necesario ampliar las captaciones tal de suplir la demanda de los años futuros.

Puesto que se informó que se pueden extraer hasta 8 L/s de la noria, los requerimientos de caudales de extracción no serían un problema, ya que en el escenario futuro se requieren 5,881 L/s. Sin embargo, se desconoce si estos 8 L/s pueden extraerse durante largos períodos de tiempo, por lo que es posible que esta fuente no sea suficiente. Así, se necesitan estudios más detallados respecto a las condiciones de las captaciones del sistema y, en caso de que no sean suficientes, la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento.

7.2. APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto

7.2.1. Modificaciones de red de distribución

Los resultados obtenidos en el capítulo anterior indican que el APR Nuevo Futuro presenta problemas de bajas presiones en los sectores este y norte en todos sus escenarios. Ahora bien, en el escenario futuro se observó el colapso de algunos sectores del sistema ante la demanda de incendio, por lo que, al igual que en el caso del APR Camarico Chico, se presentan soluciones para cada escenario de forma separada, considerando grandes cambios en la materialidad de la red de distribución para el escenario futuro.

7.2.1.1. Escenario Actual (Año 2023)

Como ya fue mencionado, en éste escenario se observan bajas presiones en los nodos 25, 26, 31, 32 y 127 del sector este, que pueden ser identificados en la Figura 6.22, y los nodos 76, 132 y 135 del sector norte, observados en la Figura 6.21. Puesto que estos problemas no surgen por grandes pérdidas de energía provocadas por la materialidad de la red, las soluciones que se proponen son las instalaciones de bombas en distintos puntos.

Comenzando por el sector este, se considera la instalación de una bomba en la tubería 31, que puede ser identificada en la Figura 7.21. Esta tubería transporta un caudal de 0,29 L/s en la situación dinámica, por lo que la bomba debe ser capaz de elevar 0,3 L/s a una altura de 30 m, utilizando la curva característica que se observa en la Figura 7.22. En la Figura 7.23 se muestran los resultados de la situación dinámica para el sector este considerando la implementación de la bomba, donde los nodos más desfavorables, que corresponden al 32 y 127, ahora alcanzan presiones de 29,32 m y 28,34 m, respectivamente. Ahora, al considerar éstas características de la bomba, en la situación dinámica el nodo 29 alcanza una presión de 61 m, por lo que se podría utilizar una bomba con capacidades ligeramente superiores, pero los resultados demuestran que la bomba considerada es suficiente para solucionar los problemas observados.

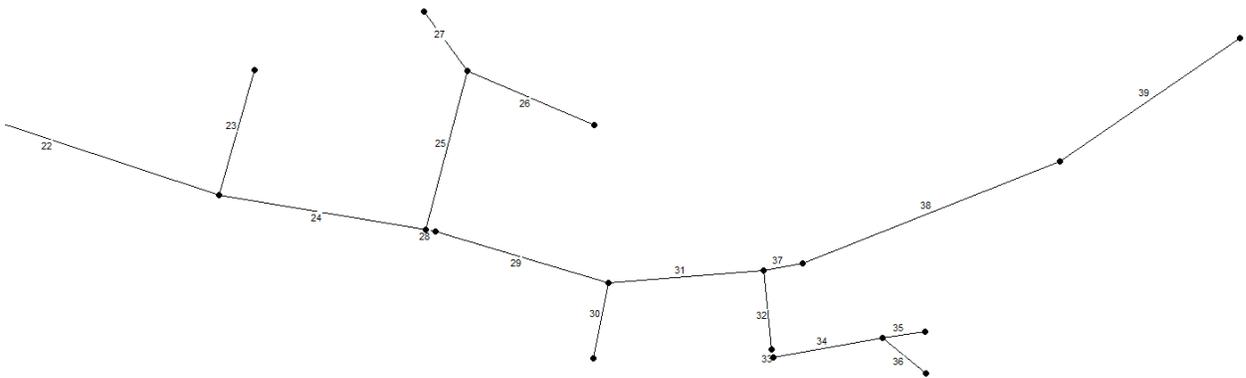


Figura 7.21: Detalle de ID de tuberías en el sector este del APR Nuevo Futuro.

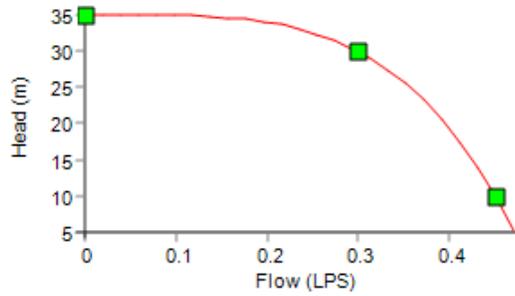


Figura 7.22: Curva característica de la bomba implementada en el sector este del APR Nuevo Futuro en el escenario actual.

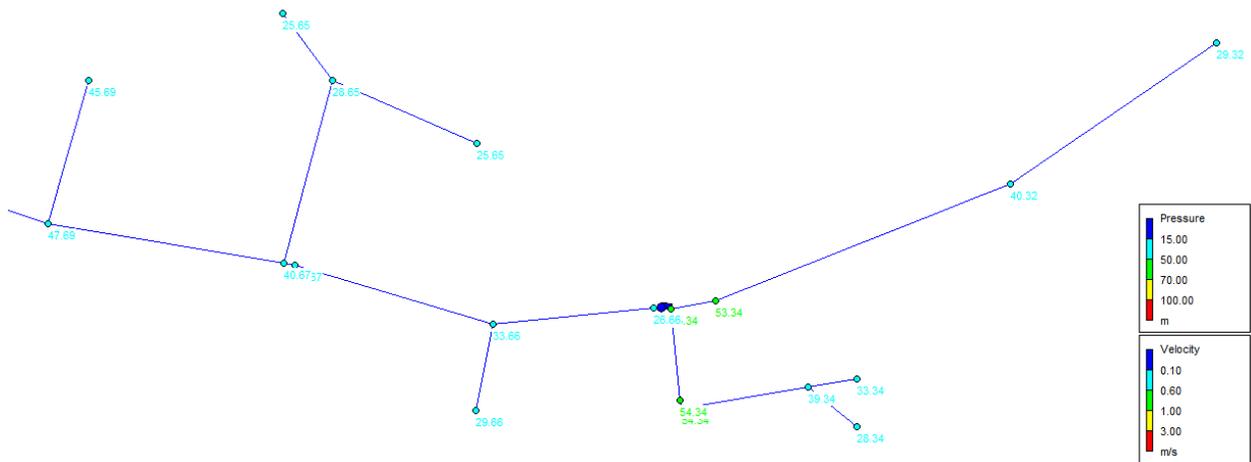


Figura 7.23: Resultados de la situación dinámica del escenario actual del sector este del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.

Por otra parte, con respecto al sector norte, las soluciones propuestas corresponden a la instalación de bombas en las tuberías 55 y 63, que se pueden observar en la Figura 7.24. Comenzando por la tubería 55, el caudal que pasa por ella es de 0,02 L/s, debido a que el nodo 132, que es el que alimenta dicha tubería, considera la demanda de una sola casa. Así, la bomba implementada eleva 0,02 L/s a una altura de 30 m, utilizando la curva característica de la Figura 7.25. Ahora bien, dado que este nodo abastece una sola casa, alternativamente se podría considerar una solución particular, en donde el dueño instale una bomba en su domicilio, ya que esto permitiría no tener que realizar modificaciones importantes a la red de distribución.

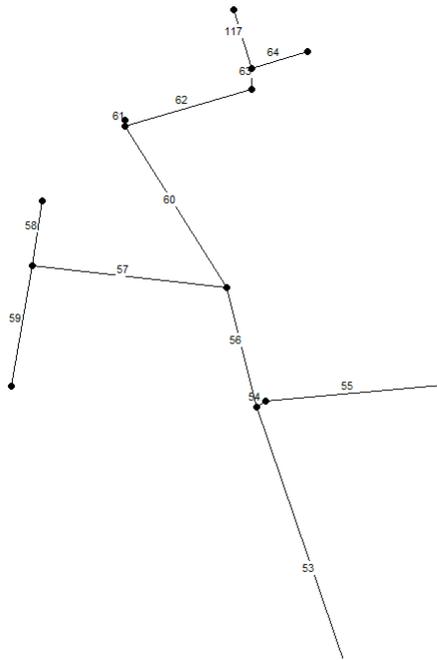


Figura 7.24: Detalle de ID de tuberías en el sector norte del APR Nuevo Futuro.

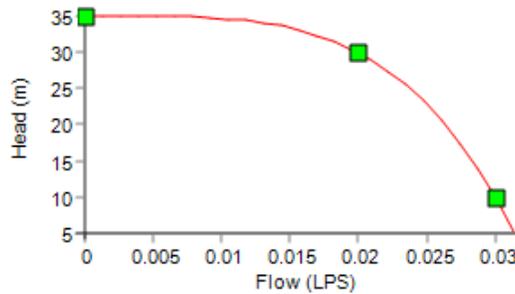


Figura 7.25: Curva característica de la bomba implementada en la tubería 55 del sector norte del APR Nuevo Futuro en el escenario actual.

Continuando con la tubería 63, el caudal que pasa a través de ella es de 0,12 L/s, por lo que se considera una bomba que eleve 0,12 L/s a una altura de 30 m, utilizando la curva característica que se observa en la Figura 7.26. De esta manera, en la Figura 7.27 se presentan los resultados de la situación dinámica para el sector norte considerando la implementación de soluciones, donde los nodos 76 y 135 ahora alcanzan una presión de 41,45 m y el nodo 132 una presión de 37,83 m. Similar a lo ocurrido en el sector este, considerando la situación estática, los nodos ubicados inmediatamente después de las bombas instaladas alcanzan presiones de 63 m y 57 m, para las tuberías 55 y 63, respectivamente, por lo que podrían utilizarse bombas con mayores capacidades, pero los resultados demuestran que las bombas consideradas son suficientes para solucionar los problemas observados.

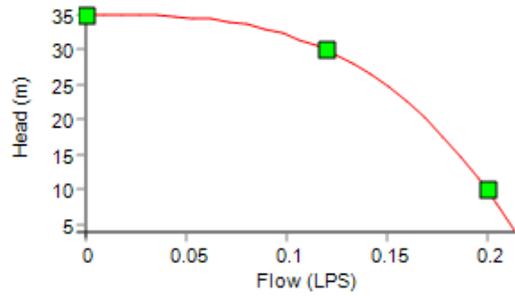


Figura 7.26: Curva característica de la bomba implementada en la tubería 63 del sector norte del APR Nuevo Futuro en el escenario actual.

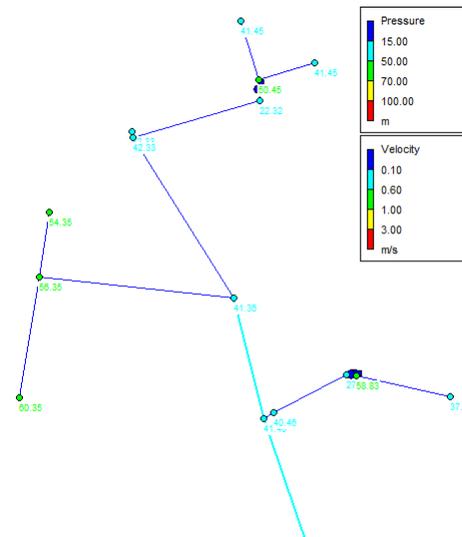


Figura 7.27: Resultados de la situación dinámica del escenario actual del sector norte del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.

Por otro lado, en el capítulo anterior se mencionó que el nodo 6, que puede ser observado en la Figura 6.19, alcanza presiones de 71,63 m y 73,37 m en las situaciones dinámica y estática, respectivamente. Por esta razón, se decide instalar una válvula reguladora de presión en la tubería 8, que conecta los nodos 4 y 6 y su ubicación se encuentra en la Figura 7.28. De esta forma, se considera que la válvula tiene el mismo diámetro de la tubería, es decir, 110 mm y fija la presión en 64 m, que provoca que el nodo 6 alcance una presión de 68,55 m en la situación dinámica y 69 m en la estática. Además, utilizar un valor de presión inferior a los 64 m compromete las presiones en los nodos de otros puntos de la red, particularmente del sector central. En la Figura 7.29 se pueden observar los resultados del modelo para el sistema completo ante la situación dinámica luego de implementar todas las soluciones mencionadas.



Figura 7.28: Detalle de ID de tuberías en la bajada del estanque del APR Nuevo Futuro.

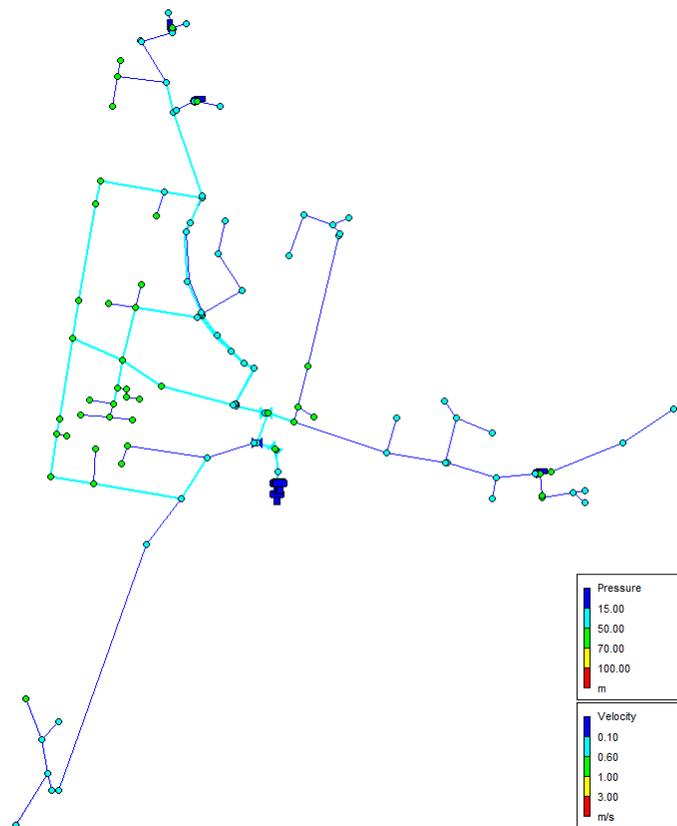


Figura 7.29: Resultados de la situación dinámica del escenario actual del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.

En relación a la verificación del golpe de ariete, antes de presentar los valores calculados se deben mencionar algunos supuestos considerados. A diferencia del APR Camarico Chico, en este APR existe una tubería de acero galvanizado de 110 mm de diámetro de la cual se desconocen las características de su material, por lo que se supone que es ASTM A53 SCH 40. Dicho esto, según el catálogo de tuberías de MultiAceros (2019) no hay tuberías de 110 mm de diámetro interno, por lo que se considera una tubería de 4" o 100 mm de diámetro interno, que posee un espesor de 6,02 mm. Además, considerando un módulo de elasticidad de 2.000.000 kg/cm² para el acero, se pueden calcular los valores de golpe de ariete dentro del sistema. Así, la máxima sobre-presión alcanzada es de 22,45 m en la tubería 1 de acero galvanizado recién mencionada, por lo que no existirían problemas causados por el golpe de ariete. Las ubicaciones de los nuevos nodos considerados pueden ser encontradas en el anexo D.2.1, mientras que el detalle de los resultados de cada nodo y tubería, incluyendo la verificación del golpe de ariete, se presentan en el anexo F.2.1.

7.2.1.2. Escenario Base (Año 2026)

En el capítulo anterior se observó que el escenario base presentaba los mismos problemas que el escenario actual, es decir, bajas presiones en los sectores este y norte y presión sobre el límite permitido en el nodo 6. Ahora bien, al mantener las modificaciones del escenario actual se verifica que éstas son suficientes para solucionar los problemas del escenario base, como se puede observar en la Figura 7.30, por lo que no es necesario agregar ninguna solución. De cualquier manera, la máxima sobre-presión alcanzada por el golpe de ariete es de 23,64 m, nuevamente en la tubería 1 de acero galvanizado, por lo que tampoco existen problemas en este ámbito. El detalle de éstos resultados puede encontrarse en el anexo F.2.2.

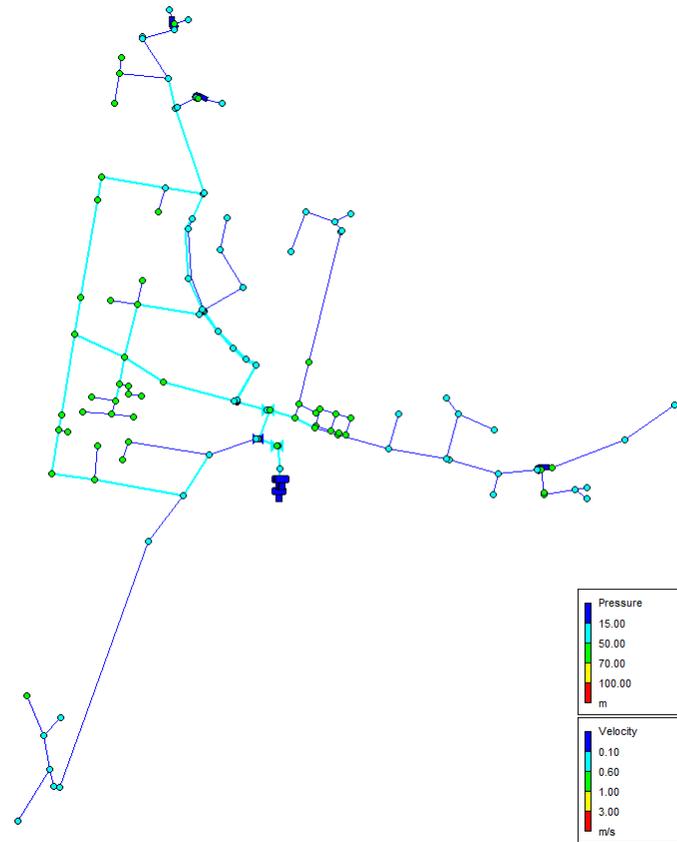


Figura 7.30: Resultados de la situación dinámica del escenario base del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.

7.2.1.3. Escenario Futuro (Año 2046)

Al igual que en el caso del APR Camarico Chico, la situación dinámica en este caso contempla el uso de grifos por incendio. Puesto que cada vivienda debe tener una distancia máxima de 150 m hasta el grifo más cercano, en la Figura 7.31 se presentan los nodos en donde se considera demanda por incendio.

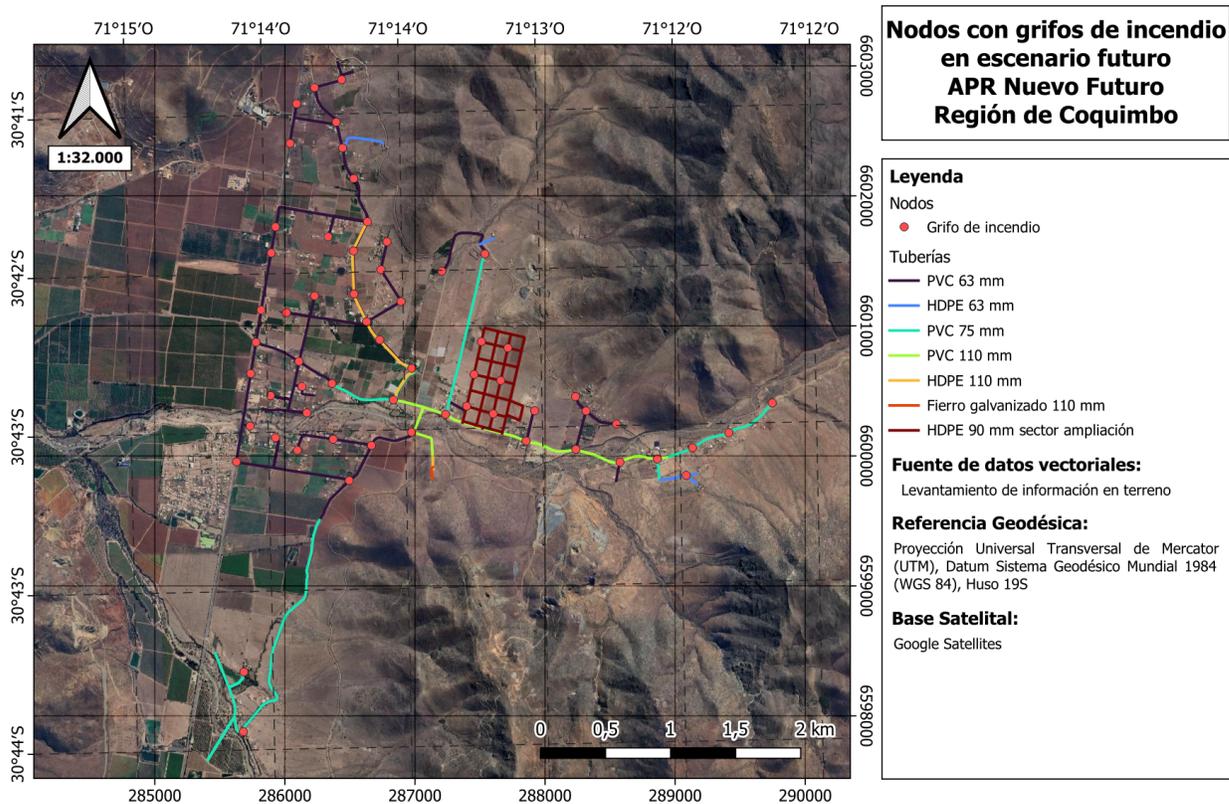


Figura 7.31: Cartografía de la red de distribución del APR Nuevo Futuro incluyendo nodos que consideran uso de grifos.

Ahora bien, debido a que la DOH (2023) establece que las tuberías que conectan el grifo de incendio con el estanque de almacenamiento debe tener un diámetro mínimo de 90 mm, además de que las tuberías actuales no se encuentran preparadas para satisfacer la demanda requerida, se vuelve necesario cambiar la materialidad de prácticamente toda la red. Así, luego de verificar las demandas por incendio en cada uno de los grifos indicados, se determinaron los diámetros requeridos por cada tubería tal que todos los nodos del sistema alcancen presiones superiores a los 8 m, independiente del grifo utilizado, considerando el mismo criterio tomado en el APR Camarico Chico. De esta forma, en la Figura 7.32 se presentan las tuberías requeridas para el correcto funcionamiento del sistema en el escenario futuro, donde todas corresponden a tuberías PN 10, con la excepción de tres tuberías que requieren de PN 12,5 debido a las sobre-presiones provocadas por el golpe de ariete, las cuales se listarán a la brevedad. Por otra parte, en la Tabla E.2 del anexo se presentan las características de todas las tuberías del sistema, mientras que sus ubicaciones pueden ser verificadas en el anexo D.2.2.

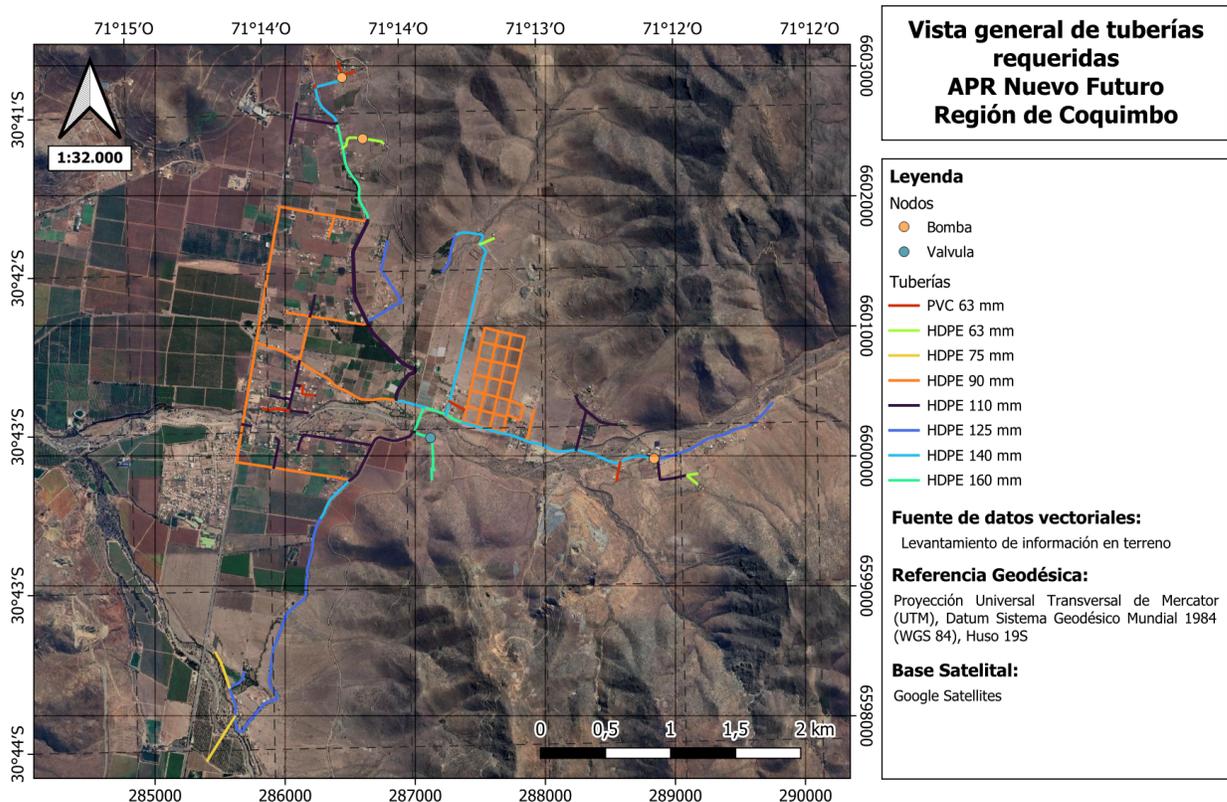


Figura 7.32: Cartografía de la red de distribución del APR Nuevo Futuro, considerando las tuberías requeridas en el escenario futuro.

Es necesario mencionar que, al verificar las presiones en la situación dinámica, la presión máxima sigue siendo 69 m en el nodo 105 del sector oeste (a), que puede ser identificado en la Figura 6.31, por lo que no es necesario modificar la presión fijada por las dos válvulas reguladoras que posee el sistema originalmente. Dicho esto, ante la demanda de incendio en algunos grifos, las presiones fijadas por estas válvulas no son óptimas, por lo que si se aumentase éste valor de presión es posible que algunas tuberías no tengan requerimientos tan altos de diámetro, puesto que si se tienen presiones mayores se pueden permitir más pérdidas de energía. Aún así, no se modifican las presiones fijadas por las válvulas, dado que se considera que ante una situación de emergencia como un incendio no se puede contar con que se abran las válvulas reguladoras de presión.

Por otro lado, al ubicar la demanda por incendio en los grifos del sector este, particularmente los que se ubican después de la bomba contemplada en los escenarios anteriores, dicha bomba no es suficiente para elevar la cantidad de caudal requerido, por lo que es necesario reemplazarla. De esta forma, si se considera la demanda por incendio en el nodo 32, que se ubica al extremo del sector este y que se puede observar en la Figura 6.22, el caudal que debe elevar la bomba es de 16,24 L/s, por lo que se reemplaza la bomba por una que sea capaz de elevar 16 L/s a una altura de 30 m, según la curva característica presentada en la Figura 7.33.

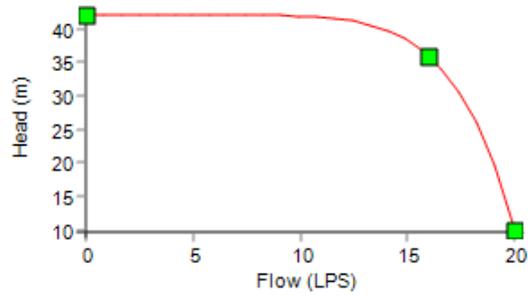


Figura 7.33: Curva característica de la bomba implementada en el sector este del APR Nuevo Futuro en el escenario futuro.

Por último, considerando el uso de los grifos del nodo 58, que puede ser observado en la Figura 7.34, el nodo 121, que se identifica en la Figura 7.35, y los nodos 32, 107 y 73, cuya ubicación se indica en las Figuras 6.22, 6.31 y 6.21, respectivamente, en las Figuras 7.36, 7.37, 7.38, 7.39 y 7.40 se presentan los resultados del modelo para cada uno de éstos casos, notando que todos cumplen con los criterios de presión y velocidades establecidos.

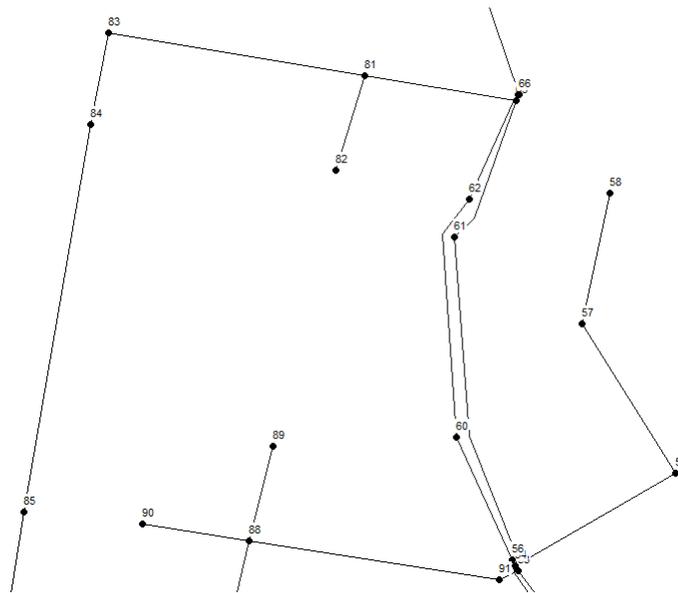


Figura 7.34: Detalle de ID de nodos en el sector oeste (b) del APR Nuevo Futuro.

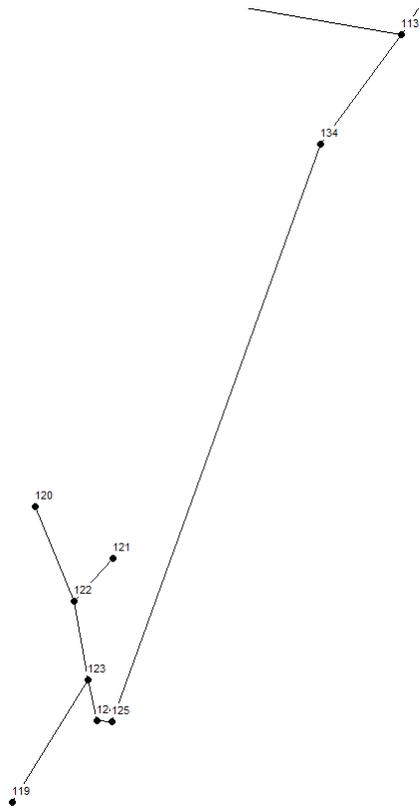


Figura 7.35: Detalle de ID de nodos en el sector sur del APR Nuevo Futuro.

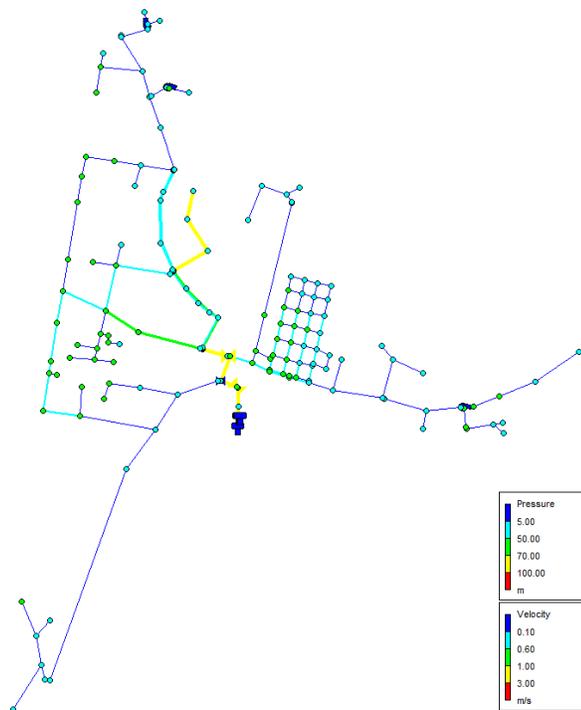


Figura 7.36: Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 58 del APR Nuevo Futuro.

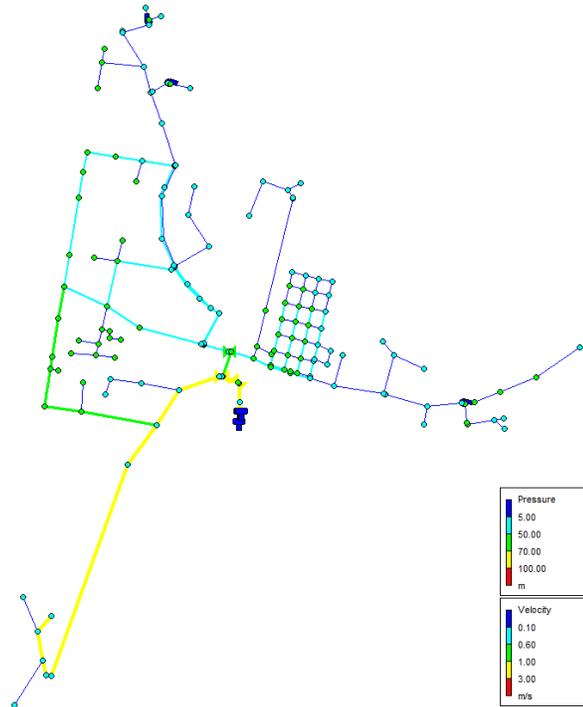


Figura 7.37: Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 121 del APR Nuevo Futuro.

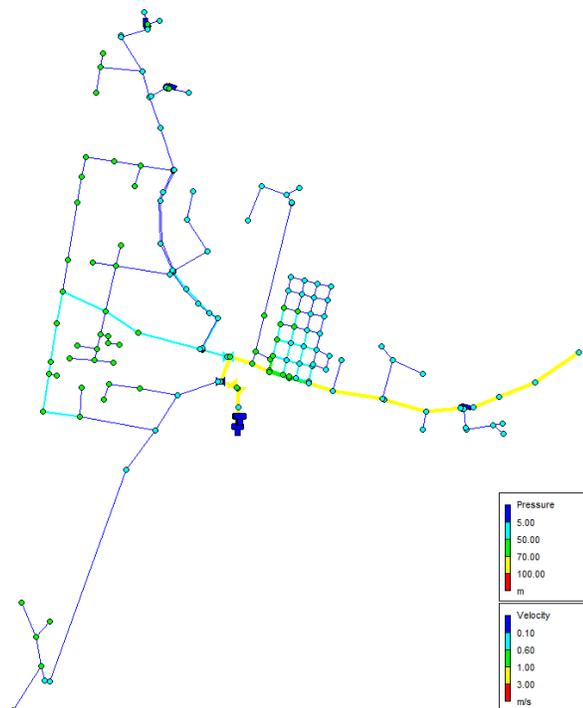


Figura 7.38: Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 32 del APR Nuevo Futuro.

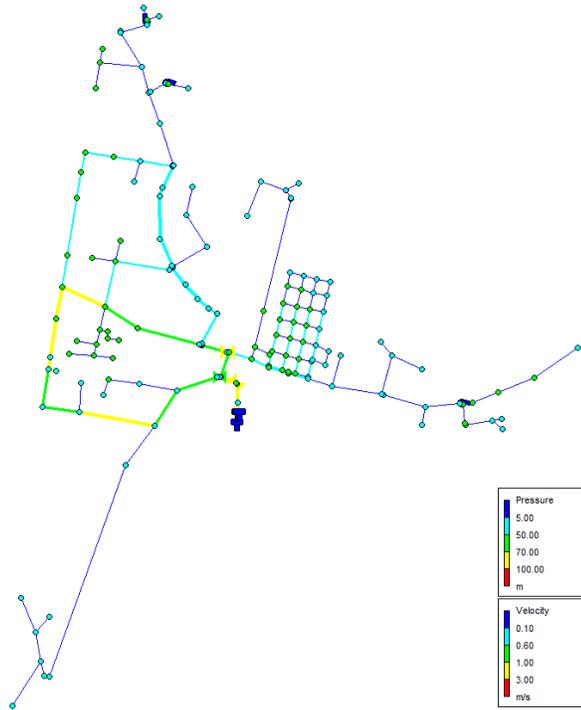


Figura 7.39: Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 107 del APR Nuevo Futuro.

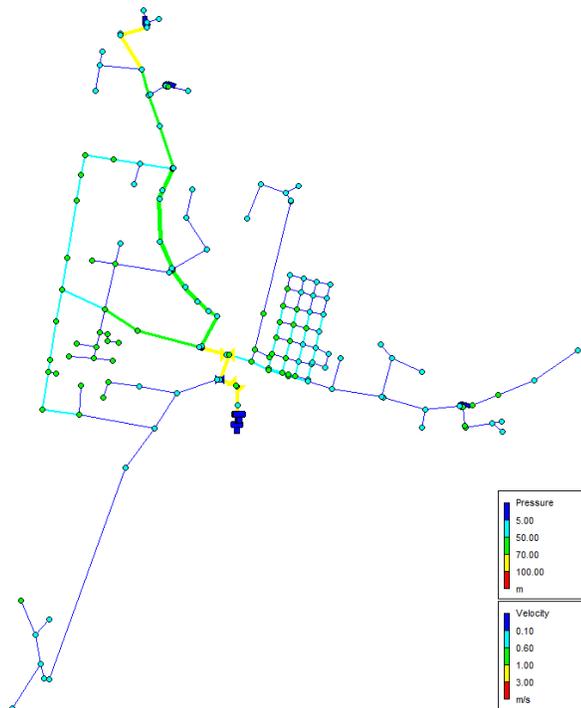


Figura 7.40: Resultados de situación dinámica en el escenario futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en nodo 73 del APR Nuevo Futuro.

En relación a la verificación del golpe de ariete, la máxima sobre-presión alcanzada es de 48,95 m en la tubería 98, que conecta los nodos 105 y 107. Estos nodos presentan presiones de 47,72 m y 44,51 m, respectivamente, por lo que no supone un problema respecto a las capacidades de las tuberías PN 10. En cambio, las tuberías que conectan al nodo 11 con el 4, al nodo 504 con el 6 y al nodo 402 con el 86, que pueden ser observadas en las Figuras D.4 y D.9, alcanzan sobre-presiones que, sumadas a las presiones de sus nodos correspondientes, superan el umbral de 100 m, por lo que estas tuberías requieren ser PN 12,5. Para esto, se consideran nuevamente las dimensiones de tuberías de HDPE del catálogo de Petroflex (2022), que indica que el espesor de una tubería HDPE PN 12,5 de 160 mm de diámetro es de 11,8 mm. De esta manera, se vuelve a calcular el valor de golpe de ariete para dichas tuberías y se verifica que, al sumar dicho valor a las presiones de los nodos afectados no se superan los 125 m de presión que permiten estas tuberías. Estos resultados de golpe de ariete presentados consideran el uso de grifo del nodo 107, aunque también se verificaron las sobre-presiones para el uso del resto de grifos. Por último, en el anexo F.2.3 se presenta el detalle de los resultados de cada nodo y tubería de la red y la verificación del golpe de ariete, considerando el uso del grifo del nodo 107. Ahora bien, no se presentan los resultados del uso de cada grifo para no aumentar de sobremanera la extensión de este documento.

7.2.2. Aumento de almacenamiento

Los resultados del capítulo anterior indican que el escenario futuro corresponde al único que presenta un déficit de 76,363 m³, pero en el año 2039 se deja de cumplir con el requerimiento de volumen. Por esta razón, considerando los estanques tipo indicados en el Manual de proyectos de APR de la DOH (2023), se propone la construcción de un estanque de hormigón armado de 50 m³ antes del año 2039, tal que se cumplan con los requerimientos de volumen hasta el año 2045, para que en el año 2046 se agregue otro estanque de hormigón armado de 30 m³.

7.2.3. Ampliación de captaciones

En la Tabla 6.12 del capítulo anterior se verificó que el caudal extraído deja de ser suficiente en el en el año 2026, que corresponde al escenario base, presentando un déficit de 0,044 L/s. Ahora bien, dentro de los antecedentes del sistema se mencionó que el pozo 5, que aún no se encuentra en funcionamiento, entrega 8 L/s durante las pruebas de bombeo, los cuales sumados a los 4 L/s extraídos actualmente serían suficientes para cubrir la demanda incluso del año 2046, es decir, el escenario futuro. Sin embargo, al igual que en el caso del APR Camarico Chico, se desconoce si los 8 L/s indicados pueden ser extraídos durante largos períodos de tiempo, por lo que no se puede asegurar que esta captación será suficiente. De esta forma, se considera que se requiere de un estudio más detallado respecto a las condiciones de las captaciones del sistema y, en caso de que estas no sean suficientes, la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento.

7.3. Resumen de propuestas

A continuación se presenta un resumen de las propuestas de solución de cada sistema de APR recién listadas, organizadas según el año en que comienzan a ser requeridas, tal de identificar la urgencia de cada una.

7.3.1. APR Camarico Chico

- **Año 2023**

- Instalación de bomba elevadora de presión en la tubería 107 (indicada en la Figura 7.1) que eleve 0,25 L/s a una altura de 30 m.
- Instalación de 318 m de tubería de HDPE PN 10 de 110 mm de diámetro interno, correspondientes a las tuberías del 1 al 5 que se observan en la Figura 7.3.

- **Año 2026**

- Instalación de 909 m de tubería de HDPE PN 10 de 90 mm, correspondientes a las tuberías desde la 19 a la 23 y de la 28 a la 30, indicadas en la Figura 7.6

- **Año 2031**

- Construcción de estanque elevado metálico con capacidad de 50 m³ y elevación de 25 m.

- **Año 2046**

- Instalación de grifos de incendio en los nodos observados en la Figura 7.8.
- Reemplazo de tuberías indicadas en la Figura 7.9. El detalle de las características de cada tubería se presenta en la Tabla E.1 del anexo.
- Construcción de dos estanques elevados metálicos de 25 metros de altura y capacidades de 25 m³ y 100 m³.

7.3.2. APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto

- **Año 2023**

- Instalación de bomba elevadora de presión en la tubería 31 indicada en la Figura 7.21, que eleve 0,3 L/s a una altura de 30 m.
- Instalación de bomba elevadora de presión en la tubería 55 indicada en la Figura 7.24, que eleve 0,02 L/s a una altura de 30 m.
- Instalación de bomba elevadora de presión en la tubería 63 indicada en la Figura 7.24, que eleve 0,12 L/s a una altura de 30 m.
- Instalación de válvula reguladora de presión en la tubería 8, que se observa en la Figura 7.28 del anexo.

- **Año 2039**

- Construcción de un estanque de hormigón armado de 50 m³.

- **Año 2046**

- Instalación de grifos de incendio en los nodos observados en la Figura 7.31.

- Reemplazo de tuberías indicadas en la Figura 7.32. El detalle de las características de estas tuberías se presenta en la Tabla E.2 del anexo.
- Instalación de bomba elevadora de presión en la tubería 31 indicada en la Figura 7.21, que eleva 16 L/s a una altura de 30 m.
- Construcción de estanque de hormigón armado de 30 m³.

Capítulo 8

Conclusiones

En el presente documento se ha realizado el estudio de alternativas de mejoramiento de los sistemas de APR Camarico Chico y Nuevo Futuro, en donde mediante la revisión bibliográfica de la normativa vigente, los manuales de diseño, los antecedentes de las zonas de estudio y el levantamiento de información en terreno a partir de la visita realizada y las prácticas profesionales llevadas a cabo, se han propuesto soluciones para solventar los problemas que afectan a estas dos localidades.

Anteriormente se indicó que el objetivo general de este trabajo era el levantamiento de información del estado actual de los sistemas de APR de estudio, tal que se puedan identificar los problemas que los aquejan y proponer soluciones basadas en los estándares establecidos por la DOH y la normativa. Este objetivo fue logrado, puesto que se realizó el análisis del funcionamiento de cada sistema de APR, donde en el caso de Camarico Chico se verificó que la problemática más urgente corresponde a la instalación de los 73 arranques asociados a las solicitudes a la espera de unirse al sistema, puesto que no tienen la infraestructura suficiente para poder responder a esta demanda. Este aumento en la cantidad de arranques genera una mayor carga sobre el sistema, provocando que en uno de los sectores de ampliación, donde existe la mayor cantidad de viviendas y donde aún no se ha instalado la red de distribución, se presenten presiones inferiores a lo permitido por la NCh 691.

Por otro lado, en el APR Nuevo Futuro se observó que existen sectores con presiones inferiores al límite permitido, producto de que se ubican sobre la cota estática de los estanques. Además, también se observaron presiones sobre el límite en el sector de la bajada del estanque, que si bien no abastece a ningún arranque debido a su ubicación, la normativa establece que en ningún punto de la red se debería superar el límite de presiones.

Además de esto, el estudio del funcionamiento del sistema contempla un horizonte de 23 años, considerando tanto antecedentes de las zonas de estudio como recomendaciones de la DOH para realizar las proyecciones poblacionales, las densidades habitacionales, determinar los porcentajes de aguas no contabilizadas y el cálculo de los caudales requeridos. De esta forma, se verificó que, como era de esperar, los sistemas de APR en su estado actual no son capaces de funcionar ante las demandas calculadas para el año 2046, debido a las grandes pérdidas de energía provocadas por diámetros de tubería muy pequeños, que a su vez generan presiones negativas en múltiples sectores y velocidades muy por sobre el límite permitido. A partir de esta información se proponen medidas para modificar los sistemas tal

que no colapsen ante este aumento de la demanda, como recambio de tuberías y aumento de las capacidades de almacenamiento de los sistemas. Ahora bien, puesto que la información utilizada para realizar las proyecciones pertinentes no proviene en su totalidad de estudios de las zonas, no es posible asegurar que se construyan viviendas en los sectores proyectados aquí, ni que la cantidad de arranques represente la realidad futura, por lo que las medidas de solución, especialmente para el año 2046, deben ser tomadas con cautela.

Dicho esto, con respecto al APR Camarico Chico, las medidas recomendadas para todos los escenarios evaluados consisten principalmente en el reemplazo de tuberías y la instalación de bombas para elevar la presión, en donde se buscó minimizar las intervenciones a la red de distribución actual, solamente indicando la sustitución de tuberías que son estrictamente necesarias para alcanzar las presiones requeridas, dados los limitados recursos de los que disponen los sistemas de APR.

Por otra parte, los problemas observados en el APR Nuevo Futuro no provienen de las pérdidas de energía producto de diámetros de tuberías muy pequeños (con la excepción del año 2046), si no que de sectores que presentan cotas estáticas similares a la de los estanques de almacenamiento, por lo que las soluciones propuestas corresponden principalmente a la instalación de bombas para elevar la presión en los sectores afectados.

Por último, en relación al cálculo de ampliaciones de los estanques de almacenamiento, las proyecciones indican que ambos sistemas requieren de un aumento en sus volúmenes de almacenamiento dado el crecimiento poblacional al que se enfrentan. Por otro lado, con respecto a la suficiencia de las captaciones, se observa que, en ambos sistemas, los nuevos pozos en implementación permitirían alcanzar los requerimientos de extracción para todos los años de proyección. Ahora bien, este análisis es preliminar, dado que no se tiene información completa sobre las capacidades de extracción de dichos pozos, por lo que son necesarios estudios posteriores para poder asegurar la suficiencia en todos los escenarios. De cualquier manera, se espera que las alternativas presentadas, aún con las imprecisiones que podrían existir producto del uso de supuestos, permitan sentar un antecedente para el mejoramiento de los sistemas de APR Camarico Chico y Nuevo Futuro Potrerillo Alto.

Bibliografía

- Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (2020, mayo). *Manual del usuario de EPA-NET 2.2*. (Recuperado de https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-07/epanet_users_manual_2.2.0-1.pdf)
- Aguas del Valle. (2021, enero). *Programa de agua potable rural, Segundo Informe Anual: Programa de asesoría y asistencia a los sistemas de agua potable rural, Región de Coquimbo*.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2014). *Mapas vectoriales*. (Recuperado de https://www.bcn.cl/siit/mapas_vectoriales/index_html)
- CAZALAC. (2016, octubre). *Investigación de soluciones innovadoras para el abastecimiento de agua*.
- Dirección de Obras Hidráulicas. (2022, noviembre). *Congreso aprueba Ley Corta que mejorará gestión de Servicios Sanitarios Rurales que benefician a más de 2 millones de personas a nivel nacional*. (Recuperado de <https://doh.mop.gob.cl/Noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=777>)
- Dirección Nacional de Fronteras y Límites del Estado. (2023, agosto). *Mapas - Límite internacional*. (Recuperado de https://difrol.gob.cl/download/limite-internacional-shape-v_4-0/)
- Dirección de Obras Hidráulicas. (2019, julio). *Manual de Proyectos de APR: Guía para el diseño y contenido de proyectos de sistemas de APR*.
- Dirección de Obras Hidráulicas. (2020, noviembre). *Sustentabilidad de asentamientos humanos rurales en Chile. Análisis desde los sistemas sanitarios rurales - Cuenca del Limarí*.
- Dirección de Obras Hidráulicas. (2023, mayo). *Manual de Proyectos de APR: Criterios de Diseño de Agua Potable Rural*.
- Dirección General de Aguas. (2008). *Manual de normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos*. (Recuperado de <https://snia.mop.gob.cl/repositorioldga/handle/20.500.13000/5196>)
- Dirección General de Aguas. (2020, septiembre). *Informe Técnico: Diagnóstico del Estado Hidrogeológico de la Cuenca del Limarí*. (Recuperado de <https://snia.mop.gob.cl/sad/SUB5886.pdf>)
- Dirección General de Aguas. (2022, noviembre). *Mapoteca Digital*. (Recuperado de <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca/Paginas/Mapoteca-Digital.aspx>)
- Dirección General de Aguas. (2023, 29 de junio). *Derechos de aprovechamiento de aguas*

- registrados en dga.* (Recuperado de https://dga.mop.gob.cl/productosyservicios/derechos_historicos/Paginas/default.aspx)
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2017). *Geodatos abiertos.* (Recuperado de <https://www.ine.gob.cl/herramientas/portal-de-mapas/geodatos-abiertos>)
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2019a, marzo). *Ciudades, pueblos, aldeas y caseríos 2019.* (Recuperado de https://geoarchivos.ine.cl/File/pub/Cd_Pb_Al_Cs_2019.pdf)
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2019b, enero). *División político administrativa y censal Región de Coquimbo.* (Recuperado de <https://geoarchivos.ine.cl/File/pub/poblaciÑšn-y-vivienda-coquimbo.pdf>)
- Instituto Nacional de Normalización. (2005, 26 de julio). *Agua potable — Parte 1 — Requisitos (NCh409/1.Of2005).*
- Instituto Nacional de Normalización. (2015, 19 de mayo). *Agua potable — Producción, conducción, almacenamiento y distribución — Requisitos de diseño (NCh691:2015).*
- Mays, L. W. (1999). *Hydraulic Design Handbook.* McGraw-Hill.
- Ministerio de Planificación. (2008, diciembre). *Metodología Preparación y Evaluación de Proyectos de agua potable.*
- MultiAceros. (2019). *Catálogo de productos y servicios.* (Recuperado de <https://www.multiaceros.cl/pub/media/pdf/CatÁłogo-productos-y-servicios-MultiAceros-2019.pdf>)
- Municipalidad de Ovalle. (2020, enero). *Plan de Desarrollo Comunal Ovalle 2020-2026.* (Recuperado de <https://municipalidadovalle.cl/sitio/wp-content/uploads/2020/05/PLADECO-30-Marzo-Final.pdf>)
- Novoplast. (2020). *Tuberías de PVC - HDPE - PPR.* (Recuperado de <https://novoplast.cl/wp-content/uploads/2019/10/CATALOGO-FINAL-NOVOPLAST-2020.pdf>)
- Petroflex. (2022). *Tuberías HDPE.* (Recuperado de <https://www.petroflex.cl/wp-content/uploads/2017/03/HDPE-2019.pdf>)
- Pino, S. D. (2022). *Producción, Operación y Servicio APR San Marcos.*
- Powers, J. P., Corwin, A. B., Schmall, P. C., y Kaeck, W. E. (2007). *Construction Dewatering and Groundwater Control: New Methods and Applications* (Tercera ed.). John Wiley & Sons.
- Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo. (2009, octubre). *Manual de soluciones de saneamiento sanitario para zonas rurales.*

Anexos

Anexo A. Antecedentes de los sistemas de APR

A.1. Camarico Chico - Camarico Viejo

Tabla A.1: Antecedentes de producción y consumo de agua potable del año 2022 del APR Camarico Chico.

Mes	Producción [m3]	Consumo [m3]
Enero	1980	1690
Febrero	2000	1710
Marzo	1900	1675
Abril	1890	1600
Mayo	1860	1520
Junio	1610	1100
Julio	1500	1280
Agosto	1610	1260
Septiembre	1640	1376
Octubre	1700	1400
Noviembre	1800	1450
Diciembre	2010	1400
Total	21500	17461

A.2. Nuevo Futuro Potrerillo Alto

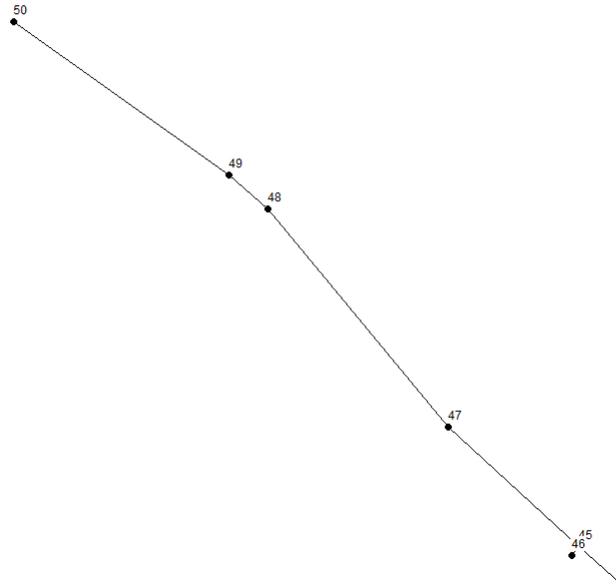
Tabla A.2: Crecimiento histórico de arranques del APR Nuevo Futuro.

Mes	Arranques 2020	Arranques 2021	Arranques 2022
Enero	313	319	329
Febrero	313	322	329
Marzo	313	323	329
Abril	313	323	331
Mayo	313	325	331
Junio	313	325	332
Julio	314	325	334
Agosto	314	325	335
Septiembre	317	325	336
Octubre	317	325	337
Noviembre	319	327	342
Diciembre	319	327	343

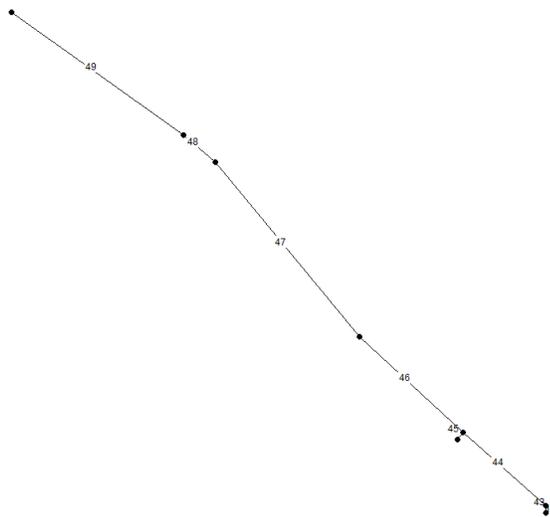
Anexo B. Detalles de modelos de redes de distribución

B.1. Camarico Chico

B.1.1. Escenario Actual



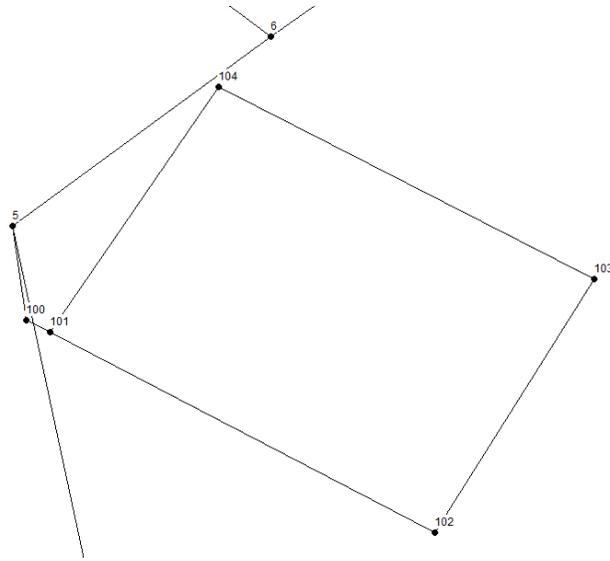
(a) Nodos.



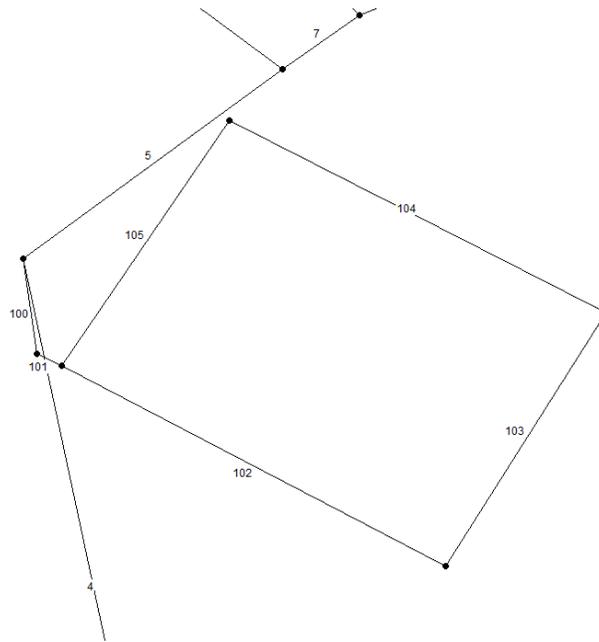
(b) Tuberías.

Figura B.1: Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector Camarico Chico del APR Camarico Chico.

B.1.2. Ampliación y Escenario Base



(a) Nodos.



(b) Tuberías.

Figura B.2: Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 1 del APR Camarico Chico.

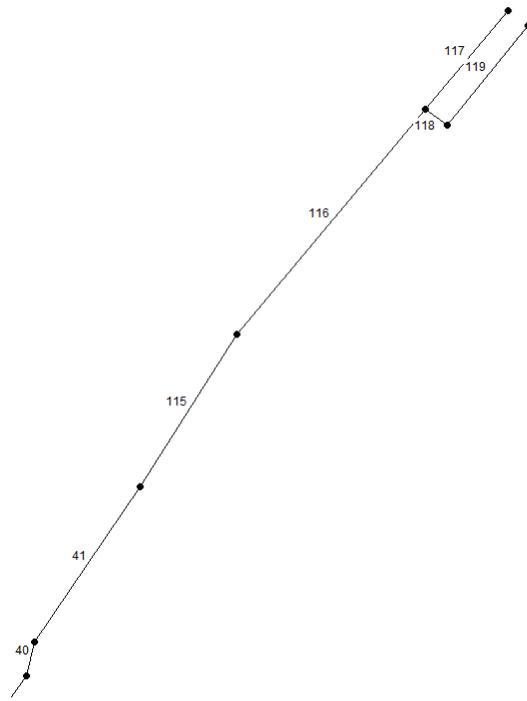


Figura B.3: Detalle de ID de tuberías en el sector de ampliación 3 del APR Camarico Chico.

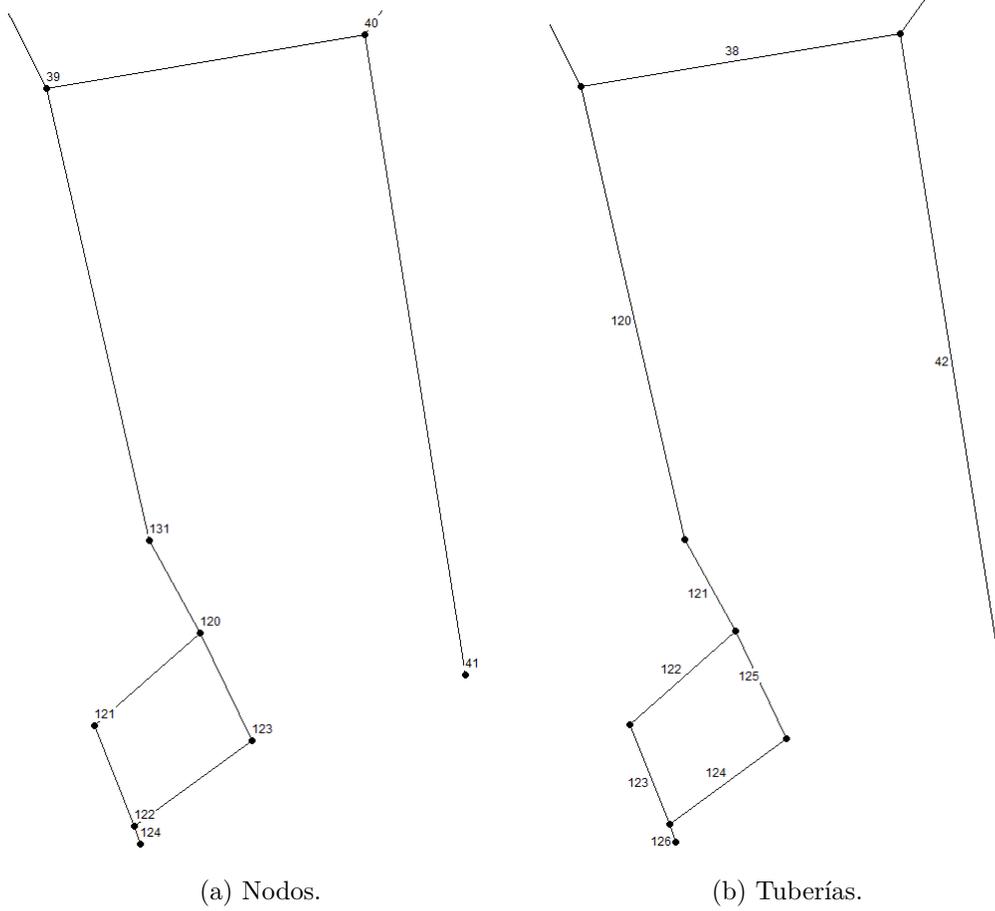


Figura B.4: Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 4 en el escenario de ampliación del APR Camarico Chico.

B.1.3. Escenario Futuro

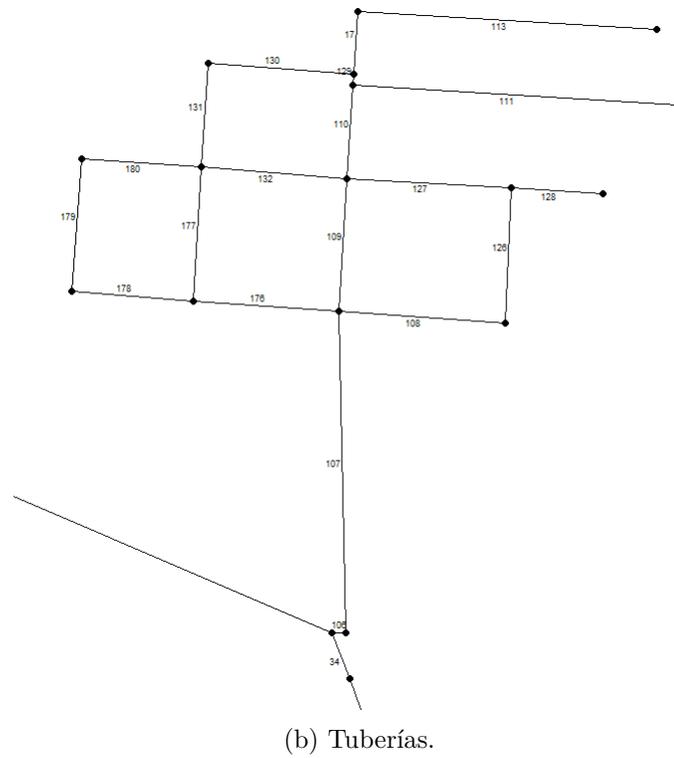
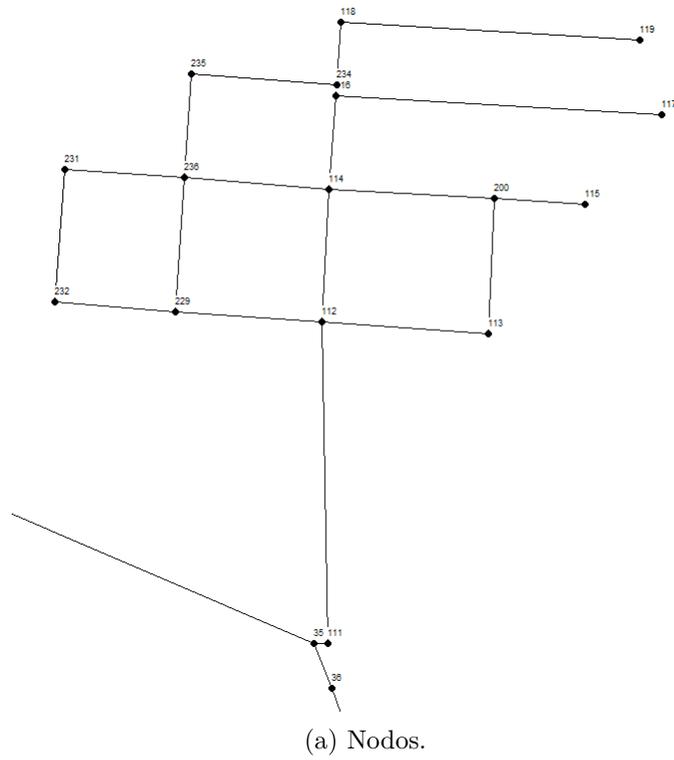


Figura B.5: Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 2 en el escenario futuro del APR Camarico Chico.

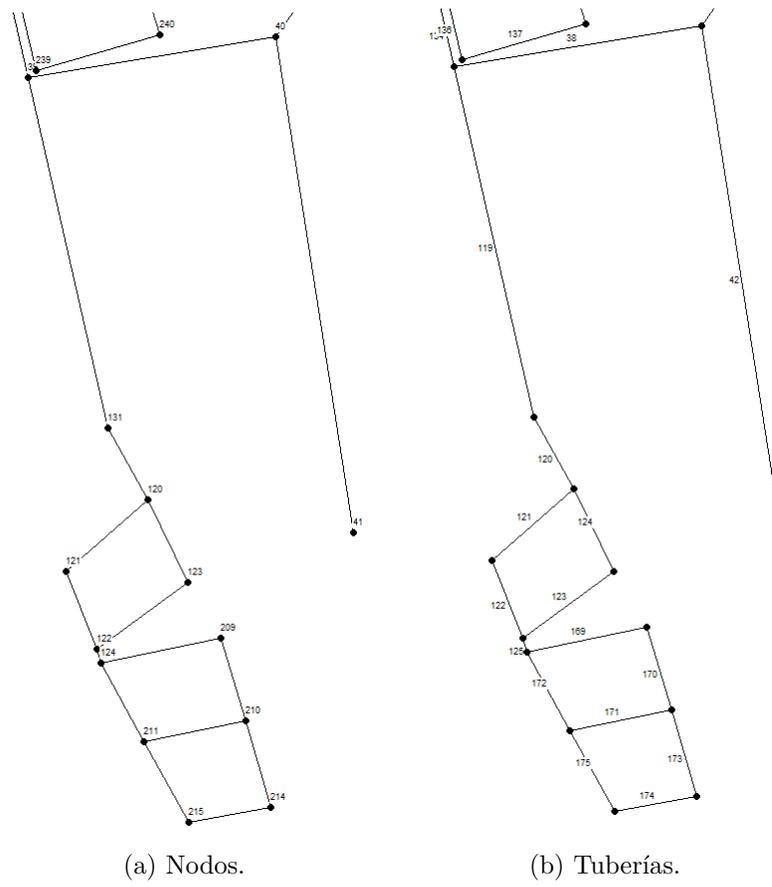


Figura B.6: Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 4 en el escenario futuro del APR Camarico Chico.

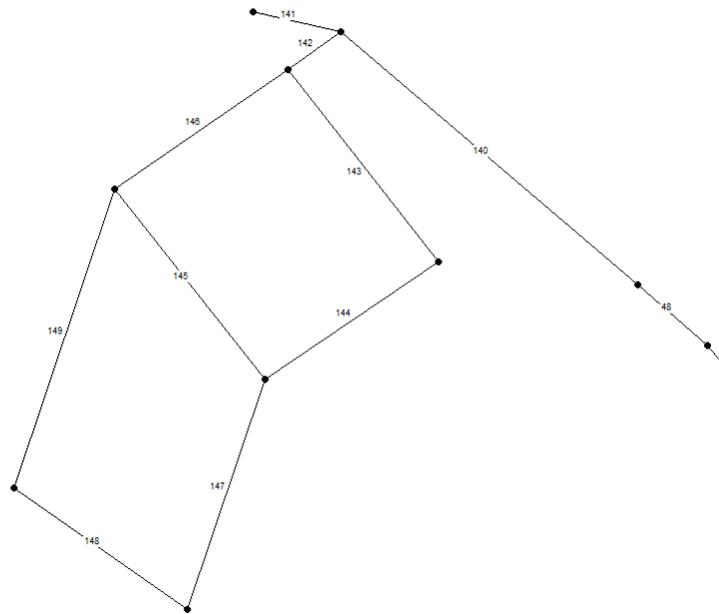


Figura B.7: Detalle de ID de tuberías en el sector de ampliación 5 del APR Camarico Chico.

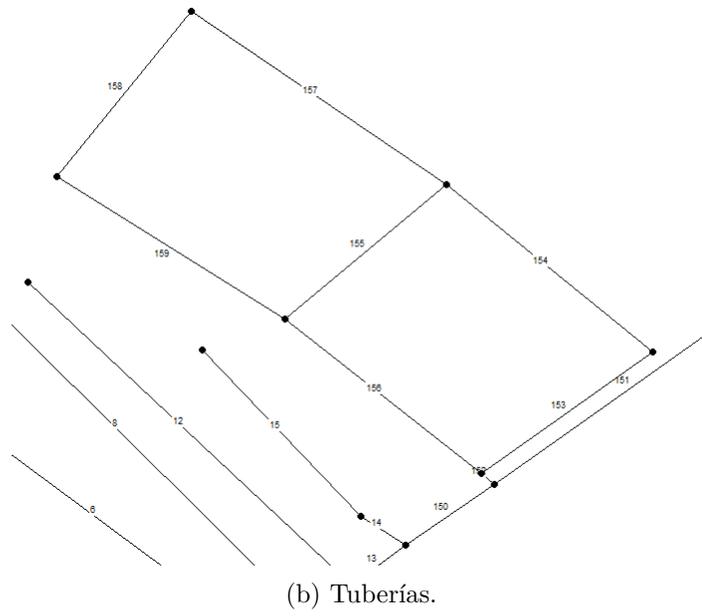
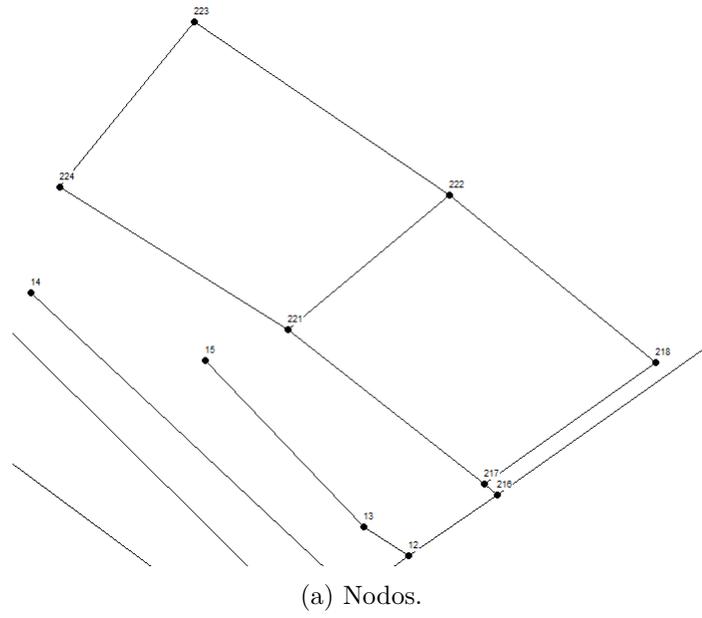
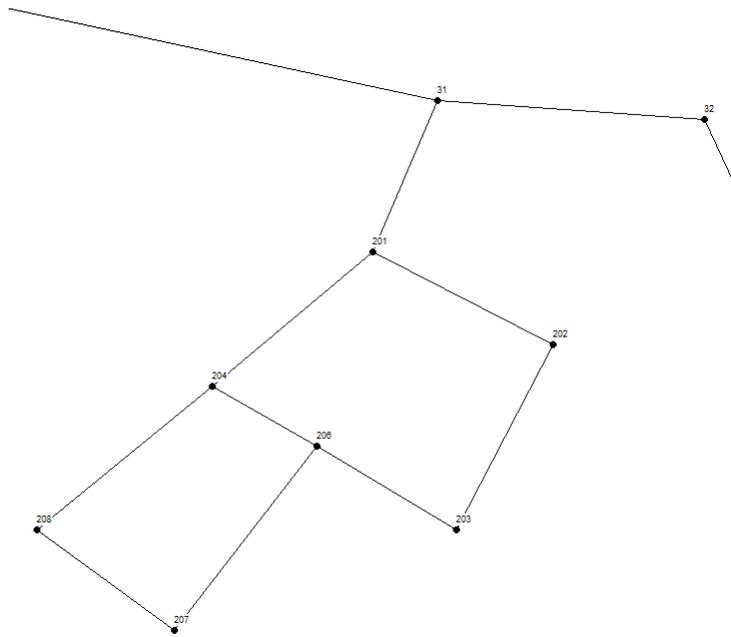
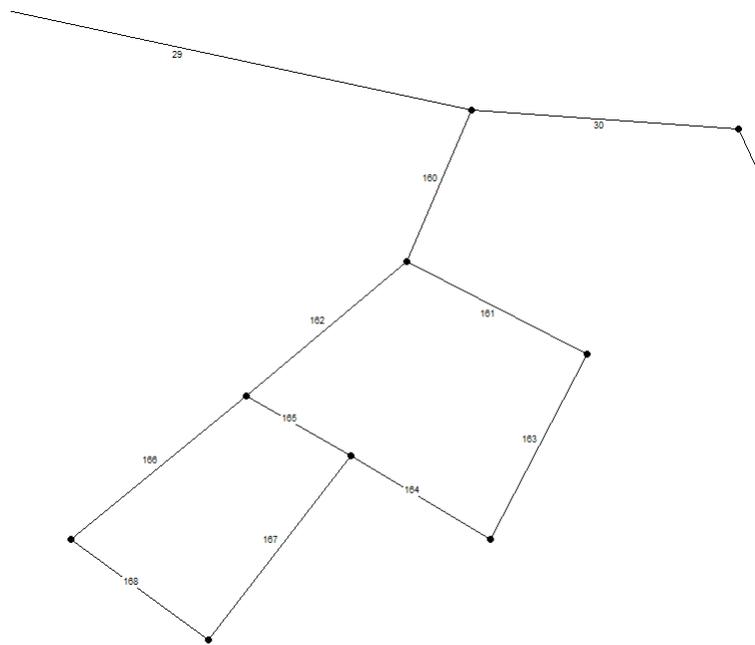


Figura B.8: Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 6 del APR Camarico Chico.

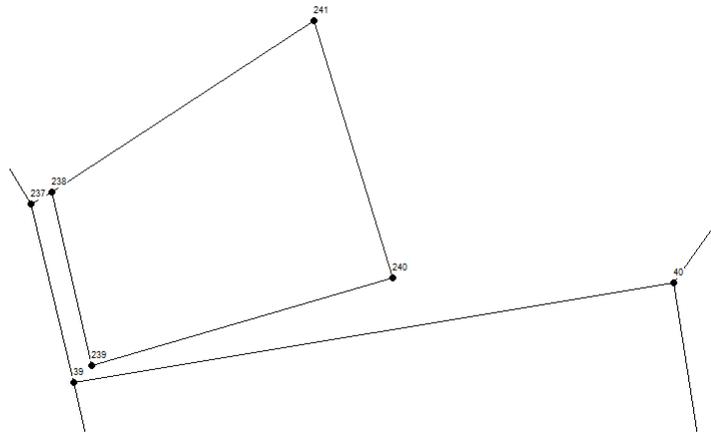


(a) Nodos.

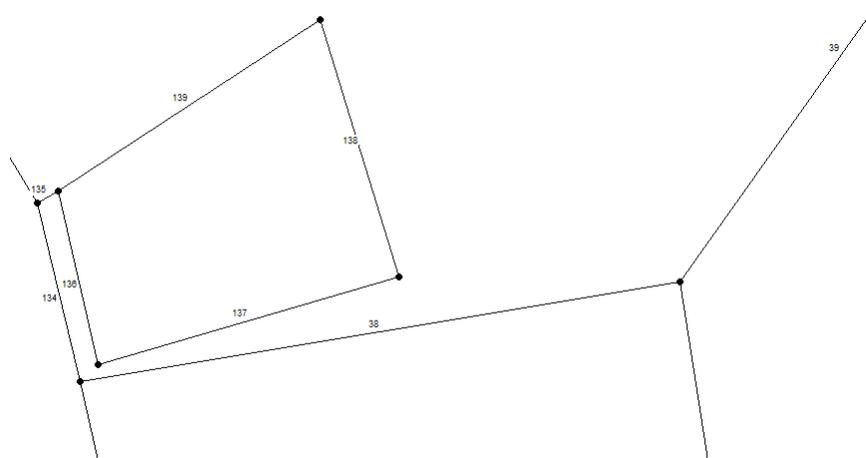


(b) Tuberías.

Figura B.9: Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 7 del APR Camarico Chico.



(a) Nodos.



(b) Tuberías.

Figura B.10: Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación 8 del APR Camarico Chico.

B.2. Nuevo Futuro Potrerillo Alto

B.2.1. Escenario Actual

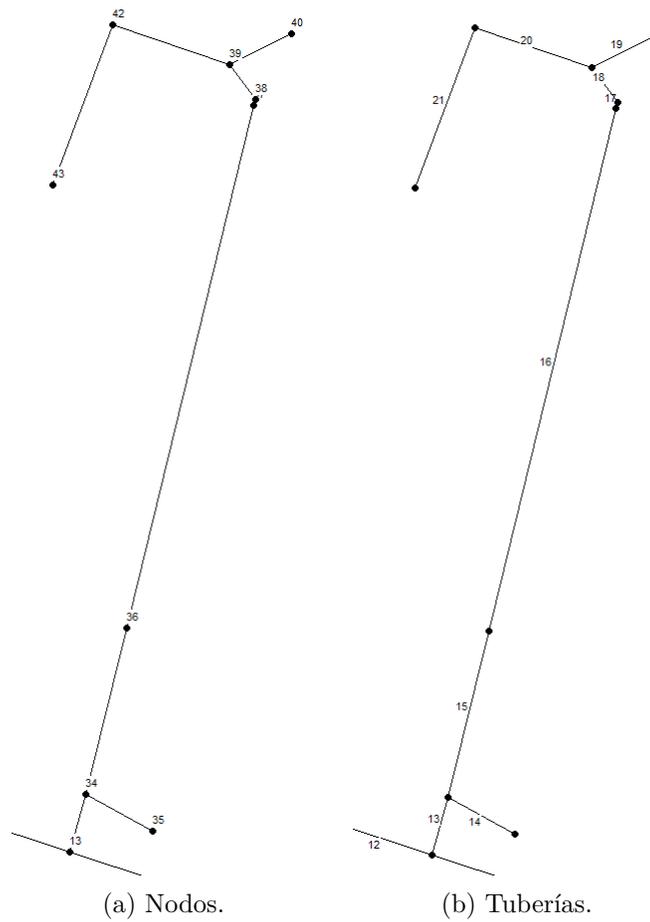


Figura B.11: Detalle de ID de nodos y tuberías en sector central del APR Nuevo Futuro.

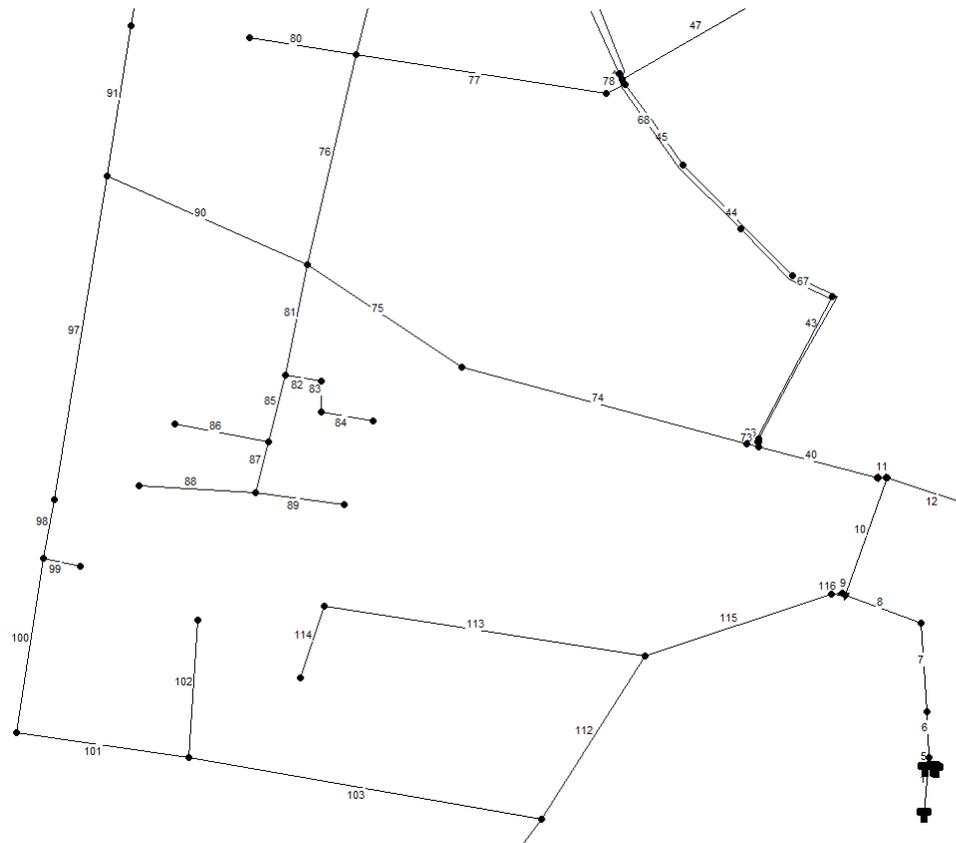


Figura B.12: Detalle de ID de tuberías en sector oeste del APR Nuevo Futuro (a).

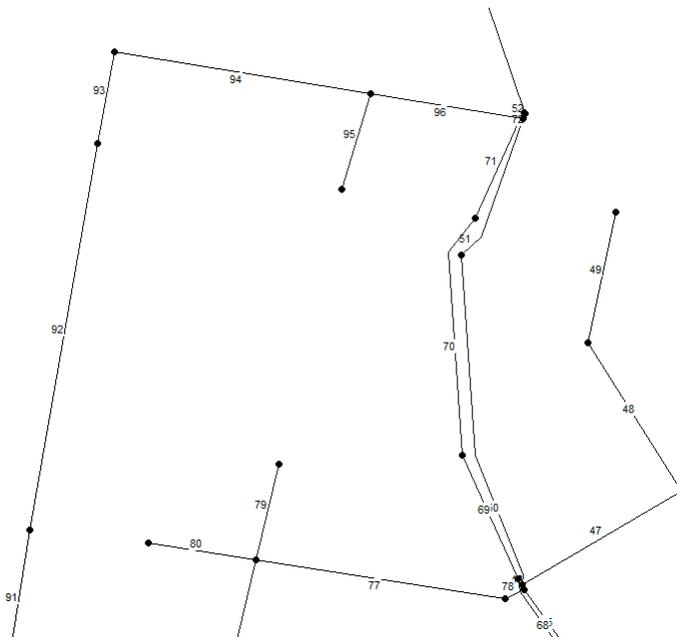
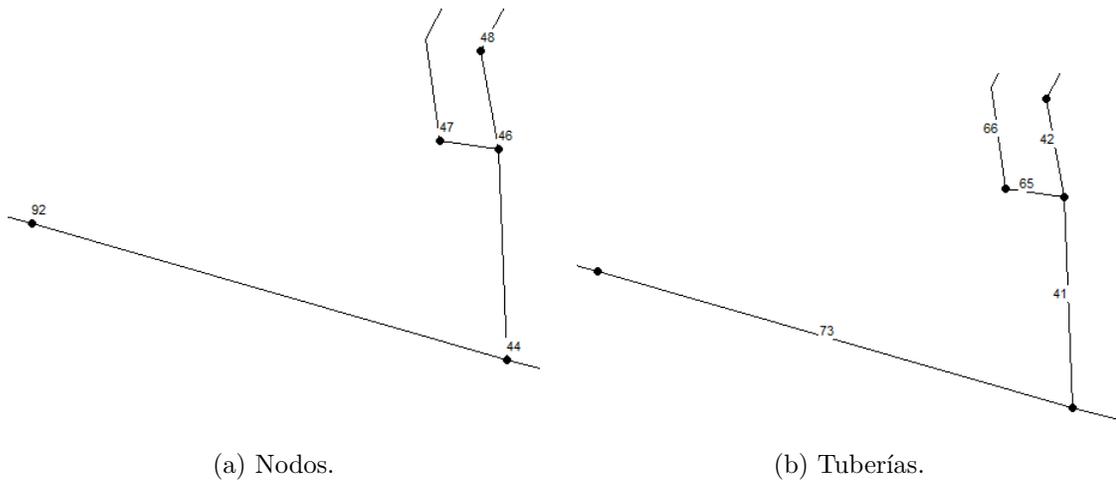
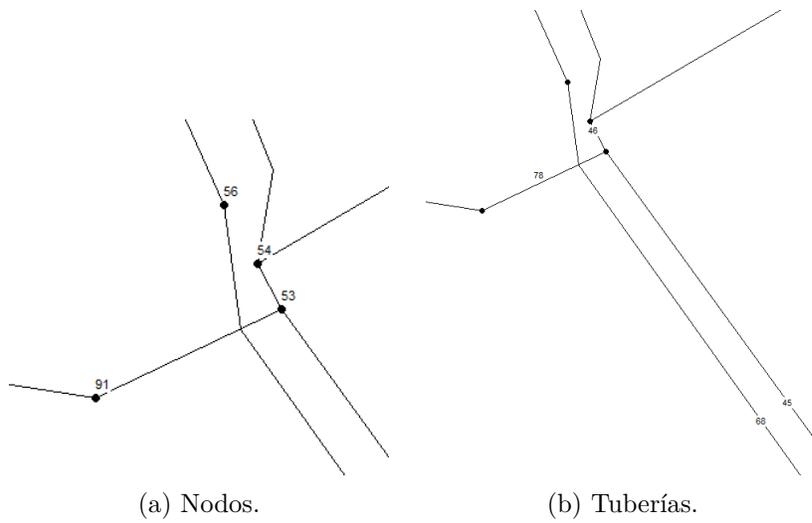


Figura B.13: Detalle de ID de tuberías en sector oeste del APR Nuevo Futuro (b).



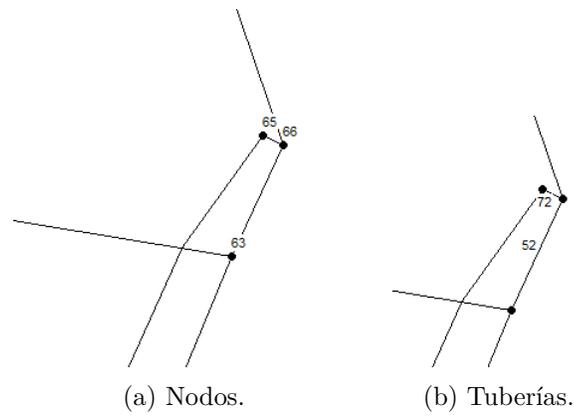
(a) Nodos. (b) Tuberías.

Figura B.14: Detalle de ID de nodos y tuberías en el inicio del bypass del sector oeste del APR Nuevo Futuro.



(a) Nodos. (b) Tuberías.

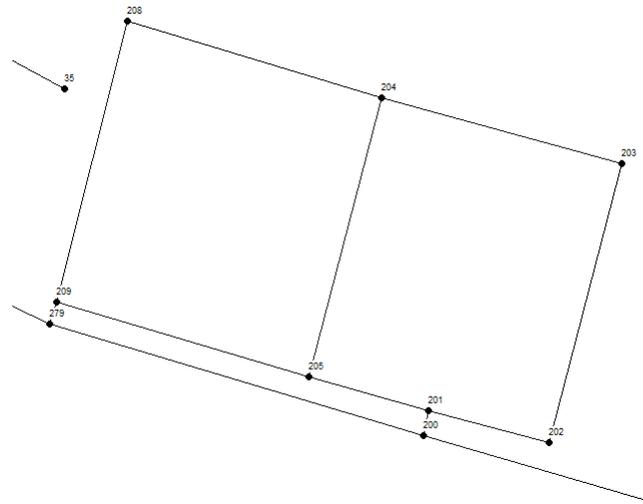
Figura B.15: Detalle de ID de nodos y tuberías en el tramo intermedio del bypass del sector oeste del APR Nuevo Futuro.



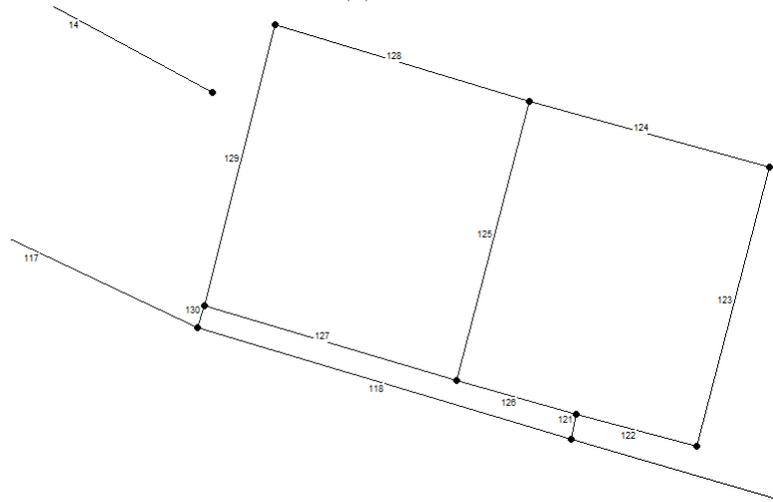
(a) Nodos. (b) Tuberías.

Figura B.16: Detalle de ID de nodos y tuberías en el final del bypass del sector oeste del APR Nuevo Futuro.

B.2.2. Escenario Base



(a) Nodos.



(b) Tuberías.

Figura B.17: Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación del escenario base del APR Nuevo Futuro.

B.2.3. Escenario Futuro

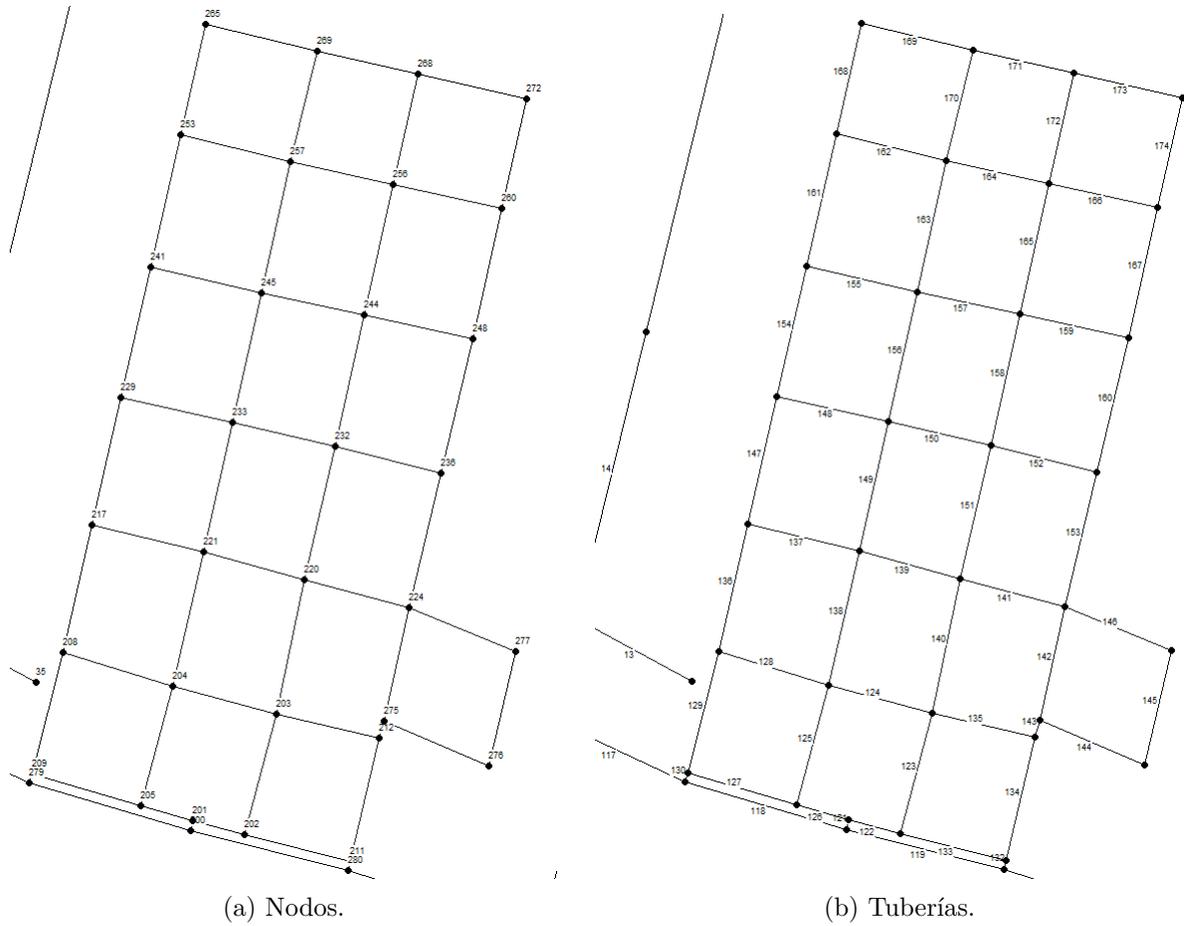


Figura B.18: Detalle de ID de nodos y tuberías en el sector de ampliación del escenario futuro del APR Nuevo Futuro.

Anexo C. Resultados de simulaciones en *EPANET*

C.1. Camarico Chico - Camarico Viejo

C.1.1. Escenario Actual

Tabla C.1: Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario actual del APR Camarico Chico.

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
2	173	0,00	27,83	27,85
3	169	0,00	31,64	31,85
5	156	0,04	44,08	44,85
6	155	0,10	44,83	45,85
7	145	0,06	54,82	55,85
8	153	0,08	46,76	47,85
9	152	0,00	47,75	48,85
10	151	0,00	48,73	49,85
11	151	0,09	48,73	49,85
12	149	0,00	50,71	51,85
13	149	0,06	50,71	51,85
14	144	0,09	55,73	56,85
15	146	0,05	53,71	54,85
16	143	0,05	56,62	57,85
17	143	0,05	56,61	57,85
18	142	0,03	57,6	58,85
45	142	0,17	57,55	58,85
46	143	0,00	56,55	57,85
47	141	0,15	58,52	59,85
48	142	0,15	57,47	58,85
49	142	0,06	57,47	58,85
50	148	0,07	51,46	52,85
19	136	0,00	63,59	64,85
20	132	0,00	67,53	68,85
21	132	0,00	67,44	68,85
22	132	0,00	67,42	68,85
23	133	0,03	66,26	67,85
24	134	0,02	65,24	66,85
25	151	0,00	47,84	49,85
26	151	0,05	47,84	49,85
27	151	0,05	47,84	49,85
28	151	0,10	47,83	49,85

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
29	148	0,05	50,83	52,85
30	147	0,00	51,83	53,85
31	152	0,06	46,63	48,85
32	157	0,03	41,56	43,85
33	154	0,08	44,3	46,85
34	158	0,07	40,16	42,85
35	151	0,13	46,93	49,85
36	149	0,00	48,93	51,85
37	146	0,03	51,92	54,85
38	156	0,05	41,91	44,85
39	148	0,00	49,91	52,85
40	162	0,00	35,91	38,85
41	172	0,03	25,91	28,85
42	161	0,01	36,91	39,85
43	160	0,00	37,91	40,85
44	165	0,01	32,91	35,85
1	198	-2,11	2,85	2,85
4	170	0,00	1,96	1,96

Tabla C.2: Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario actual del APR Camarico Chico.

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
1	1	2	6,62	75	2,11	0,48	3,33
2	2	3	56,53	75	2,11	0,48	3,33
3	3	4	9,32	75	0	0	0
4	3	5	168,92	75	2,11	0,48	3,33
5	5	6	78,38	75	2,07	0,47	3,22
6	6	7	199,53	63	0,06	0,02	0,01
7	6	8	24,17	75	1,91	0,43	2,76
8	8	16	250,72	75	0,73	0,17	0,57
9	8	9	14,03	75	1,1	0,25	1
10	9	10	12,25	75	1,1	0,25	1
11	10	11	19,04	63	0,18	0,06	0,1
12	11	14	206,13	63	0,09	0,03	0,03
13	10	12	33,25	75	0,92	0,21	0,72
14	12	13	25,85	63	0,11	0,04	0,04
15	13	15	109,64	63	0,05	0,02	0,01
16	16	17	24,07	75	0,68	0,15	0,5

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
17	12	19	211,68	75	0,81	0,18	0,56
18	19	20	116,74	75	0,81	0,18	0,56
19	20	21	52,79	63	0,81	0,26	1,6
20	21	22	13,82	63	0,81	0,26	1,6
21	22	23	101,35	63	0,81	0,26	1,6
22	23	24	7,97	63	0,78	0,25	1,49
23	24	25	284,31	63	0,76	0,24	1,42
24	25	27	17,31	63	0,2	0,06	0,12
25	27	28	172,07	63	0,15	0,05	0,07
26	28	29	226,62	63	0,05	0,02	0,01
27	29	30	162,24	63	0	0	0
28	25	26	8,48	63	0,56	0,18	0,8
29	26	31	309,84	63	0,51	0,16	0,67
30	31	32	130,19	63	0,44	0,14	0,53
31	32	33	551,51	63	0,41	0,13	0,46
32	33	34	460,84	63	0,33	0,11	0,31
33	34	35	1152,58	63	0,26	0,08	0,2
34	35	36	46,69	63	0,13	0,04	0,06
35	36	37	199,72	63	0,13	0,04	0,06
36	37	38	547,42	63	0,05	0,02	0,01
37	37	39	357,58	63	0,05	0,02	0,01
38	39	40	300,00	63	0,05	0,02	0,01
39	40	42	268,87	63	0,02	0,01	0
40	42	43	31,33	63	0,01	0	0
41	43	44	173,80	63	0,01	0	0
42	40	41	587,39	75	0,03	0,01	0
43	17	18	7,49	75	0,63	0,14	0,44
44	18	45	120,21	75	0,6	0,14	0,39
45	45	46	9,83	63	0	0	0
46	45	47	151,44	75	0,43	0,1	0,21
47	47	48	241,67	63	0,28	0,09	0,22
48	48	49	44,56	63	0,13	0,04	0,05
49	49	50	233,52	63	0,07	0,02	0,02

C.1.2. Ampliación

Tabla C.3: Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario de ampliación del APR Camarico Chico.

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
2	173	0,00	27,81	27,85
3	169	0,00	31,45	31,85
5	156	0,04	43,37	44,85
6	155	0,10	43,95	45,85
7	145	0,06	53,94	55,85
8	153	0,08	45,83	47,85
9	152	0,00	46,80	48,85
10	151	0,00	47,77	49,85
11	151	0,09	47,76	49,85
12	149	0,00	49,70	51,85
13	149	0,06	49,70	51,85
14	144	0,09	54,76	56,85
15	146	0,05	52,70	54,85
16	143	0,05	55,69	57,85
17	143	0,05	55,67	57,85
18	142	0,03	56,67	58,85
45	142	0,17	56,62	58,85
46	143	0,00	55,62	57,85
47	141	0,15	57,59	59,85
48	142	0,15	56,54	58,85
49	142	0,06	56,54	58,85
50	148	0,07	50,53	52,85
19	136	0,00	62,33	64,85
20	132	0,00	66,13	68,85
21	132	0,00	65,87	68,85
22	132	0,00	65,80	68,85
23	133	0,03	64,30	67,85
24	134	0,02	63,26	66,85
25	151	0,00	44,94	49,85
26	151	0,05	44,91	49,85
27	151	0,05	44,94	49,85
28	151	0,10	44,93	49,85
29	148	0,05	47,93	52,85
30	147	0,00	48,93	53,85
31	152	0,06	42,91	48,85
32	157	0,03	37,53	43,85

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
33	154	0,08	38,99	46,85
34	158	0,07	33,87	42,85
35	151	0,13	38,43	49,85
36	149	0,00	40,39	51,85
37	146	0,03	43,22	54,85
38	156	0,05	33,21	44,85
39	148	0,00	40,98	52,85
40	162	0,00	26,93	38,85
41	172	0,03	16,93	28,85
42	161	0,01	27,90	39,85
43	160	0,00	28,90	40,85
44	165	0,01	23,88	35,85
100	158	0,00	41,37	42,85
101	158	0,08	41,37	42,85
102	161	0,05	38,37	39,85
103	155	0,02	44,37	45,85
104	156	0,06	43,37	44,85
111	151	0,00	38,43	49,85
112	182	0,02	7,41	18,85
113	179	0,01	10,41	21,85
114	186	0,02	3,41	14,85
115	182	0,05	7,41	18,85
116	188	0,02	1,41	12,85
117	183	0,03	6,41	17,85
118	191	0,02	-1,59	9,85
119	185	0,05	4,41	15,85
200	184	0,00	5,41	16,85
126	163	0,02	25,87	37,85
127	159	0,05	29,86	41,85
128	157	0,03	31,86	43,85
129	163	0,05	25,86	37,85
130	160	0,03	28,86	40,85
120	154	0,05	34,95	46,85
121	159	0,05	29,95	41,85
122	161	0,05	27,95	39,85
123	155	0,05	33,95	45,85
124	162	0,03	26,95	38,85
131	154	0,05	34,95	46,85
1	198	-3,00	2,85	2,85
4	170	0,00	1,96	1,96

Tabla C.4: Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario de ampliación del APR Camarico Chico.

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
1	1	2	6,62	75	3,00	0,68	6,38
2	2	3	56,53	75	3,00	0,68	6,38
3	3	4	9,32	75	0,00	0,00	0,00
4	3	5	168,92	75	3,00	0,68	6,38
5	5	6	78,38	75	2,75	0,62	5,44
6	6	7	199,53	63	0,06	0,02	0,01
7	6	8	24,17	75	2,59	0,59	4,85
8	8	16	250,72	75	0,73	0,17	0,57
9	8	9	14,03	75	1,78	0,40	2,42
10	9	10	12,25	75	1,78	0,40	2,43
11	10	11	19,04	63	0,18	0,06	0,10
12	11	14	206,13	63	0,09	0,03	0,03
13	10	12	33,25	75	1,60	0,36	1,99
14	12	13	25,85	63	0,11	0,04	0,04
15	13	15	109,64	63	0,05	0,02	0,01
16	16	17	24,07	75	0,68	0,15	0,50
17	12	19	211,68	75	1,49	0,34	1,74
18	19	20	116,74	75	1,49	0,34	1,74
19	20	21	52,79	63	1,49	0,48	4,94
20	21	22	13,82	63	1,49	0,48	4,94
21	22	23	101,35	63	1,49	0,48	4,94
22	23	24	7,97	63	1,46	0,47	4,76
23	24	25	284,31	63	1,44	0,46	4,63
24	25	27	17,31	63	0,20	0,06	0,12
25	27	28	172,07	63	0,15	0,05	0,07
26	28	29	226,62	63	0,05	0,02	0,01
27	29	30	162,24	63	0,00	0,00	0,00
28	25	26	8,48	63	1,23	0,40	3,50
29	26	31	309,84	63	1,18	0,38	3,24
30	31	32	130,19	63	1,12	0,36	2,94
31	32	33	551,51	63	1,09	0,35	2,79
32	33	34	460,84	63	1,01	0,32	2,42
33	34	35	1152,58	63	0,94	0,30	2,12
34	35	36	46,69	63	0,58	0,19	0,86
35	36	37	199,72	63	0,58	0,19	0,86
36	37	38	547,42	63	0,05	0,02	0,01
37	37	39	357,58	63	0,50	0,16	0,65
38	39	40	300,00	63	0,24	0,08	0,16

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
39	40	42	268,87	63	0,20	0,07	0,13
40	42	43	31,33	63	0,19	0,06	0,11
41	43	44	173,80	63	0,19	0,06	0,11
42	40	41	587,39	75	0,03	0,01	0,00
43	17	18	7,49	75	0,63	0,14	0,44
44	18	45	120,21	75	0,60	0,14	0,39
45	45	46	9,83	63	0,00	0,00	0,00
46	45	47	151,44	75	0,43	0,10	0,21
47	47	48	241,67	63	0,28	0,09	0,22
48	48	49	44,56	63	0,13	0,04	0,05
49	49	50	233,52	63	0,07	0,02	0,02
100	5	100	23,42	75	0,21	0,05	0,05
101	100	101	6,71	75	0,21	0,05	0,04
102	101	102	106,05	75	0,06	0,01	0,00
103	102	103	73,49	75	0,01	0,00	0,00
104	103	104	103,32	75	-0,01	0,00	0,00
105	104	101	72,70	75	-0,07	0,02	0,01
106	35	111	13,13	75	0,23	0,05	0,06
107	111	112	309,61	75	0,23	0,05	0,06
108	112	113	159,41	75	0,08	0,02	0,01
109	112	114	127,26	75	0,13	0,03	0,02
110	114	200	158,27	75	-0,02	0,01	0,00
111	114	116	90,22	75	0,13	0,03	0,02
112	116	117	312,62	75	0,03	0,01	0,00
113	116	118	70,24	75	0,07	0,02	0,01
114	118	119	286,57	75	0,05	0,01	0,00
115	44	126	162,57	75	0,18	0,04	0,04
116	126	127	264,05	75	0,16	0,04	0,03
117	127	128	115,76	75	0,03	0,01	0,00
118	127	129	23,94	75	0,08	0,02	0,01
119	129	130	115,92	75	0,03	0,01	0,00
120	39	131	445,68	75	0,26	0,06	0,07
121	131	120	96,29	75	0,21	0,05	0,05
122	120	121	126,91	75	0,08	0,02	0,01
123	121	122	96,95	75	0,03	0,01	0,00
124	122	123	130,35	75	-0,04	0,01	0,00
125	123	120	107,36	75	-0,08	0,02	0,01
126	122	124	16,79	75	0,03	0,01	0,00
127	200	115	87,17	75	0,05	0,01	0,00
128	113	200	129,24	75	0,07	0,02	0,01

C.1.3. Escenario Base

Tabla C.5: Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario base del APR Camarico Chico.

ID Nudo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
2	173	0,00	27,80	27,85
3	169	0,00	31,38	31,85
5	156	0,04	43,11	44,85
6	155	0,10	43,60	45,85
7	145	0,06	53,60	55,85
8	153	0,08	45,46	47,85
9	152	0,00	46,41	48,85
10	151	0,00	47,38	49,85
11	151	0,09	47,37	49,85
12	149	0,00	49,29	51,85
13	149	0,06	49,29	51,85
14	144	0,09	54,37	56,85
15	146	0,05	52,28	54,85
16	143	0,05	55,32	57,85
17	143	0,05	55,30	57,85
18	142	0,03	56,30	58,85
45	142	0,17	56,25	58,85
46	143	0,00	55,25	57,85
47	141	0,15	57,22	59,85
48	142	0,15	56,17	58,85
49	142	0,06	56,17	58,85
50	148	0,07	50,16	52,85
19	136	0,00	61,78	64,85
20	132	0,00	65,50	68,85
21	132	0,00	65,14	68,85
22	132	0,00	65,05	68,85
23	133	0,03	63,36	67,85
24	134	0,02	62,31	66,85
25	151	0,00	43,48	49,85
26	151	0,05	43,44	49,85
27	151	0,05	43,48	49,85
28	151	0,10	43,47	49,85
29	148	0,05	46,47	52,85
30	147	0,00	47,47	53,85
31	152	0,06	40,96	48,85
32	157	0,03	35,38	43,85

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
33	154	0,08	36,04	46,85
34	158	0,07	30,30	42,85
35	151	0,13	33,36	49,85
36	149	0,00	35,30	51,85
37	146	0,03	38,04	54,85
38	156	0,05	28,04	44,85
39	148	0,00	35,67	52,85
40	162	0,00	21,63	38,85
41	172	0,03	11,62	28,85
42	161	0,01	22,59	39,85
43	160	0,00	23,59	40,85
44	165	0,01	18,57	35,85
100	158	0,00	41,11	42,85
101	158	0,08	41,11	42,85
102	161	0,05	38,11	39,85
103	155	0,02	44,11	45,85
104	156	0,06	43,11	44,85
111	151	0,00	33,36	49,85
112	182	0,06	2,31	18,85
113	179	0,05	5,31	21,85
114	186	0,06	-1,69	14,85
115	182	0,05	2,31	18,85
116	188	0,02	-3,69	12,85
117	183	0,03	1,31	17,85
118	191	0,02	-6,69	9,85
119	185	0,05	-0,69	15,85
200	184	0,03	0,31	16,85
126	163	0,02	20,56	37,85
127	159	0,05	24,55	41,85
128	157	0,03	26,55	43,85
129	163	0,05	20,55	37,85
130	160	0,03	23,55	40,85
120	154	0,08	29,59	46,85
121	159	0,09	24,59	41,85
122	161	0,07	22,59	39,85
123	155	0,08	28,59	45,85
124	162	0,03	21,59	38,85
131	154	0,05	29,61	46,85
1	198	-3,28	2,85	2,85
4	170	0,00	1,96	1,96

Tabla C.6: Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario base del APR Camarico Chico.

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
1	1	2	6,62	75	3,28	0,74	7,51
2	2	3	56,53	75	3,28	0,74	7,51
3	3	4	9,32	75	0,00	0,00	0,00
4	3	5	168,92	75	3,28	0,74	7,51
5	5	6	78,38	75	3,03	0,69	6,50
6	6	7	199,53	63	0,06	0,02	0,01
7	6	8	24,17	75	2,86	0,65	5,86
8	8	16	250,72	75	0,73	0,17	0,57
9	8	9	14,03	75	2,06	0,47	3,17
10	9	10	12,25	75	2,06	0,47	3,17
11	10	11	19,04	63	0,18	0,06	0,10
12	11	14	206,13	63	0,09	0,03	0,03
13	10	12	33,25	75	1,88	0,43	2,68
14	12	13	25,85	63	0,11	0,04	0,04
15	13	15	109,64	63	0,05	0,02	0,01
16	16	17	24,07	75	0,68	0,15	0,50
17	12	19	211,68	75	1,76	0,40	2,39
18	19	20	116,74	75	1,76	0,40	2,39
19	20	21	52,79	63	1,76	0,57	6,78
20	21	22	13,82	63	1,76	0,57	6,78
21	22	23	101,35	63	1,76	0,57	6,78
22	23	24	7,97	63	1,73	0,56	6,57
23	24	25	284,31	63	1,71	0,55	6,43
24	25	27	17,31	63	0,20	0,06	0,12
25	27	28	172,07	63	0,15	0,05	0,07
26	28	29	226,62	63	0,05	0,02	0,01
27	29	30	162,24	63	0,00	0,00	0,00
28	25	26	8,48	63	1,51	0,48	5,09
29	26	31	309,84	63	1,46	0,47	4,78
30	31	32	130,19	63	1,40	0,45	4,42
31	32	33	551,51	63	1,37	0,44	4,25
32	33	34	460,84	63	1,29	0,41	3,79
33	34	35	1152,58	63	1,22	0,39	3,42
34	35	36	46,69	63	0,72	0,23	1,28
35	36	37	199,72	63	0,72	0,23	1,28
36	37	38	547,42	63	0,05	0,02	0,01
37	37	39	357,58	63	0,64	0,20	1,03
38	39	40	300,00	63	0,24	0,08	0,16

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
39	40	42	268,87	63	0,20	0,07	0,13
40	42	43	31,33	63	0,19	0,06	0,11
41	43	44	173,80	63	0,19	0,06	0,11
42	40	41	587,39	75	0,03	0,01	0,00
43	17	18	7,49	75	0,63	0,14	0,44
44	18	45	120,21	75	0,60	0,14	0,39
45	45	46	9,83	63	0,00	0,00	0,00
46	45	47	151,44	75	0,43	0,10	0,21
47	47	48	241,67	63	0,28	0,09	0,22
48	48	49	44,56	63	0,13	0,04	0,05
49	49	50	233,52	63	0,07	0,02	0,02
100	5	100	23,42	75	0,21	0,05	0,05
101	100	101	6,71	75	0,21	0,05	0,04
102	101	102	106,05	75	0,06	0,01	0,00
103	102	103	73,49	75	0,01	0,00	0,00
104	103	104	103,32	75	-0,01	0,00	0,00
105	104	101	72,70	75	-0,07	0,02	0,01
106	35	111	13,13	75	0,37	0,08	0,13
107	111	112	309,61	75	0,37	0,08	0,13
108	112	113	159,41	75	0,13	0,03	0,02
109	112	114	127,26	75	0,18	0,04	0,03
111	114	116	90,22	75	0,13	0,03	0,02
112	116	117	312,62	75	0,03	0,01	0,00
113	116	118	70,24	75	0,07	0,02	0,01
114	118	119	286,57	75	0,05	0,01	0,00
115	44	126	162,57	75	0,18	0,04	0,04
116	126	127	264,05	75	0,16	0,04	0,03
117	127	128	115,76	75	0,03	0,01	0,00
118	127	129	23,94	75	0,08	0,02	0,01
119	129	130	115,92	75	0,03	0,01	0,00
120	39	131	445,68	75	0,40	0,09	0,15
121	131	120	96,29	75	0,35	0,08	0,12
122	120	121	126,91	75	0,13	0,03	0,02
123	121	122	96,95	75	0,04	0,01	0,00
124	122	123	130,35	75	-0,05	0,01	0,00
125	123	120	107,36	75	-0,14	0,03	0,02
126	122	124	16,79	75	0,03	0,01	0,00
127	113	200	129,24	75	0,09	0,02	0,01
128	114	200	158,27	75	-0,01	0,00	0,00
129	200	115	87,17	75	0,05	0,01	0,00

C.1.4. Escenario Futuro

Tabla C.7: Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario futuro del APR Camarico Chico, considerando uso de grifo en el nodo 41.

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
2	173	0,00	25,63	27,85
3	169	0,00	10,64	31,85
5	156	0,03	-33,09	44,85
6	155	0,08	-58,02	45,85
7	145	0,05	-48,03	55,85
8	153	0,06	-63,94	47,85
9	152	0,00	-66,93	48,85
10	151	0,00	-69,42	49,85
11	151	0,07	-69,42	49,85
12	149	0,00	-76,76	51,85
13	149	0,05	-76,76	51,85
14	144	0,07	-62,42	56,85
15	146	0,04	-73,76	54,85
16	143	0,04	-54,68	57,85
17	143	0,04	-54,75	57,85
18	142	0,03	-53,77	58,85
45	142	0,14	-54,08	58,85
46	143	0,00	-55,08	57,85
47	141	0,13	-53,42	59,85
48	142	0,13	-55,49	58,85
49	142	0,05	-55,65	58,85
50	148	0,06	-62,31	52,85
19	136	0,00	-118,80	64,85
20	132	0,00	-144,43	68,85
21	132	0,00	-182,51	68,85
22	132	0,00	-192,48	68,85
23	133	0,03	-266,59	67,85
24	134	0,02	-273,33	66,85
25	151	0,00	-494,69	49,85
26	151	0,04	-500,70	49,85
27	151	0,04	-494,70	49,85
28	151	0,08	-494,70	49,85
29	148	0,04	-491,71	52,85
30	147	0,00	-490,71	53,85
31	152	0,05	-720,46	48,85

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
32	157	0,03	-809,66	43,85
33	154	0,07	-1162,52	46,85
34	158	0,06	-1462,08	42,85
35	151	0,11	-2190,38	49,85
36	149	0,00	-2212,58	51,85
37	146	0,03	-2313,11	54,85
38	156	0,04	-2323,11	44,85
39	148	0,00	-2496,26	52,85
40	162	0,00	-2633,93	38,85
41	172	16,03	-2745,48	28,85
42	161	0,01	-2632,95	39,85
43	160	0,00	-2631,95	40,85
44	165	0,01	-2636,97	35,85
100	158	0,00	-35,09	42,85
101	158	0,07	-35,09	42,85
102	161	0,04	-38,09	39,85
103	155	0,02	-32,09	45,85
104	156	0,05	-33,09	44,85
111	151	0,00	-2190,42	49,85
112	182	0,16	-2222,30	18,85
113	179	0,09	-2219,33	21,85
114	186	0,23	-2226,35	14,85
115	182	0,04	-2222,34	18,85
116	188	0,02	-2228,36	12,85
117	183	0,03	-2223,36	17,85
118	191	0,02	-2231,36	9,85
119	185	0,04	-2225,36	15,85
200	184	0,08	-2224,34	16,85
126	163	0,02	-2634,97	37,85
127	159	0,04	-2630,98	41,85
128	157	0,03	-2628,98	43,85
129	163	0,04	-2634,98	37,85
130	160	0,03	-2631,98	40,85
120	154	0,07	-2503,02	46,85
121	159	0,08	-2508,06	41,85
122	161	0,06	-2510,09	39,85
123	155	0,07	-2504,05	45,85
124	162	0,17	-2511,10	38,85
131	154	0,04	-2502,89	46,85
201	143	0,13	-711,52	57,85

ID Nudo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
202	141	0,13	-709,53	59,85
203	139	0,13	-707,54	61,85
204	139	0,26	-707,54	61,85
206	139	0,09	-707,54	61,85
207	138	0,11	-706,54	62,85
208	137	0,11	-705,54	63,85
209	156	0,15	-2505,12	44,85
210	156	0,28	-2505,13	44,85
211	161	0,28	-2510,13	39,85
214	156	0,11	-2505,13	44,85
215	161	0,11	-2510,13	39,85
216	145	0,00	-87,16	55,85
217	146	0,13	-88,17	54,85
218	141	0,15	-83,19	59,85
221	145	0,24	-87,20	55,85
222	142	0,32	-84,20	58,85
223	139	0,15	-81,20	61,85
224	142	0,15	-84,20	58,85
229	184	0,30	-2224,36	16,85
231	186	0,15	-2226,36	14,85
232	187	0,15	-2227,36	13,85
234	189	0,15	-2229,36	11,85
235	188	0,15	-2228,36	12,85
236	184	0,45	-2224,36	16,85
237	148	0,00	-2453,99	52,85
238	148	0,13	-2454,00	52,85
239	149	0,15	-2455,00	51,85
240	154	0,17	-2460,01	46,85
241	149	0,19	-2455,01	51,85
242	146	0,00	-60,31	54,85
243	149	0,15	-63,34	51,85
244	149	0,15	-63,36	51,85
245	156	0,28	-70,37	44,85
246	154	0,32	-68,37	46,85
249	164	0,13	-78,37	36,85
250	163	0,13	-77,37	37,85
1	198	-25,49	2,85	2,85
4	170	0,00	1,96	1,96

Tabla C.8: Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario futuro del APR Camarico Chico, considerando uso de grifo en el nodo 41.

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
1	1	2	6,62	75	25,49	5,77	335,85
2	2	3	56,53	75	25,49	5,77	335,85
3	3	4	9,32	75	0,00	0,00	0,00
4	3	5	168,92	75	25,49	5,77	335,85
5	5	6	78,38	75	25,29	5,72	330,87
6	6	7	199,53	63	0,05	0,02	0,01
7	6	8	24,17	75	25,15	5,69	327,54
8	8	16	250,72	75	1,78	0,40	2,95
9	8	9	14,03	75	23,31	5,28	284,49
10	9	10	12,25	75	23,31	5,28	284,49
11	10	11	19,04	63	0,15	0,05	0,07
12	11	14	206,13	63	0,07	0,02	0,02
13	10	12	33,25	75	23,16	5,24	281,15
14	12	13	25,85	63	0,10	0,03	0,03
15	13	15	109,64	63	0,04	0,01	0,01
16	16	17	24,07	75	1,74	0,39	2,82
18	19	20	116,74	75	21,92	4,96	253,85
19	20	21	52,79	63	21,92	7,03	721,37
20	21	22	13,82	63	21,92	7,03	721,37
21	22	23	101,35	63	21,92	7,03	721,37
22	23	24	7,97	63	21,89	7,02	719,83
23	24	25	284,31	63	21,87	7,02	718,80
24	25	27	17,31	63	0,17	0,05	0,09
25	27	28	172,07	63	0,13	0,04	0,05
26	28	29	226,62	63	0,04	0,01	0,01
27	29	30	162,24	63	0,00	0,00	0,00
28	25	26	8,48	63	21,71	6,96	708,59
29	26	31	309,84	63	21,66	6,95	706,05
30	31	32	130,19	63	20,66	6,63	646,71
31	32	33	551,51	63	20,64	6,62	645,25
32	33	34	460,84	63	20,57	6,60	641,36
33	34	35	1152,58	63	20,51	6,58	637,96
34	35	36	46,69	63	18,33	5,88	518,34
35	36	37	199,72	63	18,33	5,88	518,34
36	37	38	547,42	63	0,04	0,01	0,01
38	39	40	300,00	63	16,20	5,20	412,22
39	40	42	268,87	63	0,17	0,05	0,09
40	42	43	31,33	63	0,16	0,05	0,08

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
41	43	44	173,80	63	0,16	0,05	0,08
42	40	41	587,39	75	16,03	3,63	172,89
43	17	18	7,49	75	1,70	0,38	2,70
44	18	45	120,21	75	1,67	0,38	2,62
45	45	46	9,83	63	0,00	0,00	0,00
46	45	47	151,44	75	1,52	0,35	2,22
47	47	48	241,67	63	1,40	0,45	4,42
48	48	49	44,56	63	1,27	0,41	3,72
100	5	100	23,42	75	0,17	0,04	0,03
101	100	101	6,71	75	0,17	0,04	0,03
102	101	102	106,05	75	0,06	0,01	0,00
103	102	103	73,49	75	0,02	0,00	0,00
104	103	104	103,32	75	0,00	0,00	0,00
105	104	101	72,70	75	-0,05	0,01	0,00
106	35	111	13,13	75	2,07	0,47	2,83
107	111	112	309,61	75	2,07	0,47	2,84
108	112	113	159,41	75	0,45	0,10	0,17
109	112	114	127,26	75	0,71	0,16	0,40
110	114	116	90,22	75	0,38	0,09	0,13
111	116	117	312,62	75	0,03	0,01	0,00
113	118	119	286,57	75	0,04	0,01	0,00
114	44	126	162,57	75	0,15	0,03	0,02
115	126	127	264,05	75	0,13	0,03	0,02
116	127	128	115,76	75	0,03	0,01	0,00
117	127	129	23,94	75	0,07	0,02	0,01
118	129	130	115,92	75	0,03	0,01	0,00
119	39	131	445,68	75	1,42	0,32	1,41
120	131	120	96,29	75	1,37	0,31	1,33
121	120	121	126,91	75	0,66	0,15	0,34
122	121	122	96,95	75	0,58	0,13	0,27
123	122	123	130,35	75	-0,58	0,13	0,27
124	123	120	107,36	75	-0,64	0,15	0,33
125	122	124	16,79	75	1,10	0,25	0,89
126	113	200	129,24	75	0,36	0,08	0,11
127	114	200	158,27	75	-0,25	0,06	0,06
128	200	115	87,17	75	0,04	0,01	0,00
129	116	234	10,10	75	0,34	0,08	0,09
130	234	235	139,44	75	0,13	0,03	0,02
131	235	236	100,32	75	-0,03	0,01	0,00
132	236	114	139,45	75	-0,35	0,08	0,10

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
133	37	237	269,78	63	18,27	5,86	514,82
134	237	39	87,80	63	17,62	5,65	481,44
135	237	238	11,66	75	0,65	0,15	0,34
136	238	239	85,15	75	0,28	0,06	0,07
137	239	240	150,08	75	0,13	0,03	0,02
138	240	241	128,83	75	-0,05	0,01	0,00
139	241	238	149,50	75	-0,24	0,05	0,05
140	49	242	190,35	63	1,23	0,39	3,46
141	242	50	42,78	63	0,06	0,02	0,01
142	242	243	30,95	75	1,17	0,26	0,99
143	243	244	116,82	75	0,45	0,10	0,17
144	244	245	100,37	75	0,30	0,07	0,08
145	245	246	116,06	75	-0,10	0,02	0,01
146	246	243	100,81	75	-0,57	0,13	0,26
147	245	249	116,33	75	0,12	0,03	0,01
148	249	250	101,26	75	-0,01	0,00	0,00
149	250	246	151,11	75	-0,14	0,03	0,02
150	12	216	51,62	75	23,06	5,22	279,01
151	216	19	160,07	75	21,92	4,96	253,85
152	216	217	7,87	75	1,15	0,26	0,96
153	217	218	100,56	75	0,47	0,11	0,19
154	218	222	127,29	75	0,32	0,07	0,09
155	222	221	100,17	75	-0,13	0,03	0,02
156	217	221	119,64	75	0,54	0,12	0,24
157	222	223	147,59	75	0,13	0,03	0,02
158	223	224	101,72	75	-0,03	0,01	0,00
159	224	221	128,51	75	-0,18	0,04	0,03
160	31	201	83,28	75	0,95	0,22	0,68
161	201	202	96,62	75	0,37	0,08	0,12
162	201	204	100,20	75	0,45	0,10	0,17
163	202	203	100,20	75	0,24	0,05	0,05
164	203	206	78,03	75	0,11	0,02	0,01
165	206	204	57,80	75	-0,08	0,02	0,01
166	204	208	108,72	75	0,12	0,03	0,01
167	206	207	111,22	75	0,10	0,02	0,01
168	207	208	81,61	75	-0,01	0,00	0,00
169	124	209	142,12	75	0,40	0,09	0,14
170	209	210	100,28	75	0,25	0,06	0,06
171	210	211	121,70	75	-0,11	0,02	0,01
172	211	124	104,24	75	-0,53	0,12	0,23

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
173	210	214	104,81	75	0,08	0,02	0,01
174	214	215	95,84	75	-0,03	0,01	0,00
175	215	211	107,91	75	-0,14	0,03	0,02
176	112	229	140,37	75	0,74	0,17	0,42
177	229	236	128,25	75	0,21	0,05	0,04
178	229	232	116,39	75	0,22	0,05	0,05
179	232	231	127,40	75	0,07	0,02	0,01
180	231	236	114,30	75	-0,08	0,02	0,01
17	234	118	60,17	75	0,06	0,01	0,00

C.2. Nuevo Futuro Potrerillo Alto

C.2.1. Escenario Actual

Tabla C.9: Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario actual del APR Nuevo Futuro.

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
4	318	0,00	67,11	68,37
6	313	0,00	71,63	73,37
7	313	0,00	40,84	47,00
9	317	0,03	43,00	43,00
10	317	0,00	66,90	69,37
11	344	0,00	41,63	42,37
13	321	0,15	62,84	65,37
15	333	0,20	50,77	53,37
17	340	0,00	43,75	46,37
18	340	0,09	43,75	46,37
19	355	0,03	28,73	31,37
20	352	0,07	31,73	34,37
21	355	0,05	28,73	31,37
23	347	0,03	36,74	39,37
25	378	0,03	5,74	8,37
26	372	0,00	11,74	14,37
27	357	0,00	26,74	29,37
28	357	0,00	26,74	29,37
29	356	0,03	27,74	30,37
30	358	0,05	25,74	28,37
31	371	0,14	12,72	15,37

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
32	382	0,02	1,72	4,37
33	335	0,03	48,77	51,37
34	321	0,14	62,82	65,37
35	324	0,02	59,82	62,37
36	321	0,10	62,80	65,37
37	355	0,09	28,76	31,37
38	356	0,00	27,76	30,37
39	356	0,02	27,76	30,37
40	362	0,02	21,76	24,37
42	360	0,02	23,76	26,37
43	341	0,03	42,76	45,37
44	313	0,10	46,60	47,00
46	313	0,00	46,54	47,00
47	313	0,00	46,54	47,00
48	313	0,00	46,54	47,00
50	315	0,02	44,42	45,00
51	313	0,03	46,34	47,00
52	314	0,02	44,94	46,00
53	315	0,00	43,73	45,00
54	315	0,09	43,73	45,00
56	315	0,03	44,22	45,00
57	324	0,09	34,69	36,00
58	330	0,05	28,68	30,00
59	325	0,05	33,70	35,00
60	315	0,03	44,14	45,00
61	316	0,00	42,85	44,00
62	316	0,05	42,99	44,00
63	317	0,09	41,90	43,00
65	317	0,00	41,93	43,00
66	318	0,00	40,93	42,00
67	317	0,10	41,46	43,00
68	318	0,00	40,46	42,00
69	317	0,15	41,36	43,00
70	316	0,02	42,33	44,00
71	316	0,03	42,33	44,00
73	336	0,00	22,32	24,00
75	338	0,02	20,32	22,00
76	347	0,03	11,32	13,00
77	302	0,05	56,35	58,00
78	304	0,02	54,35	56,00

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
79	298	0,03	60,35	62,00
81	309	0,14	49,52	51,00
82	307	0,05	51,52	53,00
83	296	0,07	62,14	64,00
84	296	0,03	62,03	64,00
85	299	0,09	58,62	61,00
86	294	0,15	63,51	66,00
87	300	0,09	58,05	60,00
88	303	0,10	55,21	57,00
89	305	0,02	53,21	55,00
90	300	0,15	58,19	60,00
91	313	0,02	45,69	47,00
92	313	0,00	46,57	47,00
94	300	0,02	57,87	60,00
95	301	0,03	56,87	59,00
96	302	0,09	55,86	58,00
97	304	0,05	53,86	56,00
98	299	0,07	58,82	61,00
99	301	0,07	56,82	59,00
100	299	0,12	58,80	61,00
101	296	0,10	61,80	64,00
102	301	0,05	56,80	59,00
103	293	0,07	63,18	67,00
105	291	0,00	64,96	69,00
107	293	0,03	62,96	67,00
110	296	0,09	58,81	64,00
111	298	0,07	56,81	62,00
112	295	0,02	60,38	65,00
113	315	0,05	38,99	45,00
115	314	0,14	39,84	46,00
116	313	0,02	40,84	47,00
117	300	0,19	53,74	60,00
118	302	0,07	51,74	58,00
119	314	0,03	39,77	46,00
120	300	0,02	53,77	60,00
121	307	0,03	46,77	53,00
122	306	0,00	47,77	54,00
123	308	0,07	45,77	52,00
124	310	0,00	43,78	50,00
125	311	0,07	42,78	49,00

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
126	351	0,02	32,74	35,37
127	383	0,02	0,74	3,37
130	364	0,00	21,86	22,37
131	313	0,09	46,27	47,00
132	353	0,02	5,46	7,00
133	305	0,17	53,83	55,00
134	316	0,07	37,89	44,00
135	347	0,07	11,32	13,00
1	382	-5,39	4,37	4,37
2	369	0,00	6,88	6,88
136	368	0,01	2,30	2,30
137	368	61,69	2,30	2,30
138	369	-61,70	2,30	2,30

Tabla C.10: Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario actual del APR Nuevo Futuro.

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
1	1	130	96,66	110	5,39	0,57	5,20
2	136	2	12,46	110	0,00	0,00	0,00
3	138	137	3,74	110	61,70	6,49	267,25
4	137	136	2,83	110	0,01	0,00	0,00
5	2	130	20,65	110	0,00	0,00	0,00
6	130	11	78,97	110	5,39	0,57	2,93
7	11	4	148,17	110	5,39	0,57	3,56
8	4	6	133,75	110	5,39	0,57	3,56
10	6	10	206,29	110	5,39	0,57	3,56
12	10	13	178,25	110	1,39	0,15	0,29
13	13	34	98,64	75	0,43	0,10	0,21
14	34	35	125,20	63	0,02	0,01	0,00
15	34	36	282,31	75	0,27	0,06	0,09
16	36	37	890,18	75	0,17	0,04	0,04
17	37	38	10,23	75	0,09	0,02	0,01
18	38	39	73,14	63	0,09	0,03	0,02
19	39	40	114,08	63	0,02	0,01	0,00
20	39	42	302,62	63	0,05	0,02	0,01
21	42	43	292,34	63	0,03	0,01	0,00
22	13	15	654,61	110	0,82	0,09	0,11
23	15	33	241,47	63	0,03	0,01	0,00

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
24	15	18	399,87	110	0,58	0,06	0,06
25	18	20	305,72	63	0,15	0,05	0,07
26	20	19	265,91	63	0,03	0,01	0,00
27	20	21	141,11	63	0,05	0,02	0,01
28	18	17	17,82	110	0,34	0,04	0,02
29	17	23	346,89	110	0,34	0,04	0,02
30	23	126	143,50	63	0,02	0,01	0,00
31	23	29	300,00	110	0,29	0,03	0,02
32	29	28	147,78	75	0,05	0,01	0,00
33	28	27	14,75	75	0,05	0,01	0,00
34	27	26	207,09	63	0,05	0,02	0,01
35	26	25	79,93	63	0,03	0,01	0,00
36	26	127	103,24	63	0,02	0,01	0,00
37	29	30	73,89	110	0,20	0,02	0,01
38	30	31	516,38	75	0,15	0,03	0,03
39	31	32	414,71	75	0,02	0,00	0,00
40	9	44	200,90	110	3,96	0,42	2,01
41	44	46	8,84	75	2,65	0,60	6,15
42	46	48	4,27	75	0,81	0,18	0,68
43	48	131	387,45	75	0,81	0,18	0,68
44	131	52	257,39	63	0,72	0,23	1,30
45	52	53	163,38	63	0,71	0,23	1,25
46	53	54	8,90	63	0,01	0,00	0,00
47	54	59	305,97	63	0,19	0,06	0,11
48	59	57	290,03	63	0,14	0,04	0,06
49	57	58	220,13	63	0,05	0,02	0,01
50	54	61	563,70	63	-0,26	0,08	0,20
51	61	63	248,38	63	-0,26	0,08	0,20
52	63	66	10,53	63	-1,12	0,36	2,95
53	66	67	610,25	63	0,54	0,17	0,77
54	67	68	18,30	63	0,02	0,01	0,00
55	68	132	346,13	63	0,02	0,01	0,00
56	67	69	203,98	63	0,43	0,14	0,49
57	69	77	327,05	63	0,10	0,03	0,03
58	77	78	107,53	63	0,02	0,01	0,00
59	77	79	201,46	63	0,03	0,01	0,00
60	69	71	324,73	63	0,17	0,05	0,09
61	71	70	10,11	63	0,02	0,01	0,00
62	71	73	222,57	63	0,12	0,04	0,05
63	73	75	39,03	63	0,12	0,04	0,05

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
64	75	76	96,25	63	0,03	0,01	0,00
65	46	47	2,53	110	1,84	0,19	0,40
66	47	50	307,20	110	1,84	0,19	0,40
67	50	51	191,68	110	1,82	0,19	0,39
68	51	56	328,77	110	1,79	0,19	0,38
69	56	60	224,31	110	1,75	0,18	0,37
70	60	62	400,69	110	1,72	0,18	0,35
71	62	65	195,97	110	1,67	0,18	0,33
72	65	66	2,18	110	1,67	0,18	0,34
73	44	92	21,24	75	1,21	0,27	1,45
74	92	133	504,94	75	1,21	0,27	1,45
75	133	87	306,86	63	1,04	0,33	2,56
76	87	88	356,16	63	-0,41	0,13	0,45
77	88	91	416,73	63	-0,68	0,22	1,16
78	91	53	35,33	63	-0,70	0,22	1,22
79	88	89	161,96	63	0,02	0,01	0,00
80	88	90	179,59	63	0,15	0,05	0,07
81	87	94	191,54	63	0,60	0,19	0,91
82	94	95	60,21	63	0,17	0,05	0,09
83	95	96	54,06	63	0,14	0,04	0,06
84	96	97	92,44	63	0,05	0,02	0,01
85	94	99	112,53	63	0,41	0,13	0,45
86	99	98	157,40	63	0,07	0,02	0,02
87	99	100	87,66	63	0,27	0,09	0,21
88	100	101	198,48	63	0,10	0,03	0,03
89	100	102	148,36	63	0,05	0,02	0,01
90	87	86	363,46	63	0,77	0,25	1,47
91	86	85	251,20	63	-0,40	0,13	0,44
92	85	84	648,96	63	-0,49	0,16	0,63
93	84	83	154,37	63	-0,52	0,17	0,71
94	83	81	427,50	63	-0,59	0,19	0,89
95	81	82	164,12	63	0,05	0,02	0,01
96	81	63	254,93	63	-0,78	0,25	1,48
97	86	103	542,76	63	1,02	0,33	2,46
98	103	105	99,06	63	0,95	0,31	2,17
99	105	107	61,84	63	0,03	0,01	0,00
100	105	112	290,11	63	0,92	0,29	2,03
101	112	111	286,94	63	0,90	0,29	1,96
102	111	110	240,46	63	0,09	0,03	0,02
103	111	113	596,34	63	0,75	0,24	1,39

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
104	113	134	387,39	63	0,29	0,09	0,24
105	134	125	1878,96	75	0,22	0,05	0,06
106	125	124	40,90	75	0,15	0,03	0,03
107	124	123	124,91	75	0,15	0,03	0,03
108	123	119	403,27	75	0,03	0,01	0,00
109	123	122	232,01	75	0,05	0,01	0,00
110	122	121	176,54	75	0,03	0,01	0,00
111	122	120	287,60	75	0,02	0,00	0,00
112	113	115	324,03	63	0,41	0,13	0,45
113	115	117	535,90	63	0,26	0,08	0,19
114	117	118	125,33	63	0,07	0,02	0,02
115	115	116	374,31	63	0,02	0,01	0,00
116	7	116	17,72	63	0,00	0,00	0,00
117	75	135	102,13	63	0,07	0,02	0,02
9	6	7	-	110	0,00	0,00	0,00
11	10	9	-	110	4,00	0,42	23,90

C.2.2. Escenario Base

Tabla C.11: Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario base del APR Nuevo Futuro.

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
4	318	0,00	66,97	68,37
6	313	0,00	71,44	73,37
7	313	0,00	40,84	47,00
9	317	0,03	43,00	43,00
10	317	0,00	66,63	69,37
11	344	0,00	41,55	42,37
13	321	0,15	62,56	65,37
15	333	0,20	50,48	53,37
17	340	0,00	43,46	46,37
18	340	0,09	43,46	46,37
19	355	0,03	28,44	31,37
20	352	0,07	31,44	34,37
21	355	0,05	28,44	31,37
23	347	0,03	36,45	39,37
25	378	0,03	5,45	8,37
26	372	0,00	11,45	14,37

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
27	357	0,00	26,45	29,37
28	357	0,00	26,45	29,37
29	356	0,03	27,45	30,37
30	358	0,05	25,45	28,37
31	371	0,14	12,43	15,37
32	382	0,02	1,43	4,37
33	335	0,03	48,48	51,37
34	321	0,14	62,54	65,37
35	324	0,02	59,54	62,37
36	321	0,10	62,51	65,37
37	355	0,09	28,48	31,37
38	356	0,00	27,48	30,37
39	356	0,02	27,47	30,37
40	362	0,02	21,47	24,37
42	360	0,02	23,47	26,37
43	341	0,03	42,47	45,37
44	313	0,10	46,60	47,00
46	313	0,00	46,54	47,00
47	313	0,00	46,54	47,00
48	313	0,00	46,54	47,00
50	315	0,02	44,42	45,00
51	313	0,03	46,34	47,00
52	314	0,02	44,94	46,00
53	315	0,00	43,73	45,00
54	315	0,09	43,73	45,00
56	315	0,03	44,22	45,00
57	324	0,09	34,69	36,00
58	330	0,05	28,68	30,00
59	325	0,05	33,70	35,00
60	315	0,03	44,14	45,00
61	316	0,00	42,85	44,00
62	316	0,05	42,99	44,00
63	317	0,09	41,90	43,00
65	317	0,00	41,93	43,00
66	318	0,00	40,93	42,00
67	317	0,10	41,46	43,00
68	318	0,00	40,46	42,00
69	317	0,15	41,36	43,00
70	316	0,02	42,33	44,00
71	316	0,03	42,33	44,00

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
73	336	0,00	22,32	24,00
75	338	0,02	20,32	22,00
76	347	0,03	11,32	13,00
77	302	0,05	56,35	58,00
78	304	0,02	54,35	56,00
79	298	0,03	60,35	62,00
81	309	0,14	49,52	51,00
82	307	0,05	51,52	53,00
83	296	0,07	62,14	64,00
84	296	0,03	62,03	64,00
85	299	0,09	58,62	61,00
86	294	0,15	63,51	66,00
87	300	0,09	58,05	60,00
88	303	0,10	55,21	57,00
89	305	0,02	53,21	55,00
90	300	0,15	58,19	60,00
91	313	0,02	45,69	47,00
92	313	0,00	46,57	47,00
94	300	0,02	57,87	60,00
95	301	0,03	56,87	59,00
96	302	0,09	55,86	58,00
97	304	0,05	53,86	56,00
98	299	0,07	58,82	61,00
99	301	0,07	56,82	59,00
100	299	0,12	58,80	61,00
101	296	0,10	61,80	64,00
102	301	0,05	56,80	59,00
103	293	0,07	63,18	67,00
105	291	0,00	64,96	69,00
107	293	0,03	62,96	67,00
110	296	0,09	58,81	64,00
111	298	0,07	56,81	62,00
112	295	0,02	60,38	65,00
113	315	0,05	38,99	45,00
115	314	0,14	39,84	46,00
116	313	0,02	40,84	47,00
117	300	0,19	53,74	60,00
118	302	0,07	51,74	58,00
119	314	0,03	39,77	46,00
120	300	0,02	53,77	60,00

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
121	307	0,03	46,77	53,00
122	306	0,00	47,77	54,00
123	308	0,07	45,77	52,00
124	310	0,00	43,78	50,00
125	311	0,07	42,78	49,00
126	351	0,02	32,45	35,37
127	383	0,02	0,45	3,37
130	364	0,00	21,81	22,37
131	313	0,09	46,27	47,00
132	353	0,02	5,46	7,00
133	305	0,17	53,83	55,00
134	316	0,07	37,89	44,00
135	347	0,07	11,32	13,00
200	326	0,00	57,52	60,37
201	326	0,00	57,52	60,37
202	328	0,05	55,52	58,37
203	329	0,05	54,52	57,37
204	327	0,08	56,52	59,37
205	325	0,08	58,52	61,37
208	324	0,03	59,52	62,37
209	323	0,03	60,53	63,37
279	323	0,00	60,53	63,37
1	382	-5,70	4,37	4,37
2	369	0,00	6,88	6,88
136	368	0,01	2,30	2,30
137	368	61,69	2,30	2,30
138	369	-61,70	2,30	2,30

Tabla C.12: Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario base del APR Nuevo Futuro.

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
1	1	130	96,66	110	5,70	0,60	5,76
2	136	2	12,46	110	0,00	0,00	0,00
3	138	137	3,74	110	61,70	6,49	267,25
4	137	136	2,83	110	0,01	0,00	0,00
5	2	130	20,65	110	0,00	0,00	0,00
6	130	11	78,97	110	5,70	0,60	3,24
7	11	4	148,17	110	5,70	0,60	3,94

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
8	4	6	133,75	110	5,70	0,60	3,94
10	6	10	206,29	110	5,70	0,60	3,94
12	10	13	178,25	110	1,70	0,18	0,42
13	13	34	98,64	75	0,43	0,10	0,21
14	34	35	125,20	63	0,02	0,01	0,00
15	34	36	282,31	75	0,27	0,06	0,09
16	36	37	890,18	75	0,17	0,04	0,04
17	37	38	10,23	75	0,09	0,02	0,01
18	38	39	73,14	63	0,09	0,03	0,02
19	39	40	114,08	63	0,02	0,01	0,00
20	39	42	302,62	63	0,05	0,02	0,01
21	42	43	292,34	63	0,03	0,01	0,00
22	15	33	241,47	63	0,03	0,01	0,00
23	15	18	399,87	110	0,58	0,06	0,06
24	18	20	305,72	63	0,15	0,05	0,07
25	20	19	265,91	63	0,03	0,01	0,00
26	20	21	141,11	63	0,05	0,02	0,01
27	18	17	17,82	110	0,34	0,04	0,02
28	17	23	346,89	110	0,34	0,04	0,02
29	23	126	143,50	63	0,02	0,01	0,00
30	23	29	300,00	110	0,29	0,03	0,02
31	29	28	147,78	75	0,05	0,01	0,00
32	28	27	14,75	75	0,05	0,01	0,01
33	27	26	207,09	63	0,05	0,02	0,01
34	26	25	79,93	63	0,03	0,01	0,00
35	26	127	103,24	63	0,02	0,01	0,00
36	29	30	73,89	110	0,20	0,02	0,01
37	30	31	516,38	75	0,15	0,03	0,03
38	31	32	414,71	75	0,02	0,00	0,00
39	9	44	200,90	110	3,96	0,42	2,01
40	44	46	8,84	75	2,65	0,60	6,15
41	46	48	4,27	75	0,81	0,18	0,68
42	48	131	387,45	75	0,81	0,18	0,68
43	131	52	257,39	63	0,72	0,23	1,30
44	52	53	163,38	63	0,71	0,23	1,25
45	53	54	8,90	63	0,01	0,00	0,00
46	54	59	305,97	63	0,19	0,06	0,11
47	59	57	290,03	63	0,14	0,04	0,06
48	57	58	220,13	63	0,05	0,02	0,01
49	54	61	563,70	63	-0,26	0,08	0,20

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
50	61	63	248,38	63	-0,26	0,08	0,20
51	63	66	10,53	63	-1,12	0,36	2,95
52	66	67	610,25	63	0,54	0,17	0,77
53	67	68	18,30	63	0,02	0,01	0,00
54	68	132	346,13	63	0,02	0,01	0,00
55	67	69	203,98	63	0,43	0,14	0,49
56	69	77	327,05	63	0,10	0,03	0,03
57	77	78	107,53	63	0,02	0,01	0,00
58	77	79	201,46	63	0,03	0,01	0,00
59	69	71	324,73	63	0,17	0,05	0,09
60	71	70	10,11	63	0,02	0,01	0,00
61	71	73	222,57	63	0,12	0,04	0,05
62	73	75	39,03	63	0,12	0,04	0,05
63	75	76	96,25	63	0,03	0,01	0,00
64	46	47	2,53	110	1,84	0,19	0,40
65	47	50	307,20	110	1,84	0,19	0,40
66	50	51	191,68	110	1,82	0,19	0,39
67	51	56	328,77	110	1,79	0,19	0,38
68	56	60	224,31	110	1,75	0,18	0,37
69	60	62	400,69	110	1,72	0,18	0,35
70	62	65	195,97	110	1,67	0,18	0,33
71	65	66	2,18	110	1,67	0,18	0,34
72	44	92	21,24	75	1,21	0,27	1,45
73	92	133	504,94	75	1,21	0,27	1,45
74	133	87	306,86	63	1,04	0,33	2,56
75	87	88	356,16	63	-0,41	0,13	0,45
76	88	91	416,73	63	-0,68	0,22	1,16
77	91	53	35,33	63	-0,70	0,22	1,22
78	88	89	161,96	63	0,02	0,01	0,00
79	88	90	179,59	63	0,15	0,05	0,07
80	87	94	191,54	63	0,60	0,19	0,91
81	94	95	60,21	63	0,17	0,05	0,09
82	95	96	54,06	63	0,14	0,04	0,06
83	96	97	92,44	63	0,05	0,02	0,01
84	94	99	112,53	63	0,41	0,13	0,45
85	99	98	157,40	63	0,07	0,02	0,02
86	99	100	87,66	63	0,27	0,09	0,21
87	100	101	198,48	63	0,10	0,03	0,03
88	100	102	148,36	63	0,05	0,02	0,01
89	87	86	363,46	63	0,77	0,25	1,47

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
90	86	85	251,20	63	-0,40	0,13	0,44
91	85	84	648,96	63	-0,49	0,16	0,63
92	84	83	154,37	63	-0,52	0,17	0,71
93	83	81	427,50	63	-0,59	0,19	0,89
94	81	82	164,12	63	0,05	0,02	0,01
95	81	63	254,93	63	-0,78	0,25	1,48
96	86	103	542,76	63	1,02	0,33	2,46
97	103	105	99,06	63	0,95	0,31	2,17
98	105	107	61,84	63	0,03	0,01	0,00
99	105	112	290,11	63	0,92	0,29	2,03
100	112	111	286,94	63	0,90	0,29	1,96
101	111	110	240,46	63	0,09	0,03	0,02
102	111	113	596,34	63	0,75	0,24	1,39
103	113	134	387,39	63	0,29	0,09	0,24
104	134	125	1878,96	75	0,22	0,05	0,06
105	125	124	40,90	75	0,15	0,03	0,03
106	124	123	124,91	75	0,15	0,03	0,03
107	123	119	403,27	75	0,03	0,01	0,00
108	123	122	232,01	75	0,05	0,01	0,00
109	122	121	176,54	75	0,03	0,01	0,00
110	122	120	287,60	75	0,02	0,00	0,00
111	113	115	324,03	63	0,41	0,13	0,45
112	115	117	535,90	63	0,26	0,08	0,19
113	117	118	125,33	63	0,07	0,02	0,02
114	115	116	374,31	63	0,02	0,01	0,00
115	7	116	17,72	63	0,00	0,00	0,00
116	75	135	102,13	63	0,07	0,02	0,02
117	13	279	144,16	110	1,12	0,12	0,19
118	279	200	160,75	110	0,51	0,05	0,05
119	200	15	348,42	110	0,82	0,09	0,11
121	200	201	10,20	90	-0,30	0,05	0,03
122	201	202	51,70	90	-0,04	0,01	0,00
123	202	203	118,85	90	-0,09	0,01	0,00
124	203	204	102,64	90	-0,14	0,02	0,01
125	204	205	118,87	90	0,00	0,00	0,00
126	205	201	50,97	90	0,26	0,04	0,03
127	205	209	108,54	90	-0,34	0,05	0,04
128	204	208	109,81	90	-0,21	0,03	0,02
129	208	209	119,57	90	-0,24	0,04	0,02
130	279	209	9,49	90	0,61	0,10	0,12

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
9	6	7	-	110	0,00	0,00	0,00
11	10	9	-	110	4,00	0,42	23,63

C.2.3. Escenario Futuro

Tabla C.13: Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario futuro del APR Nuevo Futuro, considerando uso de grifo en el nodo 107.

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
4	318	0,00	43,31	68,37
7	313	0,00	38,36	73,37
9	317	0,03	26,24	43
10	317	0,00	26,24	69,37
11	344	0,00	27,79	42,37
13	321	0,13	21,00	65,37
15	333	0,17	7,87	53,37
17	340	0,00	0,86	46,37
18	340	0,07	0,86	46,37
19	355	0,03	-14,16	31,37
20	352	0,06	-11,16	34,37
21	355	0,04	-14,16	31,37
23	347	0,03	-6,15	39,37
25	378	0,03	-37,15	8,37
26	372	0,00	-31,15	14,37
27	357	0,00	-16,15	29,37
28	357	0,00	-16,15	29,37
29	356	0,03	-15,15	30,37
30	358	0,04	-17,15	28,37
31	371	0,11	-30,16	15,37
32	382	0,01	-41,16	4,37
33	335	0,03	5,87	51,37
34	321	0,11	20,99	65,37
35	324	0,01	17,98	62,37
36	321	0,09	20,97	65,37
37	355	0,07	-13,06	31,37
38	356	0,00	-14,06	30,37
39	356	0,01	-14,06	30,37
40	362	0,01	-20,06	24,37

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
42	360	0,01	-18,06	26,37
43	341	0,03	0,94	45,37
44	313	0,09	27,10	47
46	313	0,00	26,73	47
47	313	0,00	26,73	47
48	313	0,00	26,71	47
50	315	0,01	23,90	45
51	313	0,03	25,38	47
52	314	0,01	21,15	46
53	315	0,00	18,45	45
54	315	0,07	18,46	45
56	315	0,03	22,51	45
57	324	0,07	9,42	36
58	330	0,04	3,42	30
59	325	0,04	8,43	35
60	315	0,03	21,92	45
61	316	0,00	18,49	44
62	316	0,04	19,87	44
63	317	0,07	17,95	43
65	317	0,00	18,37	43
66	318	0,00	17,36	42
67	317	0,09	18,03	43
68	318	0,00	17,03	42
69	317	0,13	17,96	43
70	316	0,01	18,94	44
71	316	0,03	18,94	44
73	336	0,00	-1,07	24
75	338	0,01	-3,07	22
76	347	0,03	-12,07	13
77	302	0,04	32,95	58
78	304	0,01	30,95	56
79	298	0,03	36,95	62
81	309	0,11	19,38	51
82	307	0,04	21,38	53
83	296	0,06	22,23	64
84	296	0,03	18,68	64
85	299	0,07	0,97	61
86	294	0,13	0,49	66
87	300	0,07	20,91	60
88	303	0,09	22,97	57

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
89	305	0,01	20,97	55
90	300	0,13	25,96	60
91	313	0,01	19,86	47
92	313	0,00	26,76	47
94	300	0,01	20,79	60
95	301	0,03	19,79	59
96	302	0,07	18,78	58
97	304	0,04	16,78	56
98	299	0,06	21,75	61
99	301	0,06	19,75	59
100	299	0,10	21,74	61
101	296	0,09	24,73	64
102	301	0,04	19,74	59
103	293	0,06	-82,31	67
105	291	0,00	-95,44	69
107	293	16,03	-122,43	67
110	296	0,07	-55,85	64
111	298	0,06	-57,85	62
112	295	0,01	-77,06	65
113	315	0,04	-27,00	45
115	314	0,11	2,07	46
116	313	0,01	38,36	47
117	300	0,16	16,00	60
118	302	0,06	14,00	58
119	314	0,03	-26,15	46
120	300	0,01	-12,15	60
121	307	0,03	-19,15	53
122	306	0,00	-18,15	54
123	308	0,06	-20,15	52
124	310	0,00	-22,15	50
125	311	0,06	-23,15	49
126	351	0,01	-10,15	35,37
127	383	0,01	-42,15	3,37
130	364	0,00	12,38	22,37
131	313	0,07	24,86	47
132	353	0,01	-17,97	7
133	305	0,14	26,70	55
134	316	0,06	-28,07	44
135	347	0,06	-12,07	13
200	326	0,00	14,94	60,37

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
201	326	0,00	14,93	60,37
202	328	0,18	12,89	58,37
203	329	0,36	11,85	57,37
204	327	0,36	13,86	59,37
205	325	0,18	15,94	61,37
208	324	0,18	16,88	62,37
209	323	0,09	18,06	63,37
211	330	0,09	10,89	56,37
212	331	0,18	9,84	55,37
217	324	0,18	16,81	62,37
220	329	0,36	11,81	57,37
221	327	0,36	13,81	59,37
224	331	0,23	9,81	55,37
229	324	0,18	16,78	62,37
232	328	0,36	12,78	58,37
233	326	0,36	14,78	60,37
236	332	0,18	8,78	54,37
241	323	0,18	17,76	63,37
244	329	0,36	11,76	57,37
245	325	0,36	15,76	61,37
248	334	0,18	6,76	52,37
253	327	0,17	13,75	59,37
256	332	0,34	8,75	54,37
257	329	0,34	11,75	57,37
260	337	0,17	3,75	49,37
265	333	0,08	7,75	53,37
268	337	0,16	3,75	49,37
269	336	0,16	4,75	50,37
272	343	0,08	-2,25	43,37
275	331	0,05	9,83	55,37
276	334	0,04	6,82	52,37
277	334	0,04	6,82	52,37
279	323	0,00	18,11	63,37
280	330	0,00	10,89	56,37
1	382	-27,08	4,37	4,37
2	369	0,00	6,88	6,88
136	368	0,01	2,30	2,3
137	368	61,69	2,30	2,3
138	369	-61,70	2,30	2,3

Tabla C.14: Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario futuro del APR Nuevo Futuro, considerando uso de grifo en el nodo 107.

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
1	1	130	96,66	110	27,08	2,85	103,30
2	136	2	12,46	110	0,00	0,00	0,00
3	138	137	3,74	110	61,70	6,49	267,25
4	137	136	2,83	110	0,01	0,00	0,00
5	2	130	20,65	110	0,00	0,00	0,00
6	130	11	78,97	110	27,08	2,85	58,16
7	11	4	148,17	110	27,08	2,85	70,69
8	4	6	140,77	110	27,08	2,85	70,69
9	6	7	205,92	110	19,76	2,08	39,44
11	10	9	178,25	110	7,75	0,82	6,97
12	10	13	98,64	75	0,35	0,08	0,15
13	13	34	125,20	63	0,01	0,00	0,00
14	34	35	282,31	75	0,23	0,05	0,06
15	34	36	890,18	75	0,14	0,03	0,03
16	36	37	10,23	75	0,07	0,02	0,01
17	37	38	73,14	63	0,07	0,02	0,02
18	38	39	114,08	63	0,01	0,00	0,00
19	39	40	302,62	63	0,04	0,01	0,01
20	39	42	292,34	63	0,03	0,01	0,00
22	15	33	241,47	63	0,03	0,01	0,00
23	15	18	399,87	110	0,48	0,05	0,04
24	18	20	305,72	63	0,13	0,04	0,05
25	20	19	265,91	63	0,03	0,01	0,00
26	20	21	141,11	63	0,04	0,01	0,01
27	18	17	17,82	110	0,28	0,03	0,01
28	17	23	346,89	110	0,28	0,03	0,02
29	23	126	143,50	63	0,01	0,00	0,00
30	23	29	300,00	110	0,24	0,03	0,01
31	29	28	147,78	75	0,04	0,01	0,00
32	28	27	14,75	75	0,04	0,01	0,00
33	27	26	207,09	63	0,04	0,01	0,01
34	26	25	79,93	63	0,03	0,01	0,00
35	26	127	103,24	63	0,01	0,00	0,00
36	29	30	73,89	110	0,17	0,02	0,01
37	30	31	516,38	75	0,13	0,03	0,02
38	31	32	414,71	75	0,01	0,00	0,00
39	9	44	200,90	110	11,98	1,26	15,62
40	44	46	8,84	75	7,47	1,69	42,04

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
41	46	48	4,27	75	2,31	0,52	4,78
42	48	131	387,45	75	2,31	0,52	4,78
43	131	52	257,39	63	2,24	0,72	10,54
44	52	53	163,38	63	2,22	0,71	10,42
45	53	54	8,90	63	-0,64	0,21	1,05
46	54	59	305,97	63	0,16	0,05	0,08
47	59	57	290,03	63	0,11	0,04	0,04
48	57	58	220,13	63	0,04	0,01	0,01
49	54	61	563,70	63	-0,87	0,28	1,84
50	61	63	248,38	63	-0,87	0,28	1,84
51	63	66	10,53	63	-4,57	1,46	39,51
52	66	67	610,25	63	0,45	0,15	0,55
53	67	68	18,30	63	0,01	0,00	0,00
54	68	132	346,13	63	0,01	0,00	0,00
55	67	69	203,98	63	0,35	0,11	0,35
56	69	77	327,05	63	0,09	0,03	0,02
57	77	78	107,53	63	0,01	0,00	0,00
58	77	79	201,46	63	0,03	0,01	0,00
59	69	71	324,73	63	0,14	0,05	0,06
60	71	70	10,11	63	0,01	0,00	0,00
61	71	73	222,57	63	0,10	0,03	0,03
62	73	75	39,03	63	0,10	0,03	0,03
63	75	76	96,25	63	0,03	0,01	0,00
64	46	47	2,53	110	5,16	0,54	2,71
65	47	50	307,20	110	5,16	0,54	2,70
66	50	51	191,68	110	5,15	0,54	2,69
67	51	56	328,77	110	5,12	0,54	2,66
68	56	60	224,31	110	5,09	0,54	2,63
69	60	62	400,69	110	5,06	0,53	2,60
70	62	65	195,97	110	5,02	0,53	2,56
71	65	66	2,18	110	5,02	0,53	2,56
72	44	92	21,24	75	4,43	1,00	15,97
73	92	133	504,94	75	4,43	1,00	15,97
74	133	87	306,86	63	4,29	1,38	35,15
75	87	88	356,16	63	-2,63	0,84	14,19
76	88	91	416,73	63	-2,85	0,92	16,54
77	91	53	35,33	63	-2,87	0,92	16,69
78	88	89	161,96	63	0,01	0,00	0,00
79	88	90	179,59	63	0,13	0,04	0,05
80	87	94	191,54	63	0,50	0,16	0,65

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
81	94	95	60,21	63	0,14	0,05	0,06
82	95	96	54,06	63	0,11	0,04	0,04
83	96	97	92,44	63	0,04	0,01	0,01
84	94	99	112,53	63	0,34	0,11	0,32
85	99	98	157,40	63	0,06	0,02	0,01
86	99	100	87,66	63	0,23	0,07	0,15
87	100	101	198,48	63	0,09	0,03	0,02
88	100	102	148,36	63	0,04	0,01	0,01
89	87	86	363,46	63	6,35	2,04	72,70
90	86	85	251,20	63	-3,31	1,06	21,80
91	85	84	648,96	63	-3,38	1,09	22,67
92	84	83	154,37	63	-3,41	1,09	23,03
93	83	81	427,50	63	-3,47	1,11	23,74
94	81	82	164,12	63	0,04	0,01	0,01
95	81	63	254,93	63	-3,62	1,16	25,75
96	86	103	542,76	63	9,53	3,06	154,39
97	103	105	99,06	63	9,48	3,04	152,70
98	105	107	61,84	63	16,03	5,14	404,21
99	105	112	290,11	63	-6,55	2,10	77,12
100	112	111	286,94	63	-6,57	2,11	77,43
101	111	110	240,46	63	0,07	0,02	0,02
102	111	113	596,34	63	-6,70	2,15	80,23
103	113	134	387,39	63	0,24	0,08	0,17
104	134	125	1878,96	75	0,18	0,04	0,04
105	125	124	40,90	75	0,13	0,03	0,02
106	124	123	124,91	75	0,13	0,03	0,02
107	123	119	403,27	75	0,03	0,01	0,00
108	123	122	232,01	75	0,04	0,01	0,00
109	122	121	176,54	75	0,03	0,01	0,00
110	122	120	287,60	75	0,01	0,00	0,00
111	113	115	324,03	63	-6,98	2,24	86,64
112	115	117	535,90	63	0,21	0,07	0,13
113	117	118	125,33	63	0,06	0,02	0,01
114	115	116	374,31	63	-7,30	2,34	94,28
116	75	135	102,13	63	0,06	0,02	0,01
117	13	279	144,16	110	7,27	0,76	6,19
118	279	200	160,75	110	2,79	0,29	1,05
119	200	280	155,76	110	1,49	0,16	0,33
121	200	201	10,20	90	1,30	0,20	0,50
122	201	202	51,70	90	1,70	0,27	0,81

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
123	202	203	118,85	90	1,11	0,18	0,37
124	203	204	102,64	90	-0,68	0,11	0,15
125	204	205	118,87	90	-1,46	0,23	0,62
126	205	201	50,97	90	0,39	0,06	0,05
127	205	209	108,54	90	-2,04	0,32	1,14
128	204	208	109,81	90	-0,76	0,12	0,18
129	208	209	119,57	90	-2,35	0,37	1,48
130	279	209	9,49	90	4,48	0,70	4,91
131	280	15	192,85	110	0,68	0,07	0,08
132	280	211	9,22	90	0,80	0,13	0,20
133	202	211	104,31	90	0,40	0,06	0,06
134	211	212	121,28	90	1,11	0,17	0,37
135	212	203	101,66	90	-0,44	0,07	0,07
136	208	217	125,17	90	1,41	0,22	0,57
137	217	221	110,15	90	0,26	0,04	0,03
138	221	204	131,47	90	-1,18	0,19	0,41
139	221	220	99,48	90	0,15	0,02	0,01
140	220	203	131,80	90	-1,00	0,16	0,30
141	220	224	103,60	90	-0,11	0,02	0,01
142	224	275	111,61	90	-0,82	0,13	0,21
143	275	212	16,49	90	-1,37	0,21	0,54
144	275	276	108,89	90	0,49	0,08	0,08
145	276	277	113,03	90	0,46	0,07	0,07
146	277	224	110,35	90	0,42	0,07	0,06
147	217	229	125,17	90	0,96	0,15	0,28
148	229	233	108,70	90	0,13	0,02	0,01
149	233	221	126,91	90	-0,92	0,15	0,26
150	233	232	101,66	90	0,04	0,01	0,00
151	232	220	130,50	90	-0,90	0,14	0,25
152	232	236	104,12	90	-0,07	0,01	0,00
153	236	224	132,68	90	-0,89	0,14	0,25
154	229	241	128,10	90	0,65	0,10	0,14
155	241	245	108,93	90	0,10	0,02	0,00
156	245	233	127,13	90	-0,65	0,10	0,14
157	245	244	100,30	90	0,01	0,00	0,00
158	244	232	128,86	90	-0,64	0,10	0,13
159	244	248	106,63	90	-0,08	0,01	0,00
160	248	236	131,48	90	-0,63	0,10	0,13
161	241	253	130,33	90	0,37	0,06	0,05
162	253	257	108,19	90	0,08	0,01	0,00

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]
163	257	245	129,14	90	-0,37	0,06	0,05
164	257	256	100,48	90	0,00	0,00	0,00
165	256	244	128,13	90	-0,37	0,06	0,05
166	256	260	106,63	90	-0,08	0,01	0,00
167	260	248	128,13	90	-0,37	0,06	0,05
168	253	265	108,85	90	0,13	0,02	0,01
169	265	269	109,18	90	0,05	0,01	0,00
170	269	257	109,13	90	-0,11	0,02	0,01
171	269	268	99,47	90	0,00	0,00	0,00
172	268	256	108,80	90	-0,11	0,02	0,01
173	268	272	106,90	90	-0,05	0,01	0,00
174	272	260	107,87	90	-0,13	0,02	0,01
10	6	10	-	110	12,01	1,26	0,00
115	7	116	-	63	7,32	2,35	0,00

Anexo D. Detalles de modelos de redes de distribución con soluciones implementadas

D.1. Camarico Chico

D.1.1. Ampliación y escenario base

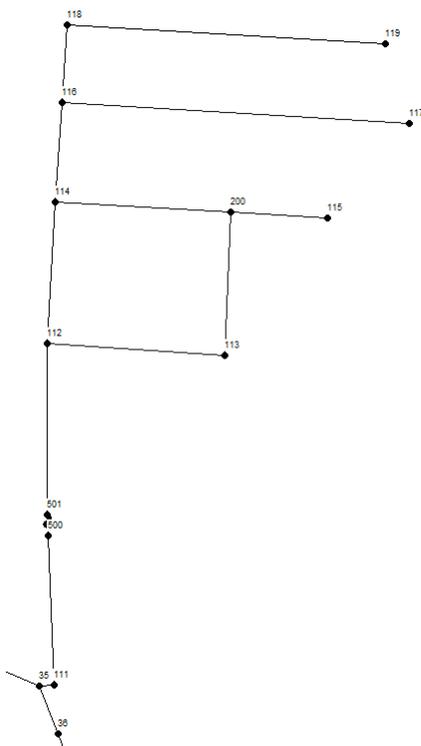


Figura D.1: Detalle de ID de nodos del escenario base del APR Camarico Chico con soluciones implementadas, sector de ampliación 2.

D.1.2. Escenario futuro

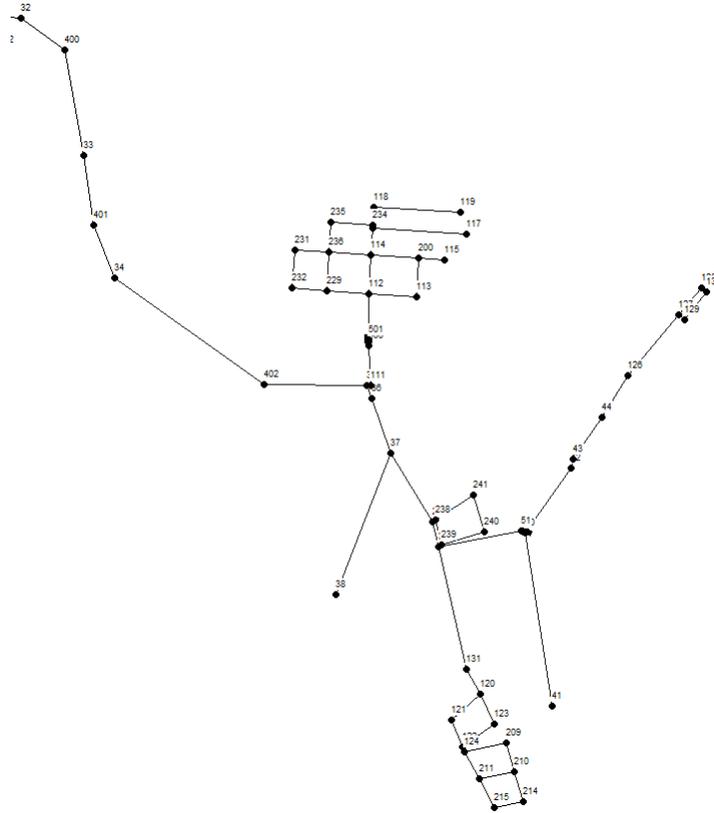


Figura D.2: Detalle de ID de nodos del escenario futuro del APR Camarico Chico con soluciones implementadas, sector Camarico Viejo (b).

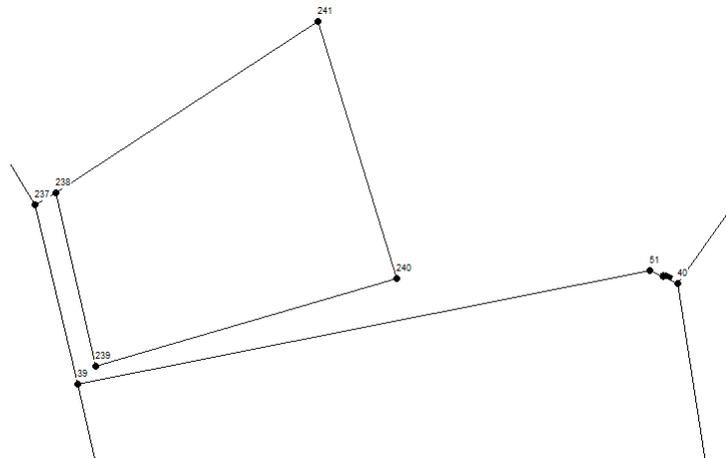


Figura D.3: Detalle de ID de nodos del escenario futuro del APR Camarico Chico con soluciones implementadas, sector de bajas presiones en Camarico Viejo (b).

D.2. APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto

D.2.1. Escenario Actual

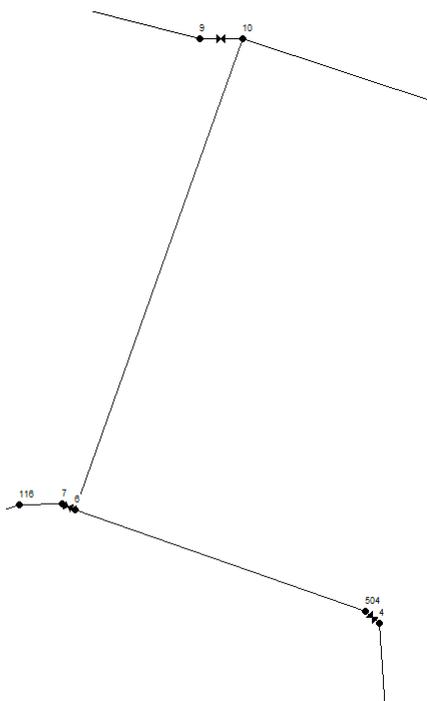


Figura D.4: Detalle de ID de nodos del escenario actual del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, bajada de estanque.

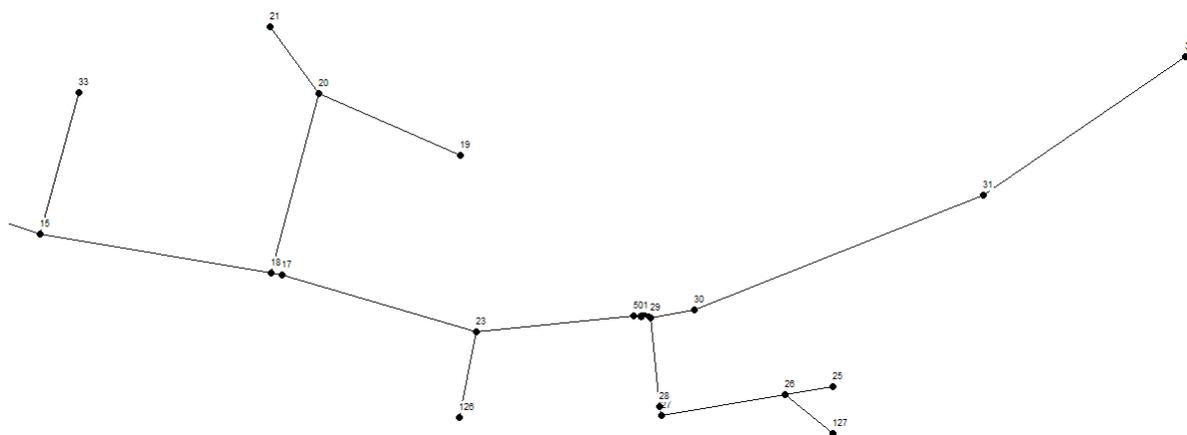


Figura D.5: Detalle de ID de nodos del escenario actual del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, sector este.

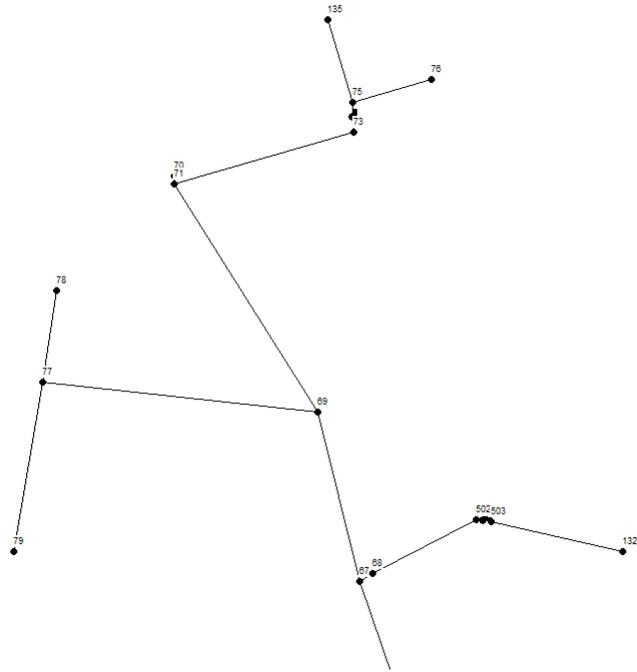


Figura D.6: Detalle de ID de nodos del escenario actual del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, sector norte.

D.2.2. Escenario Futuro

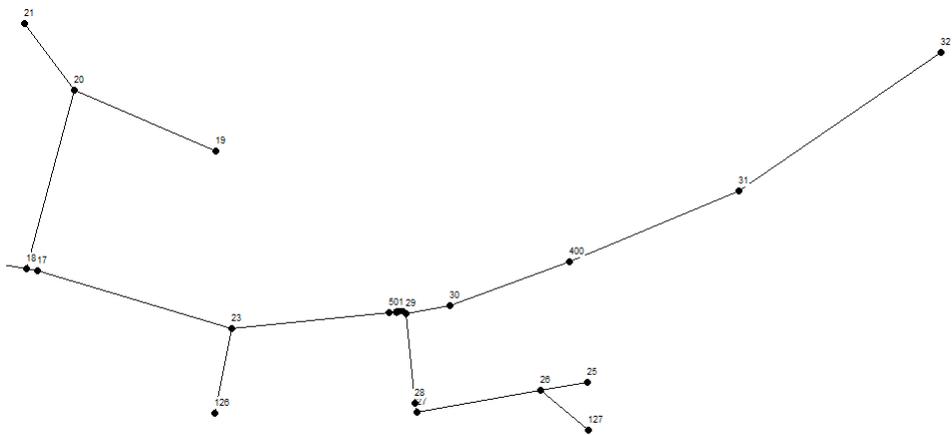


Figura D.7: Detalle de ID de nodos del escenario futuro del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, sector este.

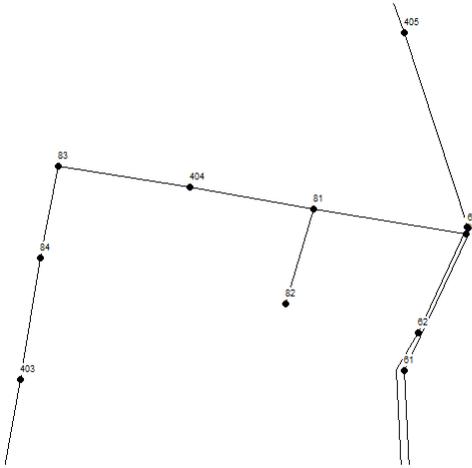


Figura D.8: Detalle de ID de nodos del escenario futuro del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, sectores norte y oeste (b).

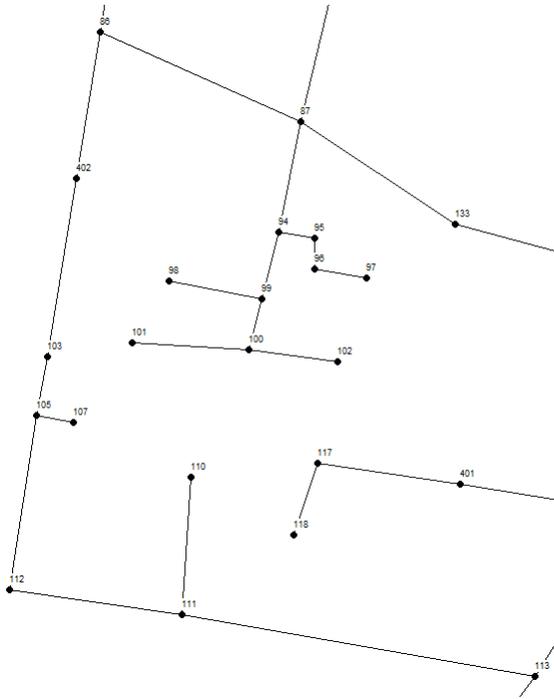


Figura D.9: Detalle de ID de nodos del escenario futuro del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, sector oeste (a).

Anexo E. Detalles de soluciones propuestas

E.1. APR Camarico Chico

E.1.1. Escenario Futuro

Tabla E.1: Tuberías reemplazadas en el escenario futuro del APR Camarico Chico con soluciones implementadas.

ID Tub.	Largo [m]	D [mm]	Material	ID Tub.	Largo [m]	D [mm]	Material
1	6,62	160	HDPE	128	16,79	110	HDPE
2	56,53	160	HDPE	129	129,24	90	HDPE
3	9,32	160	HDPE	130	158,27	90	HDPE
4	168,92	160	HDPE	131	87,17	90	HDPE
5	78,38	160	HDPE	132	10,10	110	HDPE
6	199,53	63	PVC	133	139,44	90	HDPE
7	24,17	160	HDPE	134	100,32	90	HDPE
8	250,72	110	HDPE	135	139,45	90	HDPE
9	14,03	160	HDPE	136	269,78	140	HDPE
10	12,25	160	HDPE	137	87,80	140	HDPE
11	19,04	63	PVC	138	11,66	90	HDPE
12	206,13	63	PVC	139	85,15	90	HDPE
13	33,25	160	HDPE	140	150,08	75	HDPE
14	25,85	63	PVC	141	128,83	75	HDPE
15	109,64	63	PVC	142	149,50	90	HDPE
16	24,07	110	HDPE	143	190,35	110	HDPE
18	116,74	160	HDPE	144	42,78	110	HDPE
19	52,79	160	HDPE	145	30,95	110	HDPE
20	13,82	160	HDPE	146	116,82	90	HDPE
21	101,35	160	HDPE	147	100,37	90	HDPE
22	7,97	160	HDPE	148	116,06	90	HDPE
23	284,31	160	HDPE	149	100,81	90	HDPE
24	17,31	110	HDPE	150	116,33	90	HDPE
25	172,07	110	HDPE	151	101,26	90	HDPE
26	226,62	110	HDPE	152	151,11	90	HDPE
27	162,24	110	HDPE	153	51,62	160	HDPE
28	8,48	160	HDPE	154	160,07	160	HDPE
29	309,84	160	HDPE	155	7,87	90	HDPE
30	130,19	160	HDPE	156	100,56	90	HDPE
34	46,69	140	HDPE	157	127,29	90	HDPE
35	199,72	140	HDPE	158	100,17	90	HDPE
36	547,42	110	HDPE	159	119,64	90	HDPE
39	268,87	110	HDPE	160	147,59	90	HDPE

ID Tub.	Largo [m]	D [mm]	Material	ID Tub.	Largo [m]	D [mm]	Material
40	31,33	110	HDPE	161	101,72	90	HDPE
41	173,80	110	HDPE	162	128,51	90	HDPE
43	7,49	110	HDPE	163	83,28	90	HDPE
44	120,21	110	HDPE	164	96,62	90	HDPE
45	9,83	63	PVC	165	100,20	90	HDPE
46	151,44	110	HDPE	166	100,20	90	HDPE
47	241,67	110	HDPE	167	78,03	90	HDPE
48	44,56	110	HDPE	168	57,80	90	HDPE
100	23,42	75	HDPE	169	108,72	90	HDPE
101	6,71	75	HDPE	170	111,22	90	HDPE
102	106,05	75	HDPE	171	81,61	90	HDPE
103	73,49	75	HDPE	172	142,12	90	HDPE
104	103,32	75	HDPE	173	100,28	90	HDPE
105	72,70	75	HDPE	174	121,70	90	HDPE
106	13,13	125	HDPE	175	104,24	110	HDPE
107	41,21	125	HDPE	176	104,81	90	HDPE
109	154,83	125	HDPE	177	95,84	90	HDPE
111	159,41	90	HDPE	178	107,91	90	HDPE
112	127,26	110	HDPE	179	140,37	90	HDPE
113	90,22	110	HDPE	180	128,25	90	HDPE
114	312,62	90	HDPE	181	116,39	90	HDPE
116	286,57	110	HDPE	182	127,40	90	HDPE
117	162,57	110	HDPE	183	114,30	90	HDPE
118	264,05	110	HDPE	184	189,15	160	HDPE
119	115,76	90	HDPE	185	364,29	160	HDPE
120	23,94	90	HDPE	186	242,33	160	HDPE
121	115,92	90	HDPE	187	216,80	160	HDPE
122	445,68	140	HDPE	188	785,85	160	HDPE
123	96,29	140	HDPE	189	368,48	160	HDPE
124	126,91	125	HDPE	17	60,17	110	HDPE
125	96,95	110	HDPE	38	285,13	125	HDPE
126	130,35	110	HDPE	31	587,39	110	HDPE
127	107,36	125	HDPE				

E.2. APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto

E.2.1. Escenario Futuro

Tabla E.2: Tuberías reemplazadas en el escenario futuro del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.

ID Tub.	Largo [m]	D [mm]	Material	ID Tub.	Largo [m]	D [mm]	Material
1	96,66	160	HDPE	104	1878,96	125	HDPE
2	12,46	110	HDPE	105	40,90	125	HDPE
3	3,74	110	HDPE	106	124,91	125	HDPE
4	2,83	110	HDPE	107	403,27	75	PVC
5	20,65	110	HDPE	108	232,01	125	HDPE
6	78,97	160	HDPE	109	176,54	125	HDPE
7	148,17	160	HDPE	110	287,60	75	PVC
10	206,29	160	HDPE	111	324,03	110	HDPE
12	178,25	160	HDPE	113	125,33	110	HDPE
13	98,64	140	HDPE	114	374,31	110	HDPE
14	125,20	63	PVC	115	17,72	90	HDPE
15	282,31	140	HDPE	116	102,13	63	PVC
16	890,18	140	HDPE	117	144,16	160	HDPE
17	10,23	140	HDPE	118	160,75	140	HDPE
18	73,14	140	HDPE	119	155,76	140	HDPE
19	114,08	63	HDPE	120	9,49	90	HDPE
20	302,62	140	HDPE	121	10,20	90	HDPE
21	292,34	125	HDPE	122	51,70	90	HDPE
22	241,47	90	HDPE	123	118,85	90	HDPE
23	399,87	140	HDPE	124	102,64	90	HDPE
24	305,72	110	HDPE	125	118,87	90	HDPE
25	265,91	110	HDPE	126	50,97	90	HDPE
26	141,11	110	HDPE	127	108,54	90	HDPE
27	17,82	140	HDPE	128	109,81	90	HDPE
28	346,89	140	HDPE	129	119,57	90	HDPE
29	143,50	63	PVC	131	192,85	140	HDPE
31	147,78	110	HDPE	132	9,22	90	HDPE
32	14,75	110	HDPE	133	104,31	90	HDPE
33	207,09	110	HDPE	134	121,28	90	HDPE
34	79,93	63	HDPE	135	101,66	90	HDPE
35	103,24	63	HDPE	136	125,17	90	HDPE
36	73,89	125	HDPE	137	110,15	90	HDPE
38	414,71	125	HDPE	138	131,47	90	HDPE
39	200,90	140	HDPE	139	99,48	90	HDPE
40	8,84	140	HDPE	140	131,80	90	HDPE

ID Tub.	Largo [m]	D [mm]	Material	ID Tub.	Largo [m]	D [mm]	Material
41	4,27	110	HDPE	141	103,60	90	HDPE
42	387,45	110	HDPE	142	111,61	90	HDPE
43	257,39	110	HDPE	143	16,49	90	HDPE
44	163,38	110	HDPE	144	108,89	90	HDPE
45	8,90	110	HDPE	145	113,03	90	HDPE
46	305,97	125	HDPE	146	110,35	90	HDPE
47	290,03	125	HDPE	147	125,17	90	HDPE
48	220,13	125	HDPE	148	108,70	90	HDPE
49	563,70	110	HDPE	149	126,91	90	HDPE
50	248,38	110	HDPE	150	101,66	90	HDPE
51	10,53	90	HDPE	151	130,50	90	HDPE
53	18,30	63	HDPE	152	104,12	90	HDPE
55	203,98	160	HDPE	153	132,68	90	HDPE
56	327,05	110	HDPE	154	128,10	90	HDPE
57	107,53	110	HDPE	155	108,93	90	HDPE
58	201,46	110	HDPE	156	127,13	90	HDPE
59	324,73	140	HDPE	157	100,30	90	HDPE
60	10,11	63	PVC	158	128,86	90	HDPE
61	222,57	140	HDPE	159	106,63	90	HDPE
63	96,25	63	PVC	160	131,48	90	HDPE
64	2,53	110	HDPE	161	130,33	90	HDPE
65	307,20	110	HDPE	162	108,19	90	HDPE
66	191,68	110	HDPE	163	129,14	90	HDPE
67	328,77	110	HDPE	164	100,48	90	HDPE
68	224,31	110	HDPE	165	128,13	90	HDPE
69	400,69	110	HDPE	166	106,63	90	HDPE
70	195,97	110	HDPE	167	128,13	90	HDPE
71	2,18	110	HDPE	168	108,85	90	HDPE
72	21,24	90	HDPE	169	109,18	90	HDPE
73	504,94	90	HDPE	170	109,13	90	HDPE
74	306,86	90	HDPE	171	99,47	90	HDPE
75	356,16	90	HDPE	172	108,80	90	HDPE
76	416,73	90	HDPE	173	106,90	90	HDPE
77	35,33	90	HDPE	174	107,87	90	HDPE
78	161,96	110	HDPE	500	136,35	63	HDPE
79	179,59	90	HDPE	502	159,32	63	HDPE
80	191,54	110	HDPE	503	270,75	140	HDPE
81	60,21	110	HDPE	400	211,31	125	HDPE
82	54,06	63	PVC	401	307,00	125	HDPE
83	92,44	63	PVC	402	298,22	110	HDPE
84	112,53	110	HDPE	403	237,70	110	HDPE

ID Tub.	Largo [m]	D [mm]	Material	ID Tub.	Largo [m]	D [mm]	Material
85	157,40	110	HDPE	404	298,34	90	HDPE
86	87,66	110	HDPE	405	244,45	90	HDPE
87	198,48	63	PVC	406	445,80	90	HDPE
88	148,36	110	HDPE	407	357,50	90	HDPE
89	363,46	90	HDPE	408	220,76	90	HDPE
90	251,20	90	HDPE	409	206,78	90	HDPE
92	154,37	90	HDPE	410	347,00	160	HDPE
94	164,12	90	HDPE	411	255,73	160	HDPE
95	254,93	90	HDPE	30	126,92	160	HDPE
97	99,06	90	HDPE	62	-	-	-
98	61,84	110	HDPE	501	-	-	-
99	290,11	90	HDPE	504	-	-	-
100	286,94	90	HDPE	9	-	110	-
101	240,46	110	HDPE	11	-	110	-
102	596,34	90	HDPE	8	-	160	-
103	387,39	140	HDPE				

Anexo F. Resultados de simulaciones en *EPANET* con soluciones implementadas

F.1. APR Camarico Chico

F.1.1. Ampliación

Tabla F.1: Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario de ampliación del APR Camarico Chico con soluciones implementadas.

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
2	173	0,00	27,85	27,85
3	169	0,00	31,80	31,85
5	156	0,04	44,65	44,85
6	155	0,10	45,59	45,85
7	145	0,06	55,59	55,85
8	153	0,08	47,47	47,85
9	152	0,00	48,44	48,85
10	151	0,00	49,41	49,85
11	151	0,09	49,41	49,85
12	149	0,00	51,34	51,85

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
13	149	0,06	51,34	51,85
14	144	0,09	56,40	56,85
15	146	0,05	54,34	54,85
16	143	0,05	57,33	57,85
17	143	0,05	57,32	57,85
18	142	0,03	58,32	58,85
45	142	0,17	58,27	58,85
46	143	0,00	57,27	57,85
47	141	0,15	59,24	59,85
48	142	0,15	58,18	58,85
49	142	0,06	58,18	58,85
50	148	0,07	52,18	52,85
19	136	0,00	63,98	64,85
20	132	0,00	67,77	68,85
21	132	0,00	67,51	68,85
22	132	0,00	67,44	68,85
23	133	0,03	65,94	67,85
24	134	0,02	64,91	66,85
25	151	0,00	46,59	49,85
26	151	0,05	46,56	49,85
27	151	0,05	46,59	49,85
28	151	0,10	46,57	49,85
29	148	0,05	49,57	52,85
30	147	0,00	50,57	53,85
31	152	0,06	44,55	48,85
32	157	0,03	39,17	43,85
33	154	0,08	40,63	46,85
34	158	0,07	35,52	42,85
35	151	0,13	40,07	49,85
36	149	0,00	42,03	51,85
37	146	0,03	44,86	54,85
38	156	0,05	34,86	44,85
39	148	0,00	42,63	52,85
40	162	0,00	28,58	38,85
41	172	0,03	18,58	28,85
42	161	0,01	29,55	39,85
43	160	0,00	30,54	40,85
44	165	0,01	25,52	35,85
100	158	0,00	42,65	42,85
101	158	0,08	42,65	42,85

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
102	161	0,05	39,65	39,85
103	155	0,02	45,65	45,85
104	156	0,06	44,65	44,85
111	151	0,00	40,07	49,85
112	182	0,02	39,67	50,85
113	179	0,01	42,67	53,85
114	186	0,02	35,66	46,85
115	182	0,05	39,66	50,85
116	188	0,02	33,66	44,85
117	183	0,03	38,66	49,85
118	191	0,02	30,66	41,85
119	185	0,05	36,66	47,85
200	184	0,00	37,67	48,85
126	163	0,02	27,52	37,85
127	159	0,05	31,51	41,85
128	157	0,03	33,51	43,85
129	163	0,05	27,51	37,85
130	160	0,03	30,51	40,85
120	154	0,05	36,60	46,85
121	159	0,05	31,60	41,85
122	161	0,05	29,60	39,85
123	155	0,05	35,60	45,85
124	162	0,03	28,60	38,85
131	154	0,05	36,60	46,85
500	164	0,00	27,07	36,85
501	166	0,00	55,67	66,85
1	198	-3,00	2,85	2,85
4	170	0,00	1,96	1,96

Tabla F.2: Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario de ampliación del APR Camarico Chico.

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
1	1	2	6,62	110	3,00	0,32	0,88	9,27
2	2	3	56,53	110	3,00	0,32	0,88	9,27
3	3	4	9,32	75	0,00	0,00	0,00	0,00
4	3	5	168,92	110	3,00	0,32	0,88	9,27
5	5	6	78,38	110	2,75	0,29	0,75	8,40
6	6	7	199,53	63	0,06	0,02	0,01	0,77

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
7	6	8	24,17	75	2,59	0,59	4,85	17,09
8	8	16	250,72	75	0,73	0,17	0,57	6,56
9	8	9	14,03	75	1,78	0,40	2,42	11,59
10	9	10	12,25	75	1,78	0,40	2,43	11,59
11	10	11	19,04	63	0,18	0,06	0,10	2,32
12	11	14	206,13	63	0,09	0,03	0,03	1,16
13	10	12	33,25	75	1,60	0,36	1,99	10,43
14	12	13	25,85	63	0,11	0,04	0,04	1,54
15	13	15	109,64	63	0,05	0,02	0,01	0,77
16	16	17	24,07	75	0,68	0,15	0,50	5,79
17	12	19	211,68	75	1,49	0,34	1,74	9,85
18	19	20	116,74	75	1,49	0,34	1,74	9,85
19	20	21	52,79	63	1,49	0,48	4,94	18,53
20	21	22	13,82	63	1,49	0,48	4,94	18,53
21	22	23	101,35	63	1,49	0,48	4,94	18,53
22	23	24	7,97	63	1,46	0,47	4,76	18,15
23	24	25	284,31	63	1,44	0,46	4,63	17,76
24	25	27	17,31	63	0,20	0,06	0,12	2,32
25	27	28	172,07	63	0,15	0,05	0,07	1,93
26	28	29	226,62	63	0,05	0,02	0,01	0,77
27	29	30	162,24	63	0,00	0,00	0,00	0,00
28	25	26	8,48	63	1,23	0,40	3,50	15,44
29	26	31	309,84	63	1,18	0,38	3,24	14,67
30	31	32	130,19	63	1,12	0,36	2,94	13,90
31	32	33	551,51	63	1,09	0,35	2,79	13,51
32	33	34	460,84	63	1,01	0,32	2,42	12,35
33	34	35	1152,58	63	0,94	0,30	2,12	11,58
34	35	36	46,69	63	0,58	0,19	0,86	7,34
35	36	37	199,72	63	0,58	0,19	0,86	7,34
36	37	38	547,42	63	0,05	0,02	0,01	0,77
37	37	39	357,58	63	0,50	0,16	0,65	6,18
38	39	40	300,00	63	0,24	0,08	0,16	3,09
39	40	42	268,87	63	0,20	0,07	0,13	2,70
40	42	43	31,33	63	0,19	0,06	0,11	2,32
41	43	44	173,80	63	0,19	0,06	0,11	2,32
42	40	41	587,39	75	0,03	0,01	0,00	0,39
43	17	18	7,49	75	0,63	0,14	0,44	5,41
44	18	45	120,21	75	0,60	0,14	0,39	5,41
45	45	46	9,83	63	0,00	0,00	0,00	0,00
46	45	47	151,44	75	0,43	0,10	0,21	3,86

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
47	47	48	241,67	63	0,28	0,09	0,22	3,47
48	48	49	44,56	63	0,13	0,04	0,05	1,54
49	49	50	233,52	63	0,07	0,02	0,02	0,77
100	5	100	23,42	75	0,21	0,05	0,04	1,45
101	100	101	6,71	75	0,21	0,05	0,04	1,45
102	101	102	106,05	75	0,06	0,01	0,00	0,29
103	102	103	73,49	75	0,01	0,00	0,00	0,00
104	103	104	103,32	75	-0,01	0,00	0,00	0,00
105	104	101	72,70	75	-0,07	0,02	0,01	0,58
106	35	111	13,13	75	0,23	0,05	0,05	1,45
107	111	500	135,72	75	0,23	0,05	0,05	1,45
109	501	112	154,83	75	0,23	0,05	0,05	1,45
110	112	113	159,41	75	0,08	0,02	0,01	0,58
111	112	114	127,26	75	0,13	0,03	0,02	0,87
112	114	200	158,27	75	-0,02	0,01	0,00	0,29
113	114	116	90,22	75	0,13	0,03	0,02	0,87
114	116	117	312,62	75	0,03	0,01	0,00	0,29
115	116	118	70,24	75	0,07	0,02	0,01	0,58
116	118	119	286,57	75	0,05	0,01	0,00	0,29
117	44	126	162,57	75	0,18	0,04	0,03	1,16
118	126	127	264,05	75	0,16	0,04	0,03	1,16
119	127	128	115,76	75	0,03	0,01	0,00	0,29
120	127	129	23,94	75	0,08	0,02	0,01	0,58
121	129	130	115,92	75	0,03	0,01	0,00	0,29
122	39	131	445,68	75	0,26	0,06	0,06	1,74
123	131	120	96,29	75	0,21	0,05	0,04	1,45
124	120	121	126,91	75	0,08	0,02	0,01	0,58
125	121	122	96,95	75	0,03	0,01	0,00	0,29
126	122	123	130,35	75	-0,04	0,01	0,00	0,29
127	123	120	107,36	75	-0,08	0,02	0,01	0,58
128	122	124	16,79	75	0,03	0,01	0,00	0,29
129	200	115	87,17	75	0,05	0,01	0,00	0,29
130	113	200	129,24	75	0,07	0,02	0,01	0,58
108	500	501	-	-	0,23	0,00	-30,61	0,00

F.1.2. Escenario Base

Tabla F.3: Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario base del APR Camarico Chico con soluciones implementadas.

ID Nudo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
2	173	0,00	27,85	27,85
3	169	0,00	31,79	31,85
5	156	0,04	44,61	44,85
6	155	0,10	45,54	45,85
7	145	0,06	55,54	55,85
8	153	0,08	47,40	47,85
9	152	0,00	48,36	48,85
10	151	0,00	49,32	49,85
11	151	0,09	49,32	49,85
12	149	0,00	51,23	51,85
13	149	0,06	51,23	51,85
14	144	0,09	56,31	56,85
15	146	0,05	54,23	54,85
16	143	0,05	57,26	57,85
17	143	0,05	57,25	57,85
18	142	0,03	58,24	58,85
45	142	0,17	58,20	58,85
46	143	0,00	57,20	57,85
47	141	0,15	59,17	59,85
48	142	0,15	58,11	58,85
49	142	0,06	58,11	58,85
50	148	0,07	52,11	52,85
19	136	0,00	63,72	64,85
20	132	0,00	67,45	68,85
21	132	0,00	67,40	68,85
22	132	0,00	67,39	68,85
23	133	0,03	66,30	67,85
24	134	0,02	65,29	66,85
25	151	0,00	48,06	49,85
26	151	0,05	48,05	49,85
27	151	0,05	48,06	49,85
28	151	0,10	48,04	49,85
29	148	0,05	51,04	52,85
30	147	0,00	52,04	53,85
31	152	0,06	46,86	48,85
32	157	0,03	41,79	43,85

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
33	154	0,08	42,45	46,85
34	158	0,07	36,70	42,85
35	151	0,13	39,76	49,85
36	149	0,00	41,70	51,85
37	146	0,03	44,45	54,85
38	156	0,05	34,44	44,85
39	148	0,00	42,08	52,85
40	162	0,00	28,03	38,85
41	172	0,03	18,03	28,85
42	161	0,01	29,00	39,85
43	160	0,00	29,99	40,85
44	165	0,01	24,97	35,85
100	158	0,00	42,61	42,85
101	158	0,08	42,61	42,85
102	161	0,05	39,61	39,85
103	155	0,02	45,61	45,85
104	156	0,06	44,61	44,85
111	151	0,00	39,76	49,85
112	182	0,06	28,89	50,85
113	179	0,05	31,89	53,85
114	186	0,06	24,89	46,85
115	182	0,05	28,89	50,85
116	188	0,02	22,89	44,85
117	183	0,03	27,89	49,85
118	191	0,02	19,89	41,85
119	185	0,05	25,89	47,85
200	184	0,03	26,89	48,85
126	163	0,02	26,97	37,85
127	159	0,05	30,96	41,85
128	157	0,03	32,96	43,85
129	163	0,05	26,96	37,85
130	160	0,03	29,96	40,85
120	154	0,08	36,01	46,85
121	159	0,09	31,01	41,85
122	161	0,07	29,01	39,85
123	155	0,08	35,01	45,85
124	162	0,03	28,01	38,85
131	154	0,05	36,02	46,85
500	164	0,00	26,74	36,85
501	166	0,00	44,91	66,85

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
1	198	-3,28	2,85	2,85
4	170	0,00	1,96	1,96

Tabla F.4: Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario base del APR Camarico Chico.

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
1	1	2	6,62	110	3,28	0,34	1,03	9,85
2	2	3	56,53	110	3,28	0,34	1,03	9,85
3	3	4	9,32	75	0,00	0,00	0,00	0,00
4	3	5	168,92	110	3,28	0,34	1,03	9,85
5	5	6	78,38	110	3,03	0,32	0,89	9,27
6	6	7	199,53	63	0,06	0,02	0,01	0,77
7	6	8	24,17	75	2,86	0,65	5,86	18,83
8	8	16	250,72	75	0,73	0,17	0,57	6,56
9	8	9	14,03	75	2,06	0,47	3,17	13,61
10	9	10	12,25	75	2,06	0,47	3,17	13,61
11	10	11	19,04	63	0,18	0,06	0,10	2,32
12	11	14	206,13	63	0,09	0,03	0,03	1,16
13	10	12	33,25	75	1,88	0,43	2,68	12,46
14	12	13	25,85	63	0,11	0,04	0,04	1,54
15	13	15	109,64	63	0,05	0,02	0,01	0,77
16	16	17	24,07	75	0,68	0,15	0,50	5,79
17	12	19	211,68	75	1,76	0,40	2,39	11,59
18	19	20	116,74	75	1,76	0,40	2,39	11,59
19	20	21	52,79	90	1,76	0,28	0,87	8,11
20	21	22	13,82	90	1,76	0,28	0,87	8,11
21	22	23	101,35	90	1,76	0,28	0,87	8,11
22	23	24	7,97	90	1,73	0,27	0,84	7,82
23	24	25	284,31	90	1,71	0,27	0,83	7,82
24	25	27	17,31	63	0,20	0,06	0,12	2,32
25	27	28	172,07	63	0,15	0,05	0,07	1,93
26	28	29	226,62	63	0,05	0,02	0,01	0,77
27	29	30	162,24	63	0,00	0,00	0,00	0,00
28	25	26	8,48	90	1,51	0,24	0,65	6,95
29	26	31	309,84	90	1,46	0,23	0,61	6,66
30	31	32	130,19	90	1,40	0,22	0,57	6,37
31	32	33	551,51	63	1,37	0,44	4,25	16,99
32	33	34	460,84	63	1,29	0,41	3,79	15,83

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
33	34	35	1152,58	63	1,22	0,39	3,42	15,06
34	35	36	46,69	63	0,72	0,23	1,28	8,88
35	36	37	199,72	63	0,72	0,23	1,28	8,88
36	37	38	547,42	63	0,05	0,02	0,01	0,77
37	37	39	357,58	63	0,64	0,20	1,03	7,72
38	39	40	300,00	63	0,24	0,08	0,16	3,09
39	40	42	268,87	63	0,20	0,07	0,13	2,70
40	42	43	31,33	63	0,19	0,06	0,11	2,32
41	43	44	173,80	63	0,19	0,06	0,11	2,32
42	40	41	587,39	75	0,03	0,01	0,00	0,39
43	17	18	7,49	75	0,63	0,14	0,44	5,41
44	18	45	120,21	75	0,60	0,14	0,39	5,41
45	45	46	9,83	63	0,00	0,00	0,00	0,00
46	45	47	151,44	75	0,43	0,10	0,21	3,86
47	47	48	241,67	63	0,28	0,09	0,22	3,47
48	48	49	44,56	63	0,13	0,04	0,05	1,54
49	49	50	233,52	63	0,07	0,02	0,02	0,77
100	5	100	23,42	75	0,21	0,05	0,04	1,45
101	100	101	6,71	75	0,21	0,05	0,04	1,45
102	101	102	106,05	75	0,06	0,01	0,00	0,29
103	102	103	73,49	75	0,01	0,00	0,00	0,00
104	103	104	103,32	75	-0,01	0,00	0,00	0,00
105	104	101	72,70	75	-0,07	0,02	0,01	0,58
106	35	111	13,13	75	0,37	0,08	0,12	2,32
107	111	500	135,72	75	0,37	0,08	0,12	2,32
109	501	112	154,83	75	0,37	0,08	0,12	2,32
110	112	113	159,41	75	0,13	0,03	0,02	0,87
111	112	114	127,26	75	0,18	0,04	0,03	1,16
112	114	116	90,22	75	0,13	0,03	0,02	0,87
113	116	117	312,62	75	0,03	0,01	0,00	0,29
114	116	118	70,24	75	0,07	0,02	0,01	0,58
115	118	119	286,57	75	0,05	0,01	0,00	0,29
116	44	126	162,57	75	0,18	0,04	0,03	1,16
117	126	127	264,05	75	0,16	0,04	0,03	1,16
118	127	128	115,76	75	0,03	0,01	0,00	0,29
119	127	129	23,94	75	0,08	0,02	0,01	0,58
120	129	130	115,92	75	0,03	0,01	0,00	0,29
121	39	131	445,68	75	0,40	0,09	0,14	2,61
122	131	120	96,29	75	0,35	0,08	0,11	2,32
123	120	121	126,91	75	0,13	0,03	0,02	0,87

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
124	121	122	96,95	75	0,04	0,01	0,00	0,29
125	122	123	130,35	75	-0,05	0,01	0,00	0,29
126	123	120	107,36	75	-0,14	0,03	0,02	0,87
127	122	124	16,79	75	0,03	0,01	0,00	0,29
128	113	200	129,24	75	0,09	0,02	0,01	0,58
129	114	200	158,27	75	-0,01	0,00	0,00	0,00
130	200	115	87,17	75	0,05	0,01	0,00	0,29
108	500	501	-	-	0,37	0,00	-20,17	0,00

F.1.3. Escenario Futuro

Tabla F.5: Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario futuro del APR Camarico Chico con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en el nodo 41.

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
2	173	0,00	27,80	27,85
3	169	0,00	31,38	31,85
5	156	0,03	43,13	44,85
6	155	0,08	43,55	45,85
7	145	0,05	53,55	55,85
8	153	0,06	45,38	47,85
9	152	0,00	46,29	48,85
10	151	0,00	47,21	49,85
11	151	0,07	47,21	49,85
12	149	0,00	49,01	51,85
13	149	0,05	49,00	51,85
14	144	0,07	54,21	56,85
15	146	0,04	52,00	54,85
16	143	0,04	55,29	57,85
17	143	0,04	55,29	57,85
18	142	0,03	56,28	58,85
45	142	0,14	56,25	58,85
46	143	0,00	55,25	57,85
47	141	0,13	57,21	59,85
48	142	0,13	56,16	58,85
49	142	0,05	56,15	58,85
50	148	0,06	50,12	52,85
19	136	0,00	60,79	64,85

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
20	132	0,00	64,13	68,85
21	132	0,00	63,83	68,85
22	132	0,00	63,76	68,85
23	133	0,03	62,19	67,85
24	134	0,02	61,14	66,85
25	151	0,00	42,55	49,85
26	151	0,04	42,50	49,85
27	151	0,04	42,55	49,85
28	151	0,08	42,55	49,85
29	148	0,04	45,55	52,85
30	147	0,00	46,55	53,85
31	152	0,05	39,80	48,85
32	157	0,03	34,14	43,85
33	154	0,07	34,36	46,85
34	158	0,06	28,06	42,85
35	151	0,11	29,33	49,85
36	149	0,00	30,96	51,85
37	146	0,03	32,42	54,85
38	156	0,04	22,42	44,85
39	148	0,00	27,71	52,85
40	162	0,00	30,26	63,85
41	172	16,03	8,79	53,85
42	161	0,01	31,26	64,85
43	160	0,00	32,26	65,85
44	165	0,01	27,26	60,85
100	158	0,00	41,13	42,85
101	158	0,07	41,13	42,85
102	161	0,04	38,13	39,85
103	155	0,02	44,13	45,85
104	156	0,05	43,13	44,85
111	151	0,00	29,32	49,85
112	182	0,16	30,28	50,85
113	179	0,09	33,27	53,85
114	186	0,23	26,26	46,85
115	182	0,04	30,27	50,85
116	188	0,02	24,26	44,85
117	183	0,03	29,26	49,85
118	191	0,02	21,26	41,85
119	185	0,04	27,26	47,85
200	184	0,08	28,27	48,85

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
126	163	0,02	29,26	62,85
127	159	0,04	33,26	66,85
128	157	0,03	35,26	68,85
129	163	0,04	29,26	62,85
130	160	0,03	32,26	65,85
120	154	0,07	21,68	46,85
121	159	0,08	16,67	41,85
122	161	0,06	14,67	39,85
123	155	0,07	20,67	45,85
124	162	0,17	13,67	38,85
131	154	0,04	21,68	46,85
201	143	0,13	48,77	57,85
202	141	0,13	50,77	59,85
203	139	0,13	52,77	61,85
204	139	0,26	52,77	61,85
206	139	0,09	52,77	61,85
207	138	0,11	53,77	62,85
208	137	0,11	54,77	63,85
209	156	0,15	19,66	44,85
210	156	0,28	19,66	44,85
211	161	0,28	14,66	39,85
214	156	0,11	19,66	44,85
215	161	0,11	14,66	39,85
216	145	0,00	52,69	55,85
217	146	0,13	51,68	54,85
218	141	0,15	56,68	59,85
221	145	0,24	52,67	55,85
222	142	0,32	55,67	58,85
223	139	0,15	58,67	61,85
224	142	0,15	55,67	58,85
229	184	0,30	28,26	48,85
231	186	0,15	26,26	46,85
232	187	0,15	25,26	45,85
234	189	0,15	23,26	43,85
235	188	0,15	24,26	44,85
236	184	0,45	28,26	48,85
237	148	0,00	28,34	52,85
238	148	0,13	28,34	52,85
239	149	0,15	27,34	51,85
240	154	0,17	22,34	46,85

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
241	149	0,19	27,34	51,85
242	146	0,00	52,12	54,85
243	149	0,15	49,11	51,85
244	149	0,15	49,11	51,85
245	156	0,28	42,10	44,85
246	154	0,32	44,10	46,85
249	164	0,13	34,10	36,85
250	163	0,13	35,10	37,85
500	164	0,00	16,31	36,85
501	166	0,00	46,31	66,85
400	158	0,00	32,19	42,85
401	158	0,00	29,15	42,85
402	163	0,00	19,16	37,85
51	161	0,00	11,67	39,85
1	198	-25,49	2,85	2,85
4	170	0,00	1,96	1,96

Tabla F.6: Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario futuro del APR Camarico Chico con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en el nodo 41.

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
1	1	2	6,62	160	25,49	1,27	7,44	36,60
2	2	3	56,53	160	25,49	1,27	7,44	36,60
3	3	4	9,32	110	0,00	0,00	0,00	0,00
4	3	5	168,92	160	25,49	1,27	7,44	36,60
5	5	6	78,38	160	25,29	1,26	7,33	36,32
6	6	7	199,53	63	0,05	0,02	0,01	0,77
7	6	8	24,17	160	25,15	1,25	7,25	36,03
8	8	16	250,72	110	1,78	0,19	0,33	5,50
9	8	9	14,03	160	23,31	1,16	6,30	33,43
10	9	10	12,25	160	23,31	1,16	6,30	33,43
11	10	11	19,04	63	0,15	0,05	0,07	1,93
12	11	14	206,13	63	0,07	0,02	0,02	0,77
13	10	12	33,25	160	23,16	1,15	6,23	33,15
14	12	13	25,85	63	0,10	0,03	0,03	1,16
15	13	15	109,64	63	0,04	0,01	0,01	0,39
16	16	17	24,07	110	1,74	0,18	0,32	5,21
18	19	20	116,74	160	21,92	1,09	5,62	31,42

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
19	20	21	52,79	160	21,92	1,09	5,62	31,42
20	21	22	13,82	160	21,92	1,09	5,62	31,42
21	22	23	101,35	160	21,92	1,09	5,62	31,42
22	23	24	7,97	160	21,89	1,09	5,61	31,42
23	24	25	284,31	160	21,87	1,09	5,60	31,42
24	25	27	17,31	110	0,17	0,02	0,00	0,58
25	27	28	172,07	110	0,13	0,01	0,00	0,29
26	28	29	226,62	110	0,04	0,00	0,00	0,00
27	29	30	162,24	110	0,00	0,00	0,00	0,00
28	25	26	8,48	160	21,71	1,08	5,52	31,13
29	26	31	309,84	160	21,66	1,08	5,50	31,13
30	31	32	130,19	160	20,66	1,03	5,04	29,69
34	35	36	46,69	140	18,33	1,19	7,74	34,27
35	36	37	199,72	140	18,33	1,19	7,74	34,27
36	37	38	547,42	110	0,04	0,00	0,00	0,00
39	40	42	268,87	110	0,17	0,02	0,00	0,58
40	42	43	31,33	110	0,16	0,02	0,00	0,58
41	43	44	173,80	110	0,16	0,02	0,00	0,58
43	17	18	7,49	110	1,70	0,18	0,31	5,21
44	18	45	120,21	110	1,67	0,18	0,30	5,21
45	45	46	9,83	63	0,00	0,00	0,00	0,00
46	45	47	151,44	110	1,52	0,16	0,25	4,63
47	47	48	241,67	110	1,40	0,15	0,21	4,35
48	48	49	44,56	110	1,27	0,13	0,18	3,77
100	5	100	23,42	75	0,17	0,04	0,03	1,16
101	100	101	6,71	75	0,17	0,04	0,03	1,16
102	101	102	106,05	75	0,06	0,01	0,00	0,29
103	102	103	73,49	75	0,02	0,00	0,00	0,00
104	103	104	103,32	75	0,00	0,00	0,00	0,00
105	104	101	72,70	75	-0,05	0,01	0,00	0,29
106	35	111	13,13	125	2,07	0,17	0,24	4,89
107	111	500	41,21	125	2,07	0,17	0,24	4,89
109	501	112	154,83	125	2,07	0,17	0,24	4,89
111	112	113	159,41	90	0,36	0,06	0,05	1,74
112	112	114	127,26	110	0,92	0,10	0,10	2,90
113	114	116	90,22	110	0,49	0,05	0,03	1,45
114	116	117	312,62	90	0,03	0,00	0,00	0,00
116	118	119	286,57	110	0,04	0,00	0,00	0,00
117	44	126	162,57	110	0,15	0,02	0,00	0,58
118	126	127	264,05	110	0,13	0,01	0,00	0,29

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
119	127	128	115,76	90	0,03	0,00	0,00	0,00
120	127	129	23,94	90	0,07	0,01	0,00	0,29
121	129	130	115,92	90	0,03	0,00	0,00	0,00
122	39	131	445,68	140	1,42	0,09	0,07	2,59
123	131	120	96,29	140	1,37	0,09	0,06	2,59
124	120	121	126,91	125	0,67	0,05	0,03	1,44
125	121	122	96,95	110	0,60	0,06	0,04	1,74
126	122	123	130,35	110	-0,57	0,06	0,04	1,74
127	123	120	107,36	125	-0,63	0,05	0,03	1,44
128	122	124	16,79	110	1,10	0,12	0,14	3,48
129	113	200	129,24	90	0,27	0,04	0,03	1,16
130	114	200	158,27	90	-0,16	0,02	0,01	0,58
131	200	115	87,17	90	0,04	0,01	0,00	0,29
132	116	234	10,10	110	0,44	0,05	0,03	1,45
133	234	235	139,44	90	0,23	0,04	0,02	1,16
134	235	236	100,32	90	0,08	0,01	0,00	0,29
135	236	114	139,45	90	-0,35	0,06	0,04	1,74
136	37	237	269,78	140	18,27	1,19	7,69	34,27
137	237	39	87,80	140	17,62	1,14	7,19	32,83
138	237	238	11,66	90	0,65	0,10	0,14	2,90
139	238	239	85,15	90	0,26	0,04	0,03	1,16
140	239	240	150,08	75	0,11	0,03	0,01	0,87
141	240	241	128,83	75	-0,06	0,01	0,00	0,29
142	241	238	149,50	90	-0,26	0,04	0,02	1,16
143	49	242	190,35	110	1,23	0,13	0,17	3,77
144	242	50	42,78	110	0,06	0,01	0,00	0,29
145	242	243	30,95	110	1,17	0,12	0,15	3,48
146	243	244	116,82	90	0,45	0,07	0,07	2,03
147	244	245	100,37	90	0,30	0,05	0,03	1,45
148	245	246	116,06	90	-0,10	0,02	0,00	0,58
149	246	243	100,81	90	-0,57	0,09	0,11	2,61
150	245	249	116,33	90	0,12	0,02	0,01	0,58
151	249	250	101,26	90	-0,01	0,00	0,00	0,00
152	250	246	151,11	90	-0,14	0,02	0,01	0,58
153	12	216	51,62	160	23,06	1,15	6,18	33,15
154	216	19	160,07	160	21,92	1,09	5,62	31,42
155	216	217	7,87	90	1,15	0,18	0,39	5,21
156	217	218	100,56	90	0,47	0,07	0,08	2,03
157	218	222	127,29	90	0,32	0,05	0,04	1,45
158	222	221	100,17	90	-0,13	0,02	0,01	0,58

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
159	217	221	119,64	90	0,54	0,09	0,10	2,61
160	222	223	147,59	90	0,13	0,02	0,01	0,58
161	223	224	101,72	90	-0,03	0,00	0,00	0,00
162	224	221	128,51	90	-0,18	0,03	0,01	0,87
163	31	201	83,28	90	0,95	0,15	0,28	4,35
164	201	202	96,62	90	0,37	0,06	0,05	1,74
165	201	204	100,20	90	0,45	0,07	0,07	2,03
166	202	203	100,20	90	0,24	0,04	0,02	1,16
167	203	206	78,03	90	0,11	0,02	0,01	0,58
168	206	204	57,80	90	-0,08	0,01	0,00	0,29
169	204	208	108,72	90	0,12	0,02	0,01	0,58
170	206	207	111,22	90	0,10	0,02	0,00	0,58
171	207	208	81,61	90	-0,01	0,00	0,00	0,00
172	124	209	142,12	90	0,32	0,05	0,04	1,45
173	209	210	100,28	90	0,16	0,03	0,01	0,87
174	210	211	121,70	90	-0,16	0,03	0,01	0,87
175	211	124	104,24	110	-0,62	0,06	0,05	1,74
176	210	214	104,81	90	0,05	0,01	0,00	0,29
177	214	215	95,84	90	-0,06	0,01	0,00	0,29
178	215	211	107,91	90	-0,17	0,03	0,01	0,87
179	112	229	140,37	90	0,62	0,10	0,13	2,90
180	229	236	128,25	90	0,13	0,02	0,01	0,58
181	229	232	116,39	90	0,18	0,03	0,01	0,87
182	232	231	127,40	90	0,03	0,01	0,00	0,29
183	231	236	114,30	90	-0,12	0,02	0,01	0,58
184	32	400	189,15	160	20,64	1,03	5,03	29,69
185	400	33	364,29	160	20,64	1,03	5,03	29,69
186	33	401	242,33	160	20,57	1,02	5,00	29,40
187	401	34	216,80	160	20,57	1,02	5,00	29,40
188	34	402	785,85	160	20,51	1,02	4,97	29,40
189	402	35	368,48	160	20,51	1,02	4,97	29,40
17	234	118	60,17	110	0,06	0,01	0,00	0,29
38	39	51	285,13	125	16,20	1,32	10,69	37,99
31	40	41	587,39	110	16,03	1,69	19,54	48,96
108	500	501	-	-	2,07	0,00	-32,00	-
37	51	40	-	-	16,20	0,00	-19,60	-

F.2. APR Nuevo Futuro Potrerillo Alto

F.2.1. Escenario Actual

Tabla F.7: Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario actual del APR Camarico Chico con soluciones implementadas.

ID Nudo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
4	318	0,00	67,11	68,37
6	313	0,00	68,55	69,00
7	313	0,00	40,84	47,00
9	317	0,03	43,00	43,00
10	317	0,00	63,81	65,00
11	344	0,00	41,63	42,37
13	321	0,15	59,76	61,00
15	333	0,20	47,69	49,00
17	340	0,00	40,67	42,00
18	340	0,09	40,67	42,00
19	355	0,03	25,65	27,00
20	352	0,07	28,65	30,00
21	355	0,05	25,65	27,00
23	347	0,03	33,66	35,00
25	378	0,03	33,34	39,00
26	372	0,00	39,34	45,00
27	357	0,00	54,34	60,00
28	357	0,00	54,34	60,00
29	356	0,03	55,34	61,00
30	358	0,05	53,34	59,00
31	371	0,14	40,32	46,00
32	382	0,02	29,32	35,00
33	335	0,03	45,69	47,00
34	321	0,14	59,74	61,00
35	324	0,02	56,74	58,00
36	321	0,10	59,72	61,00
37	355	0,09	25,68	27,00
38	356	0,00	24,68	26,00
39	356	0,02	24,68	26,00
40	362	0,02	18,68	20,00
42	360	0,02	20,68	22,00
43	341	0,03	39,68	41,00
44	313	0,10	46,60	47,00
46	313	0,00	46,54	47,00

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
47	313	0,00	46,54	47,00
48	313	0,00	46,54	47,00
50	315	0,02	44,42	45,00
51	313	0,03	46,34	47,00
52	314	0,02	44,94	46,00
53	315	0,00	43,73	45,00
54	315	0,09	43,73	45,00
56	315	0,03	44,22	45,00
57	324	0,09	34,69	36,00
58	330	0,05	28,68	30,00
59	325	0,05	33,70	35,00
60	315	0,03	44,14	45,00
61	316	0,00	42,85	44,00
62	316	0,05	42,99	44,00
63	317	0,09	41,90	43,00
65	317	0,00	41,93	43,00
66	318	0,00	40,93	42,00
67	317	0,10	41,46	43,00
68	318	0,00	40,46	42,00
69	317	0,15	41,36	43,00
70	316	0,02	42,33	44,00
71	316	0,03	42,33	44,00
73	336	0,00	22,32	24,00
75	338	0,02	50,45	57,00
76	347	0,03	41,45	48,00
77	302	0,05	56,35	58,00
78	304	0,02	54,35	56,00
79	298	0,03	60,35	62,00
81	309	0,14	49,52	51,00
82	307	0,05	51,52	53,00
83	296	0,07	62,14	64,00
84	296	0,03	62,03	64,00
85	299	0,09	58,62	61,00
86	294	0,15	63,51	66,00
87	300	0,09	58,05	60,00
88	303	0,10	55,21	57,00
89	305	0,02	53,21	55,00
90	300	0,15	58,19	60,00
91	313	0,02	45,69	47,00
92	313	0,00	46,57	47,00

ID Nudo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
94	300	0,02	57,87	60,00
95	301	0,03	56,87	59,00
96	302	0,09	55,86	58,00
97	304	0,05	53,86	56,00
98	299	0,07	58,82	61,00
99	301	0,07	56,82	59,00
100	299	0,12	58,80	61,00
101	296	0,10	61,80	64,00
102	301	0,05	56,80	59,00
103	293	0,07	63,18	67,00
105	291	0,00	64,96	69,00
107	293	0,03	62,96	67,00
110	296	0,09	58,81	64,00
111	298	0,07	56,81	62,00
112	295	0,02	60,38	65,00
113	315	0,05	38,99	45,00
115	314	0,14	39,84	46,00
116	313	0,02	40,84	47,00
117	300	0,19	53,74	60,00
118	302	0,07	51,74	58,00
119	314	0,03	39,77	46,00
120	300	0,02	53,77	60,00
121	307	0,03	46,77	53,00
122	306	0,00	47,77	54,00
123	308	0,07	45,77	52,00
124	310	0,00	43,78	50,00
125	311	0,07	42,78	49,00
126	351	0,02	29,66	31,00
127	383	0,02	28,34	34,00
130	364	0,00	21,86	22,37
131	313	0,09	46,27	47,00
132	353	0,02	37,83	42,00
133	305	0,17	53,83	55,00
134	316	0,07	37,89	44,00
135	347	0,07	41,45	48,00
501	354	0,00	26,66	28,00
502	331	0,00	27,46	29,00
503	332	0,00	58,83	63,00
504	318	0,00	64,00	64,00
1	382	-5,39	4,37	4,37

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
2	369	0,00	6,88	6,88
136	368	0,01	2,30	2,30
137	368	61,69	2,30	2,30
138	369	-61,70	2,30	2,30

Tabla F.8: Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario actual del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
1	1	130	96,66	110	5,39	0,57	5,20	22,46
2	136	2	12,46	110	0,00	0,00	0,00	0,00
3	138	137	3,74	110	0,00	0,00	0,00	0,00
4	137	136	2,83	110	0,01	0,00	0,00	0,00
5	2	130	20,65	110	0,00	0,00	0,00	0,00
6	130	11	78,97	110	5,39	0,57	2,93	16,51
7	11	4	148,17	110	5,39	0,57	3,56	19,80
10	6	10	206,29	110	5,39	0,57	3,56	19,80
12	10	13	178,25	110	1,39	0,15	0,29	5,21
13	13	34	98,64	75	0,43	0,10	0,21	3,85
14	34	35	125,20	63	0,02	0,01	0,00	0,39
15	34	36	282,31	75	0,27	0,06	0,09	2,31
16	36	37	890,18	75	0,17	0,04	0,04	1,54
17	37	38	10,23	75	0,09	0,02	0,01	0,77
18	38	39	73,14	63	0,09	0,03	0,02	1,16
19	39	40	114,08	63	0,02	0,01	0,00	0,29
20	39	42	302,62	63	0,05	0,02	0,01	0,77
21	42	43	292,34	63	0,03	0,01	0,00	0,39
22	13	15	654,61	110	0,82	0,09	0,11	3,13
23	15	33	241,47	63	0,03	0,01	0,00	0,39
24	15	18	399,87	110	0,58	0,06	0,06	2,08
25	18	20	305,72	63	0,15	0,05	0,07	1,93
26	20	19	265,91	63	0,03	0,01	0,00	0,39
27	20	21	141,11	63	0,05	0,02	0,01	0,77
28	18	17	17,82	110	0,34	0,04	0,02	1,39
29	17	23	346,89	110	0,34	0,04	0,02	1,39
30	23	126	143,50	63	0,02	0,01	0,00	0,39
31	29	28	147,78	75	0,05	0,01	0,00	0,38
32	28	27	14,75	75	0,05	0,01	0,00	0,38
33	27	26	207,09	63	0,05	0,02	0,01	0,58

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
34	26	25	79,93	63	0,03	0,01	0,00	0,29
35	26	127	103,24	63	0,02	0,01	0,00	0,29
36	29	30	73,89	110	0,20	0,02	0,01	0,69
37	30	31	516,38	75	0,15	0,03	0,03	1,15
38	31	32	414,71	75	0,02	0,00	0,00	0,00
39	9	44	200,90	110	3,96	0,42	2,01	14,59
40	44	46	8,84	75	2,65	0,60	6,15	23,09
41	46	48	4,27	75	0,81	0,18	0,68	6,93
42	48	131	387,45	75	0,81	0,18	0,68	6,93
43	131	52	257,39	63	0,72	0,23	1,30	8,88
44	52	53	163,38	63	0,71	0,23	1,25	8,88
45	53	54	8,90	63	0,01	0,00	0,00	0,00
46	54	59	305,97	63	0,19	0,06	0,11	2,32
47	59	57	290,03	63	0,14	0,04	0,06	1,54
48	57	58	220,13	63	0,05	0,02	0,01	0,77
49	54	61	563,70	63	-0,26	0,08	0,20	3,09
50	61	63	248,38	63	-0,26	0,08	0,20	3,09
51	63	66	10,53	63	-1,12	0,36	2,95	13,90
52	66	67	610,25	63	0,54	0,17	0,77	6,56
53	67	68	18,30	63	0,02	0,01	0,00	0,29
54	67	69	203,98	63	0,43	0,14	0,49	5,41
55	69	77	327,05	63	0,10	0,03	0,03	1,16
56	77	78	107,53	63	0,02	0,01	0,00	0,39
57	77	79	201,46	63	0,03	0,01	0,00	0,39
58	69	71	324,73	63	0,17	0,05	0,09	1,93
59	71	70	10,11	63	0,02	0,01	0,00	0,39
60	71	73	222,57	63	0,12	0,04	0,05	1,54
62	75	76	96,25	63	0,03	0,01	0,00	0,39
63	46	47	2,53	110	1,84	0,19	0,40	5,50
64	47	50	307,20	110	1,84	0,19	0,40	5,50
65	50	51	191,68	110	1,82	0,19	0,39	5,50
66	51	56	328,77	110	1,79	0,19	0,38	5,50
67	56	60	224,31	110	1,75	0,18	0,37	5,21
68	60	62	400,69	110	1,72	0,18	0,35	5,21
69	62	65	195,97	110	1,67	0,18	0,33	5,21
70	65	66	2,18	110	1,67	0,18	0,34	5,21
71	44	92	21,24	75	1,21	0,27	1,45	10,39
72	92	133	504,94	75	1,21	0,27	1,45	10,39
73	133	87	306,86	63	1,04	0,33	2,56	12,74
74	87	88	356,16	63	-0,41	0,13	0,45	5,02

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
75	88	91	416,73	63	-0,68	0,22	1,16	8,49
76	91	53	35,33	63	-0,70	0,22	1,22	8,49
77	88	89	161,96	63	0,02	0,01	0,00	0,39
78	88	90	179,59	63	0,15	0,05	0,07	1,93
79	87	94	191,54	63	0,60	0,19	0,91	7,34
80	94	95	60,21	63	0,17	0,05	0,09	1,93
81	95	96	54,06	63	0,14	0,04	0,06	1,54
82	96	97	92,44	63	0,05	0,02	0,01	0,77
83	94	99	112,53	63	0,41	0,13	0,45	5,02
84	99	98	157,40	63	0,07	0,02	0,02	0,77
85	99	100	87,66	63	0,27	0,09	0,21	3,47
86	100	101	198,48	63	0,10	0,03	0,03	1,16
87	100	102	148,36	63	0,05	0,02	0,01	0,77
88	87	86	363,46	63	0,77	0,25	1,47	9,65
89	86	85	251,20	63	-0,40	0,13	0,44	5,02
90	85	84	648,96	63	-0,49	0,16	0,63	6,18
91	84	83	154,37	63	-0,52	0,17	0,71	6,56
92	83	81	427,50	63	-0,59	0,19	0,89	7,34
93	81	82	164,12	63	0,05	0,02	0,01	0,77
94	81	63	254,93	63	-0,78	0,25	1,48	9,65
95	86	103	542,76	63	1,02	0,33	2,46	12,74
96	103	105	99,06	63	0,95	0,31	2,17	11,97
97	105	107	61,84	63	0,03	0,01	0,00	0,39
98	105	112	290,11	63	0,92	0,29	2,03	11,20
99	112	111	286,94	63	0,90	0,29	1,96	11,20
100	111	110	240,46	63	0,09	0,03	0,02	1,16
101	111	113	596,34	63	0,75	0,24	1,39	9,27
102	113	134	387,39	63	0,29	0,09	0,24	3,47
103	134	125	1878,96	75	0,22	0,05	0,06	1,92
104	125	124	40,90	75	0,15	0,03	0,03	1,15
105	124	123	124,91	75	0,15	0,03	0,03	1,15
106	123	119	403,27	75	0,03	0,01	0,00	0,38
107	123	122	232,01	75	0,05	0,01	0,00	0,38
108	122	121	176,54	75	0,03	0,01	0,00	0,38
109	122	120	287,60	75	0,02	0,00	0,00	0,00
110	113	115	324,03	63	0,41	0,13	0,45	5,02
111	115	117	535,90	63	0,26	0,08	0,19	3,09
112	117	118	125,33	63	0,07	0,02	0,02	0,77
113	115	116	374,31	63	0,02	0,01	0,00	0,39
114	7	116	17,72	63	0,00	0,00	0,00	0,00

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
115	75	135	102,13	63	0,07	0,02	0,02	0,77
500	68	502	136,35	63	0,02	0,01	0,00	0,29
502	503	132	159,32	63	0,02	0,01	0,00	0,29
503	23	501	270,75	110	0,29	0,03	0,02	1,04
8	504	6	126,92	110	5,39	0,57	3,56	19,80
61	73	75	-	-	0,12	0,00	-30,13	-
501	502	503	-	-	0,02	0,00	-32,37	-
504	501	29	-	-	0,29	0,00	-30,68	-
9	6	7	-	110	0,00	0,00	0,00	-
11	10	9	-	110	4,00	0,42	20,81	-
116	4	504	-	110	5,39	0,57	3,11	-

F.2.2. Escenario Base

Tabla F.9: Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario base del APR Camarico Chico con soluciones implementadas.

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
4	318	0,00	66,97	68,37
6	313	0,00	68,50	69,00
7	313	0,00	40,84	47,00
9	317	0,03	43,00	43,00
10	317	0,00	63,69	65,00
11	344	0,00	41,55	42,37
13	321	0,15	59,61	61,00
15	333	0,20	47,54	49,00
17	340	0,00	40,51	42,00
18	340	0,09	40,51	42,00
19	355	0,03	25,49	27,00
20	352	0,07	28,49	30,00
21	355	0,05	25,49	27,00
23	347	0,03	33,51	35,00
25	378	0,03	33,18	39,00
26	372	0,00	39,18	45,00
27	357	0,00	54,18	60,00
28	357	0,00	54,18	60,00
29	356	0,03	55,19	61,00
30	358	0,05	53,18	59,00
31	371	0,14	40,17	46,00

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
32	382	0,02	29,17	35,00
33	335	0,03	45,54	47,00
34	321	0,14	59,59	61,00
35	324	0,02	56,59	58,00
36	321	0,10	59,57	61,00
37	355	0,09	25,53	27,00
38	356	0,00	24,53	26,00
39	356	0,02	24,53	26,00
40	362	0,02	18,53	20,00
42	360	0,02	20,53	22,00
43	341	0,03	39,53	41,00
44	313	0,10	46,60	47,00
46	313	0,00	46,54	47,00
47	313	0,00	46,54	47,00
48	313	0,00	46,54	47,00
50	315	0,02	44,42	45,00
51	313	0,03	46,34	47,00
52	314	0,02	44,94	46,00
53	315	0,00	43,73	45,00
54	315	0,09	43,73	45,00
56	315	0,03	44,22	45,00
57	324	0,09	34,69	36,00
58	330	0,05	28,68	30,00
59	325	0,05	33,70	35,00
60	315	0,03	44,14	45,00
61	316	0,00	42,85	44,00
62	316	0,05	42,99	44,00
63	317	0,09	41,90	43,00
65	317	0,00	41,93	43,00
66	318	0,00	40,93	42,00
67	317	0,10	41,46	43,00
68	318	0,00	40,46	42,00
69	317	0,15	41,36	43,00
70	316	0,02	42,33	44,00
71	316	0,03	42,33	44,00
73	336	0,00	22,32	24,00
75	338	0,02	50,45	57,00
76	347	0,03	41,45	48,00
77	302	0,05	56,35	58,00
78	304	0,02	54,35	56,00

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
79	298	0,03	60,35	62,00
81	309	0,14	49,52	51,00
82	307	0,05	51,52	53,00
83	296	0,07	62,14	64,00
84	296	0,03	62,03	64,00
85	299	0,09	58,62	61,00
86	294	0,15	63,51	66,00
87	300	0,09	58,05	60,00
88	303	0,10	55,21	57,00
89	305	0,02	53,21	55,00
90	300	0,15	58,19	60,00
91	313	0,02	45,69	47,00
92	313	0,00	46,57	47,00
94	300	0,02	57,87	60,00
95	301	0,03	56,87	59,00
96	302	0,09	55,86	58,00
97	304	0,05	53,86	56,00
98	299	0,07	58,82	61,00
99	301	0,07	56,82	59,00
100	299	0,12	58,80	61,00
101	296	0,10	61,80	64,00
102	301	0,05	56,80	59,00
103	293	0,07	63,18	67,00
105	291	0,00	64,96	69,00
107	293	0,03	62,96	67,00
110	296	0,09	58,81	64,00
111	298	0,07	56,81	62,00
112	295	0,02	60,38	65,00
113	315	0,05	38,99	45,00
115	314	0,14	39,84	46,00
116	313	0,02	40,84	47,00
117	300	0,19	53,74	60,00
118	302	0,07	51,74	58,00
119	314	0,03	39,77	46,00
120	300	0,02	53,77	60,00
121	307	0,03	46,77	53,00
122	306	0,00	47,77	54,00
123	308	0,07	45,77	52,00
124	310	0,00	43,78	50,00
125	311	0,07	42,78	49,00

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
126	351	0,02	29,51	31,00
127	383	0,02	28,18	34,00
130	364	0,00	21,81	22,37
131	313	0,09	46,27	47,00
132	353	0,02	37,83	42,00
133	305	0,17	53,83	55,00
134	316	0,07	37,89	44,00
135	347	0,07	41,45	48,00
200	326	0,00	54,57	56,00
201	326	0,00	54,57	56,00
202	328	0,05	52,57	54,00
203	329	0,05	51,57	53,00
204	327	0,08	53,58	55,00
205	325	0,08	55,58	57,00
208	324	0,03	56,58	58,00
209	323	0,03	57,58	59,00
279	323	0,00	57,58	59,00
501	354	0,00	26,50	28,00
502	331	0,00	27,46	29,00
503	332	0,00	58,83	63,00
504	318	0,00	64,00	64,00
1	382	-5,70	4,37	4,37
2	369	0,00	6,88	6,88
136	368	0,01	2,30	2,30
137	368	61,69	2,30	2,30
138	369	-61,70	2,30	2,30

Tabla F.10: Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario base del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas.

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
1	1	130	96,66	110	5,70	0,60	5,76	23,64
2	136	2	12,46	110	0,00	0,00	0,00	0,00
3	138	137	3,74	110	0,00	0,00	0,00	0,00
4	137	136	2,83	110	0,01	0,00	0,00	0,00
5	2	130	20,65	110	0,00	0,00	0,00	0,00
6	130	11	78,97	110	5,70	0,60	3,24	17,38
7	11	4	148,17	110	5,70	0,60	3,94	20,85
10	6	10	206,29	110	5,70	0,60	3,94	20,85

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
12	10	13	178,25	110	1,70	0,18	0,42	6,25
13	13	34	98,64	75	0,43	0,10	0,21	3,85
14	34	35	125,20	63	0,02	0,01	0,00	0,39
15	34	36	282,31	75	0,27	0,06	0,09	2,31
16	36	37	890,18	75	0,17	0,04	0,04	1,54
17	37	38	10,23	75	0,09	0,02	0,01	0,77
18	38	39	73,14	63	0,09	0,03	0,02	1,16
19	39	40	114,08	63	0,02	0,01	0,00	0,29
20	39	42	302,62	63	0,05	0,02	0,01	0,77
21	42	43	292,34	63	0,03	0,01	0,00	0,39
22	15	33	241,47	63	0,03	0,01	0,00	0,39
23	15	18	399,87	110	0,58	0,06	0,06	2,08
24	18	20	305,72	63	0,15	0,05	0,07	1,93
25	20	19	265,91	63	0,03	0,01	0,00	0,39
26	20	21	141,11	63	0,05	0,02	0,01	0,77
27	18	17	17,82	110	0,34	0,04	0,02	1,39
28	17	23	346,89	110	0,34	0,04	0,02	1,39
29	23	126	143,50	63	0,02	0,01	0,00	0,39
31	29	28	147,78	75	0,05	0,01	0,00	0,38
32	28	27	14,75	75	0,05	0,01	0,01	0,38
33	27	26	207,09	63	0,05	0,02	0,01	0,58
34	26	25	79,93	63	0,03	0,01	0,00	0,29
35	26	127	103,24	63	0,02	0,01	0,00	0,29
36	29	30	73,89	110	0,20	0,02	0,01	0,69
37	30	31	516,38	75	0,15	0,03	0,03	1,15
38	31	32	414,71	75	0,02	0,00	0,00	0,00
39	9	44	200,90	110	3,96	0,42	2,01	14,59
40	44	46	8,84	75	2,65	0,60	6,15	23,09
41	46	48	4,27	75	0,81	0,18	0,68	6,93
42	48	131	387,45	75	0,81	0,18	0,68	6,93
43	131	52	257,39	63	0,72	0,23	1,30	8,88
44	52	53	163,38	63	0,71	0,23	1,25	8,88
45	53	54	8,90	63	0,01	0,00	0,00	0,00
46	54	59	305,97	63	0,19	0,06	0,11	2,32
47	59	57	290,03	63	0,14	0,04	0,06	1,54
48	57	58	220,13	63	0,05	0,02	0,01	0,77
49	54	61	563,70	63	-0,26	0,08	0,20	3,09
50	61	63	248,38	63	-0,26	0,08	0,20	3,09
51	63	66	10,53	63	-1,12	0,36	2,95	13,90
52	66	67	610,25	63	0,54	0,17	0,77	6,56

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
53	67	68	18,30	63	0,02	0,01	0,00	0,29
55	67	69	203,98	63	0,43	0,14	0,49	5,41
56	69	77	327,05	63	0,10	0,03	0,03	1,16
57	77	78	107,53	63	0,02	0,01	0,00	0,39
58	77	79	201,46	63	0,03	0,01	0,00	0,39
59	69	71	324,73	63	0,17	0,05	0,09	1,93
60	71	70	10,11	63	0,02	0,01	0,00	0,39
61	71	73	222,57	63	0,12	0,04	0,05	1,54
63	75	76	96,25	63	0,03	0,01	0,00	0,39
64	46	47	2,53	110	1,84	0,19	0,40	5,50
65	47	50	307,20	110	1,84	0,19	0,40	5,50
66	50	51	191,68	110	1,82	0,19	0,39	5,50
67	51	56	328,77	110	1,79	0,19	0,38	5,50
68	56	60	224,31	110	1,75	0,18	0,37	5,21
69	60	62	400,69	110	1,72	0,18	0,35	5,21
70	62	65	195,97	110	1,67	0,18	0,33	5,21
71	65	66	2,18	110	1,67	0,18	0,34	5,21
72	44	92	21,24	75	1,21	0,27	1,45	10,39
73	92	133	504,94	75	1,21	0,27	1,45	10,39
74	133	87	306,86	63	1,04	0,33	2,56	12,74
75	87	88	356,16	63	-0,41	0,13	0,45	5,02
76	88	91	416,73	63	-0,68	0,22	1,16	8,49
77	91	53	35,33	63	-0,70	0,22	1,22	8,49
78	88	89	161,96	63	0,02	0,01	0,00	0,39
79	88	90	179,59	63	0,15	0,05	0,07	1,93
80	87	94	191,54	63	0,60	0,19	0,91	7,34
81	94	95	60,21	63	0,17	0,05	0,09	1,93
82	95	96	54,06	63	0,14	0,04	0,06	1,54
83	96	97	92,44	63	0,05	0,02	0,01	0,77
84	94	99	112,53	63	0,41	0,13	0,45	5,02
85	99	98	157,40	63	0,07	0,02	0,02	0,77
86	99	100	87,66	63	0,27	0,09	0,21	3,47
87	100	101	198,48	63	0,10	0,03	0,03	1,16
88	100	102	148,36	63	0,05	0,02	0,01	0,77
89	87	86	363,46	63	0,77	0,25	1,47	9,65
90	86	85	251,20	63	-0,40	0,13	0,44	5,02
91	85	84	648,96	63	-0,49	0,16	0,63	6,18
92	84	83	154,37	63	-0,52	0,17	0,71	6,56
93	83	81	427,50	63	-0,59	0,19	0,89	7,34
94	81	82	164,12	63	0,05	0,02	0,01	0,77

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
95	81	63	254,93	63	-0,78	0,25	1,48	9,65
96	86	103	542,76	63	1,02	0,33	2,46	12,74
97	103	105	99,06	63	0,95	0,31	2,17	11,97
98	105	107	61,84	63	0,03	0,01	0,00	0,39
99	105	112	290,11	63	0,92	0,29	2,03	11,20
100	112	111	286,94	63	0,90	0,29	1,96	11,20
101	111	110	240,46	63	0,09	0,03	0,02	1,16
102	111	113	596,34	63	0,75	0,24	1,39	9,27
103	113	134	387,39	63	0,29	0,09	0,24	3,47
104	134	125	1878,96	75	0,22	0,05	0,06	1,92
105	125	124	40,90	75	0,15	0,03	0,03	1,15
106	124	123	124,91	75	0,15	0,03	0,03	1,15
107	123	119	403,27	75	0,03	0,01	0,00	0,38
108	123	122	232,01	75	0,05	0,01	0,00	0,38
109	122	121	176,54	75	0,03	0,01	0,00	0,38
110	122	120	287,60	75	0,02	0,00	0,00	0,00
111	113	115	324,03	63	0,41	0,13	0,45	5,02
112	115	117	535,90	63	0,26	0,08	0,19	3,09
113	117	118	125,33	63	0,07	0,02	0,02	0,77
114	115	116	374,31	63	0,02	0,01	0,00	0,39
115	7	116	17,72	63	0,00	0,00	0,00	0,00
116	75	135	102,13	63	0,07	0,02	0,02	0,77
117	13	279	144,16	110	1,12	0,12	0,19	4,17
118	279	200	160,75	110	0,63	0,07	0,07	2,43
119	200	15	348,42	110	0,82	0,09	0,11	3,13
121	200	201	10,20	75	-0,18	0,04	0,03	1,16
122	201	202	51,70	75	-0,01	0,00	0,00	0,00
123	202	203	118,85	75	-0,05	0,01	0,00	0,29
124	203	204	102,64	75	-0,10	0,02	0,01	0,58
125	204	205	118,87	75	-0,01	0,00	0,00	0,00
126	205	201	50,97	75	0,18	0,04	0,03	1,16
127	205	209	108,54	75	-0,27	0,06	0,07	1,74
128	204	208	109,81	75	-0,16	0,04	0,03	1,16
129	208	209	119,57	75	-0,19	0,04	0,04	1,16
130	279	209	9,49	75	0,49	0,11	0,20	3,19
500	68	502	136,35	63	0,02	0,01	0,00	0,29
502	503	132	159,32	63	0,02	0,01	0,00	0,29
503	23	501	270,75	110	0,29	0,03	0,02	1,04
8	504	6	126,92	110	5,70	0,60	3,94	20,85
501	502	503	-	-	0,02	0,00	-32,37	-

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
504	501	29	-	-	0,29	0,00	-30,68	-
30	73	75	-	-	0,12	0,00	-30,13	-
9	6	7	-	110	0,00	0,00	0,00	-
11	10	9	-	110	4,00	0,42	20,69	-
54	4	504	-	110	5,70	0,60	2,97	-

F.2.3. Escenario Futuro

Tabla F.11: Resultados de nodos de las situaciones dinámica y estática del escenario futuro del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en el nodo 107.

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
4	318	0,00	65,67	68,37
6	313	0,00	67,94	69,00
7	313	0,00	40,00	47,00
9	317	0,03	43,00	43,00
10	317	0,00	62,97	65,00
11	344	0,00	40,91	42,37
13	321	0,13	58,82	61,00
15	333	0,17	46,62	49,00
17	340	0,00	39,61	42,00
18	340	0,07	39,61	42,00
19	355	0,03	24,61	27,00
20	352	0,06	27,61	30,00
21	355	0,04	24,61	27,00
23	347	0,03	32,61	35,00
25	378	0,03	43,61	46,00
26	372	0,00	49,61	52,00
27	357	0,00	64,61	67,00
28	357	0,00	64,61	67,00
29	356	0,03	65,61	68,00
30	358	0,04	63,61	66,00
31	371	0,11	50,61	53,00
32	382	0,01	39,61	42,00
33	335	0,03	44,62	47,00
34	321	0,11	58,82	61,00
35	324	0,01	55,82	58,00
36	321	0,09	58,82	61,00

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
37	355	0,07	24,82	27,00
38	356	0,00	23,82	26,00
39	356	0,01	23,82	26,00
40	362	0,01	17,82	20,00
42	360	0,01	19,82	22,00
43	341	0,03	38,82	41,00
44	313	0,09	46,27	47,00
46	313	0,00	46,25	47,00
47	313	0,00	46,25	47,00
48	313	0,00	46,25	47,00
50	315	0,01	43,92	45,00
51	313	0,03	45,72	47,00
52	314	0,01	43,96	46,00
53	315	0,00	42,65	45,00
54	315	0,07	42,64	45,00
56	315	0,03	43,38	45,00
57	324	0,07	33,64	36,00
58	330	0,04	27,64	30,00
59	325	0,04	32,64	35,00
60	315	0,03	43,15	45,00
61	316	0,00	41,56	44,00
62	316	0,04	41,74	44,00
63	317	0,07	40,53	43,00
65	317	0,00	40,55	43,00
66	318	0,00	39,55	42,00
67	317	0,09	40,54	43,00
68	318	0,00	39,54	42,00
69	317	0,13	40,54	43,00
70	316	0,01	41,54	44,00
71	316	0,03	41,54	44,00
73	336	0,00	21,54	24,00
75	338	0,01	51,80	57,00
76	347	0,03	42,80	48,00
77	302	0,04	55,54	58,00
78	304	0,01	53,54	56,00
79	298	0,03	59,54	62,00
81	309	0,11	47,70	51,00
82	307	0,04	49,70	53,00
83	296	0,06	59,41	64,00
84	296	0,03	58,96	64,00

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
85	299	0,07	53,65	61,00
86	294	0,13	57,96	66,00
87	300	0,07	55,60	60,00
88	303	0,09	53,43	57,00
89	305	0,01	51,43	55,00
90	300	0,13	56,43	60,00
91	313	0,01	44,55	47,00
92	313	0,00	46,17	47,00
94	300	0,01	55,59	60,00
95	301	0,03	54,59	59,00
96	302	0,07	53,59	58,00
97	304	0,04	51,59	56,00
98	299	0,06	56,59	61,00
99	301	0,06	54,59	59,00
100	299	0,10	56,59	61,00
101	296	0,09	59,58	64,00
102	301	0,04	54,59	59,00
103	293	0,06	47,74	67,00
105	291	0,00	47,72	69,00
107	293	16,03	44,51	67,00
110	296	0,07	48,11	64,00
111	298	0,06	46,11	62,00
112	295	0,01	46,42	65,00
113	315	0,04	34,90	45,00
115	314	0,11	37,18	46,00
116	313	0,01	39,80	47,00
117	300	0,16	51,18	60,00
118	302	0,06	49,18	58,00
119	314	0,03	35,89	46,00
120	300	0,01	49,89	60,00
121	307	0,03	42,89	53,00
122	306	0,00	43,89	54,00
123	308	0,06	41,89	52,00
124	310	0,00	39,89	50,00
125	311	0,06	38,89	49,00
126	351	0,01	28,61	31,00
127	383	0,01	38,61	41,00
130	364	0,00	21,56	22,37
131	313	0,07	45,47	47,00
132	353	0,01	38,27	42,00

ID Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
133	305	0,14	51,90	55,00
134	316	0,06	33,90	44,00
135	347	0,06	42,80	48,00
200	326	0,00	53,64	56,00
201	326	0,00	53,64	56,00
202	328	0,18	51,61	54,00
203	329	0,36	50,55	53,00
204	327	0,36	52,56	55,00
205	325	0,18	54,63	57,00
208	324	0,18	55,57	58,00
209	323	0,09	56,69	59,00
211	330	0,09	49,61	52,00
212	331	0,18	48,55	51,00
217	324	0,18	55,51	58,00
220	329	0,36	50,51	53,00
221	327	0,36	52,51	55,00
224	331	0,23	48,51	51,00
229	324	0,18	55,48	58,00
232	328	0,36	51,47	54,00
233	326	0,36	53,47	56,00
236	332	0,18	47,48	50,00
241	323	0,18	56,46	59,00
244	329	0,36	50,46	53,00
245	325	0,36	54,46	57,00
248	334	0,18	45,46	48,00
253	327	0,17	52,45	55,00
256	332	0,34	47,45	50,00
257	329	0,34	50,45	53,00
260	337	0,17	42,45	45,00
265	333	0,08	46,45	49,00
268	337	0,16	42,45	45,00
269	336	0,16	43,45	46,00
272	343	0,08	36,45	39,00
275	331	0,05	48,54	51,00
276	334	0,04	45,53	48,00
277	334	0,04	45,52	48,00
279	323	0,00	56,72	59,00
280	330	0,00	49,62	52,00
501	354	0,00	25,61	28,00
502	331	0,00	26,54	29,00

ID Nudo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión Dinámica [m]	Presión Estática [m]
503	332	0,00	59,27	63,00
400	365	0,00	56,61	59,00
401	306	0,00	45,18	54,00
402	296	0,00	50,91	64,00
403	298	0,00	55,93	62,00
404	301	0,00	55,07	59,00
405	317	0,00	40,54	43,00
504	318	0,00	64,00	64,00
1	382	-27,08	4,37	4,37
2	369	0,00	6,88	6,88
136	368	0,01	2,30	2,30
137	368	61,69	2,30	2,30
138	369	-61,70	2,30	2,30

Tabla F.12: Resultados de tuberías de la situación dinámica del escenario futuro del APR Nuevo Futuro con soluciones implementadas, considerando uso de grifo en el nudo 107.

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
1	1	130	96,66	160	27,08	1,35	8,32	38,91
2	136	2	12,46	110	0,00	0,00	0,00	0,00
3	138	137	3,74	110	0,00	0,00	0,00	0,00
4	137	136	2,83	110	0,01	0,00	0,00	0,00
5	2	130	20,65	110	0,00	0,00	0,00	0,00
6	130	11	78,97	160	27,08	1,35	8,32	38,91
7	11	4	148,17	160	27,08	1,35	8,32	43,16
10	6	10	206,29	160	19,98	0,99	4,73	28,53
12	10	13	178,25	160	7,75	0,39	0,82	11,24
13	13	34	98,64	140	0,35	0,02	0,00	0,58
14	34	35	125,20	63	0,01	0,00	0,00	0,00
15	34	36	282,31	140	0,23	0,01	0,00	0,29
16	36	37	890,18	140	0,14	0,01	0,00	0,29
17	37	38	10,23	140	0,07	0,00	0,00	0,00
18	38	39	73,14	140	0,07	0,00	0,00	0,00
19	39	40	114,08	63	0,01	0,00	0,00	0,00
20	39	42	302,62	140	0,04	0,00	0,00	0,00
21	42	43	292,34	125	0,03	0,00	0,00	0,00
22	15	33	241,47	90	0,03	0,00	0,00	0,00
23	15	18	399,87	140	0,48	0,03	0,01	0,86

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
24	18	20	305,72	110	0,13	0,01	0,00	0,29
25	20	19	265,91	110	0,03	0,00	0,00	0,00
26	20	21	141,11	110	0,04	0,00	0,00	0,00
27	18	17	17,82	140	0,28	0,02	0,00	0,58
28	17	23	346,89	140	0,28	0,02	0,00	0,58
29	23	126	143,50	63	0,01	0,00	0,00	0,00
31	29	28	147,78	110	0,04	0,00	0,00	0,00
32	28	27	14,75	110	0,04	0,00	0,00	0,00
33	27	26	207,09	110	0,04	0,00	0,00	0,00
34	26	25	79,93	63	0,03	0,01	0,00	0,29
35	26	127	103,24	63	0,01	0,00	0,00	0,00
36	29	30	73,89	125	0,17	0,01	0,00	0,29
38	31	32	414,71	125	0,01	0,00	0,00	0,00
39	9	44	200,90	140	12,20	0,79	3,64	22,75
40	44	46	8,84	140	7,83	0,51	1,60	14,69
41	46	48	4,27	110	4,69	0,49	2,01	14,19
42	48	131	387,45	110	4,69	0,49	2,01	14,19
43	131	52	257,39	110	4,62	0,49	1,95	14,19
44	52	53	163,38	110	4,61	0,49	1,94	14,19
45	53	54	8,90	110	1,36	0,14	0,20	4,06
46	54	59	305,97	125	0,16	0,01	0,00	0,29
47	59	57	290,03	125	0,11	0,01	0,00	0,29
48	57	58	220,13	125	0,04	0,00	0,00	0,00
49	54	61	563,70	110	1,13	0,12	0,14	3,48
50	61	63	248,38	110	1,13	0,12	0,14	3,48
51	63	66	10,53	90	-2,54	0,40	1,71	11,59
53	67	68	18,30	63	0,01	0,00	0,00	0,00
55	67	69	203,98	160	0,35	0,02	0,00	0,58
56	69	77	327,05	110	0,09	0,01	0,00	0,29
57	77	78	107,53	110	0,01	0,00	0,00	0,00
58	77	79	201,46	110	0,03	0,00	0,00	0,00
59	69	71	324,73	140	0,14	0,01	0,00	0,29
60	71	70	10,11	63	0,01	0,00	0,00	0,00
61	71	73	222,57	140	0,10	0,01	0,00	0,29
63	75	76	96,25	63	0,03	0,01	0,00	0,39
64	46	47	2,53	110	3,13	0,33	1,07	9,56
65	47	50	307,20	110	3,13	0,33	1,07	9,56
66	50	51	191,68	110	3,12	0,33	1,06	9,56
67	51	56	328,77	110	3,09	0,33	1,04	9,56
68	56	60	224,31	110	3,06	0,32	1,03	9,27

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
69	60	62	400,69	110	3,03	0,32	1,01	9,27
70	62	65	195,97	110	2,99	0,31	0,98	8,98
71	65	66	2,18	110	2,99	0,31	0,99	8,98
72	44	92	21,24	90	4,28	0,67	4,51	19,41
73	92	133	504,94	90	4,28	0,67	4,51	19,41
74	133	87	306,86	90	4,14	0,65	4,24	18,83
75	87	88	356,16	90	-3,01	0,47	2,35	13,61
76	88	91	416,73	90	-3,24	0,51	2,69	14,77
77	91	53	35,33	90	-3,25	0,51	2,71	14,77
78	88	89	161,96	110	0,01	0,00	0,00	0,00
79	88	90	179,59	90	0,13	0,02	0,01	0,58
80	87	94	191,54	110	0,50	0,05	0,03	1,45
81	94	95	60,21	110	0,14	0,01	0,00	0,29
82	95	96	54,06	63	0,11	0,04	0,04	1,54
83	96	97	92,44	63	0,04	0,01	0,01	0,39
84	94	99	112,53	110	0,34	0,04	0,02	1,16
85	99	98	157,40	110	0,06	0,01	0,00	0,29
86	99	100	87,66	110	0,23	0,02	0,01	0,58
87	100	101	198,48	63	0,09	0,03	0,02	1,16
88	100	102	148,36	110	0,04	0,00	0,00	0,00
89	87	86	363,46	90	6,59	1,04	10,00	30,13
90	86	85	251,20	90	-3,29	0,52	2,76	15,06
92	84	83	154,37	90	-3,39	0,53	2,92	15,35
94	81	82	164,12	90	0,04	0,01	0,00	0,29
95	81	63	254,93	90	-3,60	0,57	3,26	16,51
97	103	105	99,06	90	9,69	1,52	20,44	44,03
98	105	107	61,84	110	16,03	1,69	19,54	48,96
99	105	112	290,11	90	-6,34	1,00	9,32	28,97
100	112	111	286,94	90	-6,35	1,00	9,36	28,97
101	111	110	240,46	110	0,07	0,01	0,00	0,29
102	111	113	596,34	90	-6,48	1,02	9,71	29,55
103	113	134	387,39	140	0,24	0,02	0,00	0,58
104	134	125	1878,96	125	0,18	0,02	0,00	0,58
105	125	124	40,90	125	0,13	0,01	0,00	0,29
106	124	123	124,91	125	0,13	0,01	0,00	0,29
107	123	119	403,27	75	0,03	0,01	0,00	0,38
108	123	122	232,01	125	0,04	0,00	0,00	0,00
109	122	121	176,54	125	0,03	0,00	0,00	0,00
110	122	120	287,60	75	0,01	0,00	0,00	0,00
111	113	115	324,03	110	-6,77	0,71	3,95	20,57

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
113	117	118	125,33	110	0,06	0,01	0,00	0,29
114	115	116	374,31	110	-7,09	0,75	4,31	21,73
115	7	116	17,72	90	7,11	1,12	11,51	32,44
116	75	135	102,13	63	0,06	0,02	0,01	0,77
117	13	279	144,16	160	7,27	0,36	0,73	10,38
118	279	200	160,75	140	3,94	0,26	0,45	7,49
119	200	280	155,76	140	2,29	0,15	0,16	4,32
120	279	209	9,49	90	3,33	0,52	2,83	15,06
121	200	201	10,20	90	1,65	0,26	0,77	7,53
122	201	202	51,70	90	1,30	0,20	0,50	5,79
123	202	203	118,85	90	1,30	0,20	0,49	5,79
124	203	204	102,64	90	-0,45	0,07	0,07	2,03
125	204	205	118,87	90	-1,48	0,23	0,63	6,66
126	205	201	50,97	90	-0,35	0,05	0,04	1,45
127	205	209	108,54	90	-1,32	0,21	0,51	6,08
128	204	208	109,81	90	-0,47	0,07	0,08	2,03
129	208	209	119,57	90	-1,92	0,30	1,02	8,69
131	280	15	192,85	140	0,68	0,04	0,02	1,15
132	280	211	9,22	90	1,61	0,25	0,73	7,24
133	202	211	104,31	90	-0,17	0,03	0,01	0,87
134	211	212	121,28	90	1,34	0,21	0,53	6,08
135	212	203	101,66	90	-0,33	0,05	0,04	1,45
136	208	217	125,17	90	1,26	0,20	0,47	5,79
137	217	221	110,15	90	0,15	0,02	0,01	0,58
138	221	204	131,47	90	-1,14	0,18	0,39	5,21
139	221	220	99,48	90	0,01	0,00	0,00	0,00
140	220	203	131,80	90	-1,05	0,17	0,34	4,92
141	220	224	103,60	90	-0,21	0,03	0,02	0,87
142	224	275	111,61	90	-0,90	0,14	0,25	4,06
143	275	212	16,49	90	-1,49	0,23	0,64	6,66
144	275	276	108,89	90	0,54	0,08	0,10	2,32
145	276	277	113,03	90	0,50	0,08	0,08	2,32
146	277	224	110,35	90	0,46	0,07	0,07	2,03
147	217	229	125,17	90	0,93	0,15	0,27	4,35
148	229	233	108,70	90	0,10	0,02	0,00	0,58
149	233	221	126,91	90	-0,92	0,14	0,26	4,06
150	233	232	101,66	90	0,01	0,00	0,00	0,00
151	232	220	130,50	90	-0,90	0,14	0,25	4,06
152	232	236	104,12	90	-0,10	0,01	0,00	0,29
153	236	224	132,68	90	-0,92	0,14	0,26	4,06

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
154	229	241	128,10	90	0,65	0,10	0,14	2,90
155	241	245	108,93	90	0,09	0,01	0,00	0,29
156	245	233	127,13	90	-0,65	0,10	0,14	2,90
157	245	244	100,30	90	0,01	0,00	0,00	0,00
158	244	232	128,86	90	-0,64	0,10	0,13	2,90
159	244	248	106,63	90	-0,08	0,01	0,00	0,29
160	248	236	131,48	90	-0,64	0,10	0,13	2,90
161	241	253	130,33	90	0,37	0,06	0,05	1,74
162	253	257	108,19	90	0,08	0,01	0,00	0,29
163	257	245	129,14	90	-0,37	0,06	0,05	1,74
164	257	256	100,48	90	0,00	0,00	0,00	0,00
165	256	244	128,13	90	-0,37	0,06	0,05	1,74
166	256	260	106,63	90	-0,08	0,01	0,00	0,29
167	260	248	128,13	90	-0,37	0,06	0,05	1,74
168	253	265	108,85	90	0,13	0,02	0,01	0,58
169	265	269	109,18	90	0,05	0,01	0,00	0,29
170	269	257	109,13	90	-0,11	0,02	0,00	0,58
171	269	268	99,47	90	0,00	0,00	0,00	0,00
172	268	256	108,80	90	-0,11	0,02	0,00	0,58
173	268	272	106,90	90	-0,05	0,01	0,00	0,29
174	272	260	107,87	90	-0,13	0,02	0,01	0,58
500	68	502	136,35	63	0,01	0,00	0,00	0,00
502	503	132	159,32	63	0,01	0,00	0,00	0,00
503	23	501	270,75	140	0,24	0,02	0,00	0,58
400	30	400	211,31	125	0,13	0,01	0,00	0,29
401	400	31	307,00	125	0,13	0,01	0,00	0,29
402	115	401	298,22	110	0,21	0,02	0,01	0,58
403	401	117	237,70	110	0,21	0,02	0,01	0,58
404	103	402	298,34	90	-9,75	1,53	20,66	44,32
405	402	86	244,45	90	-9,75	1,53	20,66	48,92
406	85	403	445,80	90	-3,36	0,53	2,87	15,35
407	403	84	357,50	90	-3,36	0,53	2,87	15,35
408	83	404	220,76	90	-3,44	0,54	3,01	15,64
409	404	81	206,78	90	-3,44	0,54	3,01	15,64
410	66	405	347,00	160	0,45	0,02	0,00	0,58
411	405	67	255,73	160	0,45	0,02	0,00	0,58
30	504	6	126,92	160	27,08	1,35	8,32	43,16
62	73	75	-	-	0,10	0,00	-32,26	-
501	502	503	-	-	0,01	0,00	-33,73	-
504	501	29	-	-	0,24	0,00	-42,00	-

ID Tub.	Nodo inicial	Nodo final	Long. [m]	D [mm]	Q [L/s]	V [m/s]	Pérdidas unitarias [m/km]	Sobre presión [m]
9	6	7	-	110	7,11	0,75	27,94	-
11	10	9	-	110	12,23	1,29	19,97	-
8	4	504	-	160	27,08	1,35	1,67	-