



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

DISEÑO DE SOLUCIONES TÉCNICAS, A NIVEL DE INGENIERÍA CONCEPTUAL,
A PROBLEMAS EN SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE
RURAL. CASOS APR COGOTÍ Y RAPEL.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

FERNANDA ANDREA CID LIRA

PROFESOR GUÍA:

ADOLFO OCHOA LLANGATO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

LEONARDO CEPEDA ARAYA

MARÍA JOSÉ ARELLANO HERNÁNDEZ

SANTIAGO DE CHILE

2022

Resumen.

Actualmente Chile tiene un alto desarrollo económico y se ve reflejado en el crecimiento del país, sobre todo en las grandes ciudades. De otra manera, las zonas rurales no muestran tanto crecimiento ya que sus habitantes se trasladan a las ciudades en busca de mayores oportunidades.

Por otro lado, la escasez hídrica ha aumentado en todo el país durante los últimos años y el consumo aumenta de manera insostenible en relación con la disponibilidad real del recurso.

Con respecto al agua potable para consumo humano, en zonas rurales son organizaciones llamadas "Comité de Agua Potable Rural (APR)" las que están a cargo de proveer este servicio y tienen la obligación de entregar calidad, continuidad y cantidad de agua para toda la población de la zona.

Mediante el estudio de la normativa vigente se estudian diseños sobre las soluciones a algunos problemas existentes en Sistemas de Agua Potable Rural. También se realizan visitas a las localidades en estudio.

A raíz de lo anterior se modelan y analizan dos sistemas de agua potable ya existentes: APR Rapel y APR Cogotí. Principalmente se diseña una proyección a corto y largo plazo de los caudales de consumo para los APR. Para esto se utiliza el programa EPANET y planillas Excel. También se diseñan las soluciones a problemas actuales mencionados por dirigentes y operadores del sistema utilizando la modelación realizada.

Los resultados de EPANET son caudales, velocidades y presiones. Estas se verifican para así desarrollar un diseño a nivel de ingeniería conceptual, especificando materiales de tuberías, estanques, bombas y grifos necesarios para abastecer a la población proyectada a corto y largo plazo con el objetivo de cumplir con la normativa y brindar un servicio adecuado.

Tabla de contenido.

1	Introducción.....	1
1.1	Introducción.	1
1.2	Objetivos generales.	2
1.3	Objetivos específicos.	2
1.4	Alcance y metodología de trabajo.	3
2	Marco teórico.	4
2.1	Situación hídrica actual de Chile.	4
2.2	Normativa vigente aplicable.	5
2.3	Información extraída de los documentos anteriores.	5
2.3.1	Volumen de Estanques.....	6
2.3.1.1	Volumen de Regulación.....	6
2.3.1.2	Volumen de Incendio.	6
2.3.1.3	Volumen de Estanques.....	7
2.3.2	Población futura.	8
2.3.2.1	Tasa de crecimiento.	8
2.3.2.2	Población proyectada.....	9
2.3.3	Dotación	10
2.3.4	Aguas no contabilizadas (ANC).....	10
2.3.5	Coeficientes y factores de máximo consumo.	11
2.3.5.1	Coeficiente del mes de máximo consumo (CMMC).	11
2.3.5.2	Coeficiente del día de máximo consumo en el mes de máximo consumo (CDMC):.....	11
2.3.5.3	Factor del día de máximo consumo (FDMC):.....	11
2.3.5.4	Factor de la hora de máximo consumo (FHMC).	12
2.3.6	Cálculo de dotaciones.	12
2.3.6.1	Dotación de consumo (Dc).	12
2.3.6.2	Dotación de producción (Dp).	12
2.3.7	Caudales.	13
2.3.7.1	Caudal medio diario de agua potable (Qmd):.....	13
2.3.7.2	Caudal máximo diario (Qmáxd):	13

2.3.7.3 Caudal máximo horario (Q _{máxh}):	13
2.3.8 Presiones de servicio.	13
2.3.9 Conducción.....	14
2.3.9.1 Rango de velocidades.	14
2.4 Definiciones.....	14
3 Descripción de los casos de estudio.....	16
3.1 Rapel.....	17
3.1.1 Localidad.....	17
3.1.2 Demografía.	18
3.1.3 Infraestructura del APR.	19
3.2 Cogotí 18.	23
3.2.1 Localidad.....	23
3.2.2 Demografía.	24
3.2.3 Infraestructura del APR.	25
4 Problemas que resolver y criterios para elegirlos.....	29
4.1 Rapel.....	29
4.2 Cogotí 18	29
5 Estudio de alternativas de diseño a nivel de ingeniería conceptual.	31
5.1 Análisis previos.	31
5.1.1 Estudio de la materialidad de la red.....	31
5.1.2 Cálculo de población futura.....	31
5.1.2.1 Rapel.....	31
5.1.2.2 Cogotí 18.	32
5.2 Estudio de soluciones.....	33
5.2.1 Rapel.....	33
5.2.1.1 Volumen de estanques.....	33
5.2.1.2 Nuevo pozo.	35
5.2.1.3 Ampliación sector Los Ángeles.	37
5.2.2 Cogotí 18	38
5.2.2.1 Volumen de estanques.....	38
5.2.2.2 Ampliación sector Las Garillas.....	40

5.2.2.3	Ampliación sector La Cuadra.....	41
5.2.2.4	Cambio de matriz impulsión.	42
6	Modelación hidráulica de la red.	44
6.1	Verificación de resultados.....	45
6.2	Rapel.....	45
6.2.1	Red actual.....	46
6.2.1.1	Distribución sectores Higuera, P.N. Milenio, P. el Manzano, Delicias, Rapel, Los Ángeles y Pedregal bajo.....	47
6.2.1.2	Distribución sector Pedregal alto.	51
6.2.2	Proyección año 2025.	54
6.2.2.1	Distribución sectores Higuera, P.N. Milenio, P. el Manzano, Delicias, Rapel, Los Ángeles y Pedregal bajo.....	56
6.2.2.2	Distribución sector Pedregal alto.	64
6.2.3	Proyección año 2042.	67
6.2.3.1	Distribución sectores Higuera, P.N. Milenio, P. el Manzano, Delicias, Rapel, Los Ángeles y Pedregal bajo.....	68
6.2.3.2	Distribución sector Pedregal alto.	77
6.3	Cogotí.....	80
6.3.1	Red Actual.....	80
6.3.1.1	Distribución sector Cogotí 18.	81
6.3.1.2	Distribución sectores Los Llanos y La Cuadra.	90
6.3.1.3	Distribución sector Las Tinajas.	94
6.3.2	Proyección año 2025.	98
6.3.2.1	Distribución sector Cogotí 18.	98
6.3.2.2	Distribución sectores Los Llanos y La Cuadra.	107
6.3.2.3	Distribución sector Las Tinajas.	111
6.3.3	Proyección año 2042.	115
6.3.3.1	Distribución sector Cogotí 18.	115
6.3.3.2	Distribución sectores Los Llanos y La Cuadra.	124
6.3.3.3	Distribución sector Las Tinajas.	129
7	Resumen	135
7.1	APR Rapel	135
7.2	APR Cogotí.	136

8 Conclusiones	138
9 Bibliografía.....	140
Anexos	142

Índice de figuras.

Ilustración 1: Aplicación cálculo de incendio. Fuente: Manual de proyectos de agua potable rural, Julio 2019, p.27.....	6
Ilustración 2: Ubicación APR.	16
Ilustración 3: Mapa de la zona donde se encuentra Rapel. Fuente: Elaboración propia en Google Earth.	18
Ilustración 4: Layout impulsión APR Rapel. Fuente: Elaboración propia.....	20
Ilustración 5: Distribución y estanques APR Rapel. Fuente: Elaboración propia.	21
Ilustración 6: Detalle distribución APR Rapel, acercamiento en la ubicación de los estanques y sector Rapel y Pedregal. Fuente: Elaboración propia.....	22
Ilustración 7: Sectores del APR Rapel. Fuente: Elaboración propia.	22
Ilustración 8: Mapa de la zona donde se encuentra Cogotí 18. Fuente: Elaboración propia en Google Earth.	24
Ilustración 9: Layout impulsión Cogotí 18. Fuente: Elaboración propia.	26
Ilustración 10: Distribución y estanques APR Cogotí 18. Fuente: Elaboración propia.	27
Ilustración 11: Detalle distribución APR Cogotí, sector Cogotí. Fuente: Elaboración propia.	27
Ilustración 12: Sectores APR Cogotí. Fuente: Elaboración propia.	28
Ilustración 13: Ubicación pozo APR Rapel.	36
Ilustración 14: Ubicación ampliación sector Los Ángeles. Fuente: Elaboración propia.	37
Ilustración 15: Ubicación ampliación sector Las Garillas. Fuente: Elaboración propia.	41
Ilustración 16: Ubicación ampliación sector La Cuadra. Fuente: Elaboración propia.	42
Ilustración 17: Ubicación tubería que requiere ser cambiada. Fuente: Elaboración propia.	43
Ilustración 18: Modelo red actual.....	47
Ilustración 19: ID nudos.....	47
Ilustración 20: ID Líneas.	48
Ilustración 21: Modelo red actual.....	52
Ilustración 22: ID Nudos.	52
Ilustración 23: ID Líneas.	53
Ilustración 24: Ubicación grifo.....	55
Ilustración 25: Modelo distribución proyectada para el año 2025.	56
Ilustración 26: ID Nudos.	57
Ilustración 27: ID Líneas.	57
Ilustración 28: Modelo distribución proyectada para el año 2025.	65
Ilustración 29: ID Nudos.	65

Ilustración 30: ID Líneas.	66
Ilustración 31: Modelo distribución proyectada para el año 2042.	68
Ilustración 32: Diámetro tuberías modelo distribución proyectada para el año 2042, acercamiento en sectores Pedregal y Rapel. APR Rapel.	69
Ilustración 33: ID Nudos.	69
Ilustración 34: ID Líneas.	70
Ilustración 35: Modelo distribución proyectada para el año 2042.	78
Ilustración 36: ID Nudos.	78
Ilustración 37: ID Líneas.	79
Ilustración 38: Modelo red actual.....	81
Ilustración 39: Material tuberías APR Cogotí, sector Cogotí.	82
Ilustración 40: ID Nudos.	83
Ilustración 41: ID Líneas.	84
Ilustración 42: Modelo red actual.....	91
Ilustración 43: ID Nudos.	91
Ilustración 44: ID Líneas.	92
Ilustración 45: Modelo red actual.....	95
Ilustración 46: ID Nudos.	96
Ilustración 47: ID Líneas.	96
Ilustración 48: Modelo distribución proyectada para el año 2025.	99
Ilustración 49: ID Nudos.	100
Ilustración 50: ID Líneas.	101
Ilustración 51: Modelo distribución proyectada para el año 2025.	108
Ilustración 52: ID Nudos.	109
Ilustración 53: ID Líneas.	109
Ilustración 54: Modelo distribución proyectada para el año 2025	112
Ilustración 55: ID Nudos.	113
Ilustración 56: ID Líneas.	113
Ilustración 57: Modelo distribución proyectada para el año 2042.	116
Ilustración 58: ID Nudos.	117
Ilustración 59: ID Líneas.	118
Ilustración 60: Modelo distribución proyectada para el año 2042.	125
Ilustración 61: ID Nudos.	126
Ilustración 62: ID Líneas.	126
Ilustración 63: Modelo distribución proyectada para el año 2042.	130
Ilustración 64: ID Nudos.	131
Ilustración 65: ID Líneas.	132
Ilustración 66: Detalle ID Nudos red actual APR Rapel, sectores Higuera y P.N. Milenio.	154
Ilustración 67: Detalle ID Nudos red actual APR Rapel, sectores Pedregal bajo, Delicias y Rapel.	155

Ilustración 68: Detalle ID Líneas red actual APR Rapel, sectores higuera y P.N. Milenio.	156
Ilustración 69: Detalle ID Líneas red actual APR Rapel, sectores Delicias y Pedregal bajo.	157
Ilustración 70: Detalle ID Líneas red actual APR Rapel, sector Rapel.	158
Ilustración 71: Detalle ID Nudos red proyección 2025, sectores Higuera y P.N. Milenio.	159
Ilustración 72: Detalle ID Nudos red proyección 2025, sector Los Ángeles.	160
Ilustración 73: Detalle ID Nudos red proyección 2025, sector Pedregal bajo, Delicias y Rapel.	160
Ilustración 74: Detalle ID Líneas red proyección 2025, sectores Higuera y P.N. Milenio.	161
Ilustración 75: Detalle ID Líneas red proyección 2025, sectores Pedregal alto, Delicias y Rapel.	161
Ilustración 76: Detalle ID Líneas red proyección 2025, sector Los Ángeles.	162
Ilustración 77: Detalle ID Nudos red proyección 2042, sectores Higuera y P.N. Milenio.	163
Ilustración 78: Detalle ID Nudos red proyección 2042, sector P.N. Milenio.	164
Ilustración 79: Detalle ID Nudos red proyección 2042, sector Los Ángeles.	164
Ilustración 80: Detalle ID Nudos red proyección 2042, sectores Pedregal bajo, Delicias y Rapel.	165
Ilustración 81: Detalle ID Líneas red proyección 2042, sectores Higuera y P.N. Milenio.	165
Ilustración 82: Detalle ID Líneas red proyección 2042, sector P.N. Milenio.	166
Ilustración 83: Detalle ID Líneas red proyección 2042, sector Los Ángeles	166
Ilustración 84: Detalle ID Líneas red proyección 2042, sectores Pedregal bajo, Delicias y Rapel.	167
Ilustración 85: Detalle ID Nudos red actual, sector Cogotí.	168
Ilustración 86: Detalle ID Nudos red actual, sector Cogotí.	169
Ilustración 87: Detalle ID Líneas red actual, sector Cogotí.	170
Ilustración 88: Detalle ID Líneas red actual, sector Cogotí.	171
Ilustración 89: Detalle ID Líneas red actual, sector Cogotí.	172
Ilustración 90: Detalle ID Líneas red actual, sector Cogotí.	173
Ilustración 91: Detalle ID Nudos red actual, sectores Los Llanos y La Cuadra.	173
Ilustración 92: Detalle ID Líneas red actual, sectores Los Llanos y La cuadra.	173

Ilustración 93: Detalle ID Nudos proyección 2025, sector Cogotí.	174
Ilustración 94: Detalle ID Líneas proyección 2025, sector Cogotí.	175
Ilustración 95: Detalle ID Nudos red proyección 2025, sectores Los Llanos y La Cuadra.	176
Ilustración 96: Detalle ID Líneas proyección 2025, sectores Los Llanos y La Cuadra.	176
Ilustración 97: Detalle ID Nudos proyección 2042, sector Cogotí.	177
Ilustración 98: Detalle ID Nudos proyección 2042, sector Cogotí.	178
Ilustración 99: Detalle ID Nudos proyección 2042, sector Cogotí.	179
Ilustración 100: Detalle ID Líneas proyección 2042, sector Cogotí.	180
Ilustración 101: Detalle ID Líneas proyección 2042, sector Cogotí.	181
Ilustración 102: Detalle ID Líneas proyección 2042, sector Cogotí.	182
Ilustración 103: Detalle ID Nudos red proyección 2042, sectores Los Llanos y La Cuadra.	183
Ilustración 104: Detalle ID Líneas red proyección año 2042, sectores Los Llanos y La Cuadra.	183
Ilustración 105: Instalaciones APR Rapel: Cloración, presostato, manómetro, válvulas.	184
Ilustración 106: Instalaciones APR Rapel: válvula de retención, caudalímetro y pozo con válvula de aire.	184
Ilustración 107: Instalaciones APR Rapel: sistema de cloración.	185
Ilustración 108: Instalaciones APR Rapel: sistema de cloración.	186
Ilustración 109: Instalaciones APR Rapel: tablero eléctrico.	187
Ilustración 110: Instalaciones APR Rapel: Estanque Rapel 50 [m3].	188
Ilustración 111: Instalaciones APR Rapel: Estanques Rapel 50 [m3].	188
Ilustración 112: Instalaciones APR Rapel: válvulas cámara anterior a los estanques.	189
Ilustración 113: Pueblo Rapel.	189
Ilustración 114: Zona pueblo Rapel, sector Pedregal.	190
Ilustración 115: Zona pueblo Rapel, sector Los Ángeles.	190
Ilustración 116: Zona pueblo Rapel.	191
Ilustración 117: Infraestructura APR Cogotí: caudalímetro, manómetro, presostato.	191
Ilustración 118: Infraestructura APR Cogotí: Generador no conectado.	192
Ilustración 119: Infraestructura APR Cogotí: válvula de retención.	192
Ilustración 120: Infraestructura APR Cogotí: pozo, filtro, válvulas.	193
Ilustración 121: Infraestructura APR Cogotí: filtro.	194
Ilustración 122: Infraestructura APR Cogotí: estanque Los Llanos.	195
Ilustración 123: Infraestructura APR Cogotí: Tubería impulsión en mal estado.	195
Ilustración 124: Infraestructura APR Cogotí: Tubería impulsión en mal estado.	196

Ilustración 125: Infraestructura APR Cogotí: Tubería impulsión en mal estado.....	197
Ilustración 126: Infraestructura APR Cogotí: Tubería impulsión en mal estado.....	198
Ilustración 127: Infraestructura APR Cogotí: Tubería impulsión en mal estado.....	199
Ilustración 128: Infraestructura APR Cogotí: Tubería impulsión en mal estado.....	199
Ilustración 129: Zona pueblo Cogotí, sector Los Llanos	200
Ilustración 130: Zona pueblo Cogotí, sector Las Garillas	200
Ilustración 131: Zona pueblo Cogotí.	201

Índice de tablas.

Tabla 1: Número de grifos de incendio de 16 [l/s] en uso simultáneo. Fuente: NCh 691-2015.	7
Tabla 2: Tipos de estanques. Fuente: Elaboración propia en base a Manual de Proyectos de Agua Potable Rural, versión Julio 2019.	7
Tabla 3: Tasa de crecimiento.	9
Tabla 4: Dotaciones de consumo.	10
Tabla 5: Presión de trabajo.	13
Tabla 6: Fechas visitas a los APRS.	17
Tabla 7: Detalle estanques APR Rapel.	20
Tabla 8: Simbología tuberías APR Rapel.	20
Tabla 9: Resumen y características de los arranques.	23
Tabla 10: Detalle estanques APR Cogotí.	25
Tabla 11: Simbología tuberías APR Cogotí.	26
Tabla 12: Problemas APR Rapel.	29
Tabla 13: Problemas APR Cogotí.	30
Tabla 14: Propiedades materiales de tuberías.	31
Tabla 15: Población actual APR Rapel.	31
Tabla 16: Población actual APR Cogotí.	32
Tabla 17: Población proyectada APR Rapel y Cogotí. Fuente: Elaboración propia.	33
Tabla 18: Coeficientes y factores.	33
Tabla 19: Volúmenes de regulación.	34
Tabla 20: Volúmenes de incendio.	34
Tabla 21: Volúmenes de estanques.	35
Tabla 22: Coeficientes y factores.	38
Tabla 23: Volúmenes de regulación.	38
Tabla 24: Volúmenes de incendio.	39
Tabla 25: Volúmenes de estanques.	39
Tabla 26: Diámetros internos tuberías.	45
Tabla 27: Resumen límites de presión y velocidad.	45
Tabla 28: Demandas puntos de alto consumo. Fuente: Elaboración propia.	46
Tabla 29: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.	46
Tabla 30: Características nudos.	49
Tabla 31: Características líneas (primera parte).	50
Tabla 32: Características líneas (segunda parte).	51
Tabla 33: Características nudos.	53
Tabla 34: Características líneas.	54
Tabla 35: Arranques por sector abastecimiento población año 2025 y ampliación sector Los Ángeles.	54
Tabla 36: Puntos de alta demanda año 2025.	55

Tabla 37: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.....	57
Tabla 38: Características nudos.....	58
Tabla 39: Características Líneas (primera parte).....	59
Tabla 40: Características Líneas (segunda parte).....	60
Tabla 41: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.....	61
Tabla 42: Características Nudos.	62
Tabla 43: Características Líneas (primera parte).....	63
Tabla 44: Características Líneas (segunda parte).....	64
Tabla 45: Características Nudos.	66
Tabla 46: Características Líneas.	67
Tabla 47: Arranques por sector año 2042. Fuente: Elaboración propia.	67
Tabla 48: Resumen demandas población futura. Fuente: Elaboración propia.	70
Tabla 49: Características Nudos.	71
Tabla 50: Características Líneas (primera parte).....	72
Tabla 51: Características Líneas (segunda parte).....	73
Tabla 52: Resumen demandas población futura. Fuente: Elaboración propia.	74
Tabla 53: Características Nudos.	75
Tabla 54: Características Líneas (primera parte).....	76
Tabla 55: Características Líneas (segunda parte).....	77
Tabla 56: Características nudos.....	79
Tabla 57: Características Líneas.	80
Tabla 58: Puntos de alta demanda, APR Cogotí.	80
Tabla 59: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.....	85
Tabla 60: Características Nudos.	85
Tabla 61: Características Líneas (primera parte).....	86
Tabla 62: Características Líneas (segunda parte).....	87
Tabla 63: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.....	88
Tabla 64: Características Nudos.	88
Tabla 65: Características Líneas (primera parte).....	89
Tabla 66: Características Líneas (segunda parte).....	90
Tabla 67: Características Nudos.	93
Tabla 68: Características Líneas.	94
Tabla 69: Características Nudos.	97
Tabla 70: Características Líneas.	98
Tabla 71: Arranques por sector, abastecimiento año 2025 y ampliaciones Las Garillas y La Cuadra.....	98
Tabla 72: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.....	102
Tabla 73: Características Nudos.	102
Tabla 74: Características Líneas (primera parte).....	103
Tabla 75: Características Líneas (segunda parte).....	104

Tabla 76: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.....	104
Tabla 77: Características Nudos.	105
Tabla 78: Características Líneas (primera parte).....	106
Tabla 79: Características Líneas (segunda parte).....	107
Tabla 80: Características Nudos.	110
Tabla 81: Características Líneas.	111
Tabla 82: Características Nudos.	114
Tabla 83: Características Líneas.	114
Tabla 84: Arranques por sector, abastecimiento año 2042.	115
Tabla 85: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.....	119
Tabla 86: Características Nudos.	119
Tabla 87: Características Líneas (primera parte).....	120
Tabla 88: Características Líneas (segunda parte).....	121
Tabla 89: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.....	121
Tabla 90: Características Nudos.	122
Tabla 91: Características Líneas (primera parte).....	123
Tabla 92: Características Líneas (segunda parte).....	124
Tabla 93: Características Nudos.	127
Tabla 94: Características Líneas (primera parte).....	128
Tabla 95: Características Líneas (segunda parte).....	129
Tabla 96: Características Nudos.	133
Tabla 97: Características Líneas.	134
Tabla 98: Resumen tuberías APR Rapel.	135
Tabla 99: Resumen Estanques APR Rapel.	135
Tabla 100: Resumen bombas APR Rapel.....	135
Tabla 101: Resumen Grifos APR Rapel.	136
Tabla 102: Resumen tuberías APR Cogotí.	136
Tabla 103: Resumen Estanques APR Cogotí.	136
Tabla 104: Resumen bombas APR Cogotí.....	136
Tabla 105: Consumos arranques de alta demanda año 2022, APR Rapel...	142
Tabla 106: Producción y consumo año 2019 APR Rapel.	142
Tabla 107: Producción y consumo año 2020 APR Rapel.	143
Tabla 108: Producción y consumo año 2021 APR Rapel.	143
Tabla 109: Producción y consumo año 2022 APR Rapel.	143
Tabla 110: Demanda por cantidad de arranques. APR Rapel red actual. ...	144
Tabla 111: Demanda por cantidad de arranques. Estado con incendio APR Rapel, red proyección año 2025	145
Tabla 112: Demanda por cantidad de arranques. Estado sin incendio APR Rapel, red proyección año 2025.	145
Tabla 113: Demanda por cantidad de arranques. Estado con incendio APR Rapel, red proyección año 2042.	146

Tabla 114: Demanda por cantidad de arranques. Estado sin incendio APR Rapel, red proyección año 2042.	146
Tabla 115: Demanda por cantidad de arranques. Estado con incendio APR Cogotí, red actual.	147
Tabla 116: Demanda por cantidad de arranques. Estado sin incendio APR Cogotí, red actual.	148
Tabla 117: Demanda por cantidad de arranques. Estado con incendio APR Cogotí, red proyección año 2025.	148
Tabla 118: Demanda por cantidad de arranques. Estado sin incendio APR Cogotí, red proyección año 2025.	149
Tabla 119: Demanda por cantidad de arranques. Estado con incendio APR Cogotí, red proyección año 2042.	149
Tabla 120: Demanda por cantidad de arranques. Estado sin incendio APR Cogotí, red proyección año 2042.	150
Tabla 121: Habitantes adicionales según la población escolar. APR Rapel.	150
Tabla 122: Habitantes adicionales según la población escolar. APR Cogotí 18.	150
Tabla 123: Detalle tuberías agregadas APR Rapel.	151
Tabla 124: Detalle tuberías agregadas APR Cogotí 18.	153

1 Introducción.

En este primer apartado se hace una introducción al tema a tratar en la presente memoria. En particular se explicarán las siguientes cuestiones: (i) Introducción; (ii) Objetivos generales; (iii) Objetivos específicos y, (iv) Alcance y metodología de trabajo.

1.1 Introducción.

Actualmente Chile tiene un alto desarrollo económico y se ve reflejado en el crecimiento del país, sobre todo en las grandes ciudades, una de estas es la metrópoli de Santiago. De otra manera, las zonas rurales no muestran tanto crecimiento ya que sus habitantes se trasladan a las ciudades en busca de mayores oportunidades. Esto aumenta aún más el crecimiento de las zonas urbanas a diferencia de las rurales. En el año 1992 el 83.5% de la población chilena habitaba en zona urbana, en el año 2002 ya era el 86.6% y para el año 2017 un 87.8%. Hasta hace 5 años solo el 12.3% de la población chilena reside en zonas rurales y a medida que pasan los años, este número continúa disminuyendo (Fuente: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Estadísticas Territoriales.)

Por otro lado, la escasez hídrica ha aumentado en todo el país durante los últimos años. Las bajas precipitaciones han generado un déficit del agua dulce. "Sólo en los últimos 50 años el agua ha sido vista como un recurso escaso para la humanidad" (Santibáñez, p.147). El consumo aumenta de manera insostenible en relación con la disponibilidad real del recurso. El agua cumple tres roles esenciales para la sostenibilidad del desarrollo: sustentación de ecosistemas, aseguramiento de la salud mundial y desarrollo económico. Más del 70% de los recursos hídricos mundiales son utilizados para la producción de alimentos, lo que implica que una crisis hídrica repercutirá en el abastecimiento y precio de los alimentos (Santibáñez).

En Chile, hay una gran brecha de necesidades básicas como agua, luz y gas entre zonas urbanas y rurales. Con respecto al agua potable para consumo humano, en ciudades son empresas concesionarias privadas las que están a cargo de proveer este servicio y tienen la obligación de entregar calidad, continuidad y cantidad de agua para toda la población de la zona. En cambio, en zonas rurales este abastecimiento se encuentra a cargo de organizaciones llamadas "Comité de Agua Potable Rural (APR)".

Las APR son organizaciones sin fines de lucro dirigidas, administradas y operadas por habitantes de la zona en la que se encuentran y las inversiones necesarias son financiados, generalmente, por instituciones públicas (DOH, municipalidades, gobierno regional, ministerios). Algunos de los sistemas

presentan deficiencias tales como: mala calidad del agua, falta de agua, altas pérdidas, gestión inadecuada, tardanza en aprobación de proyectos para mejoras, entre otros. Los sistemas de Agua Potable Rural solo consideran el agua potable para consumo humano y no las de riego, por lo general hay canales para esto. Unos pocos sistemas también incluyen sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales.

El presente trabajo de título se enfoca en dos APR: Cogotí 18 y Rapel. Ambos quedan en la región de Coquimbo, provincia Limarí. La localidad de Rapel se encuentra en la comuna de Monte Patria, en él viven casi 1600 personas que se dedican principalmente a la agricultura. Por otro lado, la localidad de Cogotí 18 está ubicado en la comuna de Combarbalá, en él viven alrededor de 2200 personas y al igual que en Rapel, se dedican a la agricultura como actividad principal, seguido por la ganadería.

Es de alto interés investigar esto ya que, el consumo de agua es una necesidad básica para el ser humano. La mayoría de los habitantes en Chile tiene esta necesidad cubierta, pero hay una parte que no. Un aporte en este ámbito está directamente relacionado con la calidad de vida de las personas y no solo en la comodidad. Le genera valor al país mejorando las necesidades básicas de quienes las tienen menos cubiertas.

1.2 Objetivos generales.

- Encontrar y plantear soluciones a los problemas presentes en los APR de Cogotí 18 y Rapel.
- Realizar un levantamiento de la situación actual de cada APR y comparar esta condición con el estándar óptimo normativo, para determinar las brechas que existen y garantizar calidad, continuidad y cantidad en el servicio de abastecimiento de agua potable a comunidades rurales.

1.3 Objetivos específicos.

Los objetivos específicos que persigue la presente memoria de título son los siguientes:

- Revisar la bibliografía disponible sobre sistemas de agua potable rural y la normativa vigente para el diseño de obras.
- Realizar un catastro de cada una de las localidades en estudio del presente trabajo.
- Enlistar las brechas entre la condición actual y la condición óptima de operación que garantice continuidad, calidad y cantidad en el suministro de agua potable, con un horizonte de 20 años.
- Desarrollar diseños, a nivel de ingeniería conceptual, para resolver los problemas más relevantes detectados.

1.4 Alcance y metodología de trabajo.

Para llevar a cabo este trabajo se utilizará la siguiente metodología:

- Estudio de la normativa técnica sobre sistemas de agua potable rural.
- Revisión de la bibliografía para establecer el estándar que se estima óptimo para la operación de un sistema de agua potable rural.
- Ejecución de los catastros.
- Análisis de problemas.
- Posibles soluciones.
- Análisis y elección de soluciones para cada problema.

2 Marco teórico.

En este capítulo se explicará el marco teórico en el que se enmarca la presente memoria. En particular se hablará de los siguientes temas: (i) Situación hídrica actual de Chile; (ii) Normativa vigente aplicable; (iii) Información extraída de estos documentos; y, (iv) Definiciones relevantes.

2.1 Situación hídrica actual de Chile.

Hoy en día Chile se encuentra en un estado de sequía hídrica, "el 53% de las comunas del país fueron declaradas en sequía hídrica, viviendo en su mayoría bajo racionamiento del recurso" (Alvarado & de la Vega Planet, 2022). En base al último estudio (2019) de World Resources Institute del Pacto Mundial de las Naciones Unidas, "17 países de 164, que reúnen a una cuarta parte de la población mundial, enfrentan un estrés hídrico - cuando la demanda de agua es más alta que la cantidad disponible - extremadamente alto" (Alvarado & de la Vega Planet, 2022). En esta investigación, Chile se encuentra en el nivel "estrés hídrico alto", es decir, cuando la demanda de agua es mayor a la cantidad disponible.

Otro estudio de la misma organización determinó que en Chile, las altas temperaturas y el cambio en los patrones de lluvia, impulsan al país a una mayor posibilidad de enfrentar una disminución en el suministro de agua. (País circular, 2019).

La escasez no ha afectado a todo el país al mismo nivel. En la IV región de Coquimbo, donde se encuentran los APR estudiados en esta memoria, "alcanzó un déficit en la caída de precipitaciones superior al 80%. La falta de lluvias ha impactado fuertemente en la acumulación de agua en los distintos embalses" (Ortiz, 2022). Las grandes ciudades de la región han presentado una fuerte escasez hídrica:

"La Serena y Coquimbo se encuentran en un escenario de riesgo y puede que se vean altamente perjudicadas, ya que si las precipitaciones se mantienen como hasta ahora, o sea, nulas, el agua del Puclaro se acabará casi totalmente en noviembre próximo." (Ortiz, 2022)

El APR de Cogotí, ubicado en la comuna de Combarbalá, no se queda abajo con esta insuficiencia de agua. En el año 2021 se vieron en la necesidad de construir dos pozos más. Aun así, estas medidas no fueron suficientes y los ayudó la concesionaria encargada del agua potable de la ciudad de Combarbalá, mediante camiones aljibes:

"Existen situaciones más críticas que la del principal centro urbano regional, pero que se han resuelto con inversión en infraestructura. Por ejemplo, en

Combarbalá se ha debido trasladar agua en camiones aljibes desde Ovalle para mantener el servicio a más de 2700 hogares, pues las fuentes en la zona están tan deprimidas tras más de una década de sequía, que no dan abasto.”(Ortiz, 2022).

Por otro lado, el APR de Rapel, ubicado en la comuna de Monte Patria no ha necesitado de tales servicios. No obstante, esta comuna es una de las más afectadas con este problema “que muestra un contraste de colores, en el que el verdor de sus valles comienza a perderse y el árido paisaje se apodera cada día con más fuerza de la zona.”(Escalona Zúñiga, 2022).

2.2 Normativa vigente aplicable.

Para el presente trabajo de título se utilizan principalmente las siguientes referencias: Norma NCh 691, Manual de proyectos de agua potable rural y Manual de soluciones de saneamiento sanitario para zonas rurales. Las que serán descritas brevemente a continuación.

- NCh691 (Autor: Instituto Nacional de Normalización, INN): Agua potable - Producción, conducción, almacenamiento y distribución - Requisitos de diseño.

Esta norma tiene su última versión del año 2015 en donde se establece los requisitos generales mínimos que deben cumplir los sistemas de producción y distribución de agua potable, en lo que corresponde al diseño de las obras de conducción, regulación, almacenamiento y distribución, desde la fuente de abastecimiento de agua hasta los puntos de entrega. Esta norma también se aplica en el caso de reestudio de cada componente de un sistema existente de agua potable.

Para los casos donde se debía detallar criterios que no se encontraban en este documento se utilizó la versión anterior del año 1998.

- Manual de proyectos de agua potable rural (Autor: Subdirección de Agua Potable Rural del Ministerio de Obras Públicas):

El objetivo de este manual es ser una guía para el diseño de estas obras. Es más específico para sistemas rurales que la norma NCh691 ya que está enfocado directamente en sistemas de Agua Potable Rural

- Manual de soluciones de saneamiento sanitario para zonas rurales (Departamento de Gestión de Inversiones).

Se referenciará este manual cuando sea necesario especificar más sobre lo entregado en el anterior.

2.3 Información extraída de los documentos anteriores.

En este capítulo, se especificarán algunas secciones que son utilizadas más adelante.

2.3.1 Volumen de Estanques.

A continuación, se detalla el cálculo de volumen de estanque según el Manual de Proyectos de Agua potable Rural, versión 2019. Se deben calcular los siguientes volúmenes: regulación, incendio, reserva y luego el total. Después con el volumen total se escoge el tipo de estanque.

2.3.1.1 Volumen de Regulación.

El volumen de regulación se determina en base de las curvas de conducción primaria y de consumo, correspondiente al día de máximo consumo. En caso de no contar con estadística, se debe considerar el 20% del volumen del día de máximo consumo (Ministerio de Obras Públicas, 2019, p.27).

Luego el cociente entre consumo máximo diario y consumo medio diario del mes de mayor consumo tiene un valor mínimo de 1.1, por lo tanto, al valor calculado de consumo medio diario del mes de máximo consumo se le multiplicará por 1.2 (para tener un valor más conservador) y se utilizará como día de máximo consumo para efectos de cálculo.(Ministerio de Obras Públicas, 2019, p.23)

De la misma manera, el cociente entre consumo máximo horario y consumo máximo diario sobre 24 y debe tener un valor mínimo de 1.5, por lo tanto, al valor obtenido de día de máximo consumo se le multiplicará por 1.5 para obtener el consumo máximo horario.(Ministerio de Obras Públicas, 2019, p.23)

2.3.1.2 Volumen de Incendio.

El volumen de incendio depende de la clasificación del sistema.

Solo se considera volumen de incendio para las localidades que se indican:

Tipo 1	Todas las localidades de estas características.
Tipo 2	Solo las que poseen más de 400 viviendas.
Tipo 3	No se considerará volumen de incendio para las localidades de estas características.

Ilustración 1: Aplicación cálculo de incendio. Fuente: Manual de proyectos de agua potable rural, Julio 2019, p.27.

“El volumen de incendio se determinará de acuerdo con la demanda y duración del siniestro. Para Sistemas del Segmento Mayor deberá calcularse de acuerdo a lo señalado en la NCh 691 of 2015 o aquella que la reemplace en el futuro”.

Para Sistemas del Segmento Medio, cuando el volumen de incendio, calculado en base a 2 h de siniestro, supere el volumen de regulación,

considerar 1 h; en cualquier caso, el volumen del estanque debe ser como mínimo 60 m³.

Para Sistemas del Segmento Menor, se instalará válvula de emergencia a la salida de estanque con conexión Storz, como medida de emergencia. En caso de que el acceso al estanque sea difícil para la conexión, considerar instalarla en la matriz.” (Ministerio de Obras Públicas, 2019, p.27).

A continuación, se muestra la tabla de volumen mínimo de incendio según la población servida. Extraída de la norma chilena NCh-691-2015.

Área servida, población en miles de habitantes.	Nº de grifos de 16 [l/s] en uso simultáneo	Volumen mínimo de incendio [m ³]
Hasta 6	1	115
>6-25	2	230
>25-60	3	346
>60-150	5	576
>150	6	690

Tabla 1: Número de grifos de incendio de 16 [l/s] en uso simultáneo. Fuente: NCh 691-2015.

2.3.1.3 Volumen de Estanques.

“Los estanques podrán ser elevados o semienterrados, de acuerdo a consideraciones técnicas y la topografía del terreno. Deberá evaluarse siempre la opción de estanque semienterrado con sistema de presurización.

Se podrán utilizar estanques tipo, de acuerdo a las resoluciones DOH EX. N°4493 de 28 de junio 2011 y Resolución DOH EX. N°7020 de 11 de noviembre 2015, en la tabla siguiente se indican los volúmenes de estanques desarrollados en dichas resoluciones:” (Ministerio de Obras Públicas, 2019, p.28).

Volumen [m ³]	Hormigón armado semienterrado	Hormigón armado elevado H:25	Metálico elevado H:15 [m]	Metálico elevado H:20 [m]	Metálico elevado H:25 [m]
15					
20					
25					
30					
40					
50					
75					
100					
200					

Tabla 2: Tipos de estanques. Fuente: Elaboración propia en base a Manual de Proyectos de Agua Potable Rural, versión Julio 2019.

“En caso de que el tratamiento considere filtración, se debe verificar que el volumen del estanque permita realizar retro lavado, así como la altura del estanque para esta actividad del equipo y si es necesario un equipo de elevación para este fin.

Cuando existan volúmenes de regulación calculados que superen los volúmenes indicados en el Cuadro 9.3 el consultor deberá diseñar uno que deberá cumplir con las condiciones de seguridad y salud equivalentes a los estanques tipo.

Para volúmenes inferiores a 15 m³, se podrán usar estanques prefabricados de materiales plásticos u otros, debidamente autorizados por la Autoridad Sanitaria.

Para estanques elevados se recomienda considerar radio de seguridad equivalente a la altura de la torre más la cuba, en donde no podrán existir viviendas. De todas formas, deberá considerarse como mínimo un radio de seguridad equivalente a la mitad de la altura de la torre más la cuba.” (Ministerio de Obras Públicas, 2019, p.29).

2.3.2 Población futura.

2.3.2.1 Tasa de crecimiento.

“En caso de que considere el mejoramiento de un Sistema de Agua Potable Rural o bien que se encuentre información catastrada de periodos anteriores en la localidad, se debe realizar un análisis en base al crecimiento real de la población conectada al sistema existente, el que se determinará de acuerdo a la fórmula de tasa de crecimiento geométrico, donde:

Ecuación 1: Tasa de crecimiento

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

Donde:

P. actual = Población actual.

Año actual = Año de estudio en ejecución.

P. previo = Población existente en estudio anterior.

Año previo = Año en que se realizó estudio anterior.

La tasa de crecimiento calculada se debe respaldar con información documentada a fin de dar veracidad al cálculo realizado. Se hace presente que el proyectista podrá establecer una Tasa de Crecimiento

distinta, en base a consideraciones de tipo económico y turístico debidamente fundamentadas.

En caso de que no se posea información previa catastrada, o no pueda fundamentarse una tasa de crecimiento para el proyecto, se deberá adoptar la tasa de crecimiento de acuerdo a la zona, la que se presenta a continuación." (Ministerio de Obras Públicas, 2019, p.20)

Zona	Tasa de crecimiento
Zona Central (desde región de Valparaíso a región Ñuble)	3%
Otras Zonas	4%

Tabla 3: Tasa de crecimiento.

2.3.2.2 Población proyectada.

"Para determinar la Población a proyectar en el estudio, primero se debe calcular la Población Base de la localidad. La que se determina proyectando la población actual a 3 años (tiempo estimado que ocurre entre que se termina el diseño y se realiza la ejecución del Sistema).

Las proyecciones de crecimiento se adoptarán de acuerdo con el Modelo de crecimiento Geométrico de la Población

Ecuación 2: Población base.

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

Donde:

Población base = Población inicial al proyectar;

Población futura = Población actual en base al cálculo de capítulo 7.2.2.1;

r = Tasa de crecimiento anual de acuerdo al capítulo 7.2.2.2;

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

Para estimar la demanda de agua potable, se debe estimar previamente la población futura. Para ello se considerará en base a la Población Base con un horizonte de análisis que se extiende por 20 años. Donde el modelo de crecimiento es del Tipo Geométrico:" (Ministerio de Obras Públicas, 2019, p.21)

Ecuación 3: Población futura.

$$Población\ Fututra = Población\ Base \cdot (1 + r)^n$$

Donde:

Población base = Población inicial al proyectar;

Población futura = Población determinada al año n;

$r =$ Tasa de crecimiento anual de acuerdo al capítulo 7.2.2.2;
 $n =$ Número de años.

“Población escolar: En las localidades en que se cuente con establecimientos educacionales, se considera el 35% del alumnado total, como número de habitantes adicionales a la población actual. En caso de internado este porcentaje será de 85%.” (Ministerio de Obras Públicas, 2019, p.19).

2.3.3 Dotación

“Para el caso de sistemas existentes se deben emplear las estadísticas de consumo de los últimos 12 meses para el cálculo de la dotación media. Los nuevos sistemas pueden dimensionarse mediante la utilización de las estadísticas existentes de localidades con similares características geográficas, socioeconómicas y poblacionales, previa justificación por parte del consultor, usando la metodología señalada en el punto 7.7 del presente documento.

En caso de no disponer de información se adoptará la dotación de acuerdo a los parámetros indicados en el cuadro 7.2. No obstante el proyectista deberá justificar la dotación adoptada:

Dotación actividades de subsistencia	Dotación mínima	20 [l/(hab*día)]
	Dotación máxima	30 [l/(hab*día)]
Dotación consumo familiar	Dotación mínima	120 [l/(hab*día)]
	Dotación máxima	150 [l/(hab*día)]

Tabla 4: Dotaciones de consumo.

Esta dotación corresponde a pequeñas actividades comerciales o artesanales. (ej: riego de pequeñas huertas, agua para animales). El Consultor podrá estimar esta dotación, considerando siempre la optimización del recurso (ej: riego tecnificado)”(Ministerio de Obras Públicas, 2019, p.22)

2.3.4 Aguas no contabilizadas (ANC).

La siguiente información es extraída de la norma chilena NCh691-2015, página 6.

Las aguas no contabilizadas se obtienen como el cociente dado por la diferencia entre el volumen de agua producido y el volumen de agua facturado, en un mismo período anual, con respecto al volumen de agua producido, expresado en porcentaje. Se determina por la Ecuación 4:

Ecuación 4: Aguas no contabilizadas (ANC).

$$ANC = \frac{VAP - VAF}{VAP} \cdot 100\%$$

Donde:

ANC = Aguas no contabilizadas, expresado en [%];

VAP = Volumen de agua producido anualmente, medido a la salida del sistema de producción, expresada en [m³];

VAF = Volumen de agua facturado anualmente, expresado en [m³].

2.3.5 Coeficientes y factores de máximo consumo.

La siguiente información es extraída de la norma chilena NCh691-2015, páginas 6 y 7.

2.3.5.1 Coeficiente del mes de máximo consumo (CMMC).

El coeficiente del mes de máximo consumo es el cociente entre el consumo máximo mensual y el consumo medio mensual. Se determina por la Ecuación 5:

Ecuación 5: Coeficiente del mes de máximo consumo (CMMC).

$$CMMC = \frac{\text{Consumo máximo mensual}}{\text{Consumo medio mensual}}$$

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

El coeficiente del día de máximo consumo del mes de máximo consumo es el cociente entre el consumo máximo diario y el consumo medio diario del mes de mayor consumo. El valor mínimo de CDMC es 1.1. Se determina por la Ecuación 6:

Ecuación 6: Coeficiente del día de máximo consumo en el mes de máximo consumo (CDMC).

$$CDMC = \frac{\text{Consumo máximo diario}}{\text{Consumo medio diario del mes de máximo consumo}}$$

2.3.5.3 Factor del día de máximo consumo (FDMC):

El factor del día de máximo consumo es el 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). Se determina por la Ecuación 7:

Ecuación 7: Factor del día de máximo consumo (FDMC).

$$FDMC = CMMC \cdot CDMC$$

2.3.5.4 Factor de la hora de máximo consumo (FHMC).

El factor de la hora de máximo consumo es el cociente entre el consumo máximo horario y el consumo medio horario en el día de consumo máximo diario. El valor mínimo de FHMC es 1.5. Se determina por la Ecuación 8:

Ecuación 8: Factor de la hora de máximo consumo (FHMC).

$$FHMC = \frac{\text{Consumo máximo horario}}{\text{Consumo máximo diario}/24}$$

2.3.6 Cálculo de dotaciones.

2.3.6.1 Dotación de consumo (Dc).

“La dotación de consumo es el cociente entre el volumen facturado anualmente dividido por 365 días y la población promedio abastecida en el año” (Norma Chilena NCh 691, 2015, p.7). Se determina por la Ecuación 9:

Ecuación 9: Dotación de consumo.

$$Dc = \frac{VAF / 365}{Pob.A}$$

Donde:

Dc = Dotación de consumo, expresada en [l/hab/día];

VAF = Volumen de agua facturada, expresada en [l/s];

Pob.A = Población promedio abastecida al año, expresada en [hab].

2.3.6.2 Dotación de producción (Dp).

“La dotación de producción es el cociente entre el volumen de agua producido anualmente dividido por 365 días y la población promedio abastecida en el año”(Norma Chilena NCh 691, 2015, p.7). La dotación de producción se determina por la Ecuación 10:

Ecuación 10: Dotación de producción.

$$Dp = \frac{VAP / 365}{Pob.A} = \frac{Dc}{1 - ANC/100}$$

Donde:

Dp = Dotación de producción, expresada en [l/hab/día];

VAP = Volumen de agua producido anualmente, medido a la salida del sistema de producción, expresado en [l];

Pob.A = Población promedio abastecida en el año, expresada en [hab];

ANC = Aguas no contabilizadas, expresada en [%].

2.3.7 Caudales.

2.3.7.1 Caudal medio diario de agua potable (Qmd):

Ecuación 11: Caudal medio diario de agua potable (Qmd).

$$Qmd = \frac{Pob \cdot Dp \cdot (Cob/100)}{86400}$$

Donde:

Qmd = Caudal medio diario, expresado en [l/s];
Pob = Población total, expresada en [hab];
Dp = Dotación de producción, expresada en [l/hab/día];
Cob = Cobertura anual, expresada en [%].

2.3.7.2 Caudal máximo diario (Qmáxd):

Ecuación 12: Caudal de máximo consumo (Qmáxd).

$$Qmáxd = FDMC \cdot Qmd$$

Donde:

Qmáxd = Caudal máximo diario, expresado en [l/s];
FDMC = Factor del día de máximo consumo;
Qmd = Caudal medio diario, expresado en [l/s].

2.3.7.3 Caudal máximo horario (Qmáxh):

Ecuación 13: Caudal de máximo horario (Qmáxh).

$$Qmáxh = FHMC \cdot Qmáxd$$

Donde:

Qmáxh = Caudal máximo horario, expresado en [l/s];
FHMC = Factor de la hora de máximo consumo;
Qmáxd = Caudal máximo diario, expresado en [l/s].

2.3.8 Presiones de servicio.

“Las presiones de trabajo deberán ser tales que no excedan las máximas de trabajo del material de las cañerías utilizadas.

El rango de variaciones de la presión en la red será:

Presión de trabajo		
Máxima	Estática	70 m.c.a.
Mínima	Dinámica	15 m.c.a.

Tabla 5: Presión de trabajo.

En el caso de uso de grifos, la presión mínima de la red a nivel de terreno debe ser igual o mayor a 5 m.c.a., para el caso de verificación de la red con caudal máximo diario más demanda de incendio, si corresponde.”(Ministerio de Obras Públicas, 2019, p.30)

2.3.9 Conducción.

La conducción secundaria, es decir, el transporte de agua por medio de tuberías desde los estanques hasta los arranques, se debe calcular para el consumo máximo horario previsto y verificarse el consumo del día de máximo consumo + incendio, cuando corresponda (Ministerio de Obras Públicas, 2019).

2.3.9.1 Rango de velocidades.

El diámetro se diseñará para velocidad máxima de 3.0 [m/s]. (Ministerio de Obras Públicas, 2019).

2.4 Definiciones.

En esta sección se dispondrán las principales definiciones de los conceptos principales mencionados en las normas para así lograr un mejor entendimiento del contenido desarrollado en este trabajo de título.

Estas definiciones son extraídas del Manual de Proyectos de Agua Potable Rural de Julio 2019 y de la norma NCh 691-2015.

- APR: Agua Potable Rural.
- Localidad Rural: Localidades que se encuentran fuera de áreas urbanas de acuerdo con los Planes Reguladores Comunes.
- Proyecto: Conjunto de elementos que, debidamente fundamentados en datos de elaboración técnica y económica, son necesarios y suficientes para la ejecución de una determinada obra.
- Caudal: Volumen de agua que pasa por una sección transversal en una unidad de tiempo.
- Conducción: Transporte de agua por medio de tuberías o canalizaciones.
- Conducción primaria: Entre fuentes de abastecimiento y elementos de regulación inclusive.
- Conducción secundaria: Entre elementos de regulación y red de distribución.
- Consumo anual: Volumen de agua que se consume durante un año, medido a la salida del estanque de regulación.
- Consumo diario: Volumen de agua que se consume durante 24 h, medido a la salida del estanque de regulación.
- Consumo medio diario: Resultado de dividir el consumo anual por 365.

- Consumo máximo diario: Volumen de agua que se consume 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 que se consume en el día de máximo consumo del mes de máximo consumo, medido a la salida del estanque de regulación.
- Consumo mensual: Volumen de agua que se consume durante un mes, medido a la salida del estanque de regulación.
- Consumo medio mensual: Resultado de dividir el consumo anual por 12.
- Consumo máximo mensual: Volumen de agua que se consume en el mes de mayor consumo en un periodo de uno o dos años.
- Cuartel: Sector de la red de distribución en que puede suspenderse temporalmente el suministro de agua potable, sin afectar el suministro general.
- Distribución: Transporte de agua potable por tuberías a las cuales pueden conectarse los servicios domiciliario.
- Estanque de regulación: Unidad de almacenamiento de agua potable en un sistema de agua potable, que puede ser elevado, semienterrado o enterrado dependiendo de los requerimientos del proyecto.
- Regulación: Volumen de compensación entre caudales producidos y consumidos.

3 Descripción de los casos de estudio.

En este trabajo se abordarán dos sistemas de agua potable rural; APR Rapel y APR Cogotí 18. Ambos ubicados en la IV Región de Coquimbo en la comuna de Monte Patria y Combarbalá respectivamente. En la Ilustración 2 se muestra las ubicaciones de ambos APR con respecto a las capitales de sus respectivas comunas y a la ciudad de Ovalle.

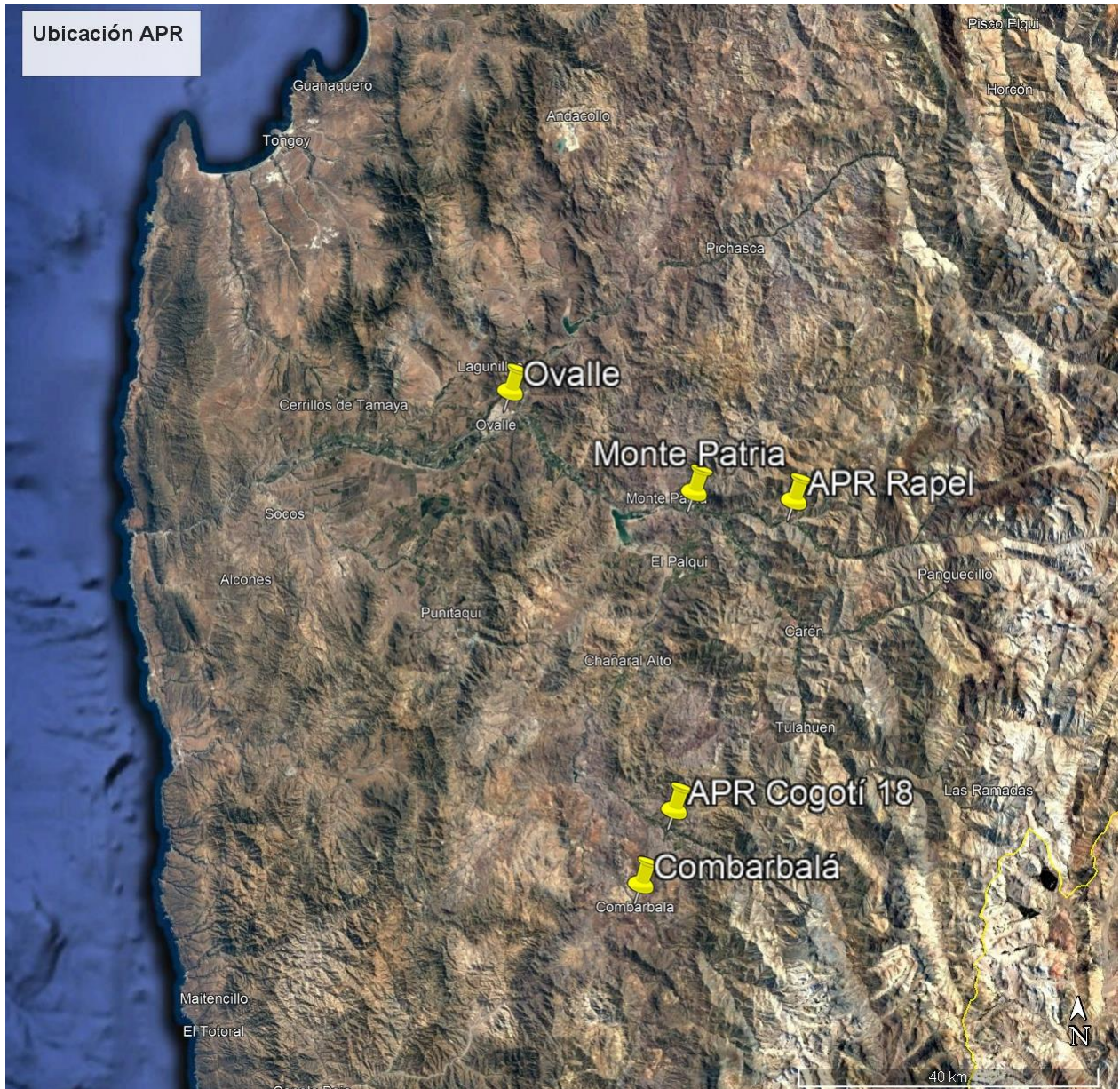


Ilustración 2: Ubicación APR.

Para conocer ambos APR y sus respectivas infraestructuras se realizaron salidas a terreno en las siguientes fechas, especificado en la Tabla 6:

Salidas a terreno	Fecha inicio	Fecha fin	Motivo
Visita 1	25 de julio de 2022	29 de julio de 2022	Conocer APR Rapel, tomar primeras fotografías y coordenadas de elementos principales.
Visita 2	12 de septiembre de 2022	16 de septiembre de 2022	Conocer APR Cogotí 18, tomar primeras fotografías y coordenadas de elementos principales.
Visita 3	31 de octubre de 2022	4 de noviembre de 2022	Tomar ubicaciones de puntos específicos, distancias y áreas necesarias para modelar la red de ambos APR.

Tabla 6: Fechas visitas a los APRS.

3.1 Rapel.

Rapel está ubicado a 20 kilómetros al oriente de la ciudad de Monte Patria. El APR tiene 509 arranques.

No se tienen datos sobre la población actual. Por lo que se calculará en base a una densidad poblacional de 4 [hab/viv] (Ministerio de Obras Públicas, 2019). Con esto se estima un total de 2036 habitantes.

3.1.1 Localidad.

El pueblo de Rapel se ubica en la comuna de Monte Patria. Esta cuenta con una superficie de 4366 [km²] (PAC Consultores Ltda, 2012) y "su altura desde el nivel medio del mar varía en función del sector poblacional desde el que se mida. La cabecera comunal se encuentra en un rango de 415 a 460 m.s.n.m. aproximadamente" (PAC Consultores Ltda, 2012, p.10). La localidad que alcanza mayor altura en la comuna se encuentra a 1250 m.s.n.m. (PAC Consultores Ltda, 2012).

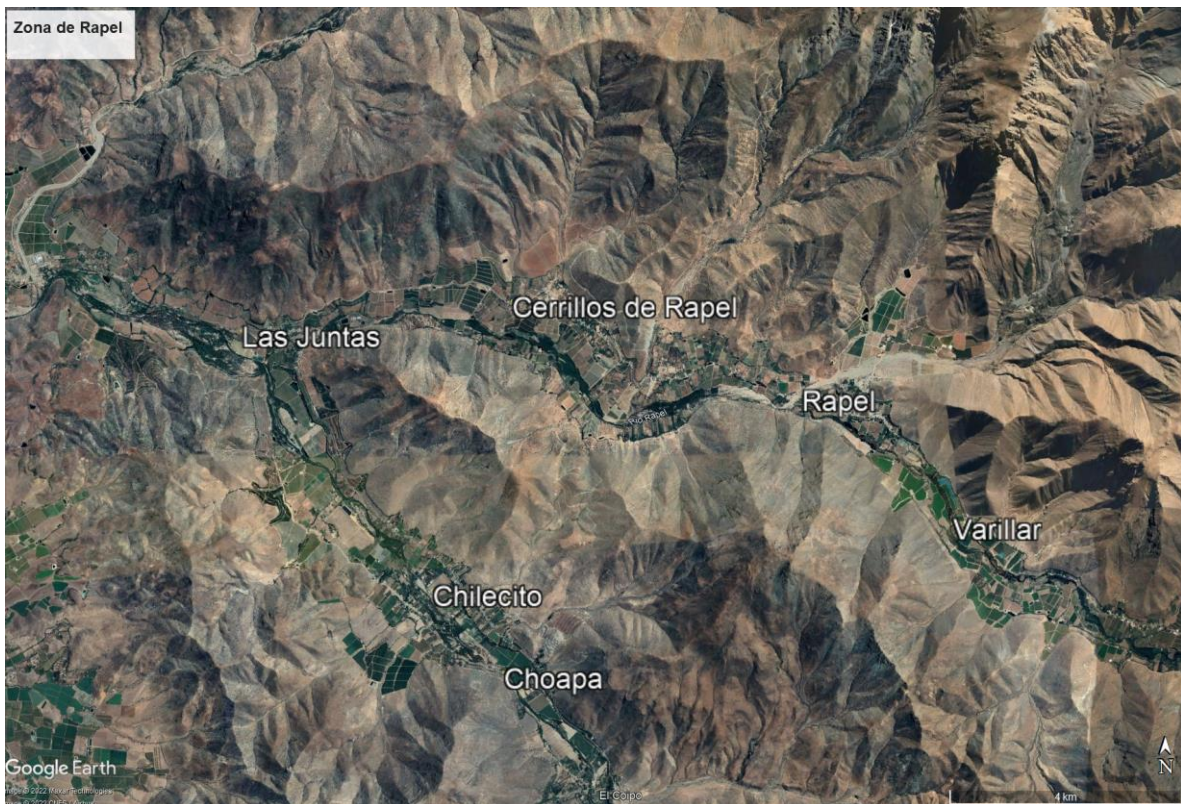


Ilustración 3: Mapa de la zona donde se encuentra Rapel. Fuente: Elaboración propia en Google Earth.

3.1.2 Demografía.

“La cuenca del río Limarí, presenta tres tipos climáticos, el Semiárido con nublados abundantes, Semiárido templado con lluvias invernales y Semiárido Frío con lluvias invernales. En general, esta cuenca se encuentra bajo la influencia de un bioclima con escasez de precipitaciones y durante nueve meses del año presenta déficit hídrico.” (Dirección General de Aguas, 2004, p.5).

La comuna de Monte Patria está ubicada en la Provincia de Limarí, Región de Coquimbo, “limita al norte con la comuna de Río Hurtado; al oeste con las comunas de Ovalle y Punitaqui; al sur con la comuna de Combarbalá, y; al este con la República de Argentina” (PAC Consultores Ltda, 2012, p10).

La localidad de Rapel está ubicada a 14 kms al este de Monte Patria, está en el valle de Rapel. Presenta una característica típica que son los aleros. Especial atractivo es su iglesia que data de 1871. (PAC Consultores Ltda, 2012).

Según los testimonios recogidos, las personas de la localidad se dedican principalmente a la agricultura. Destacándose las plantaciones frutales tales como vides, clementinas, mandarinas, naranjas, hortalizas y plantas forrajeras. Del sector de servicios la actividad principal es el comercio

representado por las pequeñas empresas como bazares, almacenes y quioscos. Por otro lado, la actividad ganadera también está activa en esta zona con crianza de ganados caprinos, ovinos y mulares.

En Rapel hay 3 escuelas (dos hasta octavo y una hasta sexto básico) y un jardín infantil. Para terminar la enseñanza media los alumnos deben ir al colegio en Monte Patria y para estudios posteriores a Ovalle o La Serena. La localidad también cuenta con posta e internado, además del cementerio e iglesia.

3.1.3 Infraestructura del APR.

A continuación, se describe solo la infraestructura de la impulsión del APR (desde el pozo hasta los estanques).

El sistema del APR de Rapel cuenta con un pozo de 25 [m] de profundidad y actualmente el nivel de agua está a 4.5 [m]. No cuentan con pozómetro, el nivel freático se mide con una cuerda con un peso al extremo. La prueba de bombeo entregó un resultado de 17 [l/s]. Este pozo cuenta con una bomba la cual impulsa el agua hacia los estanques, su gasto es de 11 [l/s] y está disponible a toda hora. Para casos de emergencia y para disminuir gastos se utiliza un generador que hace funcionar la bomba en las horas punta de electricidad. Seguido del pozo hay una válvula de aire la cual expulsa el agua existente dentro de las tuberías.

Luego se encuentra un caudalímetro, la válvula de retención y una válvula que redirige el agua a un filtro, pero no se encuentra en uso. La impulsión continúa dentro de una caseta donde se encuentra un tablero eléctrico con un presostato, seguido de un manómetro y sistema de cloración. El sistema de tratamiento cuenta con un clorador, el cual aplica una dosificación de 1 [kg] de cloro por 50 [l] de agua para luego ser aplicado de forma automática a la impulsión.

El sistema cuenta con una válvula que redirige el agua al exterior para vaciar la impulsión en caso de mantención u otros.

El APR cuenta con un generador el cual se utiliza para hacer funcionar la bomba en las horas punta.

El APR posee tres estanques: dos de 50 [m³] y uno de 25 [m³]. Todos de hormigón armado semienterrados, construidos en 1987. Los tres estanques cuentan con un flotador el cual mide el nivel de agua y la bomba detiene el llenado automáticamente cuando estos se colman.

Ver fotos de la infraestructura del APR en Anexo C.

El APR cuenta con los siguientes estanques:

Número de estanque	Volumen	Sectores que abastecen
1	50 [m ³]	Delicias, Higuera, Los Ángeles, Pedregal, Rapel y Poblaciones el Manzano y Nuevo Milenio
2	50 [m ³]	
3	25 [m ³]	Pedregal alto

Tabla 7: Detalle estanques APR Rapel.

Se realizó un levantamiento de toda la red, es decir, desde el pozo hasta los arranques. Para esto se contó con la ayuda del operador del APR, don Julio Alday, quien conoce de manera precisa los detalles de la infraestructura ya sea sobre capacidad de los estanques; trazados, diámetros y material de las tuberías; características del pozo; entre otras.

A continuación, se muestra un Layout del sistema, desde el abastecimiento de agua hasta los estanques.

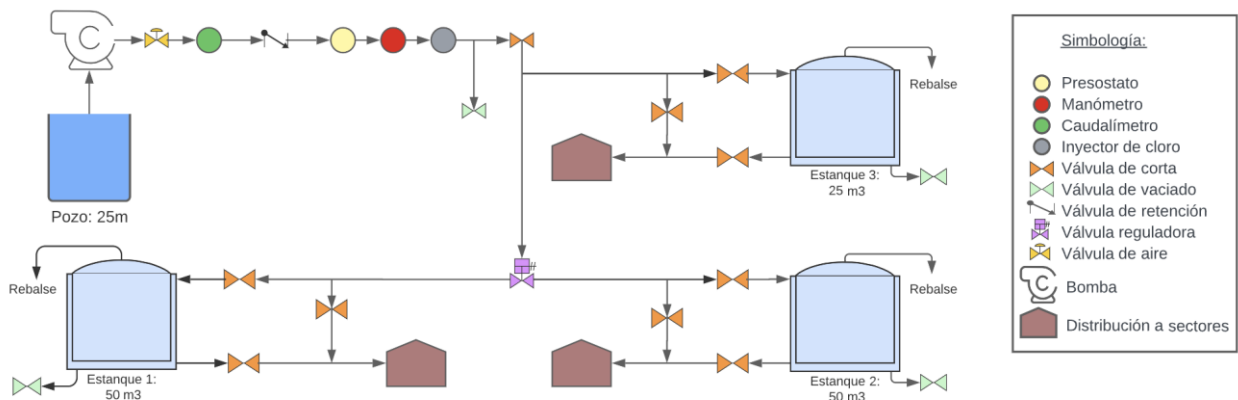


Ilustración 4: Layout impulsión APR Rapel. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra el trazado de la red de distribución (Ilustración 5 e Ilustración 6), diferenciando materiales y diámetros de las tuberías (Tabla 8) y la ubicación de los estanques, en donde:

Color	Material	Presión nominal [bar]	Diámetro [mm]
Amarillo	PVC	10	63
Naranja	PVC	10	75
Rojo	PVC	10	110

Tabla 8: Simbología tuberías APR Rapel.



Ilustración 5: Distribución y estanques APR Rapel. Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 6 se detalla el sector cercano a los estanques donde hay variedad en los diámetros, el resto de la red de distribución del APR es de diámetro 63 [mm].

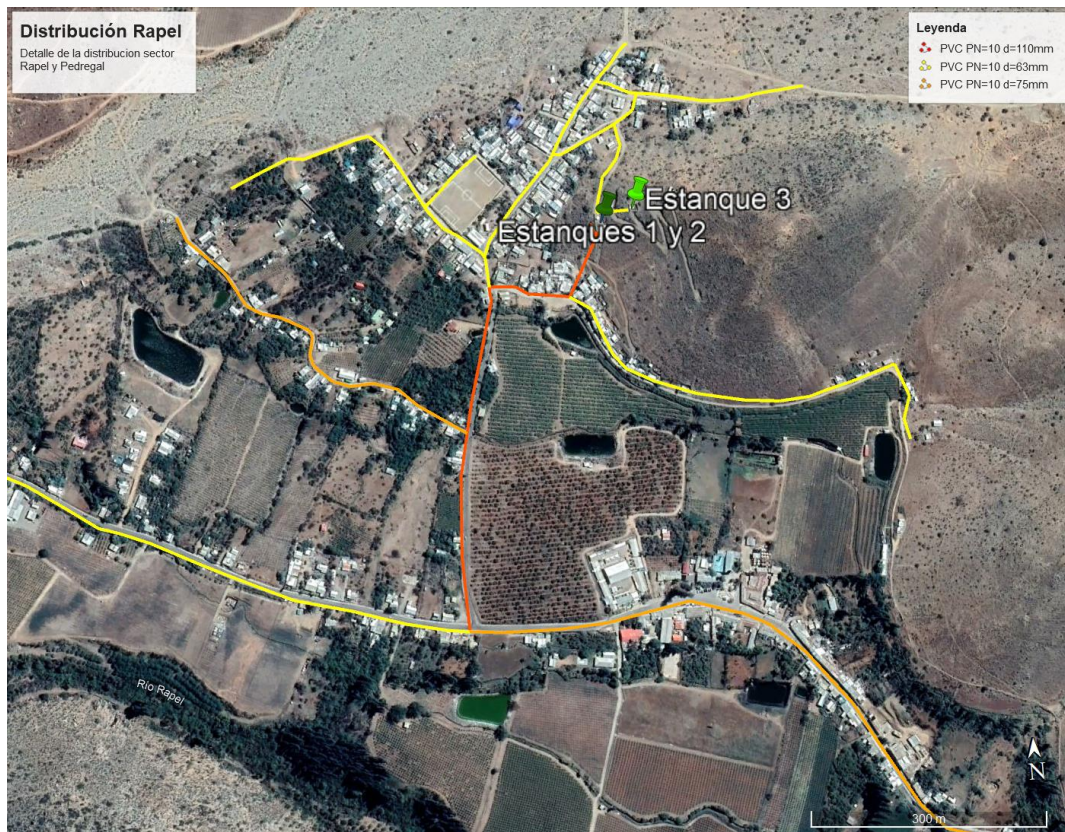


Ilustración 6: Detalle distribución APR Rapel, acercamiento en la ubicación de los estanques y sector Rapel y Pedregal. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente figura diferencia los sectores de distribución del APR.



Ilustración 7: Sectores del APR Rapel. Fuente: Elaboración propia.

La red de agua potable atiende los siguientes sectores:

- Pedregal de Rapel: 149 arranques.
 - Rapel: 61 arranques.
 - Las Delicias de Rapel: 62 arranques.
 - Villa el Manzano: 33 arranques.
 - Los Ángeles de Rapel: 57 arranques.
 - La Higuera de Rapel: 96 arranques.
 - Población Nuevo Milenio: 51 arranques.
- Total: 509 arranques actuales.

Diámetro exterior[mm].	Número de arranques.
12.7	464
19.05	44
25.4	1

Tabla 9: Resumen y características de los arranques.

3.2 Cogotí 18.

La localidad de Cogotí 18 está ubicado a 15 kilómetros al Nor-Este de la ciudad de Combarbalá. El APR tiene actualmente 548 arranques.

No se tienen datos sobre la población actual. Por lo que se calculará en base a una densidad poblacional de 4 [hab/viv] (Ministerio de Obras Públicas, 2019). Con esto se estima un total de 2192 habitantes.

3.2.1 Localidad.

La localidad de Cogotí 18 se ubica en la comuna de Combarbalá. Esta cuenta con una superficie de 12257 [km²] y se encuentra a una altura de 904 m.s.n.m. (Troncoso Muñoz, 2021).

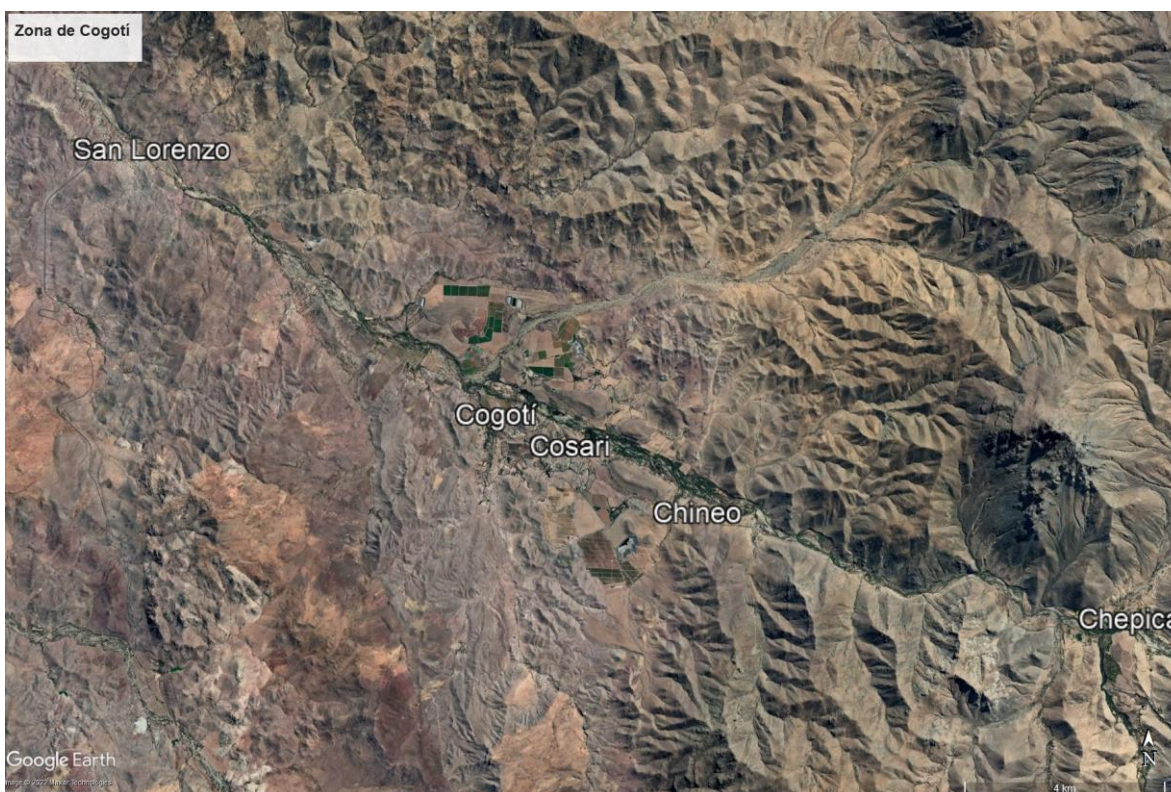


Ilustración 8: Mapa de la zona donde se encuentra Cogotí 18. Fuente: Elaboración propia en Google Earth.

3.2.2 Demografía.

La comuna de Combarbalá se inserta en el interfluvio, entre los ríos Limarí por el norte y Choapa por el sur, encontrándose en la región de los valles transversales, presentando un notorio relieve montañoso (Troncoso Muñoz, 2021). La comuna ha presentado sequía en los últimos años, debido a las bajas precipitaciones de la última década:

La región de Coquimbo en general se caracteriza por presentar condiciones áridas y semiáridas con escasas precipitaciones y periodos de sequía recurrentes lo que ha generado un panorama poco auspicioso para el crecimiento de las plantas, principalmente por la disminución de las precipitaciones en las últimas décadas a causa del cambio climático global (U Chile, 2010) (Simonetta Bruno, 2021, p.12).

El APR Cogotí sufrió graves consecuencias, durante los años 2020-2021, debido a la sequía. El único pozo se secó por lo que construyeron dos más. Aun así, estos no daban abasto y necesitaron la ayuda de camiones aljibes que trasladaban agua desde la ciudad de Combarbalá hasta el estanque principal del APR (estanques sector Cogotí 18). Hoy en día los dos pozos nuevos no se

encuentran en uso, ya que actualmente el agua extraída del pozo 1 es suficiente para abastecer a la población.

Según los testimonios recogidos, las personas de la localidad se dedican principalmente a la agricultura. En su mayoría cultivo de uva de mesa para exportación y pequeños huertos.

Cogotí 18 tiene un 32.1% de personas carentes de servicios básicos, tales como agua potable, alcantarillado, entre otros (Troncoso Muñoz, 2021).

La población en Cogotí es principalmente adultos y adultos mayores. Hay un colegio con cursos hasta octavo básico, luego para enseñanza media los alumnos deben ir a otra ciudad, la mayoría se muda a Ovalle donde luego estudian en un instituto o universidad. Muy pocos vuelven a Cogotí.

3.2.3 Infraestructura del APR.

El sistema de operación cuenta con 3 pozos. Actualmente solo se encuentra habilitado el pozo 1. Los pozos 2 y 3 no están en funcionamiento ya que solo se usaron durante un par de años hasta el 2020 ya que el pozo 1 se encontraba bastante seco y con esa cantidad de agua no se lograba abastecer al pueblo. El agua extraída de los pozos 2 y 3 se utilizaba para rellenar el pozo 1. Con esta medida tomada el agua extraída se vacía de nuevo al acuífero.

El APR cuenta con los siguientes estanques: Los Llanos, 2 estanques Cogotí 18, Las Tinajas. A continuación, se muestra en la Tabla 10 un resumen de los estanques:

Número de estanque	Nombre estanques	Volumen	Sector que abastece
1	Cogotí 18	50 [m ³]	Cogotí 18
2	Cogotí 18	50 [m ³]	
3	Los Llanos	150 [m ³]	Los Llanos y La Cuadra
4	Las Tinajas	50 [m ³]	Las Tinajas

Tabla 10: Detalle estanques APR Cogotí.

Se realizó un levantamiento de toda la red, es decir, desde el pozo hasta los arranques. Para esto se contó con la ayuda del operador del APR, don Ramón Robledo, quien conoce de manera precisa los detalles de la infraestructura ya sea sobre capacidad de los estanques; trazados, diámetros y material de las tuberías; características del pozo; entre otras.

La operación comienza en el pozo 1 donde se inicia la impulsión de la bomba. Luego del pozo se encuentra el sistema de cloración, en donde se agregan 2.4 [kg] de cloro sólido (hipoclorito de calcio) a 150 [l] de agua, lo cual se dosifica automáticamente. La impulsión se dirige a los estanques de Cogotí 18 y la

bomba se detiene al llenarlos por completo ya que se encuentra conectado al tablero eléctrico en modo automático. Estos estanques abastecen el sector Cogotí y mediante una bomba al estanque Las Tinajas. Este último estanque distribuye a las viviendas del sector Las Tinajas.

Ver fotos de la infraestructura del APR en Anexo C.

Por otro lado, directamente desde el pozo se impulsa el agua hasta el estanque Los Llanos. Este estanque distribuye a los sectores Los Llanos y La Cuadra. En la Ilustración 9 se muestra un Layout de la impulsión del APR.

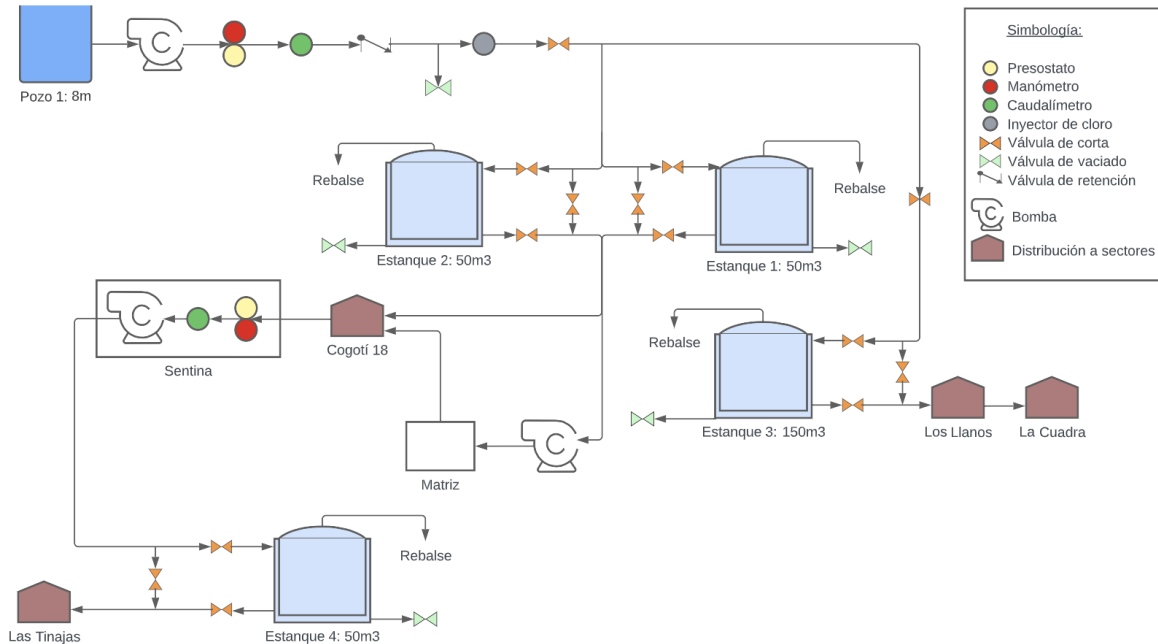


Ilustración 9: Layout impulsión Cogotí 18. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra el trazado de la red de distribución (Ilustración 10 e Ilustración 11), diferenciando materiales y diámetros de las tuberías (Tabla 11) y la ubicación de los estanques, en donde:

Color	Material	Presión nominal [bar]	Diámetro [mm]
Amarillo	PVC	10	63
Naranja	PVC	10	75
Rojo	PVC	10	110
Morado	HDPE	10	75

Tabla 11: Simbología tuberías APR Cogotí.

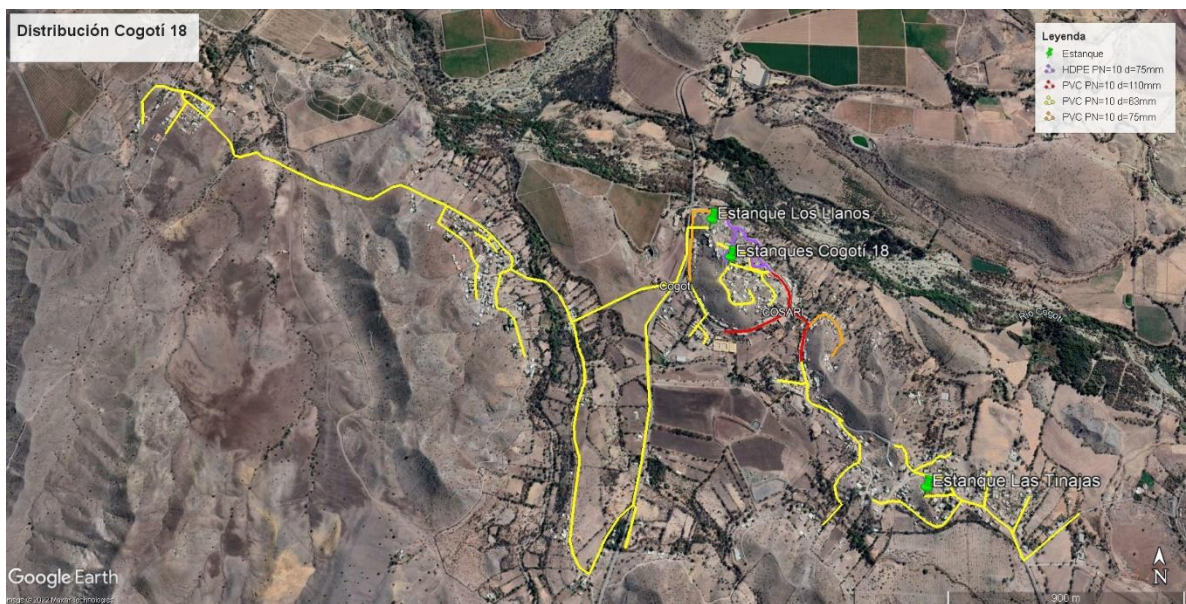


Ilustración 10: Distribución y estanques APR Cogotí 18. Fuente: Elaboración propia.

En la Ilustración 11 se detalla el sector cercano a los estanques donde hay variedad en los diámetros, el resto del APR es de diámetro 63 [mm].

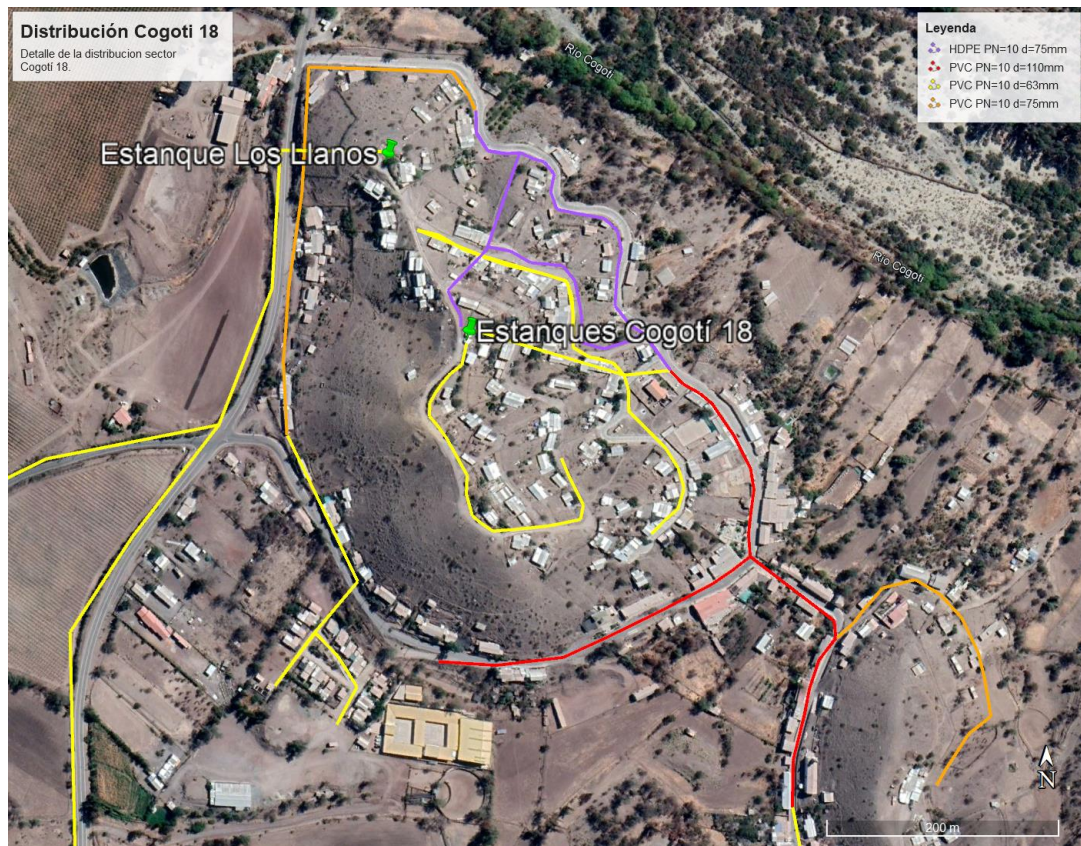


Ilustración 11: Detalle distribución APR Cogotí, sector Cogotí. Fuente: Elaboración propia.

Los sectores abastecidos por el APR se muestran en la Ilustración 12:



Ilustración 12: Sectores APR Cogotí. Fuente: Elaboración propia.

La red de agua potable atiende los siguientes sectores:

- Las Tinajas: 114 arranques
 - Los Llanos: 135 arranques
 - Cogotí 18: 252 arranques.
 - La Cuadra: 47 arranques.
- Total: 548 arranques actuales.

4 Problemas que resolver y criterios para elegirlos.

4.1 Rapel

Los principales problemas del APR de Rapel, indicados por parte de la directiva y operador son:

- Ampliación en el sector Los Ángeles de Rapel para abastecer a la futura población y su alimentación a la red existente.
- Nuevo pozo, la población está creciendo y se estima una demanda de 100 arranques más para el año 2023.
- Pérdidas de agua debido a roturas y fugas a lo largo de la red.
- Roturas en válvulas corta presión.
- Problemas con terminales, se debe cambiar la pieza completa.

Estado actual	Óptimo	Solución
Sector Los Ángeles loteado, con proyectos de casas en proceso, las cuales serán construidas en un futuro cercano.	Estanque para abastecer a la ampliación en el sector Los Ángeles.	Diseñar un estanque para abastecer al futuro sector Los Ángeles.
Un pozo suficiente para la población actual.	Otro pozo más para abastecer la población futura.	Diseñar un pozo.
Roturas en válvulas corta presión.	Reducir las roturas.	Cambiar pieza, equipo o tubería que se encuentre en mal estado, generando pérdidas en sector determinado. Realizar diseño considerando material/diámetro/PN óptimo.
Altas pérdidas de agua	Reducir las pérdidas de agua	
Roturas de terminales.	Reducir las roturas.	

Tabla 12: Problemas APR Rapel.

4.2 Cogotí 18

Los principales problemas del APR de Cogotí, indicados por parte de la directiva y operadores son:

- Hay dos sectores que no se encuentran conectados a la red. El primero está ubicado en el sector La Cuadra y el segundo en Los Llanos. Este último es llamado Las Garillas. En cada uno se encuentran 10 y 12 casas respectivamente. Actualmente funcionan con camiones aljibe los cuales rellenan estanques privados a cada casa.

- La impulsión del pozo 1 al estanque principal (Cogotí) ha tenido mucho daño y se encuentra con reparaciones artesanales. Esta red fue instalada hace 30 años y es de acero galvanizado.
- El APR no cuenta con planos digitales de las instalaciones (excepto del pozo principal).
- El 2019 el APR recibió un generador nuevo, el cual no se encuentra operativo porque no está instalado. Este sería de gran ayuda ya que para las horas de alto consumo eléctrico (18.00-22.00) el costo por kW es mayor y se podría utilizar para optimizar los costos de operación del sistema.
- La red no se encuentra sectorizada. Para realizar reparaciones se debe cortar gran parte de la red. El APR ya compró las válvulas de corta pero aún no se han instalado.

Estado actual	Óptimo	Solución
Sectores La Cuadra y Las Garillas sin conexión a la red.	Sectores conectados a la red.	Diseñar la conexión de los sectores.
Impulsión del pozo 1 dañada.	Tuberías en buen estado.	Cambiar el tramo por piezas de material/diámetro/PN ideal. Para que no continúen las fallas.
No hay planos de las instalaciones.	Tener planos.	Realizar los planos de las instalaciones/red.
Generador en desuso.	Generador operativo	Conectar el generador a la red eléctrica que alimenta al sistema.
Pocas válvulas de corta a lo largo de la red.	Válvulas de corta instaladas en puntos óptimos de la red.	Diseñar la sectorización de manera óptima y así garantizar la continuidad ante posibles reparaciones.

Tabla 13: Problemas APR Cogotí.

5 Estudio de alternativas de diseño a nivel de ingeniería conceptual.

5.1 Análisis previos.

5.1.1 Estudio de la materialidad de la red.

Ambos APR necesitan cambios en las instalaciones debido a roturas, oxidaciones u otro problema los cuales conllevan a elevadas pérdidas de agua. Las tuberías de la red se rompen constantemente porque no son las adecuadas en términos de materiales, diámetro, presión nominal.

Se analizarán los siguientes materiales: HDPE, acero galvanizado y PVC.

Material	HDPE	Acero Galvanizado	PVC
Coeficiente de Manning n	0.01	0.016	0.009
Coeficiente Hazen-Williams C	150	120	150
Coeficiente de rugosidad absoluta ϵ	0.0015	0.15	0.0025
Duración estimada (vida útil) [años]	50	70	100

Tabla 14: Propiedades materiales de tuberías.

Las tuberías expuestas a la intemperie deben ser de HDPE o acero galvanizado o al carbono. Este último no se considerará debido a que al no estar recubierto por una capa protectora tiende a oxidarse y decolorarse rápidamente. El HDPE puede ir en la intemperie, pero se estira y recoge mucho con los cambios de temperatura. El acero galvanizado es un material el cual está protegido de la humedad y posterior oxidación y corrosión.

5.1.2 Cálculo de población futura

5.1.2.1 Rapel.

Para el caso de Rapel la población actual se estima con el producto entre el número de arranques (dato entregado por la directiva del APR) y la densidad poblacional según el Manual de Proyectos de Agua Potable Rural de 4 [hab/viv]. El resultado es 2036 habitantes. La última data sobre la población de esta localidad es el Censo 2017.

APR	Rapel	
Año	2017	2022
Población	656	2036

Tabla 15: Población actual APR Rapel.

La ecuación para estimar tasa de crecimiento (Ecuación 1) es para datos basados en información catastrada de la población que para este caso no se

tiene. Es por esto que se utiliza la información entregada en la Tabla 3. En este APR corresponde la tasa de crecimiento del 4%.

Con la Ecuación 2 y Ecuación 3 se calcula la población futura para 3 y 20 años más (2025 y 2042). Se obtiene una población de 2576 y 5018 habitantes respectivamente.

A esto se le adiciona la población escolar, como fue mencionado en la sección 2.3.2.2 se debe considerar un 35% del alumnado total y un 85% para internados como número de habitantes adicionales a la población. En la Tabla 121 del Anexo A, se muestran estos cálculos. Se obtiene un total de 47 habitantes extras.

5.1.2.2 Cogotí 18.

Para el caso de Cogotí 18 la población actual se estima con el producto entre el número de arranques (dato entregado por la directiva del APR) y la densidad poblacional según el Manual de Proyectos de Agua Potable Rural de 4 [hab/viv]. El resultado es 2192 habitantes. La última data sobre la población de esta localidad es el Censo 2017.

APR	Cogotí 18	
Año	2017	2022
Población	331	2192

Tabla 16: Población actual APR Cogotí.

La ecuación para estimar tasa de crecimiento (Ecuación 1) es para datos basados en información catastrada de la población que para este caso no se tiene. Es por esto que se utiliza la información entregada en la Tabla 3. En este APR corresponde la tasa de crecimiento del 4%.

Con la Ecuación 2 y Ecuación 3 se calcula la población futura para 3 y 20 años más (2025 y 2042). Se obtiene una población de 2774 y 5620 personas respectivamente.

A esto se le adiciona la población escolar, como fue mencionado en la sección 2.3.2.2 se debe considerar un 35% del alumnado total y un 85% para internados como número de habitantes adicionales a la población. En la Tabla 122 del Anexo A, se muestran estos cálculos. Se obtiene un total de 45 habitantes extras.

A continuación, se muestra la Tabla 17 con el resumen del cálculo de la población actual y futura de ambos APR, para términos de los diseños a realizar en esta memoria.

Detalle/APR	Rapel	Cogotí
Tasa de crecimiento	4%	4%
Población actual (año 2022)	2083	2237

Población en 3 años (año 2025)	2683	2876
Población en 20 años (año 2042)	5181	5886

Tabla 17: Población proyectada APR Rapel y Cogotí. Fuente: Elaboración propia.

5.2 Estudio de soluciones.

5.2.1 Rapel

5.2.1.1 Volumen de estanques.

Se verificará que el volumen de estanques cumple con el mínimo necesario para la población abastecida. La ampliación Los Ángeles y la proyección del APR en el año 2025 se resolverán como el mismo caso ya que la ampliación será construida en un futuro cercano. Por lo tanto, se realizarán verificaciones para el estado actual y proyección futura al año 2025 y 2042.

5.2.1.1.1 Volumen de regulación.

En este caso no se cuenta con las curvas de conducción primaria y de consumo ya que el APR no mide estos registros, por lo tanto, se considerará el 20% del día de máximo consumo.

Para el año 2042 se espera que el APR cuente con alcantarillado y en este caso la dotación mínima por habitante aumenta a 150 [l/(hab*día)]. Actualmente el APR no cuenta con alcantarillado por lo que se considera para los demás casos una dotación mínima de 120 [l/(hab*día)], según la Tabla 4.

A continuación, se muestra en la Tabla 18 con los coeficientes y factores calculados para el APR Rapel.

Ecuación	Nombre	Resultados			Unidad de medida
		Año 2022	Año 2025	Año 2042	
Ecuación 9	Dc	90.3	90.3	90.3	l/(hab*día)
Ecuación 10	Dp	120.0	120.0	150.0	l/(hab*día)
Ecuación 11	Qmd	2.9	3.7	9.0	l/s
Ecuación 12	Qmáxd	4.3	5.6	13.5	l/s
Ecuación 13	Qmáxh	6.5	8.4	20.2	l/s
Ecuación 7	FDMC	1.5	1.5	1.5	-
Ecuación 8	FHMC	1.5	1.5	1.5	-
Ecuación 5	CMMC	1.2	1.2	1.2	-
Ecuación 6	CDMC	1.1	1.1	1.1	-
Qmáxd+Qincendio		20.3	21.6	29.5	l/s

Tabla 18: Coeficientes y factores

A continuación, se muestra la Tabla 19 con el resumen sobre los volúmenes de regulación, el cual se calcula como el 20% del día de máximo consumo según lo mencionado en la sección 2.3.1.1. En donde el día de máximo consumo es el Caudal Máximo Diario (Q_{máxd}) en [m³/día].

Caso	Día de máximo consumo [m ³ /día]	Volumen de regulación [m ³]
Estado actual	375	75
Abastecimiento año 2025	483	97
Abastecimiento año 2042	1166	233

Tabla 19: Volúmenes de regulación.

5.2.1.1.2 Volumen de incendio.

Este APR es un sistema de segmento medio según Ilustración 1 (Tipo 2 ya que posee más de 400 viviendas).

Actualmente el APR no cuenta con grifo de incendio, por lo que el volumen de incendio solo es considerado para los casos a futuro, es decir, las proyecciones de los años 2025 y 2042.

La población total, en todos los casos, es menor a 6000 habitantes. Entonces según la Tabla 1 el caudal mínimo debe ser de 16 [l/s] en cada grifo de incendio (para este APR solo 1) y 2 horas de siniestro se tiene un volumen mínimo de incendio de 115 [m³].

A continuación, se muestra una tabla resumen de los volúmenes de incendio y su comparación con el volumen de regulación para verificar si se debe usar el volumen de incendio considerando una o dos horas de siniestro.

Caso	Siniestro [h]	V. incendio [m ³]
Estado actual	-	0
Abastecimiento año 2025	1	57.5
Abastecimiento año 2042	2	115

Tabla 20: Volúmenes de incendio.

5.2.1.1.3 Volumen de estanques.

Para el caso del APR de Rapel, al ser un sistema de segmento medio, su volumen de estanques es igual a: volumen de regulación + volumen de incendio (Ministerio de Obras Públicas, 2019).

Caso	Volúmenes [m ³]		
	Regulación	Incendio	Estanques (total)
Estado actual	75	0	75

Abastecimiento año 2025	97	58	154
Abastecimiento año 2042	233	115	348

Tabla 21: Volúmenes de estanques.

Cabe destacar que actualmente la infraestructura es de 125 [m³], mayor al volumen mínimo de 75 [m³]. Para los abastecimientos a corto y largo plazo, es decir, años 2025 y 2042 respectivamente hay déficit de volumen de estanques y es necesario agregar al menos 29 [m³] y 223 [m³] de estanques respectivamente.

Los tipos de estanques y sus volúmenes respectivos se encuentran en la Tabla 2.

5.2.1.1.4 Verificación de presiones.

Se debe verificar la presión de los grifos. Esto se realizará de manera detallada para la población actual, la ampliación Los Ángeles ya que se conoce la ubicación donde se puede instalar el estanque y del loteo que va a abastecer. También es posible estimar la ubicación de los arranques a un futuro de 3 y 20 años.

La verificación de presiones se realiza modelando la red en un software llamado EPANET el cual entrega los datos necesarios (Sección 6). EPANET es un software entregado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) para el desarrollo de redes de agua potable.

5.2.1.2 Nuevo pozo.

Actualmente el APR cuenta con un solo pozo de 25 [m] de profundidad a una cota de 837 m.s.n.m. A continuación, se muestra su ubicación:



Ilustración 13: Ubicación pozo APR Rapel.

Hasta el día de hoy nunca se ha realizado un racionamiento ya que no se ha requerido.

Pero la localidad sigue creciendo y hay que evaluar la opción de un nuevo pozo. Como fue mencionado anteriormente, para el año 2042 se espera una población de 5018 personas.

Para el cálculo de la dotación de un sistema existente “se debe emplear las estadísticas de consumo de los últimos 12 meses para el cálculo de la dotación media” (Ministerio de Obras Públicas, 2019, p.22). Esto se hará con los datos desde julio del año 2021 hasta junio del año 2022 (No se tienen datos de más adelante).

El caudal máximo horario para el año 2025 es de 8.4 [l/s] y para el año 2042 es 20.2 [l/s] (según Tabla 18). Luego considerando el porcentaje de pérdidas de 16% de la producción (calculados con la producción del último año, Tabla 109 del Anexo A) se tiene que la producción debe ser de 10 [l/s]. y 24 [l/s] a corto y largo plazo, respectivamente.

La bomba funciona a 11 [l/s] por lo que hasta el año 2025 debería alcanzar a abastecer a los habitantes. Aun así, está cerca al estado crítico y se recomienda, si las características del pozo lo permiten, aumentar la capacidad de la bomba a una que funcione, por ejemplo, a 14 [l/s] para tener un mayor margen.

Para el abastecimiento de la población a largo plazo, es decir, el año 2042 será necesario construir otro pozo con una bomba que entre esta y la del primer pozo, puedan extraer por lo menos 24 [l/s] en total, o preferiblemente más.

El diseño y ubicación del nuevo pozo requiere del estudio de especialistas y se extiende de los alcances de esta memoria.

5.2.1.3 Ampliación sector Los Ángeles.

Como fue mencionado anteriormente (en la sección Volumen de estanques.5.2.1.1) la ampliación consta de 25 subdivisiones. En la Ilustración 14 se muestra el sector de estos terrenos en color azul, en amarillo la red de distribución y rojo el futuro trazado de las cañerías.

La última casa abastecida por la red actual (donde es el punto de conexión) se encuentra en la cota 793 m.s.n.m. y los futuros arranques entre esta misma cota y 812 m.s.n.m.



Ilustración 14: Ubicación ampliación sector Los Ángeles. Fuente: Elaboración propia.

Se calcula cuántos habitantes vivirán en la ampliación Los ángeles. Según información entregada en terreno son 25 subdivisiones (25 arranques) y asumiendo la misma densidad poblacional 4 [hab/viv] (Ministerio de Obras Públicas, 2019) se obtiene un total de 100 personas.

5.2.2 Cogotí 18

5.2.2.1 Volumen de estanques.

Se verificará que el volumen de estanques cumple con el mínimo necesario para la población abastecida. Las ampliaciones La Cuadra y Las Garillas y la proyección del APR en el año 2025 se resolverán como el mismo caso ya que estas ampliaciones serán construidas en un futuro cercano. Por lo tanto, se realizarán verificaciones para el estado actual y proyección futura al año 2025 y 2042.

5.2.2.1.1 Volumen de regulación.

Todos los sectores de Cogotí cuentan con alcantarillado, por lo que la dotación por habitante se considera como la máxima: 150 [l/(hab*día)] de la Tabla 4.

A continuación, se muestra en la Tabla 22 con los coeficientes y factores calculados para el APR Cogotí.

Ecuación	Nombre	Resultados			Unidad de medida
		Año 2022	Año 2025	Año 2042	
Ecuación 9	Dc	100	100	100	l/(hab*día)
Ecuación 10	Dp	150.0	150.0	150.0	l/(hab*día)
Ecuación 11	Qmd	3.9	5.0	10.2	l/s
Ecuación 12	Qmáxd	5.8	7.5	15.3	l/s
Ecuación 13	Qmáxh	8.7	11.2	23.0	l/s
Ecuación 7	FDMC	1.5	1.5	1.5	-
Ecuación 8	FHMC	1.5	1.5	1.5	-
Ecuación 5	CMMC	1.3	1.3	1.3	-
Ecuación 6	CDMC	1.1	1.1	1.1	-
Qmáxd+Qincendio		21.8	23.5	31.3	l/s

Tabla 22: Coeficientes y factores.

A continuación, se muestra la Tabla 23 con el resumen sobre los volúmenes de regulación, el cual se calcula como el 20% del día de máximo consumo según lo mencionado en la sección 2.3.1.1. En donde el día de máximo consumo es el Caudal Máximo Diario (Qmáxd) en [m³/día].

Caso	Día de máximo consumo [m ³ /día]	Volumen de regulación [m ³]
Estado actual	503	101
Abastecimiento año 2025	647	129
Abastecimiento año 2042	1324	265

Tabla 23: Volúmenes de regulación.

5.2.2.1.2 Volumen de incendio.

Este APR es un sistema de segmento medio según Ilustración 1 (Tipo 2 ya que posee más de 400 viviendas).

Actualmente el APR cuenta con un grifo, por lo que se considera volumen de incendio para todos los casos.

La población total, en todos los casos es menor a 6000 habitantes. Entonces según la Tabla 1 el caudal mínimo debe ser de 16 [l/s] en cada grifo de incendio (para este caso solo 1) y 2 horas de siniestro se tiene un volumen mínimo de incendio de 115 [m³].

A continuación, se muestra la Tabla 24 con el resumen de los volúmenes de incendio.

Caso	Siniestro [h]	V. incendio [m ³]
Estado actual	1	57.5
Abastecimiento año 2025	2	115
Abastecimiento año 2042	2	115

Tabla 24: Volúmenes de incendio.

5.2.2.1.3 Volumen de estanques.

Para el caso del APR de Cogotí, al ser un sistema de segmento medio, su volumen de estanques es igual a: volumen de regulación + volumen de incendio (Ministerio de Obras Públicas, 2019).

Caso	Volúmenes [m ³]		
	Regulación	Incendio	Estanques (total)
Estado actual	101	58	158
Abastecimiento año 2025	129	115	244
Abastecimiento año 2042	265	115	380

Tabla 25: Volúmenes de estanques.

Cabe destacar que actualmente en el año 2022, la infraestructura es de 300 [m³], mayor al mínimo requerido de 158 [m³]. Hasta el año 2025 no es necesario añadir estanques, puesto que, la infraestructura actual es mayor a la requerida en este caso. No es así para el año 2042, cuando será necesario agregar al menos 80 [m³] de estanques.

Los tipos de estanques y sus volúmenes respectivos se encuentran en la Tabla 2.

La localidad de Cogotí cuenta con diversos cerros alrededor y no mucho espacio disponible en las áreas planas. Por lo que es recomendable construir

estanques de hormigón armado semienterrados, ya que de esta forma no hay que considerar el radio de seguridad.

5.2.2.1.4 Verificación de presiones.

Se debe verificar la presión de los grifos. Esto se realizará de manera detallada para la población actual, la ampliación Las Garillas y La Cuadra ya que se conoce la ubicación de las casas que va a abastecer. También es posible estimar la ubicación de los arranques a un futuro de 3 y 20 años.

La verificación de presiones se realiza modelando la red en un software llamado EPANET el cual entrega los datos necesarios. (sección 6)

5.2.2.2 Ampliación sector Las Garillas.

Se calcula cuántos habitantes vivirán en la ampliación Las Garillas. Según información entregada en terreno son 12 viviendas respectivamente (total: 12 arranques) y asumiendo la misma densidad poblacional 4 [hab/viv] (Ministerio de Obras Públicas, 2019) se obtiene un total de 48 personas.

En la Ilustración 15 se muestra el sector de estos terrenos en color azul, en amarillo la red de distribución y rojo el futuro trazado de las cañerías.

El punto de conexión de la red actual se encuentra en la cota 846 m.s.n.m. y los futuros arranques en 854 m.s.n.m.



Ilustración 15: Ubicación ampliación sector Las Garillas. Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.3 Ampliación sector La Cuadra.

Se calcula cuántos habitantes vivirán en la ampliación La Cuadra. Según información entregada en terreno son 10 viviendas respectivamente (total: 10 arranques) y asumiendo la misma densidad poblacional 4 [hab/viv] (Ministerio de Obras Públicas, 2019) se obtiene un total de 40 personas.

En la Ilustración 16 se muestra el sector de estos terrenos en color azul, en amarillo la red de distribución y rojo el futuro trazado de las cañerías.

La última casa abastecida por la red actual (donde es el punto de conexión) se encuentra en la cota 795 m.s.n.m. y los futuros arranques entre esta misma cota y 797 m.s.n.m.

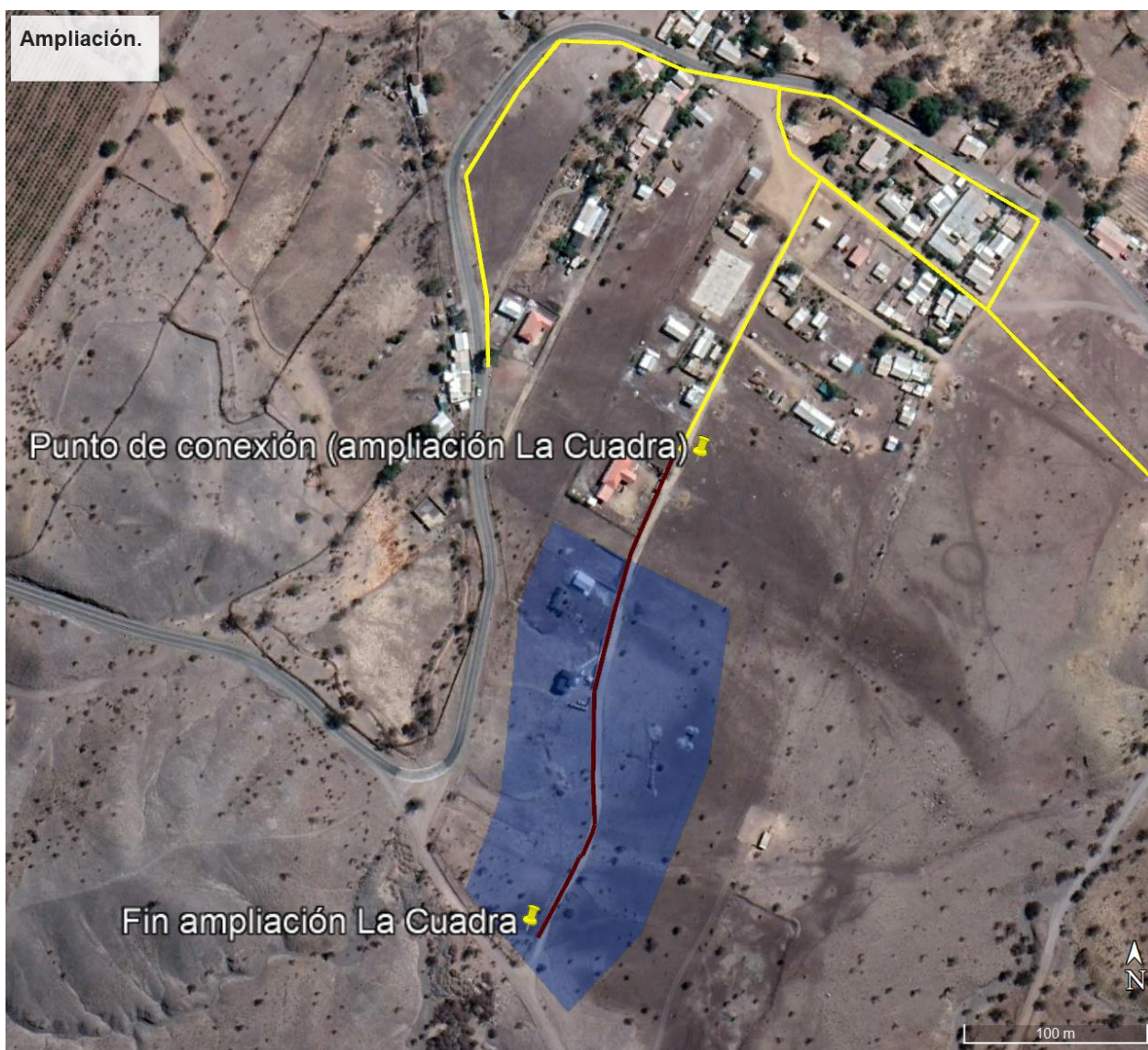


Ilustración 16: Ubicación ampliación sector La Cuadra. Fuente: Elaboración propia.

5.2.2.4 Cambio de matriz impulsión.

La matriz de impulsión que se dirige desde el pozo 1 hasta el estanque Los Llanos (150 [m³]) es de acero galvanizado de diámetro exterior 101.6 [mm]. Esta tubería se encuentra en muy mal estado, presenta fugas y oxidaciones. Ha sido reparada en reiteradas ocasiones. Aun así, las fallas continúan y los operadores y por parte de los dirigentes del APR se propone un cambio de material a HDPE.

El HDPE tiene una alta flexibilidad y resistencia a la corrosión interna y externa, a la abrasión y a la radiación solar. Es por esto que este material funciona bien al estar al exterior. Aún así presenta contracciones y estiramientos.



Ilustración 17: Ubicación tubería que requiere ser cambiada. Fuente: Elaboración propia.

Más detalles en Anexo C (Ilustración 123, Ilustración 124, Ilustración 125, Ilustración 126, Ilustración 127 e Ilustración 128)

6 Modelación hidráulica de la red.

Para modelar la red se utilizó un programa llamado EPANET, el cual es un software de diseño de redes de agua potable. Para estos casos se modelará la red existente para verificar los datos necesarios y también se incorporarán las ampliaciones.

La información necesaria para incorporar al programa es:

- Tuberías:
 - Diámetro (interno).
 - Largo entre nudos.
 - Rugosidad del material.
 - Punto de inicio y fin.
 - Estado.
- Estanques:
 - Cota.
 - Nivel inicial.
 - Nivel mínimo.
 - Nivel máximo.
 - Diámetro.
- Puntos de conexión (nudos):
 - Cota.
 - Demanda (consumo).
- Válvulas.
 - Tipo.
 - Estado.

Con esto, los resultados del programa son:

- Velocidades.
- Caudales.
- Presiones.
- Estado

EPANET trabaja con los diámetros internos de las tuberías, para los casos de esta memoria solo se tienen tuberías de PVC y HDPE. En la Tabla 26 se presenta un resumen con la información de material y diámetro de la red actual.

Material	Clase	Diámetro externo [mm]	Diámetro interno [mm]
PVC	10	63	57
	10	75	67.8
	10	110	99.4
	10	125	113

HDPE PE100	10	75	66
------------	----	----	----

Tabla 26: Diámetros internos tuberías.

Todas las simulaciones de redes de agua potable usan el coeficiente de Hazen Williams para la rugosidad, excepto en APR Cogotí, sector Cogotí donde se emplea la rugosidad absoluta para poder diferenciar el HDPE del PVC. Los coeficientes son sacados de la Tabla 14.

Es necesario considerar puntos de alta demanda, por ejemplo: escuelas, hospitales, grifos, etc.

En el software se considera solo la conducción secundaria o distribución, es decir, desde los estanques hasta los arranques. No se modela la conducción primaria o impulsión, es decir, desde el pozo hasta los estanques.

Para modelar la red no es necesario una precisión a nivel de arranques, por lo tanto, se agrupa una cierta cantidad de casas por sector para definir el consumo por nudo, manteniendo el número de arranques por sector mencionado en la sección 3.1.3.

6.1 Verificación de resultados.

Es necesario verificar los resultados entregados en el software. Los parámetros por revisar son: presiones y velocidades. Si bien el caudal también es un resultado entregado por EPANET, este no tiene límites según la norma.

Según lo descrito en la sección 2.3.8, las presiones deben estar entre 15 [m.c.a] y 70 [m.c.a] para el caso sin incendio y entre 5 [m.c.a] y 70 [m.c.a] para el caso con incendio.

Según lo descrito en la sección 2.3.9.1 las velocidades no deben sobrepasar los 3 [m/s].

En la Tabla 27 se observa el resumen de los límites de los valores de presión y velocidad mencionados anteriormente.

	Valor mínimo	Valor máximo
Presión con incendio	5 [m.c.a]	70 [m.c.a]
Presión sin incendio	15 [m.c.a]	70 [m.c.a]
Velocidad	-	3 [m/s]

Tabla 27: Resumen límites de presión y velocidad.

En ambos casos (presión y velocidad), se identificarán con color rojo aquellos valores que sobrepasen el límite máximo permitido, mientras que, para las presiones, se resaltarán en verde aquellos valores que estén por debajo del límite mínimo aceptable por la normativa.

6.2 Rapel.

6.2.1 Red actual.

Actualmente en el APR de Rapel no se encuentran grifos, es por esto que, según lo descrito en la sección 2.3.9, la demanda total del APR es igual al valor del Caudal Máximo Horario (Q_{máxh}) calculado en la Tabla 18 y es igual a 6.51 [l/s].

En Rapel hay 6 puntos de alta demanda: Escuela Wenceslao Vargas de Rapel, Escuela Los Ángeles de Rapel, Escuela Inés de Suarez Higuera, Internado de Niños de Rapel, Posta de Salud, Jardín infantil Pelusitas. En la Tabla 105 en Anexo C, se observan los consumos del año 2022.

Al ser febrero el mes de máximo consumo en los últimos 12 meses (Tabla 108 y Tabla 109 del Anexo C) se considera este mes para los puntos de alto consumo. En la Tabla 28 se observa la demanda en [l/s].

Nombre usuario	Demanda [l/s]
Escuela Wenceslao Vargas de Rapel	0.045
Escuela Los Ángeles de Rapel	0.001
Escuela Inés de Suarez Higuera	0.004
Internado de niños de Rapel	0.063
Posta de salud Rapel	0.004
Jardín Infantil Pelusitas	0.003
Total	0.119

Tabla 28: Demandas puntos de alto consumo. Fuente: Elaboración propia.

La demanda por arranque domiciliario se calcula con la Ecuación 14:

Ecuación 14: Demanda por arranque domiciliario.

$$Demanda_{arranque\ domiciliario} = \frac{Demanda_{total\ APR} - Demanda_{alto\ consumo}}{Número\ de\ arranques\ domiciliarios}$$

La Tabla 29 muestra el resumen de los valores de las demandas usados en el diseño.

Agrupación	Número de arranques	Demanda [l/s]
Total arranques APR	509	6.51
Total arranques domiciliarios	503	6.39
Alta demanda	6	0.12
Arranque domiciliario	1	0.01

Tabla 29: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.

Más detalles sobre las demandas en la Tabla 110 en el Anexo A.

La distribución de Rapel está sectorizada en dos redes, por lo tanto, se hacen 2 simulaciones:

- Distribución sectores Higuera, P.N. Milenio, P. el Manzano, Delicias, Rapel, Los Ángeles y Pedregal bajo.
- Distribución sector Pedregal Alto.

6.2.1.1 Distribución sectores Higuera, P.N. Milenio, P. el Manzano, Delicias, Rapel, Los Ángeles y Pedregal bajo.

La red se ha modelado en EPANET a partir del mapa que se muestra en la Ilustración 10. La Ilustración 18 muestra dicha modelación



Ilustración 18: Modelo red actual.

En la Ilustración 19 e Ilustración 20 se muestran los ID de los nudos y líneas respectivamente. Más detalle en Ilustración 66, Ilustración 67, Ilustración 68, Ilustración 69 e Ilustración 70 en Anexo B.



Ilustración 19: ID nudos.



Ilustración 20: ID Líneas.

La Red de este APR está constituida con material PVC de clase 10 y principalmente con diámetros exterior de 63 [mm], pero también hay tramos de 75 [mm] y 110 [mm]. Las salidas del estanque son de diámetro exterior 110 [mm].

Las cotas de los nudos que representan arranques varían entre los 731 y 905 m.s.n.m., mientras que los estanques se encuentran a 910 m.s.n.m.

En la Tabla 30 se observan las características de los nudos y en la Tabla 31 y Tabla 32 de las líneas (tuberías) de la red.

Tabla de Red-Nudos							
ID Nudo	Cota	Demanda Base	Presión	ID Nudo	Cota	Demanda Base	Presión
	[m]	[l/s]	[m]		[m]	[l/s]	[m]
Conexión 3	910	0.000	1.99	Conexión 36	752	0.025	27.89
Conexión 4	894	0.191	17.44	Conexión 37	750	0.038	29.89
Conexión 5	888	0.102	22.90	Conexión 38	746	0.025	33.85
Conexión 6	855	0.051	55.10	Conexión 39	747	0.152	32.85
Conexión 7	855	0.127	25.00	Conexión 40	781	0.038	11.56
Conexión 8	871	0.038	38.91	Conexión 41	778	0.025	14.56
Conexión 9	867	0.203	43.02	Conexión 42	785	0.038	7.58
Conexión 10	872	0.127	38.81	Conexión 43	775	0.025	56.82
Conexión 11	889	0.089	21.83	Conexión 44	902	0.051	9.40
Conexión 12	889	0.089	21.87	Conexión 45	905	0.025	6.39
Conexión 13	859	0.051	20.92	Conexión 46	896	0.102	15.38
Conexión 14	860	0.049	19.90	Conexión 47	763	0.076	31.62
Conexión 15	869	0.064	10.83	Conexión 48	765	0.114	31.45
Conexión 16	836	0.114	17.33	Conexión 49	767	0.102	31.22
Conexión 17	830	0.089	21.69	Conexión 50	840	0.305	15.68
Conexión 18	778	0.051	56.96	Conexión 51	845	0.419	18.56
Conexión 19	775	0.051	25.00	Conexión 52	853	0.330	19.18
Conexión 20	768	0.127	32.26	Conexión 53	860	0.102	19.84
Conexión 21	765	0.102	35.12	Conexión 54	863	0.229	16.85
Conexión 22	766	0.178	33.86	Conexión 55	807	0.152	37.05
Conexión 23	793	0.102	7.25	Conexión 56	874	0.178	36.04
Conexión 24	759	0.114	33.67	Conexión 57	766	0.203	33.94
Conexión 25	755	0.051	37.51	Conexión 58	894	0.102	16.82
Conexión 26	764	0.051	28.62	Conexión 59	895	0.089	15.86
Conexión 27	773	0.051	19.59	Conexión 60	828	0.076	21.88
Conexión 28	785	0.051	7.58	Conexión 61	828	0.000	21.88
Conexión 29	777	0.015	15.57	Conexión 62	839	0.063	15.37
Conexión 30	769	0.004	23.62	Conexión 63	755	0.000	25.00
Conexión 31	778	0.089	14.55	Conexión 64	778	0.000	25.00
Conexión 32	772	0.076	20.61	Conexión 65	855	0.000	54.22
Conexión 33	753	0.000	39.51	Depósito 1	910	No Disponible	2.00
Conexión 34	751	0.051	28.94	Depósito 2	910	No Disponible	2.00
Conexión 35	731	0.305	48.78				

Tabla 30: Características nudos.

En el sector Higuera, Rapel, Los Ángeles y Pedregal bajo hay presiones menores a [15 m.c.a]. También hay presión baja en los estanques, pero al no haber arranques en ese nudo, no es necesario que cumplan con la presión mínima. No hay presiones mayores a 70 [m.c.a]. Las presiones bajas se solucionan aumentando el diámetro interior de la tubería, aumentando la diferencia de cota entre el punto y el estanque o con una bomba.

Tabla de Red-Líneas						
ID Línea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 1	2	99.4	150	4.40	0.57	Abierto
Tubería 2	14	99.4	150	1.54	0.20	Abierto
Tubería 3	93.8	99.4	150	5.94	0.77	Abierto
Tubería 5	200	57	150	0.31	0.12	Abierto
Tubería 6	50	57	150	0.48	0.19	Abierto
Tubería 7	50	57	150	0.03	0.01	Abierto
Tubería 8	30	57	150	0.03	0.01	Abierto
Tubería 9	45	57	150	0.54	0.21	Abierto
Tubería 12	114	57	150	0.65	0.25	Abierto
Tubería 13	77	57	150	0.44	0.17	Abierto
Tubería 14	120	57	150	0.08	0.03	Abierto
Tubería 15	165	57	150	0.08	0.03	Abierto
Tubería 16	102	57	150	0.31	0.12	Abierto
Tubería 17	89	57	150	0.17	0.07	Abierto
Tubería 18	165	57	150	0.15	0.06	Abierto
Tubería 19	44	57	150	0.11	0.04	Abierto
Tubería 20	112	57	150	0.09	0.03	Abierto
Tubería 21	136	57	150	0.09	0.03	Abierto
Tubería 23	86	57	150	0.04	0.01	Abierto
Tubería 24	102	57	150	0.00	0.00	Abierto
Tubería 27	430	57	150	1.57	0.61	Abierto
Tubería 29	175	57	150	0.48	0.19	Abierto
Tubería 33	85	57	150	2.65	1.04	Abierto
Tubería 35	200	99.4	150	4.50	0.58	Abierto
Tubería 36	55	99.4	150	4.54	0.58	Abierto
Tubería 38	193	99.4	150	4.97	0.64	Abierto
Tubería 41	221	67.8	150	0.50	0.14	Abierto
Tubería 42	46	67.8	150	0.44	0.12	Abierto
Tubería 44	106	99.4	150	5.57	0.72	Abierto
Tubería 47	102	57	150	0.10	0.04	Abierto
Tubería 48	38	57	150	0.50	0.19	Abierto
Tubería 49	97	57	150	0.32	0.12	Abierto

Tabla 31: Características líneas (primera parte).

Tabla de Red-Líneas						
	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
ID Línea	[m]	[mm]		[l/s]	[m/s]	
Tubería 50	53	57	150	0.60	0.23	Abierto
Tubería 10	366	57	150	1.28	0.50	Abierto
Tubería 22	267	57	150	1.49	0.58	Abierto
Tubería 34	300	57	150	3.13	1.23	Abierto
Tubería 39	260	57	150	3.55	1.39	Abierto
Tubería 51	200	57	150	3.88	1.52	Abierto
Tubería 53	213	67.8	150	0.17	0.05	Abierto
Tubería 59	96	57	150	0.10	0.04	Abierto
Tubería 60	96	57	150	0.09	0.03	Abierto
Tubería 28	1615	57	150	0.71	0.28	Abierto
Tubería 37	597	57	150	2.33	0.91	Abierto
Tubería 45	270	57	150	0.18	0.07	Abierto
Tubería 46	221	57	150	0.13	0.05	Abierto
Tubería 55	331	57	150	0.13	0.05	Abierto
Tubería 56	438	67.8	150	0.06	0.02	Abierto
Tubería 61	225	67.8	150	0.40	0.11	Abierto
Tubería 62	265	67.8	150	0.38	0.11	Abierto
Tubería 63	240	67.8	150	0.20	0.06	Abierto
Tubería 64	438	57	150	1.20	0.47	Abierto
Tubería 65	304	57	150	1.39	0.54	Abierto
Tubería 66	244	57	150	0.10	0.04	Abierto
Tubería 67	332	57	150	0.38	0.15	Abierto
Tubería 68	635	57	150	0.18	0.07	Abierto
Tubería 4	341	57	150	2.48	0.97	Abierto
Tubería 30	100	57	150	2.56	1.00	Abierto
Tubería 31	60	57	150	2.82	1.11	Abierto
Tubería 32	50	57	150	2.76	1.08	Abierto
Válvula 40	No Disponible	57	No Disponible	0.71	0.28	Activo
Válvula 43	No Disponible	99.4	No Disponible	4.50	0.58	Activo
Válvula 52	No Disponible	57	No Disponible	2.56	1.00	Abierto
Válvula 54	No Disponible	57	No Disponible	0.60	0.23	Activo
Válvula 57	No Disponible	57	No Disponible	1.54	0.60	Activo

Tabla 32: Características líneas (segunda parte).

En el modelo actual no hay velocidades mayores a 3 [m/s].

6.2.1.2 Distribución sector Pedregal alto.

Se modela la red a partir del mapa de la Ilustración 10. En la Ilustración 21 se observa la modelación:



Ilustración 21: Modelo red actual.

En la Ilustración 22 e Ilustración 23 se muestran los ID de los nudos y líneas respectivamente.

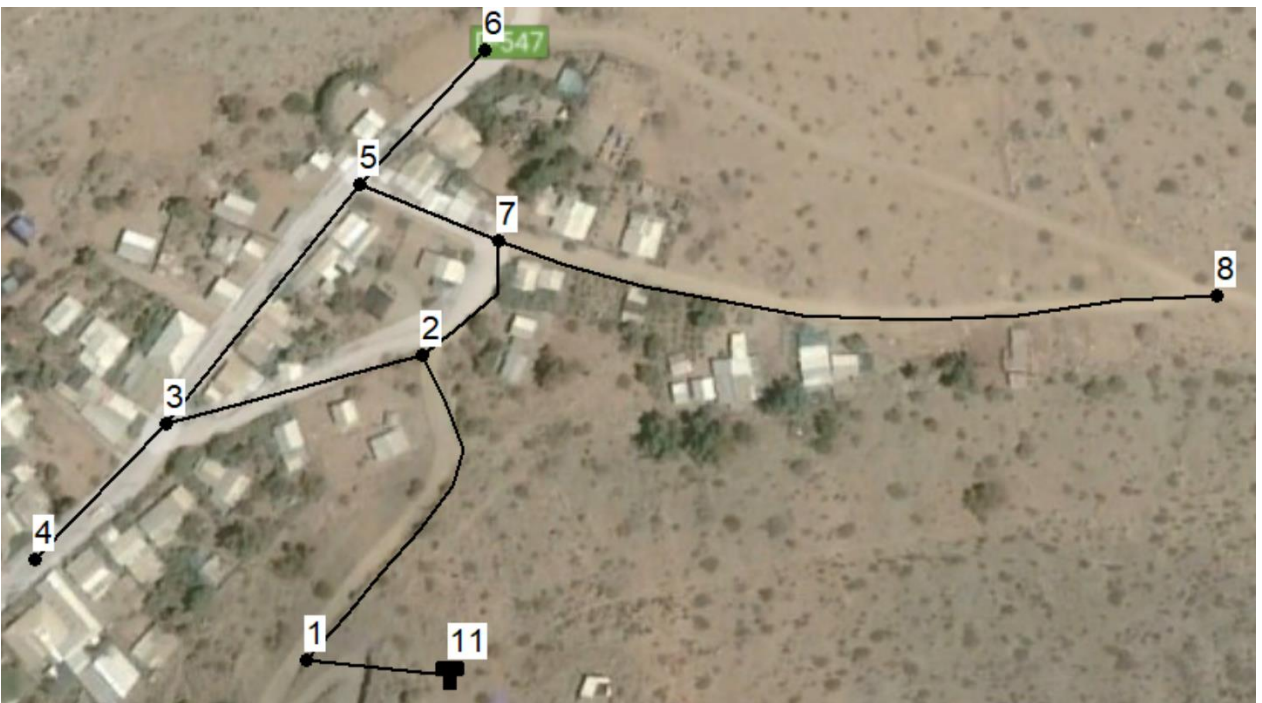


Ilustración 22: ID Nudos.

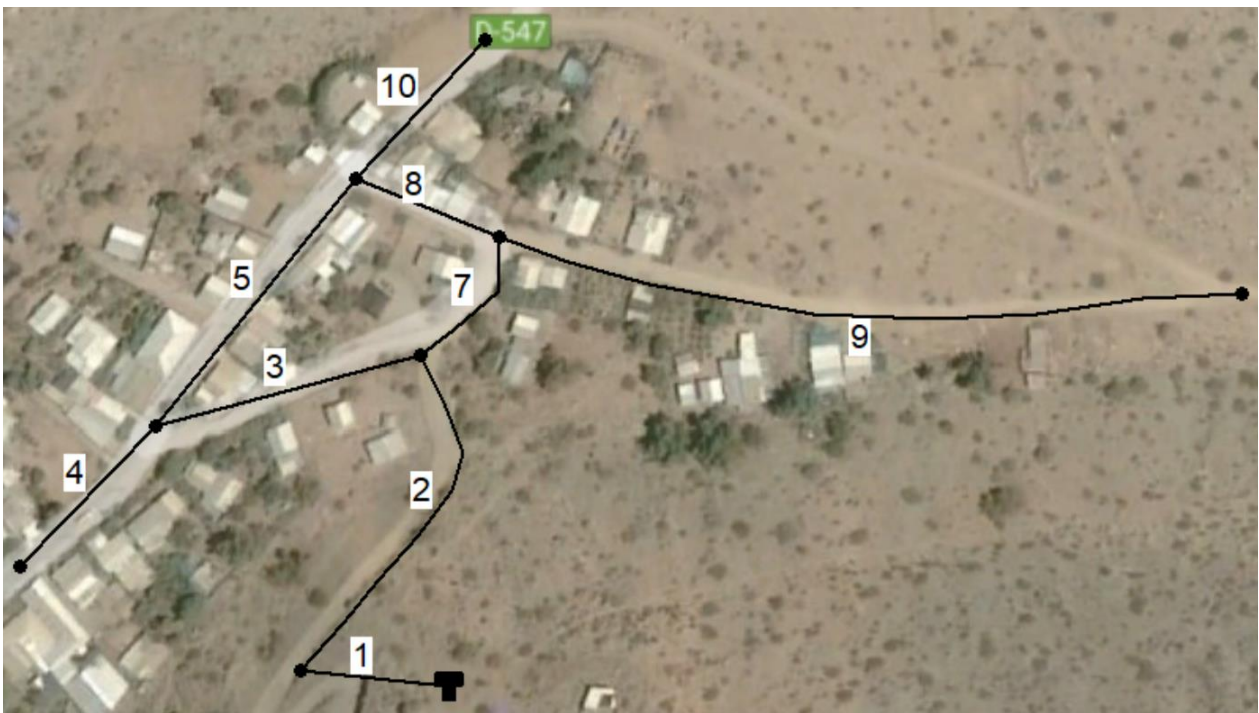


Ilustración 23: ID Líneas.

La Red de esta sección está constituida con material PVC clase 10, de diámetro exterior 63 [mm].

Las cotas de los nudos que representan arranques varían entre 899 y 937 m.s.n.m., mientras que el estanque se encuentra a 933 m.s.n.m.

En la Tabla 33 se observan las características de los nudos y en la Tabla 34 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos			
	Cota	Demanda Base	Presión
ID Nudo	[m]	[l/s]	[m]
Conexión 1	912	0.013	22.95
Conexión 2	912	0.051	22.81
Conexión 3	903	0.140	31.79
Conexión 4	899	0.064	35.79
Conexión 5	907	0.078	27.79
Conexión 7	912	0.025	22.79
Conexión 8	937	0.152	-2.23
Conexión 6	909	0.051	25.79
Depósito 11	933	No Disponible	2.00

Tabla 33: Características nudos.

En el sector Pedregal Alto, hay punto con presión negativa. En ese nudo se encuentra la última casa y fue mencionado por parte del operador que las últimas casas no tienen buena presión. La otra presión baja es del estanque,

pero al no haber arranques en ese nudo, no es necesario que cumplan con la presión mínima. No hay presiones mayores a 70 [m.c.a].

Tabla de Red-Líneas						
	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
ID Línea	[m]	[mm]		[l/s]	[m/s]	
Tubería 1	47	57	150	0.57	0.22	Abierto
Tubería 3	84	57	150	0.23	0.09	Abierto
Tubería 4	40	57	150	0.06	0.03	Abierto
Tubería 5	110	57	150	0.03	0.01	Abierto
Tubería 8	57	57	150	0.10	0.04	Abierto
Tubería 10	64	57	150	0.05	0.02	Abierto
Tubería 7	53	57	150	0.28	0.11	Abierto
Tubería 2	128	57	150	0.56	0.22	Abierto
Tubería 9	220	57	150	0.15	0.06	Abierto

Tabla 34: Características líneas.

En el modelo actual no hay velocidades mayores a 3 [m/s].

6.2.2 Proyección año 2025.

Como fue mencionado anteriormente, la ampliación Los Ángeles y la población del APR en el año 2025 se resolverán como el mismo caso. El volumen de estanques necesario a esta fecha 154[m³], es decir, faltan 29 [m³] en comparación a la infraestructura actual.

En la Tabla 35 se observan los arranques por sector considerados.

Estanque	Sector	Número de arranques
3	Pedregal alto	75
1 y 2	Pedregal bajo	120
	Villa el manzano	33
	Higuera	152
	Delicias	68
	Los Ángeles	82
	Rapel	90
	P. Nuevo milenio	51
Total		671

Tabla 35: Arranques por sector abastecimiento población año 2025 y ampliación sector Los Ángeles.

Para el estado con incendio, se agrega un grifo de 16 [l/s] a los puntos de alta demanda. Como fue mencionado anteriormente en la sección 5.2.1.1 y según la Tabla 1, a este APR se añadirá solo un grifo. En la Tabla 37 se muestra el resumen de los valores de las altas demandas.

Nombre usuario	Consumo [l/s]
Escuela Wenceslao Vargas de Rapel	0.045
Escuela Los Ángeles de Rapel	0.001
Escuela Inés de Suarez Higuera	0.004
Internado de niños de Rapel	0.063
Posta de salud Rapel	0.004
Jardín Infantil Pelusitas	0.003
Grifo	16.0000
Total	16.1190

Tabla 36: Puntos de alta demanda año 2025.

El grifo se ubica en la intersección entre la calle principal y la subida hacia los estanques, entre los sectores Rapel y Pedregal. Se escogió este lugar porque está en el centro del pueblo, cercano a la posta y al internado.

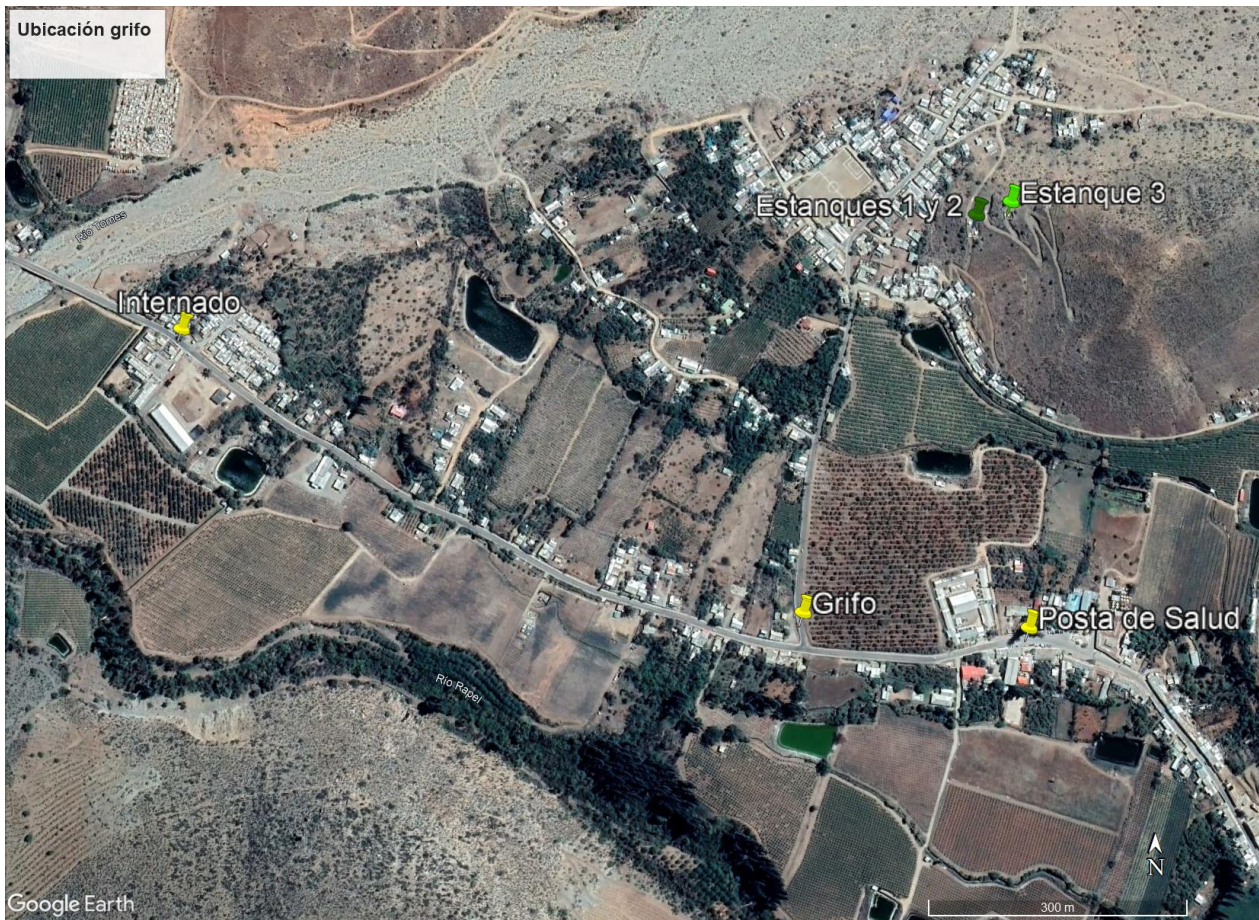


Ilustración 24: Ubicación grifo.

La distribución de Rapel está sectorizada en dos redes, por lo tanto, se hacen 2 simulaciones:

- Distribución sectores Higuera, P.N. Milenio, P. el Manzano, Delicias, Rapel, Los Ángeles y Pedregal bajo.

- Distribución sector Pedregal Alto.

6.2.2.1 Distribución sectores Higuera, P.N. Milenio, P. el Manzano, Delicias, Rapel, Los Ángeles y Pedregal bajo.

A continuación, se modela una solución a los problemas de la situación actual vistos en la sección 6.2.1.

En el sector Los Ángeles no se puede construir un estanque elevado ya que las condiciones de terreno no lo permiten. Se agrega a la red actual el estanque de 30 [m³] a una cota de 819 m.s.n.m. a una distancia de 100 [m] de la última casa de la ampliación. Al igual que los demás estanques del APR, se diseña un estanque de hormigón armado semienterrado de 30 [m³] ya que es el tamaño mayor más cercano de este tipo de estanques, según la Tabla 2. Con esto se tendrá un volumen total de 155 [m³].

Se realizaron extensiones en la red en los siguientes sectores: Rapel, Pedregal bajo, Higuera y Los Ángeles. En la Ilustración 25 se marcan en rojo las ampliaciones añadidas, en amarillo las bombas agregadas y en azul el estanque.



Ilustración 25: Modelo distribución proyectada para el año 2025.

Ningún diámetro fue cambiado para este modelo. Las extensiones de la red que se realizaron en algunos sectores fueron diseñadas continuando con el mismo diámetro. La salida del nuevo estanque es, al igual que las otras, de 110 [mm].

En la Ilustración 26 e Ilustración 27 se muestran los ID de los nudos y líneas respectivamente. Más detalle en Ilustración 71, Ilustración 72, Ilustración 73, Ilustración 74, Ilustración 75 e Ilustración 76 en Anexo B.



Ilustración 26: ID Nudos.



Ilustración 27: ID Líneas.

6.2.2.1.1 Estado con incendio. ($Q_{\text{máxd}} + Q_{\text{Incendio}}$)

En esta modelación se considera caudal de incendio puesto que se incluye un grifo. Es por esto que, según lo descrito en la sección 2.3.9, la demanda total del APR es igual al valor del Caudal Máximo Diario ($Q_{\text{máxd}}$) más caudal de incendio calculado en la Tabla 18. Las demandas altas son extraídas de la Tabla 36

La Tabla 37 muestra el resumen de los valores de las demandas usados en la modelación.

Agrupación	Número de arranques	Consumo [l/s]
Total arranques APR	678	21.59
Total arranques domiciliarios	671	5.47
Alta demanda	7	16.12
Arranque domiciliario	1	0.01

Tabla 37: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.

Más detalles sobre las demandas en la Tabla 111 en Anexo A.

En la Tabla 38 se observan las características de los nudos y en la Tabla 39 y Tabla 40 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos							
	Cota	DemandaBase	Presión		Cota	DemandaBase	Presión
ID Nudo	[m]	[l/s]	[m]	IDNudo	[m]	[l/s]	[m]
Conexión 3	910	0.000	1.94	Conexión 41	778	0.016	41.32
Conexión 4	894	0.122	12.58	Conexión 42	785	0.024	34.32
Conexión 5	888	0.065	12.89	Conexión 43	775	0.016	65.44
Conexión 6	855	0.033	35.94	Conexión 44	902	0.033	20.25
Conexión 7	855	0.082	23.27	Conexión 45	905	0.016	17.24
Conexión 8	871	0.024	17.20	Conexión 46	896	0.065	26.24
Conexión 9	867	0.130	23.88	Conexión 47	763	0.049	57.95
Conexión 10	872	0.130	28.82	Conexión 48	765	0.073	57.38
Conexión 11	889	0.057	11.85	Conexión 49	767	0.065	56.71
Conexión 12	889	0.057	11.87	Conexión 50	840	0.196	28.42
Conexión 13	859	0.033	19.16	Conexión 51	845	0.269	26.58
Conexión 14	860	0.049	18.14	Conexión 52	853	0.212	22.07
Conexión 15	869	0.073	17.68	Conexión 53	860	0.098	26.73
Conexión 16	836	0.073	31.50	Conexión 54	863	0.147	15.05
Conexión 17	830	0.098	36.87	Conexión 55	807	0.098	38.90
Conexión 18	778	0.033	64.67	Conexión 56	874	0.114	16.90
Conexión 19	775	0.030	50.00	Conexión 57	766	0.130	55.86
Conexión 20	768	0.082	54.00	Conexión 58	894	0.065	6.84
Conexión 21	765	0.066	56.93	Conexión 59	895	0.057	5.87
Conexión 22	766	0.114	55.82	Conexión 60	828	0.049	20.00
Conexión 23	793	0.065	29.14	Conexión 61	828	0.000	38.21
Conexión 24	759	0.073	60.38	Conexión 62	839	0.063	28.90
Conexión 25	755	0.033	64.22	Conexión 63	755	0.000	25.00
Conexión 26	764	0.033	55.35	Conexión 64	778	0.000	44.00
Conexión 27	773	0.033	46.33	Conexión 65	855	16.00	23.27
Conexión 28	785	0.033	34.32	Conexión 66	805	0.204	17.19
Conexión 29	777	0.011	42.32	Conexión 68	753	0.163	66.14
Conexión 30	769	0.004	50.35	Conexión 69	800	0.049	19.32
Conexión 31	778	0.057	41.31	Conexión 71	846	0.082	44.87
Conexión 32	772	0.049	47.35	Conexión 72	896	0.016	26.24
Conexión 33	753	0.082	66.19	Conexión 73	877	0.082	9.67
Conexión 34	751	0.033	28.97	Conexión 74	881	0.098	5.67
Conexión 35	731	0.196	48.90	Conexión 70	805	0.000	17.19
Conexión 36	752	0.016	27.95	Conexión 76	894	0.000	28.27
Conexión 37	750	0.024	29.95	Conexión 75	860	0.000	18.01
Conexión 38	746	0.016	33.93	Depósito 1	910	No Disponible	2.00
Conexión 39	747	0.098	32.93	Depósito 2	910	No Disponible	2.00
Conexión 40	781	0.024	38.32	Depósito 67	819	No Disponible	3.20

Tabla 38: Características nudos.

Se analiza el caso de incendio para el año 2025 en donde, se han solucionado los problemas de presión baja en todos los sectores. Los únicos puntos con presión menor al mínimo (5 [m.c.a] para el caso de incendio) son los estanques y la conexión 3, que está ubicado debajo de los estanques Rapel el cual fue diseñado para unir las tuberías. No hay arranques ni demanda base

en ninguno de estos nudos, por lo tanto, no deben cumplir con los rangos de presiones. No hay presiones mayores a 70 [m.c.a].

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 1	2	99.4	150	14.91	1.92	Abierto
Tubería 2	14	99.4	150	5.21	0.67	Abierto
Tubería 3	93.8	99.4	150	20.12	2.59	Abierto
Tubería 5	200	57	150	0.20	0.08	Abierto
Tubería 6	50	57	150	0.31	0.12	Abierto
Tubería 7	50	57	150	0.02	0.01	Abierto
Tubería 8	30	57	150	0.02	0.01	Abierto
Tubería 9	45	57	150	0.35	0.14	Abierto
Tubería 12	114	57	150	0.66	0.26	Abierto
Tubería 13	77	57	150	0.33	0.13	Abierto
Tubería 14	120	57	150	0.05	0.02	Abierto
Tubería 15	165	57	150	0.05	0.02	Abierto
Tubería 16	102	57	150	0.25	0.10	Abierto
Tubería 17	89	57	150	0.11	0.04	Abierto
Tubería 18	165	57	150	0.10	0.04	Abierto
Tubería 19	44	57	150	0.07	0.03	Abierto
Tubería 20	112	57	150	0.06	0.02	Abierto
Tubería 21	136	57	150	0.11	0.04	Abierto
Tubería 23	86	57	150	0.07	0.03	Abierto
Tubería 24	102	57	150	0.24	0.10	Abierto
Tubería 27	430	57	150	1.30	0.51	Abierto
Tubería 29	175	57	150	0.31	0.12	Abierto
Tubería 33	85	57	150	1.58	0.62	Abierto
Tubería 35	200	99.4	150	19.05	2.46	Abierto
Tubería 36	55	99.4	150	19.08	2.46	Abierto
Tubería 38	193	99.4	150	19.44	2.50	Abierto
Tubería 41	221	67.8	150	0.58	0.16	Abierto
Tubería 42	46	67.8	150	0.55	0.15	Abierto
Tubería 44	106	99.4	150	19.87	2.56	Abierto
Tubería 47	102	57	150	0.08	0.03	Abierto
Tubería 48	38	57	150	0.37	0.14	Abierto
Tubería 49	97	57	150	0.25	0.10	Abierto
Tubería 50	53	57	150	0.38	0.15	Abierto
Tubería 10	366	57	150	1.12	0.44	Abierto
Tubería 22	267	57	150	1.25	0.49	Abierto
Tubería 34	300	57	150	1.91	0.75	Abierto

Tabla 39: Características Líneas (primera parte).

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 39	260	57	150	2.18	0.85	Abierto
Tubería 51	200	57	150	2.39	0.94	Abierto
Tubería 53	213	67.8	150	0.35	0.10	Abierto
Tubería 59	96	57	150	0.07	0.03	Abierto
Tubería 60	96	57	150	0.06	0.02	Abierto
Tubería 28	1615	57	150	0.00	0.00	Abierto
Tubería 37	597	57	150	1.33	0.52	Abierto
Tubería 45	270	57	150	0.13	0.05	Abierto
Tubería 46	221	57	150	0.10	0.04	Abierto
Tubería 55	331	57	150	0.13	0.05	Abierto
Tubería 56	438	67.8	150	0.25	0.07	Abierto
Tubería 61	225	67.8	150	0.50	0.14	Abierto
Tubería 62	265	67.8	150	0.33	0.09	Abierto
Tubería 63	240	67.8	150	0.21	0.06	Abierto
Tubería 64	438	57	150	1.07	0.42	Abierto
Tubería 65	304	57	150	1.19	0.47	Abierto
Tubería 66	244	57	150	0.39	0.15	Abierto
Tubería 67	332	57	150	0.24	0.10	Abierto
Tubería 68	635	57	150	0.11	0.04	Abierto
Tubería 4	341	57	150	1.43	0.56	Abierto
Tubería 30	100	57	150	1.48	0.58	Abierto
Tubería 31	60	57	150	1.71	0.67	Abierto
Tubería 32	50	57	150	1.65	0.65	Abierto
Tubería 11	74	57	150	0.46	0.18	Abierto
Tubería 25	100	99.4	150	0.66	0.09	Abierto
Tubería 26	465	57	150	0.16	0.06	Abierto
Tubería 58	152	57	150	0.05	0.02	Abierto
Tubería 69	316	67.8	150	0.08	0.02	Abierto
Tubería 70	155	57	150	0.02	0.01	Abierto
Tubería 71	205	67.8	150	0.18	0.05	Abierto
Tubería 72	183	67.8	150	0.10	0.03	Abierto
Bomba 75	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.13	0.00	Abierto
Bomba 57	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.35	0.00	Abierto
Válvula 40	No Disponible	57	No Disponible	0.00	0.00	Cerrado
Válvula 43	No Disponible	99.4	No Disponible	3.05	0.39	Abierto
Válvula 52	No Disponible	57	No Disponible	1.48	0.58	Activo
Válvula 54	No Disponible	57	No Disponible	0.38	0.15	Activo
Válvula 73	No Disponible	57	No Disponible	1.28	0.50	Activo
Válvula 74	No Disponible	57	No Disponible	0.66	0.26	Abierto

Tabla 40: Características Líneas (segunda parte).

El modelo de la proyección del año 2025 con incendio, no se generan velocidades mayores a 3 [m/s].

6.2.2.1.2 Estado sin incendio. (Q_{máxh})

Esta modelación no considera caudal de incendio, entonces según lo descrito en la sección 2.3.9, la demanda total del APR es igual al valor del Caudal Máximo Horario (Q_{máxh}) calculado en la Tabla 18 y es igual a 8.38 [l/s]. Las demandas altas son extraídas de la Tabla 28.

La Tabla 41 muestra el resumen de los valores de las demandas.

Agrupación	Número de arranques	Consumo [l/s]
Total arranques APR	677	8.38
Total arranques domiciliarios	671	8.26
Alta demanda	6	0.12
Arranque domiciliario	1	0.01

Tabla 41: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.

Más detalles sobre las demandas en la Tabla 112 en Anexo A.

En la Tabla 42 se observan las características de los nudos y en la Tabla 43 y Tabla 44 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos							
ID Nudo	Cota	DemandaBase	Presión	IDNudo	Cota	DemandaBase	Presión
	[m]	[l/s]	[m]		[m]	[l/s]	[m]
Conexión 3	910	0.000	1.99	Conexión 41	778	0.025	41.60
Conexión 4	894	0.185	17.40	Conexión 42	785	0.037	34.60
Conexión 5	888	0.099	22.82	Conexión 43	775	0.025	56.75
Conexión 6	855	0.049	54.97	Conexión 44	902	0.049	19.66
Conexión 7	855	0.123	50.00	Conexión 45	905	0.025	16.64
Conexión 8	871	0.037	38.78	Conexión 46	896	0.099	25.63
Conexión 9	867	0.197	42.84	Conexión 47	763	0.074	60.10
Conexión 10	872	0.197	38.67	Conexión 48	765	0.111	61.14
Conexión 11	889	0.086	21.73	Conexión 49	767	0.099	61.99
Conexión 12	889	0.086	21.78	Conexión 50	840	0.296	44.23
Conexión 13	859	0.049	45.78	Conexión 51	845	0.406	45.88
Conexión 14	860	0.049	44.74	Conexión 52	853	0.320	45.25
Conexión 15	869	0.111	41.14	Conexión 53	860	0.148	50.24
Conexión 16	836	0.111	46.28	Conexión 54	863	0.222	41.55
Conexión 17	830	0.148	50.93	Conexión 55	807	0.148	36.48
Conexión 18	778	0.049	58.53	Conexión 56	874	0.172	35.88
Conexión 19	775	0.049	56.75	Conexión 57	766	0.197	55.47
Conexión 20	768	0.123	53.77	Conexión 58	894	0.099	16.72
Conexión 21	765	0.099	56.63	Conexión 59	895	0.086	15.77
Conexión 22	766	0.172	55.39	Conexión 60	828	0.074	20.00
Conexión 23	793	0.099	29.06	Conexión 61	828	0.000	51.51
Conexión 24	759	0.111	60.74	Conexión 62	839	0.063	44.14
Conexión 25	755	0.049	64.38	Conexión 63	755	0.000	25.00
Conexión 26	764	0.049	55.68	Conexión 64	778	0.000	43.77
Conexión 27	773	0.049	46.62	Conexión 65	855	0.000	54.08
Conexión 28	785	0.049	34.61	Conexión 66	805	0.308	17.18
Conexión 29	777	0.015	42.61	Conexión 68	753	0.246	66.22
Conexión 30	769	0.004	50.67	Conexión 69	800	0.074	19.60
Conexión 31	778	0.086	41.59	Conexión 71	846	0.123	63.83
Conexión 32	772	0.074	47.67	Conexión 72	896	0.025	25.63
Conexión 33	753	0.123	66.33	Conexión 73	877	0.123	33.11
Conexión 34	751	0.049	28.94	Conexión 74	881	0.148	29.11
Conexión 35	731	0.296	48.79	Conexión 70	805	0.000	17.18
Conexión 36	752	0.025	27.89	Conexión 76	894	0.000	27.70
Conexión 37	750	0.037	29.89	Conexión 75	860	0.000	44.46
Conexión 38	746	0.025	33.86	Depósito 1	910	No Disponible	2.00
Conexión 39	747	0.148	32.86	Depósito 2	910	No Disponible	2.00
Conexión 40	781	0.037	38.60	Depósito 67	819	No Disponible	3.20

Tabla 42: Características Nudos.

Se analiza el caso sin incendio para el año 2025 en donde, se han solucionado los problemas de presión baja en todos los sectores. Los únicos puntos con presión menor al mínimo (15 [m.c.a] para este caso) son los estanques y la conexión 3, que está ubicado debajo de los estanques Rapel el cual fue diseñado para unir las tuberías. No hay arranques ni demanda base en ninguno de estos nudos, por lo tanto, no deben cumplir con este rango de presiones. No hay presiones mayores a 70 [m.c.a].

Tabla de Red-Líneas						
	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
IDLínea	[m]	[mm]		[l/s]	[m/s]	
Tubería 1	2	99.4	150	4.57	0.59	Abierto
Tubería 2	14	99.4	150	1.60	0.21	Abierto
Tubería 3	93.8	99.4	150	6.17	0.79	Abierto
Tubería 5	200	57	150	0.30	0.12	Abierto
Tubería 6	50	57	150	0.47	0.18	Abierto
Tubería 7	50	57	150	0.03	0.01	Abierto
Tubería 8	30	57	150	0.03	0.01	Abierto
Tubería 9	45	57	150	0.53	0.21	Abierto
Tubería 12	114	57	150	1.00	0.39	Abierto
Tubería 13	77	57	150	0.50	0.20	Abierto
Tubería 14	120	57	150	0.08	0.03	Abierto
Tubería 15	165	57	150	0.07	0.03	Abierto
Tubería 16	102	57	150	0.37	0.15	Abierto
Tubería 17	89	57	150	0.16	0.06	Abierto
Tubería 18	165	57	150	0.15	0.06	Abierto
Tubería 19	44	57	150	0.11	0.04	Abierto
Tubería 20	112	57	150	0.09	0.03	Abierto
Tubería 21	136	57	150	0.16	0.06	Abierto
Tubería 23	86	57	150	0.11	0.04	Abierto
Tubería 24	102	57	150	0.37	0.14	Abierto
Tubería 27	430	57	150	1.97	0.77	Abierto
Tubería 29	175	57	150	0.47	0.18	Abierto
Tubería 33	85	57	150	2.39	0.93	Abierto
Tubería 35	200	99.4	150	4.55	0.59	Abierto
Tubería 36	55	99.4	150	4.59	0.59	Abierto
Tubería 38	193	99.4	150	5.13	0.66	Abierto
Tubería 41	221	67.8	150	0.85	0.24	Abierto
Tubería 42	46	67.8	150	0.80	0.22	Abierto
Tubería 44	106	99.4	150	5.79	0.75	Abierto
Tubería 47	102	57	150	0.12	0.05	Abierto
Tubería 48	38	57	150	0.55	0.22	Abierto
Tubería 49	97	57	150	0.38	0.15	Abierto
Tubería 50	53	57	150	0.58	0.23	Abierto
Tubería 10	366	57	150	1.68	0.66	Abierto
Tubería 22	267	57	150	1.89	0.74	Abierto
Tubería 34	300	57	150	2.86	1.12	Abierto
Tubería 39	260	57	150	3.26	1.28	Abierto

Tabla 43: Características Líneas (primera parte).

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 51	200	57	150	3.58	1.40	Abierto
Tubería 53	213	67.8	150	0.53	0.15	Abierto
Tubería 59	96	57	150	0.10	0.04	Abierto
Tubería 60	96	57	150	0.09	0.03	Abierto
Tubería 28	1615	57	150	0.00	0.00	Abierto
Tubería 37	597	57	150	2.02	0.79	Abierto
Tubería 45	270	57	150	0.20	0.08	Abierto
Tubería 46	221	57	150	0.15	0.06	Abierto
Tubería 55	331	57	150	0.20	0.08	Abierto
Tubería 56	438	67.8	150	0.38	0.11	Abierto
Tubería 61	225	67.8	150	0.75	0.21	Abierto
Tubería 62	265	67.8	150	0.49	0.14	Abierto
Tubería 63	240	67.8	150	0.32	0.09	Abierto
Tubería 64	438	57	150	1.61	0.63	Abierto
Tubería 65	304	57	150	1.79	0.70	Abierto
Tubería 66	244	57	150	0.59	0.23	Abierto
Tubería 67	332	57	150	0.37	0.14	Abierto
Tubería 68	635	57	150	0.17	0.07	Abierto
Tubería 4	341	57	150	2.16	0.85	Abierto
Tubería 30	100	57	150	2.24	0.88	Abierto
Tubería 31	60	57	150	2.56	1.00	Abierto
Tubería 32	50	57	150	2.50	0.98	Abierto
Tubería 11	74	57	150	0.69	0.27	Abierto
Tubería 25	100	99.4	150	1.00	0.13	Abierto
Tubería 26	465	57	150	0.25	0.10	Abierto
Tubería 58	152	57	150	0.07	0.03	Abierto
Tubería 69	316	67.8	150	0.12	0.03	Abierto
Tubería 70	155	57	150	0.03	0.01	Abierto
Tubería 71	205	67.8	150	0.27	0.08	Abierto
Tubería 72	183	67.8	150	0.15	0.04	Abierto
Bomba 75	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.20	0.00	Abierto
Bomba 57	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.53	0.00	Abierto
Válvula 40	No Disponible	57	No Disponible	0.00	0.00	Cerrado
Válvula 43	No Disponible	99.4	No Disponible	4.55	0.59	Activo
Válvula 52	No Disponible	57	No Disponible	2.24	0.88	Activo
Válvula 54	No Disponible	57	No Disponible	0.58	0.23	Activo
Válvula 73	No Disponible	57	No Disponible	1.94	0.76	Abierto
Válvula 74	No Disponible	57	No Disponible	1.00	0.39	Abierto

Tabla 44: Características Líneas (segunda parte).

No se generan velocidades mayores a 3 [m/s]

6.2.2.2 Distribución sector Pedregal alto.

Las demandas por considerar son las del estado sin incendio vistos en el caso anterior, en la Tabla 41 con el Caudal Máximo Horario (Q_{máxh}).

Es necesario añadir una bomba para aumentar las presiones negativas de la Tabla 33. Se agregan nuevos nudos y tramos que están encerrados en rojo en la Ilustración 28.

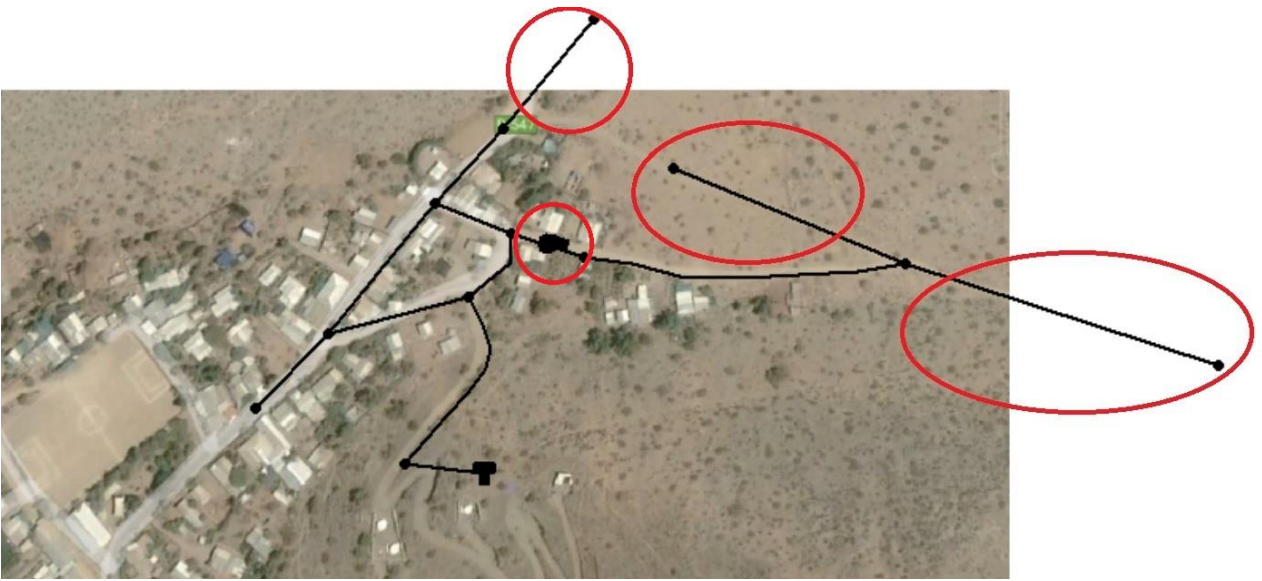


Ilustración 28: Modelo distribución proyectada para el año 2025.

En la Ilustración 29 e Ilustración 30 se muestran los ID de los nudos y líneas respectivamente.

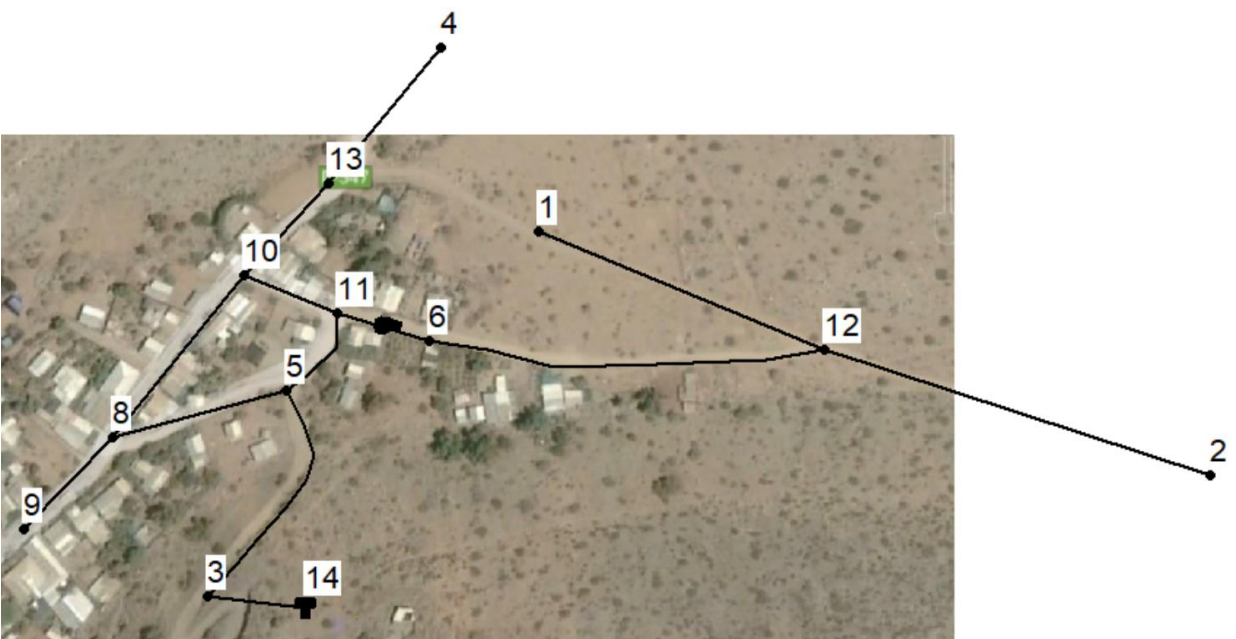


Ilustración 29: ID Nudos.

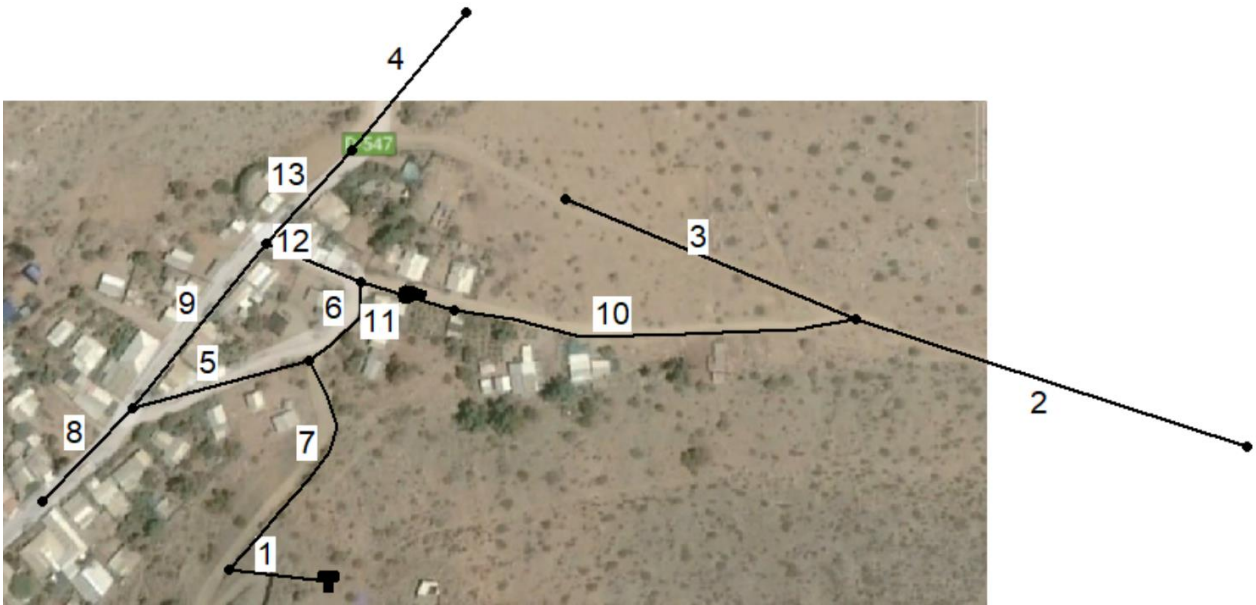


Ilustración 30: ID Líneas.

El equipo de elevación (bomba) se incorpora en la altura 912 m.s.n.m. al lado del nudo 11. Los diámetros anteriores y nuevos se mantienen en 63 [mm].

En la Tabla 45 se observan las características de los nudos y en la Tabla 46 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos			
	Cota	DemandaBase	Presión
IDNudo	[m]	[l/s]	[m]
Conexión 3	912	0.025	22.87
Conexión 5	912	0.049	22.54
Conexión 8	903	0.135	31.50
Conexión 9	899	0.062	35.50
Conexión 10	907	0.074	27.49
Conexión 11	912	0.025	22.49
Conexión 12	937	0.197	27.44
Conexión 13	909	0.049	25.48
Conexión 1	918	0.099	46.43
Conexión 2	948	0.111	16.43
Conexión 4	910	0.099	24.48
Conexión 6	912	0.000	52.57
Depósito 14	933	No Disponible	2.00

Tabla 45: Características Nudos.

Para el año 2025 se han solucionado los problemas de presión baja en Pedregal alto. La única presión baja es del estanque, pero al no haber arranques en ese

nudo, no es necesario que cumplan con la presión mínima. No hay presiones mayores a 70 [m.c.a].

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 1	47	57	150	0.93	0.36	Abierto
Tubería 5	84	57	150	0.35	0.14	Abierto
Tubería 8	40	57	150	0.06	0.02	Abierto
Tubería 9	110	57	150	0.15	0.06	Abierto
Tubería 12	57	57	150	0.07	0.03	Abierto
Tubería 13	64	57	150	0.15	0.06	Abierto
Tubería 6	53	57	150	0.50	0.20	Abierto
Tubería 7	128	57	150	0.90	0.35	Abierto
Tubería 2	182	57	150	0.11	0.04	Abierto
Tubería 3	133	57	150	0.10	0.04	Abierto
Tubería 4	50	57	150	0.10	0.04	Abierto
Tubería 10	220	57	150	0.41	0.16	Abierto
Bomba 11	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.41	0.00	Abierto

Tabla 46: Características Líneas.

En el modelo de la proyección del año 2025 tampoco se generan velocidades mayores a 3 [m/s].

6.2.3 Proyección año 2042.

Para este caso se asume que ya fue construido el estanque de 30 [m³] del modelo anterior quedando un total de 155 [m³] de infraestructura de estanques. El volumen de estanques requerido al año 2042 es de 348 [m³], por lo que faltan 193 [m³] de estanques por construir.

Se considera los habitantes totales en el año 2042 según la Tabla 17.

En la Tabla 47 se observan los arranques por sector considerados.

Estanque	Sector	Número de arranques
3	Pedregal alto	110
1 y 2	Pedregal bajo	150
	Villa el manzano	33
	Higuera	400
	Delicias	120
	Los Ángeles	140
	Rapel	288
	P. Nuevo milenio	61
Total		1302

Tabla 47: Arranques por sector año 2042. Fuente: Elaboración propia.

La distribución de Rapel está sectorizada en dos redes, por lo tanto, se hacen 2 simulaciones:

- Distribución sectores Higuera, P.N. Milenio, P. el Manzano, Delicias, Rapel, Los Ángeles y Pedregal bajo.
- Distribución sector Pedregal Alto.

6.2.3.1 Distribución sectores Higuera, P.N. Milenio, P. el Manzano, Delicias, Rapel, Los Ángeles y Pedregal bajo.

Se añade un estanque extra de 200 [m³] en el sector Higuera para completar el volumen requerido (Tabla 21) para abastecer la población en este año. Según la Tabla 2 el que más acomoda sería un estanque de hormigón armado semienterrado de 200 [m³]. Este se ubica en el sector Los Ángeles en la cota 825 m.s.n.m.

También se agrega una bomba en el sector de Rapel para satisfacer las nuevas demandas y que tengan buena presión. En la Ilustración 31 se marcan en rojo las extensiones de la red, en azul el estanque añadido y los cambios de diámetro: amarillo de 110 [mm] a 125 [mm], blanco de 63 y 75 [mm] a 110 [mm] y verde de 63 [mm] a 75 [mm].



Ilustración 31: Modelo distribución proyectada para el año 2042.

Se aumentan los diámetros en el tramo siguiente a la salida de los estanques actuales ubicados en Rapel. Se cambian de diámetro 110 [mm] a 125 [mm] (113 [mm] diámetro interno) dado que en estas tuberías se producen velocidades mayores a 3 [m/s] con el diámetro original.

En la Ilustración 32 se observan con mayor claridad los diámetros interiores de las tuberías cambiadas.

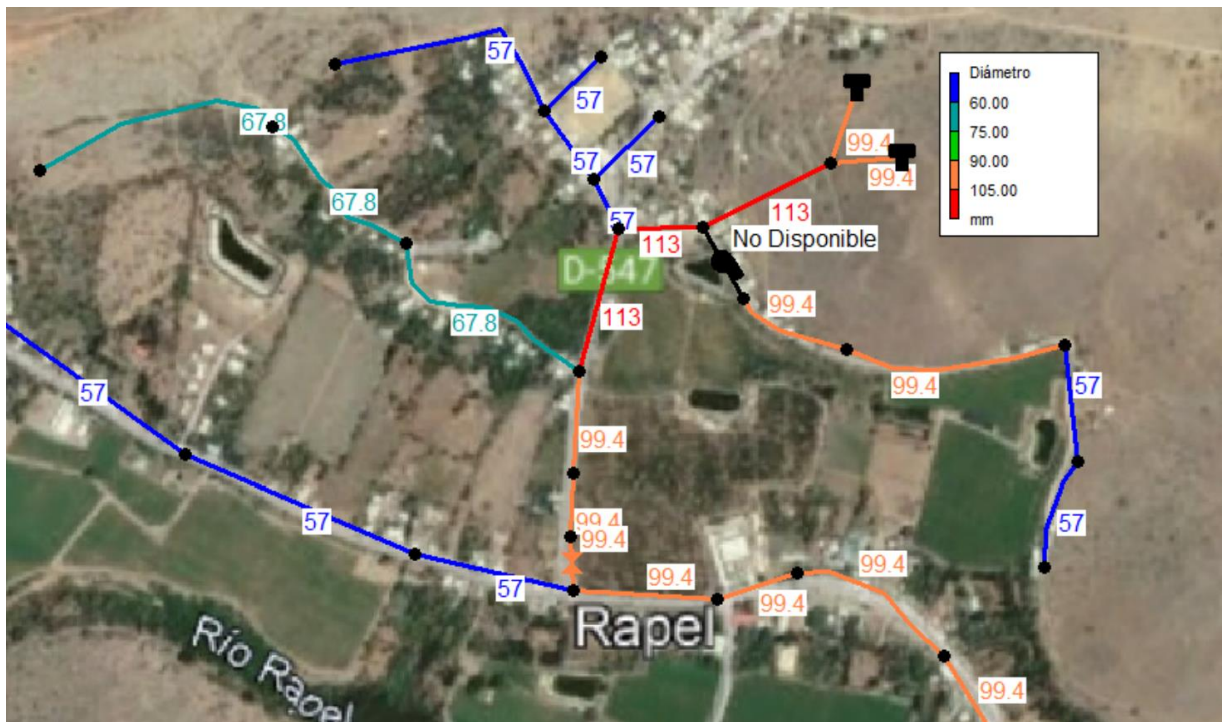


Ilustración 32: Diámetro tuberías modelo distribución proyectada para el año 2042, acercamiento en sectores Pedregal y Rapel. APR Rapel.

En la Ilustración 33 e Ilustración 34 se muestran los ID de los nudos y líneas de la red respectivamente. Más detalle en Ilustración 77, Ilustración 78, Ilustración 79, Ilustración 80, Ilustración 81, Ilustración 82, Ilustración 83, Ilustración 84 en Anexo B.



Ilustración 33: ID Nudos.



Ilustración 34: ID Líneas.

6.2.3.1.1 Estado con incendio. ($Q_{\text{máxd}} + Q_{\text{Incendio}}$)

Esta modelación si considera caudal de incendio, entonces según lo descrito en la sección 2.3.9, la demanda total del APR es igual al valor del Caudal Máximo Diario ($Q_{\text{máxd}}$) más caudal de incendio. Esto fue calculado en la Tabla 18 y es igual a 29.49 [l/s]. Las demandas altas son extraídas de la Tabla 36.

La Tabla 48 muestra el resumen de los valores de las demandas usados en la modelación.

Agrupación	Número de arranques	Demanda [l/s]
Total arranques APR	1302	29.49
Total arranques domiciliarios	1295	13.37
Alta demanda	7	16.12
Arranque domiciliario	1	0.01

Tabla 48: Resumen demandas población futura. Fuente: Elaboración propia.

Más detalles sobre las demandas en la Tabla 113 en Anexo A.

En la Tabla 49 se observan las características de los nudos y en la Tabla 50 y Tabla 51 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos							
IDNudo	Cota	DemandaBase	Presión	IDNudo	Cota	DemandaBase	Presión
	[m]	[l/s]	[m]		[m]	[l/s]	[m]
Conexión 3	910	0.000	1.91	Conexión 46	896	0.103	15.90
Conexión 4	894	0.155	13.79	Conexión 47	763	0.103	60.99
Conexión 5	888	0.083	15.47	Conexión 48	765	0.124	61.24
Conexión 6	855	0.083	40.93	Conexión 49	767	0.124	61.42
Conexión 7	855	0.103	23.46	Conexión 50	840	0.351	13.58
Conexión 8	871	0.072	21.15	Conexión 51	845	0.361	16.91
Conexión 9	867	0.268	28.70	Conexión 52	853	0.279	17.70
Conexión 10	872	0.165	31.36	Conexión 53	860	0.310	43.51
Conexión 11	889	0.072	14.40	Conexión 54	863	0.206	14.84
Conexión 12	889	0.072	14.44	Conexión 55	807	0.175	35.96
Conexión 13	859	0.062	19.17	Conexión 56	874	0.206	21.77
Conexión 14	860	0.049	18.12	Conexión 57	766	0.268	53.89
Conexión 15	869	0.310	34.16	Conexión 58	894	0.083	9.40
Conexión 16	836	0.206	15.16	Conexión 59	895	0.072	8.44
Conexión 17	830	0.206	19.57	Conexión 60	828	0.113	19.96
Conexión 18	778	0.145	57.40	Conexión 61	828	0.000	19.96
Conexión 19	775	0.186	55.62	Conexión 62	839	0.063	13.23
Conexión 20	768	0.124	53.06	Conexión 63	755	0.000	25.00
Conexión 21	765	0.083	55.61	Conexión 64	778	0.000	43.06
Conexión 22	766	0.206	53.23	Conexión 65	855	16.00	23.46
Conexión 23	793	0.103	28.87	Conexión 66	805	0.310	17.16
Conexión 24	759	0.103	62.65	Conexión 68	753	0.413	27.08
Conexión 25	755	0.041	64.54	Conexión 69	800	0.083	26.73
Conexión 26	764	0.062	58.09	Conexión 71	858	0.165	37.69
Conexión 27	773	0.062	49.79	Conexión 72	896	0.041	15.90
Conexión 28	785	0.041	39.15	Conexión 73	877	0.413	26.04
Conexión 29	777	0.013	45.76	Conexión 74	889	0.413	13.97
Conexión 30	769	0.004	53.08	Conexión 70	805	0.000	17.16
Conexión 31	778	0.155	44.70	Conexión 76	730	0.516	49.62
Conexión 32	772	0.083	50.08	Conexión 77	717	0.516	62.46
Conexión 33	753	0.516	30.00	Conexión 79	812	0.103	16.59
Conexión 34	751	0.041	28.94	Conexión 81	779	0.340	40.12
Conexión 35	731	0.248	48.76	Conexión 83	712	0.103	67.75
Conexión 36	752	0.021	27.89	Conexión 84	893	0.402	9.93
Conexión 37	750	0.031	29.89	Conexión 85	897	0.516	5.91
Conexión 38	746	0.021	33.85	Conexión 80	860	0.000	17.62
Conexión 39	747	0.124	32.85	Conexión 82	753	0.000	65.41
Conexión 40	781	0.062	41.71	Conexión 86	894	0.000	17.92
Conexión 41	778	0.052	44.71	Depósito 1	910	No Disponible	2.00
Conexión 42	785	0.052	40.05	Depósito 2	910	No Disponible	2.00
Conexión 43	775	0.103	55.62	Depósito 67	819	No Disponible	3.20
Conexión 44	902	0.062	9.91	Depósito 78	825	No Disponible	3.60
Conexión 45	905	0.041	6.91				

Tabla 49: Características Nudos.

Para el año 2042, se observa en la Tabla 49 que las presiones cumplen el rango. Los únicos puntos con presión menor al mínimo de 5 [m.c.a.] son los estanques y la conexión 3, que está ubicado debajo de los estanques Rapel el cual fue diseñado para unir las tuberías. No hay arranques ni demanda base en ninguno de estos nudos, por lo tanto, no deben cumplir con los rangos de presiones. No hay presiones mayores a 70 [m.c.a].

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 1	2	99.4	150	18.07	2.33	Abierto
Tubería 2	14	99.4	150	6.32	0.81	Abierto
Tubería 3	93.8	113	150	24.39	2.43	Abierto
Tubería 5	200	57	150	0.35	0.14	Abierto
Tubería 6	50	57	150	0.50	0.19	Abierto
Tubería 7	50	57	150	0.02	0.01	Abierto
Tubería 8	30	57	150	0.02	0.01	Abierto
Tubería 9	45	57	150	0.55	0.21	Abierto
Tubería 12	114	57	150	2.59	1.02	Abierto
Tubería 13	77	57	150	1.37	0.54	Abierto
Tubería 14	120	57	150	0.09	0.03	Abierto
Tubería 15	165	57	150	0.08	0.03	Abierto
Tubería 16	102	57	150	1.52	0.59	Abierto
Tubería 17	89	57	150	0.28	0.11	Abierto
Tubería 18	165	57	150	0.27	0.11	Abierto
Tubería 19	44	57	150	0.21	0.08	Abierto
Tubería 20	112	57	150	0.16	0.06	Abierto
Tubería 21	136	57	150	1.86	0.73	Abierto
Tubería 23	86	57	150	1.90	0.75	Abierto
Tubería 24	102	57	150	1.96	0.77	Abierto
Tubería 27	430	57	150	1.96	0.77	Abierto
Tubería 29	175	57	150	0.90	0.35	Abierto
Tubería 33	85	57	150	2.60	1.02	Abierto
Tubería 35	200	99.4	150	22.65	2.92	Abierto
Tubería 36	55	99.4	150	22.72	2.93	Abierto
Tubería 38	193	113	150	23.44	2.34	Abierto
Tubería 41	221	99.4	150	2.68	0.35	Abierto
Tubería 42	46	99.4	150	2.62	0.34	Abierto
Tubería 44	106	113	150	23.99	2.39	Abierto
Tubería 47	102	57	150	0.14	0.06	Abierto
Tubería 48	38	57	150	0.46	0.18	Abierto
Tubería 49	97	57	150	0.32	0.13	Abierto
Tubería 50	53	57	150	0.59	0.23	Abierto
Tubería 10	366	57	150	1.43	0.56	Abierto
Tubería 22	267	57	150	1.68	0.66	Abierto
Tubería 34	300	57	150	3.22	1.26	Abierto
Tubería 39	260	57	150	3.58	1.40	Abierto
Tubería 51	200	57	150	3.86	1.51	Abierto
Tubería 53	213	99.4	150	2.36	0.30	Abierto
Tubería 59	96	57	150	0.08	0.03	Abierto
Tubería 60	96	57	150	0.07	0.03	Abierto

Tabla 50: Características Líneas (primera parte).

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 28	1615	57	150	0.00	0.00	Abierto
Tubería 37	597	57	150	2.11	0.83	Abierto
Tubería 45	270	99.4	150	0.25	0.03	Abierto
Tubería 46	221	99.4	150	0.19	0.02	Abierto
Tubería 55	331	57	150	0.17	0.06	Abierto
Tubería 56	438	99.4	150	2.05	0.26	Abierto
Tubería 61	225	99.4	150	2.57	0.33	Abierto
Tubería 62	265	67.8	150	0.64	0.18	Abierto
Tubería 63	240	67.8	150	0.43	0.12	Abierto
Tubería 64	438	57	150	1.32	0.52	Abierto
Tubería 65	304	57	150	1.55	0.61	Abierto
Tubería 66	244	57	150	1.02	0.40	Abierto
Tubería 67	332	57	150	0.81	0.32	Abierto
Tubería 68	635	57	150	0.55	0.21	Abierto
Tubería 4	341	57	150	2.28	0.90	Abierto
Tubería 30	100	57	150	2.40	0.94	Abierto
Tubería 31	60	57	150	2.87	1.13	Abierto
Tubería 32	50	57	150	2.81	1.10	Abierto
Tubería 11	74	57	150	1.12	0.44	Abierto
Tubería 25	100	99.4	150	1.43	0.18	Abierto
Tubería 26	465	57	150	1.45	0.57	Abierto
Tubería 58	152	57	150	1.96	0.77	Abierto
Tubería 69	316	67.8	150	0.17	0.05	Abierto
Tubería 70	155	57	150	0.04	0.02	Abierto
Tubería 71	205	99.4	150	1.74	0.22	Abierto
Tubería 72	183	99.4	150	1.33	0.17	Abierto
Tubería 75	256	57	150	0.34	0.13	Abierto
Tubería 77	136	57	150	1.03	0.40	Abierto
Tubería 78	175	57	150	0.52	0.20	Abierto
Tubería 79	173	57	150	0.10	0.04	Abierto
Tubería 80	157	57	150	2.04	0.80	Abierto
Tubería 81	241	99.4	150	0.92	0.12	Abierto
Tubería 82	269	99.4	150	0.52	0.07	Abierto
Tubería 76	10	99.4	150	2.14	0.28	Abierto
Bomba 83	No Disponible	No Disponible	No Disponible	2.36	0.00	Abierto
Bomba 85	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.25	0.00	Abierto
Válvula 40	No Disponible	57	No Disponible	0.00	0.00	Cerrado
Válvula 43	No Disponible	99.4	No Disponible	6.65	0.86	Abierto
Válvula 52	No Disponible	57	No Disponible	2.40	0.94	Abierto
Válvula 54	No Disponible	57	No Disponible	0.59	0.23	Activo
Válvula 73	No Disponible	57	No Disponible	1.86	0.73	Abierto
Válvula 74	No Disponible	57	No Disponible	1.43	0.56	Abierto
Válvula 84	No Disponible	57	No Disponible	1.96	0.77	Activo

Tabla 51: Características Líneas (segunda parte).

El modelo proyectado a 20 años con incendio no presenta velocidades mayores a 3 [m/s]. Se aumentó el diámetro de las tuberías siguientes a los estanques de Rapel debido a que se formaban velocidades mayores a 3 [m/s] y con esto se solucionó el problema.

6.2.3.1.2 Estado sin incendio. (Q_{máxh})

Esta modelación no considera caudal de incendio, entonces según lo descrito en la sección 2.3.9, la demanda total del APR es igual al valor del Caudal Máximo Diario (Q_{máxh}). Esto fue calculado en la Tabla 18 y es igual a 20.24 [l/s]. Las demandas altas son extraídas de la Tabla 28.

La Tabla 52 muestra el resumen de los valores de las demandas usados en la modelación.

Agrupación	Número de arranques	Demanda [l/s]
Total arranques APR	1301	20.24
Total arranques domiciliarios	1295	18.36
Alta demanda	6	0.12
Arranque domiciliario	1	0.01

Tabla 52: Resumen demandas población futura. Fuente: Elaboración propia.

Más detalles sobre las demandas en la Tabla 114 en Anexo A.

En la Tabla 53 se observan las características de los nudos y en la Tabla 54 y Tabla 55 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos							
IDNudo	Cota	DemandaBase	Presión	IDNudo	Cota	DemandaBase	Presión
	[m]	[l/s]	[m]		[m]	[l/s]	[m]
Conexión 3	910	0.000	1.98	Conexión 46	896	0.142	25.46
Conexión 4	894	0.213	17.02	Conexión 47	763	0.142	52.33
Conexión 5	888	0.113	22.07	Conexión 48	765	0.170	53.08
Conexión 6	855	0.113	53.57	Conexión 49	767	0.170	53.85
Conexión 7	855	0.142	50.00	Conexión 50	840	0.482	26.63
Conexión 8	871	0.099	36.92	Conexión 51	845	0.496	34.28
Conexión 9	867	0.369	41.16	Conexión 52	853	0.383	39.86
Conexión 10	872	0.227	37.89	Conexión 53	860	0.425	54.49
Conexión 11	889	0.099	20.96	Conexión 54	863	0.284	40.89
Conexión 12	889	0.099	21.02	Conexión 55	807	0.241	33.85
Conexión 13	859	0.085	45.48	Conexión 56	874	0.284	34.29
Conexión 14	860	0.049	44.38	Conexión 57	766	0.369	52.02
Conexión 15	869	0.425	44.85	Conexión 58	894	0.113	15.95
Conexión 16	836	0.284	27.02	Conexión 59	895	0.099	15.02
Conexión 17	830	0.284	30.68	Conexión 60	828	0.156	20.00
Conexión 18	778	0.198	52.28	Conexión 61	828	0.000	30.36
Conexión 19	775	0.255	48.73	Conexión 62	839	0.063	25.63
Conexión 20	768	0.170	52.14	Conexión 63	755	0.000	25.00
Conexión 21	765	0.114	54.32	Conexión 64	778	0.000	42.14
Conexión 22	766	0.284	50.83	Conexión 65	855	0.000	50.58
Conexión 23	793	0.142	28.60	Conexión 66	805	0.425	17.13
Conexión 24	759	0.142	53.55	Conexión 68	753	0.567	24.74
Conexión 25	755	0.057	53.75	Conexión 69	800	0.113	24.37
Conexión 26	764	0.085	49.65	Conexión 71	858	0.227	50.13
Conexión 27	773	0.085	42.35	Conexión 72	896	0.057	25.46
Conexión 28	785	0.057	33.50	Conexión 73	877	0.567	36.64
Conexión 29	777	0.017	38.30	Conexión 74	889	0.567	24.52
Conexión 30	769	0.004	44.64	Conexión 70	805	0.000	17.13
Conexión 31	778	0.213	37.19	Conexión 76	730	0.709	46.92
Conexión 32	772	0.113	41.63	Conexión 77	717	0.709	59.62
Conexión 33	753	0.709	30.00	Conexión 79	812	0.142	16.58
Conexión 34	751	0.057	28.89	Conexión 81	779	0.468	37.63
Conexión 35	731	0.340	48.56	Conexión 83	712	0.142	67.55
Conexión 36	752	0.028	27.80	Conexión 84	893	0.553	20.44
Conexión 37	750	0.043	29.80	Conexión 85	897	0.709	16.41
Conexión 38	746	0.028	33.72	Conexión 80	860	0.000	43.49
Conexión 39	747	0.170	32.72	Conexión 82	753	0.000	53.72
Conexión 40	781	0.085	34.22	Conexión 86	894	0.000	27.49
Conexión 41	778	0.071	37.21	Depósito 1	910	No Disponible	2.00
Conexión 42	785	0.071	35.56	Depósito 2	910	No Disponible	2.00
Conexión 43	775	0.142	48.73	Depósito 67	819	No Disponible	3.20
Conexión 44	902	0.085	19.48	Depósito 78	825	No Disponible	3.60
Conexión 45	905	0.057	16.48				

Tabla 53: Características Nudos.

Para el año 2042, se observa en la Tabla 53 que las presiones cumplen el rango. Los únicos puntos con presión menor al mínimo de 15 [m.c.a.] son los estanques y la conexión 3, que está ubicado debajo de los estanques Rapel el cual fue diseñado para unir las tuberías. No hay arranques ni demanda base en ninguno de estos nudos, por lo tanto, no deben cumplir con los rangos de presiones. No hay presiones mayores a 70 [m.c.a].

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 1	2	99.4	150	8.24	1.06	Abierto
Tubería 2	14	99.4	150	2.88	0.37	Abierto
Tubería 3	93.8	113	150	11.12	1.11	Abierto
Tubería 5	200	57	150	0.48	0.19	Abierto
Tubería 6	50	57	150	0.68	0.27	Abierto
Tubería 7	50	57	150	0.03	0.01	Abierto
Tubería 8	30	57	150	0.03	0.01	Abierto
Tubería 9	45	57	150	0.75	0.29	Abierto
Tubería 12	114	57	150	3.56	1.39	Abierto
Tubería 13	77	57	150	2.25	0.88	Abierto
Tubería 14	120	57	150	0.12	0.05	Abierto
Tubería 15	165	57	150	0.11	0.04	Abierto
Tubería 16	102	57	150	2.45	0.96	Abierto
Tubería 17	89	57	150	0.39	0.15	Abierto
Tubería 18	165	57	150	0.37	0.14	Abierto
Tubería 19	44	57	150	0.28	0.11	Abierto
Tubería 20	112	57	150	0.21	0.08	Abierto
Tubería 21	136	57	150	2.92	1.15	Abierto
Tubería 23	86	57	150	2.98	1.17	Abierto
Tubería 24	102	57	150	2.69	1.06	Abierto
Tubería 27	430	57	150	2.33	0.91	Abierto
Tubería 29	175	57	150	1.24	0.48	Abierto
Tubería 33	85	57	150	3.21	1.26	Abierto
Tubería 35	200	99.4	150	8.72	1.12	Abierto
Tubería 36	55	99.4	150	8.82	1.14	Abierto
Tubería 38	193	113	150	9.82	0.98	Abierto
Tubería 41	221	99.4	150	3.66	0.47	Abierto
Tubería 42	46	99.4	150	3.58	0.46	Abierto
Tubería 44	106	113	150	10.57	1.05	Abierto
Tubería 47	102	57	150	0.20	0.08	Abierto
Tubería 48	38	57	150	0.64	0.25	Abierto
Tubería 49	97	57	150	0.44	0.17	Abierto
Tubería 50	53	57	150	0.81	0.32	Abierto
Tubería 10	366	57	150	1.59	0.62	Abierto
Tubería 22	267	57	150	1.93	0.76	Abierto
Tubería 34	300	57	150	4.04	1.58	Abierto
Tubería 39	260	57	150	4.53	1.78	Abierto
Tubería 51	200	57	150	4.92	1.93	Abierto
Tubería 53	213	99.4	150	3.25	0.42	Abierto
Tubería 59	96	57	150	0.11	0.04	Abierto
Tubería 60	96	57	150	0.10	0.04	Abierto
Tubería 28	1615	57	150	0.00	0.00	Abierto

Tabla 54: Características Líneas (primera parte).

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
	[m]	[mm]		[l/s]	[m/s]	
Tubería 37	597	57	150	2.53	0.99	Abierto
Tubería 45	270	99.4	150	0.34	0.04	Abierto
Tubería 46	221	99.4	150	0.26	0.03	Abierto
Tubería 55	331	57	150	0.23	0.09	Abierto
Tubería 56	438	99.4	150	2.82	0.36	Abierto
Tubería 61	225	99.4	150	3.53	0.45	Abierto
Tubería 62	265	67.8	150	0.88	0.24	Abierto
Tubería 63	240	67.8	150	0.60	0.17	Abierto
Tubería 64	438	57	150	1.45	0.57	Abierto
Tubería 65	304	57	150	1.76	0.69	Abierto
Tubería 66	244	57	150	1.40	0.55	Abierto
Tubería 67	332	57	150	1.12	0.44	Abierto
Tubería 68	635	57	150	0.75	0.29	Abierto
Tubería 4	341	57	150	2.77	1.09	Abierto
Tubería 30	100	57	150	2.93	1.15	Abierto
Tubería 31	60	57	150	3.56	1.39	Abierto
Tubería 32	50	57	150	3.49	1.37	Abierto
Tubería 11	74	57	150	1.55	0.61	Abierto
Tubería 25	100	99.4	150	1.97	0.25	Abierto
Tubería 26	465	57	150	1.99	0.78	Abierto
Tubería 58	152	57	150	3.05	1.20	Abierto
Tubería 69	316	67.8	150	0.23	0.06	Abierto
Tubería 70	155	57	150	0.06	0.02	Abierto
Tubería 71	205	99.4	150	2.40	0.31	Abierto
Tubería 72	183	99.4	150	1.83	0.24	Abierto
Tubería 75	256	57	150	0.47	0.18	Abierto
Tubería 77	136	57	150	1.42	0.56	Abierto
Tubería 78	175	57	150	0.71	0.28	Abierto
Tubería 79	173	57	150	0.14	0.06	Abierto
Tubería 80	157	57	150	3.16	1.24	Abierto
Tubería 81	241	99.4	150	1.26	0.16	Abierto
Tubería 82	269	99.4	150	0.71	0.09	Abierto
Tubería 76	10	99.4	150	3.30	0.43	Abierto
Bomba 83	No Disponible	No Disponible	No Disponible	3.25	0.00	Abierto
Bomba 85	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.34	0.00	Abierto
Válvula 40	No Disponible	57	No Disponible	0.00	0.00	Cerrado
Válvula 43	No Disponible	99.4	No Disponible	8.72	1.12	Activo
Válvula 52	No Disponible	57	No Disponible	2.93	1.15	Activo
Válvula 54	No Disponible	57	No Disponible	0.81	0.32	Activo
Válvula 73	No Disponible	57	No Disponible	2.19	0.86	Abierto
Válvula 74	No Disponible	57	No Disponible	1.97	0.77	Abierto
Válvula 84	No Disponible	57	No Disponible	2.69	1.06	Activo

Tabla 55: Características Líneas (segunda parte).

El modelo proyectado a 20 años sin incendio no presenta velocidades mayores a 3 [m/s]. Se aumentó el diámetro de las tuberías siguientes a los estanques de Rapel debido a que se formaban velocidades mayores a 3 [m/s] y con esto se solucionó el problema.

6.2.3.2 Distribución sector Pedregal alto.

Las demandas por considerar son las del estado sin incendio vistos en el caso anterior, en la Tabla 52 con el Caudal Máximo Horario (Qmaxh).

En la Ilustración 35 se marcan en rojo las extensiones (nudos y tuberías) y en verde los tramos en donde se aumentó el diámetro externo de 63 [mm] a 110 [mm] con respecto al modelo del año 2025.



Ilustración 35: Modelo distribución proyectada para el año 2042.

En la Ilustración 36 e Ilustración 37 se muestran los ID de los nudos y líneas de la red respectivamente

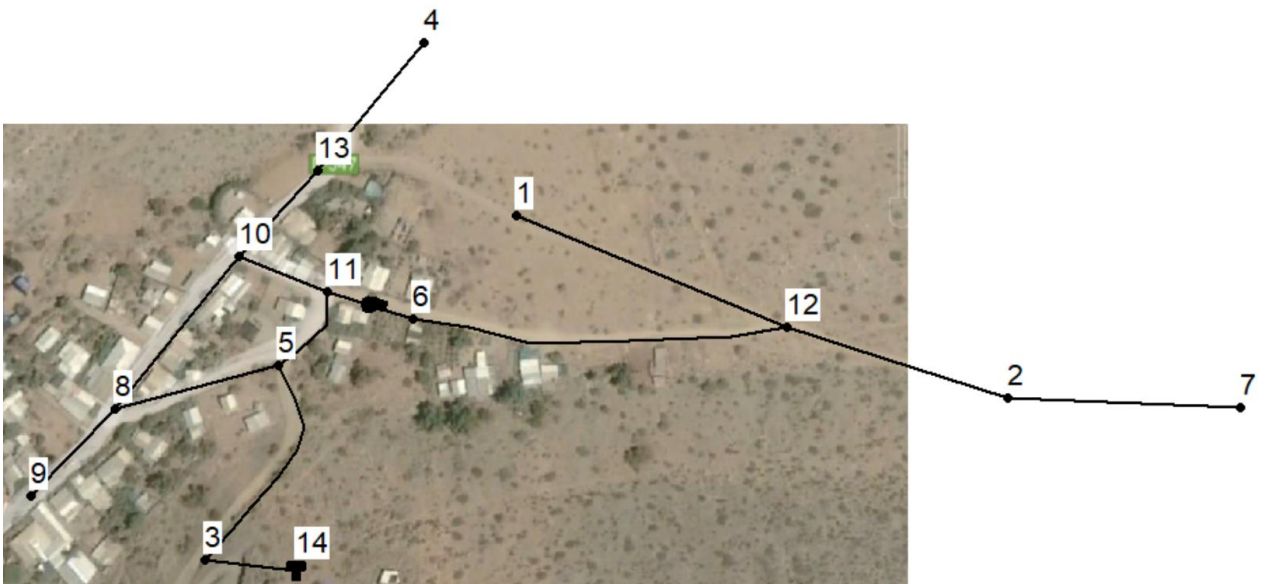


Ilustración 36: ID Nudos.

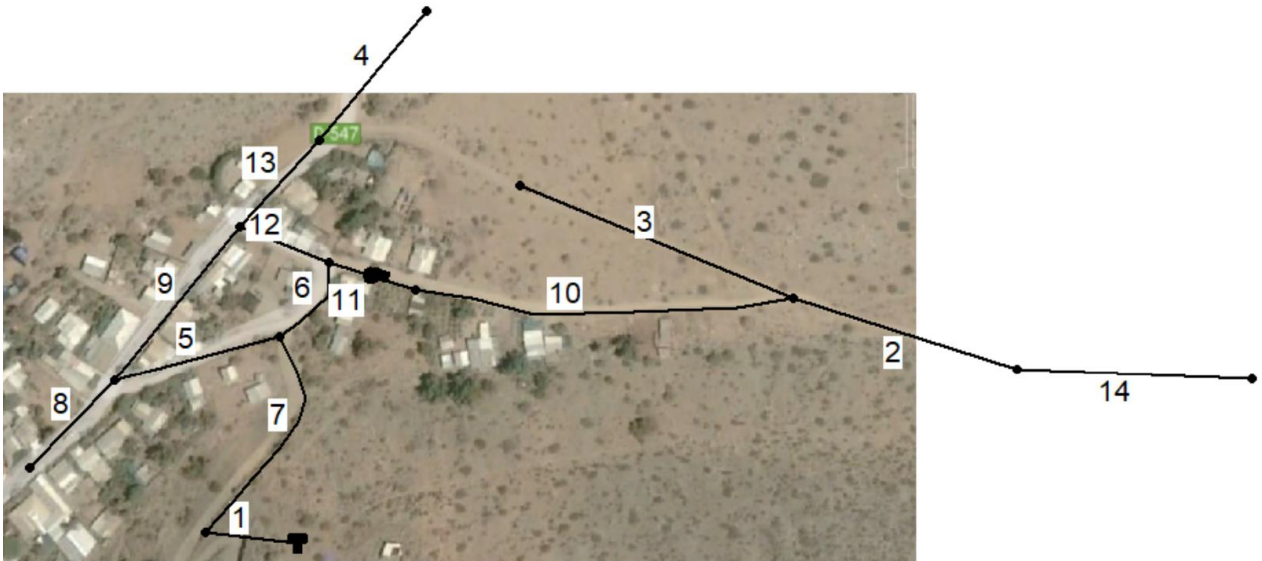


Ilustración 37: ID Líneas.

En la Tabla 56 se observan las características de los nudos y en la Tabla 57 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos			
	Cota	DemandaBase	Presión
IDNudo	[m]	[l/s]	[m]
Conexión 3	912	0.028	22.98
Conexión 5	912	0.057	22.92
Conexión 8	903	0.156	31.89
Conexión 9	899	0.071	35.89
Conexión 10	907	0.085	27.88
Conexión 11	912	0.028	22.90
Conexión 12	937	0.227	35.06
Conexión 13	909	0.057	25.86
Conexión 1	918	0.255	54.02
Conexión 2	948	0.213	24.05
Conexión 4	910	0.255	24.85
Conexión 6	912	0.000	60.09
Conexión 7	955	0.128	17.05
Depósito 14	933	No Disponible	2.00

Tabla 56: Características nudos.

El modelo para el año 2042 presenta presiones dentro del rango. La única presión baja, menor a 15 [m.c.a] es del estanque, pero al no haber arranques en ese nudo, no es necesario que cumplan con la presión mínima. No hay presiones mayores a 70 [m.c.a].

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
	[m]	[mm]		[l/s]	[m/s]	
Tubería 1	47	99.4	150	1.56	0.20	Abierto
Tubería 5	84	57	150	0.32	0.12	Abierto
Tubería 8	40	57	150	0.07	0.03	Abierto
Tubería 9	110	57	150	0.09	0.03	Abierto
Tubería 12	57	57	150	0.31	0.12	Abierto
Tubería 13	64	57	150	0.31	0.12	Abierto
Tubería 6	53	99.4	150	1.16	0.15	Abierto
Tubería 7	128	99.4	150	1.53	0.20	Abierto
Tubería 2	182	99.4	150	0.34	0.04	Abierto
Tubería 3	133	57	150	0.25	0.10	Abierto
Tubería 4	50	57	150	0.25	0.10	Abierto
Tubería 10	220	99.4	150	0.82	0.11	Abierto
Tubería 14	130	99.4	150	0.13	0.02	Abierto
Bomba 11	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.82	0.00	Abierto

Tabla 57: Características Líneas.

El modelo del año 2042 no presenta velocidades mayores a 3 [m/s].

6.3 Cogotí.

6.3.1 Red Actual.

Este APR cuenta con solo dos puntos de alta demanda: la escuela Juanita Fernández Solar hasta octavo básico y un grifo. Para la dotación de la escuela no se encuentran datos en los manuales ni tampoco se conoce el valor exacto, por esto se estimará en base al consumo de la escuela del APR de Rapel Inés de Suarez Higuera (Tabla 28). Esta tiene 10 alumnos y un consumo de 0.04 [l/s] y la escuela Juanita Fernández Solar de Cogotí 18 tiene 128 alumnos. Con esto se obtiene una demanda de 0.05 [l/s].

Entonces los puntos de alta demanda son 0.05 y 16 [l/s] para la escuela y grifo respectivamente, en donde se muestra el resumen en la Tabla 58.

Nombre Usuario	Demanda [l/s]
Escuela Juanita Fernández Solar	0.05
Grifo	16
Total	16.05

Tabla 58: Puntos de alta demanda, APR Cogotí.

El APR tiene 548 arranques en total a la fecha y con los dos puntos de alto consumo quedan 546 arranques. La demanda por arranque domiciliario se calcula con la Ecuación 14 descrita anteriormente.

Para esta modelación, se consideran los datos calculados en la Tabla 22.

La distribución de Cogotí está sectorizada en tres redes cada una con estanques independientes, por lo tanto, se hacen 3 simulaciones:

- Distribución sector Cogotí 18.
- Distribución sectores Los Llanos y La Cuadra.
- Distribución sector Las Tinajas.

6.3.1.1 Distribución sector Cogotí 18.



Ilustración 38: Modelo red actual.

Este sector cuenta con dos estanques y una bomba para abastecer un sector de 14 casas, cercano a los estanques, que se encuentran a mayor altura que los estos.

Las cotas de los nudos varían entre 830 y 877 m.s.n.m. Los estanques se encuentran a 870 m.s.n.m.

Los diámetros nominales de las tuberías de PVC son de: 63 [mm], 75 [mm] y 110 [mm], mientras que el tramo de HDPE es de 75 [mm]. (Diámetros internos: Tabla 26)

Este sector es el único que tiene tuberías de HDPE. Este tiene una rugosidad (D-W) de 0.0015, mientras que el PVC de 0.0025, según la Tabla 14.

En el siguiente detalle (Ilustración 39) se observa con claridad los únicos tramos de HDPE (de color azul), todo el resto de la red es de PVC (marcado en color rojo).



Ilustración 39: Material tuberías APR Cogotí, sector Cogotí.

En la Ilustración 40 e Ilustración 41 se muestran los ID de los nudos y líneas de la red respectivamente. Más detalle en Ilustración 85, Ilustración 86, Ilustración 87, Ilustración 88, Ilustración 89 e Ilustración 90 en Anexo B.

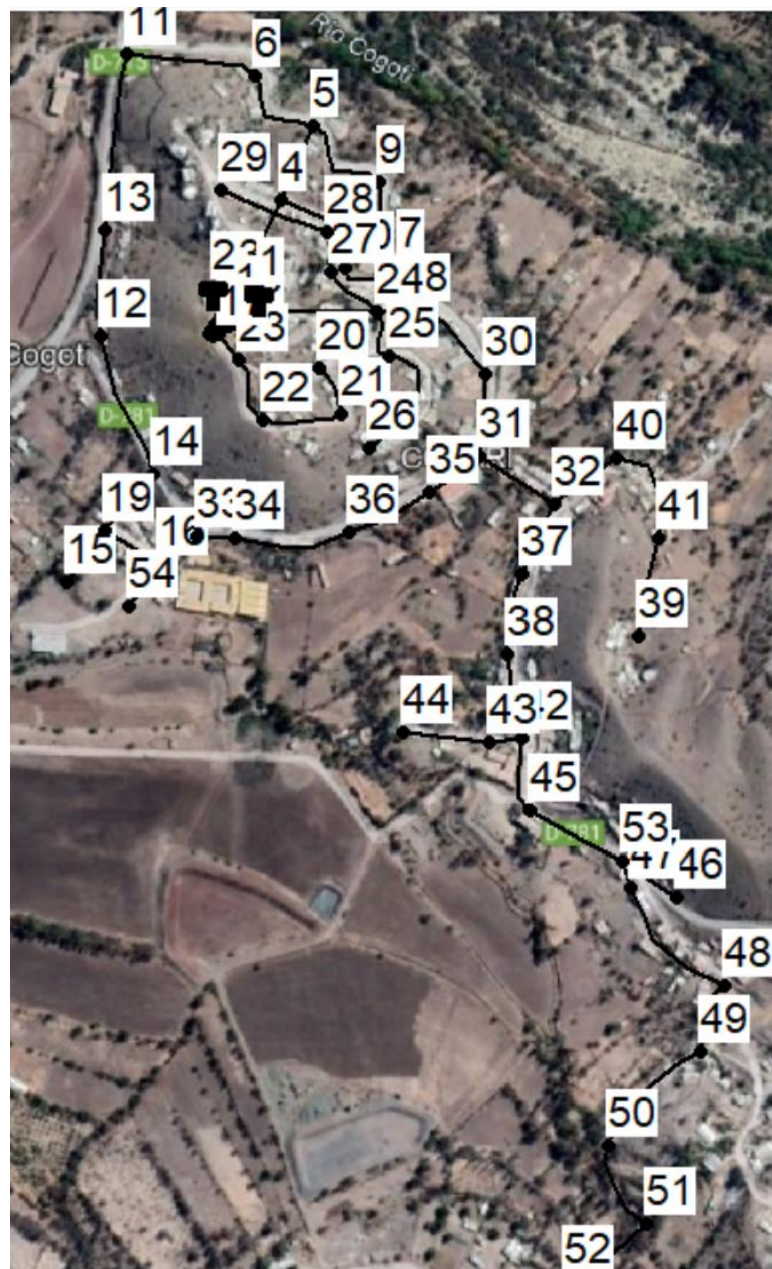


Ilustración 40: ID Nudos.

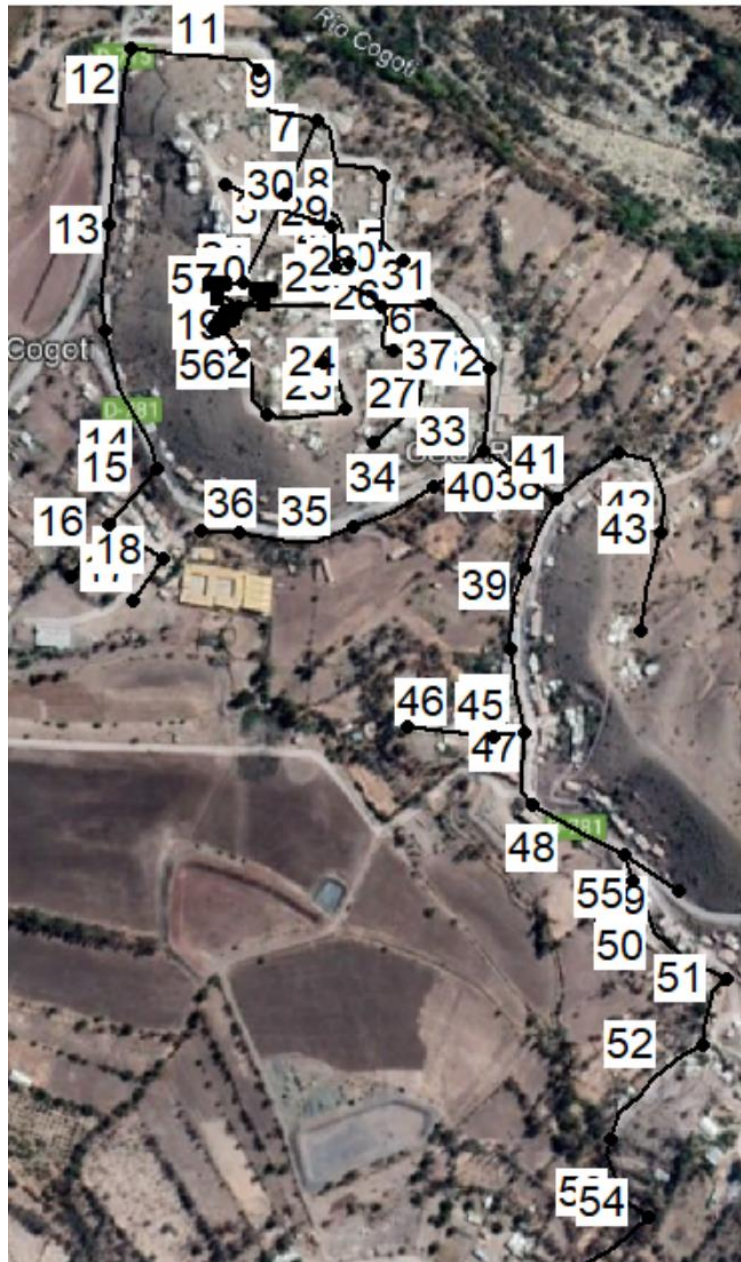


Ilustración 41: ID Líneas.

6.3.1.1.1 Estado con incendio. ($Q_{\text{máxd}} + Q_{\text{incendio}}$)

Este modelo si considera caudal de incendio, entonces según lo descrito en la sección 2.3.9, la demanda total del APR es igual al valor del Caudal Máximo Diario ($Q_{\text{máxd}}$) más el caudal de incendio. Esto fue calculado en la Tabla 22 y es igual a 21.83. Las demandas altas son extraídas de la Tabla 58.

La Tabla 59 muestra el resumen de los valores de las demandas.

Agrupación	Número de arranques	Demanda [l/s]
Total arranques APR	548	21.83

Total arranques domiciliarios	546	5.78
Alta demanda	2	16.05
Arranque domiciliario	1	0.01

Tabla 59: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.

Más detalles sobre las demandas en la Tabla 115 en el Anexo A.

En la Tabla 60 se observan las características de los nudos y en la Tabla 61 y Tabla 62 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos							
	Cota	DemandaBase	Presión		Cota	DemandaBase	Presión
IDNudo	[m]	[l/s]	[m]	IDNudo	[m]	[l/s]	[m]
Conexión 3	869	0.000	3.60	Conexión 30	850	0.063	-7.42
Conexión 4	857	0.127	4.62	Conexión 31	848	0.106	-9.06
Conexión 5	843	0.042	15.88	Conexión 32	850	0.106	-15.87
Conexión 6	839	0.032	19.85	Conexión 33	846	0.042	-7.06
Conexión 7	849	0.021	4.11	Conexión 34	849	0.050	-10.06
Conexión 8	850	0.053	-2.19	Conexión 35	850	0.032	-11.06
Conexión 9	844	0.074	11.78	Conexión 36	849	0.021	-10.06
Conexión 10	856	0.011	-0.31	Conexión 37	851	0.063	-20.44
Conexión 11	830	0.021	28.81	Conexión 38	852	0.063	-24.73
Conexión 12	844	0.021	14.74	Conexión 39	860	0.053	-25.88
Conexión 13	849	0.053	9.76	Conexión 40	850	0.085	-15.87
Conexión 14	848	0.085	10.69	Conexión 41	855	0.042	-20.87
Conexión 15	831	0.032	27.68	Conexión 42	855	0.138	-79.62
Conexión 16	837	0.074	21.68	Conexión 43	852	16.00	-89.46
Conexión 54	833	0.011	25.68	Conexión 44	846	0.063	-83.46
Conexión 18	869	0.000	3.78	Conexión 45	854	0.042	-79.20
Conexión 19	838	0.063	20.68	Conexión 46	863	1.181	-89.50
Conexión 20	871	0.032	10.96	Conexión 47	861	0.042	-87.45
Conexión 21	867	0.021	14.96	Conexión 48	861	0.106	-87.49
Conexión 22	877	0.053	4.96	Conexión 49	857	0.074	-83.51
Conexión 23	876	0.042	5.96	Conexión 50	855	0.042	-81.52
Conexión 24	854	0.053	-0.82	Conexión 51	857	0.011	-83.52
Conexión 25	857	0.063	-3.82	Conexión 52	858	0.085	-84.53
Conexión 26	857	0.085	-3.83	Conexión 53	861	0.085	-87.43
Conexión 27	857	0.021	-3.82	Conexión 17	869	0.074	12.97
Conexión 28	853	0.042	0.17	Depósito 1	870	No Disponible	3.00
Conexión 29	858	0.074	-4.83	Depósito 2	870	No Disponible	3.00

Tabla 60: Características Nudos.

La Tabla 60 muestra las presiones considerando los 16 [l/s] que consume el grifo. En la ubicación del grifo y en más de la mitad del sector se forman presiones menores a 5 [m.c.a] y hasta negativas al estar el grifo encendido. Esto se genera debido a un problema en la red.

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 1	5	57	0.0015	5.80	2.27	Abierto
Tubería 2	5	57	0.0015	5.80	2.27	Abierto
Tubería 3	80	66	0.0015	11.59	3.39	Abierto
Tubería 4	126	66	0.0015	6.42	1.88	Abierto
Tubería 5	55	66	0.0015	6.41	1.87	Abierto
Tubería 6	43	66	0.0015	10.93	3.19	Abierto
Tubería 7	90	66	0.0015	5.05	1.47	Abierto
Tubería 8	119	66	0.0015	4.61	1.35	Abierto
Tubería 9	75	66	0.0015	0.39	0.11	Abierto
Tubería 10	106	66	0.0015	4.54	1.33	Abierto
Tubería 11	155	67.8	0.0025	0.36	0.10	Abierto
Tubería 12	194	67.8	0.0025	0.34	0.09	Abierto
Tubería 13	130	67.8	0.0025	0.29	0.08	Abierto
Tubería 14	143	57	0.0025	0.27	0.10	Abierto
Tubería 15	60	57	0.0025	0.18	0.07	Abierto
Tubería 16	56	57	0.0025	0.03	0.01	Abierto
Tubería 17	62	57	0.0025	0.09	0.03	Abierto
Tubería 18	34	57	0.0025	0.01	0.00	Abierto
Tubería 19	5	57	0.0025	4.14	1.62	Abierto
Tubería 20	5	57	0.0025	4.14	1.62	Abierto
Tubería 22	99	57	0.0025	0.11	0.04	Abierto
Tubería 23	87	57	0.0025	0.05	0.02	Abierto
Tubería 24	58	57	0.0025	0.03	0.01	Abierto
Tubería 25	135	57	0.0025	8.06	3.16	Abierto
Tubería 26	52	57	0.0025	0.15	0.06	Abierto
Tubería 27	123	57	0.0025	0.09	0.03	Abierto

Tabla 61: Características Líneas (primera parte).

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 28	50	57	0.0025	0.14	0.05	Abierto
Tubería 29	68	57	0.0025	0.12	0.05	Abierto
Tubería 30	136	57	0.0025	0.07	0.03	Abierto
Tubería 31	40	57	0.0025	7.72	3.03	Abierto
Tubería 32	81	99.4	0.0025	18.53	2.39	Abierto
Tubería 33	75	99.4	0.0025	0.14	0.02	Abierto
Tubería 34	79	99.4	0.0025	0.11	0.01	Abierto
Tubería 35	92	99.4	0.0025	0.09	0.01	Abierto
Tubería 36	41	99.4	0.0025	0.04	0.01	Abierto
Tubería 37	116	99.4	0.0025	18.59	2.40	Abierto
Tubería 38	84	99.4	0.0025	17.99	2.32	Abierto
Tubería 39	78	99.4	0.0025	17.93	2.31	Abierto
Tubería 40	110	99.4	0.0025	18.28	2.36	Abierto
Tubería 41	77	67.8	0.0025	0.18	0.05	Abierto
Tubería 42	101	67.8	0.0025	0.09	0.03	Abierto
Tubería 43	142	67.8	0.0025	0.05	0.01	Abierto
Tubería 44	83	57	0.0025	17.87	7.00	Abierto
Tubería 45	25	57	0.0025	16.06	6.29	Abierto
Tubería 46	100	57	0.0025	0.06	0.02	Abierto
Tubería 47	67	57	0.0025	1.67	0.65	Abierto
Tubería 50	94	57	0.0025	0.32	0.12	Abierto
Tubería 51	74	57	0.0025	0.21	0.08	Abierto
Tubería 52	142	57	0.0025	0.14	0.05	Abierto
Tubería 53	94	57	0.0025	0.10	0.04	Abierto
Tubería 54	113	57	0.0025	0.09	0.03	Abierto
Tubería 48	150	57	0.0025	1.63	0.64	Abierto
Tubería 49	15	57	0.0025	1.18	0.46	Abierto
Tubería 55	30	57	0.0025	0.36	0.14	Abierto
Tubería 56	92	57	0.0025	0.15	0.06	Abierto
Bomba 57	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.22	0.00	Abierto

Tabla 62: Características Líneas (segunda parte).

En la red actual de Cogotí hay varios tramos en los que se alcanzan velocidades superiores a 3 [m/s]. Esto provoca rotura de las instalaciones, provocadas principalmente por la fuerza de cambio de dirección por las altas velocidades. Lo que conlleva a constantes reparaciones y cortas de agua.

La tubería 49 es el comienzo de la impulsión del estanque Las Tinajas y su caudal es de 1.18, al igual que el total demandado por el sector Las Tinajas (Tubería 1, Tabla 70). Esto quiere decir que, para el caso de incendio, se consideró el abastecimiento para el sector Las Tinajas.

6.3.1.1.2 Estado sin incendio (Q_{máxh}).

Este modelo no considera caudal de incendio, entonces según lo descrito en la sección 2.3.9, la demanda total del APR es igual al valor del Caudal Máximo Horario (Q_{máxh}). Esto fue calculado en la Tabla 22 y es igual a 8.74. Solo hay un punto de alta demanda: escuela Juanita Fernández Solar de 0.05 [l/s].

La Tabla 59 muestra el resumen de los valores de las demandas.

Agrupación	Número de arranques	Demanda [l/s]
Total arranques APR	547	8.74
Total arranques domiciliarios	546	8.69
Alta demanda	1	0.05
Arranque domiciliario	1	0.02

Tabla 63: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.

Más detalles sobre las demandas en la Tabla 116 en el Anexo A.

Tabla de Red-Nudos							
IDNudo	Cota [m]	DemandaBase [l/s]	Presión [m]	IDNudo	Cota [m]	DemandaBase [l/s]	Presión [m]
Conexión 3	869	0.000	3.96	Conexión 30	850	0.095	20.47
Conexión 4	857	0.191	14.79	Conexión 31	848	0.159	22.26
Conexión 5	843	0.064	28.44	Conexión 32	850	0.159	20.02
Conexión 6	839	0.048	32.39	Conexión 33	846	0.064	24.26
Conexión 7	849	0.032	22.12	Conexión 34	849	0.050	21.26
Conexión 8	850	0.080	20.79	Conexión 35	850	0.048	20.26
Conexión 9	844	0.111	27.25	Conexión 36	849	0.032	21.26
Conexión 10	856	0.016	15.32	Conexión 37	851	0.095	18.87
Conexión 11	830	0.032	41.31	Conexión 38	852	0.095	17.74
Conexión 12	844	0.032	27.17	Conexión 39	860	0.080	10.00
Conexión 13	849	0.080	22.21	Conexión 40	850	0.127	20.01
Conexión 14	848	0.127	23.07	Conexión 41	855	0.064	15.00
Conexión 15	831	0.048	40.05	Conexión 42	855	0.207	12.90
Conexión 16	837	0.111	34.04	Conexión 43	852	0.000	15.90
Conexión 54	833	0.016	38.04	Conexión 44	846	0.095	21.90
Conexión 18	869	0.000	3.97	Conexión 45	854	0.064	12.69
Conexión 19	838	0.095	33.05	Conexión 46	863	1.810	0.94
Conexión 20	871	0.048	8.02	Conexión 47	861	0.064	3.05
Conexión 21	867	0.032	12.02	Conexión 48	861	0.159	2.96
Conexión 22	877	0.080	2.03	Conexión 49	857	0.111	6.92
Conexión 23	876	0.064	3.04	Conexión 50	855	0.064	8.89
Conexión 24	854	0.080	17.13	Conexión 51	857	0.016	6.88
Conexión 25	857	0.095	14.12	Conexión 52	858	0.127	5.87
Conexión 26	857	0.127	14.11	Conexión 53	861	0.127	3.09
Conexión 27	857	0.032	14.12	Conexión 17	869	0.111	10.06
Conexión 28	853	0.064	18.11	Depósito 1	870	No Disponible	3.00
Conexión 29	858	0.111	13.10	Depósito 2	870	No Disponible	3.00

Tabla 64: Características Nudos.

La Tabla 64 muestra las presiones para el caso sin incendio. En esta situación si bien no se tienen presiones negativas, si hay presiones menores a 15 [m.c.a]. Las presiones bajas se solucionan con un aumento del diámetro interno de la tubería, con una bomba o aumentando la diferencia de cota entre la fuente de almacenamiento y el punto de baja presión.

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 1	5	57	0.0015	1.67	0.65	Abierto
Tubería 2	5	57	0.0015	1.67	0.65	Abierto
Tubería 3	80	66	0.0015	3.34	0.98	Abierto
Tubería 4	126	66	0.0015	1.55	0.45	Abierto
Tubería 5	55	66	0.0015	1.53	0.45	Abierto
Tubería 6	43	66	0.0015	2.33	0.68	Abierto
Tubería 7	90	66	0.0015	1.60	0.47	Abierto
Tubería 8	119	66	0.0015	0.94	0.28	Abierto
Tubería 9	75	66	0.0015	0.59	0.17	Abierto
Tubería 10	106	66	0.0015	0.83	0.24	Abierto
Tubería 11	155	67.8	0.0025	0.54	0.15	Abierto
Tubería 12	194	67.8	0.0025	0.51	0.14	Abierto
Tubería 13	130	67.8	0.0025	0.43	0.12	Abierto
Tubería 14	143	57	0.0025	0.40	0.16	Abierto
Tubería 15	60	57	0.0025	0.27	0.11	Abierto
Tubería 16	56	57	0.0025	0.05	0.02	Abierto
Tubería 17	62	57	0.0025	0.13	0.05	Abierto
Tubería 18	34	57	0.0025	0.02	0.01	Abierto
Tubería 19	5	57	0.0025	1.25	0.49	Abierto
Tubería 20	5	57	0.0025	1.25	0.49	Abierto
Tubería 22	99	57	0.0025	0.16	0.06	Abierto
Tubería 23	87	57	0.0025	0.08	0.03	Abierto
Tubería 24	58	57	0.0025	0.05	0.02	Abierto
Tubería 25	135	57	0.0025	2.17	0.85	Abierto
Tubería 26	52	57	0.0025	0.22	0.09	Abierto
Tubería 27	123	57	0.0025	0.13	0.05	Abierto
Tubería 28	50	57	0.0025	0.21	0.08	Abierto

Tabla 65: Características Líneas (primera parte).

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 29	68	57	0.0025	0.17	0.07	Abierto
Tubería 30	136	57	0.0025	0.11	0.04	Abierto
Tubería 31	40	57	0.0025	1.66	0.65	Abierto
Tubería 32	81	99.4	0.0025	3.82	0.49	Abierto
Tubería 33	75	99.4	0.0025	0.19	0.02	Abierto
Tubería 34	79	99.4	0.0025	0.15	0.02	Abierto
Tubería 35	92	99.4	0.0025	0.11	0.01	Abierto
Tubería 36	41	99.4	0.0025	0.06	0.01	Abierto
Tubería 37	116	99.4	0.0025	3.91	0.50	Abierto
Tubería 38	84	99.4	0.0025	3.03	0.39	Abierto
Tubería 39	78	99.4	0.0025	2.94	0.38	Abierto
Tubería 40	110	99.4	0.0025	3.46	0.45	Abierto
Tubería 41	77	67.8	0.0025	0.27	0.08	Abierto
Tubería 42	101	67.8	0.0025	0.14	0.04	Abierto
Tubería 43	142	67.8	0.0025	0.08	0.02	Abierto
Tubería 44	83	57	0.0025	2.84	1.11	Abierto
Tubería 45	25	57	0.0025	0.09	0.04	Abierto
Tubería 46	100	57	0.0025	0.09	0.04	Abierto
Tubería 47	67	57	0.0025	2.54	1.00	Abierto
Tubería 50	94	57	0.0025	0.48	0.19	Abierto
Tubería 51	74	57	0.0025	0.32	0.12	Abierto
Tubería 52	142	57	0.0025	0.21	0.08	Abierto
Tubería 53	94	57	0.0025	0.14	0.06	Abierto
Tubería 54	113	57	0.0025	0.13	0.05	Abierto
Tubería 48	150	57	0.0025	2.48	0.97	Abierto
Tubería 49	15	57	0.0025	1.81	0.71	Abierto
Tubería 55	30	57	0.0025	0.54	0.21	Abierto
Tubería 56	92	57	0.0025	0.22	0.09	Abierto
Bomba 57	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.34	0.00	Abierto

Tabla 66: Características Líneas (segunda parte).

No se obtienen velocidades mayores a 3 [m/s].

6.3.1.2 Distribución sectores Los Llanos y La Cuadra.

Las demandas por considerar son las del estado sin incendio vistos en el caso anterior, en la Tabla 63 con el Caudal Máximo Horario ($Q_{máxh}$).



Ilustración 42: Modelo red actual.

Las cotas de los nudos varían entre 790 y 847 m.s.n.m. El estanque se encuentra a 847 m.s.n.m.

Todos los tramos son de PVC de diámetro nominal 63 [mm].

En la Ilustración 43 e Ilustración 44 se muestran los ID de los nudos y líneas de la red respectivamente. Más detalle en Ilustración 91 e Ilustración 92 en Anexo B.



Ilustración 43: ID Nudos.



Ilustración 44: ID Líneas.

En la Tabla 67 se observan las características de los nudos y en la Tabla 68 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos			
	Cota	DemandaBase	Presión
IDNudo	[m]	[l/s]	[m]
Conexión 1	790	0.064	39.28
Conexión 2	791	0.159	38.28
Conexión 3	792	0.095	37.30
Conexión 4	795	0.159	34.29
Conexión 5	793	0.080	36.31
Conexión 6	791	0.095	38.33
Conexión 7	795	0.095	34.36
Conexión 8	795	0.000	34.79
Conexión 11	822	0.095	9.19
Conexión 12	817	0.127	14.74
Conexión 13	824	0.095	7.70
Conexión 14	817	0.143	16.13
Conexión 15	819	0.048	14.12
Conexión 16	819	0.095	14.12
Conexión 17	819	0.127	14.11
Conexión 18	825	0.159	6.62
Conexión 19	827	0.143	4.60
Conexión 20	819	0.080	15.74
Conexión 21	824	0.159	10.67
Conexión 22	828	0.095	6.66
Conexión 23	822	0.111	12.69
Conexión 24	825	0.143	14.87
Conexión 25	833	0.080	7.15
Conexión 26	833	0.095	7.35
Conexión 27	838	0.064	3.70
Conexión 28	832	0.032	10.70
Conexión 29	846	0.048	-4.88
Conexión 30	835	0.016	9.46
Conexión 31	835	0.016	14.89
Conexión 32	847	0.143	-5.32
Conexión 34	834	0.032	6.99
Conexión 9	834	0.000	6.99
Conexión 33	795	0.000	34.79
Depósito 10	847	No Disponible	5.00

Tabla 67: Características Nudos.

En el sector Las Tinajas hay presiones menores al mínimo de 15 [m.c.a] pero en La cuadra no. Las presiones bajas se solucionan con un aumento del diámetro interno de la tubería, con una bomba o aumentando la diferencia de cota entre la fuente de almacenamiento y el punto de baja presión. No hay presiones mayores a 70 [m.c.a] en ningún sector.

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 3	60	57	150	0.10	0.04	Abierto
Tubería 4	162	57	150	0.16	0.06	Abierto
Tubería 5	114	57	150	0.34	0.13	Abierto
Tubería 7	63	57	150	0.31	0.12	Abierto
Tubería 8	232	57	150	0.75	0.29	Abierto
Tubería 11	240	57	150	0.84	0.33	Abierto
Tubería 12	86	57	150	0.40	0.16	Abierto
Tubería 15	244	57	150	1.37	0.54	Abierto
Tubería 16	24	57	150	0.27	0.11	Abierto
Tubería 17	72	57	150	0.09	0.04	Abierto
Tubería 18	67	57	150	0.13	0.05	Abierto
Tubería 27	183	57	150	0.56	0.22	Abierto
Tubería 30	319	57	150	0.74	0.29	Abierto
Tubería 32	93	57	150	2.89	1.13	Abierto
Tubería 34	177	57	150	0.14	0.06	Abierto
Tubería 36	80	57	150	0.69	0.27	Abierto
Tubería 9	164	57	150	0.21	0.08	Abierto
Tubería 10	119	57	150	0.22	0.09	Abierto
Tubería 29	200	57	150	0.06	0.03	Abierto
Tubería 37	758	57	150	0.75	0.29	Abierto
Tubería 38	222	57	150	0.30	0.12	Abierto
Tubería 39	191	57	150	0.14	0.06	Abierto
Tubería 40	175	57	150	1.78	0.70	Abierto
Tubería 41	100	57	150	0.37	0.14	Abierto
Tubería 42	96	57	150	0.25	0.10	Abierto
Tubería 43	251	57	150	0.09	0.04	Abierto
Tubería 44	367	57	150	2.22	0.87	Abierto
Tubería 45	340	57	150	0.48	0.19	Abierto
Tubería 46	444	57	150	0.66	0.26	Abierto
Tubería 47	351	57	150	0.94	0.37	Abierto
Tubería 48	582	57	150	0.98	0.38	Abierto
Tubería 49	447	57	150	1.89	0.74	Abierto
Tubería 50	241	57	150	2.88	1.13	Abierto
Válvula 1	No Disponible	57	No Disponible	0.66	0.26	Abierto
Válvula 2	No Disponible	57	No Disponible	0.75	0.29	Abierto

Tabla 68: Características Líneas.

Todos los tramos de tuberías de Los Llanos y La Cuadra cumplen con la máxima velocidad de 3 [m/s].

6.3.1.3 Distribución sector Las Tinajas.

Las demandas por considerar son las del estado sin incendio vistos en el caso anterior, en la Tabla 63 con el caudal Máximo Horario (Q_{máxh}).



Ilustración 45: Modelo red actual.

Las cotas de los nudos varían entre 870 y 885 m.s.n.m. El estanque se encuentra a 890 m.s.n.m.

Todos los tramos son de PVC de diámetro 63 [mm].

En la Ilustración 46 e Ilustración 47 se muestran los ID de los nudos y líneas de la red respectivamente.



Ilustración 46: ID Nudos.



Ilustración 47: ID Líneas.

En la Tabla 69 se observan las características de los nudos y en la Tabla 70 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos			
	Cota	DemandaBase	Presión
IDNudo	[m]	[l/s]	[m]
Conexión 2	885	0.159	6.91
Conexión 3	885	0.080	6.73
Conexión 4	879	0.095	12.64
Conexión 5	882	0.159	9.57
Conexión 6	874	0.175	17.55
Conexión 7	884	0.127	7.55
Conexión 8	878	0.223	13.52
Conexión 9	883	0.080	8.45
Conexión 10	882	0.239	9.41
Conexión 11	881	0.032	10.44
Conexión 12	871	0.080	20.43
Conexión 13	875	0.016	16.84
Conexión 15	882	0.095	9.84
Conexión 16	883	0.111	8.87
Conexión 17	870	0.143	21.82
Depósito 1	890	No Disponible	3.00

Tabla 69: Características Nudos.

Gran parte del sector Las Tinajas presenta presiones entre 0 y 15 [m.c.a]. Las presiones bajas se solucionan con un aumento del diámetro interno de la tubería, con una bomba o aumentando la diferencia de cota entre la fuente de almacenamiento y el punto de baja presión. No hay presiones mayores a 70 [m.c.a] en ningún tramo.

Tabla de Red-Líneas						
	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
IDLínea	[m]	[mm]		[l/s]	[m/s]	
Tubería 1	114	57	150	1.81	0.71	Abierto
Tubería 2	36	57	150	1.29	0.51	Abierto
Tubería 3	125	57	150	0.43	0.17	Abierto
Tubería 4	181	57	150	0.33	0.13	Abierto
Tubería 5	127	57	150	0.17	0.07	Abierto
Tubería 6	88.4	57	150	0.78	0.31	Abierto
Tubería 7	137	57	150	0.22	0.09	Abierto
Tubería 8	150	57	150	0.43	0.17	Abierto
Tubería 9	170	57	150	0.24	0.09	Abierto
Tubería 10	94	57	150	0.11	0.04	Abierto
Tubería 11	297	57	150	0.08	0.03	Abierto
Tubería 12	85	57	150	0.37	0.14	Abierto
Tubería 13	110	57	150	0.25	0.10	Abierto
Tubería 14	136	57	150	0.02	0.01	Abierto
Tubería 15	186	57	150	0.14	0.06	Abierto

Tabla 70: Características Líneas.

Todos los tramos de tuberías de Las Tinajas cumplen con la máxima velocidad de 3 [m/s].

6.3.2 Proyección año 2025.

A continuación, se modela una solución a los problemas de la situación actual vistos en la sección 6.3.1. Para esto también se consideran las ampliaciones requeridas y las demandas y distribución de la población estimada para el año 2025 según la Tabla 17.

Se consideran los mismos puntos de alta demanda de la Tabla 58.

En esta modelación el APR tiene 721 arranques en total y con los dos puntos de alto consumo quedan 719 arranques domiciliarios.

En la Tabla 71 se muestran los arranques por sector considerados.

Estanque	Sector	Número de arranques
Cogotí	Cogotí	310
Las Tinajas	Las Tinajas	159
Los Llanos	Los Llanos	165
	La Cuadra	87
Total		721

Tabla 71: Arranques por sector, abastecimiento año 2025 y ampliaciones Las Garillas y La Cuadra.

La demanda por arranque se calcula con la Ecuación 14.

La distribución de Cogotí está sectorizada en tres redes con estanques independientes una de la otra, por lo tanto, se hacen 3 simulaciones:

- Distribución sector Cogotí 18.
- Distribución sectores Los Llanos y La Cuadra.
- Distribución sector Las Tinajas.

6.3.2.1 Distribución sector Cogotí 18.

Si bien el volumen de estanques actual satisface las demandas proyectadas, es necesario construir otro estanque. Esto se debe a que al estar en funcionamiento el grifo, se generan presiones negativas en la mayoría de los nudos de la red (Tabla 60). Este problema no se logró solucionar con bombas en los estanques ya que el caudal que pasaba por estas era mayor al caudal que llega a los estanques.

El sector de Cogotí cuenta con diversos cerros alrededor y no mucho espacio disponible en las áreas planas. Por lo que es recomendable construir estanques de hormigón armado semienterrados, ya que de esta forma no hay que

considerar el radio de seguridad. La salida del estanque es de diámetro externo de 125 [mm]. El estanque añadido se encuentra en la cota 878 m.s.n.m. Es de 30 [m³] y con esto se tiene un volumen total del APR de 330 [m³], mayor al mínimo de 240 [m³]. Este se encuentra a 200 [m] del nudo al que se conectará.

En la Ilustración 48 se observa el estanque añadido encerrado en rojo y en verde los tramos donde se cambió el diámetro de tubería de 63 [mm] a 110 [mm] para aumentar las presiones en algunos puntos y porque en algunos tramos se producían velocidades mayores a 3 [m/s].



Ilustración 48: Modelo distribución proyectada para el año 2025.

En la Ilustración 49 e Ilustración 50 se muestran los ID de los nudos y líneas de la red respectivamente. Para este modelo no se agregaron nudos y líneas aparte del estanque, por lo que los demás permanecen con el mismo ID del

modelo actual. Más detalles en Ilustración 85, Ilustración 87, Ilustración 88, Ilustración 90, Ilustración 93 e Ilustración 94 del Anexo B.

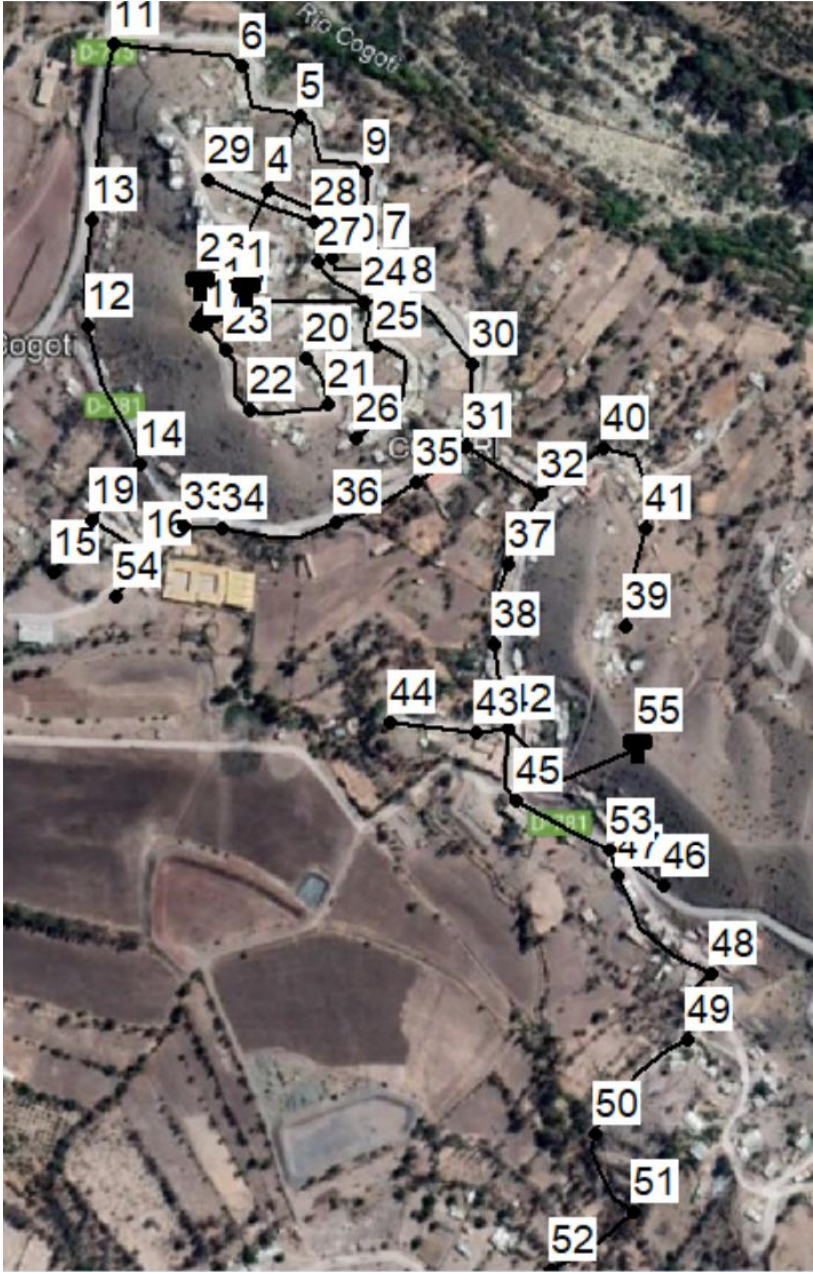


Ilustración 49: ID Nudos.

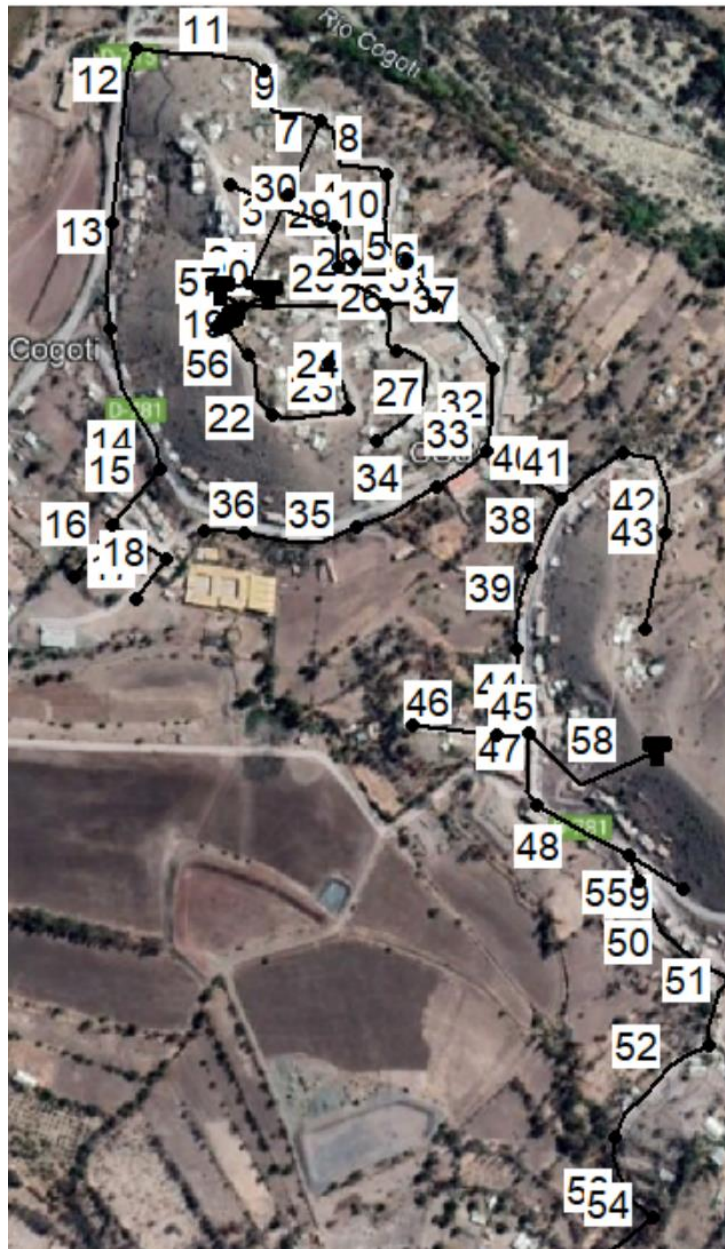


Ilustración 50: ID Líneas.

6.3.2.1.1 Estado con incendio ($Q_{\text{máxd}} + Q_{\text{incendio}}$).

Este modelo si considera caudal de incendio, entonces según lo descrito en la sección 2.3.9, la demanda total del APR es igual al valor del Caudal Máximo Diario ($Q_{\text{máxd}}$) más el caudal de incendio. Esto fue calculado en la Tabla 22 y es igual a 23.49 [l/s]. Las demandas altas son extraídas de la Tabla 58.

La Tabla 72 muestra el resumen de los valores de las demandas.

Agrupación	Número de arranques	Demanda [l/s]
Total arranques APR	721	23.49
Total arranques domiciliarios	719	7.44

Alta demanda	2	16.05
Arranque domiciliario	1	0.01

Tabla 72: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.

Más detalles sobre las demandas en la Tabla 117 en el Anexo A.

En la Tabla 73 se observan las características de los nudos y en la Tabla 74 y Tabla 75 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos							
IDNudo	Cota	DemandaBase	Presión	IDNudo	Cota	DemandaBase	Presión
	[m]	[l/s]	[m]		[m]	[l/s]	[m]
Conexión 3	869	0	6.30	Conexión 31	848	0.103	27.46
Conexión 4	857	0.124	18.30	Conexión 32	850	0.103	25.52
Conexión 5	843	0.041	32.29	Conexión 33	846	0.041	29.45
Conexión 6	839	0.031	36.26	Conexión 34	849	0.050	26.45
Conexión 7	849	0.021	26.34	Conexión 35	850	0.031	25.46
Conexión 8	850	0.052	25.38	Conexión 36	849	0.021	26.46
Conexión 9	844	0.072	31.31	Conexión 37	851	0.072	24.58
Conexión 10	856	0.010	19.33	Conexión 38	852	0.072	23.65
Conexión 11	830	0.052	45.22	Conexión 39	857	0.083	18.50
Conexión 12	844	0.021	31.15	Conexión 40	850	0.083	25.51
Conexión 13	849	0.052	26.18	Conexión 41	855	0.093	20.50
Conexión 14	848	0.083	27.11	Conexión 42	855	0.134	20.73
Conexión 15	831	0.031	44.10	Conexión 43	852	16.00	22.86
Conexión 16	837	0.072	38.09	Conexión 44	846	0.103	28.85
Conexión 54	833	0.010	42.09	Conexión 45	854	0.062	21.61
Conexión 18	869	0.000	6.30	Conexión 46	863	2.470	12.33
Conexión 19	838	0.062	37.10	Conexión 47	861	0.041	14.35
Conexión 20	871	0.031	23.08	Conexión 48	861	0.103	14.28
Conexión 21	867	0.021	27.08	Conexión 49	857	0.072	18.25
Conexión 22	877	0.052	17.09	Conexión 50	855	0.052	20.21
Conexión 23	876	0.041	18.09	Conexión 51	857	0.031	18.19
Conexión 24	854	0.052	21.33	Conexión 52	858	0.145	17.18
Conexión 25	857	0.062	18.32	Conexión 53	861	0.103	14.35
Conexión 26	857	0.083	18.32	Conexión 17	869	0.072	25.10
Conexión 27	857	0.021	18.33	Depósito 1	870	No Disponible	3.00
Conexión 28	853	0.041	22.32	Depósito 2	870	No Disponible	3.00
Conexión 29	858	0.072	17.32	Depósito 55	878	No Disponible	4.00
Conexión 30	850	0.062	25.42				

Tabla 73: Características Nudos.

En el modelo para la población proyectada al año 2025 se logró solucionar las presiones fuera del rango entre 5 y 70 [m.c.a]. El estanque extra añadido en Cogotí alcanza para abastecer las altas demandas.

Cabe destacar que los siguientes puntos no califican para la verificación del rango de presiones ya que no simulan arranques:

- Las conexiones 18 y 3 son para modelar el diseño actual donde se unen las tuberías.
- Los 3 depósitos, no tienen demanda base asociada.

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 1	5	57	0.0015	0.00	0.00	Cerrado
Tubería 2	5	57	0.0015	0.00	0.00	Cerrado
Tubería 3	80	66	0.0015	0.00	0.00	Abierto
Tubería 4	126	66	0.0015	0.31	0.09	Abierto
Tubería 5	55	66	0.0015	0.32	0.09	Abierto
Tubería 7	90	66	0.0015	0.19	0.05	Abierto
Tubería 8	119	66	0.0015	0.27	0.08	Abierto
Tubería 9	75	67.8	0.0015	0.41	0.11	Abierto
Tubería 10	106	66	0.0015	0.34	0.10	Abierto
Tubería 11	155	67.8	0.0025	0.38	0.11	Abierto
Tubería 12	194	67.8	0.0025	0.33	0.09	Abierto
Tubería 13	130	67.8	0.0025	0.28	0.08	Abierto
Tubería 14	143	57	0.0025	0.26	0.10	Abierto
Tubería 15	60	57	0.0025	0.17	0.07	Abierto
Tubería 16	56	57	0.0025	0.03	0.01	Abierto
Tubería 17	62	57	0.0025	0.08	0.03	Abierto
Tubería 18	34	57	0.0025	0.01	0.00	Abierto
Tubería 19	5	57	0.0025	0.00	0.00	Cerrado
Tubería 20	5	57	0.0025	0.00	0.00	Cerrado
Tubería 22	99	57	0.0025	0.10	0.04	Abierto
Tubería 23	87	57	0.0025	0.05	0.02	Abierto
Tubería 24	58	57	0.0025	0.03	0.01	Abierto
Tubería 25	135	57	0.0025	0.22	0.09	Abierto
Tubería 26	52	57	0.0025	0.14	0.06	Abierto
Tubería 27	123	57	0.0025	0.08	0.03	Abierto
Tubería 28	50	57	0.0025	0.13	0.05	Abierto
Tubería 29	68	57	0.0025	0.11	0.04	Abierto
Tubería 30	136	57	0.0025	0.07	0.03	Abierto
Tubería 31	40	57	0.0025	0.55	0.21	Abierto
Tubería 32	81	99.4	0.0025	1.34	0.17	Abierto
Tubería 33	75	99.4	0.0025	0.14	0.02	Abierto
Tubería 34	79	99.4	0.0025	0.11	0.01	Abierto
Tubería 35	92	99.4	0.0025	0.09	0.01	Abierto
Tubería 36	41	99.4	0.0025	0.04	0.01	Abierto
Tubería 37	116	99.4	0.0025	1.28	0.17	Abierto
Tubería 38	84	99.4	0.0025	1.95	0.25	Abierto

Tabla 74: Características Líneas (primera parte).

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 39	78	99.4	0.0025	2.02	0.26	Abierto
Tubería 40	110	99.4	0.0025	1.59	0.20	Abierto
Tubería 41	77	67.8	0.0025	0.26	0.07	Abierto
Tubería 42	101	67.8	0.0025	0.18	0.05	Abierto
Tubería 43	142	67.8	0.0025	0.08	0.02	Abierto
Tubería 44	83	99.4	0.0025	2.10	0.27	Abierto
Tubería 45	25	99.4	0.0025	16.10	2.08	Abierto
Tubería 46	100	57	0.0025	0.10	0.04	Abierto
Tubería 47	67	99.4	0.0025	3.08	0.40	Abierto
Tubería 50	94	57	0.0025	0.40	0.16	Abierto
Tubería 51	74	57	0.0025	0.30	0.12	Abierto
Tubería 52	142	57	0.0025	0.23	0.09	Abierto
Tubería 53	94	57	0.0025	0.18	0.07	Abierto
Tubería 54	113	57	0.0025	0.14	0.06	Abierto
Tubería 48	150	99.4	0.0025	3.02	0.39	Abierto
Tubería 49	15	99.4	0.0025	2.47	0.32	Abierto
Tubería 55	30	99.4	0.0025	0.44	0.06	Abierto
Tubería 56	92	57	0.0025	0.14	0.06	Abierto
Tubería 6	43	66	0.0015	0.68	0.20	Abierto
Tubería 58	200	113	0.0025	21.41	2.14	Abierto
Bomba 57	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.22	0.00	Abierto

Tabla 75: Características Líneas (segunda parte).

Se logró disminuir los valores de las velocidades mayores a 3 [m/s] en el sector Cogotí 18 aumentando los diámetros y disminuyendo los caudales, producidos por el nuevo estanque.

6.3.2.1.1 Estado sin incendio ($Q_{máxh}$).

Este modelo no considera caudal de incendio, entonces según lo descrito en la sección 2.3.9, la demanda total del APR es igual al valor del Caudal Máximo Horario ($Q_{máxh}$). Esto fue calculado en la Tabla 22 y es igual a 11.23. Solo hay un punto de alta demanda: escuela Juanita Fernández Solar de 0.05 [l/s].

La Tabla 59 muestra el resumen de los valores de las demandas.

Agrupación	Número de arranques	Demanda [l/s]
Total arranques APR	720	11.23
Total arranques domiciliarios	719	11.18
Alta demanda	1	0.05
Arranque domiciliario	1	0.02

Tabla 76: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.

Más detalles sobre las demandas en la Tabla 118 en el Anexo A.

En la Tabla 77 se observan las características de los nudos y en la Tabla 78 y Tabla 79 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos							
IDNudo	Cota	DemandaBase	Presión	IDNudo	Cota	DemandaBase	Presión
	[m]	[l/s]	[m]		[m]	[l/s]	[m]
Conexión 3	869	0.000	11.32	Conexión 31	848	0.156	32.65
Conexión 4	857	0.187	23.32	Conexión 32	850	0.156	30.77
Conexión 5	843	0.062	37.31	Conexión 33	846	0.062	34.64
Conexión 6	839	0.047	41.26	Conexión 34	849	0.05	31.64
Conexión 7	849	0.031	31.41	Conexión 35	850	0.047	30.64
Conexión 8	850	0.078	30.49	Conexión 36	849	0.031	31.64
Conexión 9	844	0.109	36.35	Conexión 37	851	0.109	29.90
Conexión 10	856	0.016	24.38	Conexión 38	852	0.109	29.04
Conexión 11	830	0.078	50.16	Conexión 39	857	0.124	23.73
Conexión 12	844	0.031	36.03	Conexión 40	850	0.124	30.75
Conexión 13	849	0.078	31.08	Conexión 41	855	0.14	25.73
Conexión 14	848	0.124	31.94	Conexión 42	855	0.202	26.19
Conexión 15	831	0.047	48.91	Conexión 43	852	0	29.19
Conexión 16	837	0.109	42.91	Conexión 44	846	0.156	35.18
Conexión 54	833	0.016	46.91	Conexión 45	854	0.093	27.05
Conexión 18	869	0.000	11.32	Conexión 46	863	2.47	17.73
Conexión 19	838	0.093	41.92	Conexión 47	861	0.062	19.74
Conexión 20	871	0.047	21.76	Conexión 48	861	0.156	19.61
Conexión 21	867	0.031	25.76	Conexión 49	857	0.109	23.54
Conexión 22	877	0.078	15.76	Conexión 50	855	0.078	25.47
Conexión 23	876	0.062	16.77	Conexión 51	857	0.047	23.43
Conexión 24	854	0.078	26.39	Conexión 52	858	0.218	22.40
Conexión 25	857	0.093	23.37	Conexión 53	861	0.156	19.75
Conexión 26	857	0.124	23.37	Conexión 17	869	0.109	23.80
Conexión 27	857	0.031	23.38	Depósito 1	870	No Disponible	3.00
Conexión 28	853	0.062	27.36	Depósito 2	870	No Disponible	3.00
Conexión 29	858	0.109	22.36	Depósito 55	878	No Disponible	4.00
Conexión 30	850	0.093	30.58				

Tabla 77: Características Nudos.

En el modelo para la población proyectada al año 2025 se logró solucionar las presiones fuera del rango entre 15 y 70 [m.c.a]. El estanque extra añadido en Cogotí alcanza para abastecer las altas demandas.

Cabe destacar que los siguientes puntos no califican para la verificación del rango de presiones ya que no simulan arranques:

- Las conexiones 18 y 3 son para modelar el diseño actual donde se unen las tuberías.
- Los 3 depósitos, no tienen demanda base asociada.

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 1	5	57	0.0015	0.00	0.00	Cerrado
Tubería 2	5	57	0.0015	0.00	0.00	Cerrado
Tubería 3	80	66	0.0015	0.00	0.00	Abierto
Tubería 4	126	66	0.0015	0.47	0.14	Abierto
Tubería 5	55	66	0.0015	0.48	0.14	Abierto
Tubería 7	90	66	0.0015	0.28	0.08	Abierto
Tubería 8	119	66	0.0015	0.41	0.12	Abierto
Tubería 9	75	67.8	0.0015	0.62	0.17	Abierto
Tubería 10	106	66	0.0015	0.52	0.15	Abierto
Tubería 11	155	67.8	0.0025	0.58	0.16	Abierto
Tubería 12	194	67.8	0.0025	0.50	0.14	Abierto
Tubería 13	130	67.8	0.0025	0.42	0.12	Abierto
Tubería 14	143	57	0.0025	0.39	0.15	Abierto
Tubería 15	60	57	0.0025	0.27	0.10	Abierto
Tubería 16	56	57	0.0025	0.05	0.02	Abierto
Tubería 17	62	57	0.0025	0.12	0.05	Abierto
Tubería 18	34	57	0.0025	0.02	0.01	Abierto
Tubería 19	5	57	0.0025	0.00	0.00	Cerrado
Tubería 20	5	57	0.0025	0.00	0.00	Cerrado
Tubería 22	99	57	0.0025	0.16	0.06	Abierto
Tubería 23	87	57	0.0025	0.08	0.03	Abierto
Tubería 24	58	57	0.0025	0.05	0.02	Abierto
Tubería 25	135	57	0.0025	0.33	0.13	Abierto
Tubería 26	52	57	0.0025	0.22	0.09	Abierto
Tubería 27	123	57	0.0025	0.12	0.05	Abierto
Tubería 28	50	57	0.0025	0.20	0.08	Abierto
Tubería 29	68	57	0.0025	0.17	0.07	Abierto
Tubería 30	136	57	0.0025	0.11	0.04	Abierto
Tubería 31	40	57	0.0025	0.82	0.32	Abierto
Tubería 32	81	99.4	0.0025	2.02	0.26	Abierto
Tubería 33	75	99.4	0.0025	0.19	0.02	Abierto
Tubería 34	79	99.4	0.0025	0.14	0.02	Abierto
Tubería 35	92	99.4	0.0025	0.11	0.01	Abierto
Tubería 36	41	99.4	0.0025	0.06	0.01	Abierto
Tubería 37	116	99.4	0.0025	1.93	0.25	Abierto
Tubería 38	84	99.4	0.0025	2.91	0.38	Abierto

Tabla 78: Características Líneas (primera parte).

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 39	78	99.4	0.0025	3.02	0.39	Abierto
Tubería 40	110	99.4	0.0025	2.37	0.31	Abierto
Tubería 41	77	67.8	0.0025	0.39	0.11	Abierto
Tubería 42	101	67.8	0.0025	0.26	0.07	Abierto
Tubería 43	142	67.8	0.0025	0.12	0.03	Abierto
Tubería 44	83	99.4	0.0025	3.13	0.40	Abierto
Tubería 45	25	99.4	0.0025	0.16	0.02	Abierto
Tubería 46	100	57	0.0025	0.16	0.06	Abierto
Tubería 47	67	99.4	0.0025	3.39	0.44	Abierto
Tubería 50	94	57	0.0025	0.61	0.24	Abierto
Tubería 51	74	57	0.0025	0.45	0.18	Abierto
Tubería 52	142	57	0.0025	0.34	0.13	Abierto
Tubería 53	94	57	0.0025	0.27	0.10	Abierto
Tubería 54	113	57	0.0025	0.22	0.09	Abierto
Tubería 48	150	99.4	0.0025	3.30	0.42	Abierto
Tubería 49	15	99.4	0.0025	2.47	0.32	Abierto
Tubería 55	30	99.4	0.0025	0.67	0.09	Abierto
Tubería 56	92	57	0.0025	0.22	0.09	Abierto
Tubería 6	43	66	0.0015	1.03	0.30	Abierto
Tubería 58	200	113	0.0025	6.88	0.69	Abierto
Bomba 57	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.33	0.00	Abierto

Tabla 79: Características Líneas (segunda parte).

No se generan velocidades mayores a 3[m/s].

6.3.2.2 Distribución sectores Los Llanos y La Cuadra.

Las demandas por considerar son las del estado sin incendio vistos en el caso anterior, en la Tabla 76 con el Caudal Máximo Horario ($Q_{máxh}$).

En la Ilustración 51 se observa de color rojo las ampliaciones, en azul la bomba añadida, verde los tramos en donde se cambió el diámetro externo de 63 [mm] a 125 [mm] y amarillo un corte en la red. En este último punto hoy en día hay una válvula que se encuentra abierta, la modelación se diseña con esta válvula cerrada (para aumentar presiones en los puntos anteriores).

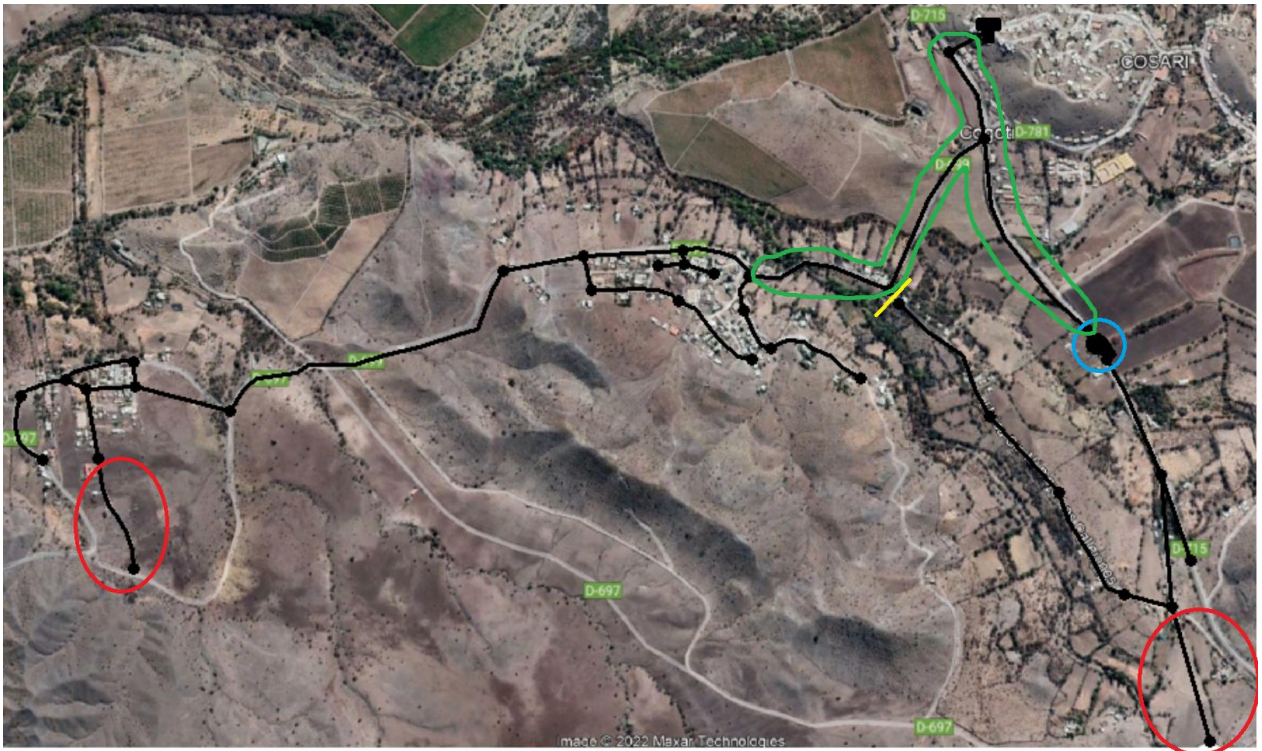


Ilustración 51: Modelo distribución proyectada para el año 2025.

Las cotas de los nuevos nudos añadidos, de la ampliación La Cuadra y Las Garillas, son de 795 y 854 m.s.n.m. respectivamente. Ambas con diámetro externo de 63 [mm]. Las longitudes de los tramos añadidos para las ampliaciones son de 273 [m] para La Cuadra y 1000 [m] para Las Garillas.

En la Ilustración 52 e Ilustración 53 se muestran los ID de los nudos y líneas de la red respectivamente. Más detalle en Ilustración 95 e Ilustración 96 en Anexo B.



Ilustración 52: ID Nudos.

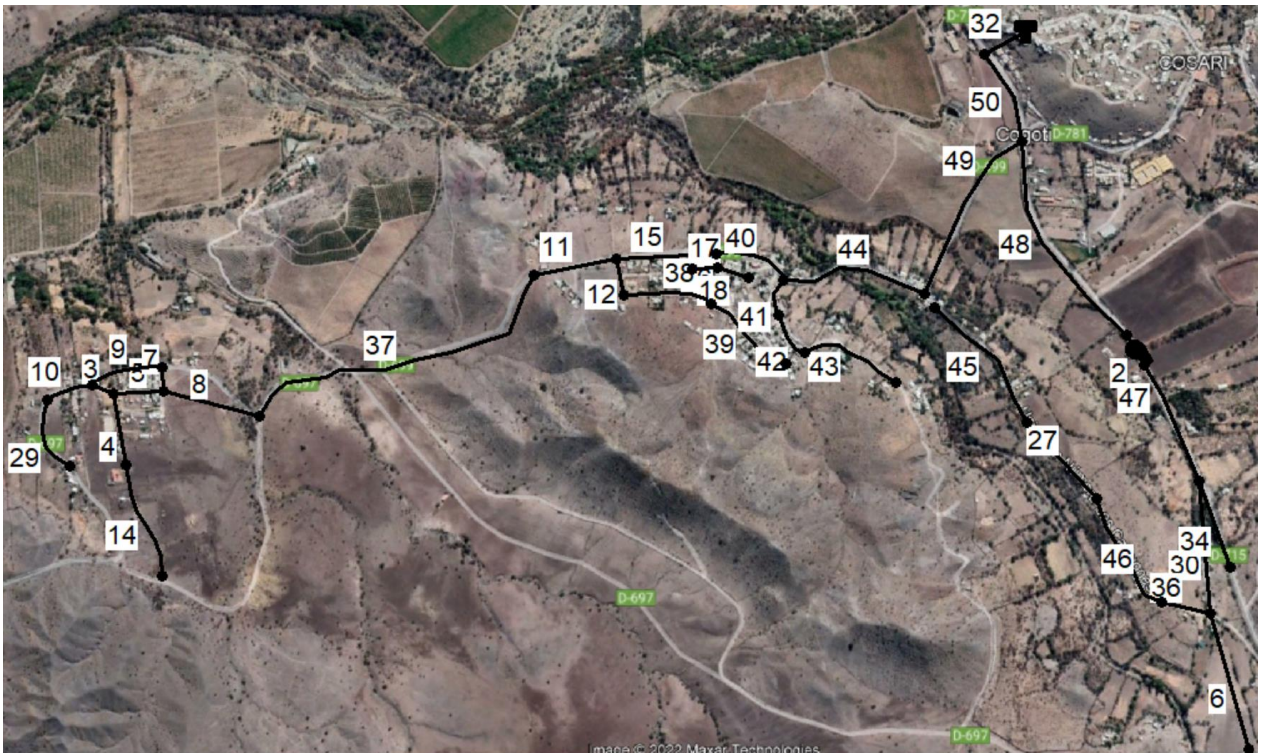


Ilustración 53: ID Líneas.

En la Tabla 80 se observan las características de los nudos y en la Tabla 81 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos			
	Cota	DemandaBase	Presión
IDNudo	[m]	[l/s]	[m]
Conexión 1	790	0.280	47.32
Conexión 2	791	0.280	46.38
Conexión 3	792	0.109	45.51
Conexión 4	795	0.218	42.43
Conexión 5	793	0.078	44.52
Conexión 6	791	0.124	46.62
Conexión 7	795	0.156	42.69
Conexión 8	795	0.000	44.07
Conexión 11	822	0.093	21.57
Conexión 12	817	0.124	28.17
Conexión 13	824	0.093	21.12
Conexión 14	817	0.140	30.99
Conexión 15	819	0.047	28.98
Conexión 16	819	0.093	28.98
Conexión 17	819	0.124	28.98
Conexión 18	825	0.156	20.05
Conexión 19	827	0.140	18.03
Conexión 20	819	0.124	31.82
Conexión 21	824	0.156	26.75
Conexión 22	828	0.093	22.74
Conexión 23	822	0.109	28.78
Conexión 24	825	0.140	26.12
Conexión 25	833	0.124	36.04
Conexión 26	833	0.156	36.05
Conexión 27	838	0.062	31.62
Conexión 28	832	0.093	19.46
Conexión 29	846	0.093	23.22
Conexión 30	835	0.016	16.52
Conexión 31	835	0.016	16.86
Conexión 32	847	0.140	22.61
Conexión 34	834	0.047	35.19
Conexión 35	854	0.187	15.08
Conexión 37	795	0.156	42.41
Conexión 36	832	0.000	38.37
Conexión 38	825	0.000	44.04
Depósito 10	847	No Disponible	5.00

Tabla 80: Características Nudos.

En Los Llanos, aumentaron los valores de los nudos con presiones menores a 15 [m.c.a] al cortar una tubería e instalar una bomba. Las ampliaciones y el resto de los nudos de Los Llanos y La Cuadra tienen presiones que cumplen con la normativa vigente.

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 3	60	57	150	0.22	0.09	Abierto
Tubería 4	162	57	150	0.37	0.15	Abierto
Tubería 5	114	57	150	0.68	0.26	Abierto
Tubería 7	63	57	150	0.57	0.22	Abierto
Tubería 8	232	57	150	1.40	0.55	Abierto
Tubería 11	240	57	150	1.49	0.59	Abierto
Tubería 12	86	57	150	0.39	0.15	Abierto
Tubería 15	244	57	150	2.01	0.79	Abierto
Tubería 16	24	57	150	0.26	0.10	Abierto
Tubería 17	72	57	150	0.09	0.04	Abierto
Tubería 18	67	57	150	0.12	0.05	Abierto
Tubería 27	183	57	150	0.12	0.05	Abierto
Tubería 30	319	57	150	0.61	0.24	Abierto
Tubería 32	93	113	150	3.97	0.40	Abierto
Tubería 34	177	57	150	0.14	0.05	Abierto
Tubería 36	80	57	150	0.33	0.13	Abierto
Tubería 9	164	57	150	0.45	0.17	Abierto
Tubería 10	119	57	150	0.56	0.22	Abierto
Tubería 29	200	57	150	0.28	0.11	Abierto
Tubería 37	758	57	150	1.40	0.55	Abierto
Tubería 38	222	57	150	0.30	0.12	Abierto
Tubería 39	191	57	150	0.14	0.05	Abierto
Tubería 40	175	57	150	2.41	0.94	Abierto
Tubería 41	100	57	150	0.36	0.14	Abierto
Tubería 42	96	57	150	0.25	0.10	Abierto
Tubería 43	251	57	150	0.09	0.04	Abierto
Tubería 44	367	113	150	2.89	0.29	Abierto
Tubería 45	340	57	150	0.00	0.00	Abierto
Tubería 46	444	57	150	0.28	0.11	Abierto
Tubería 47	351	57	150	0.81	0.32	Abierto
Tubería 48	582	113	150	0.90	0.09	Abierto
Tubería 49	447	113	150	3.03	0.30	Abierto
Tubería 50	241	113	150	3.95	0.39	Abierto
Tubería 6	1000	57	150	0.19	0.07	Abierto
Tubería 14	273	57	150	0.16	0.06	Abierto
Bomba 2	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.81	0.00	Abierto

Tabla 81: Características Líneas.

Los sectores Los Llanos y La cuadra, al igual que en el modelo de la red actual, no presentan velocidades mayores a 3 [m/s].

6.3.2.3 Distribución sector Las Tinajas.

Las demandas por considerar son las del estado sin incendio vistos en el caso anterior, en la Tabla 76 con el Caudal Máximo Horario (Q_{máxh}).

En la Ilustración 54 se observa de color rojo las ampliaciones, en verde la tubería donde se aumentó el diámetro externo de 63 [mm] a 125 [mm] y en azul la bomba añadida para aumentar las presiones en los nudos donde se tiene presión menor a 15 [m.c.a] de la Tabla 69.

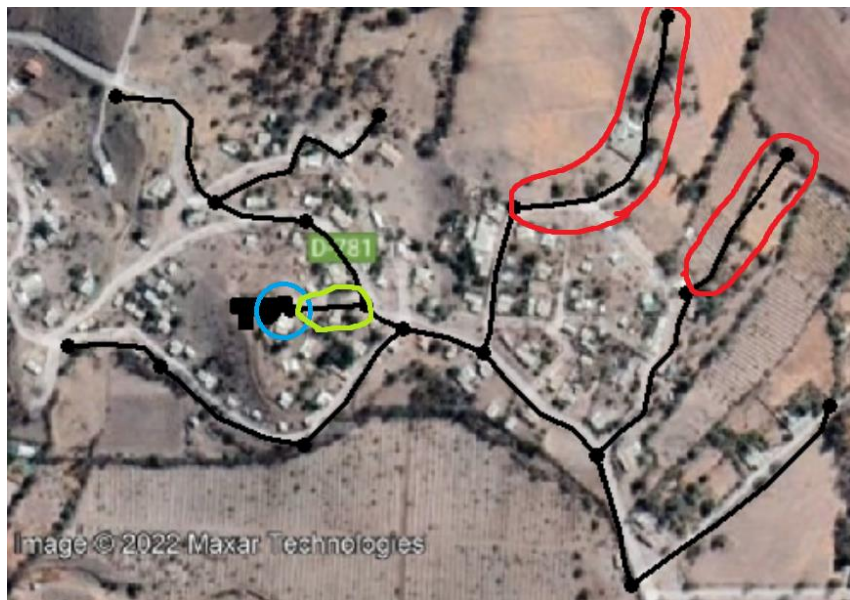


Ilustración 54: Modelo distribución proyectada para el año 2025

Las cotas de los nudos añadidos son de 866 y 861 m.s.n.m y sus longitudes de 165 y 272 [m].

En la Ilustración 55 e Ilustración 56 se muestran los ID de los nudos y líneas de la red respectivamente.

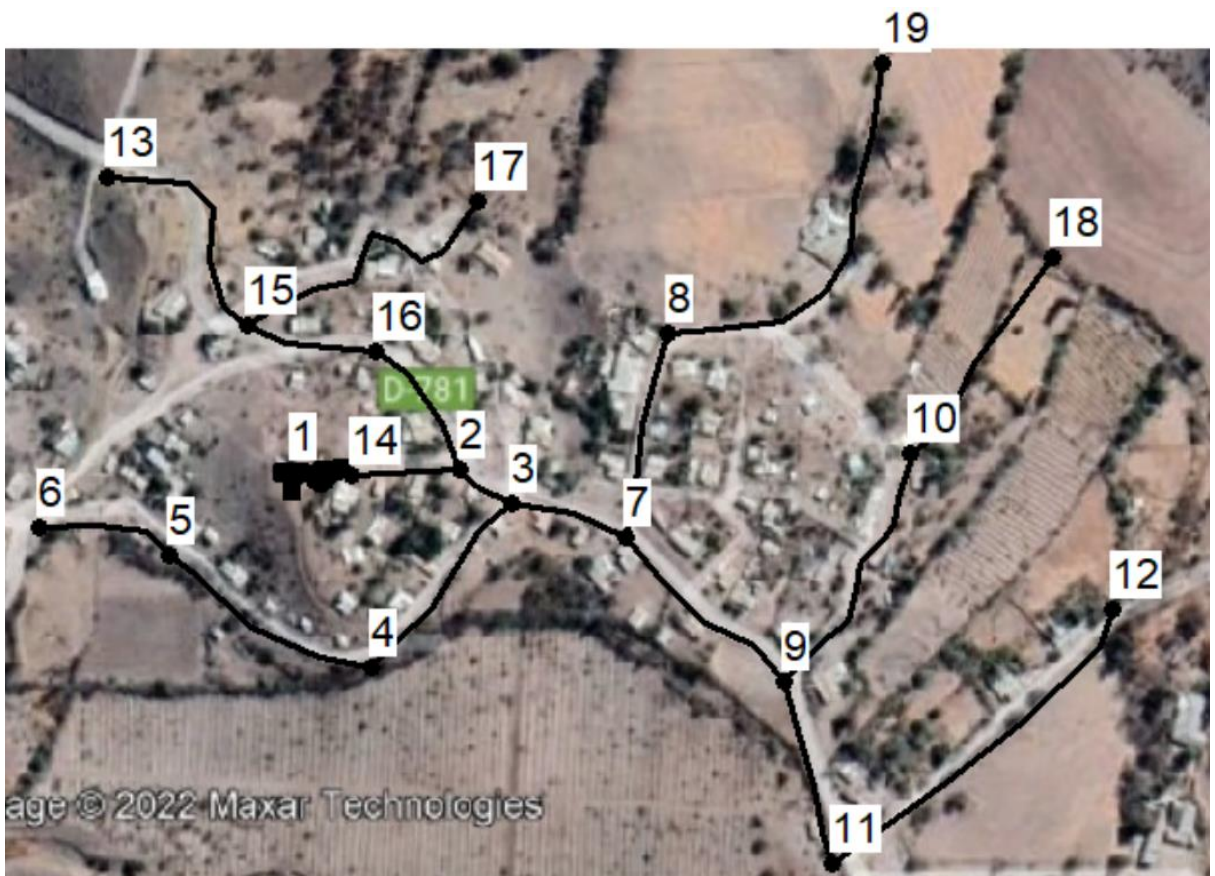


Ilustración 55: ID Nudos.



Ilustración 56: ID Líneas.

En la Tabla 82 se observan las características de los nudos y en la Tabla 83 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos			
	Cota	DemandaBase	Presión
IDNudo	[m]	[l/s]	[m]
Conexión 2	885	0.156	15.35
Conexión 3	885	0.078	15.00
Conexión 4	879	0.093	20.92
Conexión 5	882	0.156	17.84
Conexión 6	874	0.171	25.83
Conexión 7	884	0.140	15.50
Conexión 8	878	0.249	21.43
Conexión 9	883	0.093	16.16
Conexión 10	882	0.233	17.06
Conexión 11	881	0.047	18.11
Conexión 12	871	0.311	28.01
Conexión 13	875	0.047	25.23
Conexión 15	882	0.093	18.24
Conexión 16	883	0.109	17.29
Conexión 17	870	0.218	30.20
Conexión 18	866	0.156	33.05
Conexión 19	861	0.124	38.42
Conexión 14	890	0.000	10.42
Depósito 1	890	No Disponible	3.00

Tabla 82: Características Nudos.

En Las Tinajas también se añadió una bomba la cual subió las presiones y quedaron dentro de lo valores requeridos por la normativa vigente.

Tabla de Red-Líneas						
	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
IDLínea	[m]	[mm]		[l/s]	[m/s]	
Tubería 1	114	113	150	2.47	0.25	Abierto
Tubería 2	36	57	150	1.85	0.73	Abierto
Tubería 3	125	57	150	0.42	0.16	Abierto
Tubería 4	181	57	150	0.33	0.13	Abierto
Tubería 5	127	57	150	0.17	0.07	Abierto
Tubería 6	88.4	57	150	1.35	0.53	Abierto
Tubería 7	137	57	150	0.37	0.15	Abierto
Tubería 8	150	57	150	0.84	0.33	Abierto
Tubería 9	170	57	150	0.39	0.15	Abierto
Tubería 10	94	57	150	0.36	0.14	Abierto
Tubería 11	297	57	150	0.31	0.12	Abierto
Tubería 12	85	57	150	0.47	0.18	Abierto
Tubería 13	110	57	150	0.36	0.14	Abierto
Tubería 14	136	57	150	0.05	0.02	Abierto
Tubería 15	186	57	150	0.22	0.09	Abierto
Tubería 17	272	57	150	0.12	0.05	Abierto
Tubería 18	165	57	150	0.16	0.06	Abierto
Bomba 16	No Disponible	No Disponible	No Disponible	2.47	0.00	Abierto

Tabla 83: Características Líneas.

El sector Las Tinajas, al igual que en el modelo de la red actual, no se generan velocidades mayores a 3 [m/s].

6.3.3 Proyección año 2042.

A continuación, se modela una proyección a largo plazo. En esto se consideran las demandas y distribución de la población estimada para el año 2042. También se considera los habitantes totales en el año 2042 según la Tabla 17.

Se consideran los mismos puntos de alta demanda de la Tabla 58.

En esta modelación el APR tiene 1474 arranques en total y con los dos puntos de alto consumo quedan 1472 arranques domiciliarios.

En la Tabla 84 se muestran los arranques domiciliarios por sector considerados.

Estanque	Sector	Número de arranques
Cogotí	Cogotí	422
Las Tinajas	Las Tinajas	350
Los Llanos	Los Llanos	502
	La Cuadra	200
Total		1474

Tabla 84: Arranques por sector, abastecimiento año 2042.

La demanda por arranque se calcula con la Ecuación 14.

La distribución de Cogotí está sectorizada en tres redes con estanques independientes, por lo tanto, se hacen 3 simulaciones:

- Distribución sector Cogotí 18.
- Distribución sectores Los Llanos y La Cuadra.
- Distribución sector Las Tinajas.

Hasta las simulaciones de la proyección anterior (sección 6.3.2) se tiene un volumen de estanques actual de 330 [m³] y para la proyección del año 2042, el mínimo es 380 [m³], según la Tabla 25. Por ende, hay que añadir por lo menos 80 [m³] en estanques de regulación.

6.3.3.1 Distribución sector Cogotí 18.

Todos los tramos de HDPE fueron cambiados a PVC Clase 10 diámetro nominal 110 [mm].

En la Ilustración 57 se observa de color rojo las ampliaciones. Los tramos de PVC de diámetro 63 [mm] que se cambiaron a 110 [mm] están encerrados en verde.



Ilustración 57: Modelo distribución proyectada para el año 2042.

Las longitudes de los tramos añadidos son de 150, 130 y 125 [m], todos con diámetro nominal 63 [mm].

En la Ilustración 49 e Ilustración 50 se muestran los ID de los nudos y líneas de la red respectivamente. Más detalles en Ilustración 97, Ilustración 98, Ilustración 99, Ilustración 100, Ilustración 101 e Ilustración 102 en Anexo B.

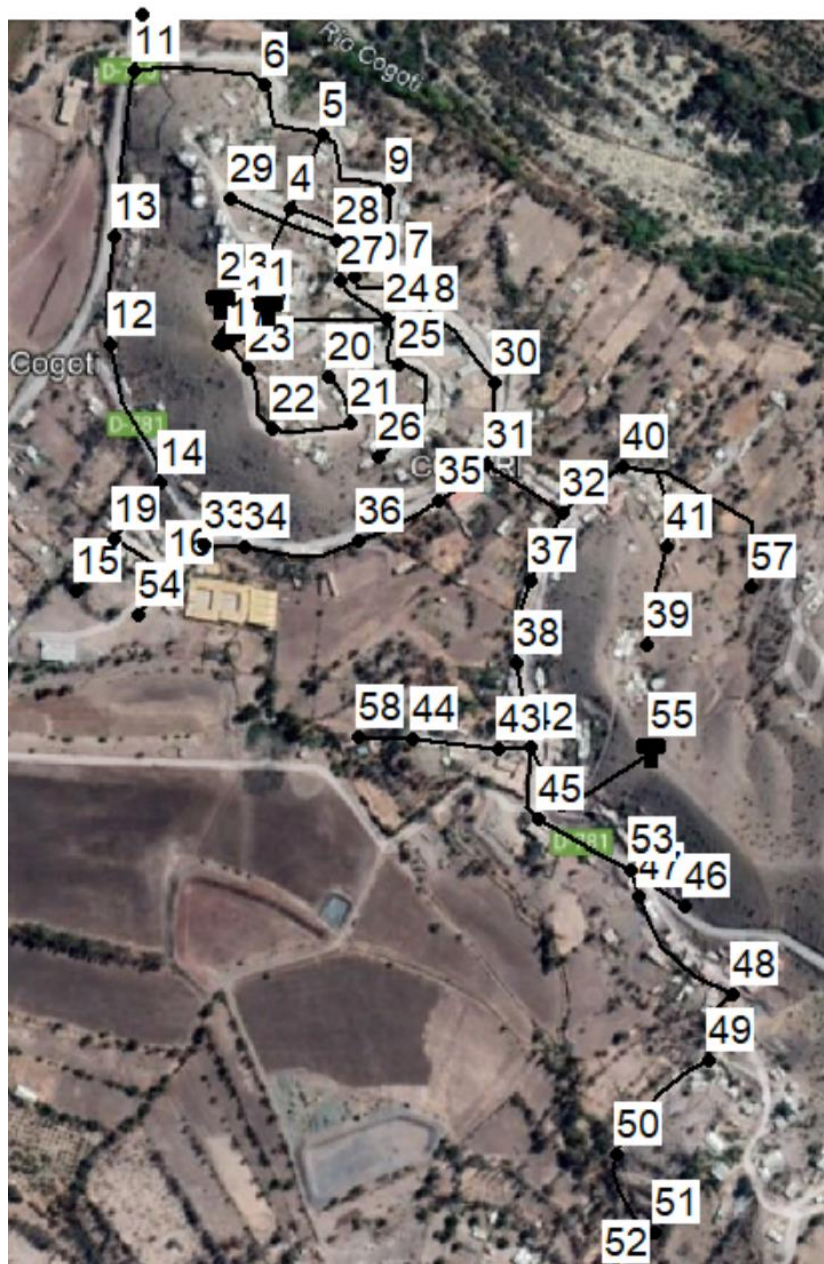


Ilustración 58: ID Nudos.

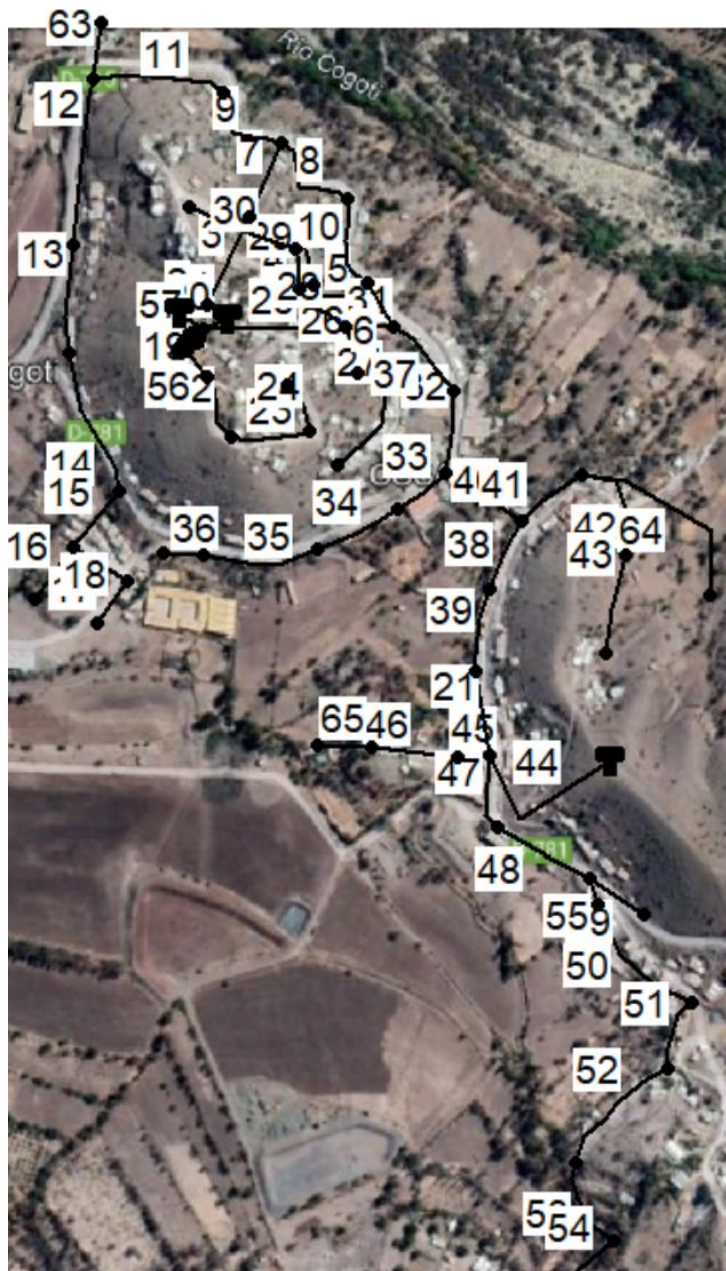


Ilustración 59: ID Líneas.

6.3.3.1.1 Estado con incendio ($Q_{máxd} + Q_{incendio}$).

Este modelo si considera caudal de incendio, entonces según lo descrito en la sección 2.3.9, la demanda total del APR es igual al valor del Caudal Máximo Diario ($Q_{máxd}$) más el caudal de incendio. Esto fue calculado en la Tabla 22 y es igual a 31.33 [l/s]. Las demandas altas son extraídas de la Tabla 58.

La Tabla 85 muestra el resumen de los valores de las demandas.

Agrupación	Número de arranques	Demanda [l/s]
Total arranques APR	1474	31.33

Total arranques domiciliarios	1472	15.28
Alta demanda	2	16.05
Arranque domiciliario	1	0.01

Tabla 85: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.

Más detalles sobre las demandas en la Tabla 119 en Anexo A.

En la Tabla 86 se observan las características de los nudos y en la Tabla 87 y Tabla 88 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos							
	Cota	DemandaBase	Presión		Cota	DemandaBase	Presión
IDNudo	[m]	[l/s]	[m]	IDNudo	[m]	[l/s]	[m]
Conexión 3	869	0.000	4.00	Conexión 32	850	0.104	24.53
Conexión 4	857	0.125	15.98	Conexión 33	846	0.052	26.96
Conexión 5	843	0.052	29.96	Conexión 34	849	0.050	23.96
Conexión 6	839	0.031	33.87	Conexión 35	850	0.031	22.96
Conexión 7	849	0.021	23.97	Conexión 36	849	0.031	23.96
Conexión 8	850	0.052	22.97	Conexión 37	851	0.073	23.54
Conexión 9	844	0.073	28.97	Conexión 38	852	0.073	22.55
Conexión 10	856	0.010	16.97	Conexión 39	856	0.083	18.47
Conexión 11	830	0.073	42.68	Conexión 40	850	0.083	24.49
Conexión 12	844	0.052	28.55	Conexión 41	855	0.093	19.48
Conexión 13	839	0.083	33.60	Conexión 42	855	0.135	19.56
Conexión 14	848	0.083	24.47	Conexión 43	852	16.00	21.68
Conexión 15	831	0.031	41.45	Conexión 44	846	0.104	27.65
Conexión 16	837	0.073	35.44	Conexión 45	854	0.062	20.09
Conexión 54	833	0.104	39.44	Conexión 46	863	5.670	9.99
Conexión 18	869	0.000	4.00	Conexión 47	861	0.052	12.07
Conexión 19	838	0.062	34.45	Conexión 48	861	0.104	12.06
Conexión 20	871	0.031	21.55	Conexión 49	857	0.073	16.05
Conexión 21	867	0.021	25.55	Conexión 50	855	0.176	18.04
Conexión 22	877	0.052	15.55	Conexión 51	857	0.135	16.03
Conexión 23	876	0.042	16.55	Conexión 52	858	0.208	15.03
Conexión 24	854	0.083	18.97	Conexión 53	861	0.104	12.07
Conexión 25	857	0.062	15.96	Conexión 17	869	0.073	23.56
Conexión 26	857	0.145	15.95	Conexión 56	816	0.311	56.61
Conexión 27	857	0.021	15.97	Conexión 57	850	0.083	24.49
Conexión 28	853	0.042	19.96	Conexión 58	834	0.104	39.65
Conexión 29	857	0.083	15.96	Depósito 1	870	No Disponible	3.00
Conexión 30	850	0.062	22.97	Depósito 2	870	No Disponible	3.00
Conexión 31	848	0.104	24.96	Depósito 55	878	No Disponible	4.00

Tabla 86: Características Nudos.

Para la proyección de este año, aumentar los diámetros de algunas de las tuberías de Cogotí fue suficiente para conseguir las presiones adecuadas para las demandas requeridas, dentro del rango 5-70 [m.c.a].

Cabe destacar que los siguientes puntos no califican para la verificación del rango de presiones ya que no simulan arranques:

- Las conexiones 18 y 3 son para modelar el diseño actual donde se unen las tuberías.

- Los 3 depósitos, no tienen demanda base asociada.

No hay presiones sobre 70 [m.c.a].

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 1	5	99.4	0.0025	0.56	0.07	Abierto
Tubería 2	5	99.4	0.0025	0.56	0.07	Abierto
Tubería 3	80	99.4	0.0025	1.12	0.14	Abierto
Tubería 4	126	99.4	0.0025	0.30	0.04	Abierto
Tubería 5	55	99.4	0.0025	0.29	0.04	Abierto
Tubería 7	90	99.4	0.0025	0.70	0.09	Abierto
Tubería 8	119	99.4	0.0025	0.26	0.03	Abierto
Tubería 9	75	67.8	0.0025	0.90	0.25	Abierto
Tubería 10	106	99.4	0.0025	0.33	0.04	Abierto
Tubería 11	155	67.8	0.0025	0.87	0.24	Abierto
Tubería 12	194	67.8	0.0025	0.49	0.14	Abierto
Tubería 13	130	67.8	0.0025	0.41	0.11	Abierto
Tubería 14	143	57	0.0025	0.35	0.14	Abierto
Tubería 15	60	57	0.0025	0.27	0.11	Abierto
Tubería 16	56	57	0.0025	0.03	0.01	Abierto
Tubería 17	62	57	0.0025	0.18	0.07	Abierto
Tubería 18	34	57	0.0025	0.10	0.04	Abierto
Tubería 19	5	99.4	0.0025	0.55	0.07	Abierto
Tubería 20	5	99.4	0.0025	0.55	0.07	Abierto
Tubería 22	99	57	0.0025	0.10	0.04	Abierto
Tubería 23	87	57	0.0025	0.05	0.02	Abierto
Tubería 24	58	57	0.0025	0.03	0.01	Abierto
Tubería 25	135	99.4	0.0025	0.88	0.11	Abierto
Tubería 26	52	57	0.0025	0.21	0.08	Abierto
Tubería 27	123	57	0.0025	0.14	0.06	Abierto
Tubería 28	50	57	0.0025	0.15	0.06	Abierto
Tubería 29	68	57	0.0025	0.12	0.05	Abierto
Tubería 30	136	57	0.0025	0.08	0.03	Abierto
Tubería 31	40	99.4	0.0025	0.45	0.06	Abierto
Tubería 32	81	99.4	0.0025	0.27	0.03	Abierto
Tubería 33	75	99.4	0.0025	0.16	0.02	Abierto
Tubería 34	79	99.4	0.0025	0.13	0.02	Abierto
Tubería 35	92	99.4	0.0025	0.10	0.01	Abierto

Tabla 87: Características Líneas (primera parte).

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Rugosidad	Caudal [l/s]	Velocidad [m/s]	Estado
Tubería 36	41	99.4	0.0025	0.05	0.01	Abierto
Tubería 37	116	99.4	0.0025	0.33	0.04	Abierto
Tubería 38	84	99.4	0.0025	0.45	0.06	Abierto
Tubería 39	78	99.4	0.0025	0.52	0.07	Abierto
Tubería 40	110	99.4	0.0025	0.00	0.00	Cerrado
Tubería 41	77	57	0.0025	0.34	0.13	Abierto
Tubería 42	101	57	0.0025	0.18	0.07	Abierto
Tubería 43	142	57	0.0025	0.08	0.03	Abierto
Tubería 45	25	99.4	0.0025	16.21	2.09	Abierto
Tubería 46	100	57	0.0025	0.21	0.08	Abierto
Tubería 47	67	99.4	0.0025	6.58	0.85	Abierto
Tubería 50	94	99.4	0.0025	0.70	0.09	Abierto
Tubería 51	74	99.4	0.0025	0.59	0.08	Abierto
Tubería 52	142	99.4	0.0025	0.52	0.07	Abierto
Tubería 53	94	99.4	0.0025	0.34	0.04	Abierto
Tubería 54	113	99.4	0.0025	0.21	0.03	Abierto
Tubería 48	150	99.4	0.0025	6.52	0.84	Abierto
Tubería 49	15	99.4	0.0025	5.67	0.73	Abierto
Tubería 55	30	99.4	0.0025	0.75	0.10	Abierto
Tubería 56	92	57	0.0025	0.15	0.06	Abierto
Tubería 6	43	99.4	0.0025	0.06	0.01	Abierto
Tubería 63	150	57	0.0025	0.31	0.12	Abierto
Tubería 64	125	57	0.0025	0.08	0.03	Abierto
Tubería 65	130	57	0.0025	0.10	0.04	Abierto
Tubería 21	100	99.4	0.0025	0.59	0.08	Abierto
Tubería 44	200	113	0.0025	23.52	2.35	Abierto
Bomba 57	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.22	0.00	Abierto

Tabla 88: Características Líneas (segunda parte).

Las velocidades al año 2042 disminuyen bastante al aumentar mucho las demandas y al aumentar lo diámetros de hartas de las tuberías. En ningún tramo se forman velocidades mayores a 3 [m/s].

6.3.3.1.2 Estado sin incendio ($Q_{máxh}$).

Este modelo no considera caudal de incendio, entonces según lo descrito en la sección 2.3.9, la demanda total del APR es igual al valor del Caudal Máximo Horario ($Q_{máxh}$). Esto fue calculado en la Tabla 22 y es igual a 22.99 [l/s]. Solo hay un punto de alta demanda: escuela Juanita Fernández Solar de 0.05 [l/s].

La Tabla 89 muestra el resumen de los valores de las demandas.

Agrupación	Número de arranques	Demanda [l/s]
Total arranques APR	1473	22.99
Total arranques domiciliarios	1472	22.94
Alta demanda	1	0.05
Arranque domiciliario	1	0.02

Tabla 89: Resumen demandas. Fuente: Elaboración propia.

Más detalles sobre las demandas en la Tabla 119 en el Anexo A.

En la Tabla 90 se observan las características de los nudos y en la Tabla 91 y Tabla 92 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos							
	Cota	DemandaBase	Presión		Cota	DemandaBase	Presión
IDNudo	[m]	[l/s]	[m]	IDNudo	[m]	[l/s]	[m]
Conexión 3	869	0	4.00	Conexión 32	850	0.156	30.68
Conexión 4	857	0.187	15.95	Conexión 33	846	0.078	26.92
Conexión 5	843	0.078	29.92	Conexión 34	849	0.05	23.92
Conexión 6	839	0.047	33.73	Conexión 35	850	0.047	22.93
Conexión 7	849	0.031	23.94	Conexión 36	849	0.047	23.93
Conexión 8	850	0.078	22.94	Conexión 37	851	0.109	29.69
Conexión 9	844	0.156	28.93	Conexión 38	852	0.109	28.71
Conexión 10	856	0.016	16.94	Conexión 39	856	0.125	24.55
Conexión 11	830	0.109	42.35	Conexión 40	850	0.125	30.60
Conexión 12	844	0.078	28.09	Conexión 41	855	0.14	25.56
Conexión 13	839	0.125	33.18	Conexión 42	855	0.203	25.73
Conexión 14	848	0.125	23.93	Conexión 43	852	0	28.72
Conexión 15	831	0.047	40.88	Conexión 44	846	0.156	34.52
Conexión 16	837	0.109	34.86	Conexión 45	854	0.094	26.20
Conexión 54	833	0.156	38.86	Conexión 46	863	5.67	15.98
Conexión 18	869	0	4.00	Conexión 47	861	0.078	18.05
Conexión 19	838	0.094	33.88	Conexión 48	861	0.156	18.03
Conexión 20	871	0.047	23.80	Conexión 49	857	0.109	22.01
Conexión 21	867	0.031	27.80	Conexión 50	855	0.265	23.99
Conexión 22	877	0.078	17.80	Conexión 51	857	0.203	21.98
Conexión 23	876	0.062	18.81	Conexión 52	858	0.312	20.98
Conexión 24	854	0.125	18.94	Conexión 53	861	0.156	18.06
Conexión 25	857	0.094	15.92	Conexión 17	869	0.109	25.84
Conexión 26	857	0.218	15.89	Conexión 56	816	0.468	56.21
Conexión 27	857	0.031	15.93	Conexión 57	850	0.125	30.59
Conexión 28	853	0.062	19.92	Conexión 58	834	0.577	46.35
Conexión 29	857	0.125	15.91	Depósito 1	870	No Disponible	3.00
Conexión 30	850	0.094	22.93	Depósito 2	870	No Disponible	3.00
Conexión 31	848	0.156	24.93	Depósito 55	878	No Disponible	4.00

Tabla 90: Características Nudos.

Para la proyección de este año, aumentar los diámetros de algunas de las tuberías de Cogotí fue suficiente para conseguir las presiones adecuadas para las demandas requeridas, dentro del rango 15-70 [m.c.a].

Cabe destacar que los siguientes puntos no califican para la verificación del rango de presiones ya que no simulan arranques:

- Las conexiones 18 y 3 son para modelar el diseño actual donde se unen las tuberías.
- Los 3 depósitos, no tienen demanda base asociada.

No hay presiones sobre 70 [m.c.a].

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
	[m]	[mm]		[l/s]	[m/s]	
Tubería 1	5	99.4	0.0025	0.85	0.11	Abierto
Tubería 2	5	99.4	0.0025	0.85	0.11	Abierto
Tubería 3	80	99.4	0.0025	1.70	0.22	Abierto
Tubería 4	126	99.4	0.0025	0.44	0.06	Abierto
Tubería 5	55	99.4	0.0025	0.43	0.06	Abierto
Tubería 7	90	99.4	0.0025	1.07	0.14	Abierto
Tubería 8	119	99.4	0.0025	0.37	0.05	Abierto
Tubería 9	75	67.8	0.0025	1.36	0.38	Abierto
Tubería 10	106	99.4	0.0025	0.53	0.07	Abierto
Tubería 11	155	67.8	0.0025	1.31	0.36	Abierto
Tubería 12	194	67.8	0.0025	0.73	0.20	Abierto
Tubería 13	130	67.8	0.0025	0.61	0.17	Abierto
Tubería 14	143	57	0.0025	0.53	0.21	Abierto
Tubería 15	60	57	0.0025	0.41	0.16	Abierto
Tubería 16	56	57	0.0025	0.05	0.02	Abierto
Tubería 17	62	57	0.0025	0.27	0.10	Abierto
Tubería 18	34	57	0.0025	0.16	0.06	Abierto
Tubería 19	5	99.4	0.0025	0.83	0.11	Abierto
Tubería 20	5	99.4	0.0025	0.83	0.11	Abierto
Tubería 22	99	57	0.0025	0.16	0.06	Abierto
Tubería 23	87	57	0.0025	0.08	0.03	Abierto
Tubería 24	58	57	0.0025	0.05	0.02	Abierto
Tubería 25	135	99.4	0.0025	1.34	0.17	Abierto
Tubería 26	52	57	0.0025	0.31	0.12	Abierto
Tubería 27	123	57	0.0025	0.22	0.09	Abierto
Tubería 28	50	57	0.0025	0.22	0.09	Abierto
Tubería 29	68	57	0.0025	0.19	0.07	Abierto
Tubería 30	136	57	0.0025	0.12	0.05	Abierto
Tubería 31	40	99.4	0.0025	0.68	0.09	Abierto
Tubería 32	81	99.4	0.0025	0.38	0.05	Abierto
Tubería 33	75	99.4	0.0025	0.22	0.03	Abierto
Tubería 34	79	99.4	0.0025	0.17	0.02	Abierto
Tubería 35	92	99.4	0.0025	0.13	0.02	Abierto

Tabla 91: Características Líneas (primera parte).

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
	[m]	[mm]		[l/s]	[m/s]	
Tubería 36	41	99.4	0.0025	0.08	0.01	Abierto
Tubería 37	116	99.4	0.0025	0.47	0.06	Abierto
Tubería 38	84	99.4	0.0025	0.67	0.09	Abierto
Tubería 39	78	99.4	0.0025	0.78	0.10	Abierto
Tubería 40	110	99.4	0.0025	0.00	0.00	Cerrado
Tubería 41	77	57	0.0025	0.51	0.20	Abierto
Tubería 42	101	57	0.0025	0.27	0.10	Abierto
Tubería 43	142	57	0.0025	0.12	0.05	Abierto
Tubería 45	25	99.4	0.0025	0.73	0.09	Abierto
Tubería 46	100	57	0.0025	0.73	0.29	Abierto
Tubería 47	67	99.4	0.0025	7.04	0.91	Abierto
Tubería 50	94	99.4	0.0025	1.04	0.13	Abierto
Tubería 51	74	99.4	0.0025	0.89	0.11	Abierto
Tubería 52	142	99.4	0.0025	0.78	0.10	Abierto
Tubería 53	94	99.4	0.0025	0.51	0.07	Abierto
Tubería 54	113	99.4	0.0025	0.31	0.04	Abierto
Tubería 48	150	99.4	0.0025	6.95	0.90	Abierto
Tubería 49	15	99.4	0.0025	5.67	0.73	Abierto
Tubería 55	30	99.4	0.0025	1.12	0.14	Abierto
Tubería 56	92	57	0.0025	0.22	0.09	Abierto
Tubería 6	43	99.4	0.0025	0.13	0.02	Abierto
Tubería 63	150	57	0.0025	0.47	0.18	Abierto
Tubería 64	125	57	0.0025	0.12	0.05	Abierto
Tubería 65	130	57	0.0025	0.58	0.23	Abierto
Tubería 21	100	99.4	0.0025	0.89	0.11	Abierto
Tubería 44	200	113	0.0025	8.87	0.88	Abierto
Bomba 57	No Disponible	No Disponible	No Disponible	0.33	0.00	Abierto

Tabla 92: Características Líneas (segunda parte).

En ningún tramo se forman velocidades mayores a 3 [m/s].

6.3.3.2 Distribución sectores Los Llanos y La Cuadra.

Las demandas por considerar son las del estado sin incendio vistos en el caso anterior, en la Tabla 89 con el Caudal Máximo Horario ($Q_{máxh}$).

En la Ilustración 60 se observa de color rojo las ampliaciones, en azul el estanque añadido y amarillo en donde se volvió a unir la tubería cortada, es decir, volver a abrir la válvula.

Se eliminó la bomba instalada para la proyección anterior ya que fue utilizada para aumentar las presiones en el sector Los Llanos y con el estanque nuevo no es necesaria.

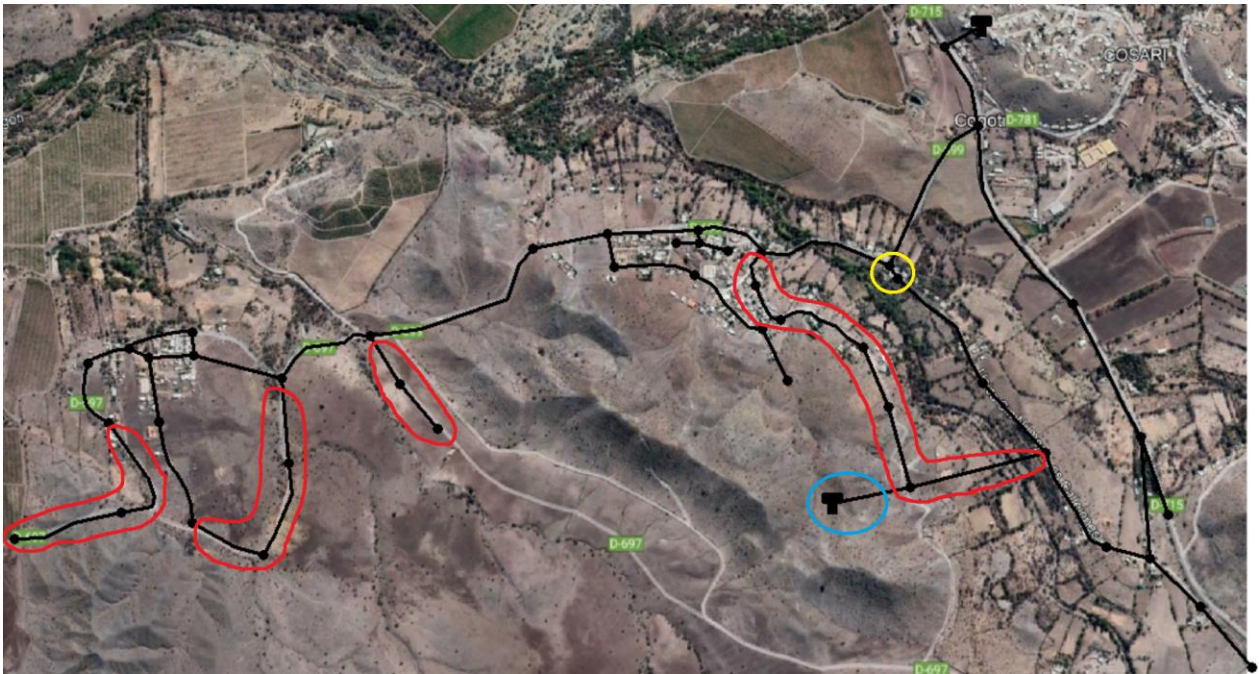


Ilustración 60: Modelo distribución proyectada para el año 2042.

El estanque fue añadido en la cota 872 m.s.n.m. y tiene un volumen de 50 [m³]. Con esto se tiene un volumen de estanques total en el APR de 380 [m³], el cual es igual al mínimo de 380 [m³]. La salida del estanque es de diámetro nominal 110 [mm].

En la Ilustración 61 y Ilustración 62 se muestran los ID de los nudos y líneas de la red respectivamente. Más detalles en Ilustración 103 e Ilustración 104 del Anexo B.

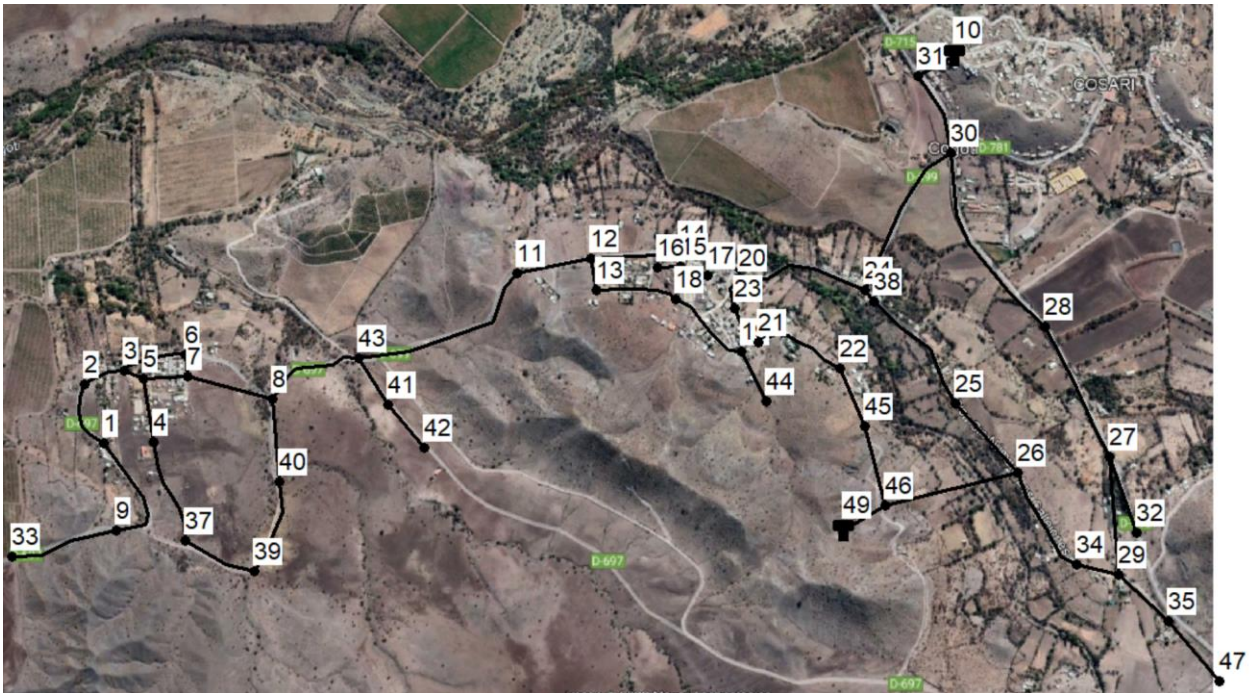


Ilustración 61: ID Nudos.



Ilustración 62: ID Líneas.

En la Tabla 93 se observan las características de los nudos y en la Tabla 94 y Tabla 95 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos							
IDNudo	Cota [m]	DemandaBase [l/s]	Presión [m]	IDNudo	Cota [m]	DemandaBase [l/s]	Presión [m]
Conexión 1	790	0.156	22.81	Conexión 27	838	0.156	34.04
Conexión 2	791	0.234	22.10	Conexión 28	832	0.546	40.15
Conexión 3	792	0.109	21.41	Conexión 29	846	0.125	26.07
Conexión 4	795	0.312	18.46	Conexión 30	835	0.468	37.19
Conexión 5	793	0.078	20.46	Conexión 31	835	0.218	37.19
Conexión 6	791	0.125	22.54	Conexión 32	847	0.234	25.01
Conexión 7	795	0.156	18.63	Conexión 34	834	0.156	38.41
Conexión 8	795	0.281	20.03	Conexión 35	850	0.468	20.38
Conexión 11	822	0.249	15.80	Conexión 37	795	0.312	18.53
Conexión 12	817	0.281	30.00	Conexión 38	825	0.312	47.30
Conexión 13	824	0.156	22.87	Conexión 9	795	0.265	17.56
Conexión 14	817	0.14	44.10	Conexión 33	792	0.234	20.50
Conexión 15	819	0.047	42.09	Conexión 39	798	0.234	15.83
Conexión 16	819	0.094	42.09	Conexión 40	796	0.312	18.21
Conexión 17	819	0.125	42.08	Conexión 41	795	0.234	25.76
Conexión 18	825	0.218	21.66	Conexión 42	799	0.234	21.74
Conexión 19	827	0.14	19.60	Conexión 43	796	0.312	24.84
Conexión 20	819	0.156	53.85	Conexión 44	829	0.156	17.59
Conexión 21	824	0.234	49.48	Conexión 45	830	0.312	44.77
Conexión 22	828	0.312	46.38	Conexión 46	831	0.312	44.19
Conexión 23	822	0.187	51.16	Conexión 47	851	0.468	19.07
Conexión 24	825	0	47.30	Depósito 10	847	No Disponible	5.00
Conexión 25	833	0.312	40.68	Depósito 36	872	No Disponible	5.00
Conexión 26	833	0.468	41.84				

Tabla 93: Características Nudos.

Para Los Llanos y La Cuadra, las demandas eran tan bajas que fue necesario incorporar un segundo estanque. Ya que, sin este, todo el sector La Cuadra tenía presiones negativas. Se logró obtener presiones dentro del rango en todos los arranques. Solamente se tienen presiones menores al mínimo de 15 [m.c.a.] en los estanques, pero como fue dicho anteriormente, no se verifican al no tener demanda base.

No hay presiones sobre 70 [m.c.a].

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
	[m]	[mm]		[l/s]	[m/s]	
Tubería 3	60	57	150	0.51	0.2	Abierto
Tubería 4	162	57	150	0.06	0.02	Abierto
Tubería 5	114	57	150	0.65	0.25	Abierto
Tubería 7	63	57	150	0.61	0.24	Abierto
Tubería 8	232	57	150	1.42	0.56	Abierto
Tubería 11	240	57	150	3.84	1.5	Abierto
Tubería 12	86	57	150	0.67	0.26	Abierto
Tubería 15	244	57	150	4.79	1.88	Abierto
Tubería 16	24	57	150	0.27	0.1	Abierto
Tubería 17	72	57	150	0.09	0.04	Abierto
Tubería 18	67	57	150	0.12	0.05	Abierto
Tubería 27	183	57	150	1.45	0.57	Abierto
Tubería 30	319	57	150	0.12	0.05	Abierto
Tubería 32	93	113	150	0	0	Cerrado
Tubería 34	177	57	150	0.23	0.09	Abierto
Tubería 36	80	57	150	1.19	0.46	Abierto
Tubería 9	164	57	150	0.49	0.19	Abierto
Tubería 10	119	57	150	0.89	0.35	Abierto
Tubería 29	200	57	150	0.65	0.26	Abierto
Tubería 38	222	57	150	0.51	0.2	Abierto
Tubería 39	191	57	150	0.3	0.12	Abierto
Tubería 40	175	57	150	5.19	2.04	Abierto
Tubería 41	100	113	150	6.02	0.6	Abierto
Tubería 42	96	113	150	6.2	0.62	Abierto
Tubería 43	251	113	150	6.44	0.64	Abierto
Tubería 44	367	57	150	-0.67	0.26	Abierto
Tubería 45	340	57	150	1.14	0.45	Abierto
Tubería 46	444	57	150	1.34	0.53	Abierto
Tubería 48	582	113	150	-0.81	0.08	Abierto
Tubería 49	447	113	150	-1.5	0.15	Abierto
Tubería 50	241	113	150	0.22	0.02	Abierto
Tubería 6	600	57	150	0.94	0.37	Abierto
Tubería 14	273	57	150	0.25	0.1	Abierto
Tubería 1	293	57	150	0.5	0.2	Abierto
Tubería 13	260	57	150	0.23	0.09	Abierto
Tubería 19	276	57	150	0.56	0.22	Abierto
Tubería 20	184	57	150	0.8	0.31	Abierto
Tubería 21	213	57	150	1.11	0.43	Abierto

Tabla 94: Características Líneas (primera parte).

Tabla de Red-Líneas						
IDLínea	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
	[m]	[mm]		[l/s]	[m/s]	
Tubería 22	103	57	150	0.47	0.18	Abierto
Tubería 23	104	57	150	0.23	0.09	Abierto
Tubería 24	270	57	150	2.81	1.1	Abierto
Tubería 25	501	57	150	3.59	1.41	Abierto
Tubería 26	100	57	150	0.16	0.06	Abierto
Tubería 28	100	113	150	6.75	0.67	Abierto
Tubería 31	100	113	150	7.06	0.7	Abierto
Tubería 33	400	57	150	0.47	0.18	Abierto
Tubería 53	1	57	150	0.81	0.32	Abierto
Tubería 54	343	113	150	3.26	0.33	Abierto
Tubería 55	375	57	150	-0.27	0.1	Abierto
Tubería 2	1000	57	150	0.02	0.01	Abierto
Tubería 35	200	113	150	10.64	1.06	Abierto

Tabla 95: Características Líneas (segunda parte).

Las velocidades al año 2042 disminuyen bastante al aumentar mucho las demandas y al aumentar lo diámetros de hartas de las tuberías. En ningún tramo se forman velocidades mayores a 3 [m/s].

6.3.3.3 Distribución sector Las Tinajas.

Las demandas por considerar son las del estado sin incendio vistos en el caso anterior, en la Tabla 89 con el Caudal Máximo Horario ($Q_{máxh}$).

En la Ilustración 63 se observa de color rojo las ampliaciones y en verde y amarillo los tramos donde se aumentó el diámetro externo a 125 y 110 [mm] respectivamente.



Ilustración 63: Modelo distribución proyectada para el año 2042.

En la Ilustración 64 e Ilustración 65 se muestran los ID de los nudos y líneas de la red respectivamente

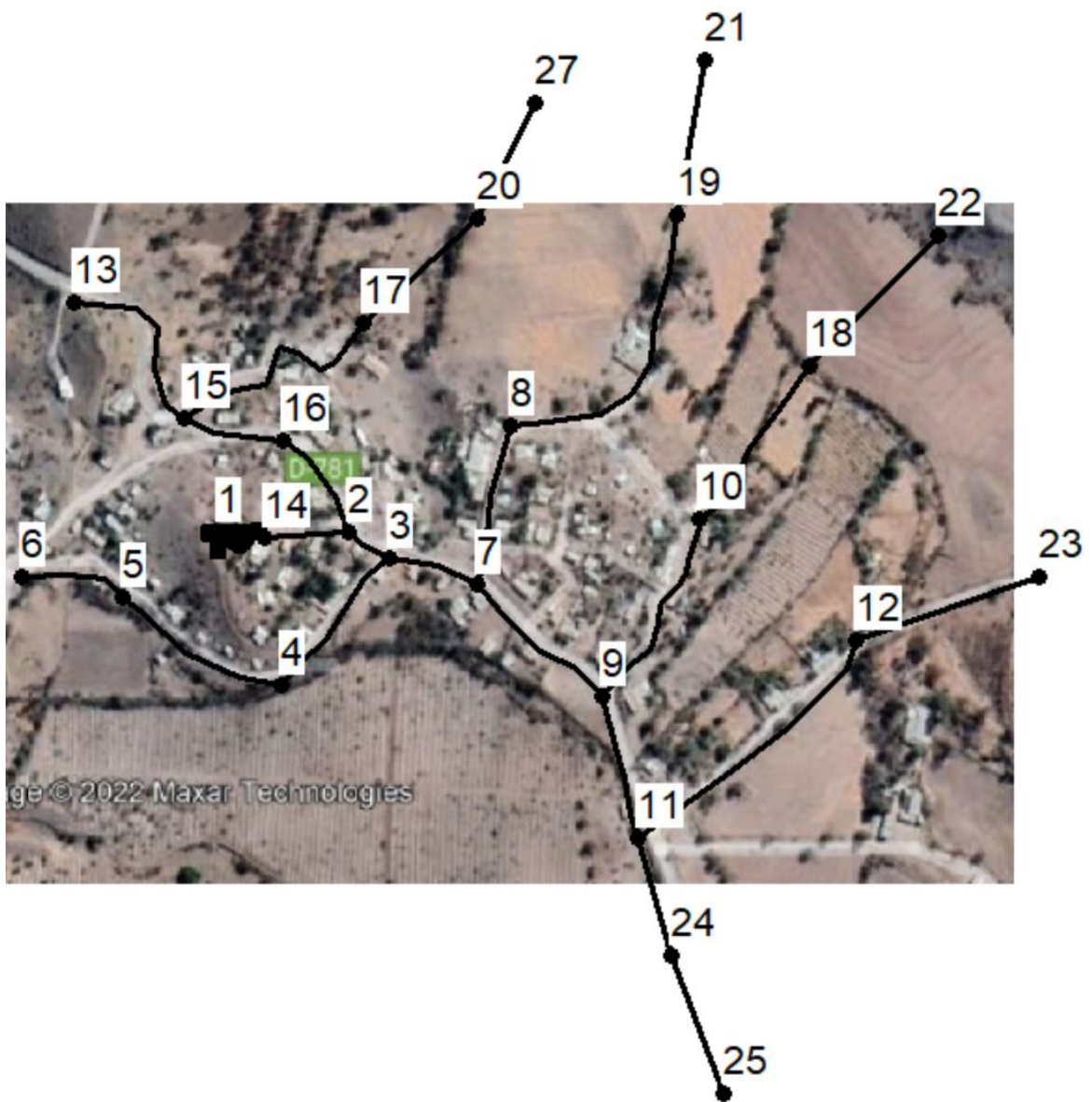


Ilustración 64: ID Nudos.

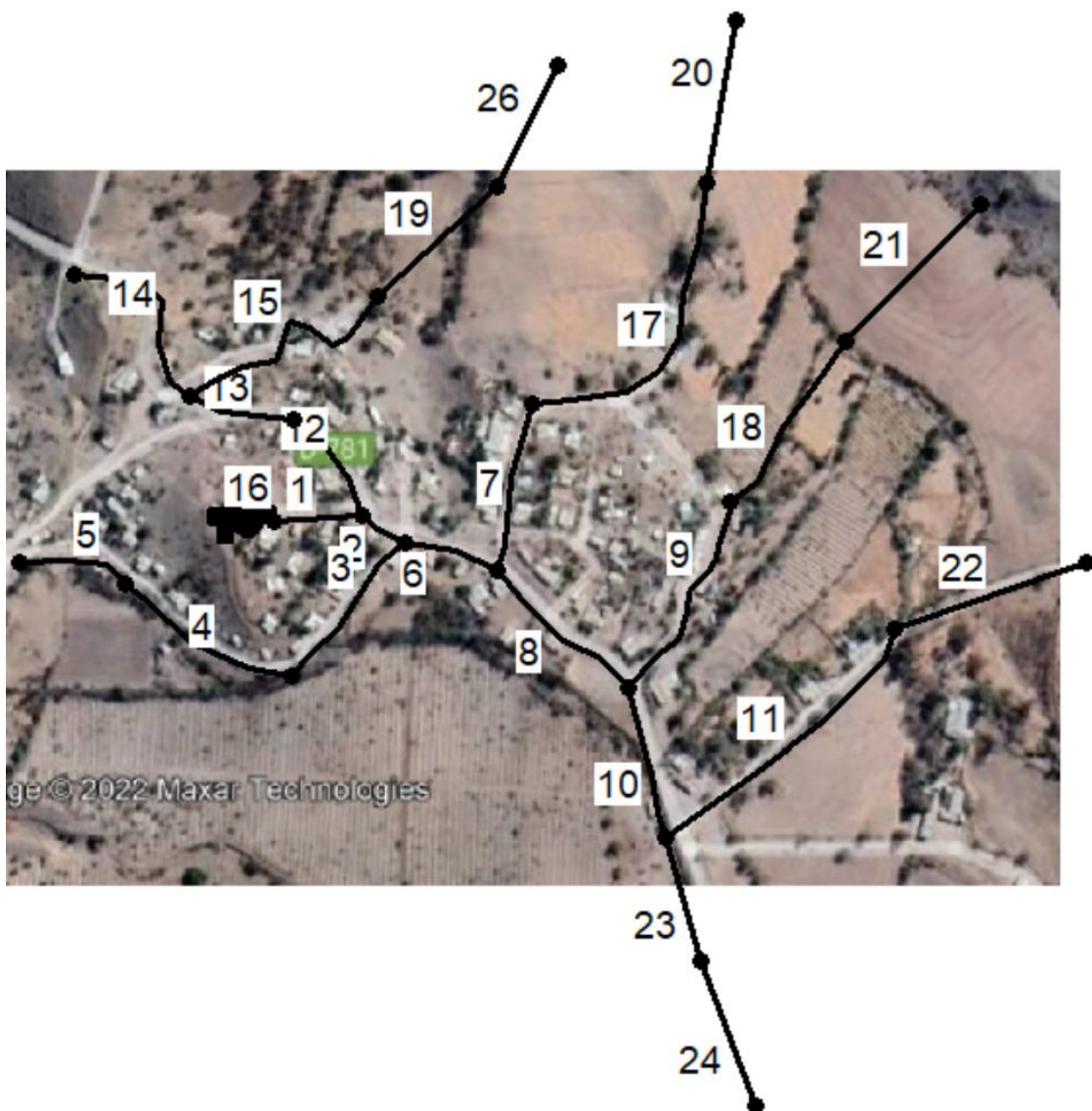


Ilustración 65: ID Líneas.

En la Tabla 96 se observan las características de los nudos y en la Tabla 97 de las líneas de la red.

Tabla de Red-Nudos			
	Cota	DemandaBase	Presión
IDNudo	[m]	[l/s]	[m]
Conexión 2	885	0.156	15.87
Conexión 3	885	0.078	15.81
Conexión 4	879	0.125	21.72
Conexión 5	882	0.156	18.65
Conexión 6	874	0.171	26.63
Conexión 7	884	0.140	16.70
Conexión 8	878	0.249	22.14
Conexión 9	883	0.125	17.62
Conexión 10	882	0.312	18.14
Conexión 11	881	0.094	19.59
Conexión 12	871	0.390	29.38
Conexión 13	875	0.156	25.31
Conexión 15	882	0.125	18.33
Conexión 16	883	0.125	17.85
Conexión 17	870	0.327	29.77
Conexión 18	866	0.312	33.93
Conexión 19	861	0.436	38.42
Conexión 14	890	0.000	11.19
Conexión 20	859	0.312	40.46
Conexión 21	855	0.468	44.23
Conexión 22	866	0.312	33.88
Conexión 23	880	0.062	20.37
Conexión 24	880	0.312	20.57
Conexión 25	885	0.405	15.57
Conexión 27	848	0.327	51.32
Depósito 1	890	No Disponible	4.00

Tabla 96: Características Nudos.

En Las Tinajas se aumentó el diámetro en algunos tramos porque había presiones menores a 15 [m.c.a]. Con esto y la bomba añadida en la modelación anterior se cumplió con el rango requerido por la norma.

Cabe destacar que la conexión 14 y el Depósito 1 no simulan arranques (demanda base nula) por lo tanto, no deben cumplir con la presión mínima ni máxima.

Tabla de Red-Líneas						
	Longitud	Diámetro	Rugosidad	Caudal	Velocidad	Estado
IDLínea	[m]	[mm]		[l/s]	[m/s]	
Tubería 1	114	113	150	5.68	0.57	Abierto
Tubería 2	36	113	150	4.15	0.41	Abierto
Tubería 3	125	57	150	0.45	0.18	Abierto
Tubería 4	181	57	150	0.33	0.13	Abierto
Tubería 5	127	57	150	0.17	0.07	Abierto
Tubería 6	88.4	113	150	3.62	0.36	Abierto
Tubería 7	137	57	150	1.15	0.45	Abierto
Tubería 8	150	113	150	2.32	0.23	Abierto
Tubería 9	170	57	150	0.94	0.37	Abierto
Tubería 10	94	99.4	150	1.26	0.16	Abierto
Tubería 11	297	57	150	0.45	0.18	Abierto
Tubería 12	85	113	150	1.37	0.14	Abierto
Tubería 13	110	57	150	1.25	0.49	Abierto
Tubería 14	136	57	150	0.16	0.06	Abierto
Tubería 15	186	57	150	0.97	0.38	Abierto
Tubería 17	272	57	150	0.90	0.35	Abierto
Tubería 18	165	57	150	0.62	0.24	Abierto
Tubería 19	223	57	150	0.64	0.25	Abierto
Tubería 20	246	57	150	0.47	0.18	Abierto
Tubería 21	114	57	150	0.31	0.12	Abierto
Tubería 22	158	57	150	0.06	0.02	Abierto
Tubería 23	300	113	150	0.72	0.07	Abierto
Tubería 24	150	113	150	0.41	0.04	Abierto
Tubería 26	364	57	150	0.33	0.13	Abierto
Bomba 16	No Disponible	No Disponible	No Disponible	5.68	0.00	Abierto

Tabla 97: Características Líneas.

Las velocidades al año 2042 disminuyen bastante al aumentar mucho las demandas y al aumentar lo diámetros de hartas de las tuberías. En ningún tramo se forman velocidades mayores a 3 [m/s].

7 Resumen

En esta sección se realiza un resumen de los materiales e infraestructura utilizados para las mejoras o actualizaciones de los APR, es decir, tuberías, estanques, bombas y grifos proyectados a futuro. No se consideran los materiales e infraestructuras ya existentes, sino solo lo que se agregó durante el diseño.

7.1 APR Rapel

Modelo	Características tuberías		
	Material	Diámetro externo [mm]	Largo total[m]
Proyección año 2025	PVC Clase 10	63	1211
	PVC Clase 10	75	704
	PVC Clase 10	110	100
	PVC Clase 10	125	0
Proyección año 2042	PVC Clase 10	63	761
	PVC Clase 10	75	0
	PVC Clase 10	110	3282
	PVC Clase 10	125	393

Tabla 98: Resumen tuberías APR Rapel.

Más detalles del resumen de tuberías en la Tabla 123 en Anexo A.

APR	Rapel			
Año	Sector	Características estanques		
		Volumen [m ³]	Tipo	Cota [m.s.n.m.]
2025	Los Ángeles	30	Hormigón armado semienterrado	819
2042	Higuera	200	Hormigón armado semienterrado	825

Tabla 99: Resumen Estanques APR Rapel.

APR	Rapel		
Año	Sector	Características bomba	
		Caudal [l/s]	Altura manométrica [m]
2025	Rapel	0.20	-10.30
	Rapel	0.53	-5.77
	Pedregal alto	0.41	-30.08
2042	Rapel	0.34	-10.47
	Rapel	3.25	-11.00
	Pedregal alto	0.82	-37.19

Tabla 100: Resumen bombas APR Rapel.

Cabe destacar que en el APR Rapel, las bombas añadidas fueron 3 en total. La Tabla 100 muestra los caudales y altura manométrica de las bombas añadidas en el año 2025 y luego son las mismas bombas en el año 2042, con diferente caudal y altura.

APR	Rapel		
Año	Sector	Características grifo	
		Cantidad	Demanda [l/s]
2025	Rapel/Pedregal bajo	1	16

Tabla 101: Resumen Grifos APR Rapel.

7.2 APR Cogotí.

Modelo	Características tuberías		
	Material	Diámetro externo [mm]	Largo total [m]
Proyección año 2025	PVC Clase 10	63	1710
	PVC Clase 10	75	0
	PVC Clase 10	110	370
	PVC Clase 10	125	1990
Proyección año 2042	PVC Clase 10	63	2829
	PVC Clase 10	75	0
	PVC Clase 10	110	1305
	PVC Clase 10	125	1657

Tabla 102: Resumen tuberías APR Cogotí.

Más detalles del resumen de tuberías en la Tabla 124 en Anexo A.

APR	Cogotí			
Año	Sector	Características estanques		
		Volumen [m ³]	Tipo	Cota [m.s.n.m.]
2025	Cogotí	30	Hormigón armado semienterrado	878
2042	Los Llanos	50	Hormigón armado semienterrado	872

Tabla 103: Resumen Estanques APR Cogotí.

APR	Cogotí		
Año	Sector	Características bomba	
		Caudal [l/s]	Altura manométrica [m]
2025	Los Llanos	0.81	-18.75
	Las Tinajas	2.47	-9.29
2042	Los Llanos	Se elimina la bomba añadida en el 2025	
	Las Tinajas	5.68	-7.19

Tabla 104: Resumen bombas APR Cogotí.

Cabe destacar que en el APR Cogotí 18, las bombas añadidas fueron 2 en total. La Tabla 104 muestra los caudales y altura manométrica de las bombas añadidas en el año 2025 y luego son las mismas bombas en el año 2042, con diferente caudal y altura. A excepción de la bomba en Los Llanos que fue eliminada a largo plazo.

8 Conclusiones

Se revisó la bibliografía disponible sobre sistemas de agua potable rural y la normativa vigente. Con esto se logró desarrollar los diseños en base a la norma que va referida específicamente a los APR de cierta cantidad de habitantes.

Se realizó con éxito el catastro de cada uno de los casos de estudio ya sea desde la infraestructura de los APR hasta conocer la demografía, geografía y población de la zona, entre otros.

Este trabajo ha detectado las brechas entre la condición actual de los APR y la condición óptima para garantizar cantidad, continuidad y calidad del agua potable. Además de los diseños entregados en esta memoria, el mantenimiento y la operación adecuados de las redes son imprescindibles para asegurar que el agua sea segura para consumir y que el sistema continúe funcionando correctamente a lo largo del tiempo. Para lograr esto, es necesario realizar mantenimientos, capacitar al personal y monitorear la calidad del agua.

Los diseños de ingeniería conceptual desarrollados en esta memoria plantean algunas de las soluciones a los problemas más importantes, tales como: reducir las pérdidas de agua, y aumentar la capacidad de los estanques de almacenamiento para que sean suficientes para la población actual y para una proyección de corto y largo plazo. Aun así, este trabajo no es suficiente para llevar a cabo el proyecto, es necesario realizar la ingeniería de detalles, un presupuesto y conseguir mano de obra calificada, así como los recursos para el desarrollo de la construcción.

Es sumamente importante al diseñar una red considerar los materiales y diámetros adecuados y realizar la verificación de presiones, velocidades y caudales para no sobrepasar los límites de las tuberías. Así se evitan fallas, roturas, reparaciones, costo monetario, etc. Estas fallas aparte de significar pérdidas de agua, la cual no está de sobra, implica tiempos de corta de agua para reparar y esto disminuye la calidad de vida de las personas.

Se logró diseñar, a corto y largo plazo, las características de la infraestructura que deberán tener los APR para satisfacer las demandas sin sobredimensionar los materiales. Con estos diseños, los dirigentes y operadores, al momento de hacer el anteproyecto, podrán prevenir futuros problemas o fallas de la red.

En el ámbito social, se logró mantener contacto con las personas de la localidad. Involucrarse con la comunidad es un aspecto clave para conocer sus preocupaciones y expectativas del sistema de suministro de agua potable. Se encontró que para muchos de ellos la falta de acceso al agua potable es un problema desde hace años. Se espera que los resultados y recomendaciones

de esta memoria sean considerados y llevados a cabo, para así satisfacer las necesidades de los habitantes y mejorar no solo su calidad de vida, sino también la capacidad de producir y trabajar, lo que contribuye positivamente a la economía local y nacional.

9 Bibliografía

- Alvarado, R., & de la Vega Planet, F. (2022). *Chile lidera la crisis hídrica en América Latina*. <https://www.uchile.cl/noticias/184816/dia-mundial-del-agua-chile-lidera-la-crisis-hidrica-en-america-latina#:~:text=Chile%20presenta%20una%20sequ%C3%ADa%20sostenida,agua%20potable%20entre%20sus%20vecinos>.
- Bruno, S. (2021). *Recursos naturales. Comuna de Monte Patria* (pp. 1–23). https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2021/05/MontePatria_rec_nat.pdf
- Dirección General de Aguas. (2004). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad: Cuenca del río Limarí* (pp. 1–50). <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Limari.pdf>
- Escalona Zúñiga, P. (2022). Alcalde de Monte Patria pide condonación de deudas por grave sequía en la Región de Coquimbo. *El Mostrador*. <https://www.elmostrador.cl/cultura/2022/01/03/alcalde-de-monte-patria-pide-condonacion-de-deudas-por-grave-sequia-en-la-region-de-coquimbo/>
- Norma Chilena NCh 691, (2015).
- Ministerio de Obras Públicas. (2019). *Manual de Proyectos de Agua Potable Rural*. 1–50.
- Ortiz, F. (2022). Coquimbo podría enfrentar racionamiento de agua si no se supera déficit hídrico. *Diario El Día*. <https://www.biobiochile.cl/especial/aqui-tierra/noticias/2022/02/25/coquimbo-podria-enfrentar-rationamiento-de-agua-si-no-se-supera-deficit-hidrico.shtml#:~:text=El%202021%20se%20posicion%C3%B3%20como,de%20precipitaciones%20superior%20al%2080%25>.
- PAC Consultores Ltda. (2012). *Ilustre municipalidad de Monte Patria, Tomo 1, Caracterización y diagnóstico comunal*. http://www.munimontepatria.cl/transparencia/index.php?action=plantillas_generar_archivo&ig=354&m=11&a=2013&ia=2478
- País circular. (2019, June 19). EL 60% DE ESCASEZ DE AGUA EN CHILE ES CAUSADA POR UNA MALA GESTIÓN DEL RECURSO, AUMENTO DE DEMANDA Y EL SOBRETORGAMIENTO DE DERECHOS. *País Circular*. <https://www.paiscircular.cl/agenda-2030/el-60-de-escasez-de-agua-en-chile-es-causada-por-una-mala-gestion-del-recurso-aumento-de-actividades-y-sobretorgamiento-de-derechos/>

Troncoso Muñoz, A. (2021). *Características demográficas y socioeconómicas, comuna de Combarbalá* (pp. 1–17). https://www.sitrural.cl/wp-content/uploads/2021/05/Combarbala_demograficas.pdf

Anexos

Anexo A

Nombre usuario	Consumo [m3]									
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Escuela Wenceslao Vargas de Rapel	102	108	142	198	156	275	185	356	143	129
Escuela Los Angeles de Rapel	0	2	5	6	4	13	0	5	7	6
Escuela Inés de Suarez Higuera	19	9	19	54	13	14	3	8	30	24
Internado de niños de Rapel	112	152	107	158	90	157	148	192	128	215
Posta de salud Rapel	13	10	11	10	9	10	7	8	10	17
Jardín Infantil Pelusitas	45	7	23	22	16	21	4	18	29	16

Tabla 105: Consumos arranques de alta demanda año 2022, APR Rapel.

Año 2019				
Arranques	Mes	Producción [m ³]	Consumo [m ³]	Pérdida [m ³]
476	Enero	8368	6940	1428
477	Febrero	8071	7093	978
477	Marzo	8476	6298	2178
478	Abril	6986	5942	1044
478	Mayo	6803	5241	1562
478	Junio	6467	5145	1322
478	Julio	7463	4348	3115
479	Agosto	7397	5046	2351
479	Septiembre	7247	5815	1432
479	Octubre	6519	4399	2120
479	Noviembre	7493	6258	1235
479	Diciembre	8881	6319	2562
Total		90171	68844	21327

Tabla 106: Producción y consumo año 2019 APR Rapel.

Año 2020

Arranques	Mes	Producción [m ³]	Consumo [m ³]	Pérdida [m ³]
482	Enero	8923	6695	2228
482	Febrero	7390	6701	689
479	Marzo	7284	5684	1600
479	Abril	7404	6023	1381
479	Mayo	6643	5574	1069
480	Junio	5393	5880	-487
481	Julio	5981	4387	1594
481	Agosto	6930	5081	1849
480	Septiembre	6918	5563	1355
482	Octubre	6578	5730	848
482	Noviembre	7514	6740	774
482	Diciembre	8748	6547	2201
Total		85706	70605	15101

Tabla 107: Producción y consumo año 2020 APR Rapel.

Año 2021				
Arranques	Mes	Producción [m ³]	Consumo [m ³]	Pérdida [m ³]
505	Enero	9241	8038	1203
505	Febrero	8628	8285	343
505	Marzo	8197	5859	2338
505	Abril	6835	5988	847
504	Mayo	6963	5707	1256
504	Junio	6692	5244	1448
504	Julio	7996	4928	3068
502	Agosto	7805	6135	1670
498	Septiembre	8230	5983	2247
502	Octubre	6773	6251	522
502	Noviembre	7262	6958	304
502	Diciembre	7929	5670	2259
Total		92551	75046	17505

Tabla 108: Producción y consumo año 2021 APR Rapel.

Año 2022				
Arranques	Mes	Producción [m ³]	Consumo [m ³]	Pérdida [m ³]
503	Enero	8331	7131	1200
503	Febrero	6611	5570	1041
503	Marzo	6289	5393	896
504	Abril	6322	5125	1197
509	Mayo	6324	4667	1657
509	Junio	5210	4867	343
Total		39087	32753	6334

Tabla 109: Producción y consumo año 2022 APR Rapel.

Número de arranques	Demanda [l/s]	Número de arranques	Demanda [l/s]
1	0.013	21	0.267
2	0.025	22	0.279
3	0.038	23	0.292
4	0.051	24	0.305
5	0.064	25	0.318
6	0.076	26	0.330
7	0.089	27	0.343
8	0.102	28	0.356
9	0.114	29	0.368
10	0.127	30	0.381
11	0.140	31	0.394
12	0.152	32	0.407
13	0.165	33	0.419
14	0.178	34	0.432
15	0.191	35	0.445
16	0.203	36	0.457
17	0.216	37	0.470
18	0.229	38	0.483
19	0.241	39	0.495
20	0.254	40	0.508

Tabla 110: Demanda por cantidad de arranques. APR Rapel red actual.

Número de arranques	Demanda [l/s]	Número de arranques	Demanda [l/s]
1	0.008	21	0.171
2	0.016	22	0.179
3	0.024	23	0.187
4	0.033	24	0.196
5	0.041	25	0.204
6	0.049	26	0.212
7	0.057	27	0.220
8	0.065	28	0.228
9	0.073	29	0.236
10	0.082	30	0.245
11	0.090	31	0.253
12	0.098	32	0.261
13	0.106	33	0.269
14	0.114	34	0.277
15	0.122	35	0.285
16	0.130	36	0.293

17	0.139	37	0.302
18	0.147	38	0.310
19	0.155	39	0.318
20	0.163	40	0.326

Tabla 111: Demanda por cantidad de arranques. Estado con incendio APR Rapel, red proyección año 2025

Número de arranques	Demanda [l/s]	Número de arranques	Demanda [l/s]
1	0.012	21	0.259
2	0.025	22	0.271
3	0.037	23	0.283
4	0.049	24	0.296
5	0.062	25	0.308
6	0.074	26	0.320
7	0.086	27	0.333
8	0.099	28	0.345
9	0.111	29	0.357
10	0.123	30	0.369
11	0.135	31	0.382
12	0.148	32	0.394
13	0.160	33	0.406
14	0.172	34	0.419
15	0.185	35	0.431
16	0.197	36	0.443
17	0.209	37	0.456
18	0.222	38	0.468
19	0.234	39	0.480
20	0.246	40	0.493

Tabla 112: Demanda por cantidad de arranques. Estado sin incendio APR Rapel, red proyección año 2025.

Número de arranques	Demanda [l/s]	Número de arranques	Demanda [l/s]
1	0.010	21	0.217
2	0.021	22	0.227
3	0.031	23	0.238
4	0.041	24	0.248
5	0.052	25	0.258
6	0.062	26	0.268
7	0.072	27	0.279
8	0.083	28	0.289
9	0.093	29	0.299
10	0.103	30	0.310

11	0.114	31	0.320
12	0.124	32	0.330
13	0.134	33	0.341
14	0.145	34	0.351
15	0.155	35	0.361
16	0.165	36	0.372
17	0.176	37	0.382
18	0.186	38	0.392
19	0.196	39	0.403
20	0.207	40	0.413

Tabla 113: Demanda por cantidad de arranques. Estado con incendio APR Rapel, red proyección año 2042.

Número de arranques	Demanda [l/s]	Número de arranques	Demanda [l/s]
1	0.014	21	0.298
2	0.028	22	0.312
3	0.043	23	0.326
4	0.057	24	0.340
5	0.071	25	0.354
6	0.085	26	0.369
7	0.099	27	0.383
8	0.113	28	0.397
9	0.128	29	0.411
10	0.142	30	0.425
11	0.156	31	0.439
12	0.170	32	0.454
13	0.184	33	0.468
14	0.198	34	0.482
15	0.213	35	0.496
16	0.227	36	0.510
17	0.241	37	0.525
18	0.255	38	0.539
19	0.269	39	0.553
20	0.284	40	0.567

Tabla 114: Demanda por cantidad de arranques. Estado sin incendio APR Rapel, red proyección año 2042.

Número de arranques	Demanda [l/s]	Número de arranques	Demanda [l/s]
1	0.011	21	0.222
2	0.021	22	0.233

3	0.032	23	0.243
4	0.042	24	0.254
5	0.053	25	0.264
6	0.063	26	0.275
7	0.074	27	0.286
8	0.085	28	0.296
9	0.095	29	0.307
10	0.106	30	0.317
11	0.116	31	0.328
12	0.127	32	0.338
13	0.138	33	0.349
14	0.148	34	0.360
15	0.159	35	0.370
16	0.169	36	0.381
17	0.180	37	0.391
18	0.190	38	0.402
19	0.201	39	0.413
20	0.212	40	0.423

*Tabla 115: Demanda por cantidad de arranques. Estado con incendio APR
Cogotí, red actual.*

Número de arranques	Demanda [l/s]	Número de arranques	Demanda [l/s]
1	0.016	21	0.334
2	0.032	22	0.350
3	0.048	23	0.366
4	0.064	24	0.382
5	0.080	25	0.398
6	0.095	26	0.414
7	0.111	27	0.430
8	0.127	28	0.446
9	0.143	29	0.461
10	0.159	30	0.477
11	0.175	31	0.493
12	0.191	32	0.509
13	0.207	33	0.525
14	0.223	34	0.541
15	0.239	35	0.557
16	0.255	36	0.573
17	0.271	37	0.589
18	0.286	38	0.605
19	0.302	39	0.621
20	0.318	40	0.637

*Tabla 116: Demanda por cantidad de arranques. Estado sin incendio APR
Cogotí, red actual.*

Número de arranques	Demanda [l/s]	Número de arranques	Demanda [l/s]
1	0.010	21	0.217
2	0.021	22	0.228
3	0.031	23	0.238
4	0.041	24	0.248
5	0.052	25	0.259
6	0.062	26	0.269
7	0.072	27	0.279
8	0.083	28	0.290
9	0.093	29	0.300
10	0.103	30	0.310
11	0.114	31	0.321
12	0.124	32	0.331
13	0.134	33	0.341
14	0.145	34	0.352
15	0.155	35	0.362
16	0.166	36	0.372
17	0.176	37	0.383
18	0.186	38	0.393
19	0.197	39	0.403
20	0.207	40	0.414

*Tabla 117: Demanda por cantidad de arranques. Estado con incendio APR
Cogotí, red proyección año 2025.*

Número de arranques	Demanda [l/s]	Número de arranques	Demanda [l/s]
1	0.016	21	0.327
2	0.031	22	0.342
3	0.047	23	0.358
4	0.062	24	0.373
5	0.078	25	0.389
6	0.093	26	0.404
7	0.109	27	0.420
8	0.124	28	0.435
9	0.140	29	0.451
10	0.156	30	0.467
11	0.171	31	0.482
12	0.187	32	0.498
13	0.202	33	0.513

14	0.218	34	0.529
15	0.233	35	0.544
16	0.249	36	0.560
17	0.264	37	0.575
18	0.280	38	0.591
19	0.296	39	0.607
20	0.311	40	0.622

*Tabla 118: Demanda por cantidad de arranques. Estado sin incendio APR
Cogotí, red proyección año 2025.*

Número de arranques	Demanda [l/s]	Número de arranques	Demanda [l/s]
1	0.010	21	0.218
2	0.021	22	0.228
3	0.031	23	0.239
4	0.042	24	0.249
5	0.052	25	0.259
6	0.062	26	0.270
7	0.073	27	0.280
8	0.083	28	0.291
9	0.093	29	0.301
10	0.104	30	0.311
11	0.114	31	0.322
12	0.125	32	0.332
13	0.135	33	0.343
14	0.145	34	0.353
15	0.156	35	0.363
16	0.166	36	0.374
17	0.176	37	0.384
18	0.187	38	0.394
19	0.197	39	0.405
20	0.208	40	0.415

*Tabla 119: Demanda por cantidad de arranques. Estado con incendio APR
Cogotí, red proyección año 2042.*

Número de arranques	Demanda [l/s]	Número de arranques	Demanda [l/s]
1	0.016	21	0.327
2	0.031	22	0.343
3	0.047	23	0.358
4	0.062	24	0.374
5	0.078	25	0.390

6	0.094	26	0.405
7	0.109	27	0.421
8	0.125	28	0.436
9	0.140	29	0.452
10	0.156	30	0.468
11	0.171	31	0.483
12	0.187	32	0.499
13	0.203	33	0.514
14	0.218	34	0.530
15	0.234	35	0.546
16	0.249	36	0.561
17	0.265	37	0.577
18	0.281	38	0.592
19	0.296	39	0.608
20	0.312	40	0.623

Tabla 120: Demanda por cantidad de arranques. Estado sin incendio APR Cogotí, red proyección año 2042.

Establecimiento	Cantidad de alumnos	Porcentaje aplicado	Total
Escuela Wenceslao Vargas de Rapel	12	35%	4.2
Escuela Los Ángeles de Rapel	8	35%	2.8
Escuela Inés de Suarez Higuera	10	35%	3.5
Internado de niños de Rapel	40	85%	34.0
Jardín Infantil Pelusitas	8	35%	2.8
Total			47

Tabla 121: Habitantes adicionales según la población escolar. APR Rapel.

Establecimiento	Cantidad de alumnos	Porcentaje aplicado	Total
Escuela Juanita Fernández Solar Cogotí 18	128	35%	45

Tabla 122: Habitantes adicionales según la población escolar. APR Cogotí 18.

APR	Rapel			
Año	Sector	Características tuberías		
		Material	Diámetro [mm]	Largo [m]
2025	Pedregal alto	PVC Clase 10	63	50
	Los Ángeles	PVC Clase 10	63	74
	Pedregal alto	PVC Clase 10	63	133
	Higuera	PVC Clase 10	63	152
	Rapel	PVC Clase 10	63	155

	Pedregal alto	PVC Clase 10	63	182
	Higuera	PVC Clase 10	63	465
	Rapel	PVC Clase 10	75	183
	Rapel	PVC Clase 10	75	205
	Pedregal bajo	PVC Clase 10	75	316
	Los Ángeles	PVC Clase 10	110	100
2042	Higuera	PVC Clase 10	63	157
	Población Nuevo Milenio	PVC Clase 10	63	173
	Higuera	PVC Clase 10	63	175
	Los Ángeles	PVC Clase 10	63	256
	Higuera	PVC Clase 10	110	10
	Rapel	PVC Clase 10	110	46
	Pedregal alto	PVC Clase 10	110	47
	Pedregal alto	PVC Clase 10	110	53
	Pedregal alto	PVC Clase 10	110	128
	Pedregal alto	PVC Clase 10	110	130
	Pedregal alto	PVC Clase 10	110	182
	Rapel	PVC Clase 10	110	183
	Rapel	PVC Clase 10	110	205
	Rapel	PVC Clase 10	110	213
	Pedregal alto	PVC Clase 10	110	220
	Rapel	PVC Clase 10	110	221
	Rapel	PVC Clase 10	110	221
	Rapel	PVC Clase 10	110	225
	Rapel	PVC Clase 10	110	241
	Rapel	PVC Clase 10	110	269
	Rapel	PVC Clase 10	110	270
	Rapel	PVC Clase 10	110	418
	Rapel	PVC Clase 10	125	94
	Rapel	PVC Clase 10	125	106
Rapel	PVC Clase 10	125	193	

Tabla 123: Detalle tuberías agregadas APR Rapel.

APR	Cogotí 18			
Año	Sector	Características tuberías		
		Material	Diámetro [mm]	Largo [m]
2025	Las Tinajas	PVC Clase 10	63	165
	Las Tinajas	PVC Clase 10	63	272
	La Cuadra	PVC Clase 10	63	273
	Las Garillas	PVC Clase 10	63	1000
	Cogoti	PVC Clase 10	110	15
	Cogoti	PVC Clase 10	110	25
	Cogoti	PVC Clase 10	110	30
	Cogoti	PVC Clase 10	110	67

	Cogoti	PVC Clase 10	110	83
	Cogoti	PVC Clase 10	110	150
	Los Llanos	PVC Clase 10	125	93
	Las Tinajas	PVC Clase 10	125	114
	Cogoti	PVC Clase 10	125	200
	Los Llanos	PVC Clase 10	125	241
	Los Llanos	PVC Clase 10	125	367
	Los Llanos	PVC Clase 10	125	447
	Los Llanos	PVC Clase 10	125	528
2042	La Cuadra	PVC Clase 10	63	103
	La Cuadra	PVC Clase 10	63	104
	Cogoti	PVC Clase 10	63	125
	Cogoti	PVC Clase 10	63	130
	Cogoti	PVC Clase 10	63	150
	Las Tinajas	PVC Clase 10	63	158
	La Cuadra	PVC Clase 10	63	184
	La Cuadra	PVC Clase 10	63	213
	Las Tinajas	PVC Clase 10	63	223
	Las Tinajas	PVC Clase 10	63	246
	La Cuadra	PVC Clase 10	63	260
	La Cuadra	PVC Clase 10	63	276
	La Cuadra	PVC Clase 10	63	293
	Las Tinajas	PVC Clase 10	63	364
	Cogoti	PVC Clase 10	110	43
	Cogoti	PVC Clase 10	110	55
	Cogoti	PVC Clase 10	110	74
	Cogoti	PVC Clase 10	110	75
	Cogoti	PVC Clase 10	110	80
	Cogoti	PVC Clase 10	110	90
	Cogoti	PVC Clase 10	110	94
	Cogoti	PVC Clase 10	110	94
	Las Tinajas	PVC Clase 10	110	94
	Cogoti	PVC Clase 10	110	106
	Cogoti	PVC Clase 10	110	113
	Cogoti	PVC Clase 10	110	119
	Cogoti	PVC Clase 10	110	126
	Cogoti	PVC Clase 10	110	142
	Las Tinajas	PVC Clase 10	125	36
	Las Tinajas	PVC Clase 10	125	85
	Las Tinajas	PVC Clase 10	125	89
	Los Llanos	PVC Clase 10	125	96
	Los Llanos	PVC Clase 10	125	100
Los Llanos	PVC Clase 10	125	100	
Los Llanos	PVC Clase 10	125	100	

Las Tinajas	PVC Clase 10	125	150
Las Tinajas	PVC Clase 10	125	150
Los Llanos	PVC Clase 10	125	200
Los Llanos	PVC Clase 10	125	251
Las Tinajas	PVC Clase 10	125	300

Tabla 124: Detalle tuberías agregadas APR Cogotí 18.

Anexo B

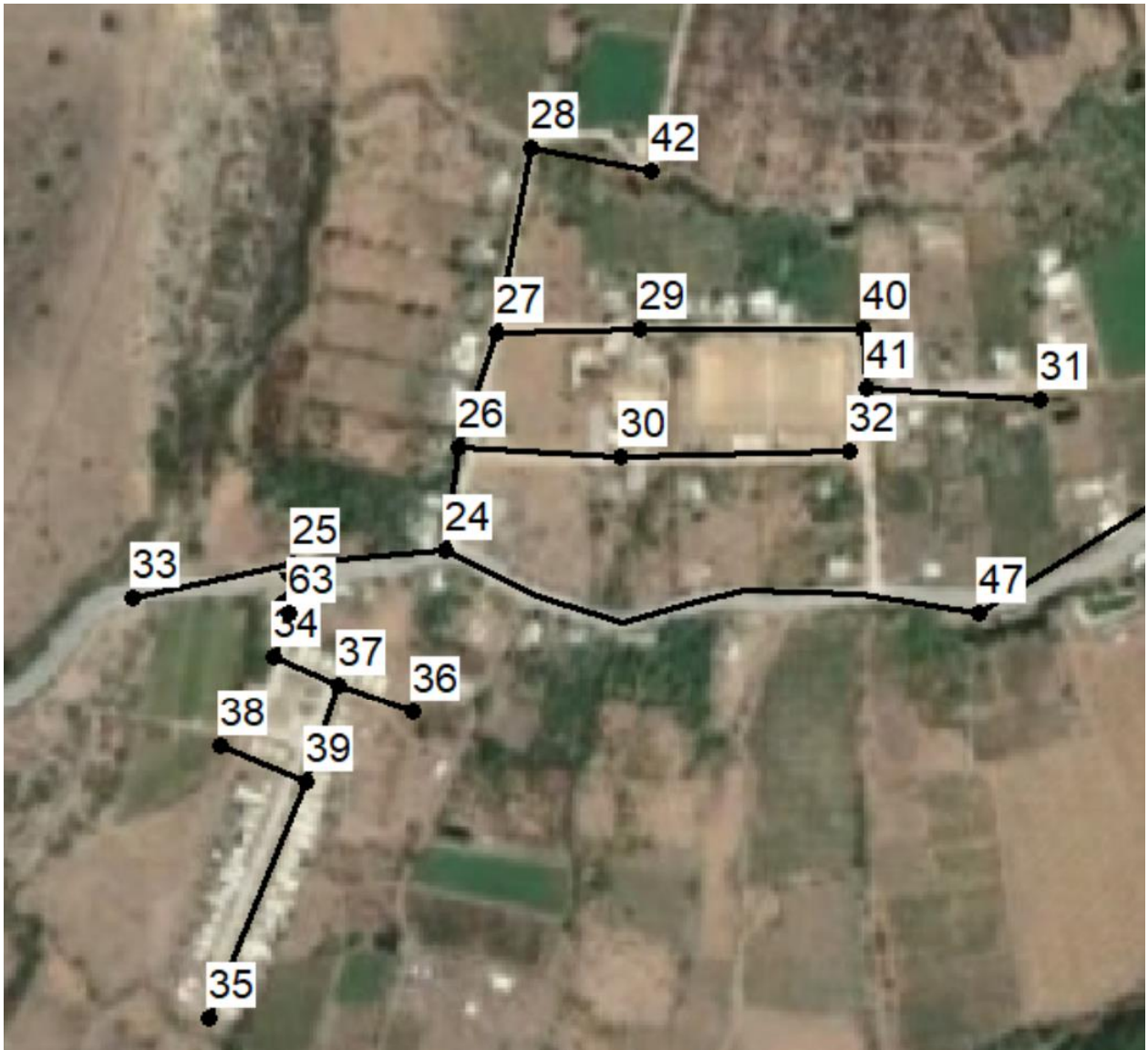


Ilustración 66: Detalle ID Nudos red actual APR Rapel, sectores Higuera y P.N. Milenio.

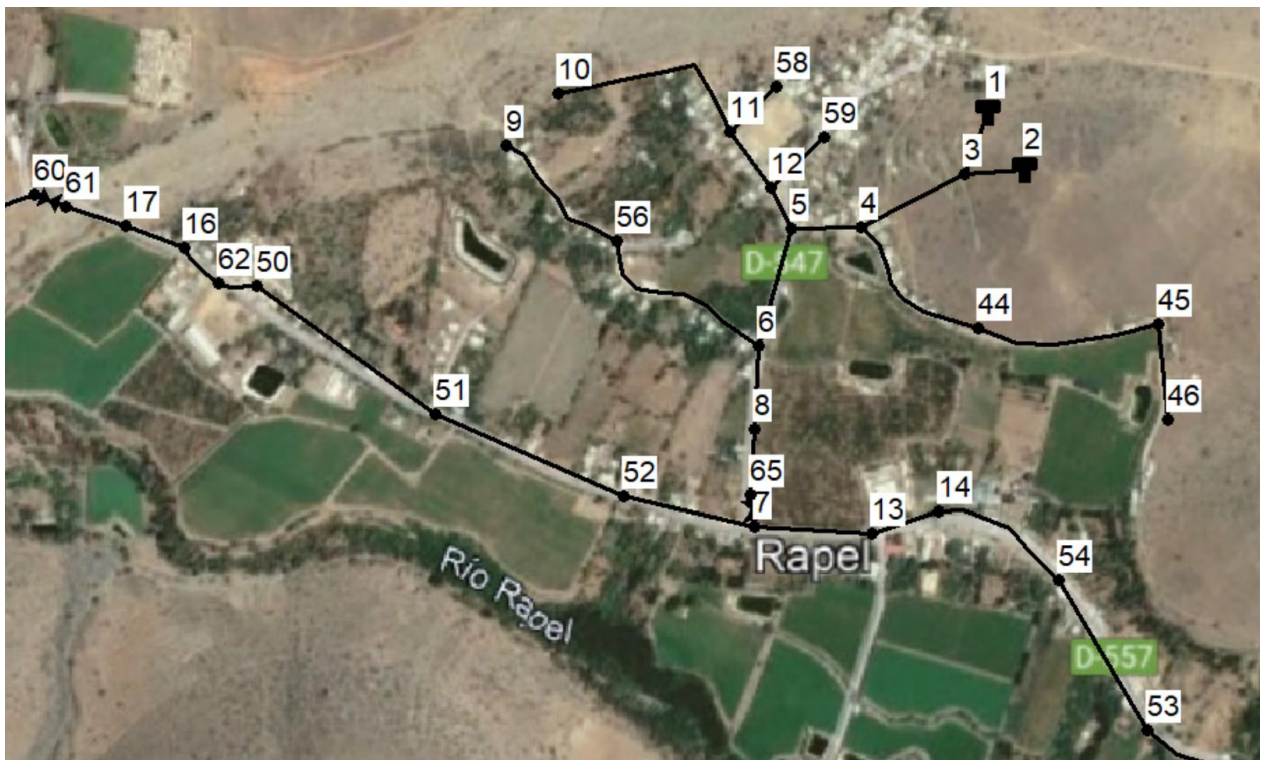


Ilustración 67: Detalle ID Nudos red actual APR Rapel, sectores Pedregal bajo, Delicias y Rapel.

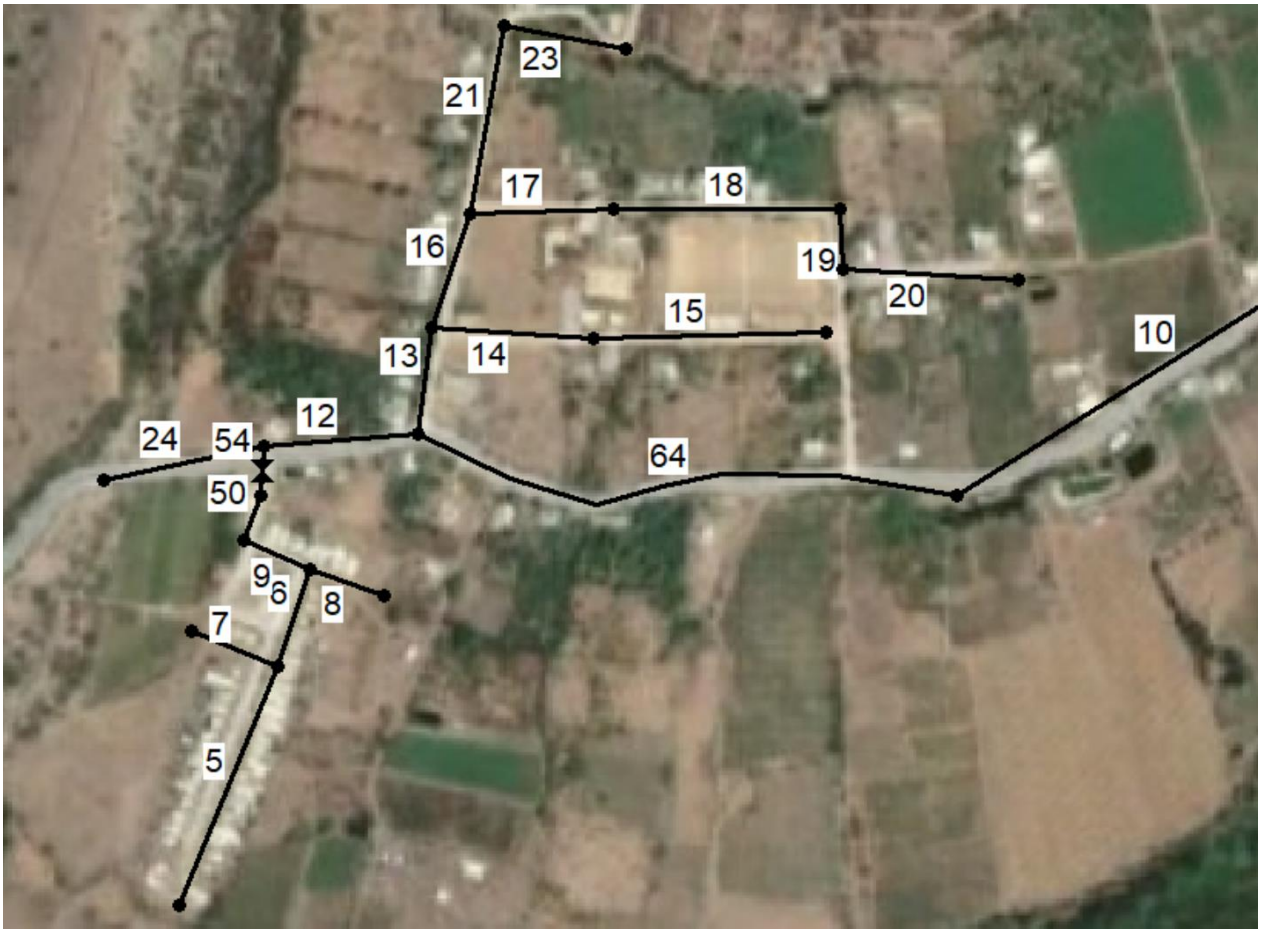


Ilustración 68: Detalle ID Líneas red actual APR Rapel, sectores higuera y P.N. Milenio.



Ilustración 69: Detalle ID Líneas red actual APR Rapel, sectores Delicias y Pedregal bajo.



Ilustración 70: Detalle ID Líneas red actual APR Rapel, sector Rapel.



Ilustración 71: Detalle ID Nudos red proyección 2025, sectores Higuera y P.N. Milenio.



Ilustración 72: Detalle ID Nudos red proyección 2025, sector Los Ángeles.



Ilustración 73: Detalle ID Nudos red proyección 2025, sector Pedregal bajo, Delicias y Rapel.

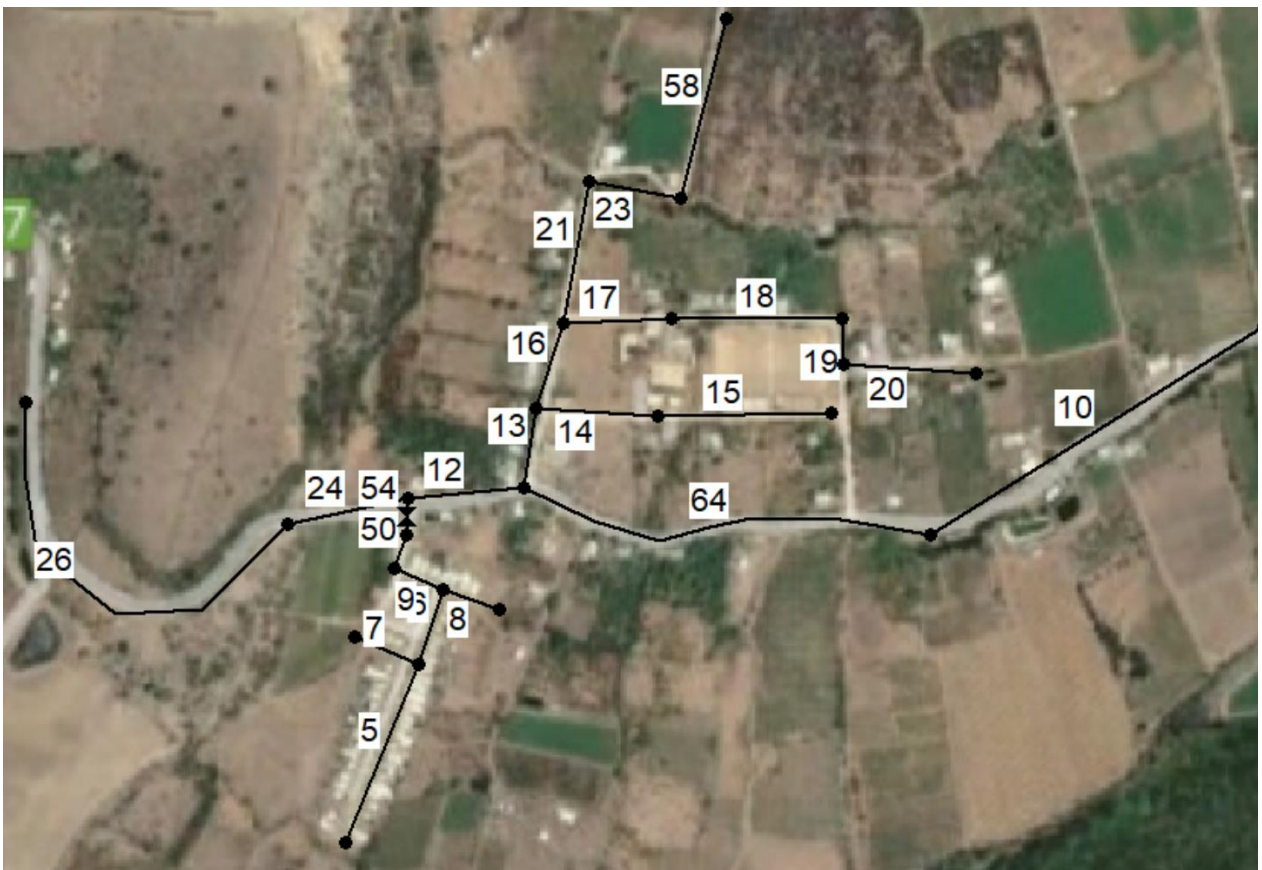


Ilustración 74: Detalle ID Líneas red proyección 2025, sectores Higuera y P.N. Milenio.



Ilustración 75: Detalle ID Líneas red proyección 2025, sectores Pedregal alto, Delicias y Rapel.



Ilustración 76: Detalle ID Líneas red proyección 2025, sector Los Ángeles.

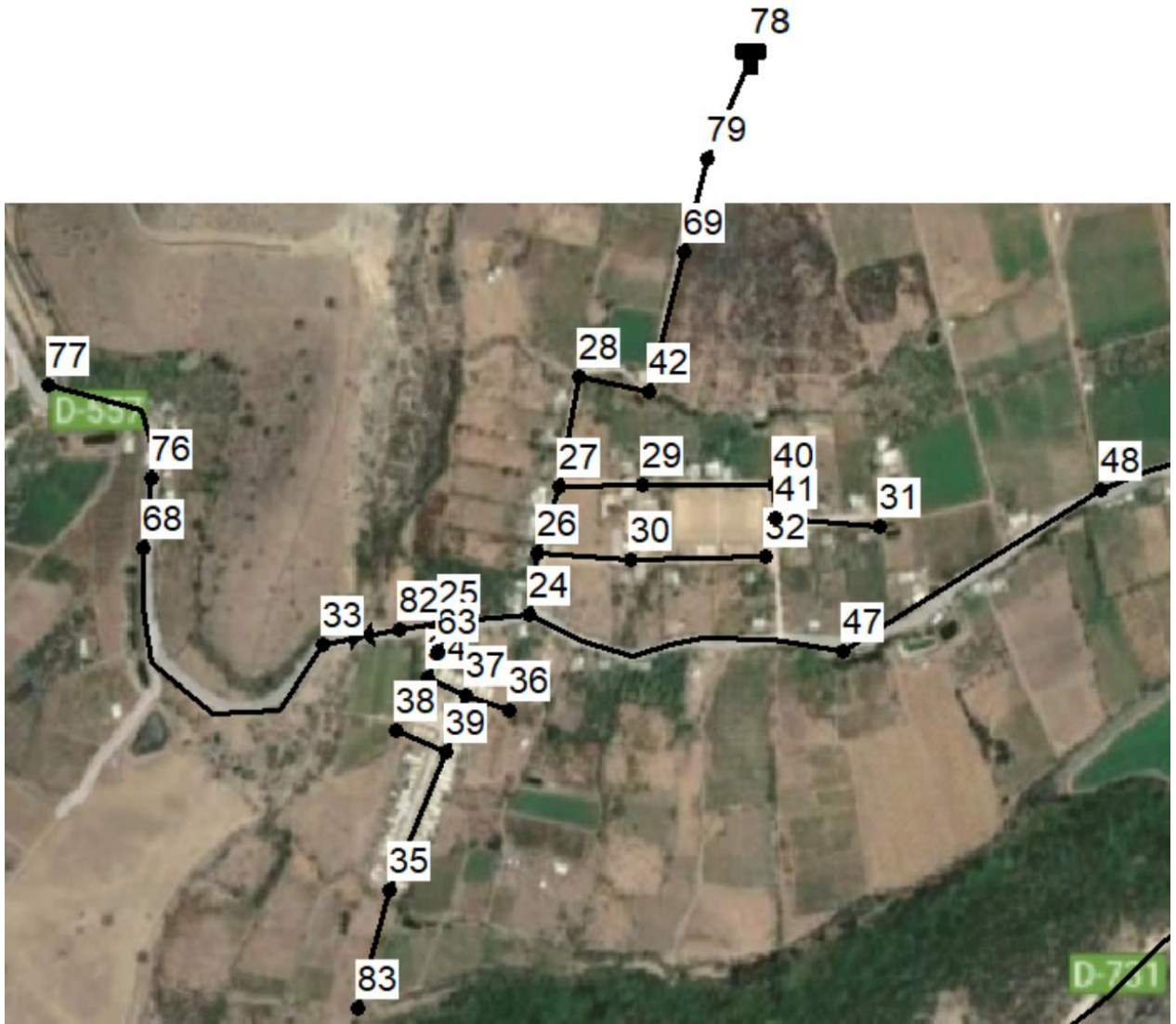


Ilustración 77: Detalle ID Nudos red proyección 2042, sectores Higuera y P.N. Milenio.

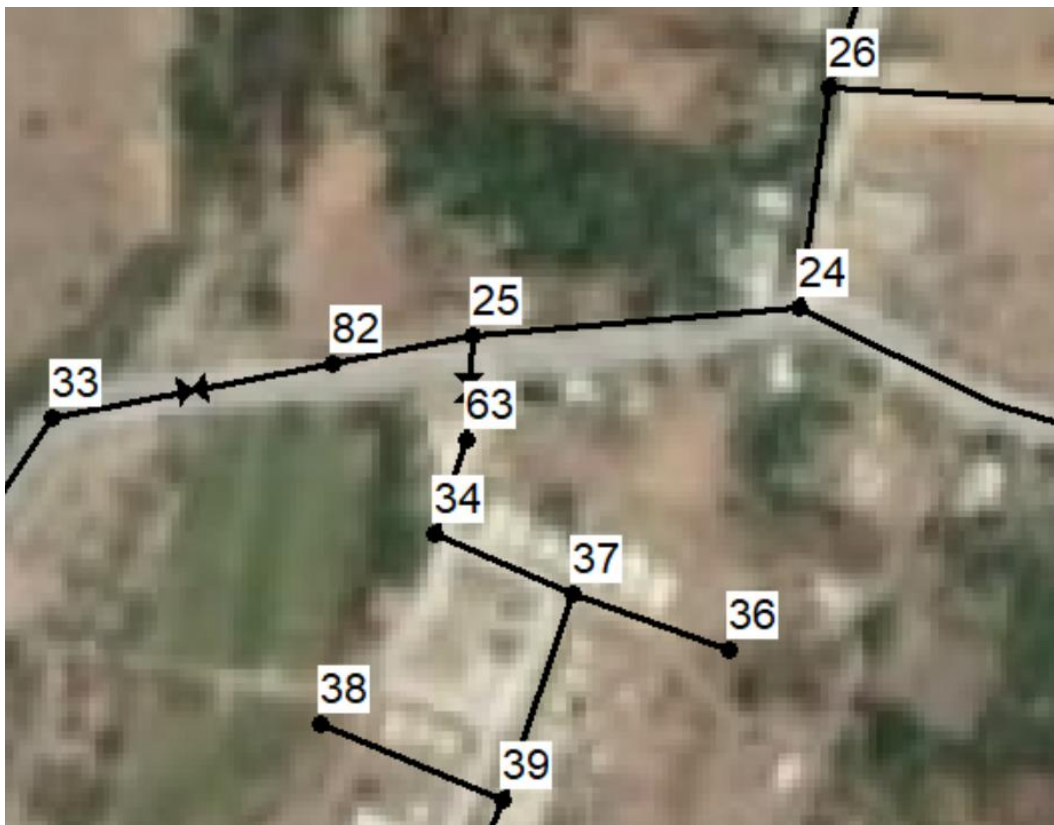


Ilustración 78: Detalle ID Nudos red proyección 2042, sector P.N. Milenio.



Ilustración 79: Detalle ID Nudos red proyección 2042, sector Los Ángeles.

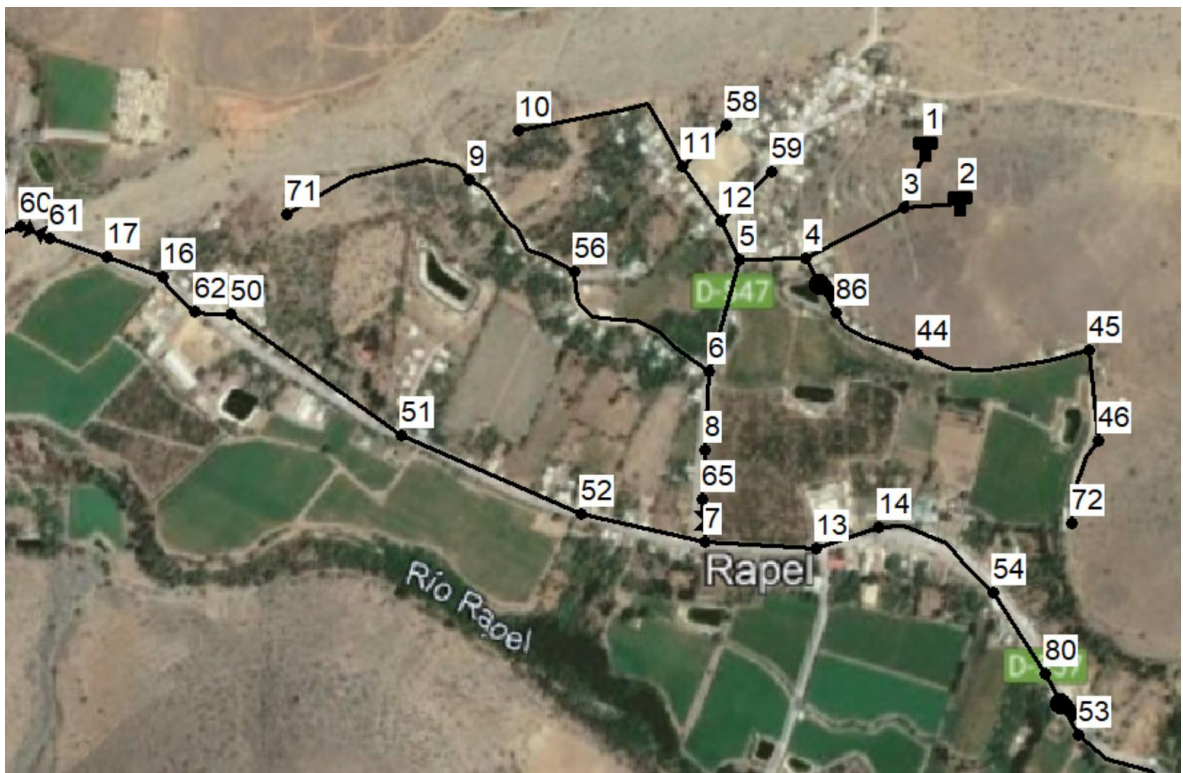


Ilustración 80: Detalle ID Nudos red proyección 2042, sectores Pedregal bajo, Delicias y Rapel.

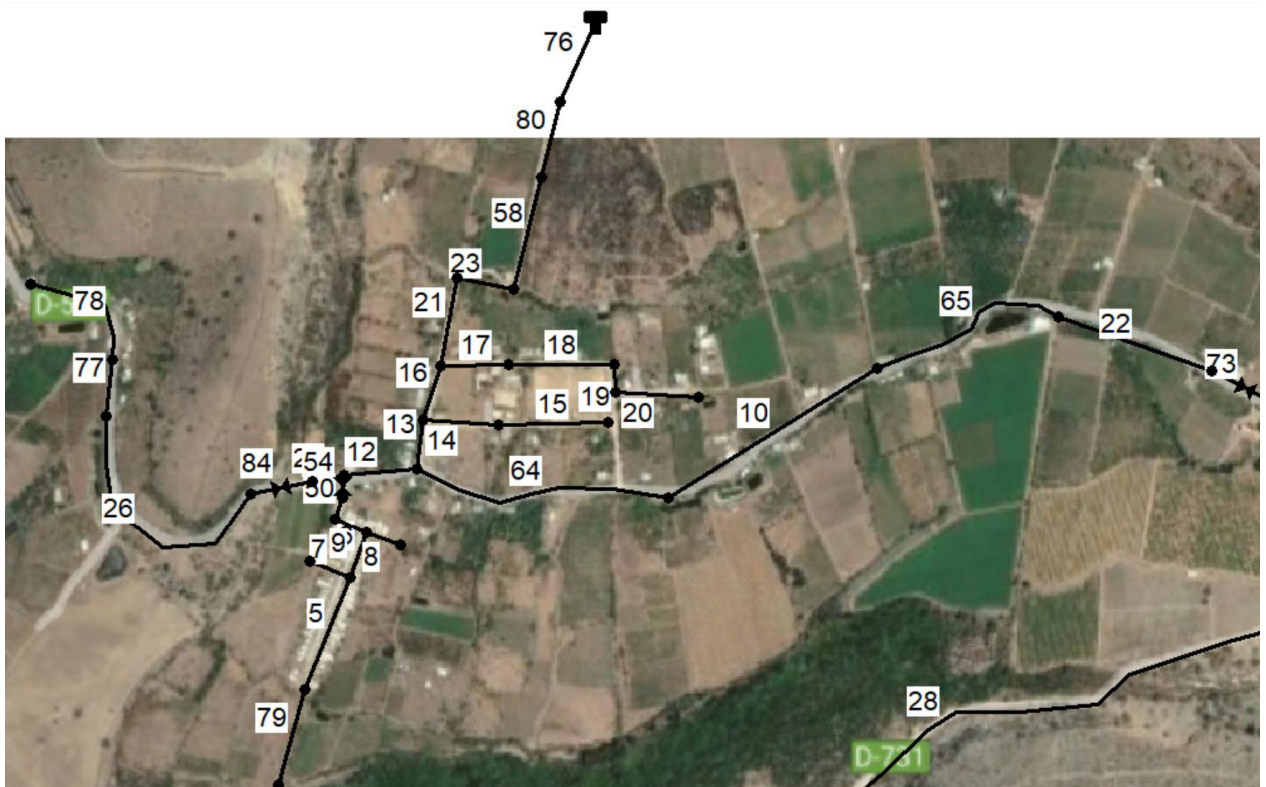


Ilustración 81: Detalle ID Líneas red proyección 2042, sectores Higuera y P.N. Milenio.

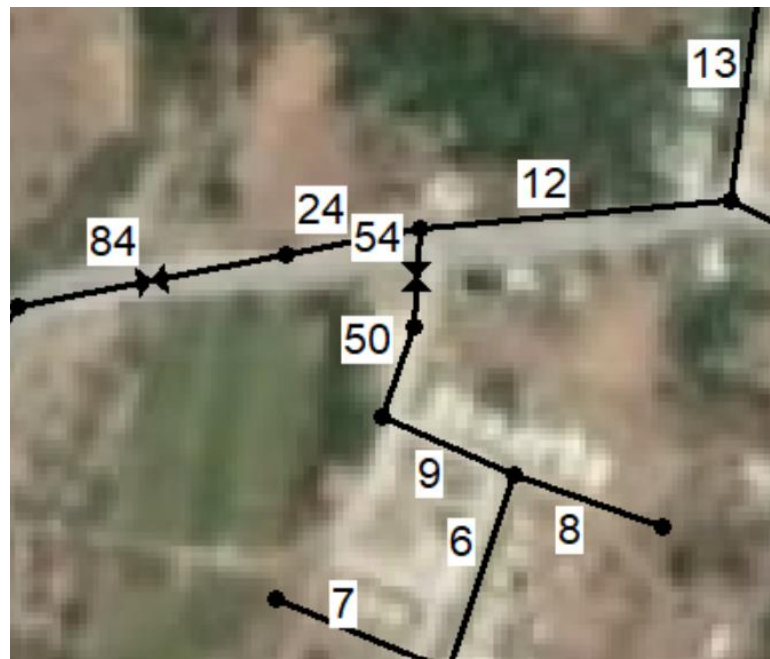


Ilustración 82: Detalle ID Líneas red proyección 2042, sector P.N. Milenio.



Ilustración 83: Detalle ID Líneas red proyección 2042, sector Los Ángeles



Ilustración 84: Detalle ID Líneas red proyección 2042, sectores Pedregal bajo, Delicias y Rapel.



Ilustración 85: Detalle ID Nudos red actual, sector Cogotí.



Ilustración 86: Detalle ID Nudos red actual, sector Cogotí.



Ilustración 87: Detalle ID Líneas red actual, sector Cogotí.



Ilustración 88: Detalle ID Líneas red actual, sector Cogotí.



Ilustración 89: Detalle ID Líneas red actual, sector Cogotí.

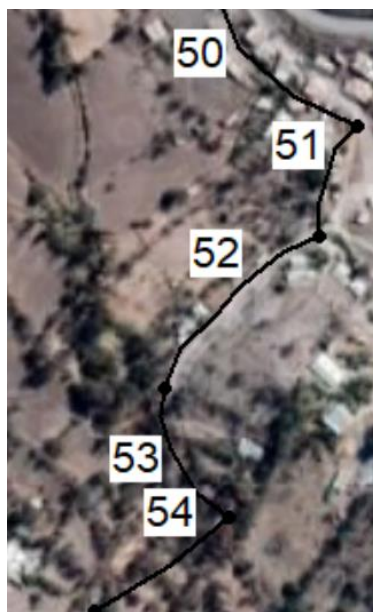


Ilustración 90: Detalle ID Líneas red actual, sector Cogotí.



Ilustración 91: Detalle ID Nudos red actual, sectores Los Llanos y La Cuadra.



Ilustración 92: Detalle ID Líneas red actual, sectores Los Llanos y La Cuadra.



Ilustración 93: Detalle ID Nudos proyección 2025, sector Cogotí.



Ilustración 94: Detalle ID Líneas proyección 2025, sector Cogotí.



Ilustración 95: Detalle ID Nudos red proyección 2025, sectores Los Llanos y La Cuadra.



Ilustración 96: Detalle ID Líneas proyección 2025, sectores Los Llanos y La Cuadra.



Ilustración 97: Detalle ID Nudos proyección 2042, sector Cogotí.



Ilustración 98: Detalle ID Nudos proyección 2042, sector Cogotí.



Ilustración 99: Detalle ID Nudos proyección 2042, sector Cogotí.



Ilustración 100: Detalle ID Líneas proyección 2042, sector Cogotí.



Ilustración 101: Detalle ID Líneas proyección 2042, sector Cogotí.



Ilustración 102: Detalle ID Líneas proyección 2042, sector Cogotí.



Ilustración 103: Detalle ID Nudos red proyección 2042, sectores Los Llanos y La Cuadra.



Ilustración 104: Detalle ID Líneas red proyección año 2042, sectores Los Llanos y La Cuadra.

Anexo C



Ilustración 105: Instalaciones APR Rapel: Cloración, presostato, manómetro, válvulas.



Ilustración 106: Instalaciones APR Rapel: válvula de retención, caudalímetro y pozo con válvula de aire.



Ilustración 107: Instalaciones APR Rapel: sistema de cloración.



Ilustración 108: Instalaciones APR Rapel: sistema de cloración.



Ilustración 109: Instalaciones APR Rapel: tablero eléctrico.



Ilustración 110: Instalaciones APR Rapel: Estanque Rapel 50 [m3].



Ilustración 111: Instalaciones APR Rapel: Estanques Rapel 50 [m3].



Ilustración 112: Instalaciones APR Rapel: válvulas cámara anterior a los estanques.



Ilustración 113: Pueblo Rapel.



Ilustración 114: Zona pueblo Rapel, sector Pedregal.



Ilustración 115: Zona pueblo Rapel, sector Los Ángeles.



Ilustración 116: Zona pueblo Rapel.



Ilustración 117: Infraestructura APR Cogotí: caudalímetro, manómetro, presostato.



Ilustración 118: Infraestructura APR Cogotí: Generador no conectado.



Ilustración 119: Infraestructura APR Cogotí: válvula de retención.



Ilustración 120: Infraestructura APR Cogotí: pozo, filtro, válvulas.



Ilustración 121: Infraestructura APR Cogotí: filtro.



Ilustración 122: Infraestructura APR Cogotí: estanque Los Llanos.



Ilustración 123: Infraestructura APR Cogotí: Tubería impulsión en mal estado.



Ilustración 124: Infraestructura APR Cogotí: Tubería impulsión en mal estado.



Ilustración 125: Infraestructura APR Cogotí: Tubería impulsión en mal estado.



Ilustración 126: Infraestructura APR Cogotí: Tubería impulsión en mal estado.



Ilustración 127: Infraestructura APR Cogotí: Tubería impulsión en mal estado.



Ilustración 128: Infraestructura APR Cogotí: Tubería impulsión en mal estado.



Ilustración 129: Zona pueblo Cogotí, sector Los Llanos



Ilustración 130: Zona pueblo Cogotí, sector Las Garillas



Ilustración 131: Zona pueblo Cogotí.