



udp UNIVERSIDAD
DIEGO PORTALES

ESTUDIO DE DIAGNÓSTICO Y GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE
MEJORAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL
MANZANO, COMUNA DE SAN JOSÉ DE MAIPO

DAVID ALONSO AGUILERA SILVA

Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles

Profesor Guía: Enrique Álvarez Hernández

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA EN OBRAS CIVILES

Santiago, Chile

2019

ESTUDIO DE DIAGNÓSTICO Y GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE
MEJORAMIENTO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL
MANZANO, COMUNA DE SAN JOSÉ DE MAIPO

DAVID ALONSO AGUILERA SILVA

Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil en Obras Civiles

Profesor Guía: Enrique Álvarez Hernández
Profesor Comisión: Vladimir Alarcón Calderón
Profesor Examinador: Hernán Alcayaga Saldías

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA EN OBRAS CIVILES

Santiago, Chile

2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos aquellos que fueron parte de mi vida, tanto en el inicio, desarrollo y fin de esta carrera, ya que con ellos (Padres, hermano, familiares, novia, amistades, compañeros de clase y profesor guía) se hizo más fácil lo que en algunos momentos pensé imposible.

Agradezco especialmente a mi madre, quién nunca dejó de creer en mí y fue un pilar fundamental en este proceso.

RESUMEN

En esta memoria se realizó un estudio de diagnóstico y la generación de alternativas de mejoramiento para la Red de Agua Potable El Manzano.

El Manzano es una localidad de carácter rural situada en la comuna de San José de Maipo, Región Metropolitana, Santiago de Chile.

En esta Localidad la producción y el suministro del agua potable está a cargo de la empresa sanitaria Aguas Andinas S.A. y la distribución del recurso está a cargo de la Comunidad de Agua Potable El Manzano, la cual se encarga de la mantención de la red de agua potable y de su administración.

Dicha red se ha desarrollado a lo largo del tiempo de forma artesanal por la acción de los propios encargados de la red, sin mayor supervisión profesional.

Actualmente, debido al enorme crecimiento turístico y comercial de la zona, el sistema de agua potable es sobrepasado por la demanda, especialmente en épocas de verano, lo cual ha provocado cortes del suministro.

En primera instancia se elaboró un catastro del sistema de agua potable con la finalidad de determinar todos sus componentes y además se determinó la demanda de agua potable.

Para analizar el funcionamiento del sistema de agua potable se hizo un diagnóstico del sistema y se desarrolló un modelo computacional con el software EPANET, en el cual se realizaron simulaciones hidráulicas de la red bajo diversas condiciones de funcionamiento, lo que permitió identificar los puntos más críticos del sistema.

Finalmente, se generaron las alternativas de mejoramiento del sistema de agua potable según su factibilidad.

ABSTRACT

In this report, a diagnostic study and the generation of improvement alternatives for the El Manzano Drinking Water Network were carried out. El Manzano is a rural town located in the commune of San José de Maipo, Metropolitan Region, Santiago de Chile.

In this town, the production and supply of drinking water is in charge of the water utility Aguas Andinas S.A. and the distribution of the resource is in charge of the El Manzano Drinking Water Community, which is responsible for the maintenance of the drinking water network and its administration.

This network has been developed over time in an artisanal way by the people in charge of the network, without greater professional supervision.

Currently, due to the enormous tourist growth of the area and in turn to the important commercial growth, the potable water system is surpassed by the demand, especially in times of summer, which has provoked shortages of supply.

In the first instance, a cadastre of the drinking water system was drawn up in order to determine all its components and also the demand for potable water was determined.

To analyze the functioning of the drinking water system, a diagnosis of the system was made and a computer model was developed with the EPANET software, in which hydraulic simulations of the network were performed under various operating conditions, which allowed identifying the most critical points of the system. Finally, the alternatives for improving the drinking water system were generated according to their feasibility

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivo general.....	2
1.3 Objetivos específicos.....	2
1.4 Metodología de trabajo	3
1.4.1 Descripción sistema de agua potable.....	3
1.4.2 Recopilación de información de zona de estudio	3
1.4.3 Catastro del sistema de agua potable El Manzano	3
1.4.4 Análisis de los consumos	4
1.4.5 Desarrollo del modelo computacional	4
1.4.6 Análisis de resultados y verificación de la operación actual.....	4
1.4.7 Generación de alternativas de mejoramiento.....	4
1.5 Hipótesis de resultados.....	5
2 DESCRIPCIÓN SISTEMA DE AGUA POTABLE	6
2.1 Generalidades	6
2.2 Agua potable urbana.....	6
2.3 Agua potable rural.....	7
2.4 Componentes sistema de agua potable.....	7
2.4.1 Fuentes de abastecimiento	7

2.4.2	Obras de captación	8
2.4.3	Aducción	9
2.4.4	Tratamiento del agua	9
2.4.5	Sistema de distribución de agua potable.....	11
3	MARCO TEÓRICO	12
3.1	Proyección de la población	12
3.1.1	Modelo de crecimiento aritmético.....	12
3.1.2	Modelo de crecimiento geométrico.....	13
4	DESCRIPCIÓN ZONA DE ESTUDIO	14
4.1	Ubicación zona de estudio.....	14
4.2	Hidrología	14
4.3	Descripción general del sistema de agua potable existente	16
5	CATASTRO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE EL MANZANO	17
5.1	Sistema de captación y línea de aducción.....	18
5.2	Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) el manzano	21
5.3	Cámara decantadora	22
5.4	Bomba sumergible.....	23
5.5	Filtros a presión	23
5.6	Sala de cloración	24
5.7	Acueducto Laguna Negra y sala de bombas	24
5.8	Red de distribución de agua potable.....	25
6	DESARROLLO DEL MODELO COMPUTACIONAL.....	28
6.1	Esquema red de distribución EPANET	28
6.2	Elementos del sistema de agua potable en EPANET	30
6.2.1	Estanque	30

6.2.2	Nodos.....	30
6.2.3	Tuberías.....	30
6.2.4	Bombas.....	31
6.2.5	Válvulas.....	33
6.3	Cálculo de caudales.....	34
6.3.1	Estudio de población.....	34
6.3.2	Cobertura.....	35
6.3.3	Producción y facturación por consumo de agua.....	35
6.3.4	Aguas no contabilizadas.....	36
6.3.5	Coeficientes.....	36
6.3.6	Factores.....	37
6.3.7	Dotaciones.....	38
6.3.8	Caudal medio diario.....	39
6.3.9	Caudal de diseño.....	40
6.3.10	Caudal de demanda base (EPANET).....	40
7	DIAGNOSTICO RED DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE EL MANZANO.....	41
7.1	Verificación actual EPANET.....	43
7.2	Verificación matriz principal.....	45
7.3	Diagnostico sectorizado Red de Agua Potable El Manzano.....	47
7.3.1	Sector poniente.....	47
7.3.2	Sector Sur-Poniente.....	50
7.3.3	Sector Nor-Poniente.....	52
7.3.4	Sector Centro.....	53
7.3.5	Sector Oriente.....	54

8	ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EL MANZANO	57
8.1	Alternativa de mejoramiento I Sector Poniente.....	57
8.2	Alternativa de mejoramiento II Sector Sur-Poniente	57
8.2.1	Modelo en EPANET Alternativa de mejoramiento II.....	60
8.3	Alternativa de mejoramiento III Sector Nor-Poniente.....	63
8.3.1	Modelo en EPANET Alternativa de mejoramiento III.....	65
8.4	Alternativa de mejoramiento IV Sector Oriente.....	67
8.4.1	Volumen y dimensiones del Estanque El Establo	69
8.4.2	Dimensionamiento de la planta de bombeo	70
8.4.3	Modelo en EPANET Alternativa IV.....	75
8.4.4	Modelo hidráulico con todas las alternativas de mejoramiento	76
9	Conclusiones y recomendaciones	78
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
	ANEXOS.....	82
	ANEXO I: DEMANDA BASE POR NODO	83
	ANEXO II: RESULTADOS MODELO HIDRAULICO DE LA RED DE DISTRUBUCION DE AGUA POTABLE EN ESTADO ACTUAL	87
	ANEXO III: VERIFICACIÓN MATRIZ PRINCIPAL.....	94
	ANEXO IV: RESULTADOS MODELO HIDRAULICO DE LA RED DE DISTRUBUCION DE AGUA POTABLE CON ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Vista aérea Localidad El Manzano.....	15
Figura 2: Cámara del macromedidor 150 mm.....	16
Figura 3: Captación. Estero El Manzano.....	18
Figura 4: Rejilla de protección. Estero El Manzano.....	19
Figura 5: Tubería de aducción. Estero El Manzano	20
Figura 6: Planta de tratamiento de agua potable Aguas Andinas	21
Figura 7: Estanque decantador. Aguas Andinas El Manzano.	22
Figura 8: Bomba Sumergible. Aguas Andinas El Manzano.....	23
Figura 9: Bombas acueducto Laguna Negra. Aguas Andinas El Manzano	24
Figura 10: Trazado red de agua potable El Manzano.	26
Figura 11: Perfil longitudinal matriz principal.....	27
Figura 12: Esquema del modelo red de agua potable El Manzano, EPANET	29
Figura 13: Sectorización y resultados del modelo computacional EPANET.	42
Figura 14: Esquema red de tuberías de Agua Potable Sector Nor-Poniente. El Manzano	52
Figura 15: Presiones inadmisibles (negativas) Sector Oriente.....	56
Figura 16: Bypass PVC 110 mm, Sector Sur-Poniente. El Manzano.	58
Figura 17: Calicata 1, Tubería principal de HDPE 140 mm. Calle El Manzano....	59
Figura 18: Calicata 2, Tubería PVC 110 mm Sector Sur-Poniente. Calle el Manzano.	59
Figura 19: Presiones y velocidades Alternativa de mejoramiento II. EPANET	60
Figura 20: Calicata 3, Tubería PVC 75 mm. Calle Los Laureles.....	64
Figura 21: Calicata 4, Tubería PVC 75 mm. Calle Los Maquis, El Manzano	64
Figura 22: Presiones y velocidades Alternativa III. EPANET.	65
Figura 23: Ubicación del Estanque El Establo. El Manzano.	68
Figura 24: Presiones y velocidades alternativa IV. EPANET.	75
Figura 25: Presiones y Velocidades Red de distribución El Manzano. EPANET .	76

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva característica - Bomba sumergible KSB modelo KRTK 40-250/172UG-S.	32
Gráfico 2: Curva característica - Bomba ESPA PRISMA N35.....	32
Gráfico 3: Porcentaje de presiones El Manzano.	43
Gráfico 4: Porcentaje de velocidades El Manzano.....	44
Gráfico 5: Presiones a lo largo de la Matriz principal (m).....	45
Gráfico 6: Perfil longitudinal Matriz principal.	46
Gráfico 7: Perfil longitudinal Matriz principal Sector Poniente A.....	47
Gráfico 8: Porcentaje de presiones Sector Poniente A.	48
Gráfico 9: Perfil longitudinal Sector Poniente B.....	48
Gráfico 10: Porcentaje de presiones Sector Poniente B.	49
Gráfico 11: Perdidas de energía (m), Sector Sur-poniente	50
Gráfico 12: Perfil longitudinal Matriz principal Sector Sur-Poniente.	51
Gráfico 13: Porcentaje de presiones Sector Sur-Poniente.....	51
Gráfico 14: Porcentaje de presiones Sector Centro.	53
Gráfico 15: Perfil longitudinal, Matriz calle Los Laureles.....	54
Gráfico 16: Perfil longitudinal, Matriz principal Sector Oriente	55
Gráfico 17: Porcentaje de presiones Sector Sur-poniente.	61
Gráfico 18: Aumento de presiones en la matriz principal, alternativa II.....	61
Gráfico 19: Aumento de las presiones en la matriz principal, Sector Centro-Sur..	62
Gráfico 20: Aumento de las presiones en la matriz principal, Sector Centro-Norte	62
Gráfico 21: Porcentaje de presiones Sector Nor-Poniente. Alternativa III.....	65
Gráfico 22: Aumento de las presiones. Sector Nor-Poniente, alternativa III	66
Gráfico 23: Aumento de Presiones matriz principal. Sector Oriente. Alternativa IV	75
Gráfico 24: Porcentaje de presiones Alternativas de mejoramiento.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución de diámetros y longitudes de Red APR El Manzano	25
Tabla 2: Distribución de porcentajes según material y diámetros Red APR El Manzano.....	25
Tabla 3: Rugosidad para diferentes materiales. Darcy-Weisbach (mm)	31
Tabla 4: Coeficientes de pérdidas K, para diversas válvulas y piezas especiales.	33
Tabla 5: Proyección de población El Manzano	34
Tabla 6: Registro de producción y facturación de agua potable. El Manzano año 2018.	35
Tabla 7: Estimación de coeficientes de demanda del día de máximo consumo ...	37
Tabla 8: Caudal medio diario. El Manzano	39
Tabla 9: Caudal de diseño (L/s)	40
Tabla 10: Demanda base (L/s) por sector.....	40
Tabla 11: Demanda base por nodo.....	84
Tabla 12: Presiones Sector Poniente A	88
Tabla 13: Presiones Sector Poniente B	88
Tabla 14: Presiones Sector Sur-Poniente	89
Tabla 15: Presiones Sector Nor-Poniente.....	89
Tabla 16: Presiones Sector Centro-Sur	90
Tabla 17: Presiones Sector Centro-Norte	90
Tabla 18: Presiones Sector Oriente	91
Tabla 19: Presiones matriz principal	95
Tabla 20: Presiones Sector Poniente A.	97
Tabla 21: Presiones Sector Poniente B.	97
Tabla 22: Presiones Sector Sur-Poniente	98
Tabla 23: Presiones Sector Nor-Poniente.....	98
Tabla 24: Presiones Sector Centro-Sur	99
Tabla 25: Presiones Sector Centro-Norte	99
Tabla 26: Presiones Sector Oriente	100

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El acceso al agua potable es vital para la supervivencia y desarrollo de las personas, además del grado de salud que éste implica, se hace indispensable para tener un diario vivir digno, ya que esta ocupa un lugar fundamental y esencial en el desarrollo de la vida de las personas, desde su consumo directo hasta en la higiene personal y saneamiento de los hogares. Es por esto que se debe garantizar su accesibilidad y disponibilidad de forma permanente y segura al alcance de todos.

La ONU (Organización de las Naciones Unidas) ha establecido como un derecho que los Estados deben garantizar la cobertura del agua y el saneamiento de todos sus habitantes.

En Chile el abastecimiento de este recurso está, en su mayor parte, en manos de empresas privadas y un restante por empresas estatales junto con programas gubernamentales como el programa de Agua Potable Rural (APR) de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) del Ministerio de Obras Públicas (MOP), la cual tiene como deber abastecer de agua potable a las localidades rurales.

En base a lo anterior y con el compromiso de promover el bienestar de las personas y las comunidades, se ha elegido como el tema de esta memoria el estudio de diagnóstico y generación de alternativas de mejoramiento del sistema de agua potable para la localidad de El Manzano ubicada en el Cajón del Maipo, Región Metropolitana, Santiago de Chile.

El estudio de la red de agua potable en la localidad de El Manzano se justifica por el deficiente servicio que ésta presta a los habitantes del sector, dejando a algunos vecinos sin agua potable por varios días. Además del alto porcentaje de las aguas no contabilizadas, las cuales, según los estudios, están en el rango del 20 al 30%.

1.2 Objetivo general

Elaborar un diagnóstico y desarrollar una modelación hidráulica del sistema de agua potable de El Manzano y proponer alternativas de mejoramiento.

1.3 Objetivos específicos

- Elaboración de un catastro del sistema de producción y distribución de agua potable existente en la localidad de El manzano.
- Determinar de la demanda de agua potable de la localidad en base a los registros de facturación y datos censales, además determinar la demanda base de los remarcadores y su distribución en el plano.
- Desarrollar un modelo de la red de agua potable, utilizando el software EPANET para simular el funcionamiento del sistema de agua potable.
- Verificación de la situación actual de la red de agua potable existente con el modelo, en cuanto a presiones y velocidades.
- Determinación con el modelo, de los puntos más desfavorables de la red de agua potable en cuanto a presiones y velocidades.
- Generación de alternativas de obras de mejoramiento requeridas.

1.4 Metodología de trabajo

1.4.1 Descripción sistema de agua potable

En este punto se estudió un sistema de agua potable típico, con sus componentes más importantes para su funcionamiento.

1.4.2 Recopilación de información de zona de estudio

Se recolectaron y generaron los datos de la localidad El Manzano mediante búsquedas en distintas fuentes de información además de la información proporcionada por la Comunidad de Agua Potable El Manzano y por el Docente y Profesor guía, Enrique Álvarez.

1.4.3 Catastro del sistema de agua potable El Manzano

Se hizo un catastro de los componentes del sistema de agua potable, tales como: captación, tubería de aducción, estanque, cámara decantadora, filtros, sala de cloración y estación de bombeo.

Para definir la red actual de agua potable se utilizaron planos impresos existentes proporcionados por la comunidad de agua, en los cuales se puede ver el trazado de la red del año 2007.

Para completar la red y definir un plano final en AUTOCAD, se hizo un catastro con la ayuda de los administradores de la red de agua potable, durante visitas a terreno. En este proceso se pudo determinar la longitud y material de las tuberías, el número de válvulas, su tipo y ubicación, además de las cotas de todos los nodos de la red, junto la distribución en el plano los 460 remarcadores de agua potable conectados a la red.

1.4.4 Análisis de los consumos

El análisis de los consumos se realizó con los registros de producción y facturación mensual del año 2018, los cuales fueron proporcionadas por la administración de la Comunidad de Agua Potable El Manzano. Posteriormente se compararon con estimaciones según datos censales de la población, utilizando la más desfavorable. Así es como se logró elaborar un registro zonificado del consumo de agua potable de la localidad para generar los caudales de diseño y la demanda base asociada a cada nodo.

1.4.5 Desarrollo del modelo computacional

Una vez elaborado un plano actualizado de la red de agua potable con todos sus componentes identificados y con las demandas determinadas en cada nodo se realizó el modelo de la red utilizando el software EPANET. El modelo fue sometido a diferentes solicitaciones para analizar su comportamiento.

1.4.6 Análisis de resultados y verificación de la operación actual

Se analizaron los resultados obtenidos en la modelación con la finalidad de elaborar un diagnóstico identificando los sectores críticos con peligro de falla.

Luego se verificó el comportamiento de la red de agua potable según los parámetros que corresponden a sectores rurales y bajo la Norma NCh 691 3^{ra} edición 2015

1.4.7 Generación de alternativas de mejoramiento.

Con los resultados obtenidos de la modelación se pudieron definir diversas alternativas de solución en los sectores críticos, para el mejoramiento del sistema actual.

1.5 Hipótesis de resultados

Se puede mejorar el funcionamiento del sistema de agua potable de El Manzano, mediante la aplicación de los conceptos de ingeniería hidráulica para generar diversas alternativas de solución, tales como: refuerzos de tramos de tuberías, conexiones entre tuberías, además del aumento de los diámetros en zonas que no cumplen con el mínimo establecido por la norma NCh 691 3^{ra} edición 2015, la instalación de bombas y estanques, etc.

2 DESCRIPCIÓN SISTEMA DE AGUA POTABLE

2.1 Generalidades

Un sistema de abastecimiento de agua potable es un conjunto de obras de ingeniería, la cual es constituida, por lo general, por la fuente de abastecimiento, captación, planta de tratamiento, conducción, almacenamiento y red de distribución del agua.

Un sistema de abastecimiento de agua potable puede ser de carácter rural o urbano, dependiendo de la densidad poblacional y de las características definidas por el plan regulador.

Según la información del Censo del año 2017 un 87,8% de la población total habita en áreas urbanas y un 12,2% vive en zonas rurales.

2.2 Agua potable urbana

En Chile, más del 87% de la población habita en zonas urbanas concesionadas en que los servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas son provistos por empresas concesionarias o empresas explotadoras de concesiones. La legislación sanitaria chilena, contenida fundamentalmente en el DFL MOP N°382/88, establece que las concesiones para la prestación de los servicios de producción y distribución de agua potable y de recolección y disposición de aguas servidas, sólo pueden otorgarse para zonas urbanas o urbanizables. (Superintendencia de Servicios Sanitarios - Gobierno de Chile , 2017)

La cobertura urbana de agua potable a nivel nacional en los territorios concesionados se mantiene por sobre el 99,97%. El 96,1% de los clientes del sector es atendido por empresas operadoras de propiedad privada, mientras que un 3,9% corresponde a usuarios de concesionarias del Estado, de municipalidades o cooperativas. (Superintendencia de Servicios Sanitarios - Gobierno de Chile , 2017)

2.3 Agua potable rural

Según la Superintendencia de Servicios Sanitarios los sistemas de agua potable rural (APR) son aquellos que se prestan en áreas calificadas como rurales, conforme con los respectivos instrumentos de planificación territorial (Plan Regulador), y no reúnen los requisitos de servicio público de distribución de agua potable que establece la Ley General de Servicios Sanitarios para estos efectos.

Estos sistemas son constituidos como un servicio particular, bajo la forma de un Comité o Cooperativa u otra figura jurídica que acuerden los interesados. Los permisos de su funcionamiento son otorgados por el Ministerio de Salud, a través de los respectivos Servicios de Salud del Ambiente.

En ellos (sistemas de agua potable rural) no aplican las normas legales y reglamentarias de los servicios públicos sanitarios que prestan concesionarias dentro de sus respectivos terrenos concesionarios.

La calidad de los servicios entregados por los sistemas de agua potable rural debe ser fiscalizada por el Servicio de Salud del Ambiente (Ministerio de Salud)

El precio que se fija por los servicios es regulado por cada comité o cooperativa.

2.4 Componentes sistema de agua potable

2.4.1 Fuentes de abastecimiento

Las fuentes de agua son aquellas que nos proporcionan el agua en su estado natural o crudo, de la cual se derivan los caudales demandados por la población a abastecer. Las fuentes de abastecimiento deberán proporcionar en conjunto el gasto máximo diario (Rodríguez, 2001).

Existen diversas fuentes de abastecimiento de agua, las cuales dependen de las características de la zona en donde se requiera el suministro de este recurso.

Según la norma chilena NCH777/1 of. 2005 “Agua potable – Fuentes de abastecimiento y obras de captación – Parte 1: Captación de aguas superficiales”, las fuentes de abastecimiento de agua potable se clasifican según su origen, las cuales pueden ser:

- Agua meteorológica: La que está o deriva en forma inmediata de la atmósfera.
- Agua Subterránea: La freática o confinada.
- Agua Superficial: La que procede de corrientes, lagunas, lagos y embalses.
- Agua de mar: Proveniente de los océanos y mares

Las exigencias normativas de calidad de agua de las fuentes de abastecimiento, se encuentran especificados según la normativa vigente (NCH777/1 of.2005).

2.4.2 Obras de captación

Las obras de captación son obras civiles, las cuales permiten recolectar el agua de la fuente de abastecimiento, para luego ser conducidas hacia la planta de tratamiento o estanques de almacenamiento.

El diseño hidráulico y dimensionamiento de la captación dependerá de las características hidrológicas, geológicas y topográficas de la zona. La complejidad de la captación dependerá del tipo de fuente, de la cantidad y calidad del agua.

Según la norma NCH777/1 of.2005 Las obras de captación se clasifican como:

- Captación lateral
- Captación sumergida
- Captación en lagos
- Captación en lagunas
- Captación en embalses
- Captación flotante
- Captación móvil
- Captación de manantiales

2.4.3 Aducción

Las aguas crudas deben ser conducidas a la planta de tratamiento, para esto se requieren tuberías de aducción o canales abiertos. Las líneas de aducción pueden funcionar por gravedad o por bombeo dependiendo de la topografía de la zona.

Los requisitos mínimos que deben cumplir el diseño de las obras de conducción están establecidos en la norma chilena NCh 691 3^{ra} edición 2015.

2.4.4 Tratamiento del agua

“El agua potable es el agua que, al cumplir con los requisitos físicos, químicos y biológicos, indicados en la norma NCh 691 2015, es apta para el consumo humano. Las condiciones mínimas de calidad del agua potable son establecidas en la norma chilena NCH 409 of.2005. Ningún prestador podrá, por tanto, entregar o suministrar agua a sus usuarios en condiciones distintas a las señaladas en dichas normativas, salvo autorización de la autoridad de salud.” (SISS, 2018).

La forma más simple de mejorar la calidad del agua para que ésta sea potable, es a través de la decantación, y filtrado, de manera que se eliminen las partículas en suspensión dentro del agua. Seguidas por la desinfección de manera que se eliminen los agentes patógenos que puedan dañar la salud de las personas, normalmente esta desinfección se hace con la incorporación de cloro (hipoclorito de calcio).

Esta potabilización del agua se logra a través de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), que incluyen un conjunto de estructuras, en las cuales realizan operaciones unitarias sobre el agua cruda, eliminando en sus procesos, la contaminación y los elementos no deseables del agua de acuerdo con la norma chilena NCH 409.

- Eliminación de objetos flotantes: En esta etapa se debe emplear una reja que impida el ingreso de elementos a la planta como: ramas, troncos, basura, animales, peses, etc. Se debe impedir el ingreso de todo tipo de elementos de gran tamaño.
- Desarenador: Esta etapa permite sedimentar las arenas que se encuentren en suspensión con el fin de evitar dañar las bombas presentes en la PTAP.
- Bombeo primario: Consiste en bombas que toman el agua directamente de la fuente y la envía a la cámara de mezcla.
- Cámara de mezcla: En esta etapa se agregan productos químicos, tales como coagulantes (sulfato de alúmina) y alcalinizantes (cal).
- Decantación: Luego de haber realizado el tratamiento en la cámara de mezcla, se hace decantar el agua para que este deposite las impurezas en el fondo.
- Filtración: Una vez decantada el agua, se transporta hasta los filtros para su clarificación final reteniendo las partículas que aún se encuentran en el agua.
- Desinfección: Mediante la desinfección de las tuberías, en esta etapa se le agrega cloro (hipoclorito de calcio), el cual elimina las bacterias.

2.4.5 Sistema de distribución de agua potable

Los sistemas de distribución permiten conducir el agua potable desde los estanques (por lo general) hasta los medidores domiciliarios por medio de un conjunto de tuberías de distintos diámetros, además de estaciones de bombeo, en el caso de ser requeridas.

Los estanques son las estructuras que permiten almacenar para distribuir el agua potable, garantizando el suministro requerido por las horas de máximo consumo y a su vez compensan las variaciones del consumo durante el día (regulación), manteniendo una presión adecuada en la red. Además, permiten tener un volumen de reserva para cubrir eventuales falla de la captación.

La red de distribución se diseña para la condición de caudal máximo horario considerando también el consumo de incendio (Instituto Nacional de Normalización (INN), 2015). Se considera además mantener presiones entre los 15 y 70 mca. en toda la red de distribución y velocidades menores a 3 m/s. Cabe señalar que para sectores rurales se permiten presiones mínimas de 8 mca.

Los componentes básicos de una red de distribución son:

- Tuberías
- Piezas especiales
- Grifos de incendio
- Válvulas de corte
- Válvulas de desagüe
- Válvulas Reductoras de presión

Los requisitos mínimos que debe cumplir un estanque y la red de distribución de agua potable en cuanto al diseño, características físicas y condiciones de instalación están establecidos en la norma chilena NCh 691 3^{ra} edición 2015.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Proyección de la población

La proyección de la población es el cálculo del crecimiento previsto en el número de habitantes en un sector a estudiar para un futuro determinado. La población futura se puede determinar a través de modelos de crecimiento. Estos modelos incluyen las variables básicas de población con el fin de obtener una aproximación del número de los habitantes futuros según la variación del crecimiento poblacional.

Los modelos a utilizar en esta memoria son los siguientes:

3.1.1 Modelo de crecimiento aritmético

El modelo de crecimiento aritmético de la población está dado por la ecuación 1.

$$Pf = Po + r * n \quad (1)$$

Donde:

Pf : Población futura.

Po : Población año base.

r : Incremento medio anual (habitantes)

n : Número de años, desde el año base.

3.1.2 Modelo de crecimiento geométrico

El modelo de crecimiento geométrico de la población está dado por la ecuación 2.

$$Pf = Po * (1 + r)^n \quad (2)$$

Donde:

Pf : Población futura.

Po : Población año base.

r : Tasa de crecimiento anual.

n : Número de años, desde el año base.

4 DESCRIPCIÓN ZONA DE ESTUDIO

4.1 Ubicación zona de estudio

La localidad de El Manzano está ubicada en la comuna de San José de Maipo, cerca del Estero El Manzano. La comuna de San José de Maipo, se ubica en la Región Metropolitana de Santiago, Provincia de Cordillera, en el sector Sur Oriental de la Región.

Sus coordenadas geográficas son 70° 20' de longitud oeste y los 33° 39' de latitud sur. La comuna se encuentra a unos 48 Km de Santiago y 25 Km de Puente Alto.

Para acceder a la comuna, se puede utilizar la ruta G-25, que corresponde a la continuación de Avenida La Florida; la Ruta G – 345 que conecta hacia Los Maitenes Alfalfal a través de Río Colorado, Ruta G – 355 que conecta hacia Lagunillas; Ruta G – 421 arteria que conecta hacia El Toyo y Pirque.

La comuna de San José de Maipo limita al norte con la Región de Valparaíso, al oeste con las Comunas de Puente Alto, Pirque, La Florida, Peñalolén, Las Condes y Lo Barnechea, al este con la República de Argentina y al sur con la Región del Libertador Bernardo O'Higgins.

4.2 Hidrología

La hidrología de la zona, cuenca del río Maipo, posee un régimen de precipitación marcadamente nival, presentando un gran aumento de caudal en los meses de primavera producto de los deshielos cordillerano.

El Río Maipo, en la Estación El Manzano, registra un caudal medio anual cercano a los 100 m³/s. Durante el período de deshielo se presentan los mayores caudales instantáneos anuales, con un promedio de 227 m³/s (período 1950–1991), que se concentran mayoritariamente entre los meses de entre noviembre y diciembre.



Figura 1: Vista aérea Localidad El Manzano

Fuente: Elaboración propia

4.3 Descripción general del sistema de agua potable existente

La localidad de El Manzano cuenta con una red de distribución de agua potable de carácter rural administrada por la Comunidad de Agua Potable El Manzano constituida por vecinos propietarios de la Localidad. A esta red se le conectan 460 arranques domiciliarios y es alimentada por una matriz de agua perteneciente a la empresa sanitaria Aguas Andinas S.A.

Aguas Andina S.A. registra los consumos globales de la Localidad por medio de un macro-medidor de agua potable de 150 mm, instalado en el punto de conexión en el origen de la red de distribución como se muestra en la Figura 2, por lo que Aguas Andinas emite mensualmente una sola factura a la Comunidad por la entrega de agua potable en ese arranque considerándolo como un solo gran consumidor. Mientras que la propia Comunidad es la que se encarga de hacer las labores de mantenimiento de la red de distribución, reparación de roturas, ampliación de la red, instalación de nuevos arranques, lectura, cobro de los consumos, etc. Los fondos para mantener en funcionamiento la red de agua potable provienen solamente de los vecinos de la localidad sin algún aporte de programas gubernamentales.



Figura 2: Cámara del macromedidor 150 mm.

Fuente: Elaboración propia.

5 CATASTRO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE EL MANZANO

Para poder efectuar diagnóstico del sistema de agua potable empleando la modelación hidráulica en EPANET fue necesario hacer un catastro de todos los componentes físicos que conforman el sistema de agua potable.

Dicho catastro fue dividido en dos etapas, la primera correspondiente a la producción de agua potable a cargo de Aguas Andinas S.A. y la segunda corresponde a la distribución del recurso (conjunto de tuberías y componentes de la red).

El catastro del sistema de producción de agua potable fue realizado con información obtenida con visitas a terreno a las instalaciones de Aguas Andinas S.A. en la localidad de El Manzano. Posteriormente se realizó el catastro de la red de distribución a través de reuniones semanales con el personal de la Comunidad, junto con visitas a terreno y análisis de calicatas excavadas en puntos específicos.

Gran parte de la información del trazado de la red de agua potable fue proporcionado por la Comunidad mediante planos topográficos impresos y planos con curvas de nivel de la Localidad. Dichos planos se utilizaron en esta memoria como referencia solamente, en cuanto a la ubicación de la red de tuberías y sus componentes.

5.1 Sistema de captación y línea de aducción

El agua potable que suministra Aguas Andinas a la localidad El Manzano es captada aguas arriba de la localidad, en el estero El Manzano, un afluente del Río Maipo, a través de una bocatoma superficial. La captación del sistema de agua potable está compuesta por un muro de mampostería de piedra, funcionando como vertedero, ya que el flujo de agua pasa por sobre esta. Ver Figura 3



Figura 3: Captación. Estero El Manzano

Fuente: Fotografía proporcionada por docente Enrique Álvarez Hernández

El sistema de captación no cuenta con una caja de captación o cámara de recolección del flujo, si no que entra directamente a la tubería de aducción y solo existen unos barrotos de acero para evitar el paso de sedimentos gruesos y elementos flotantes.

En la Figura 4 se puede apreciar la captación directa del flujo y además la precariedad de la captación. Queda en evidencia la acumulación de basura y ramas que pueden llegar a obstruir completamente el ingreso del agua a la aducción. Además, la exposición al ingreso de cualquier tipo de agente patógeno contaminante, poniendo en peligro la salud de los habitantes de la localidad, ya que el sector de la captación no cuenta con medidas de seguridad que impidan el acceso a la bocatoma.



Figura 4: Rejilla de protección. Estero El Manzano

Fuente: Fotografía proporcionada por docente Enrique Álvarez Hernández

Las características de la tubería de aducción son:

- Diámetro exterior: 400mm
- Longitud: 2000 m
- Material: Acero (no especificado)

Cabe destacar que la tubería de aducción se encuentra deteriorada a lo largo de toda su extensión, tal como se puede apreciar en la Figura 5, mostrando fugas de agua en las conexiones.



Figura 5: Tubería de aducción. Estero El Manzano

Fuente: Fotografía proporcionada por docente Enrique Álvarez Hernández

5.2 Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) el manzano

El agua captada en el estero El Manzano es conducida por la tubería de aducción hasta la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), ubicada en el recinto de Aguas Andinas. Ver Figura 6.



Figura 6: Planta de tratamiento de agua potable Aguas Andinas

Fuente: Google Earth

Etapas de la PTAP:

- Decantador: Utilizados para almacenar el agua cruda y a su vez para decantar y extraer los sedimentos.
- Filtros a presión: Filtran los contenidos solidos finos.
- Sala de cloración: Utilizada para desinfectar el agua.
- Estación de bombeo: Presuriza la red de agua potable.

- Estación de bombeo Laguna Negra: Presuriza la red de agua potable cuando se utiliza el acueducto Laguna Negra como fuente de alternativa

El acueducto Laguna Negra se utiliza cuando el agua de la captación del Estero El Manzano sobrepasa el nivel máximo de turbiedad establecido, se desconecta la captación superficial y se conecta la captación desde el acueducto Laguna Negra, cuyo trazado pasa por la localidad bajo el camino principal “Camino al Volcán”

5.3 Cámara decantadora

Como el sistema de captación de agua potable deja pasar sedimentos gruesos, arena y limo, se hace necesario pasar el agua por un decantador (Figura 7) que sirve además como reservorios de agua cruda. El decantador tiene 2 secciones de 50 metros de longitud, 10 metros de ancho y 3 metros de profundidad, con una capacidad máxima de 3000 m³.



Figura 7: Estanque decantador. Aguas Andinas El Manzano.

Fuente: Fotografía proporcionada por docente Enrique Álvarez Hernández

5.4 Bomba sumergible

Para entregar a la red de agua potable una presión adecuada, se utiliza una bomba sumergible de aguas servidas KSB modelo KRTK 40-250/172UG-S. Con las siguientes características.

- $Q = 36 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H = 70 \text{ m}$
- $P = 13,04 \text{ kW}$
- $N = 2954 \text{ RPM}$

Esta bomba se ubica en un costado de los estanques como se puede apreciar en la Figura 8.



Figura 8: Bomba Sumergible. Aguas Andinas El Manzano

Fuente: Fotografía proporcionada por docente Enrique Álvarez Hernández

5.5 Filtros a presión

Para remover el sedimento más fino en suspensión, se hace pasar el agua por dos filtros a presión, los cuales cuentan con un lecho granular estandarizado, que permiten hacer ese trabajo. Los filtros poseen una serie de conexiones hidráulicas y válvulas para efectuar el retro-lavado y limpieza del material granular filtrante de forma periódica, sin embargo el inicio de este proceso se hace de forma manual por los operarios de la planta sin un constante monitoreo de las pérdidas de carga que se producen dentro de los filtros.

5.6 Sala de cloración

Para cumplir con la normativa vigente NCH 409 of. 2005. Se inyecta hipoclorito de sodio de modo de producir una desinfección del agua y dejar un cloro residual para prevenir la contaminación posterior del agua en la red.

5.7 Acueducto Laguna Negra y sala de bombas

Tal como se muestra en la Figura 9, se puede apreciar el acueducto Laguna Negra que pasa por la localidad El Manzano. Las bombas existentes en la captación del acueducto son bombas marca KSB MEGABLOC 065-040-250, que es una bomba normalizada con las siguientes características.

- $Q = 35,99 \text{ m}^3/\text{h}$
- $H = 80,14 \text{ m}$
- $P = 50 \text{ kW}$
- $N = 2950 \text{ RPM}$



Figura 9: Bombas acueducto Laguna Negra. Aguas Andinas El Manzano

Fuente: Fotografía proporcionada por docente Enrique Álvarez Hernández

5.8 Red de distribución de agua potable

El área de cobertura de la red de agua potable cubre una longitud aproximada de 4 kilómetros a lo largo de la vía Camino Al Volcán (camino principal). La red de agua potable existente tiene un total de 15.979 metros de tubería, tal como se puede apreciar de la Tabla 1 a red de tuberías está compuesta en su mayor parte de PVC (88%).

Tabla 1: Distribución de diámetros y longitudes de Red APR El Manzano

Material	PVC					HDPE	
Diámetro (mm)	50	63	75	110	140	140	160
Longitud (m)	798	481	8.420	3.581	854	812	1.033
	14.134					1.845	
Total (m)	15.979						

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2 se muestra la distribución porcentual de las tuberías de la red de agua potable El Manzano.

Tabla 2: Distribución de porcentajes según material y diámetros Red APR El Manzano

Material	PVC					HDPE	
Diámetro (mm)	50	63	75	110	140	140	160
Proporción del total (%)	5%	3%	53%	22%	5%	6%	6%
	88%					12%	

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 10 se muestra el trazado final de la red de distribución con sus materiales y diámetros correspondientes.

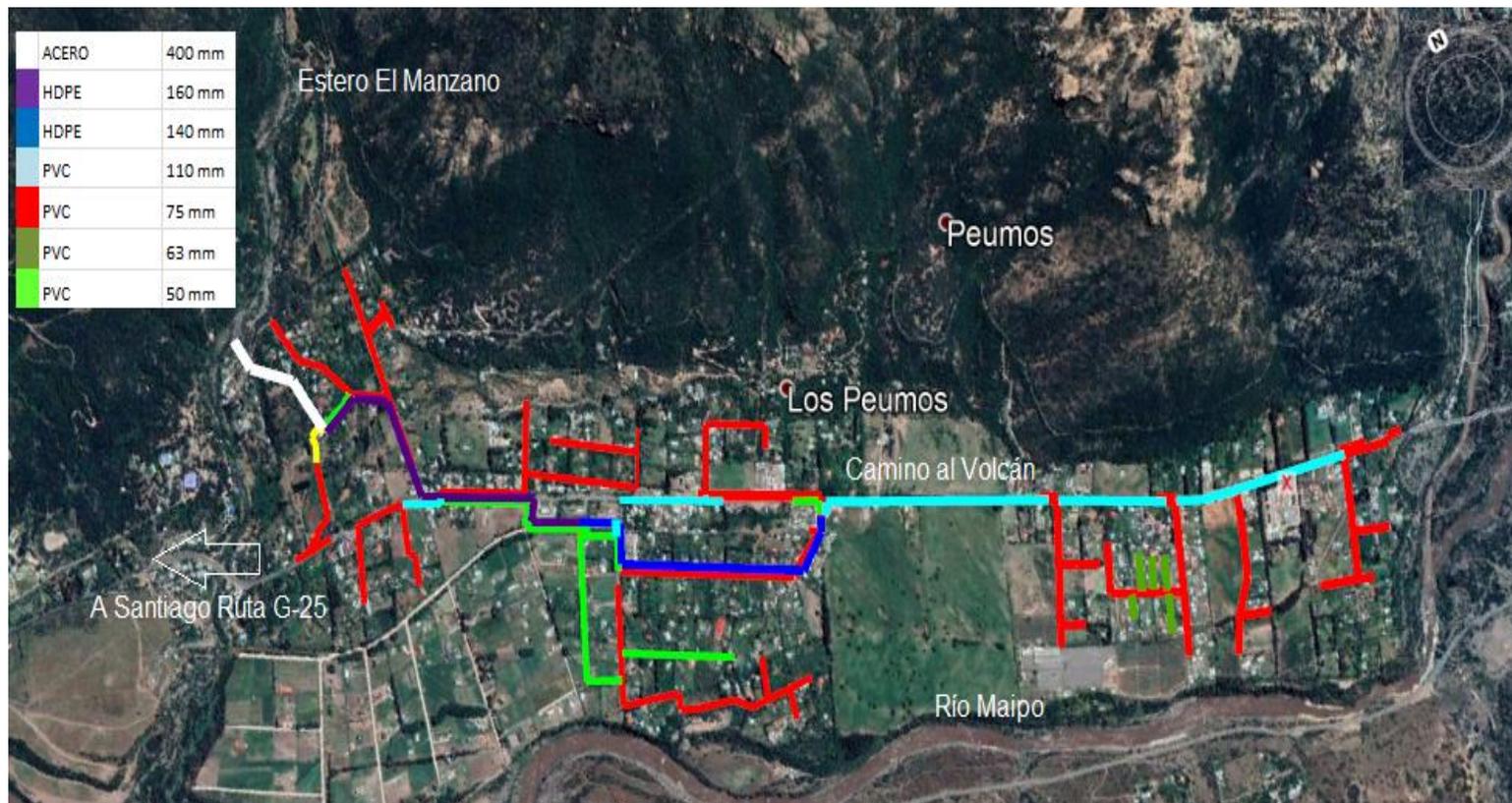


Figura 10: Trazado red de agua potable El Manzano.

Fuente: Google Earth

En la Figura 11 se muestra el perfil longitudinal de la matriz principal compuesta por dos tuberías de HDPE de 160 mm (1.033 m) y HDPE 140 mm (812 m).

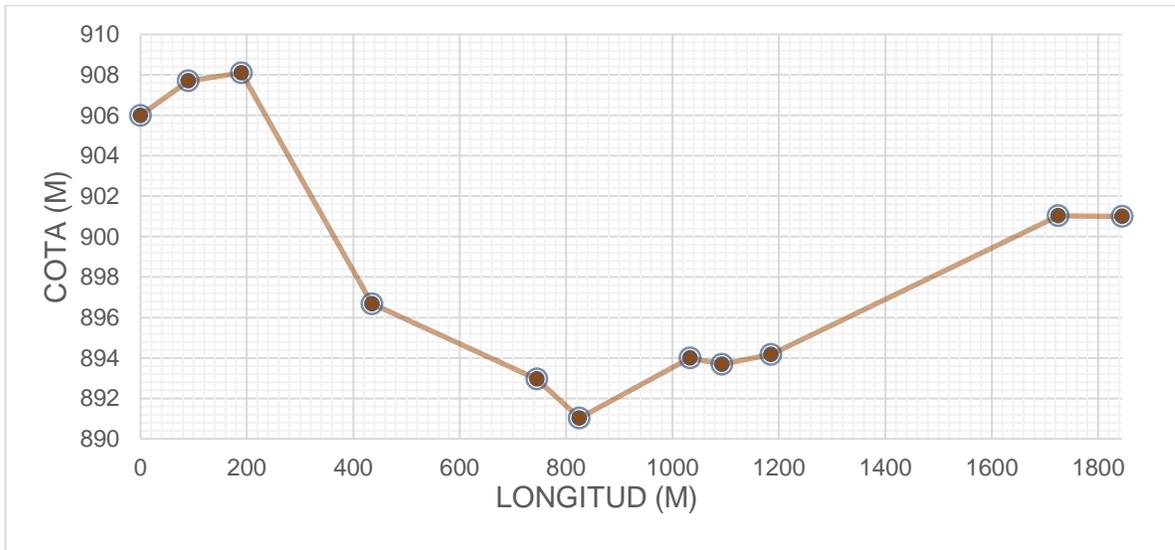


Figura 11: Perfil longitudinal matriz principal

Fuente: Elaboración propia – Google Earth

6 DESARROLLO DEL MODELO COMPUTACIONAL

EPANET es un programa que realiza simulaciones en periodo extendido del comportamiento hidráulico del agua en redes de distribución de tuberías a presión.

Para este estudio se utilizó para elaborar un modelo hidráulico de la red de distribución para determinar el caudal que circula por las tuberías, la velocidad del flujo y la presión en cada nodo, además del cálculo de pérdidas por fricción con la ecuación de Darcy-Weisbach.

6.1 Esquema red de distribución EPANET

La información recopilada del catastro junto con la información del plano de la red en AUTOCAD se vació en un dibujo parcial de la red de agua potable realizado con el software EPANET para realizar el modelo hidráulico.

En la Figura 12 se puede ver la forma esquemática de la red de agua potable de El Manzano.

Una vez ingresado el esquema de la red de agua potable en EPANET se verificaron los componentes y la información incorporada al modelo para tener un modelamiento definitivo.

Si bien se definió un esquema para obtener resultados del comportamiento hidráulico de la red, el modelo computacional en todo momento está sujeto a cambios al igual que los planos de la red de agua potable, según la nueva información que se vaya obteniendo.

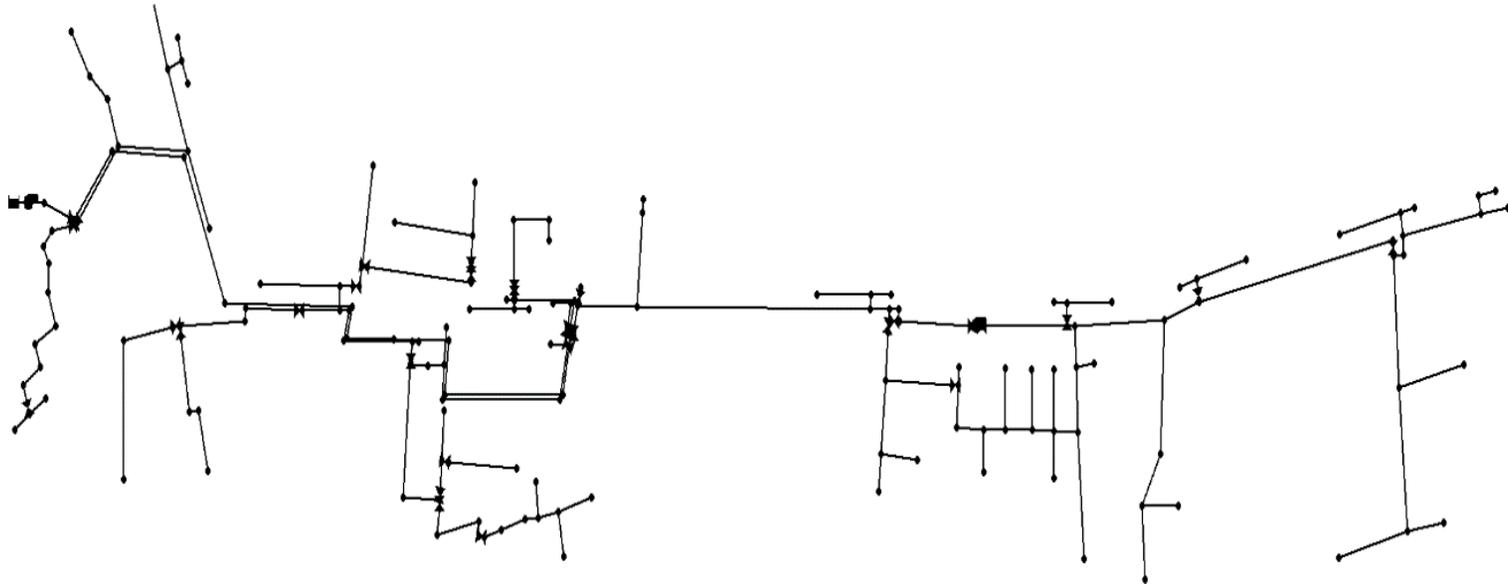


Figura 12: Esquema del modelo red de agua potable El Manzano, EPANET

Fuente: Elaboración propia

6.2 Elementos del sistema de agua potable en EPANET

6.2.1 Estanque

El estanque en el caso del modelo de la red de agua potable El Manzano es considerado en EPANET como la fuente de abastecimiento, ya que en el modelamiento tiene como objetivo diagnosticar las posibles fallas de la red de distribución de agua potable.

6.2.2 Nodos

Los nodos son las conexiones que unen las tuberías de la red de agua potable y además son los puntos en donde se asignan los consumos de agua potable en L/s.

La información requerida en los nodos es la siguiente:

- Cota de terreno: La información de la elevación geográfica para cada nodo fue obtenida de un plano con curvas de nivel entregado por la Comunidad de Agua Potable El Manzano.
- Demanda base: La demanda base corresponde a la demanda en L/s para cada nodo. A cada nodo se le asignó el consumo correspondiente a la suma de la mitad de los arranques de cada tubería que confluye al nodo. El cálculo de la demanda base se muestra en el punto 6.3.

6.2.3 Tuberías

La red de agua potable son un conjunto de tuberías que llevan el agua de un punto a otro. La definición de los tramos de tuberías y el sentido del flujo en cada tramo se definió inicialmente para ser ingresado a EPANET.

La información requerida de las tuberías es a siguiente:

- Diámetros: Los diámetros de las tuberías se indican en los planos topográficos del catastro del sistema de agua potable.
- Longitud: Las longitudes de las tuberías se indican en los planos topográficos del catastro del sistema de agua potable.
- Coeficiente de rugosidad: Para determinar las pérdidas por fricción se utilizó la ecuación de Darcy-Weisbach. En la Tabla 3 se muestran los valores empíricos de rugosidad para los diversos materiales de tuberías.

Tabla 3: Rugosidad para diferentes materiales. Darcy-Weisbach (mm)

Material	Rugosidad ϵ (mm)
PVC y PE	0,0025
Fibrocemento	0,025
Fundición revestida	0,03
Fundición no revestida	0,15
Hormigón armado	0,1
Hormigón liso	0,025

Fuente: Manual EPANET v2.Español.

6.2.4 Bombas

Las bombas son componentes físicos que tienen como función aportar energía al flujo a través de un incremento en la altura piezométrica.

La característica más importante de las bombas que componen la red de agua potable es su curva característica, la cual es una relación entre la altura y el caudal de la bomba.

Las curvas características de las bombas utilizadas en la red de agua potable se pueden ver en el Gráfico 1 y Gráfico 2.

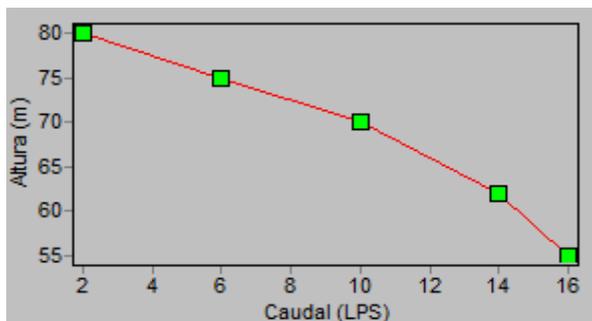


Gráfico 1: Curva característica - Bomba sumergible KSB modelo KRTK 40-250/172UG-S.

Fuente: Catalogo KSB

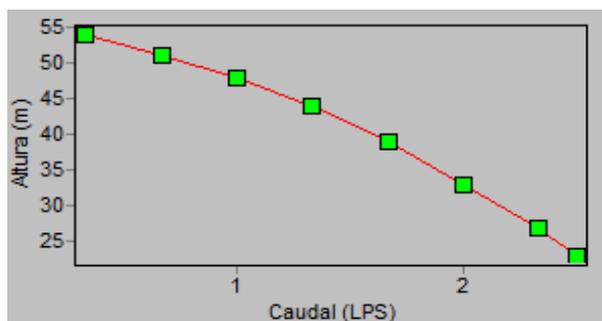


Gráfico 2: Curva característica - Bomba ESPA PRISMA N35

Fuente: Catalogo ESPA.

6.2.5 Válvulas

La red actual solo cuenta con válvulas de corte de tipo compuerta para sectorizar el suministro ante posibles eventualidades.

Su coeficiente de pérdida K depende del tipo de válvula tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Coeficientes de pérdidas K, para diversas válvulas y piezas especiales.

<i>Conectores</i>	<i>Coeficiente de pérdidas</i>
Válvula de Globo, totalmente abierta	10.0
Válvula de Ángulo, totalmente abierta	5.0
Válvula de Retención de Clapeta, totalmente abierta	2.5
Válvula de Compuerta, totalmente abierta	0.2
Codo de radio pequeño	0.9
Codo de radio medio	0.8
Codo de radio grande	0.6
Codo a 45°	0.4
Codo cerrado con inversión del flujo	2.2
Te estándar – dirección de paso	0.6
Te estándar – dirección desvío	1.8
Entrada Recta	0.5
Salida brusca	1.0

Fuente: Manual EPANET v2.Español.

La información requerida de las válvulas es la siguiente:

- Nudo de entrada y de salida
- Diámetros: Los diámetros de las válvulas corresponden al diámetro de los tramos de las tuberías y están en los planos topográficos del catastro.
- Consigna: Regulación

6.3 Cálculo de caudales

6.3.1 Estudio de población

Para determinar el número de habitantes a abastecer con agua potable se compararon los criterios de la proyección de la población realizado con datos censales y el cálculo según una densidad habitacional estimada de 5 habitantes.

Según la información del Censo del año 2002, la población total de la localidad de El Manzano fue de 850 habitantes para dicho año. Si bien en el año 2017 no se tiene la información sobre dicha localidad, se considera la variación anual de la comuna de San José de Maipo, la cual corresponde al 2% anual según los Censos de población y vivienda del año 2002 y 2017, llevados a cabo por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Solo se utilizaron los últimos censos ya que entre estos se produjo el mayor crecimiento de la población en la comuna.

En la Tabla 5 se muestra el crecimiento de la población según los modelos de crecimiento utilizados. Cabe señalar que el estudio de crecimiento solo se realizó hasta el año 2019 ya que se busca elaborar un diagnóstico del estado actual de la red de distribución.

Tabla 5: Proyección de población El Manzano

Año	2002	2005	2008	2011	2014	2017	2019
N° Hab. Crecimiento aritmético	850	903	956	1008	1061	1114	1149
N° Hab. Crecimiento geométrico	850	904	961	1022	1087	1156	1204

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo considerando los 460 arranques y una densidad habitacional estimada de 5 habitantes por vivienda se tiene una población de 2300 habitantes. Es por esto que para este estudio se consideró la proyección según el cálculo del número de arranques por la densidad habitacional

6.3.2 Cobertura

La cobertura es el porcentaje de la población abastecida de agua potable en un determinado sector. Para el dimensionamiento de este estudio la cobertura será igual al 100% de la población en todo periodo.

6.3.3 Producción y facturación por consumo de agua

En la Tabla 6 se muestra la producción y facturación total de agua potable de cada mes correspondiente al año 2018 de la localidad El Manzano. La producción se obtuvo a través de la medición mensual en el macro medidor de Aguas Andinas el cual se encuentra en el arranque de la red de agua potable, mientras que la facturación se obtuvo a través de mediciones mensuales de los 460 remarcadores.

Tabla 6: Registro de producción y facturación de agua potable. El Manzano año 2018.

Mes	Producción (m3)	Facturación (m3)	Perdidas	
			(m3)	(%)
Enero	21.045	16.288	4.757	23%
Febrero	18.428	15.387	3.041	17%
Marzo	20.637	15.206	5.431	26%
Abril	15.537	14.337	1.200	8%
Mayo	18.517	12.596	5.921	32%
Junio	10.676	10.738	0	0%
Julio	18.665	11.578	7.087	38%
Agosto	10.116	9.709	407	4%
Septiembre	12.037	11.088	949	8%
Octubre	16.517	11.092	5.425	33%
Noviembre	17.050	12.147	4.903	29%
Diciembre	16.768	18.372	0	0%
Total	195.993	158.538	39.121	19%
Promedio	16.333	13.212	3.260	18%

Fuente: Registros de producción y consumo de agua potable, Comunidad de Agua Potable El Manzano.

6.3.4 Aguas no contabilizadas

Las aguas no contabilizadas en la Localidad de El Manzano se atribuyen a diversos casos, el más importante se debe a las malas condiciones en la cual se encuentra la red y sus instalaciones.

Si bien la pérdida total anual de las ANC alcanza el 19%, para la realización del modelo hidráulico de la red de agua potable se consideró como un 20%.

6.3.5 Coeficientes

Todos los coeficientes utilizados para el cálculo de los factores se obtuvieron con las ecuaciones y formulas del documento “Estimación de coeficientes de demanda de sistemas de agua potable” (Ahumada & Hernandez, 2002)

6.3.5.1 Coeficiente del mes de máximo consumo (C.M.M.C)

El cálculo del coeficiente del mes de máximo consumo se obtiene en función de la latitud con la ecuación del documento de Ahumada y Hernández, la que en este caso se calcula con la latitud de la localidad El Manzano (33,5°). Por lo tanto, el coeficiente C.M.M.C se obtiene reemplazando en la ecuación:

$$C.M.M.C = 1,2041 + 0,11527 * \cos (0,27479 * L + 3,25194)$$

$$C.M.M.C = 1,2041 + 0,11527 * \cos (0,27479 * 33 + 3,25194) = 1,31622$$

$$\mathbf{C.M.M.C = 1,32}$$

6.3.5.2 Coeficiente del día de máximo consumo en el mes de máximo consumo (C.D.M.C)

Valores recomendados:

Tabla 7: Estimación de coeficientes de demanda del día de máximo consumo

Zona	Valle	Costa
Central	1,1	1,2
Centro - Sur	-	1,1
Norte	1,5	1,4

Fuente: (Ahumada & Hernandez, 2002)

Como la localidad de El Manzano está ubicada en la Zona Central el coeficiente de demanda del día de máximo consumo es:

$$\mathbf{C.D.M.C = 1,1}$$

6.3.6 Factores

Todos los factores utilizados para el cálculo de los caudales se obtienen con las ecuaciones del documento “Estimación de coeficientes de demanda de sistemas de agua potable” (Ahumada & Hernandez, 2002)

6.3.6.1 Factor del día de máximo consumo (F.D.M.C)

Corresponde al producto entre el coeficiente del mes de máximo consumo (C.M.M.C = 1,32) y el coeficiente del día de máximo consumo en el mes de máximo consumo (C.D.M.C = 1,1).

Por lo tanto, el F.D.M.C es 1,45. Sin embargo en este estudio se utilizó:

$$\mathbf{F.D.M.C = 1,5}$$

6.3.6.2 Factor de hora de máximo consumo (F.H.M.C)

Para el cálculo del factor de hora de máximo consumo se utilizó la ecuación del documento de (Ahumada & Hernandez, 2002).

$$F.H.M.C = -0,31558 + 1,41183 * (F.H.M.C)/(C.D.M.C)$$

$$\mathbf{F.H.M.C = 1,17}$$

Para el caso del factor de hora de máximo consumo se utiliza el valor de 1,5 ya que la norma NCH 691 establece que el valor mínimo debe ser 1,5, por lo tanto:

$$\mathbf{F.H.M.C = 1,5}$$

6.3.7 Dotaciones

6.3.7.1 Dotación de consumo

La dotación de consumo es la cantidad de agua consumida por cada habitante en un día medio anual y se expresa en litros por habitante por día (L/hab./día.). Para el cálculo de la dotación de consumo se utilizó la ecuación de la norma NCH691 con la población según la densidad habitacional.

- Dotación de consumo = (Volumen de agua consumido anual/365) /Población
 - Dotación de consumo = (158.538 m³/365) /2300 hab.
 - Dotación de consumo = 188,8 L/hab./día.

6.3.7.2 Dotación de producción

La dotación de producción es la cantidad de agua que se produce por cada habitante en un día medio anual y se expresa en litros por habitante por día (L/hab./día.). Para el cálculo de la dotación de producción se utilizó la ecuación de la norma NCH691 con la población proyectada según la densidad habitacional.

- Dotación de producción = (Volumen de agua producido anual/365) /Población
 - Dotación de producción = (195.993 m³/365) /2300 hab.
 - Dotación de producción = 233,4 L/hab./día.

6.3.8 Caudal medio diario

En la Tabla 8 se muestra el Caudal medio diario de agua potable elaborado con los registros de producción del año 2018 el cual corresponde a 6,21 L/s.

Tabla 8: Caudal medio diario. El Manzano

Mes	Producción (m3)	Caudal medio (L/s)
Enero	21.045	7,86
Febrero	18.428	7,62
Marzo	20.637	7,70
Abril	15.537	5,99
Mayo	18.517	6,91
Junio	10.676	4,12
Julio	18.665	6,97
Agosto	10.116	3,78
Septiembre	12.037	4,64
Octubre	16.517	6,17
Noviembre	17.050	6,58
Diciembre	16.768	6,26
Total anual	195.993	6,21
Promedio	16.333	6,30

Fuente: Elaboración propia.

6.3.9 Caudal de diseño

En la Tabla 9 se muestra el caudal de diseño de la localidad el cual corresponde al caudal máximo horario, ya que para sectores rurales el caudal de incendio no se exige por norma por lo que no es un parámetro determinante en el cálculo de los caudales.

Tabla 9: Caudal de diseño (L/s)

Metodología de calculo	Caudal medio diario (L/s)	F.D.M.C	Caudal máximo diario (L/s)	F.H.M.C	Caudal de diseño (L/s)
Producción y consumo	6,21	1,5	9,32	1,5	13,98

Fuente: Elaboración propia.

6.3.10 Caudal de demanda base (EPANET)

Para determinar la demanda base de cada nodo se utilizaron los factores utilizados en el cálculo del caudal de diseño ya que la sumatoria de la demanda base de cada uno de ellos debe ser igual al caudal de diseño de la red de agua potable.

A cada nodo se le asignó el consumo correspondiente a la suma de la mitad de los arranques de cada tubería que confluye al nodo.

En la Tabla 10 se muestra la demanda base que corresponde a cada sector, mientras que en el Anexo I se encuentra la demanda base de cada nodo.

Tabla 10: Demanda base (L/s) por sector.

Sector	Nº Arranques	Qmaxh (L/s)
Poniente	38	0,68
Sur-Poniente	51	1,55
Nor-Poniente	26	1,88
Centro	186	5,60
Oriente	159	4,27
Total	460	13,98

Fuente: Elaboración propia.

7 DIAGNOSTICO RED DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE EL MANZANO

El modelo hidráulico de la red de agua potable El Manzano fue puesto a prueba ante diferentes escenarios de presiones de entrega por Aguas Andinas S.A en el origen de la red de distribución. Dichas presiones corresponden a las máximas y mínimas. Estas mediciones fueron realizadas por la Comunidad de Agua Potable.

- Presión máxima = 56 psi = 39,39 mca. = 39 mca.
- Presión media = 48 psi = 33,70 mca. = 33 mca.
- Presión mínima = 39 psi = 27,42 mca. = 27 mca.

Las variaciones de presión que existen en el arranque de Aguas Andinas a la localidad El Manzano, se deben al mal funcionamiento de los filtros de la PTAP, ya que la iniciación del retrolavado de estos se realiza de forma manual por operarios de la planta, que en muchos casos se inicia cuando se producen reclamos de los vecinos por cortes del suministro en algunos sectores.

Si bien se realizó la modelación en ambas situaciones (presión máxima y mínima), para elaborar el diagnóstico de la red, solo se analizó la situación actual en el peor de los escenarios, el cual corresponde a la presión mínima de entrega (27 mca.) por parte de Aguas Andinas S.A.

Los resultados generales del modelo se muestran en la Figura 13. Mientras que el detalle de los resultados se encuentra en el Anexo II.

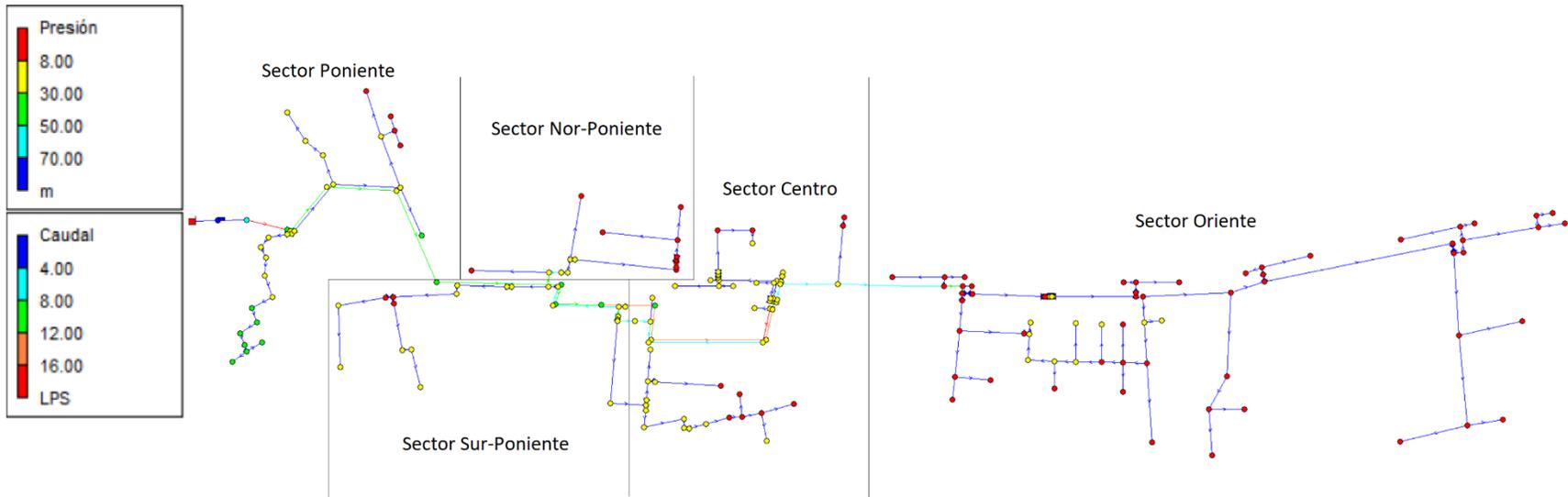


Figura 13: Sectorización y resultados del modelo computacional EPANET.

Fuente: Elaboración propia.

7.1 Verificación actual EPANET

Con los resultados obtenidos de las simulaciones hidráulicas empleando el modelo hidráulico en EPANET se elaboró el Gráfico 3 el cual muestra la distribución porcentual de las presiones de toda la red.

Según los resultados del modelo hidráulico un 44% de las presiones no cumplen con el mínimo establecido por norma para sectores rurales (8 mca). y solo un 5% de estas se encuentra entre los 30 y 45 mca.

La presión máxima es de 40,97 mca la cual se encuentra en el Sector Poniente junto a la conexión del origen de la red en el macromedidor, mientras que la presión mínima entregada por el modelo es de -11,15 mca. ubicada en el Sector Oriente en donde un 80% de las presiones no cumple con la normativa.

Si bien la actual normativa de APR limita las presiones máximas a 40 mca. Esta limitación solo aplica para permitir el uso de cañería de clase 6 las cuales no son parte de esta red de distribución por sus malos resultados prácticos. Es por esto que el límite máximo de presión en el caso de este estudio será de 70 mca.

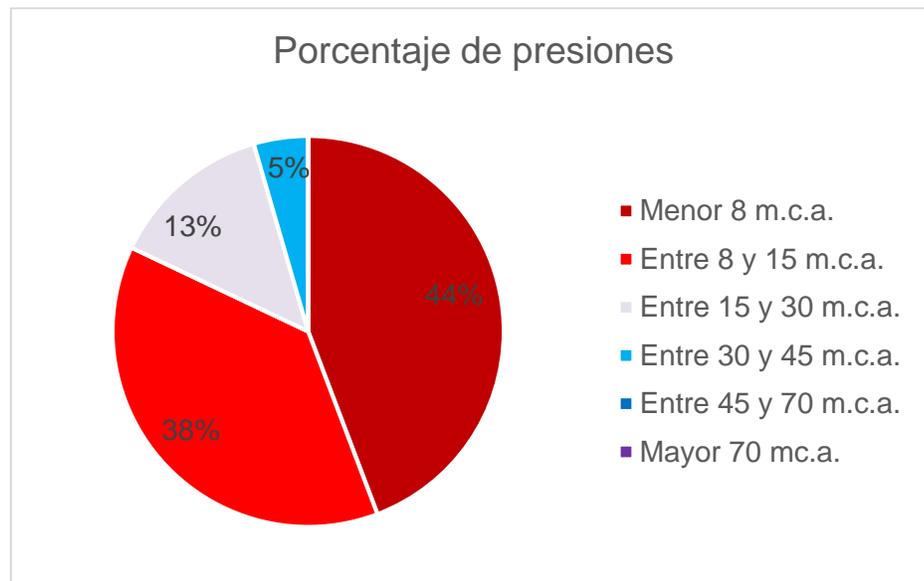


Gráfico 3: Porcentaje de presiones El Manzano.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las velocidades en ningún caso sobrepasan los 2 m/s, cumpliendo con las máximas establecidas para zonas urbanas según la norma NCH 691. Ver Gráfico 4.

La velocidad máxima en toda la red de distribución se localiza en una de las tuberías principales que alimentan el Sector Sur-Poniente con una velocidad de 1,8 m/s mientras que un 61% de las velocidades se encuentra bajo los 0,1 m/s las cuales eventualmente pueden provocar estancamiento del flujo.

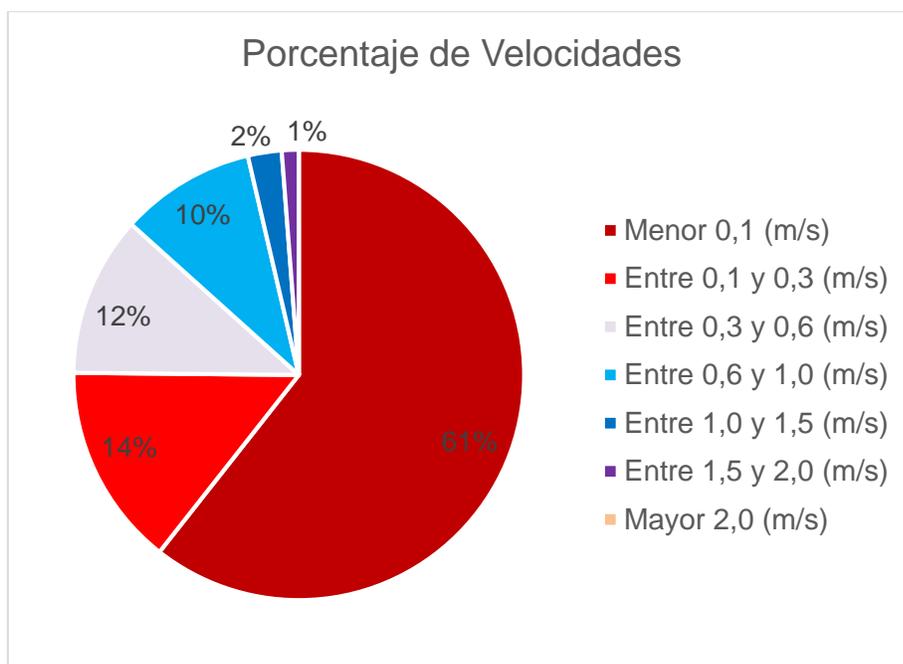


Gráfico 4: Porcentaje de velocidades El Manzano.

Fuente: Elaboración propia.

7.2 Verificación matriz principal

En el Gráfico 5 se muestran las presiones a lo largo de la matriz principal compuesta por dos tuberías de HDPE de 160 mm (1.033 m) y HDPE 140 mm (812 m).

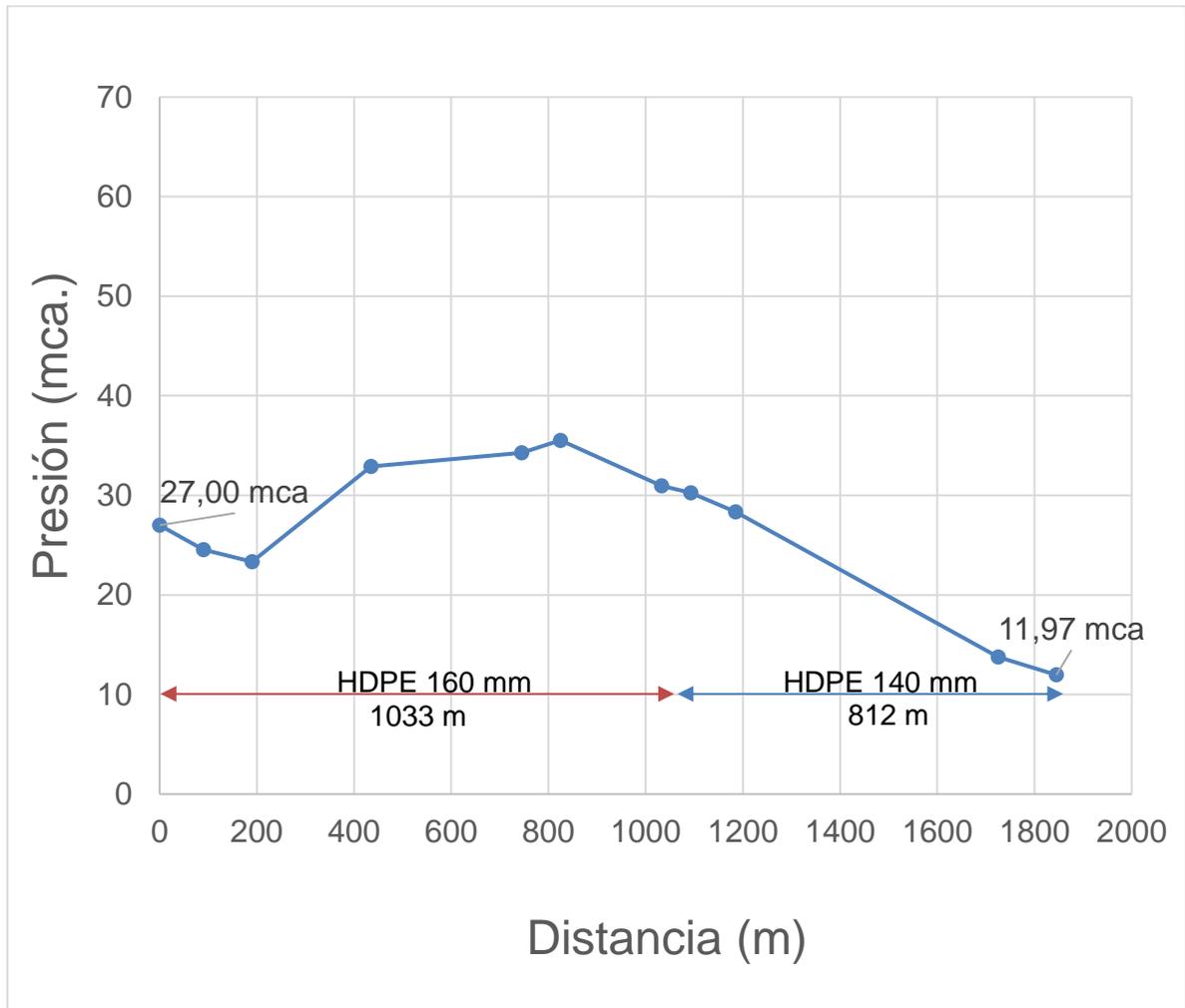


Gráfico 5: Presiones a lo largo de la Matriz principal (m).

Fuente: Elaboración propia.

Mientras que en el Gráfico 6 se muestra el perfil longitudinal de la matriz principal.

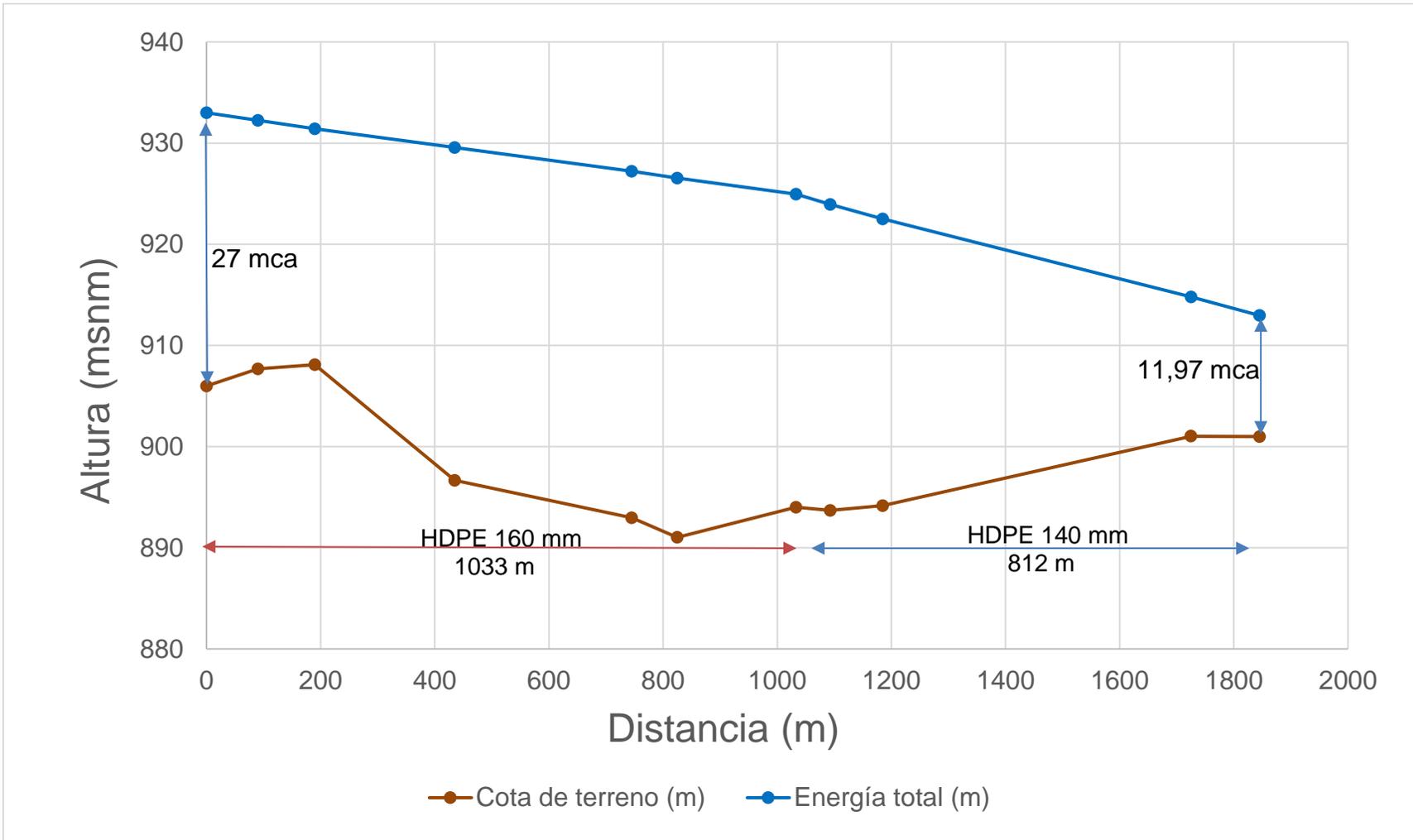


Gráfico 6: Perfil longitudinal Matriz principal.

Fuente: Elaboración propia.

7.3 Diagnóstico sectorizado Red de Agua Potable El Manzano

7.3.1 Sector poniente

Diagnóstico: El sector poniente se divide en el sector poniente A y B dado que ambos tienen comportamientos opuestos, pero son parte del mismo sector.

El sector A presenta un incremento en sus presiones de 27 mca. a 40,97 mca. Este aumento se debe al aporte de energía producto de la diferencia de cotas de la matriz principal del sector (14 metros), tal como se muestra en el Gráfico 7, además la pérdida de carga por fricción en este caso se hace despreciable.

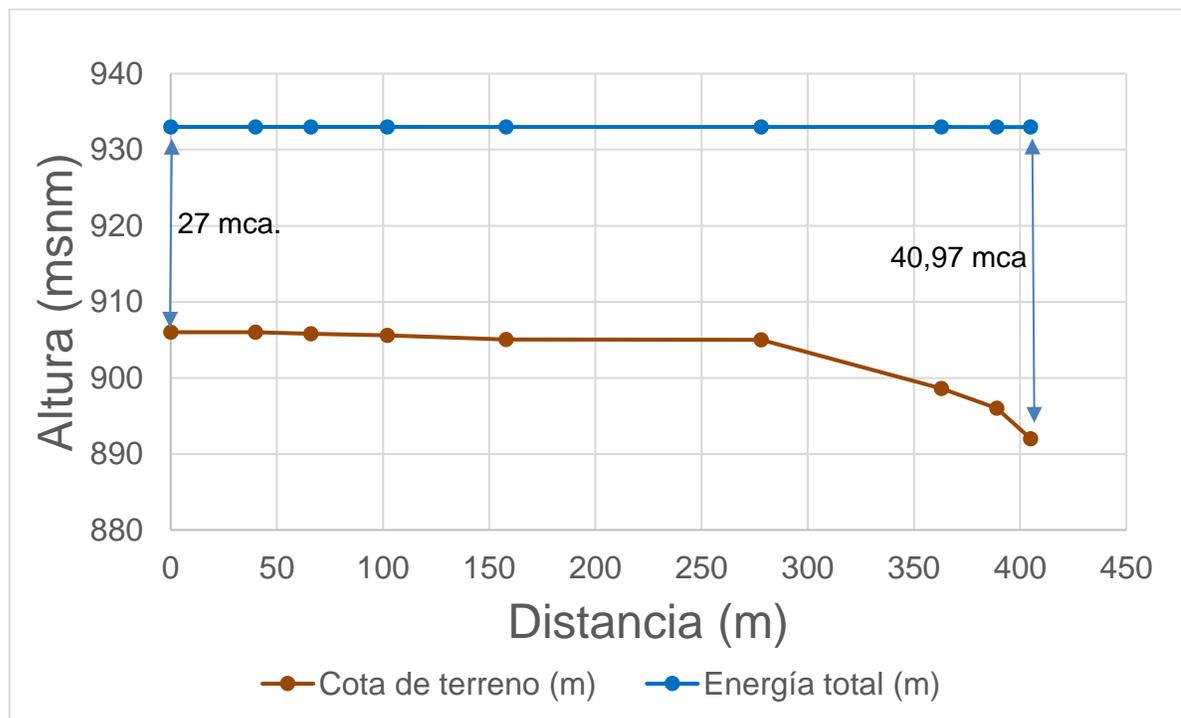


Gráfico 7: Perfil longitudinal Matriz principal Sector Poniente A.

Fuente: Elaboración propia.

Como en este sector se encuentra la conexión que recibe el caudal y presión por parte de Aguas Andinas no presenta problemas de presiones ni de suministro.

El Gráfico 8 muestra la distribución porcentual de presiones de toda su extensión.

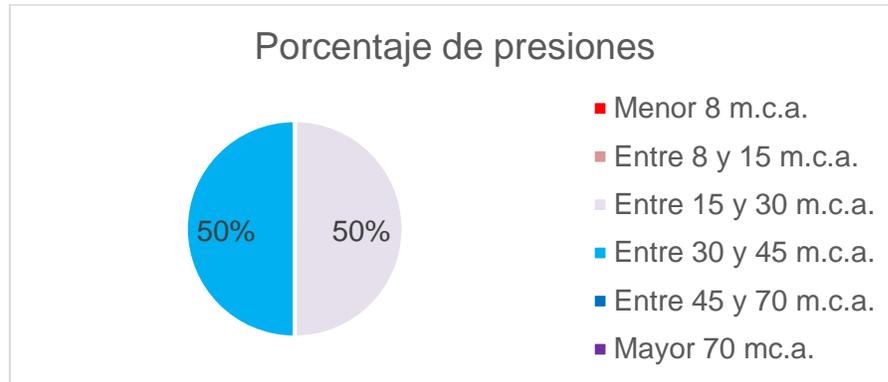


Gráfico 8: Porcentaje de presiones Sector Poniente A.

Fuente: Elaboración propia.

El Sector B presenta problemas de suministro debido al aumento en la cota de terreno produciendo pérdidas de carga por diferencia de cotas (21 metros).

El perfil longitudinal de la matriz principal del sector poniente B se muestra en el Gráfico 9.

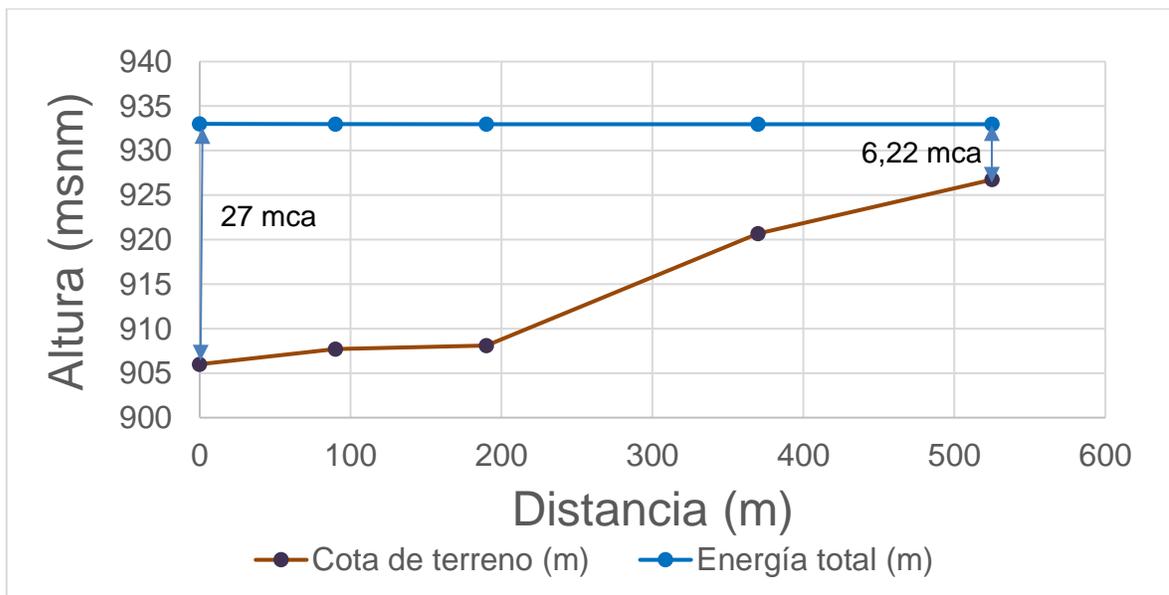


Gráfico 9: Perfil longitudinal Sector Poniente B.

Fuente: Elaboración propia.

El Gráfico 10 muestra el rango de presiones de toda su extensión, teniendo máximas de 27 mca. y mínimas de 6,22 mca.

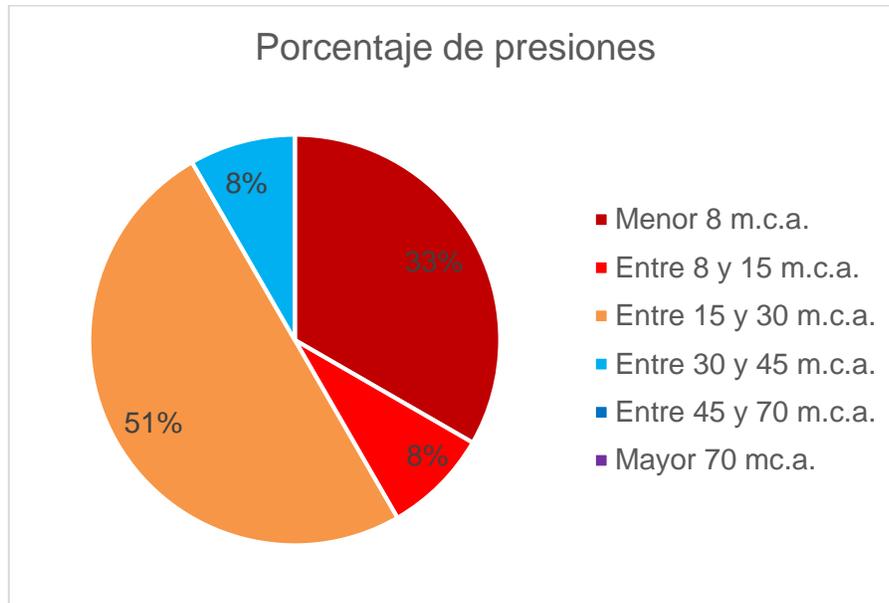


Gráfico 10: Porcentaje de presiones Sector Poniente B.

Fuente: Elaboración propia.

7.3.2 Sector Sur-Poniente

Diagnóstico: El sector sur-poniente es alimentado por una tubería de PVC de 110 mm que nace de una conexión con la matriz de HDPE de 140 mm ubicada en el sector centro de la red de distribución, por lo tanto, el flujo debe recorrer cerca de 1.658 metros de ida y vuelta, produciendo pérdidas de carga de 22,33 metros.

El Gráfico 11 muestra las pérdidas de energía del Sector Sur-Poniente según resultados obtenidos con la modelación matemática en EPANET.

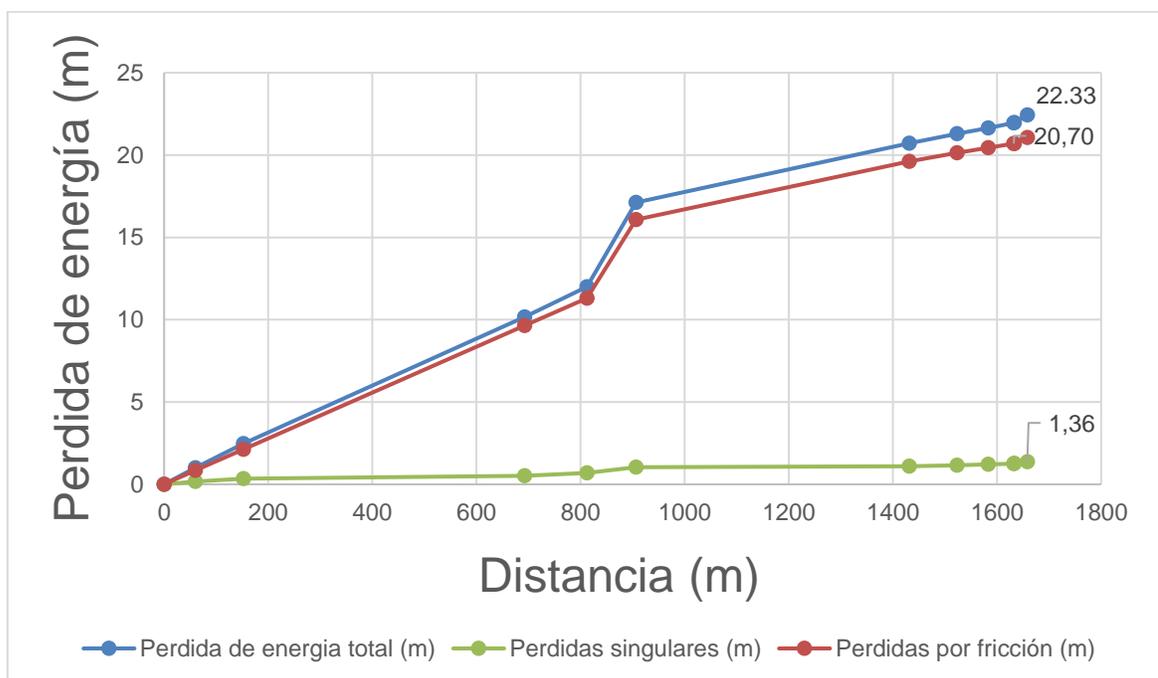


Gráfico 11: Pérdidas de energía (m), Sector Sur-poniente

Fuente: Elaboración propia.

Dichas pérdidas de energía son provocadas en su mayor parte por las pérdidas por fricción debido al aumento de la velocidad del flujo (0,9 m/s a 1,3 m/s) por la disminución del diámetro de la tubería principal de este sector (HDPE 140 mm a PVC 110 mm) y la longitud asociada a dichos tramos. Mientras que las pérdidas singulares no sobrepasan el 6% de las pérdidas totales.

En el Gráfico 12 se muestra el perfil longitudinal de la matriz principal del Sector Sur-Poniente.

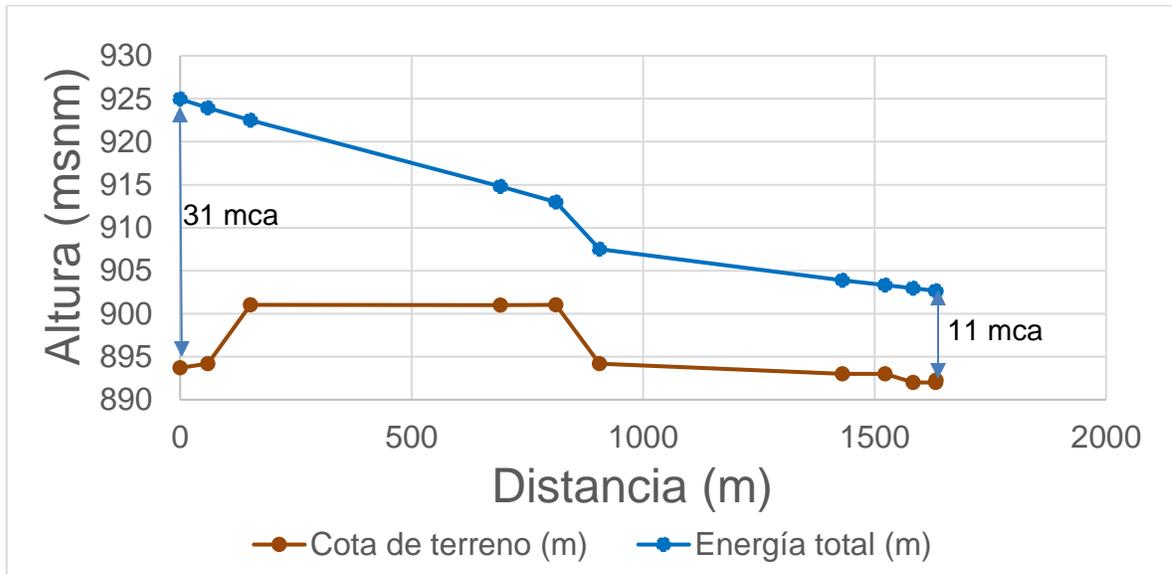


Gráfico 12: Perfil longitudinal Matriz principal Sector Sur-Poniente.

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al porcentaje de las presiones, el 93% se encuentran entre 8 y 15 mca. y el 7% no cumple con el mínimo para zonas rurales como se muestra en el Gráfico 13.

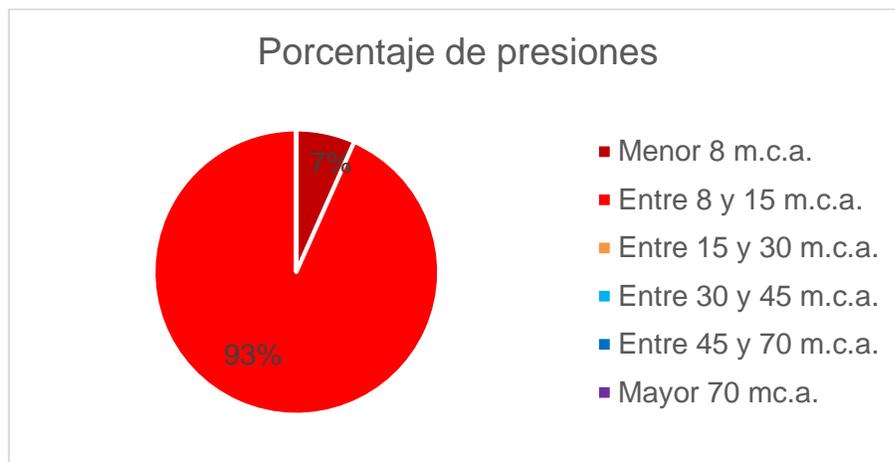


Gráfico 13: Porcentaje de presiones Sector Sur-Poniente.

Fuente: Elaboración propia.

7.3.3 Sector Nor-Poniente

Diagnóstico: Al igual que el Sector Sur-Poniente, este sector tiene un déficit en la entrega de sus presiones por sus altas pérdidas de carga debido al trayecto que debe recorrer el flujo para alimentar el sector, en el cual un 43% de las presiones se encuentran bajo los 8 mca. y solo un 57% entre los 8 y 15 mca.

Además, posee problemas con el suministro, ya que la conexión que abastece este sector es de PVC 50 mm el cual no da abasto con la demanda de la población.

En la Figura 14 se muestra un esquema del trayecto que debe recorrer el flujo para abastecer al Sector Nor-Poniente con la conexión de PVC 50 mm.

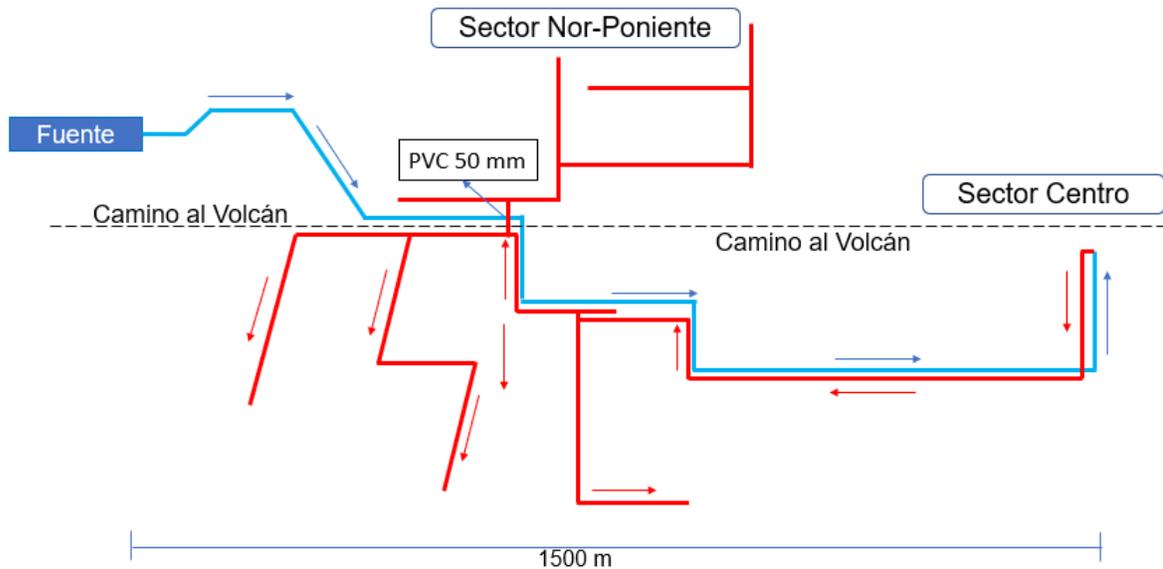


Figura 14: Esquema red de tuberías de Agua Potable Sector Nor-Poniente. El Manzano

Fuente: Elaboración propia

7.3.4 Sector Centro

Diagnóstico: Este sector posee una buena entrega de presiones a lo largo de toda su extensión, un 92% de estas cumple con las mínimas y un 38% tiene una entrega considerablemente buena en comparación con el resto del comportamiento de la red de distribución, las cuales están entre los 15 y 30 mca.

La distribución porcentual de las presiones del Sector Centro se encuentran en el Gráfico 14.

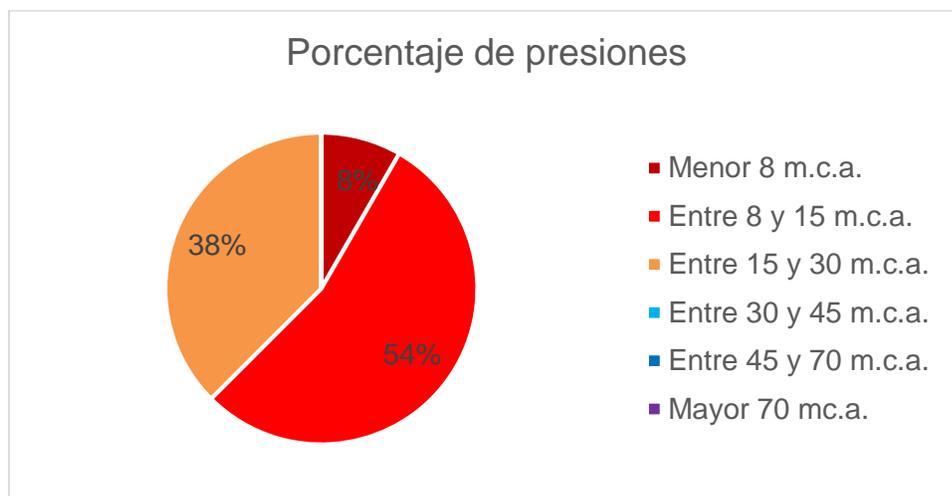


Gráfico 14: Porcentaje de presiones Sector Centro.

Fuente: Elaboración propia

El 8% de las presiones que no sobrepasan los 8 mca. se debe a las pérdidas de energía por diferencia de cotas de la matriz que alimenta el pasaje Los Laureles en el Sector Centro-Norte.

El perfil longitudinal de la matriz principal del Sector Centro-Norte se muestra en el Gráfico 15.

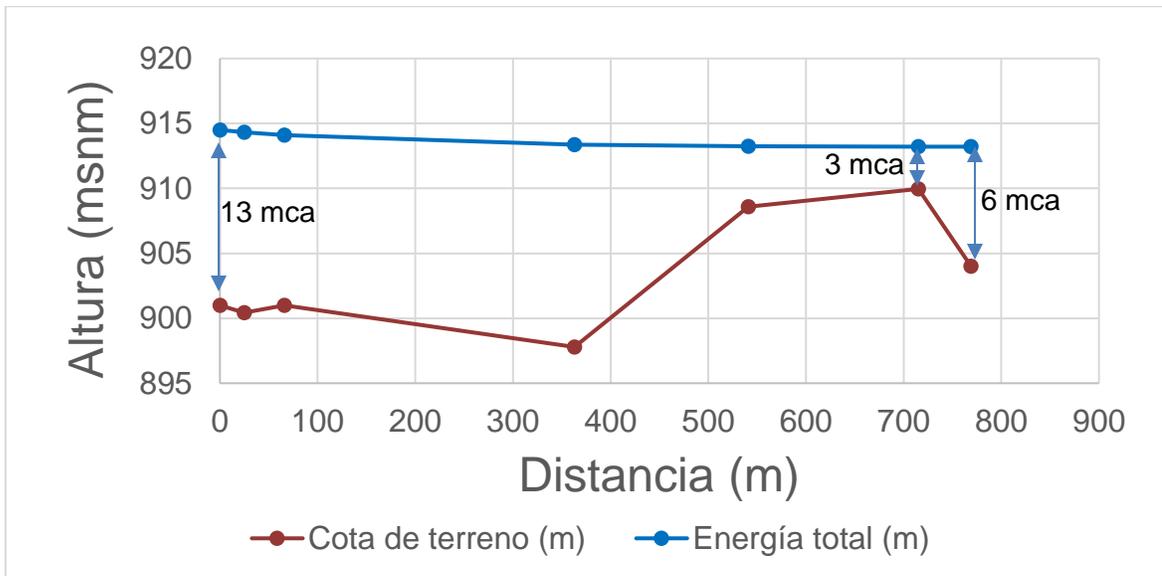


Gráfico 15: Perfil longitudinal, Matriz calle Los Laureles.

Fuente: Elaboración propia

7.3.5 Sector Oriente

Diagnóstico: El sector oriente de la red de agua potable es alimentado por una tubería de PVC de 110 mm que pasa por una bomba ESPA PRISMA N 35 y desde ahí recorre 832 m hasta llegar al extremo oriente de la red.

Este sector es el sector más alejado del punto de conexión de Aguas Andinas (3.580 m) y además el que posee mayor diferencia de cotas con respecto al origen del suministro (25 metros). Por lo tanto, es el que tiene mayor dependencia de la presión que entregue Aguas Andinas desde el macromedidor, ya que desde el macromedidor hasta la bomba que alimenta el sector oriente existen pérdidas de carga de aproximadamente 29 m.

En este sector las presiones bajo los 8 mca. sobrepasan el 80% mientras que el restante se encuentra entre 8 y 15 mca.

Como se muestra en el Gráfico 16, según el resultado del modelo matemático en EPANET, la cota en el punto donde se encuentra la bomba ESPA prisma N35 sobrepasa la altura total entregando presiones negativas lo cual impide el funcionamiento de esta bomba. Sin embargo, la modelación de igual forma entrega la altura de carga que aporta la bomba.

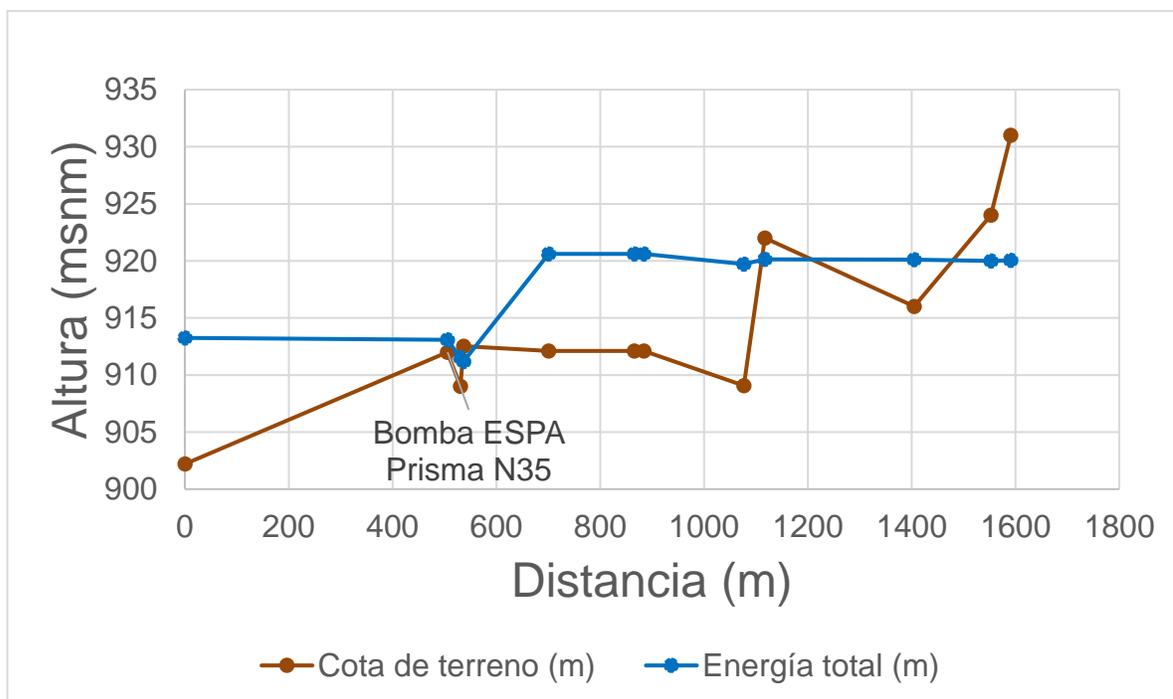


Gráfico 16: Perfil longitudinal, Matriz principal Sector Oriente

Fuente: Elaboración propia

El resultado evidencia la falta de capacidad de la bomba, ya que el caudal de entrada en la bomba (3,4 L/s), supera su capacidad máxima (2,5 L/s) y es por esto que la altura que entrega la bomba es menor a la especificada (23 m con 2,5 L/s).

Además, según el resultado del modelo, es probable que el flujo producido por la bomba esté siendo recirculado debido al mal funcionamiento de una válvula de retención en el Pasaje Las Algas.

En la Figura 15 se muestran los resultados de la modelación de la zona más poblada del Sector Oriente evidenciando el déficit en la presión de entrega.

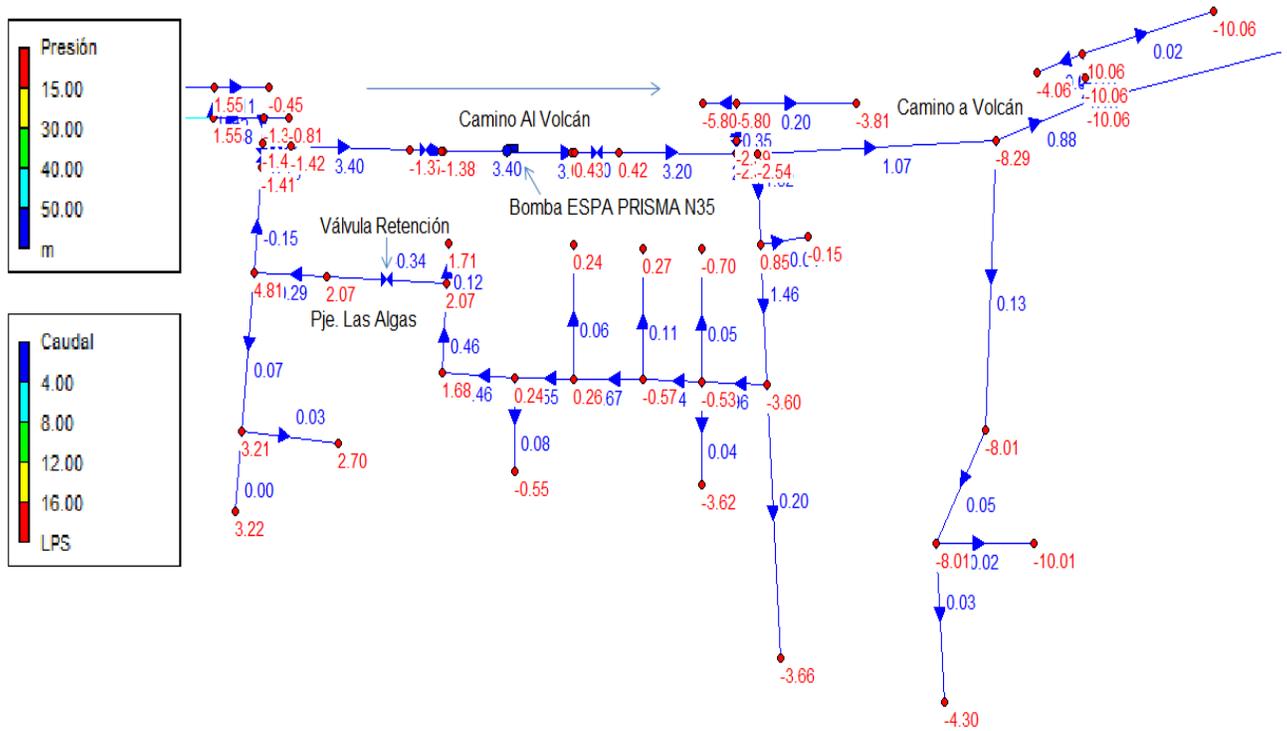


Figura 15: Presiones inadmisibles (negativas) Sector Oriente.

Fuente: Elaboración propia.

8 ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EL MANZANO

Una vez realizado el diagnóstico de la red, se generaron las alternativas de mejoramiento, identificando las alternativas por prioridad y factibilidad.

Las alternativas de mejoramiento fueron diseñadas para dar soluciones de emergencia en el corto plazo a través de soluciones simples.

Para dar solución al problema de raíz se requiere una inversión mayor, ya que se debe hacer un replanteo completo del trazado, y en consecuencia un rediseño de la red de distribución.

Las alternativas de mejoramiento fueron analizadas de forma separadas correspondientes a cada sector y a su vez se realizó un análisis del comportamiento global con estas modificaciones particulares.

8.1 Alternativa de mejoramiento I Sector Poniente

Según el resultado de la modelación con las presiones de entrega por parte de Aguas Andinas corregidas, en este sector solo se debería instalar una válvula reductora de presión de 50 mm, la cual se regulará para mantener una presión adecuada en el sector independiente del caudal que pase por esta tubería.

8.2 Alternativa de mejoramiento II Sector Sur-Poniente

Para dar solución a las pérdidas de cargas excesivas (22,43 m) que se producen en el trayecto del flujo para alimentar el Sector Sur-Poniente (1658 m ida y vuelta).

La propuesta consiste en hacer una conexión entre sectores por medio de una tubería (bypass) de PVC 110 mm, conectando la tubería principal de HDPE 140 mm con la de PVC 110 mm que pasa por la calle EL Quillay a unos 12 metros de distancia Ver Figura 16.

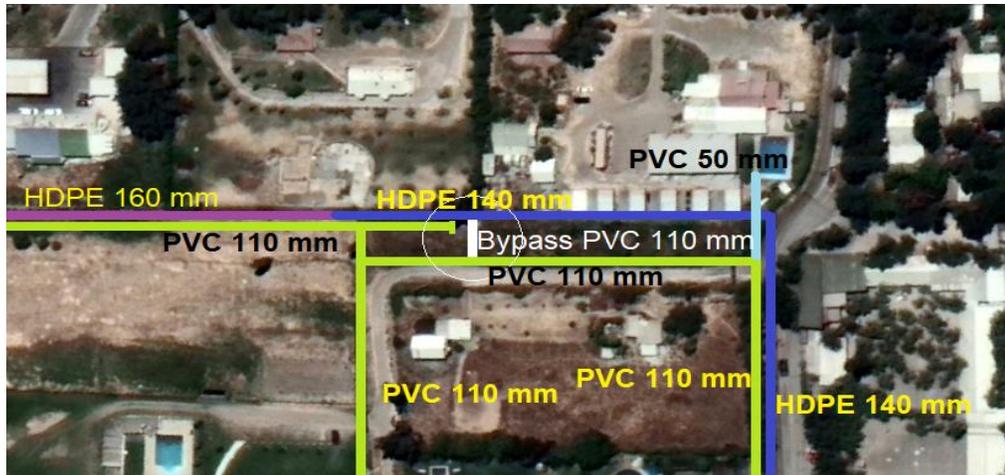


Figura 16: Bypass PVC 110 mm, Sector Sur-Poniente. El Manzano.

Fuente: Elaboración propia. Google Earth.

Para diseñar la conexión se pidió a los funcionarios de la Comunidad de Agua Potable excavar una calicata en cada extremo del bypass proyectado para verificar la ubicación y el diámetro de ambas tuberías.

En la Figura 17 (calicata 1) se confirma el diámetro, ubicación y material de la tubería principal a la cual se le realizará la conexión del bypass (HDPE 140 mm).

Al lado de esta se encuentra una tubería secundaria la cual alimenta a algunos arranques domiciliarios del Sector Centro. Ambas se encuentran a una profundidad de 0,95 m incumpliendo con la clave mínima establecida por norma.

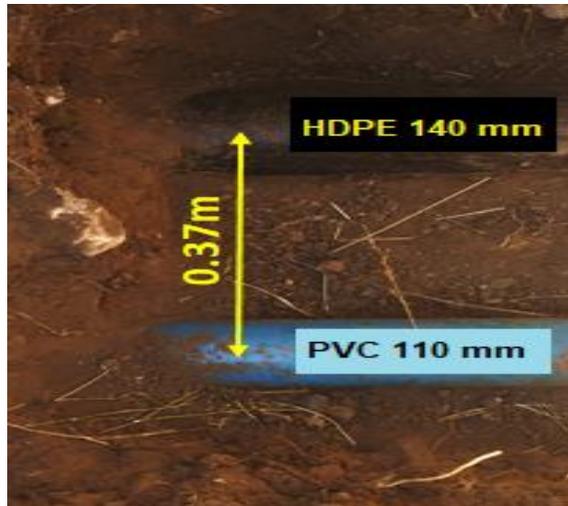


Figura 17: Calicata 1, Tubería principal de HDPE 140 mm. Calle El Manzano.

Fuente: Fotografía propia.

En la Figura 18 (calicata 2) se confirma el diámetro, ubicación y material de la tubería que alimenta el Sector Sur-Poniente (PVC 110 mm) a la cual se le realizará la conexión del bypass. Esta tubería se encuentra a una profundidad de 1.10 m cumpliendo con la clave mínima establecida por norma.



Figura 18: Calicata 2, Tubería PVC 110 mm Sector Sur-Poniente. Calle el Manzano.

Fuente: Fotografía propia.

Esta conexión entre la tubería principal (HDPE 140 mm) y la tubería que alimenta el sector Sur-Poniente (PVC 110 mm) permitirá mejorar las presiones del Sector Sur-Poniente ya que las pérdidas de carga que se producían en este sector se debían el extenso recorrido que debía realizar el flujo para abastecer al Sector Sur-Poniente.

8.2.1 Modelo en EPANET Alternativa de mejoramiento II

En la Figura 19 se muestran las presiones y velocidades del resultado del modelo hidráulico con la alternativa de mejoramiento II.

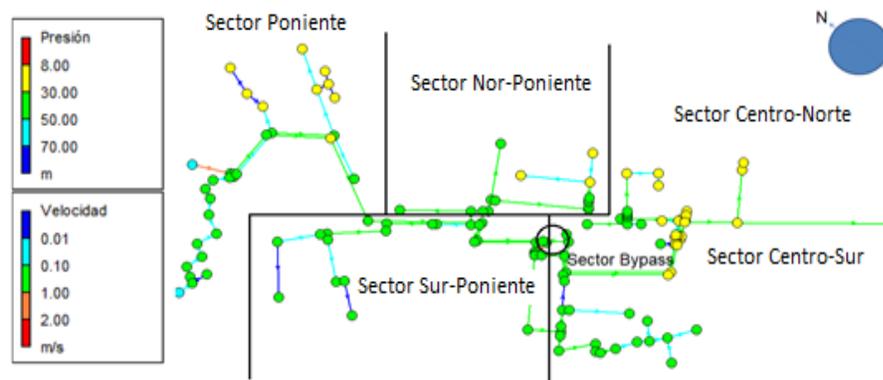


Figura 19: Presiones y velocidades Alternativa de mejoramiento II. EPANET

Fuente: Elaboración propia.

Según el modelo las presiones y velocidades se regulan considerablemente en todos los sectores al modelar el bypass. Si bien esta alternativa de mejoramiento buscaba disminuir las pérdidas de carga en el Sector Sur-Poniente, termino por ser una alternativa de mejoramiento eficiente para un alto porcentaje de la red de distribución ya que, en el Sector Poniente, Sur-Poniente y Centro las presiones cumplen con el mínimo para zonas rurales y además se encuentran dentro de lo establecido según la norma NCH 691. Ver Gráfico 17.

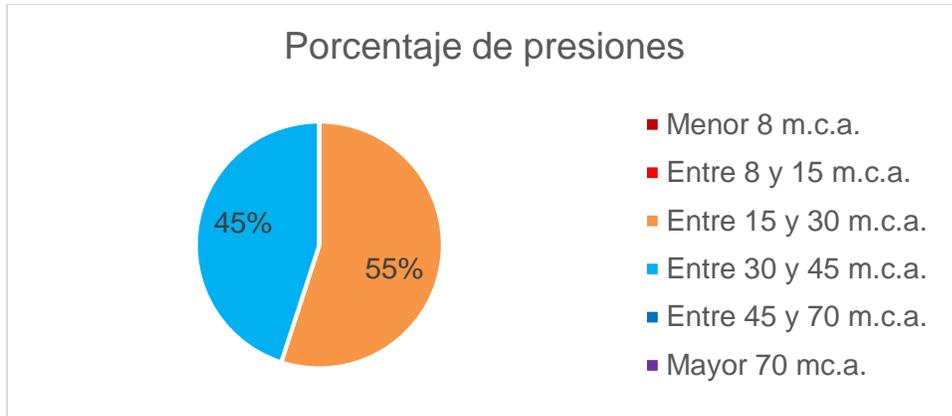


Gráfico 17: Porcentaje de presiones Sector Sur-poniente.

Fuente: Elaboración propia. EPANET.

El aumento de las presiones a lo largo de la matriz principal del Sector Sur-Poniente con la alternativa II se muestran en el Gráfico 18.

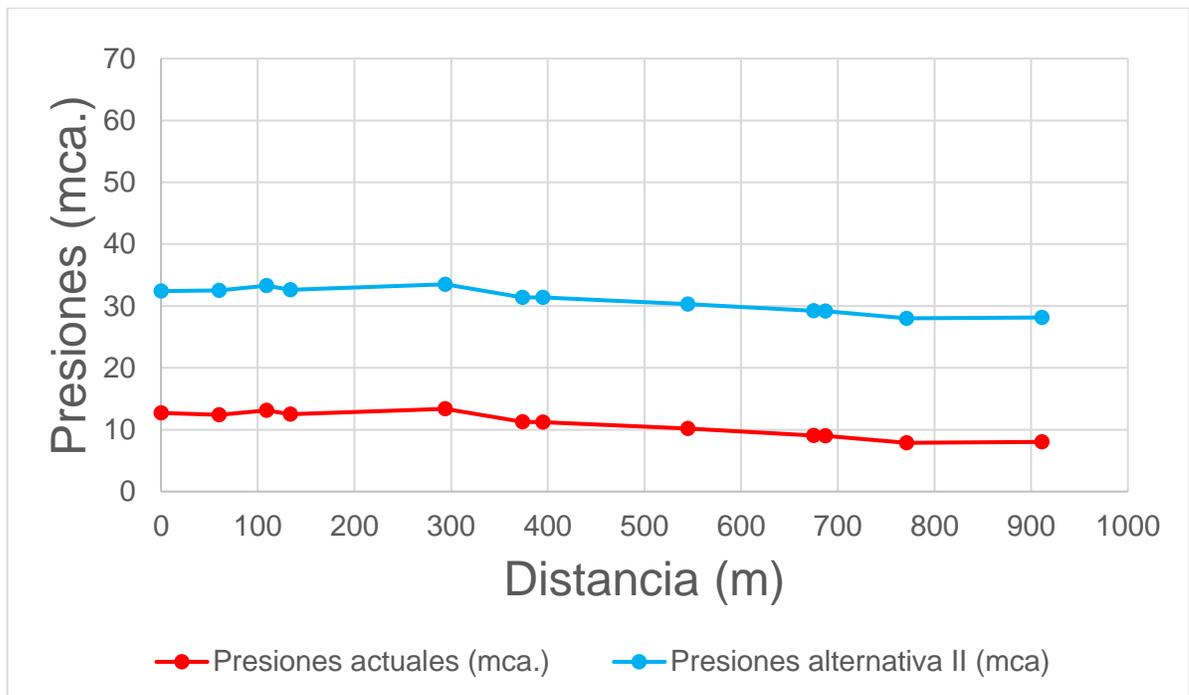


Gráfico 18: Aumento de presiones en la matriz principal, alternativa II.

Fuente: Elaboración propia.

El aumento de las presiones a lo largo de la matriz principal del Sector Centro-Sur con la alternativa II se muestran en el Gráfico 19

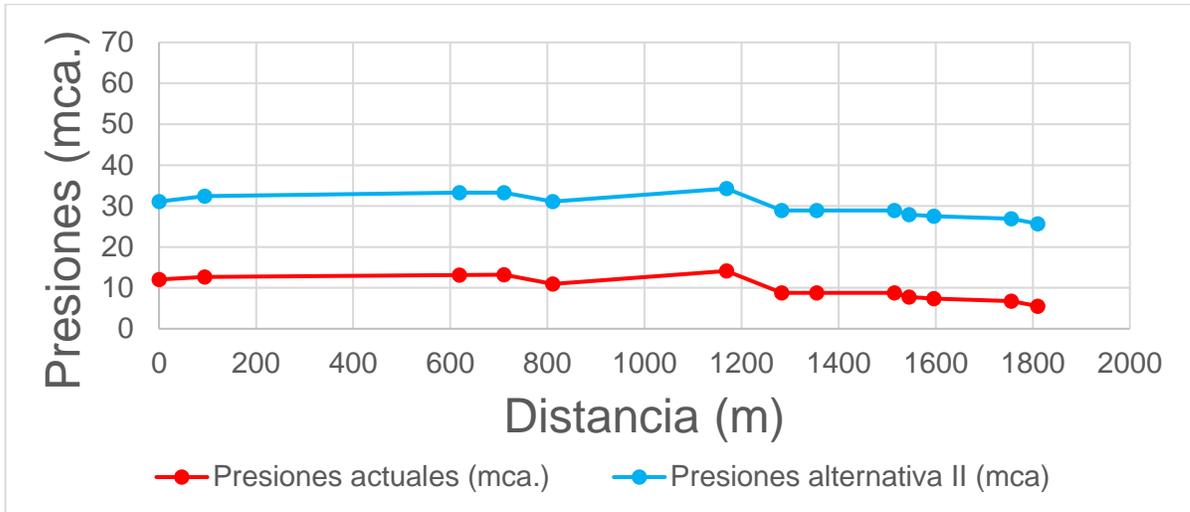


Gráfico 19: Aumento de las presiones en la matriz principal, Sector Centro-Sur

Fuente: Elaboración propia.

El aumento de las presiones a lo largo de la matriz principal del Sector Centro-Norte con la alternativa II se muestran en el Gráfico 20

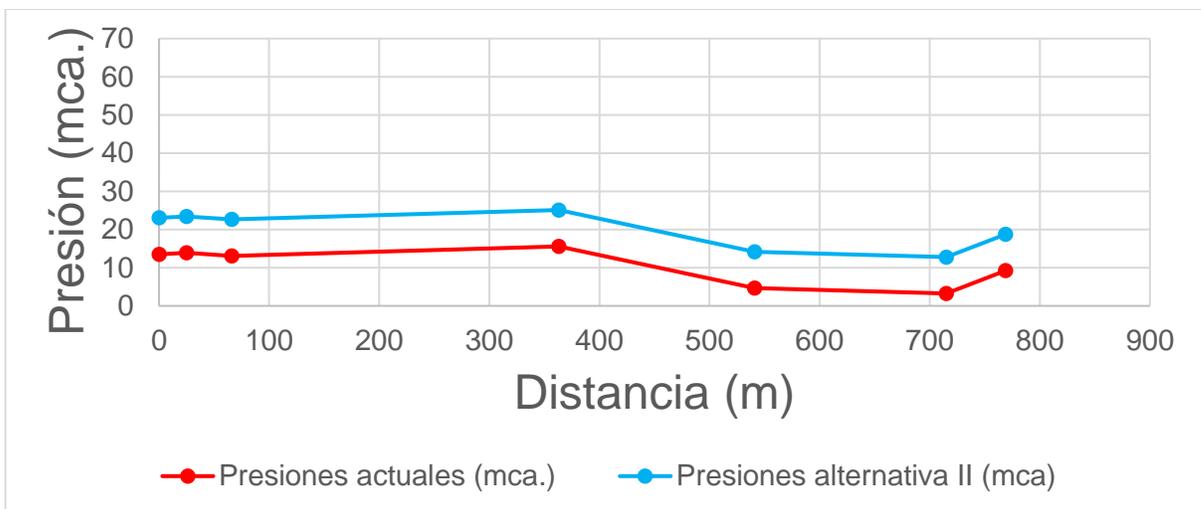


Gráfico 20: Aumento de las presiones en la matriz principal, Sector Centro-Norte

Fuente: Elaboración propia.

8.3 Alternativa de mejoramiento III Sector Nor-Poniente

Aunque la alternativa de mejoramiento II soluciono el problema del Sector Nor-Poniente en cuanto a la entrega de presiones bajas por las pérdidas de energía por el extenso trayecto, aún falta por dar solución al problema de abastecimiento.

Si bien para dar solución a este problema basta con reemplazar la tubería que alimenta este sector (PVC 50 mm) por una de mayor diámetro, esta alternativa queda descartada ya que en uno de los extremos de la conexión con la matriz que la alimenta dicha tubería pasa por propiedades privadas y además realizar trabajos en este camino cortarían el único acceso a la Localidad El Manzano y al resto de la Comuna de San José de Maipo.

La propuesta para dar solución al problema consiste en conectar el Sector Centro y el Sector Centro-Poniente por medio de una tubería de PVC 110 mm de 180 metros. Esta tubería tendrá origen en el Sector Centro en la calle Los Laureles y tendrá fin en la calle Los Maquis.

Además, se debe contemplar el cierre de una válvula de regulación en el Sector del atravesado que alimenta actualmente dicho sector.

Con esta conexión y cierre de válvula se espera que las presiones en toda la extensión del Sector Centro-Poniente se regularicen.

Para diseñar la conexión se pidió a los funcionarios de la Comunidad de Agua Potable excavar una calicata en cada extremo de la conexión proyectada para verificar la ubicación y el diámetro de ambas tuberías.

En la Figura 20 (calicata 3) se confirma el diámetro, ubicación y material de la tubería en la calle Los Laureles (PVC 75 mm) la cual en su extremo posee una válvula de regulación de 75 mm sin su respectiva cámara de válvula. Además, se encuentra a una profundidad de 0,6 m incumpliendo con la clave mínima establecida por norma.



Figura 20: Calicata 3, Tubería PVC 75 mm. Calle Los Laureles.

Fuente: Fotografía Propia

En la Figura 21 (calicata 4) se confirma el diámetro, ubicación y material de la tubería en el Sector Centro-Poniente (PVC 75 mm) a la cual se le realizará la conexión de la tubería que conectara ambos sectores. Esta tubería se encuentra a una profundidad 0,75 m aproximadamente incumpliendo con la norma.



Figura 21: Calicata 4, Tubería PVC 75 mm. Calle Los Maquis, El Manzano

Fuente: Fotografía Propia.

8.3.1 Modelo en EPANET Alternativa de mejoramiento III

En la Figura 22 muestran las presiones y velocidades del resultado de la modelación hidráulica con la alternativa II.

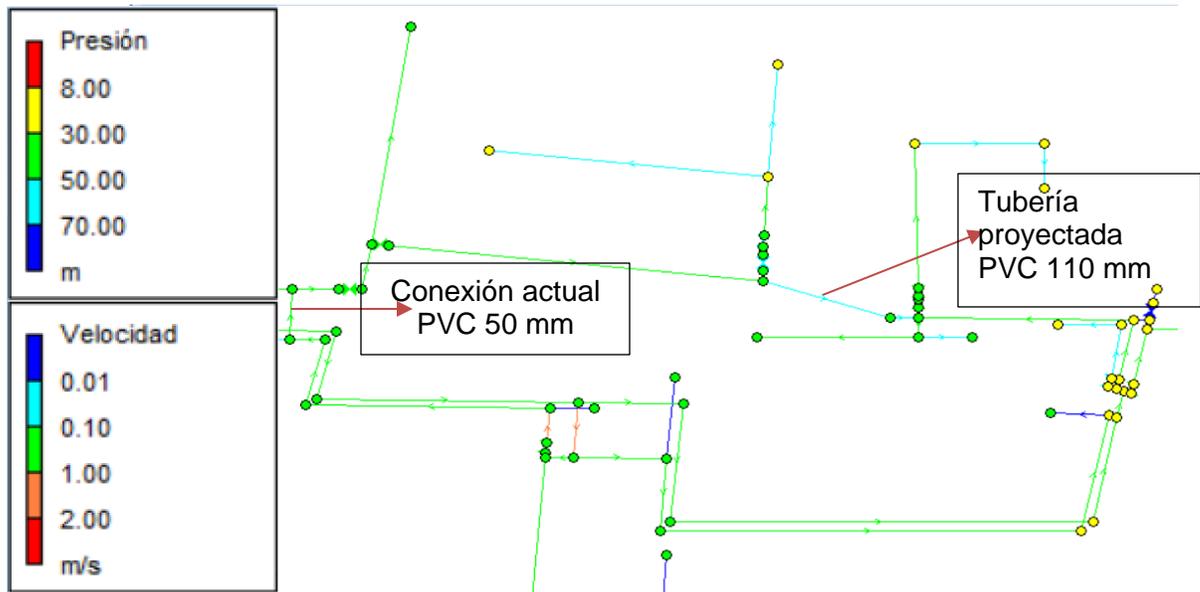


Figura 22: Presiones y velocidades Alternativa III. EPANET.

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados del modelo hidráulico el 100% cumple con las presiones mínimas para zonas rurales y un 86% con la norma para zonas urbanas como se muestra en el Gráfico 21.

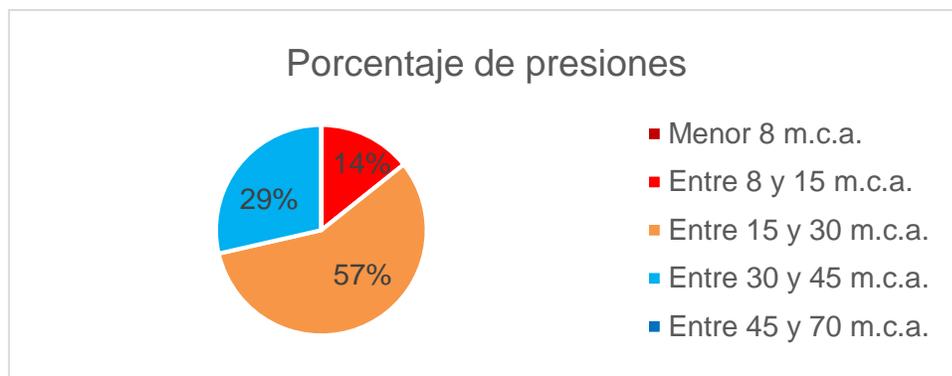


Gráfico 21: Porcentaje de presiones Sector Nor-Poniente. Alternativa III.

Fuente: Elaboración propia.

El aumento de las presiones en la matriz principal del Sector Nor-Poniente con la alternativa III se muestran en el Gráfico 22.

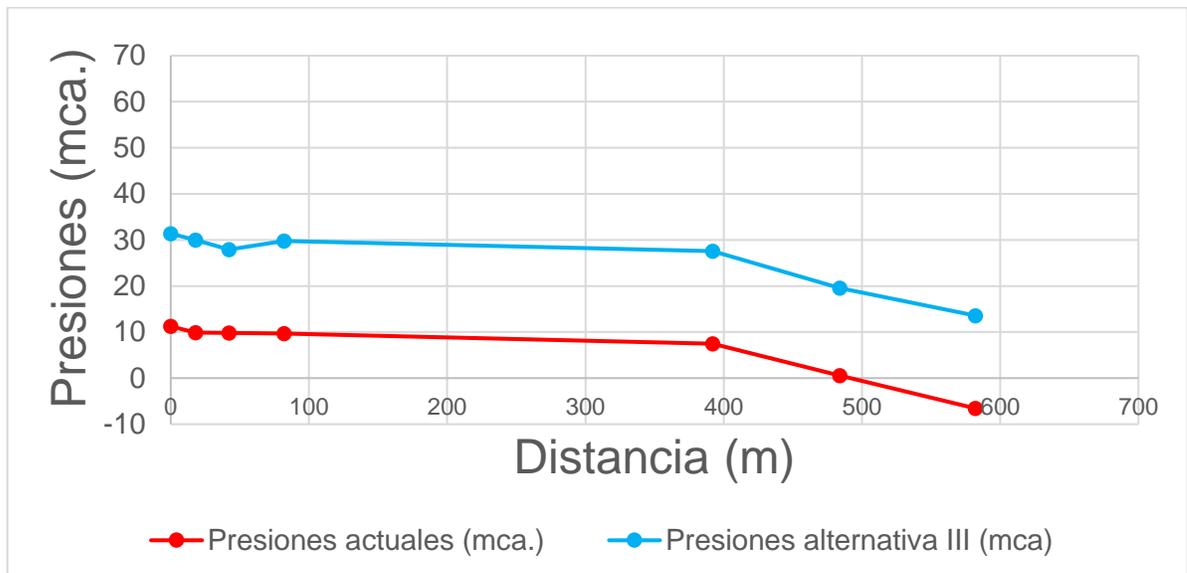


Gráfico 22: Aumento de las presiones. Sector Nor-Poniente, alternativa III

Fuente: Elaboración propia.

8.4 Alternativa de mejoramiento IV Sector Oriente

Como la alternativa de mejoramiento del bypass en el Sector Sur-Poniente da solución a la mayoría de los sectores de la red de distribución de agua potable, solo queda solucionar el problema de la falta de capacidad de la bomba ESPA PRISMA N 35 en el Sector Oriente.

Además, se debe verificar el funcionamiento de la válvula de regulación la cual puede estar provocando la recirculación del flujo de la bomba. Para esto se le solicitó a la Comunidad de Agua Potable el Manzano realizar mediciones de las presiones con manómetros ubicados en el punto más lejano del Sector Oriente.

Estas mediciones se realizaron con la válvula de regulación en estado cerrado y luego otra medición en estado abierto. Luego de transcurrir al menos 1 hora desde el cierre, el resultado de las mediciones insitu mostraron un aumento en las presiones de al menos 11 psi (7,73 mca). Además, según los resultados del modelo en EPANET al cerrar la válvula de regulación las presiones de la zona más lejana del sector oriente aumentaron en 10,52 mca. en comparación con su estado abierto.

En base a estas mediciones insitu y a los resultados obtenidos por el modelo en EPANET, se concluye que el estado de la válvula de regulación debe permanecer cerrada para evitar la recirculación del flujo por parte de la bomba.

Si bien se regularon las presiones en el Sector Oriente por el cierre de la válvula de regulación, la bomba que está encargada de aportar la carga necesaria para el aumento de la presión en los sectores más lejanos de El Manzano, sigue sin la capacidad de entrega de su altura especificada (25 m), ya que el caudal de diseño donde se encuentra la bomba (3,2 L/s) sobrepasa su límite de rendimiento (2,5 L/s).

Es por esto que la alternativa de mejoramiento del Sector Oriente contemplara el cambio de la bomba ESPA PRISMA N35 por cualquier bomba comercial que tenga las características de entrega de al menos 23 m para un caudal de 5 L/s ya que se debe considerar el crecimiento poblacional.

Sin embargo, la alternativa de mejoramiento óptima para el Sector Oriente de la red de distribución contempla la instalación de un estanque superficial de HDPE ubicado en el origen del sector, el cual garantiza el suministro requerido en las horas de mayor consumo y a su vez compensar las variaciones del consumo durante el día, además del volumen de reserva que proporciona.

El estanque de abastecimiento se ubicará en la calle “Camino Al Establo” ubicada a pocas cuadras de la Comunidad de Agua Potable El Manzano tal como se muestra en la Figura 23.



Figura 23: Ubicación del Estanque El Establo. El Manzano.

Fuente: Elaboración Propia. Google Earth.

Como el caudal máximo diario actual del Sector Oriente es de 2,84 (L/s), la proyección de este caudal con el crecimiento anual del 2% de la Comuna de San José de Maipo se tiene un caudal máximo diario de:

$$Q = 2,38 (1,02)^{10} = 3,46 \text{ (L/s)}$$

8.4.1 Volumen y dimensiones del Estanque El Establo

Como el diámetro de la matriz principal que alimenta el Sector Oriente no contempla la condición del diseño con grifos de incendio, el dimensionamiento del estanque solo considera el volumen de regulación y de reserva.

- Volumen de regulación + Volumen de reserva

Siendo.

Volumen de regulación: El volumen mínimo de regulación debe ser el 15% del consumo máximo diario.

$$V_{regulación} = 0,15 * 0,00346 \frac{m^3}{s} * 86400 s = 47,17 m^3$$

Volumen de reserva: El volumen mínimo de reserva del sistema de distribución, considerando sus características particulares, debe ser equivalente a 2 horas del caudal del día de máximo consumo previsto para localidades de hasta 200.000 habitantes abastecidos.

$$V_{reserva} = 2 * 3600s * 0,00346 \frac{m^3}{s} = 24,912 m^3$$

Por lo tanto

- Volumen de regulación + Volumen de reserva = 72,082 m³

Por lo tanto, el estanque para el Sector Oriente debe tener al menos 80 m³ con un caudal máximo diario de 3,46 L/s.

8.4.2 Dimensionamiento de la planta de bombeo

La planta de bombeo se diseña para alimentar el sector oriente de la localidad, el cual cuenta con 159 arranques de un total de 460, es decir un poco más de un tercio del consumo de toda la localidad.

El caudal máximo horario para el Sector Oriente es de 4,27 (L/s) como se puede ver en la tabla 10.

Por lo tanto, la planta de bombeo debe proporcionar los caudales de producción correspondientes al Sector Oriente. Además, considerando un período de 10 años y una tasa de crecimiento poblacional de un 2% anual de la Comuna de San José de Maipo, se tiene:

$$Q = 4,27 (1,02)^{10} = 5,205 \text{ (L/s)}$$

$$\mathbf{Q_{diseño} = 5,2 \text{ (L/s)}}$$

$$Q_{diseño} = 312,3 \text{ (L/min)}$$

$$Q_{diseño} = 18,7 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

La altura de bombeo es igual al desnivel topográfico entre el estanque y el punto más alejado y más elevado, más las pérdidas de energía y más la presión de trabajo (15 m).

$$\text{Desnivel } 931,19 - 902,20 = 28,99 \text{ m}$$

$$\text{Presión de trabajo: } = 15,00 \text{ m}$$

$$\text{Pérdida de energía } = 7,96 \text{ m}$$

$$\text{Total } = 51,95 \text{ m}$$

$$\mathbf{H_B = 51,95 \text{ m}}$$

En la se puede ver en la Figura 24 la familia de bombas Pedrollo 2CP, de las cuales se selecciona el modelo 2CP40/180C que tiene una potencia de 5,5 HP (4 kW) que entrega un caudal de 350 L/min a una presión de 52 m. También se pueden instalar dos unidades en paralelo modelo 2CP32/200C de 3 kW (4 HP) cada una más la bomba de repuesto.

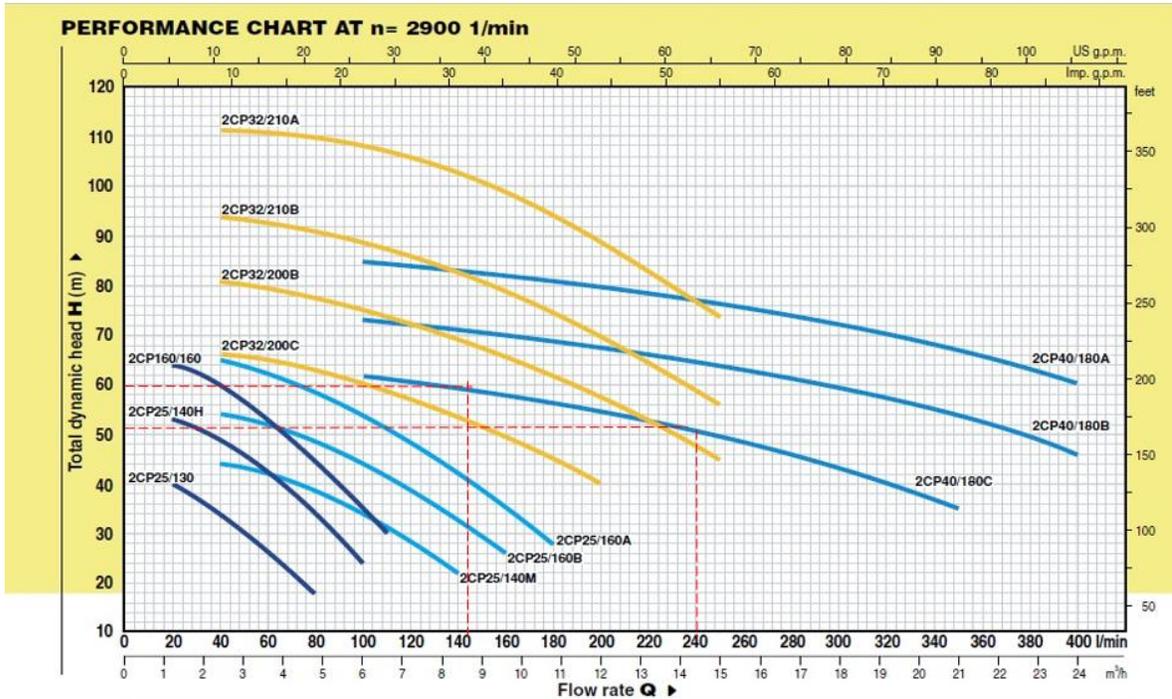


Figura 24: Curva bomba 2cp40/180c

Fuente: Catalogo Bombas Pedrollo Serie 2CP

Para el control de partida y parada de la bomba se especifica un sistema con estanque hidroneumático. De la Figura 24 se obtienen los caudales y presiones de diseño, los cuales se muestran en la

Tabla 11: Parámetros de cálculo estanque hidroneumático

Variable	Valor	Unidad
Pa	5,2	Bar
Pb	6,0	Bar
Qa	240	L/min
Qb	141	L/min

Fuente: Elaboración propia

- El caudal medio es:

$$Q_m = (240 + 141) / 2 = 190,5 \text{ L/min}$$

- El Volumen de Regulación está dado por:

$$V_R = Q_m \times T / 4$$

Donde T es el tiempo de ciclo entre partidas de la bomba, el cual depende de la potencia de la bomba y se puede obtener de la Tabla 12

Tabla 12: Tiempo de ciclo

Potencia Bombas HP	T (min)
1-3	1,2
3-5	1,5
5-7,5	2
7,5-15	3
15-30	4
30-50	6

Fuente: Elaboración propia

En este caso la bomba seleccionada tiene 5,5 HP de potencia, por lo que el tiempo de ciclo es $T = 2$ minutos.

Por lo tanto, el volumen de regulación es:

$$VR = (190,5)(2) / 4 = 95,25 \text{ L}$$

El volumen del estanque hidroneumático está dado por:

$$V_E = V_R (P_B + 1)/(P_B - P_A)$$

Donde:

P_A : Es la presión (en Bar) correspondiente al menor caudal (Q_A en L/min)

P_B : Es la presión (en Bar) correspondiente al mayor caudal (Q_B en L/min)

V_R : Es el volumen de regulación.

Reemplazando se tiene:

$$V_E = (95,25)(6 + 1)/(6-5,2) = 833,43 \text{ L}$$

Por lo tanto, se especifica un estanque hidroneumático de 850 litros.

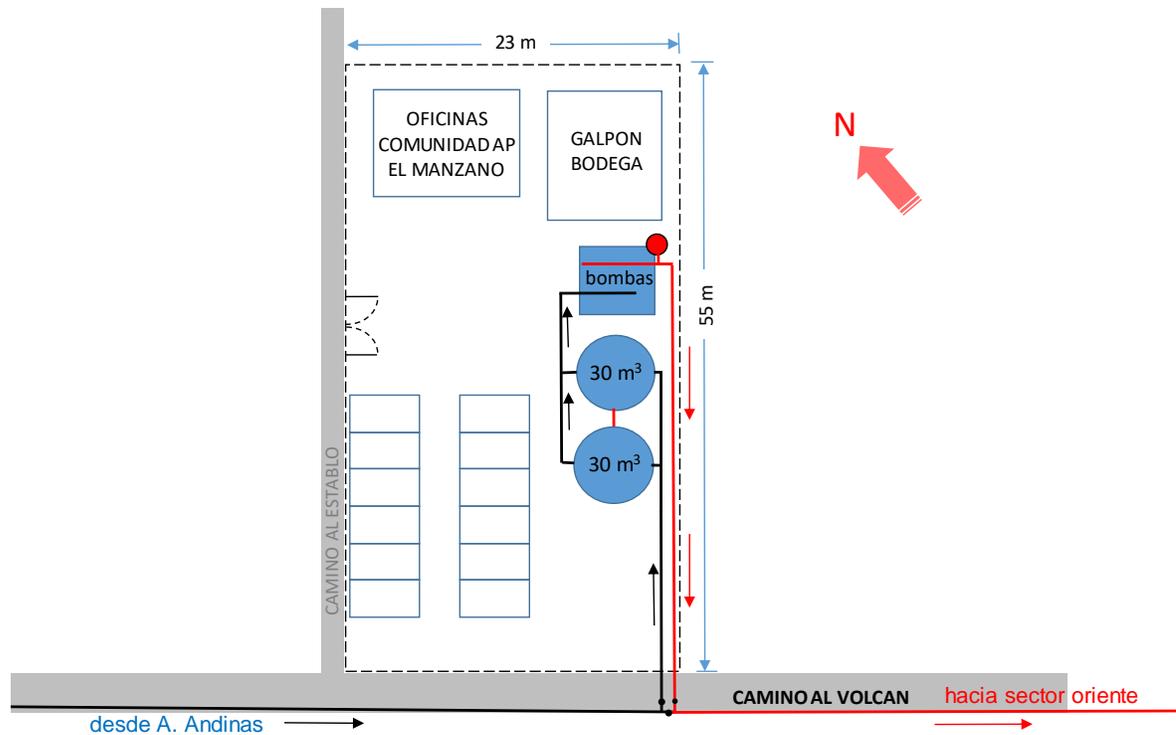


Figura 25: Esquema Estanque El Establo. El Manzano.

Fuente: Elaboración Propia.

Se recomienda construir la nueva estación de bombeo y estanque en el sitio de la Comunidad de Agua Potable ubicado en Camino al Establo, a unos 680 m al oriente de la actual ubicación de la bomba booster ESPA PRISMA N35, en el cual existe suficiente espacio, tal como se puede apreciar en la Figura 25.

8.4.3 Modelo en EPANET Alternativa IV

En la Figura 26 se muestran las presiones y velocidades del resultado de la modelación hidráulica con la alternativa IV.

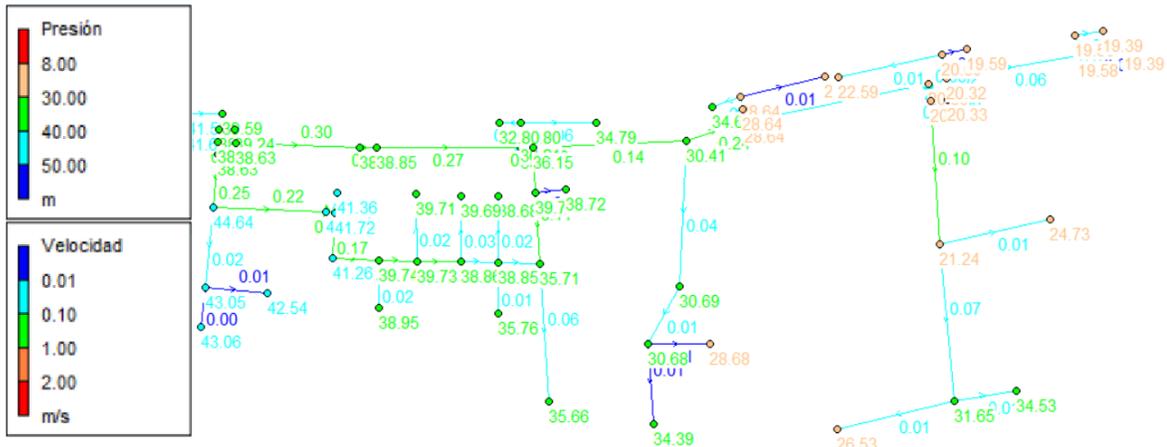


Figura 26: Presiones y velocidades alternativa IV. EPANET.

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados del modelo hidráulico existe un aumento considerable en las presiones del Sector Oriente debido a la instalación de dos estanques de 30 m³, el cual se puede ver en el Gráfico 23.

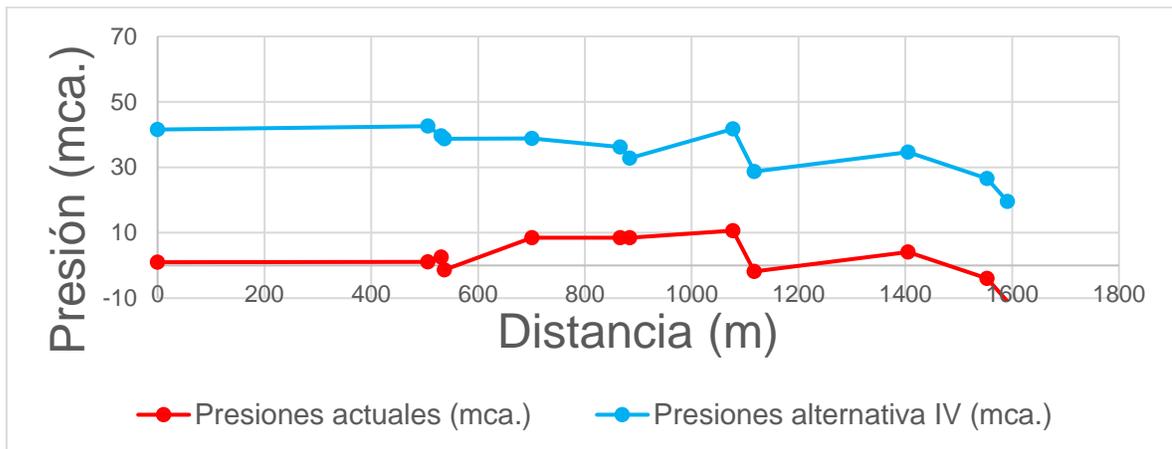


Gráfico 23: Aumento de Presiones matriz principal. Sector Oriente. Alternativa IV

Fuente: elaboración propia

8.4.4 Modelo hidráulico con todas las alternativas de mejoramiento

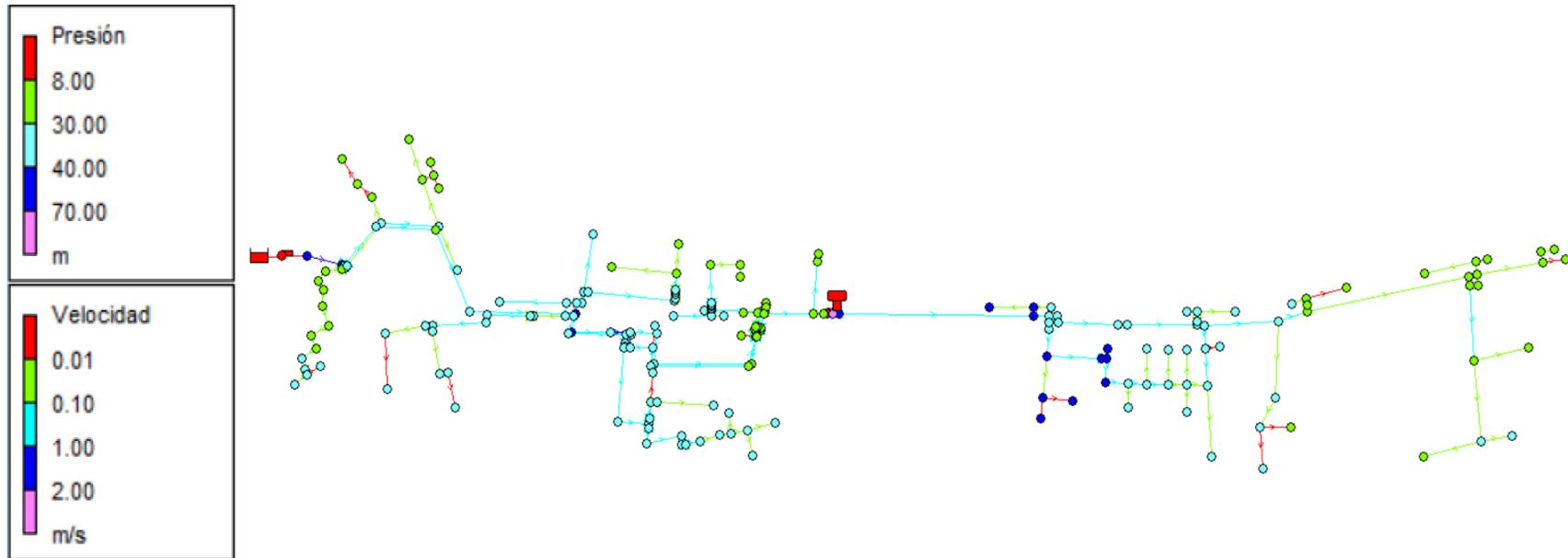


Figura 27: Presiones y Velocidades Red de distribución El Manzano. EPANET

Fuente: Elaboración Propia.

Según los resultados del modelo hidráulico mostrados en la Figura 27 con todas las alternativas de mejoramiento, las presiones de la red de distribución de agua potable cumplen con el mínimo establecido por norma para sectores rurales (8 mca) y un 96% de estas presiones cumplen con el mínimo establecido para sectores urbanos.

Los porcentajes de las presiones se pueden ver en el Gráfico 24. Mientras que el resultado de las presiones obtenidos del modelo hidráulico se encuentra en el Anexo IV.

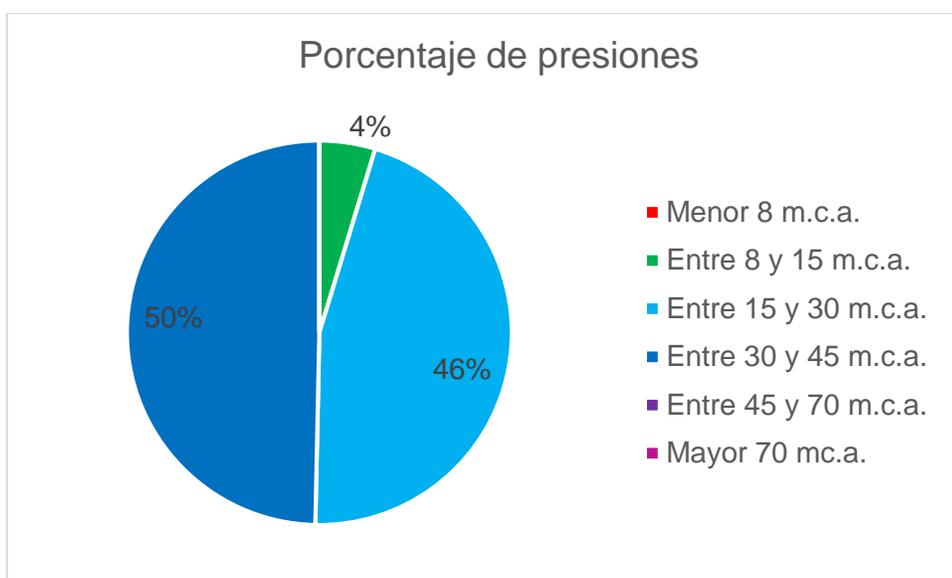


Gráfico 24: Porcentaje de presiones Alternativas de mejoramiento.

Fuente: Elaboración propia.EPANET.

9 Conclusiones y recomendaciones

1. En base al catastro del sistema de producción dejó en evidencia el deficiente servicio que Aguas Andinas presta a la Localidad de El Manzano, desde no contar con capacidad de almacenamiento de agua potable hasta la entrega de presiones insuficientes, lo cual conlleva a que un 44% de la red no cumpla con disponer de un mínimo de 8 mca, produciendo eventuales cortes del suministro.
2. Cabe destacar la variabilidad en la presión que entrega Aguas Andinas en el origen de la red, la cual varía entre 27 y 39 mca. Se debe a la falta de un sistema automático de operación de los filtros.
3. Se recomienda la instalación de un sistema automático de funcionamiento de los filtros, de modo que no dependa del operador.
4. La topología de la red de distribución requiere de un mejoramiento y una racionalización, ya que esta fue construida a medida que iba aumentando la demanda de nuevas conexiones sin realizar estudios de proyección.
5. El consumo máximo horario actual es de 13,98 L/s y la dotación de consumo es de 188,8 L/hab./día, los cuales fueron calculados usando de los registros de producción y facturación anual, considerando una población de 2300 habitantes calculado con 460 remarcadores y una densidad habitacional estimada de 5 habitantes por vivienda.
6. La diferencia entre la proyección según censos (1204 habitantes) y el cálculo considerando la densidad habitacional y el número de arranques (460) se debe al alto porcentaje de población flotante que posee la Localidad la cual alcanza un 47% de la población total con respecto al número de habitantes obtenido mediante el modelo del crecimiento geométrico.

7. Si bien todas las alternativas de mejoramiento permiten solucionar la problemática, la alternativa más conveniente según los resultados del modelo hidráulico es la alternativa II, ya que esta pasa a ser una solución en cuanto a las presiones para el Sector Sur-Poniente, Centro-Sur, Centro-Norte y parte del Sector Oriente.

8. Es recomendable contar con un estanque de almacenamiento y una estación de bombeo en el terreno de propiedad de la comunidad ubicado al costado norte de camino a Volcán con Camino al Establo, lo que permitiría asegurar el suministro a presión adecuada a los sectores Centro y Oriente de la localidad.

9. Si bien las alternativas de mejoramiento propuestas en este estudio fueron diseñadas para solucionar la problemática actual de la red de distribución, se recomienda contar con un estanque de almacenamiento y estación de bombeo que pueda abastecer a toda la Localidad de capacidad mínima de 300 m³ considerando un diseño a 20 años.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahumada, G., & Hernandez, J. (2002). *Estimacion de coeficientes de demanda de sistemas de agua potable*. Cancún, México.
- Castro, L. &. (2014). *Diseño de una planta de tratamiento de agua potable: Caso de estudio un Municipio de Santander*. Santander, Colombia .
- Fibras y normas de Colombia - Ingenieria en agua. (2019). *Tratamiento de agua | FYN DE COLOMBIA*. Recuperado el 14 de Marzo de 2019, de <https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/plantas-de-tratamiento-de-agua-potable-ptap-funcionamiento-y-tipos/>
- Instituto Nacional de Estadísticas - Chile. (2018). *Síntesis de resultados CENSO 2017*. Santiago de Chile.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2015). *Norma Chilena de la Construcción NCh 409/1 of.2015. Agua Potable - Parte 1 - Requisitos*. Santiago de Chile.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). (2015). *Norma Chilena de la Construcción NCh 691 3ra edición. Agua potable — Producción, conducción, almacenamiento y distribución — Requisitos de diseño*. Santiago de Chile.
- Ministerio De Obras Públicas. (s.f.). *Ministerio De Obras Públicas*. Recuperado el Enero de 2019, de <https://www.mop.cl/Regiones/Paginas/default.aspx>
- Municipalidad de San José de Maipo. (s.f.). *Ilustre Municipalidad de San José de Maipo*. Recuperado el 2019, de https://www.sanjosedemaipo.cl/documents/4/TOMO_I_PLADECO_San_Jose_1.pdf
- Organizacion de las Naciones Unidas. (Julio de 2010). *Agua | Naciones Unidas*. Obtenido de <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>

Rodriguez, P. (2001). *Abastecimiento de agua - Instituto tecnológico de Oaxaca*. Oaxaca, México.

Superintendencia de Servicios Sanitarios - Gobierno de Chile. (s.f.). *Agua Potable Rural - SISS - Superintendencia de Servicios Sanitarios - Gobierno de Chile*. Recuperado el 2019, de <http://www.siss.gob.cl/appsiss/historico/w3-article-3809.html>

Superintendencia de Servicios Sanitarios - Gobierno de Chile . (2017). *Informe de Gestión del Sector Sanitario* . Santiago de Chile .

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2018). *Agua potable y alcantarillado - Superintendencia de Servicios Sanitarios - Versión BETA 2018*. Recuperado el 13 de Marzo de 2019, de <http://www.siss.gob.cl/586/w3-article-8579.html>

ANEXOS

ANEXO I: DEMANDA BASE POR NODO

Tabla 13: Demanda base por nodo

Nodo	Caudal medio (L/s)	Caudal de diseño (L/s)
1,1	0,016	0,021
1,11	0,096	0,120
1,12	0,020	0,025
1,2	0,023	0,028
1,8	0,036	0,044
2,1	0,019	0,023
2,2	0,084	0,105
2,3	0,019	0,024
2,4	0,007	0,009
3,1	0,108	0,135
3,2	0,112	0,140
3,3	0,010	0,013
3,4	0,065	0,081
11	0,026	0,033
12	0,509	0,636
13	0,424	0,530
14	0,265	0,331
15	0,391	0,489
16	0,103	0,129
18	0,807	1,009
20	0,074	0,093
22	0,068	0,085
22,1	0,032	0,040
22,2	0,030	0,038
22,3	0,005	0,006
23	0,112	0,140
23,1	0,135	0,169
24,1	0,181	0,226
25	0,090	0,113
26	0,234	0,292
26,1	0,373	0,466
27	0,180	0,225
28	0,141	0,176
28,1	0,084	0,105
29	0,068	0,085
30	0,080	0,100
31	0,051	0,064
32	0,205	0,256
32,1	0,217	0,271

Nodo	Caudal medio (L/s)	Caudal de diseño (L/s)
32,2	0,015	0,018
33	0,062	0,077
35	0,050	0,062
36	0,118	0,148
37	0,022	0,027
38	0,039	0,048
38,1	0,037	0,046
39,1	0,084	0,105
39,2	0,064	0,080
40,5	0,503	0,629
41	0,107	0,133
43	0,185	0,232
43,1	0,055	0,068
43,2	0,297	0,372
44	0,264	0,330
45	0,140	0,175
45,1	0,082	0,103
46	0,051	0,064
47	0,018	0,023
47,1	0,130	0,163
48	0,352	0,440
48,2	0,271	0,339
48,3	0,086	0,108
50	0,103	0,129
51	0,050	0,062
52	0,038	0,048
53	0,026	0,033
53,1	0,021	0,026
54	0,003	0,004
56	0,157	0,196
57,2	0,116	0,145
57,3	0,192	0,240
59	0,045	0,057
59,1	0,056	0,070
60	0,240	0,300
60,1	0,176	0,220
61	0,026	0,033
61,1	0,031	0,039
61,2	0,043	0,053

Nodo	Caudal medio (L/s)	Caudal de diseño (L/s)
62	0,053	0,066
62,1	0,085	0,106
63	0,042	0,053
63,1	0,046	0,057
64	0,011	0,014
64,1	0,060	0,075
66	0,100	0,125
67	0,044	0,055
68	0,071	0,089
69	0,001	0,002
69,1	0,016	0,019
70	0,020	0,025
71	0,049	0,062
71,2	0,043	0,053
71,3	0,017	0,021
72	0,060	0,075
72,2	0,036	0,045
72,3	0,021	0,026
73	0,070	0,087
73,1	0,041	0,052
74	0,197	0,247
74,1	0,037	0,047
74,2	0,031	0,039
75,1	0,024	0,030
75,2	0,126	0,158
76	0,023	0,029
Total (L/s)		13,975

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO II: RESULTADOS MODELO HIDRAULICO DE LA RED DE
DISTRUBUCION DE AGUA POTABLE EN ESTADO ACTUAL

Tabla 14: Presiones Sector Poniente A

Sector	Cota	Demanda base	Altura	Presión
Poniente A	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 1,1	906	0,020	933,00	27,00
Nodo 1,2	906	0,030	933,00	27,00
Nodo 1,3	906	0,000	933,00	27,20
Nodo 1,4	906	0,000	933,00	27,40
Nodo 1,5	905	0,000	932,99	27,94
Nodo 1,6	905	0,000	932,98	27,98
Nodo 1,7	899	0,000	932,98	34,36
Nodo 1,8	896	0,050	932,97	36,97
Nodo 1,9	892	0,000	932,97	40,97
Nodo 1,10	891	0,000	932,97	42,08
Nodo 1,11	888	0,120	932,97	44,97
Nodo 1,12	893	0,030	932,97	39,97

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15: Presiones Sector Poniente B

Sector	Cota	Demanda base	Altura	Presión
Poniente B	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 1,1	906	0,020	933,00	27,00
Nodo 2,1	908	0,020	932,99	25,29
Nodo 2,2	912	0,100	932,99	20,99
Nodo 2,3	914	0,020	932,99	18,99
Nodo 2,4	914	0,010	932,99	19,45
Nodo 3,1	908	0,140	932,96	24,86
Nodo 3,2	902	0,140	932,96	30,96
Nodo 3,3	921	0,010	932,96	12,29
Nodo 3,4	927	0,080	932,96	6,22
Nodo 3,5	928	0,000	932,96	4,57
Nodo 3,6	928	0,000	932,96	4,57
Nodo 3,7	928	0,000	932,96	4,57

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16: Presiones Sector Sur-Poniente

Sector	Cota	Demanda base	Altura	Presión
Sur-Poniente	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 14	893	0,330	905,69	12,69
Nodo 14,1	894	0,000	905,69	12,00
Nodo 14,2	893	0,000	905,39	12,39
Nodo 15	892	0,500	905,14	13,14
Nodo 16	892	0,000	904,76	12,49
Nodo 17	891	0,000	904,40	13,37
Nodo 18	893	1,010	904,22	11,26
Nodo 19	893	0,000	904,20	11,24
Nodo 19,1	894	0,000	904,18	10,18
Nodo 20	895	0,090	904,07	9,07
Nodo 21	895	0,120	904,03	9,03
Nodo 22	896	0,090	903,88	7,88
Nodo 23	896	0,300	903,85	8,03
Nodo 23,1	891	0,010	903,85	12,88
Nodo 30	892	0,100	904,98	13,17

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Presiones Sector Nor-Poniente

Sector	Cota	Demanda base	Altura	Presión
Nor-Poniente	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 19	893	0,000	904,20	11,24
Nodo 24	894	0,000	903,86	9,86
Nodo 24,2	894	0,000	903,79	9,79
Nodo 26	894	0,300	903,67	9,67
Nodo 27	896	0,230	903,47	7,47
Nodo 28	904	0,180	903,44	0,56
Nodo 29	910	0,090	903,44	-6,56

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: Presiones Sector Centro-Sur

Sector	Cota	Demanda base	Altura	Presión
Centro-Sur	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 11	901	0,000	914,40	13,40
Nodo 12	901	0,460	909,69	8,66
Nodo 13	894	0,550	906,20	12,03
Nodo 14	893	0,330	905,69	12,69
Nodo 15	892	0,500	905,14	13,14
Nodo 30	892	0,100	904,98	13,17
Nodo 31	894	0,060	904,93	10,92
Nodo 32	894	0,300	904,89	10,48
Nodo 32,1	897	0,300	904,88	7,88
Nodo 32,2	894	0,020	904,89	10,89
Nodo 33	891	0,080	904,89	14,12
Nodo 34	896	0,000	904,80	8,80
Nodo 35	896	0,060	904,79	8,79
Nodo 36	896	0,150	904,77	8,77
Nodo 37	897	0,030	904,73	7,73
Nodo 38	897	0,050	904,73	7,41
Nodo 38,1	899	0,050	904,72	5,75
Nodo 39	898	0,000	904,72	6,72
Nodo 39,1	895	0,110	904,72	9,99
Nodo 39,2	899	0,080	904,72	5,54

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19: Presiones Sector Centro-Norte

Sector	Cota	Demanda base	Altura	Presión
Centro-Norte	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 10	901	0,000	914,50	13,50
Nodo 40	900	0,000	914,31	13,89
Nodo 40,1	900	0,000	914,31	13,89
Nodo 40,2	900	0,000	914,30	13,88
Nodo 40,3	900	0,000	914,31	13,89
Nodo 40,4	901	0,000	914,30	13,30
Nodo 40,5	900	0,630	914,29	13,87
Nodo 41	901	0,130	914,10	13,10
Nodo 41,1	901	0,000	914,10	13,10
Nodo 41,2	901	0,000	914,10	13,10
Nodo 41,3	902	0,000	914,10	12,10

Sector	Cota	Demanda base	Altura	Presión
Centro-Norte	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 42,1	898	0,000	913,36	15,36
Nodo 42,2	898	0,000	913,36	15,57
Nodo 42,3	898	0,000	913,36	15,57
Nodo 42,4	898	0,000	913,36	15,57
Nodo 42,5	898	0,000	913,36	15,57
Nodo 43	898	0,230	913,35	15,35
Nodo 43,1	898	0,070	913,35	15,35
Nodo 43,2	897	0,370	913,06	16,06
Nodo 44	909	0,340	913,24	4,64
Nodo 45	910	0,180	913,21	3,25
Nodo 45,1	904	0,100	913,21	9,21
Nodo 46	901	0,060	914,06	13,06

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20: Presiones Sector Oriente

Sector	Cota	Demanda base	Altura	Presión
Oriente	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 47	902	0,020	913,25	11,05
Nodo 47,1	912	0,000	913,09	1,09
Nodo 47,2	913	0,260	913,09	0,34
Nodo 48	910	0,440	911,55	1,55
Nodo 48,1	910	0,000	911,55	1,55
Nodo 48,2	909	0,340	911,53	2,53
Nodo 48,3	912	0,110	911,55	0,45
Nodo 49	913	0,000	911,20	-1,32
Nodo 49,1	912	0,000	911,20	0,80
Nodo 50	913	0,130	911,11	-1,41
Nodo 50,1	913	0,000	911,11	-1,41
Nodo 50,2	913	0,000	911,10	-1,42
Nodo 51	906	0,060	911,10	4,79
Nodo 52	909	0,050	911,10	2,03
Nodo 53	908	0,040	911,10	3,20
Nodo 53,1	908	0,030	911,10	2,69
Nodo 54	908	0,000	911,10	3,21
Nodo 55	912	0,000	910,80	-1,31
Nodo 55,1	912	0,000	910,80	-1,31

Sector	Cota	Demanda base	Altura	Presión
Oriente	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 55,2	912	0,000	910,79	-1,32
Nodo 55,3	912	0,000	920,61	8,50
Nodo 55,4	912	0,000	920,60	8,49
Nodo 56	912	0,200	920,60	8,49
Nodo 57	915	0,260	920,33	5,74
Nodo 57,1	918	0,000	920,32	2,32
Nodo 57,2	918	0,150	920,32	2,32
Nodo 57,3	916	0,200	920,32	4,32
Nodo 58	915	0,000	920,21	5,62
Nodo 59	911	0,020	920,08	9,08
Nodo 59,1	912	0,040	920,08	8,08
Nodo 60	915	0,300	919,78	4,82
Nodo 60,1	915	0,200	919,76	4,76
Nodo 61	912	0,030	919,74	7,92
Nodo 61,1	915	0,040	919,74	4,83
Nodo 61,2	912	0,050	919,74	7,75
Nodo 62	912	0,070	919,73	7,91
Nodo 62,1	911	0,110	919,72	8,74
Nodo 63	911	0,050	919,72	8,76
Nodo 63,1	911	0,060	919,72	8,74
Nodo 64	911	0,010	919,71	8,75
Nodo 64,1	912	0,080	919,71	7,96
Nodo 65	909	0,000	919,71	10,22
Nodo 66	909	0,000	919,71	10,64
Nodo 66,1	909	0,120	919,71	10,28
Nodo 67	920	0,050	920,15	0,13
Nodo 68	920	0,090	920,15	0,15
Nodo 69	920	0,000	920,15	0,15
Nodo 69,1	922	0,020	920,15	-1,85
Nodo 70	916	0,030	920,15	3,86
Nodo 71	922	0,070	920,10	-1,90
Nodo 71,1	922	0,000	920,10	-1,90
Nodo 71,2	916	0,050	920,10	4,10
Nodo 71,3	922	0,020	920,10	-1,90
Nodo 72	930	0,080	920,06	-10,21
Nodo 72,1	931	0,000	920,06	-10,44
Nodo 72,2	928	0,050	920,06	-7,94
Nodo 72,3	931	0,030	920,06	-10,94
Nodo 73	929	0,090	920,01	-9,29

Sector	Cota	Demanda base	Altura	Presión
Oriente	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 73,1	926	0,050	920,01	-5,80
Nodo 74	919	0,150	919,99	1,11
Nodo 74,1	924	0,050	919,99	-4,01
Nodo 74,2	916	0,040	919,99	3,99
Nodo 75	931	0,000	920,04	-10,96
Nodo 75,1	931	0,030	920,04	-10,96
Nodo 75,2	931	0,160	920,04	-11,15
Nodo 76	931	0,030	920,04	-11,15

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO III: VERIFICACIÓN MATRIZ PRINCIPAL

	Nodo		Longitud L	Material	Diámetro	Diámetro	Caudal Q	Velocidad V	Pérdida Energía total	Cota	Cota	Presión	Presión
	Inicial	Final			DN	Interno				Inicial	Final	Inicial	Final
			m		(mm)	(mm)	(L/s)	(m/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	
Tubería 2	1	2	90	HDPE	160	130,8	13,36	0,994	0,75	906,00	907,70	27,000	24,551
Tubería 3	2	3	100	HDPE	160	130,8	13,36	0,994	0,82	907,70	908,10	24,551	23,331
Tubería 4	3	4	245	HDPE	160	130,8	13,36	0,994	1,86	908,10	896,68	23,331	32,887
Tubería 5	4	5	310	HDPE	160	130,8	13,36	0,994	2,33	896,68	892,96	32,887	34,275
Tubería 6	5	6	80	HDPE	160	130,8	13,36	0,994	0,68	892,96	891,03	34,275	35,528
Tubería 6.1	6	6,1	208	HDPE	160	130,8	13,36	0,994	1,60	891,03	894,00	35,528	30,960
Tubería 7	6,1	7	60	HDPE	140	114,4	13,36	1,300	1,01	894,00	893,69	30,960	30,263
Tubería 8	7	8	92	HDPE	140	114,4	13,36	1,300	1,45	893,69	894,17	30,263	28,330
Tubería 9	8	9	540	HDPE	140	114,4	13,36	1,300	7,69	894,17	901,03	28,330	13,779
Tubería 10	9	10	120	HDPE	140	114,4	13,36	1,300	1,84	901,03	901,00	13,779	11,966

Tabla 21: Presiones matriz principal

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO IV: RESULTADOS MODELO HIDRAULICO DE LA RED DE
DISTRUBUCION DE AGUA POTABLE CON ALTERNATIVAS DE
MEJORAMIENTO

Tabla 22: Presiones Sector Poniente A.

Sector	Cota	Demanda base	Altura total	Presión
Poniente A	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 1,1	906,00	0,02	933,00	27,00
Nodo 1,2	906,00	0,03	933,00	27,00
Nodo 1,3	905,80	0,00	933,00	27,20
Nodo 1,4	905,60	0,00	933,00	27,40
Nodo 1,5	905,05	0,00	932,99	27,94
Nodo 1,6	905,00	0,00	932,98	27,98
Nodo 1,7	898,62	0,00	932,98	34,36
Nodo 1,8	896,00	0,05	932,97	36,97
Nodo 1,9	892,00	0,00	932,97	40,97
Nodo 1,10	890,89	0,00	932,97	42,08
Nodo 1,11	888,00	0,12	932,97	44,97
Nodo 1,12	893,00	0,03	932,97	39,97

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23: Presiones Sector Poniente B.

Sector	Cota	Demanda base	Altura total	Presión
Poniente B	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 1,1	906,00	0,02	933,00	30,50
Nodo 2,1	907,70	0,02	932,99	28,79
Nodo 2,2	914,00	0,02	932,99	24,49
Nodo 2,3	912,00	0,11	932,99	22,49
Nodo 2,4	913,54	0,01	932,99	22,95
Nodo 3,1	908,10	0,14	932,96	28,36
Nodo 3,2	902,00	0,14	932,96	34,46
Nodo 3,3	920,67	0,01	932,96	15,79
Nodo 3,4	926,74	0,08	932,96	9,72
Nodo 3,5	928,39	0,00	932,96	8,07
Nodo 3,6	928,39	0,00	932,96	8,07
Nodo 3,7	928,39	0,00	932,96	8,07

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24: Presiones Sector Sur-Poniente

Sector	Cota	Demanda base	Altura total	Presión
Sur-Poniente	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 14	893,00	0,33	925,39	32,39
Nodo 14,1	893,69	0,00	925,39	31,70
Nodo 14,2	893,00	0,00	925,52	32,52
Nodo 15	892,00	0,50	925,28	33,28
Nodo 16	892,27	0,00	924,90	32,63
Nodo 17	891,03	0,00	924,54	33,51
Nodo 18	892,96	1,01	924,36	31,40
Nodo 19	892,96	0,00	924,33	31,37
Nodo 19,1	894,00	0,00	924,31	30,31
Nodo 20	895,00	0,09	924,20	29,20
Nodo 21	895,00	0,12	924,17	29,17
Nodo 22	896,00	0,09	924,01	28,01
Nodo 23	895,82	0,30	923,98	28,16
Nodo 23,1	890,97	0,01	923,98	33,01
Nodo 30	891,81	0,10	925,12	33,31

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 25: Presiones Sector Nor-Poniente

Sector	Cota	Demanda base	Altura total	Presión
Nor-Poniente	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 19	892,96	0,00	924,33	31,37
Nodo 24	894,00	0,00	924,00	30,00
Nodo 24,2	896,00	0,23	923,88	27,88
Nodo 26	894,00	0,30	923,81	29,81
Nodo 27	896,00	0,23	923,60	27,60
Nodo 28	904,00	0,18	923,58	19,58
Nodo 29	910,00	0,09	923,57	13,57

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26: Presiones Sector Centro-Sur

Sector	Cota	Demanda base	Altura total	Presión
Centro-Sur	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 11	901,00	0,00	924,04	23,04
Nodo 12	901,03	0,46	924,57	23,54
Nodo 13	894,17	0,55	925,23	31,06
Nodo 14	893,00	0,33	925,39	32,39
Nodo 15	892,00	0,50	925,28	33,28
Nodo 30	891,81	0,10	925,12	33,31
Nodo 31	894,01	0,06	925,07	31,06
Nodo 32	894,41	0,30	925,02	30,61
Nodo 32,1	897,00	0,30	925,02	28,02
Nodo 32,2	894,00	0,02	925,02	31,02
Nodo 33	890,77	0,08	925,02	34,25
Nodo 34	896,00	0,00	924,94	28,94
Nodo 35	896,00	0,06	924,93	28,93
Nodo 36	896,00	0,15	924,90	28,90
Nodo 37	897,00	0,03	924,87	27,87
Nodo 38	897,32	0,05	924,86	27,54
Nodo 38,1	898,97	0,05	924,86	25,89
Nodo 39	898,00	0,00	924,86	26,86
Nodo 39,1	894,73	0,11	924,85	30,12
Nodo 39,2	899,18	0,08	924,85	25,67

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27: Presiones Sector Centro-Norte

Sector	Cota	Demanda base	Altura total	Presión
Centro-Norte	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 10	901,00	0,00	924,04	23,04
Nodo 40	900,42	0,00	923,85	23,43
Nodo 40,1	900,42	0,00	923,84	23,42
Nodo 40,2	900,42	0,00	923,84	23,42
Nodo 40,3	900,42	0,00	923,84	23,42
Nodo 40,4	901,00	0,00	923,84	22,84
Nodo 40,5	900,42	0,63	923,82	23,40
Nodo 41	901,00	0,13	923,64	22,64
Nodo 41,1	901,00	0,00	923,64	22,64
Nodo 41,2	901,00	0,00	923,64	22,64

Sector	Cota	Demanda base	Altura total	Presión
Centro-Norte	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 41,3	902,00	0,00	923,64	21,64
Nodo 42	897,79	0,00	922,90	25,11
Nodo 42,1	898,00	0,00	922,90	24,90
Nodo 42,2	897,79	0,00	922,90	25,11
Nodo 42,3	897,79	0,00	922,90	25,11
Nodo 42,4	897,79	0,00	922,90	25,11
Nodo 42,5	897,79	0,00	922,90	25,11
Nodo 43	898,00	0,23	922,89	24,89
Nodo 43,1	898,00	0,07	922,89	24,89
Nodo 43,2	897,00	0,37	922,59	25,59
Nodo 44	908,60	0,34	922,77	14,17
Nodo 45	909,96	0,18	922,74	12,78
Nodo 45,1	904,00	0,10	922,74	18,74
Nodo 46	901,00	0,06	923,60	22,60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28: Presiones Sector Oriente

Sector	Cota	Demanda base	Altura total	Presión
Oriente	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 48	910,00	0,44	951,60	41,60
Nodo 48,1	910,00	0,00	951,59	41,59
Nodo 48,2	909,00	0,34	951,57	42,57
Nodo 48,3	912,00	0,11	951,59	39,59
Nodo 49	912,52	0,00	951,24	38,72
Nodo 49,1	912,00	0,00	951,24	39,24
Nodo 50	912,52	0,13	951,16	38,64
Nodo 50,1	912,52	0,00	951,15	38,63
Nodo 50,2	912,52	0,00	951,15	38,63
Nodo 51	906,31	0,06	950,95	44,64
Nodo 52	909,07	0,05	950,80	41,73
Nodo 53	907,90	0,04	950,95	43,05
Nodo 53,1	908,41	0,03	950,95	42,54
Nodo 54	907,89	0,00	950,95	43,06
Nodo 55	912,11	0,00	950,97	38,86
Nodo 56	912,11	0,20	950,96	38,85
Nodo 57	914,59	0,26	950,80	36,21

Sector	Cota	Demanda base	Altura total	Presión
Oriente	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 57	914,59	0,26	950,80	36,21
Nodo 57,1	918,00	0,00	950,80	32,80
Nodo 57,2	918,00	0,15	950,80	32,80
Nodo 57,3	916,00	0,20	950,79	34,79
Nodo 58	914,59	0,00	950,74	36,15
Nodo 59	911,00	0,02	950,72	39,72
Nodo 59,1	912,00	0,04	950,72	38,72
Nodo 60	914,96	0,30	950,67	35,71
Nodo 60,1	915,00	0,20	950,66	35,66
Nodo 61	911,82	0,03	950,67	38,85
Nodo 61,1	914,91	0,04	950,67	35,76
Nodo 61,2	911,99	0,05	950,67	38,68
Nodo 62	911,82	0,07	950,68	38,86
Nodo 62,1	910,98	0,11	950,67	39,69
Nodo 63	910,96	0,05	950,69	39,73
Nodo 63,1	910,98	0,06	950,69	39,71
Nodo 64	910,96	0,01	950,70	39,74
Nodo 64,1	911,75	0,08	950,70	38,95
Nodo 65	909,49	0,00	950,75	41,26
Nodo 66	909,07	0,00	950,79	41,72
Nodo 66,1	909,43	0,13	950,79	41,36
Nodo 67	920,28	0,06	950,69	30,41
Nodo 68	920,00	0,09	950,69	30,69
Nodo 69	920,00	0,00	950,68	30,68
Nodo 69,1	922,00	0,02	950,68	28,68
Nodo 70	916,29	0,03	950,68	34,39
Nodo 71	922,00	0,07	950,64	28,64
Nodo 71,1	922,00	0,00	950,64	28,64
Nodo 71,2	916,00	0,05	950,64	34,64
Nodo 71,3	922,00	0,02	950,64	28,64
Nodo 72	930,27	0,08	950,60	20,33
Nodo 72,1	930,50	0,00	950,59	20,09
Nodo 72,2	928,00	0,05	950,59	22,59
Nodo 72,3	931,00	0,03	950,59	19,59
Nodo 73	929,30	0,09	950,54	21,24
Nodo 73,1	925,81	0,05	950,54	24,73
Nodo 74	918,88	0,15	950,53	31,65
Nodo 74,1	924,00	0,05	950,53	26,53
Nodo 74,2	916,00	0,04	950,53	34,53

Sector	Cota	Demanda base	Altura total	Presión
Oriente	(m)	(L/s)	(m)	(m)
Nodo 75	931,00	0,00	950,58	19,58
Nodo 75,1	931,00	0,03	950,58	19,58
Nodo 75,2	931,19	0,16	950,58	19,39
Nodo 76	931,19	0,03	950,58	19,39

Fuente: Elaboración propia.