



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO POSTERREMOTO Y
PROPUESTA DE MEJORAS DE LA RED BAJA DEL SISTEMA DE AGUA
DEL ÁREA URBANA DE SAN MARCOS, SAN MARCOS**

Jonny Edward Fuentes Villacinda

Asesorado por el Ing. Claudio César Castañón Contreras

Guatemala, mayo de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO POSTERREMOTO Y
PROPUESTA DE MEJORAS DE LA RED BAJA DEL SISTEMA DE AGUA
DEL ÁREA URBANA DE SAN MARCOS, SAN MARCOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JONNY EDWARD FUENTES VILLACINDA

ASESORADO POR EL ING. CLAUDIO CÉSAR CASTAÑÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

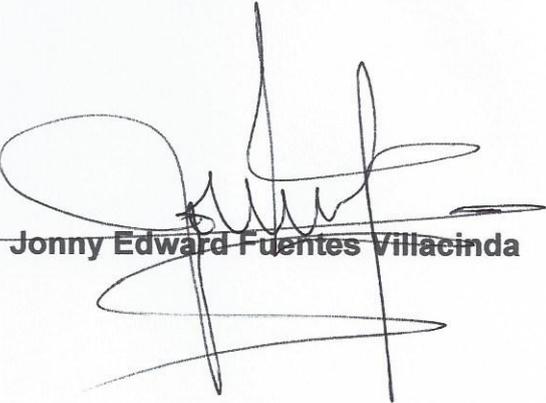
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO POSTERREMOTO Y PROPUESTA DE MEJORAS DE LA RED BAJA DEL SISTEMA DE AGUA DEL ÁREA URBANA DE SAN MARCOS, SAN MARCOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 10 de marzo de 2017.



Jonny Edward Fuentes Villacinda

Guatemala 18 de abril 2018

Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
Coordinador, área de Hidráulica
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería / USAC

Ingeniero Sandoval

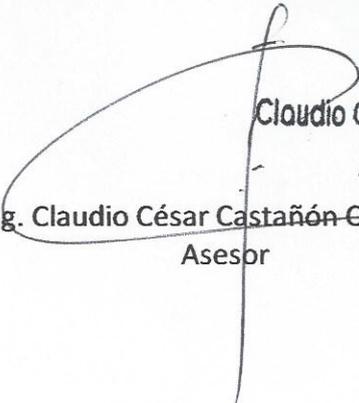
Estimado Ingeniero, me dirijo a usted deseándole éxitos en sus labores.

Por este medio me permito informarle que he asesorado al estudiante JONNY EDWARD FUENTES VILLACINDA, quien se identifica con registro universitario (carnet) 9516736, en su trabajo de graduación que lleva por título ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO POSTERREMOTO Y PROPUESTA DE MEJORAS DE LA RED BAJA, DEL SISTEMA DE AGUA DEL ÁREA URBANA DE SAN MARCOS, SAN MARCOS

Luego de haber propuesto correcciones y el estudiante haberlas realizado APRUEBO este trabajo de graduación para que el mismo sea sometido a su consideración y posteriormente a su aprobación final.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Claudio César Castañón Contreras
Ingeniero Civil
Colegiado No. 5,629
Ing. Claudio César Castañón Contreras
Asesor



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, 24 de abril de 2018

Ingeniero
 Hugo Leonel Montenegro Franco
 Director Escuela de Ingeniería Civil
 Facultad de Ingeniería

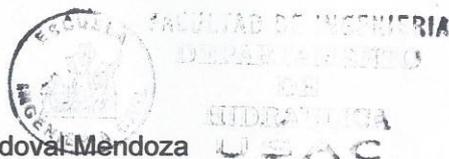
Estimado Ingeniero

Le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO POSTERREMOTO Y PROPUESTA DE MEJORAS DE LA RED BAJA, DEL SISTEMA DE AGUA DEL ÁREA URBANA DE SAN MARCOS, SAN MARCOS”**, desarrollado por el estudiante de ingeniería civil **Jonny Edward Fuentes Villacinda**, quien contó con la asesoría del ingeniero **Claudio César Castañón Contreras**.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y habiendo cumplido con los objetivos doy mi aprobación al mismo, solicitando darle el tramite respectivo.

Sin otro particular, me despido atentamente.

Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
 Jefe del Departamento de Hidráulica



Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Claudio César Castañón Contreras y Coordinador del Departamento Hidráulica Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza, al trabajo de graduación del estudiante Jonny Edward Fuentes Villacinda ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO POSTERREMOTO Y PROPUESTA DE MEJORAS DE LA RED BAJA DEL SISTEMA DE AGUA DEL ÁREA URBANA DE SAN MARCOS, SAN MARCOS da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, mayo 2018

/mrm.

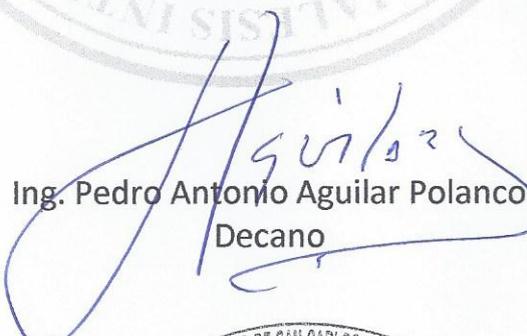
Mas de 137 años de Trabajo y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO POSTERREMOTO Y PROPUESTA DE MEJORAS DE LA RED BAJA DEL SISTEMA DE AGUA DEL ÁREA URBANA DE SAN MARCOS, SAN MARCOS**, presentado por el estudiante universitario: **Jonny Edward Fuentes Villacinda**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios y la virgen María

Por ser la luz en el camino.

Mis padres

Calixto Victoriano Fuentes Pérez e Irma Aracely Villacinda Pérez. Por su amor, paciencia, esfuerzo y enseñanza en busca de ser alguien en la vida.

Mi esposa

Alma Patricia Ochoa Barrios.

Mis hijas

Fátima y Lourdes, mi inspiración.

Mis hermanas

Beatriz e Ilsy.

Toda mi familia

Con mucho cariño.

En memoria para quienes ya no están físicamente con nosotros.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala y
Facultad de Ingeniería**

Por la formación profesional

**Ingeniero Civil Claudio
César Castañón
Contreras**

No hay palabras para agradecer el apoyo y amistad, que Dios le bendiga.

**Empresa Municipal de
Agua Potable y
Saneamiento (EMAPS)**

En esos momentos difíciles que la naturaleza se manifiesta, nos da la oportunidad de compartir y salir adelante ante la adversidad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. CARACTERIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SAN MARCOS	1
1.1. Localización.....	1
1.1.1. Colindancias	1
1.2. Vías de acceso	1
1.3. Climatología	2
1.4. Características topográficas (orografía)	3
1.5. Población.....	4
1.5.1. Proyección de población.....	4
1.5.2. Población del departamento de San Marcos	5
1.6. Administración del sistema de agua potable	7
2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA A INTERVENIR.....	9
2.1. Descripción del sistema en funcionamiento	9
2.1.1. Antecedentes	9
2.2. Instalaciones	10
2.3. Topografía	16
2.4. Red de distribución actual	17
2.5. Análisis de la problemática	19

2.5.1.	Red de distribución media	19
2.5.2.	Red de distribución alta	19
2.5.3.	Red de distribución baja	20
2.6.	Definición del área a intervenir	22
2.6.1.	Presiones en las redes	26
3.	ELEMENTOS POR DIMENSIONAR	29
3.1.	Fundamentos de cálculo hidráulico	29
3.1.1.	Ecuaciones fundamentales.....	30
3.1.1.1.	La ecuación de continuidad en nudos	31
3.1.1.2.	La ecuación de Bernoulli	32
3.1.2.	Ecuaciones de comportamiento de los elementos de la red	32
3.1.2.1.	Tuberías	33
3.1.2.2.	Bombas	35
3.1.2.3.	Válvulas y accesorios	36
4.	FUNDAMENTOS DE EPANET	39
4.1.	Modelo Epanet.....	39
4.1.1.	Descripción de las estructuras del modelo	40
4.1.2.	Elementos del modelo	41
4.1.2.1.	Red de distribución.....	41
4.1.2.1.1.	Ramificadas.....	41
4.1.2.1.2.	Malladas.....	42
4.1.2.1.3.	Mixtas	42
4.1.3.	Opciones hidráulicas de análisis	43
4.1.3.1.	Nudos de Caudal.....	43
4.1.3.2.	Embalses.....	43
4.1.3.3.	Depósitos.....	43

4.1.4.	Parámetros temporales.....	44
4.1.5.	Reglas de funcionamiento.....	44
4.1.5.1.	Curvas de comportamiento.....	44
4.1.5.2.	Curvas de modulación o patrones	45
4.1.5.3.	Leyes de control simples	45
4.1.5.4.	Leyes de control basadas en reglas ..	45
4.1.6.	Epacad para Epanet V2e	45
5.	CAUDALES DE CÁLCULO	47
5.1.	Caudales de cálculo para el modelo.....	47
5.1.1.	Conducciones y entradas a depósito de distribución.....	47
5.1.2.	Demandas en redes de distribución.....	56
5.1.2.1.	Población actual.....	56
5.1.2.2.	Población futura	57
5.1.2.3.	Dotación de cálculo.....	58
5.1.2.4.	Demandas en la red.....	64
5.2.	Caudales de cálculo para modelado y comprobación de red actual.....	65
6.	CRITERIOS DE ANÁLISIS Y COMPROBACIÓN HIDRÁULICA	67
6.1.	Dimensionamientos y comprobaciones hidráulicas	67
6.1.1.	Comprobación general mediante el modelo Epanet	82
6.2.	Diseño de las nuevas líneas de distribución.....	83
6.2.1.	Período de diseño.....	83
6.2.2.	Dotación.....	83
6.2.3.	Proyección de demandas de agua.....	84
6.2.3.1.	Caudal medio diario (Qmd).....	84

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Isoyetas promedio anual departamento de San Marcos	3
2.	Datos censales 1964-2002 y proyección de población	6
3.	Estructura organizacional EMAPS 2016-2017	8
4.	Descripción del sistema EMAPS	11
5.	Levantamiento topográfico ciudad de San Marcos	16
6.	Curvas de nivel ciudad de San Marcos	17
7.	Red de distribución en formato CAD	18
8.	Circuitos en formato CAD	18
9.	Ubicación de red de distribución en formato CAD	21
10.	Daños estructural edificio empresa municipal de agua	22
11.	Daños en oficina empresa municipal de agua	23
12.	Daño a infraestructura de la red de distribución de agua	23
13.	Daños en las conexiones domiciliarias	24
14.	Área de influencia red baja	25
15.	Dirección de flujo y operación actual	26
16.	Ubicación de puntos de monitoreo de presiones	27
17.	Ecuacion de continuidad para el nudo genérico	31
18.	Esquema hidráulico tanque agua de la montaña	48
19.	Esquema hidráulico tanque red baja bombeo	49
20.	Carátula macromedidor de agua	50
21.	Tanques de almacenamiento agua de la montaña, red baja	52
22.	Tanque de almacenamiento bombeo, red baja	53
23.	Densidad de vivienda red baja formato CAD	57

24.	Consumos máximos, mínimos y promedio	65
25.	Simulación inicial periodo estático red baja	82
26.	Modelacion a 5 años periodo extendido	88
27.	Modelación a 20 años período extendido	89
28.	Red baja simplificada y ubicación de VRP	91
29.	Sección válvula reguladora de presión.	94
30.	Ubicación de válvulas reguladoras de presión.....	95
31.	Esquema instalación válvula reguladora de presión	96
32.	Red de distribución	97
33.	Densidad de vivienda.....	98
34.	Circuitos, operación de válvulas	99
35.	Red simplificada, flujos y gastos	100
36.	Red simplificada, ubicación VRP y zonas reguladas	101
37.	Caja VRP e instalación de componentes.....	102

TABLAS

I.	Población de la ciudad de San Marcos.....	5
II.	Población por red.....	7
III.	Coordenadas de fuentes de abastecimiento EMAPS	15
IV.	Lista de monitoreo de presiones altas	27
V.	Componentes de modelo de red.....	29
VI.	Fórmulas de pérdida de carga para tubería en presión	34
VII.	Coeficientes de rugosidad para tubería nueva	34
VIII.	Coeficiente de pérdidas menores	37
IX.	Control de aforos en macromedidores, para sistema red baja	51
X.	Volumen total de agua almacenada red baja.....	54
XI.	Producción promedio diario red baja	55
XII.	Dotación mensual y anual sistema red baja 2012 y 2013.....	60

XIII.	Dotación mensual y anual sistema red baja 2014 y 2015	61
XIV.	Dotación mensual y anual sistema red baja 2016	62
XV.	Dotaciones orientativas	64
XVI.	Dimensionamiento red actual	67
XVII.	Gastos en nodos	79
XVIII.	Resumen de parámetros de diseño	86
XIX.	Población y caudales estimados red baja	87
XX.	Nodos a cerrar	90

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
\emptyset	Diámetro
Av	Avenida
CDC	Caja distribuidora de caudales
gal/p/d	Galones por habitante día
hab	Habitantes
INE	Instituto nacional de estadística
Km²	Kilómetros cuadrados
l/h/d	Litros por habitante día
l/s	Litros por segundo
m	Metro
m³	Metros cúbicos
mca	Metros columna de agua
mm	Milímetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
n	Periodo de diseño
Pa	Población actual
Pf	Población futura
%	Porcentaje.
Q.	Quetzales
QMD	Caudal máximo diario
Qmd	Caudal media diario
QMH	Caudal máximo horario
r	Tasa de crecimiento

RA	Red alta
RB	Red baja
Sac	Sacatepéquez
TD	Tanque de distribución
UTM	Universal transversal de Mercator
viv	Viviendas
VRP	Válvula reguladora de presión

GLOSARIO

Agua potable	Agua sanitariamente segura y agradable a los sentidos.
Altura piezométrica	Carga hidráulica, se mide como una elevación de la superficie líquida.
Biotemperatura	Determina ritmo e intensidad de los procesos fisiológicos de las plantas.
Espacios interfluviales	Planicie carente de inclinación y drenaje definido, situada entre dos valles.
Factor de progreso	Desarrollo, impulso del progreso económico, social, laboral y cultural.
Isoyeta	Une los puntos en un plano cartográfico que presentan la misma precipitación en la unidad de tiempo.
Macromedidor	Se considera para medir y registrar el consumo de agua en grandes diámetros de tubería.
Medidor o contador	Aparato designado para medir y registrar el consumo de agua consumido en un tiempo determinado.
Modelación	Representación, bien sea abstracta, análoga, o idealizada, de un objeto que puede ser real o ficticio.

Nodo	Es un punto de intersección, conexión o unión de varios elementos que confluyen en el mismo lugar.
Presión	Límite de una fuerza.
Simulación	Uso formal de herramientas matemáticas y/o computacionales para representar algún sistema y su comportamiento.
Dotación	Cantidad de agua que se asigna para cada habitante.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación analiza el comportamiento hidráulico de la red baja del sistema de agua urbano de la ciudad de San Marcos, después de los terremotos ocurridos el 7 de noviembre de 2011 y 7 de julio de 2014. De esta manera, se identificaron algunas deficiencias de infraestructura, por lo que se proponen mejoras que optimizarán el funcionamiento de dicha red que administra la Empresa Municipal de Agua Potable y Saneamiento.

El estudio contempla el análisis de la demografía poblacional, estadísticas de consumo de varios años antes y después de los sismos, catastro de instalaciones en funcionamiento, implementación de nuevos controles en el área técnica de la empresa, aforos de las fuentes de abastecimiento.

Con los antecedentes de consumo e información de redes, haciendo énfasis en los fundamentos teóricos hidráulicos, se modela y simula la red existente, se obtienen resultados que identifican los puntos más críticos de la red. Estos datos con fundamentos técnicos sirven para decidir las mejoras que pueda promover la empresa de agua para el beneficio de la población.

La actualización de planos con información hidráulica vigente hace que la operación y mantenimiento del sistema urbano sea más efectiva.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un análisis del comportamiento hidráulico posterremoto y propuesta de mejoras de la red baja, del sistema de agua del área urbana de San Marcos, San Marcos

Específicos

1. Identificar los nodos críticos de la red actual.
2. Evaluar las condiciones actuales de los circuitos, tubería y válvulas de la red general
3. Determinar se la red tiene capacidad de distribuir y sufragar la demanda actual y futura.
4. Contar con una herramienta de modelación y evaluación continua de la red baja.
5. Proponer soluciones inmediatas de acuerdo a las condiciones financieras de la empresa operadora.

INTRODUCCIÓN

El municipio de San Marcos fue afectado por dos fuertes sismos acontecidos el 07 de noviembre 2012 y 07 de julio 2014. Estos ocasionaron daños considerables en la infraestructura municipal, entre ellos las redes de distribución agua potable del área urbana. Después de los eventos sísmicos el comportamiento de la red ha sido muy complejo para la prestación del servicio a la población.

El desplazamiento demográfico provocado por la falta de servicios básicos en otras comunidades, viviendas dañadas por los sismos, aumento de comercios, urbanizaciones, etc., demandan mejoría en la prestación de servicios, como la del agua potable, lo que se ve reflejado en un aumento de consumo y conexiones domiciliarias sin control adecuado.

Las presiones altas y bajas, bajos caudales, rotura de tuberías en la red de agua potable principal requieren de una intervención drástica en la cual debe examinarse la operación y mantenimiento de la red de distribución. Por ello, al carecer de un plan y de la información técnica correspondiente sobre en qué punto existe más demanda o hacia dónde debe distribuirse el caudal para evitar bajas o altas presiones, este estudio se realiza en conjunto con el departamento técnico de la empresa de agua municipal.

En la actualidad, es necesario controlar y ser eficiente en los procesos de operación y mantenimiento de un sistema de agua y fundamentalmente contar con la información técnica al día para verificar fugas, programar cambios de tubería y mejorar día a día la prestación del servicio de agua.

En muchos casos se opera empíricamente sin un criterio técnico profesional y, por lo tanto, los resultados son ineficientes. La intervención en este caso, corresponde a definir estos parámetros, de tal manera que se pueda modelar y simular en diferentes escenarios el comportamiento de la red baja del sistema de agua municipal, utilizando herramientas informáticas de fácil acceso y licencia libre, que permitan dar seguimiento constante ante eventos naturales o mecánicos, es decir, poder definir qué vía tomar en caso de un incidente.

1. CARACTERIZACIÓN DEL MUNICIPIO DE SAN MARCOS

1.1. Localización

El municipio de San Marcos es uno de los 30 municipios que conforman el departamento de San Marcos, Guatemala. Está ubicado en el área de la Sierra Madre, en el Altiplano, región VI Sur Occidental del País. Posee una extensión territorial de 121 kilómetros cuadrados con una densidad poblacional de 313 habitantes por kilómetro cuadrado.

1.1.1. Colindancias

Colinda al norte con los municipios de Ixchiguán, Tejutla y Comitancillo; al sur con los municipios de Esquipulas Palo Gordo, Nuevo Progreso, San Rafael Pie de la Cuesta y San Cristóbal Cucho; al este con los municipios de San Lorenzo y San Pedro Sacatepéquez; y al oeste con los municipios de San Pablo y Tajumulco de la República de Guatemala.

1.2. Vías de acceso

La cabecera departamental de San Marcos se encuentra a una distancia de 250 Km. de la ciudad capital. “con una vía principal que es la Ruta Nacional 1 asfaltada que, dicha ruta prosigue hasta la frontera con México enlazando en su trayecto con las carreteras Interamericana CA-1 e Internacional del Pacífico CA-2; así como la ruta nacional 12-N”¹.

¹ deguate.com. geografía de los departamentos. <http://deguate.com/municipios/pages/san-marcos/sanmarcos/geografia.phpWVWUFYg1.M8>. Consulta: julio de 2017.

Para la comunicación entre las comunidades existen vías de acceso, como calles, avenidas, diagonales y caminos de herradura; las cuales se encuentran empedradas, son de terracería o balastadas, y comunican a las diferentes zonas, caseríos o parajes que conforman las aldeas, así como a lugares vecinos y aledaños. En general, se encuentran en regulares condiciones y son transitables la mayor parte del tiempo.

1.3. Climatología

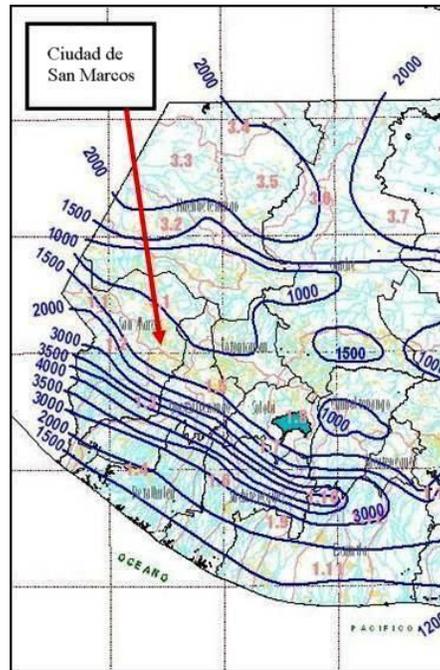
El rango de lluvias observado a través de un registro histórico de 20 años oscila entre 1,000 a 1,200 milímetros anuales. Esto puede apreciarse en el mapa de precipitación que se presenta en la figura 1.

“Las temperaturas son frías y las variaciones estacionales son medias, teniendo una variación de biotemperatura media anual entre los 14 y 15 grados Celsius. La relación de evapotranspiración potencial es de alrededor de 45%.”²

Las lluvias son más frecuentes entre los meses de mayo y noviembre, la intensidad varía según la situación orográfica que ocupan las áreas de la zona.

² Novotecni-Inclan. *Informe de factibilidad*. P 76.

Figura 1. Isoyetas promedio anual departamento de San Marcos



Fuente: Atlas Climatológico del Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos del INSIVUMEH.

1.4. Características topográficas (orografía)

“El municipio de San Marcos presenta un relieve muy accidentado. Se encuentra ubicado dentro de la Sierra Madre de Guatemala, en la zona volcánica del extremo occidental del país. Un parteaguas (línea de cumbres que divide dos o más cuencas hidrográficas) que va desde la cima del volcán Tajumulco (4,220 msnm.) hasta el extremo sur del municipio en la aldea de El Bojonal (1,400 msnm), pasando por el Cerro Serchil (3,166 msnm.) y el Bosque Municipal.”³

³ Oficina Municipal de Planificación. *Diagnóstico Municipal San Marcos 2003*. p 28.

Accidentes orográficos:

Sierra: Sierra Madre.

Cerros: Concepción, Ixtagel, Serchil

El casco urbano “es de topografía plana con redondas de baja altura, estando comprendidas las elevaciones entre 2,300 a 2,500 msnm. Las laderas son de pendiente suave. Las divisorias o espacios interfluviales son planos y anchos de más de 500 metros. El drenaje superficial tiene orientación hacia el Sur, desembocando en el río Naranjo y río Samalá.”⁴

1.5. Población

Para el estudio de población necesariamente debe considerarse la información de los Censos Nacionales de Población y la información pertinente incluida en otros estudios que hayan realizado proyecciones para el área de estudio y para áreas que la comprendan, o estén cercanas. Se utilizarán como datos básicos de población, los publicados por el INE.

1.5.1. Proyección de población

Para esto se cuenta con datos históricos y proyecciones del INE del Municipio, de la ciudad y del servicio de agua potable.

Para calcular la población se utilizará el método geométrico por incremento medio total. Este método consiste en suponer que la población tendrá un incremento análogo al que sigue un capital primitivo sujeto al interés compuesto, La fórmula para determinar la población futura o de proyecto es:

⁴ Novotecni-Inclam. *Informe de factibilidad*. p 73

$$Pf = Pa (1+r)^n$$

Donde:

Pf = Población futura.

Pa = Población del último censo.

n = Periodo de diseño (económico).

r = Tasa de crecimiento o factor de crecimiento.

1.5.2. Población del departamento de San Marcos

Con base en los datos censales de 1964 a 1994 de la población urbana del municipio de San Marcos y el dato de población de la ciudad de San Marcos del año 2002, mediante una curva de mejor ajuste, se ha extrapolado la población de la ciudad de San Marcos hasta el año 2050 (ver tabla I)

Tabla I. **Población de la ciudad de San Marcos**

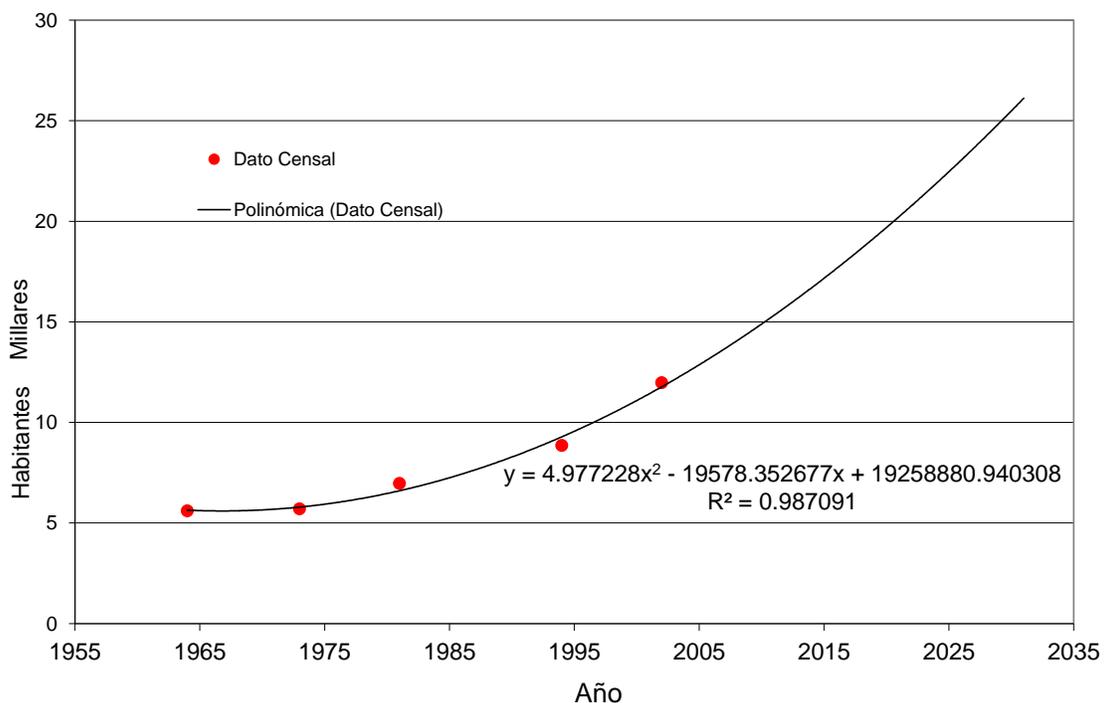
Fuente	año	Habitantes	Porcentaje de población
Datos Censales	1964	5 602	41,8
	1973	5 700	35,9
	1981	6 963	34,9
	1994	8 851	32,7
	2002	11 973	33,0
Proyección	2006	13 250	30,5
	2011	15 326	30,4
	2016	17 651	30,2
	2021	20 224	30,0
	2026	23 047	29,8
	2031	26 118	29,6

Fuente: elaboración propia con datos del INE.

Las proyecciones se calcularon con base en la aplicación de la fórmula polinómica del INE, población del área urbana ver figura 2.

$$y = 4,977228X^2 - 19\,578,352\,677X + 19\,258\,880,940308$$

Figura 2. **Datos censales 1964-2002 y proyección de población**



Fuente: elaboración propia con datos INE.

La población de la cabecera municipal San Marcos asciende a 32 250 habitantes, según censo realizado por la empresa consultora Novotecni-Inclam, en el año 2015. Ver tabla II

Tabla II. **Población por red**

POBLACIÓN POR REDES DE DISTRIBUCIÓN		
RED	VIVIENDAS ACTUALES	HABITANTES ACTUALES
BAJA	2 672	12 339
MEDIA	1 532	7 073
ALTA	1 668	7 705
ASUNCIÓN	1 111	5 133
TOTAL	6 983	32 250

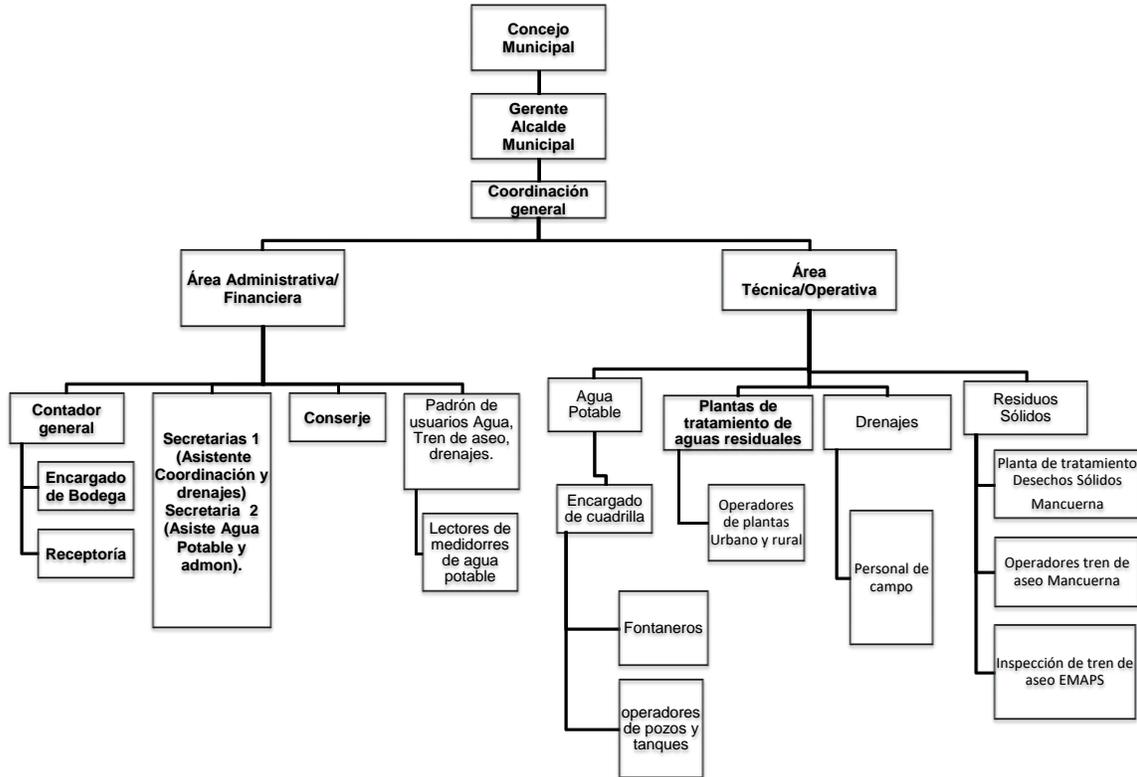
Fuente: población por redes. Censo de usuarios de agua y drenaje *EMAP, NOVOTECNI S.A. – INCLAM, 2015.*

La tasa municipal de crecimiento es de 2.5% proporcionada por el INE, es la más adecuada para realizar la proyección a 20 años para el análisis de la red de distribución ya que está dentro de rango de las demás proyecciones.

1.6. Administración del sistema de agua potable

En el 2000 la Municipalidad de San Marcos creó la Empresa Municipal de Agua Potable (EMAP), en 2014 amplió sus atribuciones para atender los servicios de drenaje y los desechos sólidos, por lo que su nombre se modifica a Empresa Municipal de Agua Potable y Saneamiento (EMAPS). El objetivo de esta empresa es cumplir con la prestación de los servicios de agua potable, tratamiento de aguas residuales, manejo y tratamiento de los residuos sólidos, de forma eficiente, sustentable y sostenible; en las comunidades urbanas y periurbanas. La estructura técnico-administrativa de funcionamiento se muestra en la figura 3.

Figura 3. Estructura organizacional EMAPS 2016-2017



Fuente: elaboración propia con información de empresa municipal de agua potable y saneamiento.

2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA A INTERVENIR

2.1. Descripción del sistema en funcionamiento

Corresponde a los elementos de captación, distribución, almacenaje y desinfección.

2.1.1. Antecedentes

En la década de 1940 se captó la primera fuente que empezó a abastecer a la población del casco urbano de San Marcos, esta fuente es la de Ixcamal.

Entre los años 1982 a 1988 se creó la red existente que abastece a la ciudad de San Marcos.

En el año de 1985 se crearon las redes de distribución Alta y Media con financiamiento gubernamental, entre el año 2005 y 2006 se cambió la tubería de asbesto cemento a PVC y se realizó el mejoramiento de casetas bombeo, sistemas de cloración, equipo electromecánico de pozos, interconexiones de redes y diferentes ampliaciones de red, mejoramiento y equipamiento de las instalaciones administrativas de EMAPS, por medio del Proyecto Xlok'a de la Cooperación Austriaca.

La fundación Solar realizó mejoras en la red distribución denominada Red Alta, entre el año 2006 y 2008.

El 7 noviembre de 2012 y 07 de julio del año 2014, la región fue afectada por dos sismos de considerable magnitud, dañando la infraestructura habitacional, vial y sanitaria del municipio.

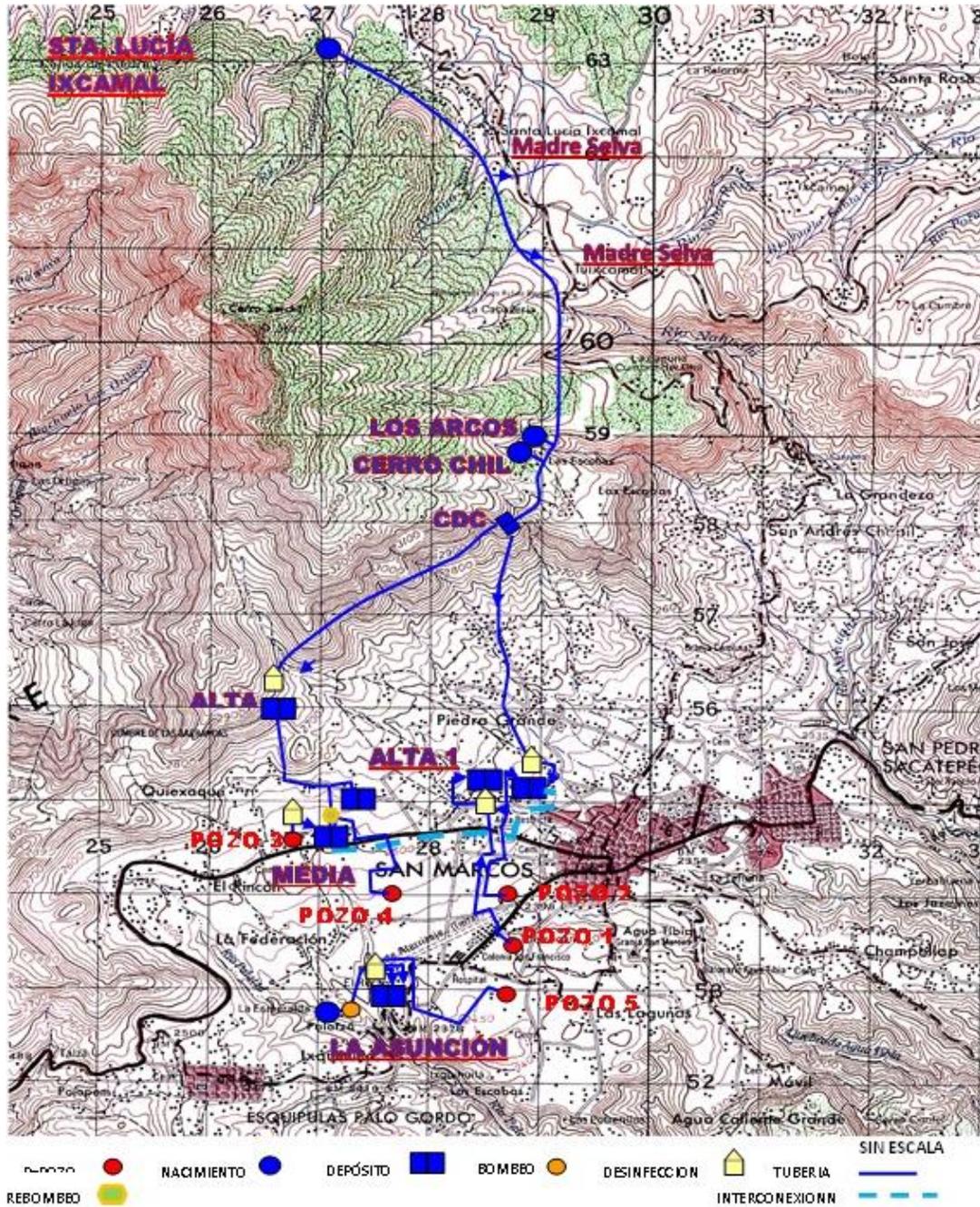
El gobierno de la república de Guatemala emitió el decreto gubernativo 1-2014 que declara la zona en estado de calamidad pública, acuerdo que originó que INFOM-UNEPAR por medio del programa de abastecimiento de agua potable y saneamiento para el desarrollo humano Fase I (GRT/WS-11905-GU Y 2242/BL-GU) incluyera este municipio en las zonas prioritarias para mejorar la infraestructura de agua y saneamiento. A través del Banco Interamericano de Desarrollo BID.

En el 2016 a través de la Mancomunidad de Municipios del Río Naranjo (MANCUERNA) la AECID, apoya a la Municipalidad de San Marcos/ EMAPS desarrollando la modificación del sistema de agua potable de Red Alta y generando una nueva red, Red Alta 1, interviene en mejoras de la red de distribución, remozamiento de tanque de distribución existente y construcción de uno nuevo.

2.2. Instalaciones

El sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad de San Marcos, figura 4, cuenta con 4 nacimientos de brote definido y 5 pozos mecánicos que abastecen a 7 redes de distribución, por medio de líneas por gravedad y líneas por bombeo, las redes de distribución son denominadas, Red Alta, Red Alta 1, Red Media, Red Baja, Red Asunción, Madre Selva y Lagunas. Antes de entrar a los tanques de cada red de distribución el agua es clorada por medio de sistemas de cloro gas.

Figura 4. Descripción del sistema EMAPS



Fuente: elaboración propia con información de EMAPS.

El servicio de agua potable que abastece a la población del municipio de San Marcos cuenta con 5 152 conexiones y lo abastece el sistema de agua potable municipal. Su cobertura es de 73,76% de la población, el servicio tiene un cobro por tarifa mensual por rangos de consumo. “Un 2% de los usuarios considera deficiente el sistema, un 13% considera que necesita mejorar, un 40% lo considera regular y un 45% considera que el sistema es muy bueno.”⁵

- Fuentes o nacimientos de agua.
 - Fuente Ixcamal
 - Fuente Los Arcos
 - Fuente La Cadena
 - Fuente La Asunción

- Pozos mecánicos
 - Pozo No.1
 - Pozo No.2
 - Pozo No.3
 - Pozo No.4
 - Pozo No.5

- Tanques de almacenamiento
 - Red Baja Deposito bombeo
 - Red Baja Deposito Agua de la Montaña 1
 - Deposito Agua de la Montaña 2
 - Deposito Red Media
 - Deposito Red Alta
 - Deposito Red Asunción
 - Depósito Red Alta 1 Caxaque

⁵ Encuesta realizada por Novotecni-Inclam en 2015.

- Conducciones
 - Nacimientos Ixcamal/Arcos/Cadena
 - Caja reunidora de caudales
 - Caja distribuidora de caudales (CDC)
 - De CDC a TD Red Alta
 - De CDC a TD Red Baja Agua de la Montaña
 - De CDC a TD Red Baja Agua de la Montaña Rebalse

- Impulsiones
 - De Pozo No. 1 hacia Tanque Red Baja bombeo
 - De Pozo No. 2 hacia Tanque Red Baja bombeo y Agua de la Montaña
 - De Pozo No. 3 hacia tanque Red Media
 - De pozo No. 4 hacia estación de transferencia Red Media
 - De Estación de transferencia hacia Tanque Red alta 1 Caxaque
 - De Nacimiento Asunción hacia Tanque de Distribución Asunción
 - De Pozo No. 5 hacia tanque de distribución Asunción

- Desinfección
 - Tanque Bombeo, Red Baja
 - Tanque Agua de la Montaña, Red Baja
 - Tanque Pozo No. 3, Red Media
 - Tanque estación de transferencia, Red Media-Tanque Red alta 1
 - Tanque Red Media Pozo 4
 - Tanque Red Asunción-Nacimiento Asuncion
 - Tanque Red Asunción-Pozo No. 5

- Red de distribución
 - Red de distribución zona de presión baja

- Red de distribución zona de presión Media
- Red de distribución zona de presión Alta (Caxaque y Rincón sector alto)
- Red de distribución zona de presión Alta 1 (Rincón Bajo y Federación)
- Red de distribución zona de presión Asunción
- Red de distribución zona de presión Asunción-Lagunas
- Red de distribución Madre Selva

En tabla III se ubican las coordenadas de las fuentes de abastecimiento para la ciudad de San Marcos que administra la EMAPS.

Tabla III. **Coordenadas de fuentes de abastecimiento EMAPS**

		COORDENADAS UTM (WGS 84)		Cantidad de agua aprovechada		HP BOMBEO
Descripción	Ubicación	X	Y	Z msnm	Q (l/s)	
Nacimiento Ixcamal	Aldea Santa Lucia Ixcamal	628 230.720	1 661 527.822	3 021.730	9,50	
Nacimiento Los Arcos,	Cerro Chil, San Andrés Chápil, San Pedro Sac.	629 267.270	1 659 015.010	2 991.610	2,35	
Nacimiento La Cadena cerro Chil	Cerro Chil, San Andrés Chápil, San Pedro Sac.	629 463.020	1 658 845.020	2 982.770	3,40	
Nacimiento Asunción	Colegio la Asunción zona 5, S.M.	62 7803.276	1 652 539.032	2 312.510	11,02	40
Pozo 1	14 Av "A" 1-233 zona 5, Bodega EMAP	628 739.004	1 653 758.361	2 390.950	16,10	50
Pozo 2	15 Av. Zona 5, Plazuela Barrios	628 532.814	1 654 197.498	2 425.290	9,52	50
Pozo 3	Aldea Caxaque, predio mpal, Atrás de las instalaciones Inmo Caxaque	627 426.262	1 654 930.324	2 517.520	9,72	40
Pozo 4	Predio Municipal, atrás Fuerza de tarea	627 886.000	1 654 365.000	2 461.000	34,12	125
Pozo 5	Lotificación Linda Vista, 15 Av y 1ª calle final zona 5	628790.119	1 653 113.696	2 398.000	33,10	125

Fuente: elaboración propia.

2.3. Topografía

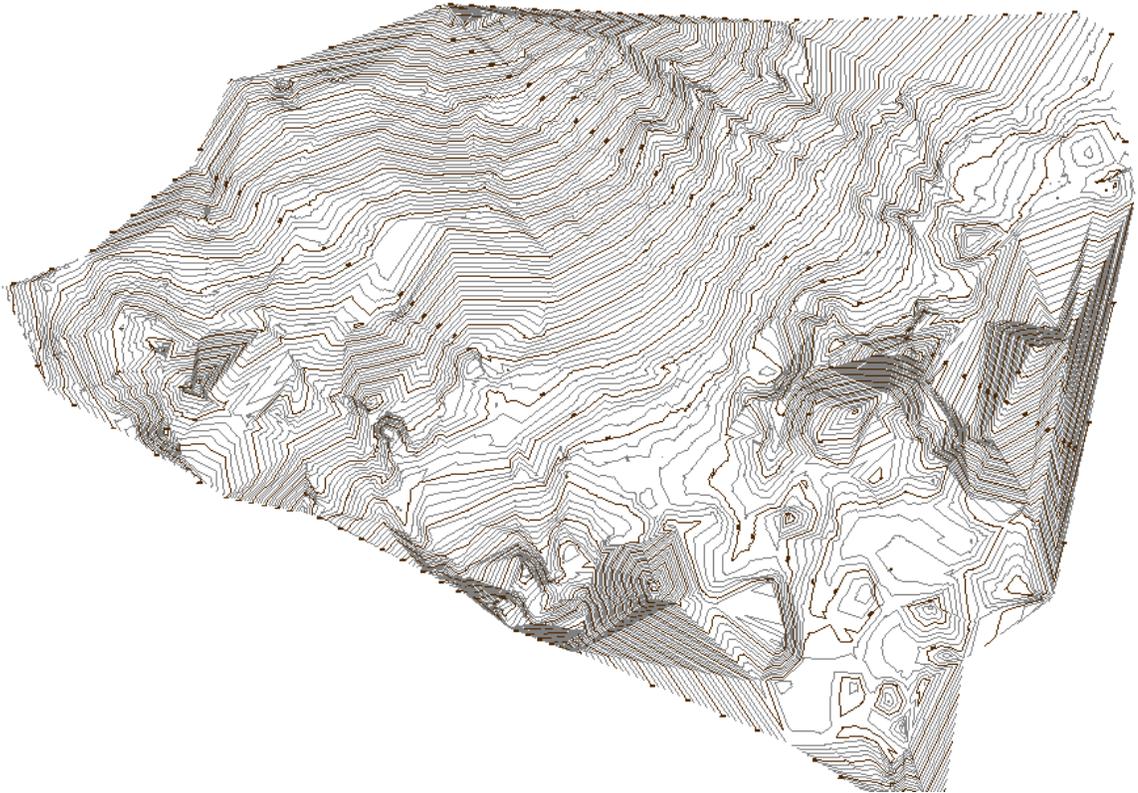
Se cuenta con levantamiento topográfico de primer orden realizado por el Proyecto de gestión de agua Xlok'a a través de Horizont 3000 financiado por la Cooperación Austriaca para el Desarrollo, se define en ella las calles principales, cajas de válvulas existentes, monumentos, edificios gubernamentales, curvas de nivel, grilla de coordenadas UTM, puntos topográficos, puentes, y demás referencias a detalle. Los datos se plotean con el software Landesktop v2006, para la generación de curvas de nivel y referenciación. Ver figuras 5 y 6.

Figura 5. **Levantamiento topográfico ciudad de San Marcos**



Fuente: elaboración propia con información de EMAPS.

Figura 6. **Curvas de nivel ciudad de San Marcos**



Fuente: elaboración propia, con información EMAPS.

2.4. Red de distribución actual

La red de distribución actual refiere a un trabajo de campo y gabinete en la revisión de los documentos existentes y comprobación de tubería en los registros CAD con los que cuenta la empresa municipal de agua potable y saneamiento. Esta revisión se realizó en conjunto con personal técnico de campo y extrabajadores de EMAPS (jubilados) quienes, en su momento, efectuaron modificaciones en redes y que no fueron tomados en cuenta al plasmar las actualizaciones por entidades cooperantes.

2.5. Análisis de la problemática

El sistema de distribución de agua potable tiene una cobertura del 73.78%. Abastece a 22 329 habitantes de los 32 250 que viven en la ciudad de San Marcos⁶. Existen 7 redes de distribución bien definidas las cuales se pueden evaluar de forma independiente. Estas redes son Red Baja, Red Media, Red Alta, Red Alta 1, Madre Selva, Red Asunción y Las lagunas. A continuación, se describen la red alta y red media, que tienen relación con el comportamiento de la red baja.

2.5.1. Red de distribución media

Esta red de distribución abastece el sector norte centro de la ciudad de San Marcos, zonas 4 y 5 y también parte rural de la aldea San Rafael Soche, tiene un área de 1,99 km², la población a la que abastece es de 7 073 habitantes en 1532 servicios. A esta red la abastece su tanque de distribución (TD RM) y su servicio es de 24:00 horas. El caudal que ingresa al tanque de distribución es de 42,80 l/s detallado de la siguiente manera 33 l/s del pozo No. 4 + 9,8 l/s del pozo No. 3, pero existe una interconexión hacia el tanque de Red Baja que transporta un caudal de 21.51 l/s por lo que el agua que se queda en la red es de 21.29 l/s.

2.5.2. Red de distribución alta

Esta red de distribución abastece el sector oeste de la ciudad de San Marcos y cubre áreas rurales de las aldeas San Rafael Soche, Caxaque, Rincón parte alta y aldea La Federación, tiene un área de 5.21 km², la población a la que abastece es de 7 705 habitantes en 1 668 servicios.

⁶ Novotecni-Inclam 2015. *Censo del sistema de agua urbano.*

Esta red se abastece por medio de su tanque de distribución (TDRA) y su servicio es de 05:00 a 16:00 horas.

El caudal que ingresa al tanque de distribución es de 12,7 l/s. proveniente de las fuentes Ixcamal, los Arcos y la Cadena. Se ha habilitado una división de esta red, por medio de una estación de rebombeo construida en las instalaciones de red media, la cual del caudal bombeo del pozo No. 4, se rebombee hacia un nuevo tanque de distribución 9,00 l/s. Con ello se logra diferenciar la red de distribución en dos sectores, Red alta con cobertura únicamente El rincón Sector alto, Caxaque y San Rafael Soche. Y Red Alta1 exclusivamente El Rincón Sector bajo y Aldea la Federación.

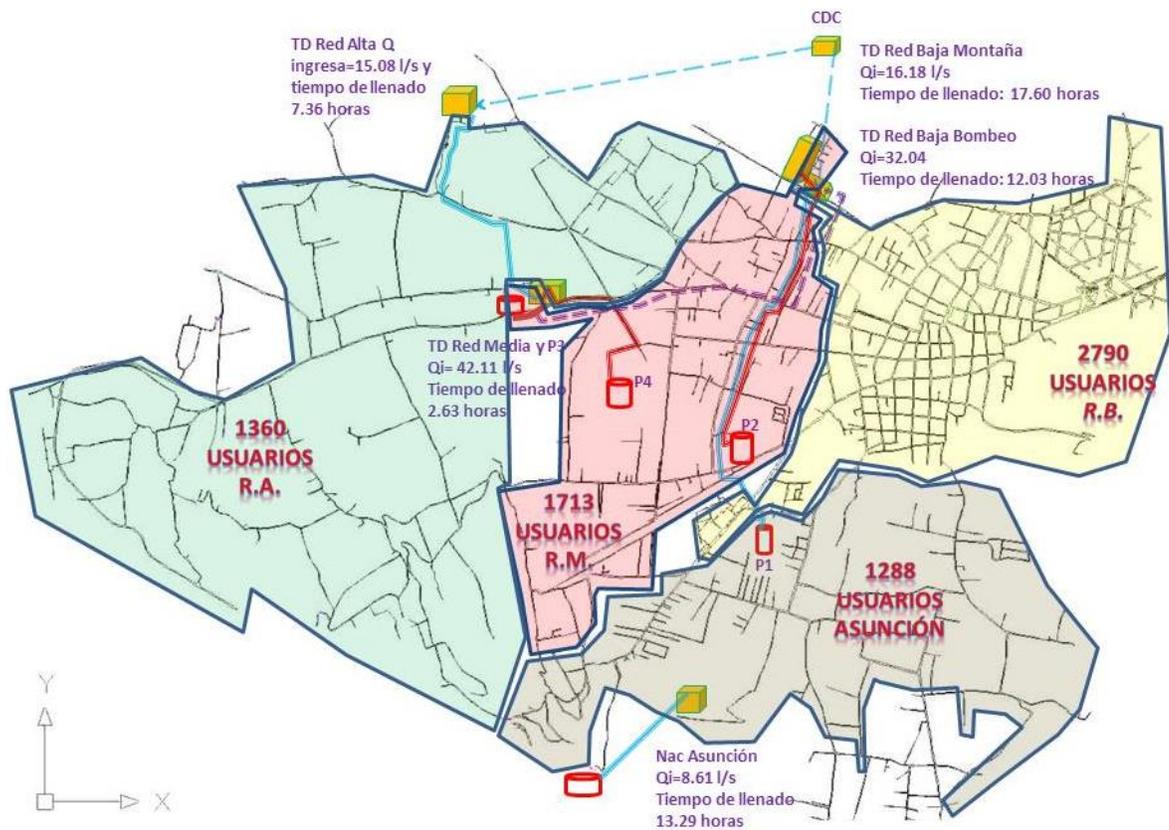
2.5.3. Red de distribución baja

Esta red de distribución abastece el sector noreste y centro de la ciudad de San Marcos y cubre la mayor parte de la zona urbana de la ciudad, tiene un área de 2,14 km², la población a la que abastece es de 12 339 habitantes en 2 672 servicios en la zona 1, 2, 3, y parte de la zona 5 de San Marcos.

Esta red es abastecida por sus 3 tanques de distribución (TD RB1 bombeo, TD RB2 y TD RB3 agua de la montaña) y su servicio es de 05:00 a 16:00 horas. El caudal que ingresa a los tanques de distribución proveniente de los pozos 1 y 2 es de 32,04 l/s, así mismo, ingresa otro caudal proveniente de la C.D.C. conducción de nacimientos Ixcamal, los arcos y la cadena con 3.32 l/s, este es eventual de acuerdo con la operación que se realice en el sistema de red alta. Adicionalmente, se inyecta 22,51 l/s de una interconexión de tanques para sufragar la demanda en horas de la tarde.

Se ha encontrado que la producción de agua potable para abastecer a la población de red baja durante 24 horas no es suficiente, por lo cual requiere que se inyecte de otros sistemas. En la figura 9 se observa la ubicación de cada una de ellas. Habilitar el servicio por 24 horas acarrea problemas por fugas y tuberías que se rompen constantemente ya que en la noche la presión dinámica aumenta.

Figura 9. Ubicación de red de distribución en formato CAD



Fuente: elaboración propia con información de EMAPS.

2.6. Definición del área a intervenir

Los sismos suscitados el 7 noviembre de 2012 y 07 de julio del año 2014, modificaron el comportamiento de la prestación del servicio. Algunas viviendas con servicios de agua fueron demolidas, se realizaron modificaciones de viviendas existentes y construcción de nuevas edificaciones o comercios, lo que ha ocasionado un comportamiento inusual en la prestación del servicio de agua. La infraestructura del edificio que albergaba la empresa de agua sufrió daños, figura 10 y 11, así como la red existente, figura 12 y 13. Se une a esto los efectos del cambio climático, el consumo excesivo de agua, la tarifa baja por canon de agua, entre otros.

Figura 10. **Daños estructurales en edificio empresa municipal de agua**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Daños en oficina empresa municipal de agua**



Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Daño a infraestructura de la red de distribución de agua**



Fuente: Empresa municipal de agua potable.

Figura 13. **Daños en las conexiones domiciliarias**



Fuente: Empresa municipal de agua potable.

La falta de instrumentos para medir el flujo y su dirección, la operación de prueba y error de la red ocasiona que la zona de presión red baja sea la más problemática para estabilizar las fluctuaciones que se dan por la suspensión de energía eléctrica o por la alta demanda. El descontrol en la red obedece a que la operación realizada por fontaneros no se respalda con procesos técnicos.

La figura 14, muestra el área de influencia a analizar y la figura 15 la dirección del flujo en la red de distribución baja. Información recabada con personal de campo de EMAPS en el área de estudio, a efecto de estabilizar y mejorar la operación de la red más grande de la ciudad de San Marcos.

Figura 14. **Área de influencia red baja**



Fuente: elaboración propia con información de EMAPS.

Figura 15. **Dirección de flujo y operación actual**



Fuente: elaboración propia con información de EMAPS.

2.6.1. Presiones en las redes

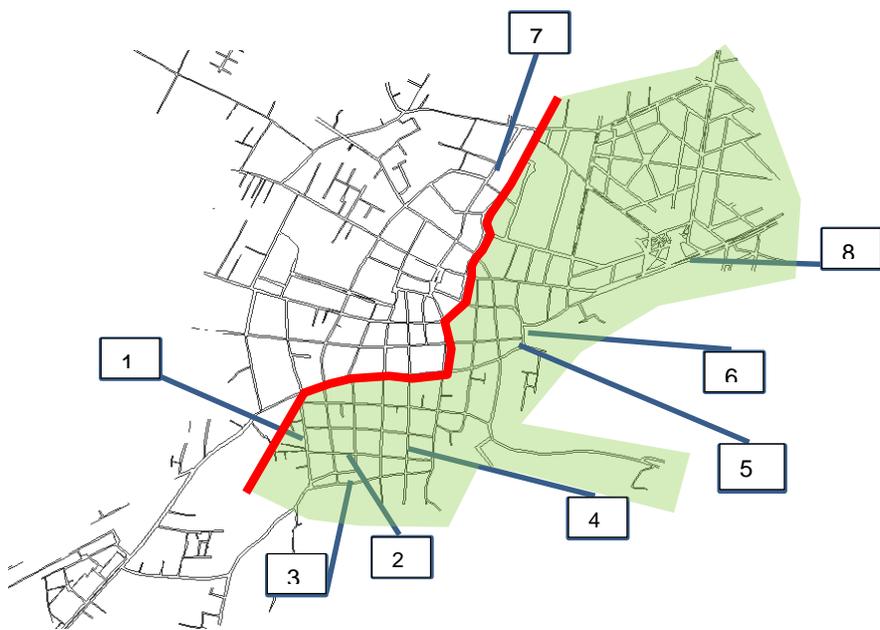
Los puntos de interés donde se manifiestan altas presiones y falta de servicio de agua se observan en la figura 16. Estas fueron identificadas en campo aleatoriamente. La diferencia de alturas respecto a los tanques de distribución se realizó utilizando manómetro, de igual forma en la tabla IV se identifican las viviendas monitoreadas. El sector con color verde identifica el área con mayor inconveniente, tanto en presiones altas como falta de agua por operación inadecuada del sistema.

Tabla IV. **Lista de monitoreo de presiones altas**

No.	Psi	mca	USUARIO	DIRECCIÓN	1 MCA= 1.422 PSI	HORA	RED
1	106	74.54	Marta Maldonado	13 av. 2-16 zona 4		17:10	Baja
2	90	63.29	Israel Echeverría	2a calle 11-25 zona 4		17:18	Baja
3	110	77.36	Orlando Rocael	1a calle 10-108 zona 4		17:26	Baja
4	90	63.29	Celia V. Gil	9a Av. 2.52 zona 2		17:36	Baja
5	80	56.26	Isabel Pérez	5a Calle 5-41 zona 2		17:50	Baja
6	100	70.32	Manuel Ramos	5a Av. 6-02 zona 2		17:58	Baja
7	71	49.93	Ciriaco Muñoz	8a Av zona 3		18:15	Baja
8	95	66.90	Centro de Salud	Calzada Revolución		16.15	Baja

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Ubicación de puntos de monitoreo de presiones**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3. ELEMENTOS POR DIMENSIONAR

3.1. Fundamentos de cálculo hidráulico

En la actualidad, en el estudio y análisis de las redes de abastecimiento es indispensable recurrir a programas informáticos, de los cuales se obtienen, de manera instantánea, los valores de presiones y caudales en función de los parámetros definidos.

En general, los programas dirigidos al cálculo de redes necesitan la definición de los siguientes componentes, con el objetivo de obtener un modelo de la red lo más próximo a la realidad, como se identifica en la tabla V.

Tabla V. **Componentes de modelo de red**

Componentes Físicos		Componentes no Físicos
Elementos puntuales	Elementos lineales	
Nodos de caudal	Tuberías	Curvas de comportamiento
Embalses	Bombas	Curvas de modelación o patrones
Depósitos	Válvulas	Leyes de control

Fuente: GARCÍA, María. *Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión*. p. 15.

El comportamiento de cada uno de estos elementos se rige por las ecuaciones de continuidad en nudos y de conservación de la energía, así como por la relación entre la diferencia de alturas piezométricas de los extremos de cada elemento lineal y su caudal circulante. Estas expresiones relacionan las incógnitas que buscamos (caudales y presiones) con los parámetros y resto de variables que definen la red.

Del conjunto de relaciones anteriores se obtienen dos sistemas de ecuaciones no lineales, uno aplicando la ecuación de continuidad en nudos, y otro basado en las pérdidas de carga de los elementos de la red. De su resolución se obtendrán los caudales circulantes y las presiones en los nudos.

El carácter no lineal de estos sistemas de ecuaciones hace indispensable la aplicación de métodos numéricos de resolución. Por ejemplo, EPANET (programa informático) utiliza el método de Newton-Raphson para hallar la solución simultánea del sistema de ecuaciones de balance de masa y energía. El problema es resuelto mediante la solución iterativa de un sistema de ecuaciones lineales de tamaño igual al número de alturas piezométricas desconocidas.

3.1.1. Ecuaciones fundamentales

Se aplican los principios de conservación de masa y energía. De modo que las ecuaciones planteadas serán:

Dónde:

Q_{ij} : caudal que circula en la línea que une el nudo i al j ;

n_i : número total de líneas que convergen en el nudo i ;

C_i : caudal de alimentación o consumo en el nudo i .

3.1.1.2. La ecuación de Bernoulli

En lo que respecta a la conservación de energía, esta ecuación se expresa como sigue: “La energía por unidad de peso del fluido en la sección aguas arriba (E_1), más la energía por unidad de peso cedida al mismo a través de elementos activos, tales como bombas (h_b) en el trayecto de 1 a 2 es igual a la energía por unidad de peso en la sección aguas abajo (E_2) más las pérdidas de energía por unidad de peso entre las secciones 1 y 2 (h_{1-2})”.

$$E_1 + h_b = E_2 + h_{1-2}$$

La energía por unidad de peso en una determinada sección consta de tres componentes:

$$E = \frac{p}{\gamma} + Z + \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

p/γ : altura de presión

Z : cota geométrica

$V^2/2g$: altura cinética

3.1.2. Ecuaciones de comportamiento de los elementos de la red

Establecen una relación entre la diferencia de alturas piezométricas entre los extremos del elemento y el caudal circulante.

3.1.2.1. Tuberías

La pérdida de carga o altura piezométrica en una tubería debida a la fricción por el paso del agua puede calcularse con EPANET utilizando las siguientes formulaciones:

- Darcy-Weisbach (para todo tipo de líquidos y regímenes)
- Hazen-Williams (solo para agua)
- Chezy-Manning (para canales y tuberías de gran diámetro)

La ecuación básica de estas tres fórmulas es:

$$h_L = AQ^b$$

Donde:

h_L : pérdida de carga

Q: caudal

A: coeficiente de resistencia

B: exponente de caudal

Los valores de los parámetros A y B se encuentran representados en la tabla VI, y Los coeficientes de rugosidad que aparecen en las tres formulaciones se encuentran clasificados según el tipo de tuberías en la tabla VII.

Tabla VI. **Fórmulas de pérdida de carga para tubería en presión**

Fórmula	Coeficiente de Resistencia (A)	Exponente de Caudal (B)
Hazen-Williams	$10,674 C^{-1,852} d^{-4,871} L$	1,852
Darcy-Weisbach	$0,0827 f (\epsilon, d, Q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$10,294 n^2 d^{-5,33} L$	2
donde: C: coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams ϵ : coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach (m) f: factor de fricción (depende de ϵ , d y Q) n: coeficiente de rugosidad de Manning d: diámetro de la tubería (m) L: longitud de la tubería (m) Q: caudal (m ³ /seg)		

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Coeficientes de rugosidad para tubería nueva**

Material	C Hazen-Williams (universal)	ϵ Darcy-Weisbach (mm)	n Manning (universal)
fundición	130-140	0,26	0,012 – 0,015
hormigón	120-140	0,3 – 3,0	0,012 – 0,017
hierro galvanizado	120	0,15	0,015 – 0,017
plástico	140-150	0,0015	0,011 – 0,015
acero	140-150	0,045	0,015 – 0,017
cerámica	110	0,3	0,013 – 0,015

Fuente: elaboración propia.

El factor de fricción f de la fórmula de Darcy-Weisbach se calcula, según el tipo de régimen, con uno de los siguientes métodos:

- Para flujo laminar ($Re < 2.000$) emplea la fórmula de Hazen-Poiseuille

$$f = \frac{64}{Re}$$

- Para flujo turbulento ($Re > 4.000$) emplea la aproximación explícita de Swamee y Jain a la fórmula de Colebrook-White:

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7d} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right]^2}$$

- Para el flujo de transición ($2000 < Re < 4000$) aplica una interpolación cúbica al diagrama de Moody:

3.1.2.2. Bombas

En caso de bombas, la altura suministrada al fluido se considerará como pérdidas cambiadas de signo, según la siguiente expresión:

$$h_{ij} = -\omega^2 \left(h_0 - r \left(\frac{Q_{ij}}{\omega} \right)^n \right)$$

donde:

h_0 : altura a caudal nulo

ω : velocidad relativa de giro

r y n : son parámetros de la curva de la bomba

Q_{ij} : caudal que circula en la línea que une el nudo i al j .

3.1.2.3. Válvulas y accesorios

Las válvulas abiertas se consideran como tuberías lisas (con factor de fricción f igual a 0.02) de longitud igual a dos veces su diámetro. En el caso de válvulas cerradas se aplica la siguiente formulación lineal:

$$h = 10^8 Q$$

Las pérdidas localizadas en válvulas activas y accesorios se evalúan como el producto de la altura cinética multiplicada por un coeficiente de pérdidas K , en la forma:

$$h = K \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad \text{o bien} \quad h = \left(\frac{8K}{\pi^2 g D^4} \right) Q^2$$

donde:

K : coeficiente de pérdidas menores

v : velocidad del flujo

g : aceleración de la gravedad

D : diámetro del elemento

Q : caudal circulante

Para EPANET, el cálculo de pérdidas se realiza con la expresión en función del caudal, de la siguiente manera:

$$h = \frac{0,02517}{D^4} Q^2$$

En unidades del sistema internacional el coeficiente numérico 0,02517 se transforma en 0,08262.

En tabla VIII se listan los valores de K para algunos de los accesorios más comunes. Estos valores son solo aproximados, ya que K depende de la geometría del accesorio, de Re y en ocasiones, de las condiciones de flujo.

Tabla VIII. **Coeficiente de pérdidas menores**

ACCESORIO	COEF.PÉRDIDAS (K)
Válvula de globo, todo abierta 10,0	10
Válvula de ángulo, todo abierta 5,0	5
Válv. Retenc. Clapeta, todo abierta 2,5	2,5
Válvula compuerta, todo abierta 0,2	0,2
Codo de radio pequeño 0,9	0,9
Codo de radio mediano 0,8	0,8
Codo de radio grande 0,6	0,6
Codo a 45° 0,4	0,4
Codo de retorno (180°) 2,2	2,2
Té Estándar – flujo recto 0,6	0,6
Té Estándar – flujo desviado 1,8	1,8
Entrada brusca 0,5	0,5
Salida brusca 1,0	1,0

Fuente: elaboración propia.

4. FUNDAMENTOS DE EPANET

4.1. Modelo Epanet

EPANET aplica el método de iteraciones sucesivas conocido como Método del gradiente, propuesto en 1987 por Todini y Pilati. Técnicas basadas en métodos de optimización, así como técnicas basadas en el método de Newton-Raphson nodal. Comienza aplicando las técnicas de optimización, las cuales garantizan la existencia y unicidad de la solución minimizando la función objetivo, condiciones indispensables para que se produzca la convergencia. Posteriormente, al utilizar las técnicas del método de Newton-Raphson.

El problema es finalmente conducido a una solución algebraica mediante el proceso iterativo conocido como Algoritmo de Factorización Incompleta de Choleski / Gradiente Conjugado Modificado, cuyas siglas en inglés corresponden a ICF/MCG (Incomplete Choleski Factorization / Modified Conjugate Gradiente).

Propone dos sistemas de ecuaciones, uno basado en las pérdidas de carga de los elementos de la red, y otro aplicando la ecuación de continuidad en nudos, de modo que, en ambos casos, las incógnitas son los caudales circulantes.

El método de resolución del gradiente comienza estimando inicialmente el caudal que atraviesa cada tubería, sin necesidad de cumplir la ecuación de continuidad. Este caudal será el correspondiente a una velocidad de 1 pie/s (0,3048 m/s).

En cada iteración, el método calcula las alturas piezométricas en los nudos resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\mathbf{TH} = \mathbf{F}$$

donde:

T: matriz Jacobiana (n, n)

H: vector de incógnitas nodales (n, 1)

F: vector de términos independientes (n, 1)

4.1.1. Descripción de las estructuras del modelo

Para el análisis hidráulico de redes de distribución, primero se formula el problema y se establecen las ecuaciones que representan con mayor fidelidad el sistema para obtener los valores de alturas piezométricas en los nudos y los caudales que circulan por las tuberías, a partir de las características de los componentes de la red. De modo que se tiene:

Datos

- Características de las conducciones:
 - longitud
 - diámetro
 - rugosidad
- Características de componentes especiales:
 - niveles de depósitos
 - curvas características de los grupos de bombeo
 - consigna de válvulas
- Consumos en los nudos
- Altura piezométrica de referencia (suma de altura de presión y cota)

Incógnitas:

- Caudales circulantes por tuberías
- Alturas piezométricas en los nudos

4.1.2. Elementos del modelo

Es un conjunto de elementos interconectados que conducen el agua desde los puntos de alimentación a los de consumo, manteniendo unas condiciones cuantitativas y cualitativas óptimas.

4.1.2.1. Red de distribución

La topología del sistema da lugar a los siguientes tipos de redes:

4.1.2.1.1. Ramificadas

Su forma similar a las ramas de un árbol se caracteriza porque el agua tiene un único trayecto desde el punto de abastecimiento al punto de consumo. Es el caso de las redes de regadío, para conocer el caudal que circula por una línea solo es necesario aplicar la ecuación de continuidad en cada nudo, junto con la ecuación de la energía.

Estas pueden resultar poco compensadas. La solución se obtiene a través de un cálculo directo, ya que en los puntos más alejados de la red las presiones son menores. También presentan problemas de calidad al estancarse el agua. Esto es muy común en zonas de playa, donde es necesario reclarar o purgar el sistema, con la pérdida de agua que conlleva.

4.1.2.1.2. Malladas

Están compuestas por circuitos cerrados formados por varias líneas. Ofrecen mayor garantía que las redes ramificadas, ya que el agua tiene distintos caminos para llegar al punto de consumo. Así mismo las presiones tienden a autoequilibrarse sin necesidad de infraestructuras.

No pueden calcularse únicamente mediante la ecuación de continuidad, de modo que la determinación de caudales es más compleja, lo que hace imprescindible tenerlas modelizadas.

4.1.2.1.3. Mixtas

Son las más comunes. Presentan mallas que conectan las arterias principales y ramificaciones en las tuberías secundarias que llevan el agua al consumidor. También es determinante la temporalidad en el momento de la modelación:

La representación física de la red es la siguiente:

- Elemento: es un componente real de la red, sin unión con el exterior, cuyo comportamiento hidráulico está perfectamente definido. Generalmente, una red está constituida por una gran cantidad de elementos, de modo que para facilitar la modelación se agrupan en líneas.
- Líneas: es un conjunto de elementos que se pueden caracterizar mediante una ecuación representativa del comportamiento global.
- Nudos: corresponden a los lugares donde son aplicadas las condiciones de contorno del problema. Es a través de ellos por donde la red se comunica con el exterior.

4.1.3. Opciones hidráulicas de análisis

Previo a abordar las modelaciones, se representan como nudos los siguientes conceptos:

4.1.3.1. Nudos de Caudal

Son puntos donde confluyen las tuberías a través de los cuales sale o entra agua, aunque también pueden ser solo nudos de paso. Pueden tener asociados distintos tipos de demandas. Igual que el resto de los elementos considerados como nudos pueden ser punto de entrada de contaminantes a la red.

4.1.3.2. Embalses

Son una fuente externa de alimentación o sumideros con capacidad ilimitada. Representan lagos, ríos, acuíferos o entradas a otros subsistemas. Al tratarse de elementos de contorno del sistema no existen resultados derivados del cálculo en los mismos, ya que no se verán afectados por lo que ocurra en la red.

4.1.3.3. Depósitos

Tienen una capacidad limitada de almacenamiento. En ellos, puede variar el nivel de agua con el tiempo durante la simulación. Si el depósito está a su nivel máximo o mínimo, EPANET impide la entrada o salida de agua cerrando las líneas que lo conectan con la red.

4.1.4. Parámetros temporales

Simulación en periodo simple. Los consumos en nudos, la piezometría y las características de los elementos de regulación no sufren alteraciones a lo largo del tiempo.

Simulación en periodo extendido. La variable tiempo se considera explícitamente. En todo caso, considera que los tiempos de maniobra son muy superiores a los tiempos de viaje de las ondas de forma que no existe golpe de ariete.

4.1.5. Reglas de funcionamiento

EPANET necesita componentes no físicos para describir el comportamiento y modo de operación del sistema. Estos son:

4.1.5.1. Curvas de comportamiento

Representan la relación entre dos magnitudes. Es el caso de curvas características (altura-caudal), de rendimiento (rendimiento en %-caudal), de cubicación de embalses (volumen-caudal) o de pérdidas en válvulas de propósito general (pérdidas-caudal). Será necesario hacer referencia explícita a la curva en cuestión modificando las propiedades de cada elemento.

4.1.5.2. Curvas de modulación o patrones

Se aplican cuando una determinada magnitud sufre modificaciones a lo largo del tiempo. Se utilizan para modular la demanda en nudos, las alturas de los embalses, la velocidad de giro de las bombas, las inyecciones de contaminantes en la red, así como para calcular el precio de la energía.

4.1.5.3. Leyes de control simples

Cambian el estado o la consigna de una línea según:

- el nivel de agua en un depósito
- la presión en un nudo
- el instante de la simulación
- la hora del día

4.1.5.4. Leyes de control basadas en reglas

Controlan el estado de líneas o consignas según una combinación de situaciones que pueda darse en la red.

4.1.6. Epacad para Epanet V2e

El programa EpaCAD permite convertir ficheros de AutoCAD que contienen tuberías en ficheros que pueden ser abiertos con el programa de cálculo hidráulico EPANET. Este software complementario dispone de una herramienta para analizar la conectividad entre elementos, y la previsualización de la red antes de ser exportada a Epanet.

5. CAUDALES DE CÁLCULO

5.1. Caudales de cálculo para el modelo

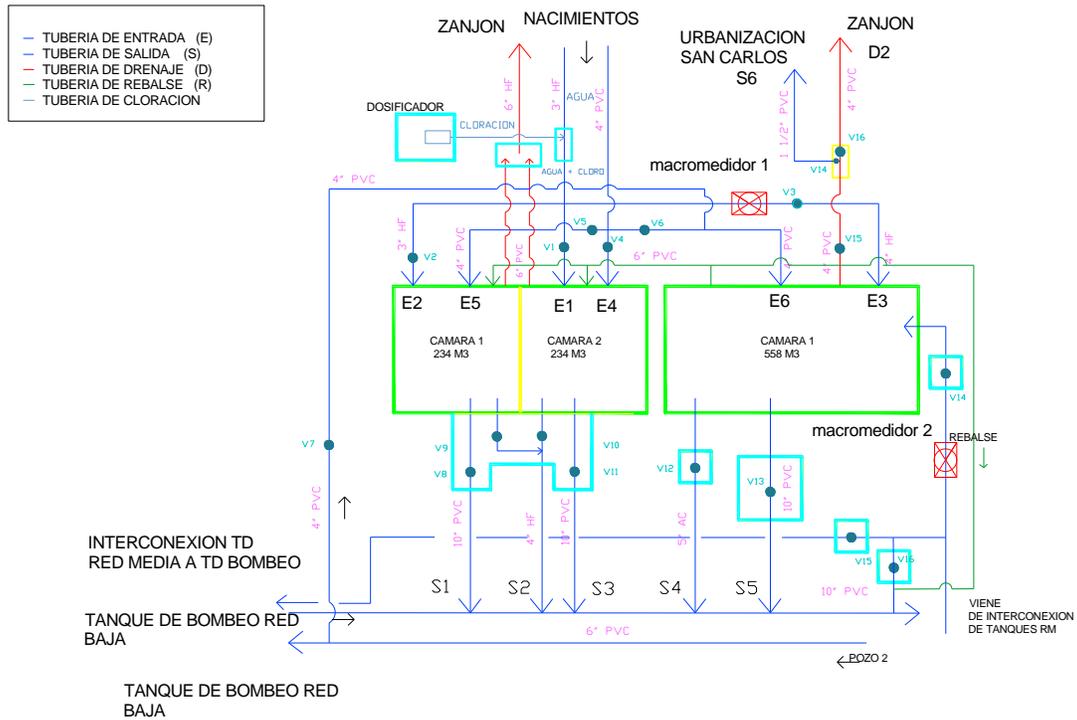
Para tal efecto es necesario conocer la cantidad de agua actual en el sistema de red baja, específicamente los caudales u oferta de producción que ingresan al sistema, tanto por gravedad como por bombeo.

5.1.1. Conducciones y entradas a depósito de distribución

Para este sistema específico, el caudal que ingresa proviene de diversas fuentes y se guarda en dos tanques de almacenamiento. En primer lugar, al tanque de almacenamiento red baja agua de la montaña, ingresa agua proveniente de una derivación desde la caja distribuidora de caudales, ubicada en el sector Los Coyotes del municipio de San Pedro Sacatepéquez, este caudal se registra por medio de un macromedidor de Ø4”.

Así mismo, tiene una conexión proveniente del sistema red media, conocido como interconexión de tanques. El objetivo es aumentar el caudal en horas pico y su control también es por medio de un macromedidor de Ø6”. Se puede observar en la figura 18 la ubicación y distribución de las tuberías existentes.

Figura 18. Esquema hidráulico tanque agua de la montaña



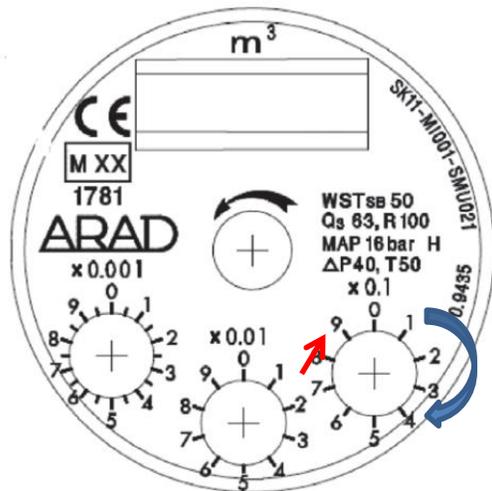
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El segundo tanque de almacenamiento se denomina agua por bombeo red baja. Le ingresa agua proveniente de los pozos mecánicos identificados como Pozo 1 y Pozo No. 2. El sistema hidráulico cuenta en el Manifold de salida con macromedidores con diámetros de 4" y 3" respectivamente. El caudal de estos pozos ingresa en una caja unificadora de caudales en la entrada de los tanques. El esquema de instalación se observa en la figura 19.

Los caudales de entrada en cada tanque y producción de pozos obtenidos de los macromedidores se calculan de acuerdo con las escalas establecidas en las carátulas de cada medidor. Para ello, de acuerdo con la figura 20 se observa que, en la parte inferior derecha, la escala x 0,1 inicia en cero y en el sentido de las agujas del reloj estas giran, de tal manera que una vuelta equivale a 1,00 metro cubico.

Para este cálculo, el volumen definido es de 1 metro cubico o 1 000 litros en un tiempo determinado. Se registran 5 lecturas de las cuales el promedio de lecturas se estima el caudal que ingresa al tanque o se produce en cada pozo. Los registros que maneja la EMAPS son tomados semestralmente lo que conlleva a una falta de control sobre los caudales y demandas del sistema.

Figura 20. Carátula macromedidor de agua



$$Q = V/t$$

$$Q = 1000 \text{ litros} / \text{segundos}$$

$$Q = l/s$$

Donde:

Q = caudal aforado

V = volumen en m^3

t = tiempo en segundos

Fuente: ARAD. <http://arad.co.il>. Consulta: octubre 2017.

A continuación, los registros tomados durante 6 meses consecutivos, de los macromedidores instalados en las fuentes de abastecimiento y entrada de tanques de almacenamiento. Esto constituye la oferta de agua para el sistema red baja y se visualizan en tabla IX.

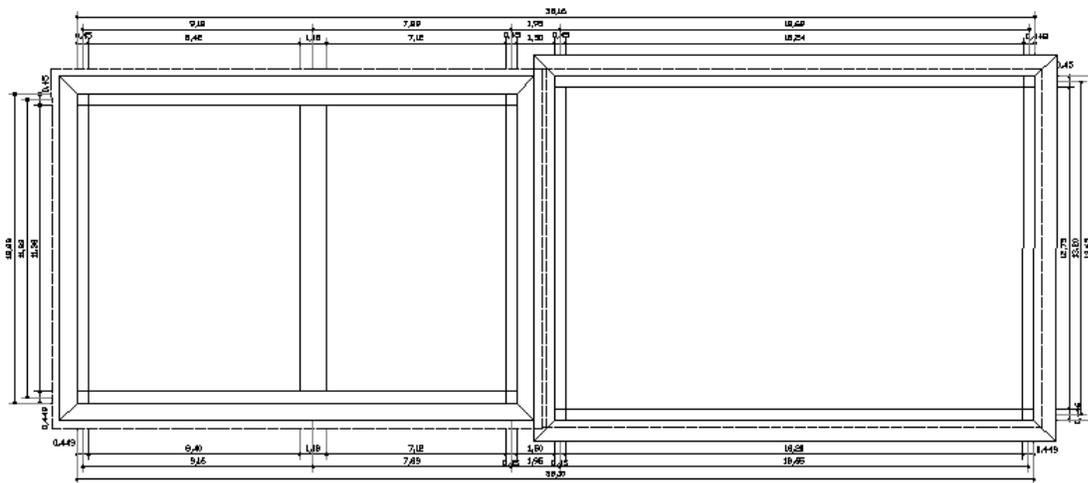
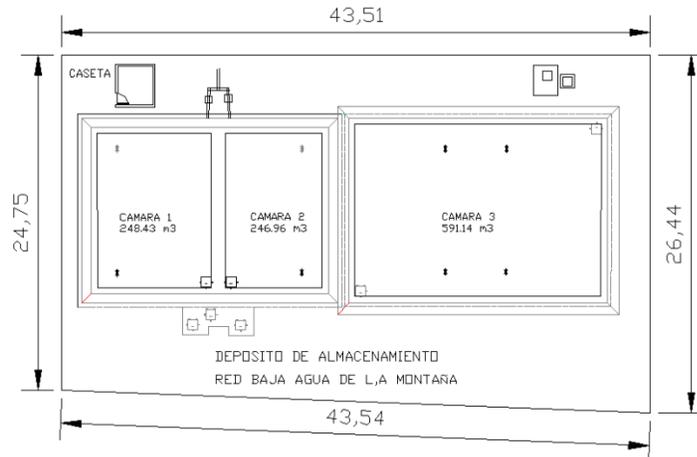
Tabla IX. **Control de aforos en macromedidores, para sistema red baja**

AFOROS $Q=V/t$				
	VOLUMEN	1000.000	L/S	
	PRODUCCIÓN pozos		nacimientos	interconexión
TIEMPOS	POZO 1	POZO 2	TD BAJA	RB Y RM
T1	102,700	54,113	312,740	49,430
T2	101,750	53,863	305,119	49,420
T3	101,100	54,318	311,870	49,515
T4	101,300	54,387		49,480
T5	101,250	54,216		49,521
T6	101,350	54,281		49,505
TIEMPO PROMEDIO	101,575	54,196	309,910	49,479
CAUDAL INSTANTÁNEO L/S	9,845	18,451	3,227	20,211
Total, Caudal instantáneo L/S	51,734			

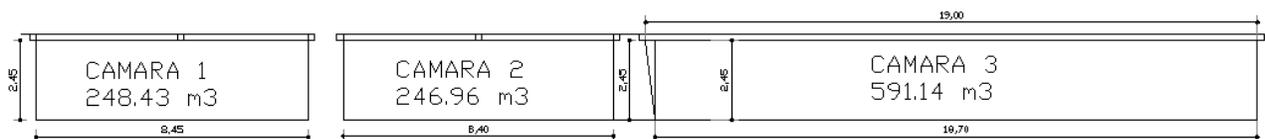
Fuente: elaboración propia.

La capacidad de almacenamiento en el sistema se obtiene midiendo las dimensiones interiores de cada cámara de los tanques y, posteriormente, se registran en un plano CAD, los cálculos pueden generarse utilizando la geometría de dichos tanques, ver tabla X. El detalle de las dimensiones de los tanques se muestra en figuras 21 y 22.

Figura 21. Tanques de almacenamiento agua de la montaña, red baja



PLANTA



SECCIÓN

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla X. **Volumen total de agua almacenada red baja**

DEPÓSITO	1 CÁMARA (m³)	2 CÁMARAS (m³)	SUMA (m³)
Red Baja -"Agua de la Montaña"- Primer sistema	248,43		248,43
Red Baja -"Agua de la Montaña"- Primer sistema	246,96		246,96
Red Baja -"Agua de la Montaña"- Segundo sistema	591,14		591,14
Red Baja -"tanque de bombeo"		2 x 714,12	1548,24
		TOTAL (m³)	2634,77

Fuente: elaboración propia.

Con las dimensiones de tanques de almacenamiento y aforos se calcula la producción promedio diario de agua al sistema de red baja. Esta información se detalla en la tabla XI.

Tabla XI. Producción promedio diario red baja

Sistema de abastecimiento de agua potable red baja						
Producción de agua de nacimientos						
Fuente	Caudal		hrs/día	Vol.	Días	m³/mes
	(l/s)	m³/h		m³/día		
Ixcamal, Los Arcos, Cadena	3,227	11,617	24	278,813	31	8 643.197
TOTAL	3,227	11,617	24	278,8130		8 643.197
Producción de agua pozos e interconexiones						
Fuente	Caudal		Hrs/día	Vol.	Días	m³/mes
	(l/s)	m³/h		m³/día		
Pozo No. 1	9,845	35,442	23	815,166	31	25 270,146
Pozo No. 2	18,451	66,424	24	1 594,166	31	49 419,158
Red media	20,100	72,360	10	723,600	31	22 431,600
TOTAL	48,396	174,226	24	278,8130		8 643,197
Producción total						
Fuente	Caudal			Vol.	Días	m³/mes
	(l/s)	m³/h	hrs/día	m³/día		
Nacimientos	3.227	11.617	24	278.81	31	8 643.197
Pozos	28.296	101.866	24	2 444.77	31	74 689.304
Interconexión	20.100	72.360	10	723.60	31	22 431.600
Total	51.623	113.4828		3 447.1872		105 764.101

Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Demandas en redes de distribución

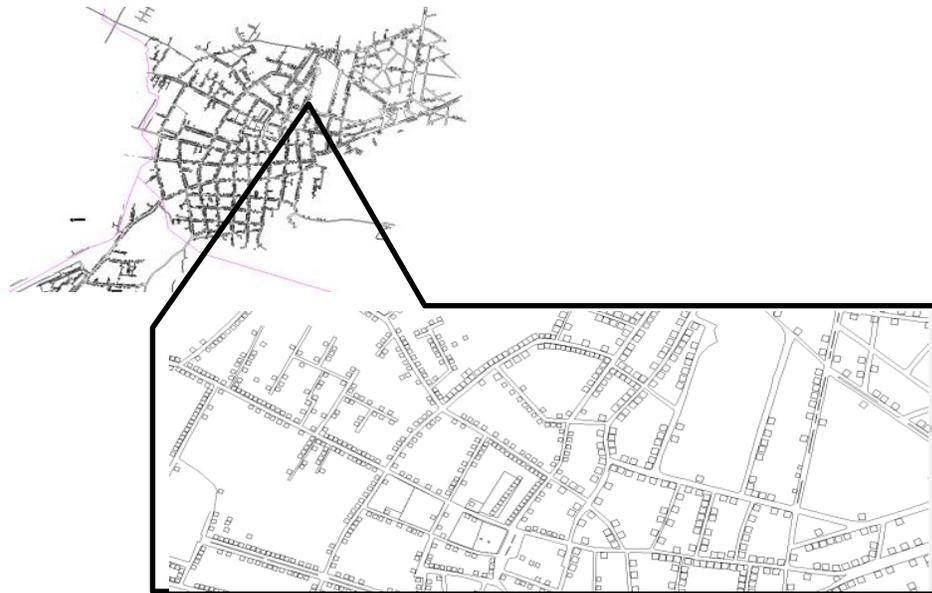
En toda red de distribución de agua, la tasa de crecimiento de la demanda es diferente para cada clase de consumo.

5.1.2.1. Población actual

Para el análisis de la demanda y población actual en la red de distribución, se utilizan los datos del padrón de usuarios del área administrativa de la empresa municipal de agua potable y saneamiento. Los lectores de medidores toman mensualmente estos registros y se incluyen los servicios nuevos instalados, es decir que se actualizan constantemente.

El análisis de la población actual se basa en los servicios existentes registrados, los cuales se dibujan en un plano para su identificación y control. Cada ruta se dibuja por aparte, de tal manera que al concluir las lecturas se actualice en el departamento técnico la información recabada. Este nuevo proceso implementado mejorará el control de los servicios conectados a la red y su ubicación en el padrón, de acuerdo con código asignado e identificado en un plano de densidad de vivienda de la ciudad de San Marcos, ver figura 23.

Figura 23. **Densidad de vivienda red baja formato CAD**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

5.1.2.2. Población futura

La población futura se calcula utilizando la tasa de crecimiento poblacional de 2.5%, tomando como base la cantidad de servicios conectados a la red y la cantidad de personas por vivienda de acuerdo con información actualizada que proporciona la empresa Novotecni-Inclam a septiembre de 2015, se establece como 4.33 hab/viv. Estos valores se calcularán más adelante en conjunto con la proyección de la demanda anual y los análisis de la red actual para futuras ampliaciones y mejorar la prestación del servicio actual.

5.1.2.3. Dotación de cálculo

Algunas investigaciones realizadas en países desarrollados han puesto de manifiesto que consumos percapita aumentan con el tamaño de la comunidad. Una de estas expresiones matemáticas que procuran evaluar tal factor para determinar la dotación en función de la población y se ocupan a falta de mejor información, es la expresión de Charles H. Capen Jr.⁷

Formula de Capen

$G = 54 P^{1/8}$; consumo percápita en gal/p/d

P = Número de habitantes en miles

Se deben evitar las pérdidas ya que no es extraño que haya servicios con un 30% del suministro como pérdidas.

La dotación varía junto con el tiempo y para analizar una expresión que indique esta variación, se considera el factor global de aumentos fraccionado en dos factores distintos:

- Factor de aumento de la dotación que depende del aumento de la población.
- Factor neto de variación, que corresponde al aumento de la dotación con el tiempo.

Al analizar los valores estadísticos de población y dotación en San Marcos, y al aplicar la ley exponencial se obtiene:

Ecuación $D' = D (1 + 0,006)^n$

⁷ CAPEN, Charles. *Journal AWWA*. p. 201

D' = Dotación con previsión

D = Dotación actual

Factor de progreso = 0,006⁸

n = número de años

Para un pueblo en rápida expansión, se puede calcular la dotación con la expresión de Capen.

Tal es el caso del sistema de EMAPS, ya que cuenta con información de consumo anuales de los usuarios o conexiones, se realiza el cálculo, y como resultado una dotación promedio, la cual será el punto de partida para determinar las demandas en la red. Los resultados se comparan con los obtenidos de la aplicación de la fórmula de Capen, tomando de referencias los años 2012, 2013, 2014, 2015 y 2016 detallados en las tablas XII, XIII, y XIV.

⁸ LÉMUS, Elmer. *El índice de progreso genuino (IPG) dentro del sistema de cuentas nacionales de Guatemala*. p. 62.

Tabla XII. **Dotación mensual y anual sistema red baja 2012 y 2013**

MESES 2012	M³	CONEXIONES	HABITANTES	DOTACIÓN l/h/d
Enero	181 389	6 095	26 391	229
Febrero	199 273	6 107	26 443	251
Marzo	183 814	6 128	26 534	231
Abril	190 060	6 151	26 634	238
Mayo	191 288	6 171	26 720	239
Junio	171 943	6 189	26 798	214
Julio	174 233	6 212	26 898	216
Agosto	184 878	6 231	26 980	228
Septiembre	176 510	6 246	27 045	218
Octubre	178 848	6 268	27 140	220
Noviembre	192 555	6 268	27 140	236
Diciembre	166 628	6 295	27 257	204
			Promedio	227
MESES 2013				
Enero	200 358	6 321	27 370	244
Febrero	179 145	6 346	27 478	217
Marzo	170 032	6 359	27 534	206
Abril	184 060	6 388	27 660	222
Mayo	212 427	6 406	27 738	255
Junio	174 832	6 423	27 812	210
Julio	174 381	6 448	27 920	208
Agosto	192 250	6 463	27 985	229
Septiembre	166 519	6 492	28 110	197
Octubre	184 942	6 512	28 197	219
Noviembre	177 256	6 545	28 340	208
Diciembre	157 933	6 559	28 400	185
			Promedio	217

Fuente: elaboracion propia.

Tabla XIII. **Dotación mensual y anual sistema red baja 2014 y 2015**

MESES 2014	M³	CONEXIONES	HABITANTES	DOTACIÓN l/h/d
Enero	305 929	6 579	28 487	358
Febrero	183 449	6 601	28 582	214
Marzo	175 280	6 627	28 695	204
Abril	188 566	6 627	28 695	219
Mayo	292 803	6 683	28 937	337
Junio	166 790	6 699	29 007	192
Julio	183 329	6 717	29 085	210
Agosto	170 590	6 732	29 150	195
Septiembre	178 718	6 755	29 249	204
Octubre	171 764	6 776	29 340	195
Noviembre	166 413	6 786	29 383	189
Diciembre	173 683	6 800	29 444	197
			Promedio	226
MESES 2015				
Enero	184 752	6 823	29 544	208
Febrero	177 426	6 840	29 617	200
Marzo	181 241	6 850	29 661	204
Abril	196 111	6 851	29 665	220
Mayo	175 218	6 887	29 821	196
Junio	183 401	6 906	29 903	204
Julio	194 639	6 931	30 011	216
Agosto	188 474	6 956	30 119	209
Septiembre	187 043	6 985	30 245	206
Octubre	186 694	6 995	30 288	205
Noviembre	169 952	7 033	30 453	186
Diciembre	177 398	7 067	30 600	193
			Promedio	204

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Dotación mensual y anual sistema red baja 2016**

MESES 2016	M³	CONEXIONES	HABITANTES	DOTACIÓN l/h/d
Enero	194 338	7 111	30 791	210
Febrero	186 516	7 142	30 925	201
Marzo	174 136	7 153	30 972	187
Abril	203 054	7 164	31 020	218
Mayo	188 692	7 179	31 085	202
Junio	171 764	7 200	31 176	184
Julio	163 039	7 205	31 198	174
Agosto	182 619	7 212	31 228	195
Septiembre	176 678	7 218	31 254	188
Octubre	173 277	7 232	31 315	184
Noviembre	181 095	7 245	31 371	192
Diciembre	177 396	7 283	31 535	188
			Promedio	194

Fuente: elaboración propia.

Calculado de la siguiente manera

Dotación=(m³ consumidos*1000/(No. habitantes))/dias mes

Capen=54(6823*4,33/1000) ^ (1/8) =82,45 gal/h/d=312,10 l/h/d

Dotación de previsión para 2017:

$D' = D (1+0,006)^n$;

D: promedio dotación anual

$D' = 213,60 = 214$ l/h/d

Por lo tanto, se estima que la dotación para la ciudad de San Marcos es de **214 l/h/d**, dato promedio de los últimos años, en concordancia con la reglamentación y parámetros establecidos, por los siguientes motivos.

- Población entre el rango 12 000 – 50 000 habitantes áreas urbanas, estimación de dotaciones en función del número de habitantes de la población (inyectada en red) 250 l/h.dia.⁹
- Ubicarse en un clima frío, la cabecera del Municipio se encuentra en promedio a 2 500 msnm.
- Al aplicar la fórmula de Capen, la dotación es 312 l/h/d, este resultado se aplica a una ciudad industrializada, por lo que, para San Marcos es muy alto. De acuerdo con los parámetros, esta dotación debería estar entre los rangos 175-200 l/h/d.
- La demanda aumenta de acuerdo con el tiempo, por ello se estiman las proyecciones de demanda utilizando la expresión de dotación de previsión, se analiza el comportamiento de la red, de acuerdo con el tiempo que se requiera en “n” años.
- En referencia a dotaciones orientativas de las zonas residenciales según el nivel socioeconómico de la vivienda media representativa se recomienda, ver tabla XV.

⁹ Universidad Politécnica de Valencia. *Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua*. p. 570.

Tabla XV. **Dotaciones orientativas**

Nivel socioeconómico de la zona residencial	Bajo-Alto	Medio-Bajo	Medio-Medio	Medio-Alto	Alto-Bajo
Dotación (l/hab.día)	100-125	125-150	150-175	175-200	200-225

Fuente: Universidad Politécnica de Valencia. *Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua*. p. 570.

5.1.2.4. Demandas en la red

La cantidad de agua consumida en el área de cobertura red baja, se analiza de acuerdo con los reportes de rutas y lecturas de medidores, generados por el sistema administrativo de EMAPS, se traslada a una hoja electrónica para su análisis y determinación de los nodos a que corresponden. Por cada usuario se identifica su consumo máximo, mínimo y promedio, durante un tiempo establecido. Ver figura 24.

Figura 24. Consumos máximos, mínimos y promedio

Orden	Código	Nombre	Dirección	No. Contador	Zona de Presión	Promedio de Consumo		Consumo Mínimo	Ruta
						Consumo	Máximo		
1	101000221	IGLESIA DE JESUCRISTO DE LOS SANTOS ULTIMOS DIAS	11 CALLE Y 3 AVENIDA.ZONA 1	408053	001	37.20	90.00	0.00	1
2	101000321	GARCIA NOWELL ANSONY ESTUARDO	3 AVENIDA 11-71 ZONA 1	00	001	29.85	44.00	19.00	1
3	101611021	MIRANDA CRISTALES MARTHA LIDIA	3 AVENIDA 11-99 ZONA 1	408370	001	8.90	18.00	3.00	1
4	101000421	INSTITUTO ADOLFO V. HALL DE OCCIDENTE	3 AVENIDA 11-54 ZONA 1	6748	001	3.55	25.00	0.00	1
5	101000422	INSTITUTO ADOLFO V. HALL DE OCCIDENTE	3 AVENIDA 11-54 ZONA 1	8072	001	33.10	169.00	0.00	1
6	101000521	MALDONADO FIDEL ENENCION	3 AVENIDA 11-147 ZONA 1	00	001	22.65	29.00	16.00	1
7	101000621	ECHVERRIA ANTULIO	3 AVENIDA 11-159 ZONA 1	00	001	19.10	30.00	11.00	1
8	101000721	MALDONADO ECHEVERRIA IRIS ALORA	3 AVENIDA 11-175 ZONA 1	00	001	9.75	39.00	0.00	1
9	101497721	MALDONADO ECHEVERRIA SAUL MOISES	3 AV 5-356 ZONA 1	494638	001	8.50	55.00	0.00	1
10	101482821	VELASQUEZ HERNANDEZ FRANCISCO ANTONIO	3 AV 11-195 ZONA 1	17507	001	32.35	81.00	15.00	1
11	101000424	INSTITUTO ADOLFO V. HALL DE OCCIDENTE	3 AVENIDA 11-54 ZONA 1	00	001	133.45	268.00	6.00	1
12	101000423	INSTITUTO ADOLFO V. HALL DE OCCIDENTE	3 AVENIDA 11-25 ZONA 1	405649	001	0.05	1.00	0.00	1
13	101000921	WUG ELSA ESTELA ROBLES DE	4 AVENIDA 11-25 ZONA 1	17018	001	28.05	34.00	23.00	1
14	101692221	PEREZ MORALES MAXIMILIANO	4 AVENIDA 4-40 ZONA 1	620718	001	0.05	1.00	0.00	1
15	101001021	ESCALANTE FAUSTINO DANIEL	LA UNION	0	001	39.95	61.00	18.00	1
16	101001121	SANDOVAL RABANALES ALFREDO	LA UNION	406561	001	31.45	40.00	22.00	1
17	101001221	GOINES CEFERINO PEDRO	LA UNION	0	001	4.20	6.00	2.00	1
18	101001321	OROZCO PEDRO DE JESUS	LA UNION	0	001	11.20	23.00	4.00	1
19	101001421	GONZALES EULALIO MARTIN	LA UNION	0	001	56.20	202.00	21.00	1
20	101001521	OROZCO DURWIN ARNOLDO	LA UNION	208363	001	10.90	18.00	6.00	1
21	101001621	SALVADOR FELICIANO JUSTINIANO	LA UNION	0	001	6.00	18.00	1.00	1
22	101001721	RIVERA DIONICIO	LA UNION	20539	001	8.30	12.00	3.00	1
23	101001821	VERDUO BARTOLON CELIA VDA DE	EL MOSQUITO	17320	001	75.00	119.00	38.00	1
24	101001921	JOACHIN ISABEL GONZALES DE	LA UNION	0	001	17.00	28.00	5.00	1
25	101002021	LOPEZ HERNANDEZ JENNER AV/SALI	LA UNION	8106	001	10.30	24.00	0.00	1
26	101002121	GONZALES TIBURCIO ENRIQUE	LA UNION	15728	001	71.70	103.00	30.00	1
27	101002221	GONZALES LEANDRO	LA UNION	2691	001	34.75	74.00	7.00	1
28	101002321	OROZCO ANIBAL RUBEN	LA UNION	00	001	5.65	50.00	0.00	1

Fuente: Empresa Municipal de Agua Potable y Saneamiento.

5.2. Caudales de cálculo para modelado y comprobación de red actual

Estos caudales se toman del análisis de la red preliminar en estudio. En primer lugar se establecen los nodos y tuberías existentes, nombrándolos para su identificación y posteriormente la verificación del caudal de cada servicio en el sistema de EMAPS.

Con la información de los servicios existentes y los caudales que cada uno de ellos, en promedio consume durante un determinado tiempo, se ingresan, en una hoja de cálculo, los diámetros de tubería y tipo de material en la red. Luego, se traslada del dibujo CAD a la aplicación de los softwares EPACAD y EPANET. Para este caso se analiza la red actual con los consumos promedio.

6. CRITERIOS DE ANÁLISIS Y COMPROBACIÓN HIDRÁULICA

6.1. Dimensionamientos y comprobaciones hidráulicas

El análisis de la red de distribución se realiza con los datos de las viviendas y tuberías existentes, en función de conocer el comportamiento de la red actual, se utilizan las herramientas informáticas Autocad, Epcad, Epanet y Watercad. En tabla XVI se muestran los registros encontrados de la red, así como la asignación de códigos de tubería, distancia, tipo de tubería, diámetros, nodos inicial y final.

Tabla XVI. Dimensionamiento red actual

Nombre	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro comercial pulgadas	Diámetro (mm)	Material	Hazen-Williams C
P-1	112,07	T-2	J-0	10	252,07	PVC	150
P-2	12,49	T-1	J-0	10	252,07	PVC	150
P-3	180,74	J-0	J-1	10	252,07	PVC	150
P-4	72,55	J-1	J-2	1	30,35	PVC	150
P-5	106,01	J-1	J-3	10	252,07	PVC	150
P-6	39,43	J-3	J-4	1	30,35	PVC	150
P-7	62,51	J-4	J-5	1	30,35	PVC	150
P-8	88,98	J-3	J-6	10	252,07	PVC	150
P-9	19,99	J-6	J-7	10	252,07	PVC	150
P-10	51,49	J-7	J-8	1/2	18,19	PVC	150
P-11	26,78	J-7	J-9	10	252,07	PVC	150
P-12	91,79	J-9	J-10	1/2	18,19	PVC	150
P-13	25,76	J-9	J-11	10	252,07	PVC	150

Continuación tabla XVI.

Nombre	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro comercial pulgadas	Diámetro (mm)	Material	Hazen-Williams C
P-14	75,27	J-11	J-12	1	30,35	PVC	150
P-15	12,65	J-11	J-13	10	252,07	PVC	150
P-16	103,74	J-13	J-14	1	30,35	PVC	150
P-17	29,08	J-13	J-15	10	252,07	PVC	150
P-18	75,03	J-15	J-16	1 1/2	44,55	PVC	150
P-19	21,26	J-15	J-17	10	252,07	PVC	150
P-20	64,51	J-17	J-18	6	155,32	PVC	150
P-21	19,40	J-18	J-19	5	130,43	PVC	150
P-22	120,75	J-19	J-20	1	30,35	PVC	150
P-23	123,67	J-19	J-21	5	130,43	PVC	150
P-24	99,99	J-21	J-22	1	30,35	PVC	150
P-25	27,62	J-21	J-23	5	130,43	PVC	150
P-26	4,99	J-23	J-24	5	130,43	PVC	150
P-27	85,12	J-24	J-25	1	30,35	PVC	150
P-28	24,01	J-24	J-26	5	130,43	PVC	150
P-29	53,08	J-26	J-27	1	30,35	PVC	150
P-30	83,49	J-26	J-28	5	130,43	PVC	150
P-31	81,61	J-23	J-29	1 1/2	44,55	PVC	150
P-32	50,79	J-29	J-30	1	30,35	PVC	150
P-33	44,56	J-30	J-32	1	30,35	PVC	150
P-34	41,32	J-30	J-31	1	30,35	PVC	150
P-35	22,50	J-29	J-33	1 1/2	44,55	PVC	150
P-36	20,08	J-33	J-33'	1 1/2	44,55	PVC	150
P-37	53,76	J-33	J-34	1 1/2	44,55	PVC	150
P-38	54,18	J-34	J-35	1	30,35	PVC	150
P-39	43,30	J-34	J-36	1 1/2	44,55	PVC	150
P-40	54,42	J-36	J-37	1	30,35	PVC	150
P-41	71,95	J-36	J-38	1	30,35	PVC	150
P-42	255,24	J-17	J-39	8	202,21	PVC	150
P-43	103,80	J-39	J-40	1	30,35	PVC	150
P-44	9,19	J-39	J-41	8	202,21	PVC	150
P-45	63,98	J-41	J-42	3	82,04	PVC	150
P-46	31,43	J-42	J-43	3/4	23,52	PVC	150

Continuación tabla XVI.

Nombre	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro comercial pulgadas	Diámetro (mm)	Material	Hazen-Williams C
P-47	113,62	J-42	J-44	3	82,04	PVC	150
P-48	38,63	J-44	J-45	3	82,04	PVC	150
P-49	139,60	J-45	J-46	1/2	18,19	PVC	150
P-50	100,05	J-44	J-47	1 1/2	44,55	PVC	150
P-51	87,80	J-47	J-48	1	30,35	PVC	150
P-52	44,03	J-48	J-49	1 ½	44,55	PVC	150
P-53	80,08	J-49	J-49'	1 1/2	44,55	PVC	150
P-54	80,21	J-48	J-50	2	55,70	PVC	150
P-55	124,80	J-41	J-50	8	202,21	PVC	150
P-56	30,83	J-50	J-51	8	202,21	PVC	150
P-57	42,56	J-51	J-52	1	30,35	PVC	150
P-58	107,01	J-51	J-53	8	202,21	PVC	150
P-59	44,94	J-54	J-53	2	55,70	PVC	150
P-60	216,80	J-54	J-55	1	30,35	PVC	150
P-61	56,12	J-55	J-56	3/4	23,52	PVC	150
P-62	25,15	J-55	J-57	1	30,35	PVC	150
P-63	4,59	J-57	J-54	2	55,70	PVC	150
P-64	38,96	J-53	J-58	8	202,21	PVC	150
P-65	136,87	J-58	J-59	6	155,32	PVC	150
P-66	78,33	J-58	J-60	4	105,51	PVC	150
P-67	108,12	J-58	J-61	4	105,51	PVC	150
P-68	196,06	J-61	J-62	4	105,51	PVC	150
P-69	13,30	J-63	J-62	4	105,51	PVC	150
P-70	115,04	J-64	J-63	4	105,51	PVC	150
P-71	153,77	J-61	J-64	1 1/2	44,55	PVC	150
P-72	52,59	J-64	J-65	1 1/2	44,55	PVC	150
P-73	59,40	J-62	J-70	3	82,04	PVC	150
P-74	4,18	J-70	J-71	3	82,04	PVC	150
P-75	73,12	J-71	J-72	3	82,04	PVC	150
P-76	104,33	J-70	J-73	1 1/2	44,55	PVC	150
P-77	50,52	J-73	J-74	1	30,35	PVC	150
P-78	23,39	J-73	J-75	1	30,35	PVC	150
P-79	108,72	J-75	J-76	3/4	23,52	PVC	150

Continuación tabla XVI.

Nombre	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro comercial pulgadas	Diámetro (mm)	Material	Hazen-Williams C
P-80	68,92	J-75	J-77	1	30,35	PVC	150
P-81	140,23	J-71	J-78	3	82,04	PVC	150
P-82	51,91	J-78	J-79	3	82,04	PVC	150
P-83	27,40	J-79	J-80	2	55,70	PVC	150
P-84	75,40	J-80	J-81	2	55,70	PVC	150
P-85	44,99	J-79	J-82	2	55,70	PVC	150
P-86	47,18	J-82	J-82'	2	55,70	PVC	150
P-87	52,99	J-82	J-83	2	55,70	PVC	150
P-88	96,14	J-83	J-86	2	55,70	PVC	150
P-89	8,03	J-79	J-87	2	55,70	PVC	150
P-90	52,62	J-87'	J-87	1/2	18,19	PVC	150
P-91	84,34	J-87	J-88	2	55,70	PVC	150
P-92	109,86	J-88	J-89	2	55,70	PVC	150
P-93	198,00	J-89	J-90	1	30,35	PVC	150
P-94	580,03	J-90	J-91	3/4	23,52	PVC	150
P-95	103,45	J-86	J-92	2	55,70	PVC	150
P-96	54,89	J-92	J-92'	3/4	23,52	PVC	150
P-97	101,6	J-92	J-93	2	55,70	PVC	150
P-98	64,50	J-93	J-94	2	55,70	PVC	150
P-99	130,02	J-94	J-95	2	55,70	PVC	150
P-100	107,42	J-95	J-96	1/2	18,19	PVC	150
P-101	77,31	J-86	J-97	1 1/2	44,55	PVC	150
P-102	300,29	J-97	J-98	1	30,35	PVC	150
P-103	103,83	J-99	J-97	1 1/2	44,55	PVC	150
P-104	245,44	J-100	J-99	2	55,70	PVC	150
P-105	322,75	J-99	J-101	1 1/2	44,55	PVC	150
P-106	36,19	J-101	J-102	1 1/2	44,55	PVC	150
P-107	86,56	J-102	J-103	3/4	23,52	PVC	150
P-108	67,09	J-103	J-104	3/4	23,52	PVC	150
P-109	108,66	J-106	J-105	2	55,70	PVC	150
P-110	98,82	J-105	J-100	2	55,70	PVC	150
P-111	62,33	J-100	J-106	3	82,04	PVC	150
P-112	37,80	J-106	J-107	3	82,04	PVC	150

Continuación tabla XVI.

Nombre	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro comercial pulgadas	Diámetro (mm)	Material	Hazen-Williams C
P-113	66,07	J-107	J-115	4	105,51	PVC	150
P-114	41,02	J-115	J-113	2	55,70	PVC	150
P-115	122,01	J-113	J-114	1 1/2	44,55	PVC	150
P-116	41,06	J-113	J-109	2	55,70	PVC	150
P-117	21,92	J-108	J-109	2	55,70	PVC	150
P-118	69,50	J-107	J-108	2	55,70	PVC	150
P-119	333,13	J-108	J-108'	2	55,70	PVC	150
P-120	101,00	J-109	J-110	2	55,70	PVC	150
P-121	87,40	J-110	J-110'	1	30,35	PVC	150
P-122	297,61	J-110	J-111	2	55,70	PVC	150
P-123	255,83	J-111	J-112	1 ½	44,55	PVC	150
P-124	74,67	J-116	J-115	4	105,51	PVC	150
P-125	115,38	J-117	J-116	2	55,70	PVC	150
P-126	22,80	J-118	J-117	2	55,70	PVC	150
P-127	54,28	J-117	J-107	3	80,90	HF	130
P-128	109,39	J-119	J-118	1 1/2	44,55	PVC	150
P-129	66,09	J-119	J-100	3	80,90	HF	130
P-130	19,92	J-85	J-119	3	80,90	HF	130
P-131	333,80	J-84	J-85	2	55,70	PVC	150
P-132	89,93	J-83	J-84	2	55,70	PVC	150
P-133	104,27	J-80	J-84	2	55,70	PVC	150
P-134	178,86	J-81	J-67	2	55,70	PVC	150
P-135	137,24	J-81	J-66	2	55,70	PVC	150
P-136	61,05	J-63	J-66	4	105,51	PVC	150
P-137	65,47	J-66	J-67	4	105,51	PVC	150
P-138	147,06	J-69	J-66	4	105,51	PVC	150
P-139	71,12	J-68	J-69	2	55,70	PVC	150
P-140	116,48	J-67	J-68	2	55,70	PVC	150
P-141	41,53	J-68	J-123	3	80,90	HF	130
P-142	54,36	J-123	J-120	3	80,90	HF	130
P-143	41,47	J-120	J-85	3	80,90	HF	130
P-144	117,95	J-120	J-121	1 ½	44,55	PVC	150

Continuación tabla XVI.

Nombre	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro comercial pulgadas	Diámetro (mm)	Material	Hazen-Williams C
P-145	18,93	J-121	J-122	2	55,70	PVC	150
P-145'	59,71	J-121	J-118	2	55,70	PVC	150
P-146	49,04	J-122	J-124	3	80,90	HF	130
P-147	126,54	J-124	J-123	1 1/2	44,55	PVC	150
P-148	106,08	J-122	J-125	1 1/2	44,55	PVC	150
P-149	38,37	J-125	J-126	1 1/2	44,55	PVC	150
P-149'	83,24	J-126	J-116	4	105,51	PVC	150
P-150	44,28	J-126	J-127	4	105,51	PVC	150
P-151	25,27	J-127	J-128	3	82,04	PVC	150
P-152	52,73	J-128	J-129	1 1/2	44,55	PVC	150
P-153	76,75	J-129	J-130	1 1/2	44,55	PVC	150
P-154	156,75	J-130	J-131	1 1/2	44,55	PVC	150
P-155	87,88	J-152	J-128	3	82,04	PVC	150
P-156	3,50	J-137	J-152	3	82,04	PVC	150
P-157	58,10	J-136	J-137	3	82,04	PVC	150
P-158	79,58	J-136	J-127	4	105,51	PVC	150
P-159	108,75	J-135	J-136	3	82,04	PVC	150
P-160	83,88	J-135	J-125	1 1/2	44,55	PVC	150
P-161	93,24	J-134	J-135	3	82,04	PVC	150
P-162	35,92	J-134	J-124	3	80,90	HF	130
P-163	6,93	J-133	J-134	6	155,32	PVC	150
P-164	98,12	J-132	J-133	4	105,51	PVC	150
P-165	36,70	J-132	J-132'	1 1/2	44,55	PVC	150
P-166	77,03	J-69	J-132	2	55,70	PVC	150
P-167	72,46	J-159	J-132	6	155,32	PVC	150
P-168	101,10	J-64	J-159	4	105,51	PVC	150
P-169	120,37	J-60	J-159	4	105,51	PVC	150
P-170	126,15	J-60	J-188	3	80,90	HF	130
P-171	105,50	J-59	J-188	3	82,04	PVC	150
P-172	4,77	J-188	J-189	3	82,04	PVC	150
P-173	108,23	J-188	J-161	3	82,04	PVC	150
P-174	84,03	J-161	J-160	2	55,70	PVC	150

Continuación tabla XVI.

Nombre	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro comercial pulgadas	Diámetro (mm)	Material	Hazen-William C
P-175	90,56	J-157	J-161	5	130,43	PVC	150
P-176	38,32	J-156	J-157	6	155,32	PVC	150
P-177	41,12	J-156	J-133	6	155,32	PVC	150
P-178	94,63	J-163	J-158	2	55,70	PVC	150
P-179	84,32	J-157	J-158	2	55,70	PVC	150
P-180	56,05	J-158	J-155	2	55,70	PVC	150
P-181	92,76	J-155	J-156	4	105,51	PVC	150
P-182	57,01	J-135	J-155	2	55,70	PVC	150
P-183	117,90	J-154	J-155	4	105,51	PVC	150
P-184	92,94	J-166	J-154	4	105,51	PVC	150
P-185	74,89	J-154	J-136	4	105,51	PVC	150
P-186	84,70	J-154	J-153	4	105,51	PVC	150
P-187	92,15	J-167	J-153	3	80,90	HF	130
P-188	93,37	J-153	J-137	3	80,90	HF	130
P-189	151,33	J-150	J-153	2	55,70	PVC	150
P-190	87,09	J-149	J-150	1 1/2	44,55	PVC	150
P-191	79,91	J-150	J-151	1 1/2	44,55	PVC	150
P-192	218,90	J-151	J-152	3	82,04	PVC	150
P-193	3,42	J-152	J-137'	3	82,04	PVC	150
P-194	105,30	J-137'	J-152'	1 1/2	44,55	PVC	150
P-195	214,06	J-138	J-137'	1 1/2	44,55	PVC	150
P-196	178,22	J-138	J-144	1	30,35	PVC	150
P-197	129,91	J-144	J-145	1	30,35	PVC	150
P-198	186,32	J-145	J-146	3/4	23,52	PVC	150
P-199	4,28	J-149	J-148	4	105,51	PVC	150
P-200	87,18	J-148	J-147	1 1/2	44,55	PVC	150
P-201	49,45	J-147	J-147'	1/2	18,19	PVC	150
P-202	77,91	J-147	J-139	1 1/2	44,55	PVC	150
P-203	5,35	J-151	J-139	2	55,70	PVC	150
P-204	28,15	J-139	J-140	2	55,70	PVC	150
P-205	48,34	J-140	J-141	2	55,70	PVC	150
P-206	66,99	J-140	J-142	2	55,70	PVC	150
P-207	184,11	J-139	J-143	2	55,70	PVC	150

Continuación tabla XVI.

Nombre	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro comercial pulgadas	Diámetro (mm)	Material	Hazen-William C
P-208	7,44	J-143	J-144	1	30,35	PVC	150
P-209	77,87	J-172	J-171	1	30,35	PVC	150
P-210	100,30	J-170	J-171	2	55,70	PVC	150
P-211	83,21	J-184	J-170	3	82,04	PVC	150
P-212	33,53	J-169	J-170	3	82,04	PVC	150
P-213	82,31	J-183	J-169	2	55,70	PVC	150
P-214	77,40	J-168	J-169	3	82,04	PVC	150
P-215	82,61	J-182	J-168	4	105,51	PVC	150
P-216	85,49	J-148	J-168	4	105,51	PVC	150
P-217	52,45	J-181	J-149	2	55,70	PVC	150
P-218	42,84	J-181	J-181'	1	30,35	PVC	150
P-219	40,73	J-180	J-181	2	55,70	PVC	150
P-220	126,67	J-149	J-167	4	105,30	HF	130
P-221	107,30	J-179	J-167	6	155,32	PVC	150
P-222	96,15	J-167	J-166	6	155,32	PVC	150
P-223	59,54	J-175	J-166	4	105,51	PVC	150
P-224	73,40	J-165	J-166	6	155,32	PVC	150
P-225	63,41	J-174	J-165	6	155,32	PVC	150
P-226	95,21	J-164	J-165	6	155,32	PVC	150
P-227	16,76	J-173	J-164	2	55,70	PVC	150
P-228	21,49	J-163	J-164	6	155,32	PVC	150
P-229	22,89	J-162	J-163	6	155,32	PVC	150
P-230	50,98	J-161	J-162	6	155,32	PVC	150
P-231	115,40	J-190	J-162	1 1/2	44,55	PVC	150
P-232	66,02	J-189	J-189'	1	30,35	PVC	150
P-233	58,10	J-189	J-190	5	130,43	PVC	150
P-234	62,60	J-190	J-191	5	130,43	PVC	150
P-235	32,04	J-191	J-176	2	55,70	PVC	150
P-236	64,78	J-176	J-173	2	55,70	PVC	150
P-237	95,60	J-173	J-174	2	55,70	PVC	150
P-238	51,00	J-177	J-174	3	82,04	PVC	150
P-239	71,91	J-174	J-175	2	55,70	PVC	150
P-240	55,74	J-178	J-175	4	105,51	PVC	150

Continuación tabla XVI.

Nombre	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro comercial pulgadas	Diámetro (mm)	Material	Hazen-William C
P-241	106,10	J-176	J-177	2	55,70	PVC	150
P-242	61,64	J-193	J-177	3	82,04	PVC	150
P-243	77,82	J-177	J-178	4	105,51	PVC	150
P-244	74,29	J-194	J-178	4	105,51	PVC	150
P-245	96,82	J-178	J-179	4	105,51	PVC	150
P-246	81,89	J-195	J-179	6	155,32	PVC	150
P-247	104,58	J-179	J-180	2	55,70	PVC	150
P-248	84,03	J-196	J-180	2	55,70	PVC	150
P-249	86,78	J-180	J-182	2	55,70	PVC	150
P-250	83,14	J-197	J-182	4	105,51	PVC	150
P-251	84,27	J-182	J-183	2	55,70	PVC	150
P-252	83,47	J-198	J-183	2	55,70	PVC	150
P-253	49,10	J-183	J-184	2	55,70	PVC	150
P-254	82,00	J-199	J-184	3	82,04	PVC	150
P-255	39,96	J-184	J-185	2	55,70	PVC	150
P-256	63,50	J-185	J-187	2	55,70	PVC	150
P-257	59,19	J-185	J-186	2	55,70	PVC	150
P-258	86,90	J-199	J-200	2	55,70	PVC	150
P-259	138,89	J-199	J-219	3	82,04	PVC	150
P-260	67,22	J-198	J-199	4	105,51	PVC	150
P-261	81,99	J-210	J-198	2	55,70	PVC	150
P-262	85,26	J-197	J-198	4	105,51	PVC	150
P-263	87,11	J-209	J-197	4	105,51	PVC	150
P-264	83,96	J-196	J-197	4	105,51	PVC	150
P-265	90,56	J-208	J-196	2	55,70	PVC	150
P-266	99,99	J-195	J-196	4	105,51	PVC	150
P-267	99,57	J-207	J-195	6	155,32	PVC	150
P-268	93,90	J-194	J-195	4	105,51	PVC	150
P-269	82,93	J-193	J-194	4	105,51	PVC	150
P-270	53,83	J-192	J-193	5	130,43	PVC	150
P-271	57,97	J-191	J-192	5	130,43	PVC	150
P-272	54,26	J-203	J-192	2	55,70	PVC	150
P-273	94,21	J-202	J-203	2	55,70	PVC	150

Continuación tabla XVI.

Nombre	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro comercial pulgadas	Diámetro (mm)	Material	Hazen-William C
P-274	69,93	J-203	J-204	4	105,51	PVC	150
P-275	95,40	J-212	J-204	2	55,70	PVC	150
P-276	51,58	J-204	J-204'	3	82,04	PVC	150
P-277	91,63	J-205	J-204	4	105,51	PVC	150
P-278	108,43	J-205	J-213	4	105,51	PVC	150
P-279	81,20	J-205	J-194	4	105,51	PVC	150
P-280	105,40	J-205	J-206	4	105,51	PVC	150
P-281	81,27	J-214	J-206	6	155,32	PVC	150
P-282	11,96	J-206	J-207	6	155,32	PVC	150
P-283	89,67	J-207	J-208	4	105,51	PVC	150
P-284	41,15	J-215'	J-208	2	55,70	PVC	150
P-285	44,08	J-215"	J-215'	1/2	18,19	PVC	150
P-286	47,42	J-215	J-215'	2	55,70	PVC	150
P-287	82,81	J-208	J-209	4	105,51	PVC	150
P-288	78,75	J-209	J-216	4	105,51	PVC	150
P-289	82,39	J-209	J-210	4	105,51	PVC	150
P-290	69,45	J-210	J-217	2	55,70	PVC	150
P-291	56,35	J-211	J-210	2	55,70	PVC	150
P-292	63,93	J-218	J-211	2	55,70	PVC	150
P-293	37,48	J-219	J-218	2	55,70	PVC	150
P-294	77,45	J-241	J-219	3	82,04	PVC	150
P-295	85,04	J-218	J-240	2	55,70	PVC	150
P-296	64,76	J-217	J-218	2	55,70	PVC	150
P-297	78,97	J-238	J-217	2	55,70	PVC	150
P-298	85,13	J-216	J-217	2	55,70	PVC	150
P-299	80,66	J-236	J-216	4	105,51	PVC	150
P-300	82,87	J-215	J-216	2	55,70	PVC	150
P-301	80,52	J-235	J-215	2	55,70	PVC	150
P-302	62,66	J-215	J-214	2	55,70	PVC	150
P-303	75,25	J-214	J-233	6	155,32	PVC	150
P-304	137,90	J-214	J-213	6	155,32	PVC	150
P-305	121,46	J-230	J-213	2	55,70	PVC	150
P-306	44,23	J-212'	J-213	6	155,32	PVC	150

Continuación tabla XVI.

Nombre	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro comercial pulgadas	Diámetro (mm)	Material	Hazen-William C
P-307	49,48	J-212'	J-212"	2	55,70	PVC	150
P-308	63,01	J-212	J-212'	6	155,32	PVC	150
P-309	174,31	J-212	J-229	2	55,70	PVC	150
P-310	78,65	J-202	J-212	6	155,32	PVC	150
P-311	192,92	J-227	J-202	2	55,70	PVC	150
P-312	60,70	J-201'	J-202	8	202,21	PVC	150
P-313	90,60	J-201"	J-201'	2	55,70	PVC	150
P-314	68,77	J-201	J-201'	8	202,21	PVC	150
P-315	112,81	J-201	J-190	2	55,70	PVC	150
P-316	71,16	J-59	J-201	8	202,21	PVC	150
P-317	228,11	J-18	J-220	5	130,43	PVC	150
P-318	73,07	J-220	J-221	½	18,19	PVC	150
P-319	75,34	J-220	J-222	5	130,43	PVC	150
P-320	89,35	J-222	J-223	1	30,35	PVC	150
P-321	41,79	J-222	J-224	5	130,43	PVC	150
P-322	17,74	J-224	J-225	5	129,70	HF	130
P-323	81,84	J-225	J-226	5	129,70	HF	130
P-324	88,12	J-226	J-227	2	55,70	PVC	150
P-325	78,92	J-227	J-228	¾	23,52	PVC	150
P-326	23,69	J-226	J-229	5	129,70	HF	130
P-327	128,12	J-229	J-230	5	130,43	PVC	150
P-328	133,13	J-243	J-230	2	55,70	PVC	150
P-329	53,25	J-231	J-230	5	130,43	PVC	150
P-330	60,00	J-231	J-232	1 ½	44,55	PVC	150
P-331	129,21	J-233	J-231	5	130,43	PVC	150
P-332	13,19	J-233	J-234	6	155,32	PVC	150
P-333	29,35	J-234	J-235	4	105,51	PVC	150
P-334	57,78	J-235	J-235'	4	105,51	PVC	150
P-335	25,85	J-235'	J-236	4	105,51	PVC	150
P-336	69,52	J-237	J-236	4	105,51	PVC	150
P-337	7,51	J-237	J-237"	4	105,51	PVC	150
P-338	5,26	J-237"	J-238	4	105,51	PVC	150
P-339	98,38	J-240	J-238	4	105,51	PVC	150

Continuación tabla XVI.

Nombre	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro comercial pulgadas	Diámetro (mm)	Material	Hazen-William C
P-340	21,25	J-240	J-241	4	105,51	PVC	150
P-341	20,16	J-241	J-242	4	105,51	PVC	150
P-342	105,36	J-240'	J-238"	1	30,35	PVC	150
P-343	6,58	J-238"	J-237"	1 ½	44,55	PVC	150
P-344	100,29	J-238"	J-239	1 ½	44,55	PVC	150
P-345	82,21	J-237	J-237'	1	30,35	PVC	150
P-346	67,88	J-235'	J-235"	1	30,35	PVC	150
P-347	131,72	J-248	J-234	6	155,32	PVC	150
P-348	148,68	J-225	J-243	3	82,04	PVC	150
P-349	65,60	J-243	J-244	3	82,04	PVC	150
P-350	43,58	J-244	J-246	3	82,04	PVC	150
P-351	152,36	J-246	J-248	3	82,04	PVC	150
P-352	84,44	J-244	J-245	1 ½	44,55	PVC	150
P-353	90,48	J-246	J-247	1 ½	44,55	PVC	150
P-354	48,68	J-248	J-249	6	155,32	PVC	150
P-355	67,46	J-249	J-249'	2	55,70	PVC	150
P-356	31,28	J-249	J-250	6	155,32	PVC	150
P-357	49,12	J-250	J-250'	1	30,35	PVC	150
P-358	157,86	J-250	J-251	6	155,32	PVC	150
P-359	129,62	J-251	J-252	1 ½	44,55	PVC	150
P-360	211,20	J-251	J-253	6	155,32	PVC	150
P-361	92,66	J-253	J-253'	2	55,70	PVC	150
P-362	61,16	J-253	J-254	6	155,32	PVC	150
P-363	147,52	J-254	J-255	2	55,70	PVC	150
P-364	29,00	J-255	J-256	1 ½	44,55	PVC	150
P-365	39,36	J-256	J-257	1 ½	44,55	PVC	150
P-366	33,26	J-256	J-258	1 ½	44,55	PVC	150
P-367	78,16	J-258	J-260	1 ½	44,55	PVC	150
P-368	50,95	J-258	J-259	1 ½	44,55	PVC	150
P-369	131,49	J-254	J-261	6	155,32	PVC	150
P-370	7,80	J-261	J-262	3	82,04	PVC	150
P-371	14,38	J-262	J-272	3	82,04	PVC	150

Continuación tabla XVI.

Nombre	Longitud (m)	Nodo inicial	Nodo final	Diámetro comercial pulgadas	Diámetro (mm)	Material	Hazen-William C
P-372	54,70	J-262	J-263	3	82,04	PVC	150
P-373	91,04	J-263	J-264	3	82,04	PVC	150
P-374	88,03	J-264	J-265	2	55,70	PVC	150
P-375	65,78	J-265	J-266	2	55,70	PVC	150
P-376	74,08	J-267	J-265	2	55,70	PVC	150
P-377	134,88	J-268	J-267	2	55,70	PVC	150
P-378	43,71	J-268	J-264	2	55,70	PVC	150
P-379	12,48	J-269	J-268	2	55,70	PVC	150
P-380	53,54	J-270	J-269	2	55,70	PVC	150
P-381	92,69	J-270	J-272	3	82,04	PVC	150
P-382	34,70	J-272	J-271	2	55,70	PVC	150
P-383	71,59	J-271	J-269	2	55,70	PVC	150
P-384	222,44	J-101	J-105	3	82,04	PVC	150

Fuente: elaboracion propia.

De la misma manera, para la asignacion de caudales, los registros de nodos en tabla XVII.

Tabla XVII. **Gastos en nodos**

NODO	GASTO (L/s)						
0	0,0637	9	0,0382	18	0,3241	27	0,0318
1	0,1273	10	0,0255	19	0,2292	28	0,1146
2	0,0127	11	0,0446	20	0,0891	29	0,0758
3	0,0891	12	0,0191	21	0,1846	30	0,0764
4	0,0509	13	0,0955	22	0,0446	31	0,0318
5	0,0446	14	0,0637	23	0,0376	32	0,0127
6	0,0318	15	0,0509	24	0,0955	33	0,0382
7	0,0255	16	0,0127	25	0,0637	33'	0,0127
8	0,0255	17	0,0509	26	0,1782	34	0,0446

Continuación tabla XVII.

NODO	GASTO (L/s)						
35	0,0318	70	0,1181	103	0,1343	136	0,3084
36	0,0509	71	0,2373	104	0,1279	137	0,0700
37	0,0255	72	0,0289	105	0,1782	137'	0,1615
38	0,0318	73	0,0955	106	0,0961	138	0,1678
39	0,1985	74	0,0255	107	0,1244	139	0,0318
40	0,0255	75	0,1082	108	0,1869	140	0,0573
41	0,1626	76	0,0255	108'	0,1661	141	0,0382
42	0,0891	77	0,0637	109	0,1597	142	0,0191
43	0,0191	78	0,1921	110	0,3044	143	0,0191
44	0,1337	79	0,0446	110'	0,0255	144	0,0446
45	0,0446	80	0,0735	111	0,1701	145	0,0255
46	0,0255	81	0,2170	112	0,0318	146	0,0064
47	0,1337	82	0,0764	113	0,1690	147	0,0700
48	0,1146	82'	0,0382	114	0,1181	147'	0,0255
49	0,0318	83	0,0955	115	0,1227	148	0,1372
49'	0,0127	84	0,1655	116	0,2309	149	0,1777
50	0,1753	85	0,1209	117	0,1863	150	0,2292
51	0,1626	86	0,0318	118	0,1019	151	0,1019
52	0,0318	87	0,0955	119	0,0764	152	0,1146
53	0,1626	87'	0,0637	120	0,1597	152'	0,0191
54	0,1019	88	0,0509	121	0,1273	153	0,3339
55	0,1082	89	0,1094	122	0,0828	154	0,3183
56	0,0127	90	0,1094	123	0,1343	155	0,1834
57	0,0064	91	0,0191	124	0,0764	156	0,0318
58	0,3362	92	0,0573	125	0,0764	157	0,1441
59	0,2755	92'	0,0318	126	0,1209	158	0,1458
60	0,4942	93	0,0318	127	0,1019	159	0,3825
61	0,3756	94	0,0764	128	0,0446	160	0,2072
62	0,2419	95	0,1273	129	0,0318	161	0,6250
63	0,2025	96	0,0637	130	0,1273	162	0,3264
64	0,3316	97	0,1273	131	0,0955	163	0,0961
65	0,0064	98	0,0955	132	0,1823	164	0,0961
66	0,3553	99	0,4057	132'	0,0191	165	0,1800
67	0,1534	100	0,1713	133	0,0608	166	0,2778
68	0,1638	101	0,3582	134	0,0544	167	0,3594
69	0,2737	102	0,0353	135	0,2454	168	0,1944

Continuación tabla XVII.

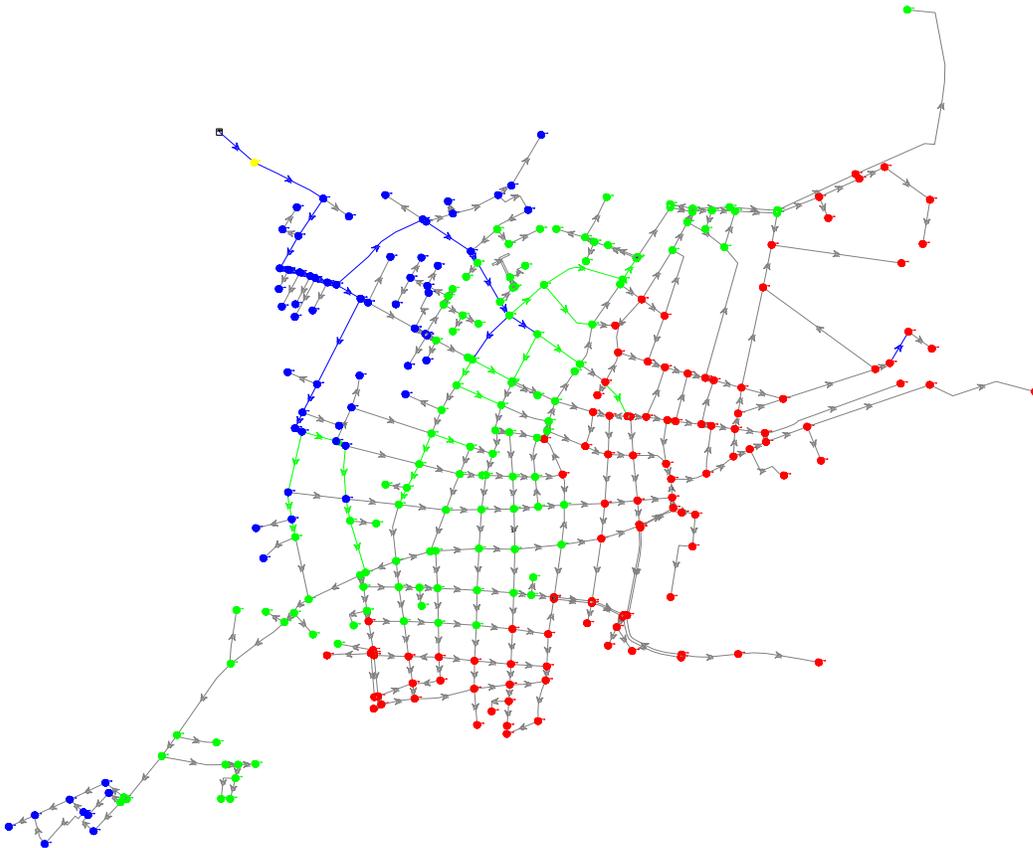
NODO	GASTO (L/s)						
169	0,1146	198	0,2101	222	0,2135	247	0,0509
170	0,0828	199	0,2037	223	0,0446	248	0,2899
171	0,0509	200	0,0255	224	0,0191	249	0,0637
172	0,0191	201	0,1875	225	0,2002	249'	0,0127
173	0,0810	201'	0,0955	226	0,1337	250	0,2598
174	0,1192	201"	0,0064	227	0,3414	250'	0,0318
175	0,0868	202	0,4115	228	0,0255	251	0,5637
176	0,1134	203	0,2216	229	0,3310	252	0,1354
177	0,1528	204	0,2697	230	0,3472	253	0,2957
178	0,1418	204'	0,0544	231	0,2228	253'	0,0573
179	0,2286	205	0,2865	232	0,0573	254	0,3779
180	0,2263	206	0,1719	233	0,2436	255	0,1591
181	0,1019	207	0,1557	234	0,1308	256	0,0382
181'	0,0382	208	0,2384	235	0,0764	257	0,0255
182	0,2101	209	0,2784	235'	0,0984	258	0,0700
183	0,2037	210	0,1684	235"	0,0602	259	0,0318
184	0,1273	211	0,0891	236	0,1146	260	0,0318
185	0,0573	212	0,3565	237	0,0446	261	0,2124
186	0,0191	212'	0,0891	237'	0,0127	262	0,0660
187	0,0191	212"	0,0127	237"	0,0000	263	0,2060
188	0,4138	213	0,3056	238	0,1146	264	0,3027
189	0,0995	214	0,3519	238"	0,1464	265	0,2569
189'	0,0521	215	0,2222	239	0,0891	266	0,0764
190	0,3241	215'	0,1013	240	0,0955	267	0,1806
191	0,1071	215"	0,0284	240'	0,0573	268	0,1337
192	0,1198	216	0,2894	241	0,0671	269	0,1019
193	0,1817	217	0,2292	242	0,0000	270	0,0127
194	0,2627	218	0,1655	243	0,2737	271	0,0955
195	0,2882	219	0,1690	244	0,0637	272	0,0353
196	0,3530	220	0,4230	245	0,0127		
197	0,2755	221	0,0382	246	0,2037		

Fuente: elaboración propia.

6.1.1. Comprobación general mediante el modelo Epanet

El resultado de realizar la simulación en periodo estático se observa en la figura 25. Al generar un reporte de presiones del sistema, se observa que el sector más bajo de la ciudad experimenta presiones excesivamente altas, del orden de 60 m.c.a hasta 140 m.c.a., en porcentajes y, como lo muestra la figura 25, se tiene que el 22.19% está entre 10-60 m.c.a.(azul), el 40.73% oscila entre los 60-90 m.c.a. (Verde) y un 37.09% experimenta de 90-140 m.c.a. (rojo), a su vez las velocidades en diferentes tramos no se cumple con lo mínimo requerido de 0.60 m/s.

Figura 25. Simulación inicial periodo estático red baja



Fuentes: elaboración propia, empleando Epanet.

6.2. Diseño de las nuevas líneas de distribución

Se realiza el diseño de la red de distribución de agua potable con los siguientes parámetros.

6.2.1. Período de diseño

Es el tiempo durante el cual, la obra dará servicio satisfactorio para la población de diseño. Para fijarlo se tomará en cuenta la vida útil de los materiales, costos y tasas de interés, población y diseño, comportamiento de la obra en sus primeros años y posibilidades de ampliación de acuerdo con recurso de agua. Se recomienda:

- Para obras civiles 20 años
- Para equipos mecánicos 5 a 10 años

Para casos especiales se considerará proyectos en etapas.

De acuerdo con lo anterior, el periodo es diseño de 20 años. El horizonte de diseño será el año 2037.

6.2.2. Dotación

Se estima que la dotación para la ciudad de San Marcos es de **214 l/h/d**. Se tomó como dato el promedio de los últimos años en concordancia con la reglamentación y parámetros establecidos, cálculos realizados en el apartado 5.1.2.3

6.2.3. Proyección de demandas de agua

La estimación y proyección de la demanda de agua y los diferentes niveles de consumo de acuerdo con el crecimiento de la población, se detalla en el cuadro XIX.

La tasa de crecimiento poblacional establecida es de 2.5% y la cantidad de habitantes por vivienda es de 4.33, proyecciones exclusivas para red baja.

6.2.3.1. Caudal medio diario (Qmd)

Es el caudal medio calculado para la población proyectada, teniendo en cuenta la dotación bruta asignada. Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = \frac{\text{Poblacion} * \text{dotación}}{86400}$$

6.2.3.2. Caudal máximo diario (QMD)

Corresponde al consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año. El caudal máximo diario (QMD) será el producto de multiplicar el caudal medio diario por un factor K_1 que oscile entre 1.2 y 1.5 para poblaciones futuras menores de 1,000 habitantes y 1.2 para poblaciones futuras mayores de 1,000 habitantes. Para este caso $K_1=1.2$ y Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$QMD = Q_{md} * k_1$$

6.2.3.3. Caudal máximo horario (QMH)

El caudal máximo horario QMH corresponde al consumo máximo registrado durante una hora en un período de un año, sin tener en cuenta el caudal de incendio.

Se determina multiplicando el consumo medio diario por el coeficiente 2.0 a 3.0 para poblaciones futuras menores de 1,000 habitantes y 2.0 para poblaciones futuras mayores de 1,000 habitantes. La selección del factor es función inversa al tamaño de la población a servir. Se calcula como el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario K_2 , para este caso $K_2=2$, según la siguiente ecuación:

$$QMH = Q_{md} * k_2$$

Los parámetros de diseños utilizados para el cálculo se muestran en la Tabla XVIII.

Tabla XVIII. **Resumen de parámetros de diseño**

DATOS	
Número de habitantes estimado	20 219
Periodo de diseño	20 años
Dotación (l/hab-día)	214
Qmd – Caudal medio diario (l/s)	56,339
QMD	67,606
Factor de consumo máximo diario	1,2
QMH	112,677
Factor de consumo máximo horario	2
Tasa de crecimiento	2,5
Factor de progreso	0,006
Expresión de Kapen	$D=88P^{1/8}$
Dotación de previsión	$D'=D (1+0,006) ^2$

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Población y caudales estimados red baja**

AÑO	POB. FUTURA	DOT.	KAPEN	DOT. PREVISIÓN	Qmd L/S	QMD L/S	QMH L/S
2016	12647	213,6	286,570	214,880	31,454	37,745	62,908
2017	12964	213,6	287,458	216,170	32,436	38,923	64,871
2018	13288	213,6	288,347	217,470	33,446	40,135	66,892
2019	13620	213,6	289,238	218,770	34,487	41,385	68,974
2020	13960	213,6	290,130	220,090	35,560	42,672	71,120
2021	14309	213,6	291,027	221,410	36,668	44,001	73,336
2022	14667	213,6	291,928	222,730	37,811	45,373	75,621
2023	15034	213,6	292,831	224,070	38,989	46,787	77,979
2024	15410	213,6	293,737	225,420	40,204	48,245	80,409
2025	15795	213,6	294,644	226,770	41,456	49,747	82,912
2026	16190	213,6	295,555	228,130	42,748	51,297	85,495
2027	16595	213,6	296,469	229,500	44,080	52,896	88,160
2028	17009	213,6	297,384	230,870	45,451	54,541	90,901
2029	17435	213,6	298,305	232,260	46,869	56,242	93,737
2030	17871	213,6	299,227	233,650	48,329	57,995	96,658
2031	18317	213,6	300,151	235,050	49,832	59,799	99,664
2032	18775	213,6	301,079	236,470	51,385	61,662	102,769
2033	19245	213,6	302,011	237,880	52,987	63,584	105,974
2034	19726	213,6	302,944	239,310	54,637	65,565	109,274
2035	20219	213,6	303,880	240,750	56,339	67,606	112,677

Fuente: elaboración propia.

Se realizan las simulaciones del comportamiento de la red en periodo extendido, con las proyecciones para 5,10,15 y 20 años utilizando las tuberías actuales sin ninguna modificación para optimizar el sistema y minimizar los trabajos de infraestructura. La asignación de demandas se realiza por medio de polígonos de Thiessen, dado que son considerables los nodos de la red, en las figuras No. 26 y 27. Se muestra el comportamiento a los 5 y 20 años del sistema general.

Figura 26. **Modelacion a 5 años periodo extendido**



Fuente: elaboración propia, empleando Epanet.

Figura 27. **Modelación a 20 años período extendido**



Fuente: elaboración propia, empleando Epanet.

Al analizar los resultados de las modelaciones se establece que en la parte mas baja del área de influencia, se continúa con las altas presiones y bajas velocidades en varios tramos a los 5 años, pero en la medida que aumentan las demandas, las velocidades van estabilizandose, de tal manera que, en la modelación para los 20 años, las perspectivas del sistema son mejores. Sin embargo eso significa que mientras cuanto más consumo se genere, más caudal en la producción de agua es necesaria.

Si bien se ha establecido que, para el año 2015, se producen para esta red 51.623 l/s, no es suficiente para las necesidades de la población, porque no se presta 24 horas, únicamente al rededor de 10 horas de servicio.

De esa cuenta, también se rectifican algunos circuitos que no están unidos, los cuales son necesarios para mejorar la circulación y operación de la red estos tramos identificados en tabla XX.

Tabla XX. **Nodos a cerrar**

Nodo inicial	Nodo final	Tubería
J-26	J-59	Ø5"
J-204	J-193	Ø3"
J-157	J-132	Ø6"

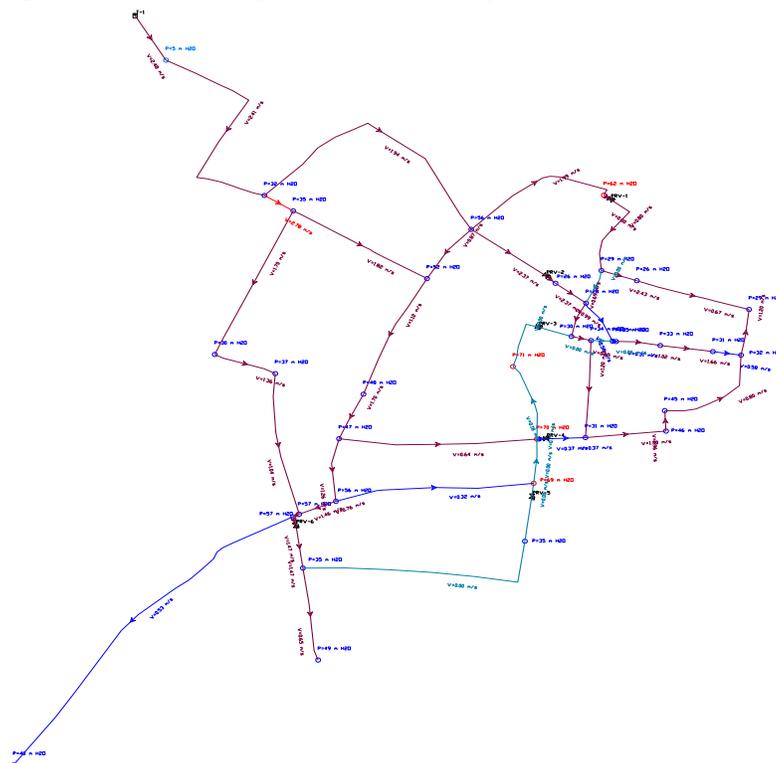
Fuente: elaboración propia.

Al realizar esos arreglos en la red, es indispensable también definir una red principal donde se pueda instalar válvulas reguladoras de presión y que la inversión por proponer sea óptima, para mejorar cuanto antes la prestación del servicio, en las condiciones actuales. Cabe mencionar que al área de cobertura de la red, se le han eliminado los sectores que aporta hacia el municipio de San Pedro Sacatepéquez, porque el crecimiento en ese sector es nula para la EMAPS.

Al simplificar la red, se obtiene un sistema más práctico y fácil de operar, debido a que será necesario cerrar varias válvulas de control existentes, para aislar los circuitos y optimizar la red. Esta nueva red se visualiza en la figura 28, en ella se realiza las modelaciones correspondientes a los 5, 10, 15 y 20 años.

Es importante mantener esta información en constante actualización, la generación de las herramientas de cálculo tanto de la población como de la demanda y generación de áreas son de fácil acceso para que la importación de datos sea efectiva y realizada cada mes o año, dejando a criterio del departamento técnico su seguimiento.

Figura 28. Red baja simplificada y ubicación de VRP



Fuente: elaboración propia, empleando Epanet.

La modelación en periodo estático de esta red permite identificar que las presiones en los puntos más bajos se mejoren, obteniendo presiones del rango de 40-60 m.c.a. como lo establece la norma. Cabe destacar que la modelación en este periodo es el aconsejable para determinar la utilización de válvulas reguladoras de presión (VRP) y su ubicación en la red.

Al realizar la modelación en período extendido por 24 horas, con demandas a los 5, 10, 15 y 20 años, el comportamiento es similar a cada año, dejando en evidencia que es necesario la colocación de V.R.P. la variante en estos casos es la capacidad de algunas tuberías que deberán cambiarse, las direcciones y velocidades del flujo.

Los resultados de la modelación a los 20 años, en los horarios 6:00; 10:00; 14:00; 18:00 son los más representativos y evidencian el comportamiento del servicio de agua, se muestran en los anexos.

6.3. Válvulas reguladoras de presión

El control de fluidos en acueductos y demás sistemas de transporte de líquidos a presión es indispensable para lograr eficiencia en la operación de estos sistemas y prevenir problemas que puedan llevar a la rotura o a daños parciales.

6.3.1. Características y funcionamiento

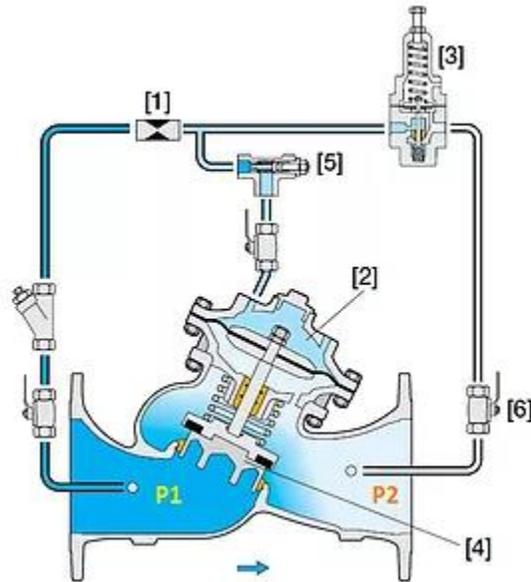
La principal herramienta para un apropiado control de fluidos es la válvula de control hidráulico, y dentro de éstas, la válvula reguladora de presión.

“Por las características geométricas de los perfiles de los sistemas y por otras razones específicas (demandas, operativas, seguridad, etc.) es necesario controlar la presión en la tubería, esto se logra con las válvulas reguladoras de presión. A veces, también llamada reguladora de presión es una válvula de control hidráulico cuya consigna es reducir una elevada presión aguas arriba de la válvula a un valor menor constante aguas abajo de la misma, independientemente de las variaciones de presión aguas arriba y de las variaciones del flujo o de la demanda en la línea.

En la figura 29 se observa un corte de una válvula reductora de presión con sus distintas partes, donde (1) es una restricción cuya función es facilitar la apertura de la válvula, (2) es la cámara superior, (3) es el piloto que comanda la operación de la válvula, (4) es el disco con su asiento que producen el cierre de la válvula, (5) es un válvula aguja que acelera o lentifica el cierre de la válvula y (6) es una válvula de seccionamiento”¹⁰

¹⁰ <https://www.ingenieriadefluidos.com/valvula-reductora-de-presion>. Consulta: octubre de 2017.

Figura 29. **Sección válvula reguladora de presión**

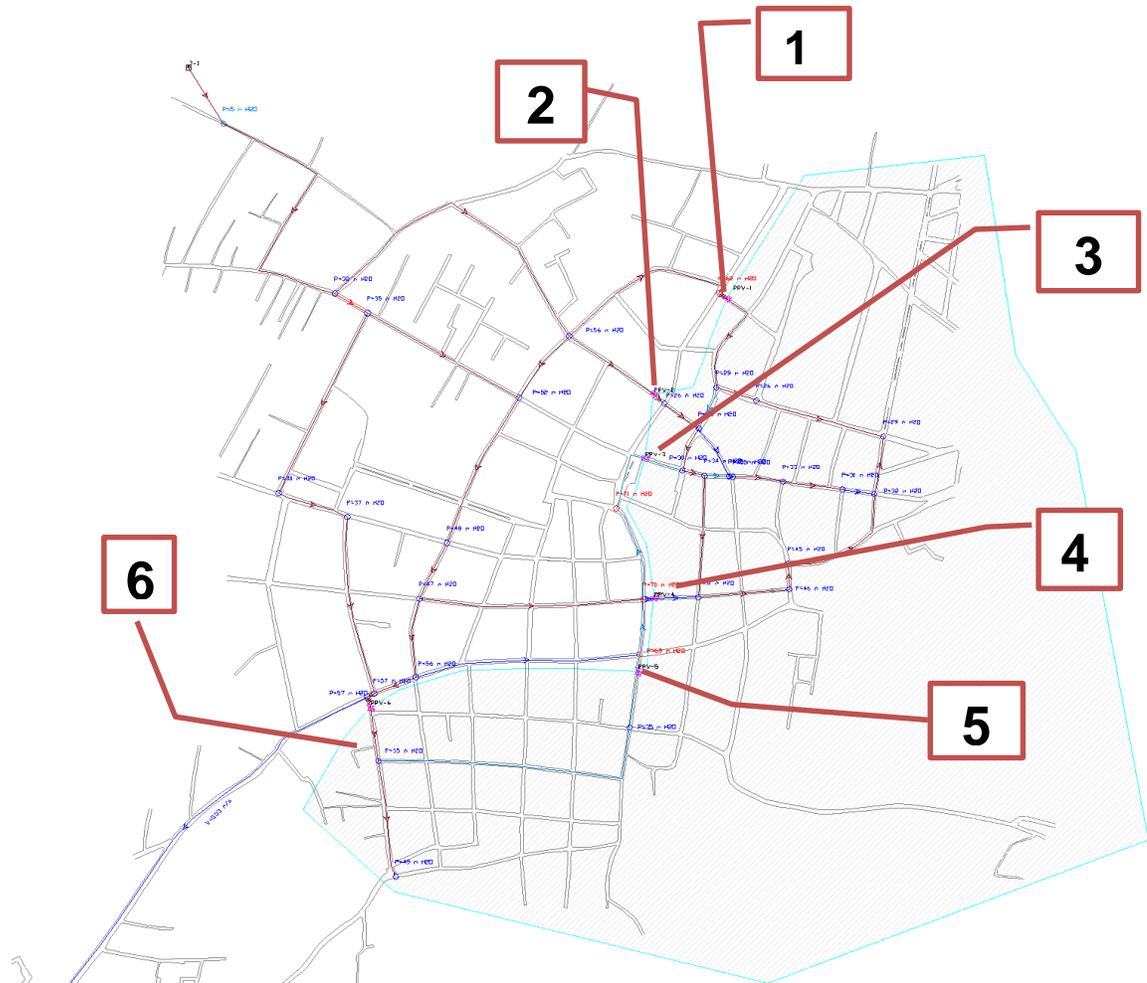


Fuente: <https://www.ingenieriadefluidos.com/valvula-reductora-de-presion>. Consulta: octubre de 2017.

6.3.2. Ubicación e instalación en la red

La ubicación de las válvulas reguladoras de presión en el sistema, para mejorar el funcionamiento de la red baja se posicionan estratégicamente, de tal manera que se definan los circuitos en la red principal, esta se muestra en la figura 30.

Figura 30. Ubicación de válvulas reguladoras de presión



No.	Código	Diámetro	Tipo tubo conexión
1	VRP-1	4"	PVC
2	VRP-2	4"	PVC
3	VRP-3	6"	PVC
4	VRP-4	4"	PVC
5	VRP-5	4"	HF
6	VRP-6	4"	PVC

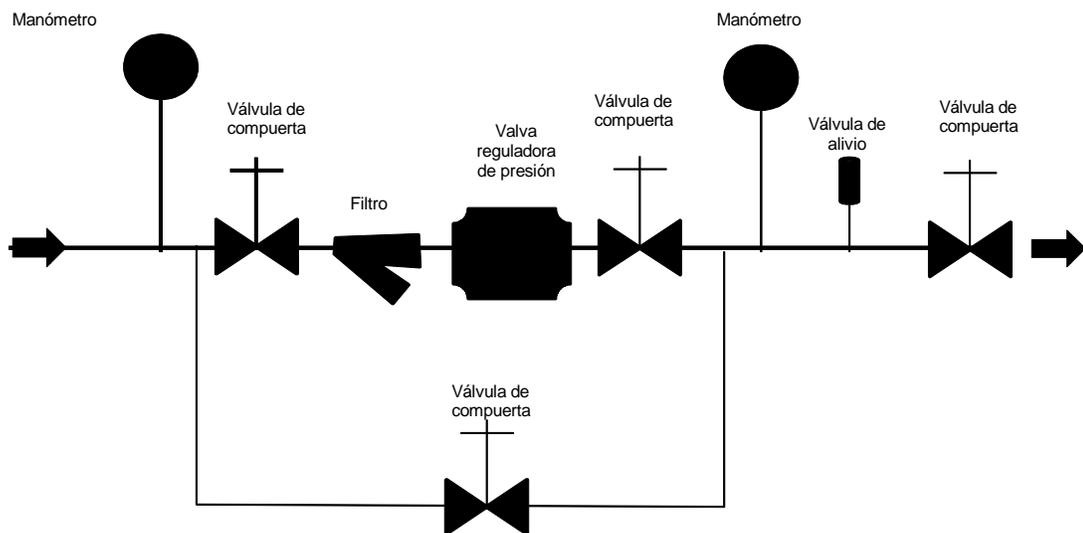
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

6.3.3. Obra de arte

Para la instalación de las válvulas reguladoras de presión es necesario construir cajas de concreto reforzado, las dimensiones minimas seran aquellas que cumplan con un ancho adecuado para la operación, mantenimiento y reposición por daño de las válvulas y demas accesorios hidráulicos, así tambien serán accesibles y hermeticas, de tal forma que el agua de lluvia no sea inconveniente.

La figura 31 muestra un esquema general de la instalación de las válvulas, los detalles de armado e instalación de estas se pueden consultar en los planos respectivos.

Figura 31. Esquema instalación válvula reguladora de presión



Fuente: elaboración propia.

6.4. Planos

6.4.1. Red distribución general

Figura 32. Red de distribución



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

6.4.2. Densidad de vivienda

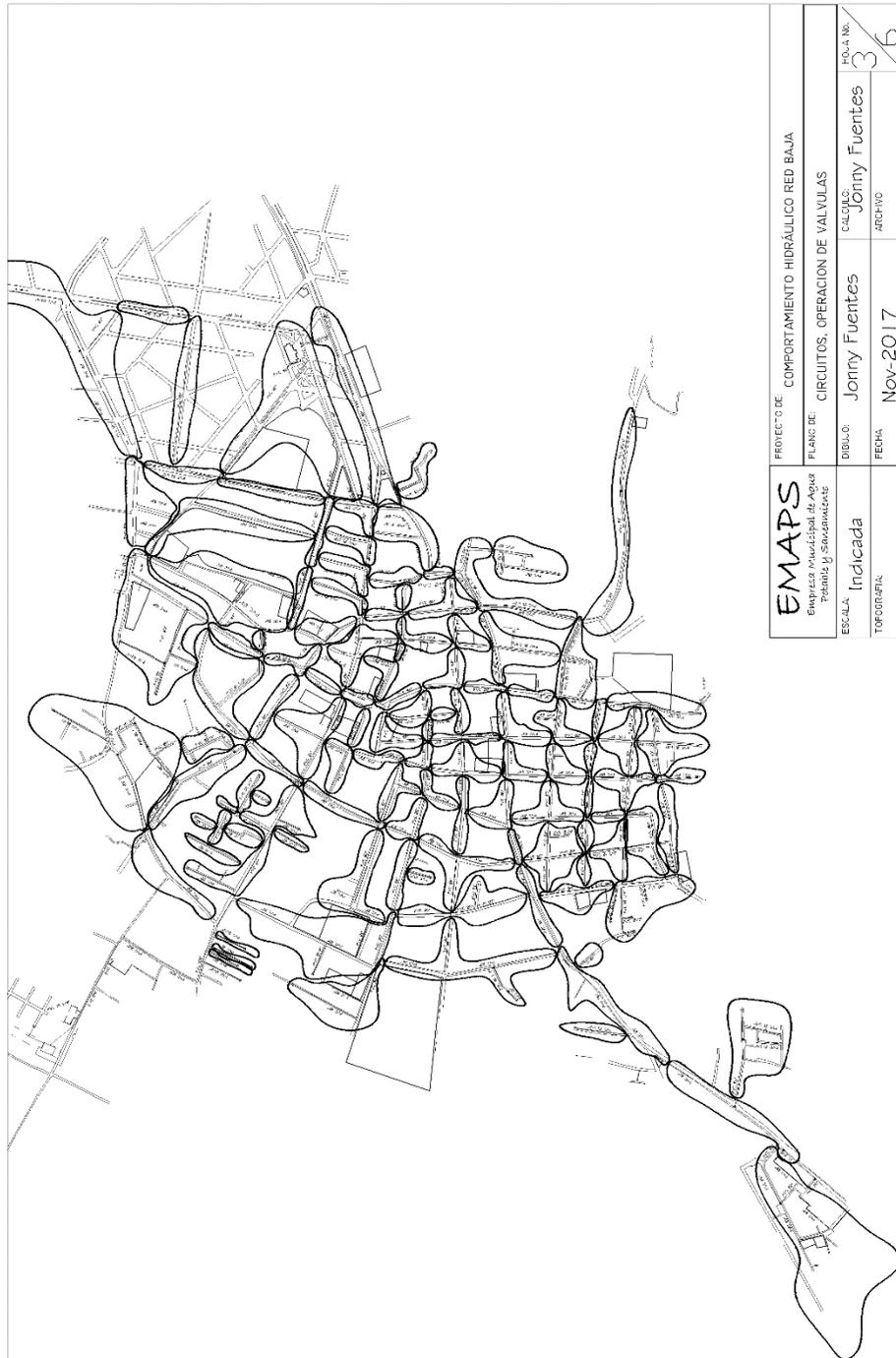
Figura 33. Densidad de vivienda



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

6.4.3. Circuitos, operación de válvulas

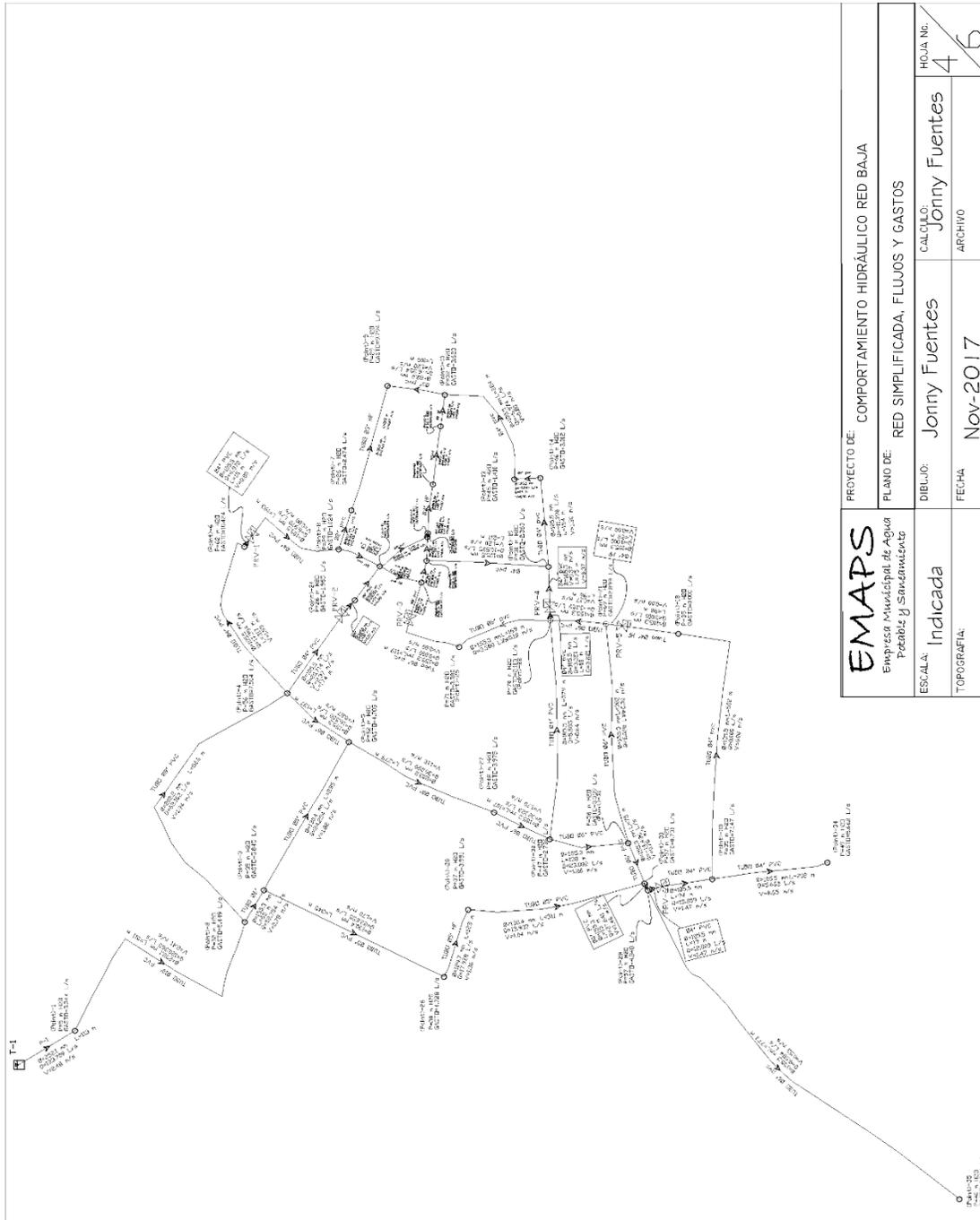
Figura 34. Circuitos, operación de válvulas



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

6.4.4. Red simplificada, flujos y gastos

Figura 35. Red simplificada, flujos y gastos

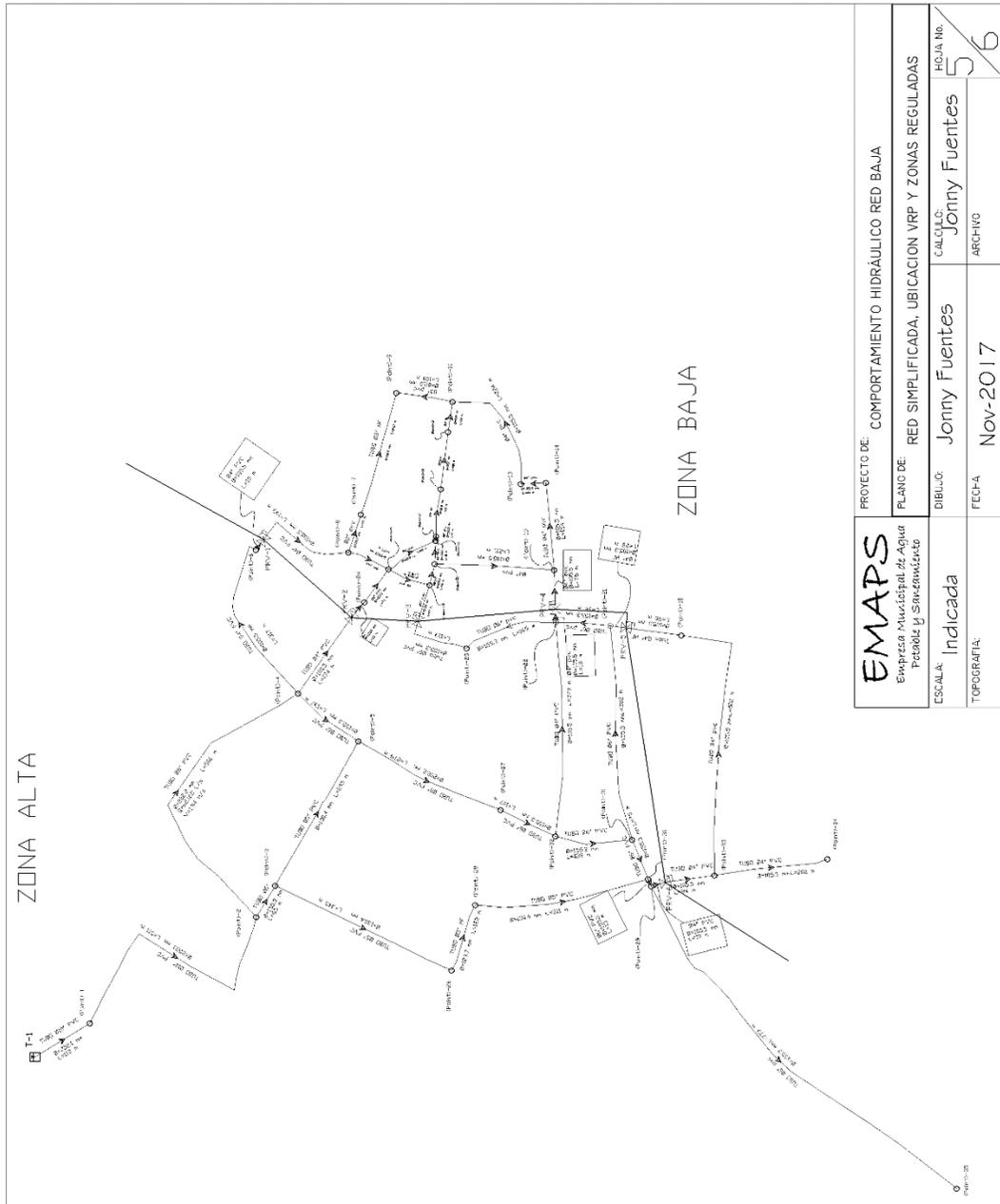


EMAPS Empresa Municipal de Agua Potable y Saneamiento	PROYECTO DE: COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO RED BAJA	
	PLANO DE: RED SIMPLIFICADA, FLUJOS Y GASTOS	
	DIBUJO: Jonny Fuentes	HOJA N.º: 4/6
ESCALA: Indicada	FECHA: Nov-2017	CALCULO: Jonny Fuentes ARCHIVO
TOPOGRAFIA:		

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

6.4.5. Red simplificada, ubicación VRP y zonas reguladas

Figura 36. Red simplificada, ubicación VRP y zonas reguladas



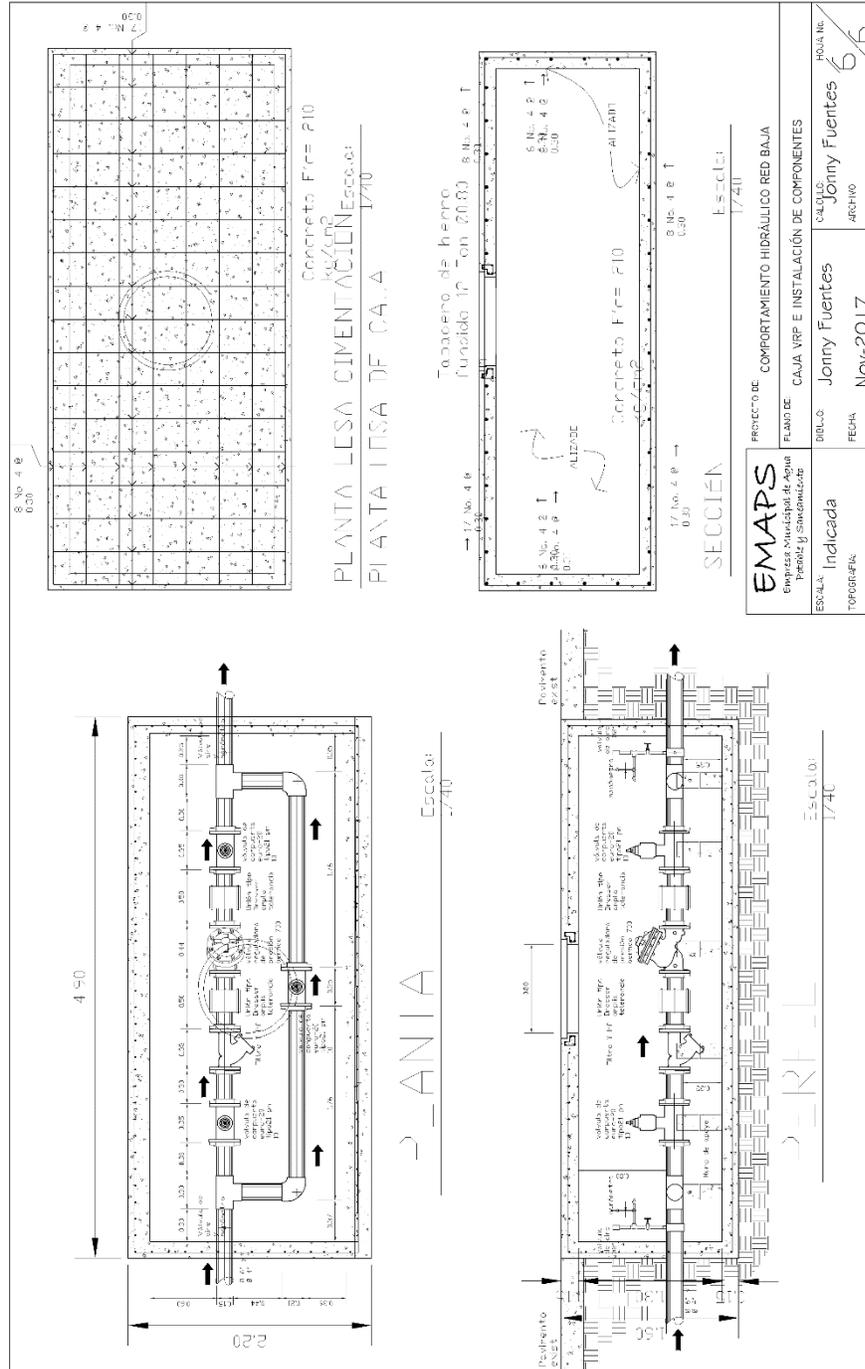
EMAPS Empresa Municipal de Agua Pública y Saneamiento	PROYECTO DE: COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO RED BAJA		HOJA No.
	PLANO DE: RED SIMPLIFICADA, UBICACION VRP Y ZONAS REGULADAS		5/6
ESCALA: Indicada	DIBUJÓ: Jonny Fuentes	CALCULO: Jonny Fuentes	
TOPOGRAFIA:	FECHA: Nov-2017	ARCHIVO:	

Fuente: elaboración pro

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

6.4.6. Caja VRP e instalación de componentes

Figura 37. Caja VRP e instalación de componentes



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

CONCLUSIONES

1. Los nodos críticos en la red se ubican en las partes más bajas de la ciudad, de acuerdo con las simulaciones y registros de campo estos están entre el rango de 75 mca hasta 110 mca, provocando roturas en tuberías.
2. Los resultados de las simulaciones desde los 5 a los 20 años identifican que la red de distribución tiene capacidad de soportar la demanda.
3. El departamento técnico cuenta, ahora, con un registro de toda la red en formatos electrónicos para que realice las modelaciones correspondientes a la red baja, en los periodos que considere necesarios.
4. Debido a las altas presiones en los sectores bajos de la red, es necesaria la instalación de válvulas reguladoras de presión con accesorios adecuados, en el sector medio, definiendo dos sectores de regulación para obtener presiones del rango mínimo 20 mca y máximo 60 mca.

RECOMENDACIONES

1. El departamento técnico de la empresa de agua debe realizar, mensualmente, los aforos de las fuentes de abastecimiento, en los formatos de registro definidos.
2. La coordinación de la empresa de agua debe gestionar ante el concejo municipal, el ajuste a la tarifa actual y esta debe ser como mínimo el costo de producción de un metro cubico.
3. La Municipalidad de San Marcos y la empresa de agua deben impulsar una campaña de divulgación y concientización de los costos de producción del agua con los costos actuales, promoviendo el ajuste tarifario.
4. La empresa de agua debe instalar macromedidores en las salidas de los tanques de almacenamiento para corroborar los consumos de agua registrados por los lectores de contadores.

BIBLIOGRAFÍA

1. E.P.A. United States environmental Projection Agency. *EPANET2 Manual de usuario*. Grupo multidisciplinar de modelación de fluidos Versión 2.0 vE. Universidad Politécnica de Valencia. 226 p.
2. FARRER & TREJOS SRL Ingenieros Consultores. *Plan Maestro de Agua Potable San Marcos. tbw-Horizont 3000*, Cooperación Austriaca para el Desarrollo. 2007. 153 p.
3. GARCÍA ALCARAZ, María del Mar. *Modelación y simulación de redes hidráulicas a presión mediante herramientas informáticas*. Proyecto fin de carrera de Ing. Técnica de obras públicas. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Civil, Universidad Politécnica de Cartagena, 2006. 157 p.
4. Instituto de Fomento Municipal, Unidad Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales. *Guía para el diseño de abastecimiento de agua potable a zonas rurales*. Guatemala: INFOM-UNEPAR, 1997. 66 p.
5. LÉMUS FLORES, Helmer Humberto. *El índice de progreso genuino (IPG) dentro del sistema de cuentas de Guatemala, una propuesta para la estimación de las condiciones de vida. Período 2001-2011 y proyecciones al 2015*. Trabajo de graduación de Licenciatura Economista. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. 169 p.

6. MÉNDEZ, Antonio, SÁNCHEZ, Elsi. *Estudio preliminar para el abastecimiento del servicio de agua en el municipio Paez, Parroquia Alta Guajira*. Trabajo especial de grado Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Urdaneta, República Bolivariana de Venezuela. 2009. 80 p.

7. Universidad Politécnica de Valencia, Aguas de Valencia, U.D. *Mecánica de Fluidos. Ingeniería Hidráulica aplicada a los sistemas de distribución de agua*. Volumen II. 2ª ed. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, 1996. ISBN 84-89487-03-0. 821 p.

APÉNDICES

Resultados de simulaciones a red simplificada en diferentes horas de servicio y presupuesto de mejoras.

Apéndice 1. Datos red simplificada, línea-nudo.

ID Línea	Nudo Inicial	Nudo Final	Longitud m	Diámetro m m
P-50	(Point)-1	(Point)-2	511.110	252.07
P-51	(Point)-8	(Point)-7	71.120	55.70
P-52	(Point)-12	(Point)-11	101.440	55.70
P-53	(Point)-11	(Point)-10	54.283	80.90
P-54	(Point)-17	(Point)-12	84.962	80.90
P-55	(Point)-7	(Point)-9	223.380	80.90
P-56	(Point)-9	(Point)-10	100.130	82.04
P-57	(Point)-13	(Point)-14	44.275	105.51
P-58	(Point)-8	(Point)-15	77.031	105.51
P-59	(Point)-15	(Point)-16	98.118	105.51
P-60	(Point)-14	(Point)-19	154.470	105.51
P-61	(Point)-10	(Point)-13	223.975	105.51
P-62	(Point)-33	(Point)-34	201.927	105.51
P-63	(Point)-20	(Point)-19	210.660	105.51
P-64	(Point)-4	(Point)-6	317.487	105.51
P-65	(Point)-32	(Point)-22	379.189	105.51
P-35	(Point)-18	(Point)-33	502.040	105.51
P-36	(Point)-3	(Point)-5	294.787	130.43
P-39	(Point)-28	(Point)-30	310.575	130.43
P-37	(Point)-3	(Point)-26	345.242	130.43
P-38	(Point)-26	(Point)-28	123.276	129.70
P-17	(Point)-16	(Point)-17	6.928	155.32
P-43	(Point)-30	(Point)-29	13.188	155.32
P-15	(Point)-23	(Point)-20	38.318	155.32
P-16	(Point)-20	(Point)-16	41.124	155.32
P-31	(Point)-2	(Point)-3	64.505	155.32
P-66	(Point)-24	(Point)-15	72.462	155.32
P-67	(Point)-30	(Point)-31	75.246	155.32
P-68	(Point)-23	(Point)-15	78.138	155.32
P-69	(Point)-22	(Point)-21	96.152	155.32
P-70	(Point)-27	(Point)-32	107.233	155.32
P-71	(Point)-32	(Point)-31	137.898	155.32
P-72	(Point)-4	(Point)-5	136.867	155.32
P-73	(Point)-22	(Point)-25	168.616	155.32
P-74	(Point)-31	(Point)-21	381.987	155.32
P-75	(Point)-29	(Point)-35	773.378	155.32
P-76	(Point)-5	(Point)-27	279.279	202.21
P-77	(Point)-2	(Point)-4	566.019	202.21
P-1	T-1	(Point)-1	113.151	252.07
P-2	(Point)-6	112-A	15.482	105.51
P-3	112-B	(Point)-8	192.636	105.51
P-4	(Point)-4	115-A	174.051	105.51
P-5	115-B	(Point)-24	24.764	105.51
P-6	(Point)-25	118-A	118.921	155.32
P-7	118-B	(Point)-23	67.014	155.32
P-8	(Point)-22	121-A	17.616	105.51
P-9	121-B	(Point)-19	75.324	105.51
PRV-3	118-A	118-B	No Disponible	Válvula 155.32
PRV-4	121-A	121-B	No Disponible	Válvula 105.51
PRV-5	124-A	124-B	No Disponible	Válvula 105.51
PRV-6	127-A	127-B	No Disponible	Válvula 105.51

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Resultados de nudo y línea en 6:00 horas

ID Nudo	Demanda LPS	Altura (m)	Presión (m)	ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
(Point)-1	3.01	2467.42	5.16	P-50	108.33	2.17	13.35	Abierto
(Point)-10	3.26	2432.51	68.02	P-51	4.71	1.93	62.80	Abierto
(Point)-11	0.93	2432.68	67.30	P-53	2.18	0.42	3.18	Abierto
(Point)-12	1.10	2435.63	67.30	P-54	4.21	0.82	10.80	Abierto
(Point)-13	1.27	2433.95	81.79	P-55	2.49	0.48	4.07	Abierto
(Point)-14	2.71	2434.34	82.17	P-56	-6.33	1.20	16.43	Abierto
(Point)-15	0.52	2436.54	61.76	P-57	-8.68	0.99	8.66	Abierto
(Point)-16	0.27	2436.55	69.15	P-58	-5.64	0.64	3.89	Abierto
(Point)-17	0.57	2436.54	69.16	P-59	-0.78	0.09	0.10	Abierto
(Point)-18	0.00	2436.24	61.22	P-60	-11.39	1.30	14.32	Abierto
(Point)-19	2.12	2436.55	67.55	P-61	-7.41	0.85	6.46	Abierto
(Point)-2	4.90	2460.59	33.18	P-62	5.10	0.58	3.23	Abierto
(Point)-20	0.53	2436.57	67.61	P-63	0.84	0.10	0.12	Abierto
(Point)-21	2.61	2438.68	61.76	P-64	9.38	1.07	10.00	Abierto
(Point)-22	1.90	2438.17	61.70	P-65	14.39	1.65	22.08	Abierto
(Point)-23	0.79	2436.61	63.63	P-35	11.53	1.32	14.65	Abierto
(Point)-24	1.77	2436.53	59.03	P-36	22.45	1.68	17.93	Abierto
(Point)-25	3.04	2437.30	62.38	P-39	17.32	1.30	11.08	Abierto
(Point)-26	4.25	2450.54	30.25	P-37	25.17	1.88	22.14	Abierto
(Point)-27	3.58	2450.03	48.74	P-38	20.91	1.58	21.05	Abierto
(Point)-28	3.59	2447.94	35.89	P-17	4.79	0.25	0.43	Abierto
(Point)-29	4.36	2444.46	55.31	P-43	13.35	0.70	2.92	Abierto
(Point)-3	5.26	2458.18	35.90	P-15	7.21	0.38	0.93	Abierto
(Point)-30	0.66	2444.50	55.14	P-16	5.84	0.31	0.63	Abierto
(Point)-31	3.00	2444.48	54.22	P-31	52.88	2.79	37.41	Abierto
(Point)-32	2.46	2446.54	46.10	P-66	-1.77	0.09	0.07	Abierto
(Point)-33	6.43	2428.88	53.66	P-67	3.31	0.17	0.22	Abierto
(Point)-34	5.10	2428.23	68.09	P-68	7.14	0.38	0.92	Abierto
(Point)-35	8.99	2443.38	38.60	P-69	-18.37	0.97	5.28	Abierto
(Point)-4	6.75	2455.21	59.54	P-70	49.05	2.59	32.55	Abierto
(Point)-5	4.23	2452.90	54.34	P-71	32.20	1.70	14.93	Abierto
(Point)-6	9.38	2452.03	72.64	P-72	34.41	1.82	16.88	Abierto
(Point)-7	2.23	2431.77	61.97	P-73	18.19	0.96	5.18	Abierto
(Point)-8	0.92	2436.24	62.05	P-74	32.51	1.72	15.20	Abierto
(Point)-9	8.81	2430.86	65.57	P-75	8.99	0.47	1.40	Abierto
112-A	0.00	2452.03	73.02	P-76	52.63	1.64	10.26	Abierto
112-B	0.00	2436.24	57.26	P-77	50.54	1.57	9.52	Abierto
115-A	0.00	2455.21	75.83	P-1	111.34	2.23	14.04	Abierto
115-B	0.00	2436.53	57.19	P-2	0.00	0.00	0.00	Abierto
118-A	0.00	2436.86	63.18	P-3	0.00	0.00	0.00	Abierto
118-B	0.00	2436.86	63.18	P-4	0.00	0.00	0.00	Abierto
121-A	0.00	2437.86	62.81	P-5	0.00	0.00	0.00	Abierto
121-B	0.00	2437.86	62.81	P-6	15.15	0.80	3.69	Abierto
124-A	0.00	2438.13	61.64	P-7	15.15	0.80	3.70	Abierto
124-B	0.00	2438.13	61.64	P-8	12.67	1.45	17.45	Abierto
127-A	0.00	2444.46	57.60	P-9	12.67	1.45	17.44	Abierto
127-B	0.00	2428.88	42.05	P-10	11.53	1.32	19.28	Abierto
T-1	-111.34	2469.01	4.97	P-11	11.53	1.32	19.28	Abierto
				P-12	0.00	0.00	0.00	Abierto
				P-13	0.00	0.00	0.00	Abierto
				PRV-1	0.00	0.00	0.00	Cerrado Válvula
				PRV-2	0.00	0.00	0.00	Cerrado Válvula
				PRV-3	15.15	0.80	0.00	Abierto Válvula
				PRV-4	12.67	1.45	0.00	Abierto Válvula
				PRV-5	11.53	1.32	0.00	Abierto Válvula
				PRV-6	0.00	0.00	0.00	Cerrado Válvula

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Resultados de nudo y línea en 10:00 horas

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m
(Point)-1	5.02	2464.03	1.78
(Point)-10	5.43	2379.27	14.90
(Point)-11	1.55	2379.72	14.44
(Point)-12	1.84	2387.31	19.08
(Point)-13	2.12	2383.00	30.94
(Point)-14	4.52	2383.99	31.92
(Point)-15	0.86	2389.65	14.97
(Point)-16	0.46	2389.68	22.37
(Point)-17	0.96	2389.67	22.38
(Point)-18	0.00	2395.15	20.21
(Point)-19	3.54	2389.68	20.77
(Point)-2	8.17	2446.46	19.07
(Point)-20	0.88	2389.75	20.88
(Point)-21	4.35	2395.42	18.60
(Point)-22	3.17	2393.86	17.48
(Point)-23	1.32	2389.84	16.95
(Point)-24	2.95	2389.64	12.23
(Point)-25	5.07	2391.61	16.78
(Point)-26	7.09	2420.29	0.07
(Point)-27	5.96	2419.38	18.15
(Point)-28	5.99	2413.51	1.53
(Point)-29	7.27	2404.22	15.15
(Point)-3	8.77	2440.22	17.98
(Point)-30	1.10	2404.48	15.21
(Point)-31	5.01	2404.61	14.43
(Point)-32	4.10	2410.45	10.08
(Point)-33	10.72	2394.33	19.18
(Point)-34	8.49	2392.65	32.58
(Point)-35	14.98	2401.42	-3.27
(Point)-4	11.26	2432.63	37.01
(Point)-5	7.06	2426.71	28.21
(Point)-6	15.64	2424.45	45.11
(Point)-7	3.71	2377.38	7.68
(Point)-8	1.54	2388.88	14.79
(Point)-9	14.69	2375.04	9.86
112-A	0.00	2424.45	45.50
112-B	0.00	2388.88	10.00
115-A	0.00	2432.63	53.30
115-B	0.00	2389.64	10.40
118-A	0.00	2390.48	16.89
118-B	0.00	2390.48	16.89
121-A	0.00	2393.07	18.10
121-B	0.00	2393.07	18.10
124-A	0.00	2395.36	18.96
124-B	0.00	2395.36	18.96
127-A	0.00	2403.74	16.95
127-B	0.00	2396.77	10.00
T-1	-185.55	2468.12	4.08

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
P-50	180.53	3.62	34.37	Abierto
P-51	7.86	3.22	161.77	Abierto
P-52	5.18	2.13	74.83	Abierto
P-53	3.63	0.71	8.20	Abierto
P-54	7.02	1.37	27.80	Abierto
P-55	4.15	0.81	10.48	Abierto
P-56	-10.54	1.99	42.30	Abierto
P-57	-14.46	1.65	22.29	Abierto
P-58	-9.38	1.07	10.00	Abierto
P-59	-1.30	0.15	0.26	Abierto
P-60	-18.98	2.17	36.88	Abierto
P-61	-12.35	1.41	16.63	Abierto
P-62	8.49	0.97	8.32	Abierto
P-63	1.41	0.16	0.30	Abierto
P-64	15.64	1.79	25.76	Abierto
P-65	20.81	2.38	43.76	Abierto
P-35	3.54	0.40	1.64	Abierto
P-36	37.28	2.79	45.85	Abierto
P-39	29.15	2.18	29.06	Abierto
P-37	42.22	3.16	57.73	Abierto
P-38	35.13	2.66	55.02	Abierto
P-17	7.98	0.42	1.12	Abierto
P-43	37.92	2.00	20.21	Abierto
P-15	12.02	0.63	2.41	Abierto
P-16	9.73	0.51	1.63	Abierto
P-31	88.27	4.66	96.63	Abierto
P-66	-2.95	0.16	0.18	Abierto
P-67	-9.87	0.52	1.67	Abierto
P-68	11.89	0.63	2.36	Abierto
P-69	-33.77	1.78	16.30	Abierto
P-70	81.46	4.30	83.27	Abierto
P-71	56.54	2.98	42.34	Abierto
P-72	57.19	3.02	43.26	Abierto
P-73	30.31	1.60	13.34	Abierto
P-74	41.65	2.20	24.05	Abierto
P-75	14.98	0.79	3.62	Abierto
P-76	87.42	2.72	26.25	Abierto
P-77	84.09	2.62	24.43	Abierto
P-1	185.55	3.72	36.16	Abierto
P-2	0.00	0.00	0.00	Abierto
P-3	0.01	0.00	0.00	Abierto
P-4	0.00	0.00	0.00	Abierto
P-5	0.00	0.00	0.00	Abierto
P-6	25.24	1.33	9.51	Abierto
P-7	25.24	1.33	9.51	Abierto
P-8	21.11	2.41	44.90	Abierto
P-9	21.11	2.41	44.90	Abierto
P-10	3.54	0.41	2.16	Abierto
P-11	3.54	0.41	2.16	Abierto
P-12	15.67	1.79	25.88	Abierto
P-13	15.68	1.79	25.89	Abierto
PRV-1	0.00	0.00	35.57	Activo Válvula
PRV-2	0.00	0.00	0.00	Cerrado Válvula
PRV-3	25.24	1.33	0.00	Abierto Válvula
PRV-4	21.11	2.41	0.00	Abierto Válvula
PRV-5	3.54	0.40	0.00	Abierto Válvula
PRV-6	15.67	1.79	6.97	Activo Válvula

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Resultados de nudo y línea en 14:00 horas

ID	Demanda	Altura	Presión
(Point)-1	4.68	2463.59	1.34
(Point)-10	5.07	2387.50	23.11
(Point)-11	1.45	2387.89	22.60
(Point)-12	1.72	2394.57	26.33
(Point)-13	1.97	2390.78	38.70
(Point)-14	4.22	2391.65	39.57
(Point)-15	0.80	2396.64	21.94
(Point)-16	0.42	2396.66	29.34
(Point)-17	0.89	2396.65	29.34
(Point)-18	0.00	2400.19	25.25
(Point)-19	3.30	2396.66	27.74
(Point)-2	7.63	2448.14	20.76
(Point)-20	0.82	2396.72	27.83
(Point)-21	4.06	2401.64	24.80
(Point)-22	2.96	2400.34	23.94
(Point)-23	1.24	2396.80	23.90
(Point)-24	2.75	2396.63	19.20
(Point)-25	4.73	2398.36	23.52
(Point)-26	6.62	2425.24	5.01
(Point)-27	5.57	2424.30	23.06
(Point)-28	5.59	2419.32	7.32
(Point)-29	6.79	2411.28	22.19
(Point)-3	8.18	2442.67	20.43
(Point)-30	1.02	2411.45	22.16
(Point)-31	4.67	2411.47	21.28
(Point)-32	3.83	2416.43	16.05
(Point)-33	10.01	2395.85	20.69
(Point)-34	7.93	2394.37	34.30
(Point)-35	13.98	2408.81	4.11
(Point)-4	10.51	2435.97	40.34
(Point)-5	6.59	2430.76	32.25
(Point)-6	14.59	2428.77	49.42
(Point)-7	3.46	2385.83	16.12
(Point)-8	1.43	2395.96	21.85
(Point)-9	13.71	2383.78	18.58
112-A	0.00	2428.77	49.81
112-B	0.00	2395.96	17.06
115-A	0.00	2435.97	56.63
115-B	0.00	2396.63	17.37
118-A	0.00	2397.36	23.76
118-B	0.00	2397.36	23.76
121-A	0.00	2399.64	24.66
121-B	0.00	2399.64	24.66
124-A	0.00	2401.31	24.90
124-B	0.00	2401.31	24.90
127-A	0.00	2411.10	24.30
127-B	0.00	2396.77	10.00
T-1	-173.09	2467.19	3.15

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
P-50	168.41	3.37	30.22	Abierto
P-51	7.33	3.01	142.35	Abierto
P-52	4.84	1.98	65.85	Abierto
P-53	3.39	0.66	7.22	Abierto
P-54	6.55	1.28	24.47	Abierto
P-55	3.87	0.75	9.22	Abierto
P-56	-9.84	1.86	37.23	Abierto
P-57	-13.50	1.54	19.62	Abierto
P-58	-8.77	1.00	8.82	Abierto
P-59	-1.22	0.14	0.23	Abierto
P-60	-17.71	2.03	32.46	Abierto
P-61	-11.52	1.32	14.64	Abierto
P-62	7.93	0.91	7.32	Abierto
P-64	14.59	1.67	22.67	Abierto
P-65	20.47	2.34	42.44	Abierto
P-35	8.68	0.99	8.65	Abierto
P-36	34.83	2.61	40.42	Abierto
P-39	27.07	2.03	25.34	Abierto
P-37	39.27	2.94	50.49	Abierto
P-38	32.65	2.47	48.05	Abierto
P-17	7.45	0.39	0.99	Abierto
P-43	29.92	1.58	13.02	Abierto
P-15	11.22	0.59	2.12	Abierto
P-16	9.09	0.48	1.43	Abierto
P-31	82.28	4.34	84.84	Abierto
P-66	-2.75	0.15	0.16	Abierto
P-67	-3.88	0.20	0.30	Abierto
P-68	11.11	0.59	2.08	Abierto
P-69	-30.48	1.61	13.49	Abierto
P-70	76.07	4.02	73.37	Abierto
P-71	51.77	2.73	35.97	Abierto
P-72	53.40	2.82	38.09	Abierto
P-73	28.30	1.49	11.75	Abierto
P-74	43.22	2.28	25.75	Abierto
P-75	13.98	0.74	3.18	Abierto
P-76	81.64	2.54	23.13	Abierto
P-77	78.50	2.44	21.51	Abierto
P-1	173.09	3.47	31.80	Abierto
P-2	0.00	0.00	0.00	Abierto
P-3	0.00	0.00	0.00	Abierto
P-4	0.00	0.00	0.00	Abierto
P-5	0.00	0.00	0.00	Abierto
P-6	23.56	1.24	8.37	Abierto
P-7	23.56	1.24	8.37	Abierto
P-8	19.70	2.25	39.53	Abierto
P-9	19.70	2.25	39.53	Abierto
P-10	8.68	1.00	11.39	Abierto
P-11	8.68	1.00	11.39	Abierto
P-12	9.16	1.05	9.56	Abierto
P-13	9.26	1.06	9.76	Abierto
PRV-1	0.00	0.00	0.00	Cerrado Válvula
PRV-2	0.00	0.00	0.00	Cerrado Válvula
PRV-3	23.56	1.24	0.00	Abierto Válvula
PRV-4	19.70	2.25	0.00	Abierto Válvula
PRV-5	8.68	0.99	0.00	Abierto Válvula
PRV-6	9.16	1.05	14.33	Activo Válvula

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Resultados de nudo y línea en 18:00 horas

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m
(Point)-1	3.34	2464.38	2.13
(Point)-10	3.62	2421.95	57.49
(Point)-11	1.03	2422.16	56.80
(Point)-12	1.23	2425.74	57.44
(Point)-13	1.41	2423.71	71.56
(Point)-14	3.01	2424.17	72.03
(Point)-15	0.57	2426.85	52.09
(Point)-16	0.30	2426.86	59.48
(Point)-17	0.64	2426.86	59.49
(Point)-18	0.00	2426.48	51.48
(Point)-19	2.36	2426.86	57.88
(Point)-2	5.45	2456.09	28.68
(Point)-20	0.59	2426.89	57.95
(Point)-21	2.90	2429.45	52.55
(Point)-22	2.11	2428.83	52.38
(Point)-23	0.88	2426.93	53.97
(Point)-24	1.97	2426.84	49.36
(Point)-25	3.38	2427.77	52.87
(Point)-26	4.73	2443.86	23.59
(Point)-27	3.98	2443.25	41.97
(Point)-28	3.99	2440.71	28.67
(Point)-29	4.85	2436.48	47.34
(Point)-3	5.84	2453.15	30.89
(Point)-30	0.73	2436.52	47.18
(Point)-31	3.34	2436.50	46.26
(Point)-32	2.74	2439.01	38.58
(Point)-33	7.15	2417.54	42.34
(Point)-34	5.66	2416.75	56.63
(Point)-35	9.98	2435.16	30.40
(Point)-4	7.50	2449.54	53.88
(Point)-5	4.71	2446.73	48.19
(Point)-6	10.42	2445.68	66.30
(Point)-7	2.47	2421.05	51.27
(Point)-8	1.02	2426.48	52.31
(Point)-9	9.79	2419.95	54.68
112-A	0.00	2445.68	66.68
112-B	0.00	2426.48	47.52
115-A	0.00	2449.54	70.17
115-B	0.00	2426.84	47.52
118-A	0.00	2427.24	53.58
118-B	0.00	2427.24	53.58
121-A	0.00	2428.46	53.42
121-B	0.00	2428.46	53.42
124-A	0.00	2428.79	52.31
124-B	0.00	2428.79	52.31
127-A	0.00	2436.48	49.63
127-B	0.00	2417.54	30.73
T-1	-123.71	2466.31	2.28

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Estado
P-50	120.36	2.41	16.23	Abierto
P-51	5.24	2.15	76.33	Abierto
P-52	3.45	1.42	35.31	Abierto
P-53	2.42	0.47	3.87	Abierto
P-54	4.68	0.91	13.12	Abierto
P-55	2.76	0.54	4.94	Abierto
P-56	-7.03	1.33	19.96	Abierto
P-57	-9.64	1.10	10.52	Abierto
P-58	-6.26	0.72	4.73	Abierto
P-59	-0.87	0.10	0.12	Abierto
P-60	-12.65	1.45	17.41	Abierto
P-61	-8.23	0.94	7.85	Abierto
P-62	5.66	0.65	3.93	Abierto
P-63	0.94	0.11	0.14	Abierto
P-64	10.42	1.19	12.16	Abierto
P-65	15.98	1.83	26.83	Abierto
P-35	12.81	1.46	17.81	Abierto
P-36	24.95	1.87	21.79	Abierto
P-39	19.24	1.44	13.47	Abierto
P-37	27.96	2.09	26.91	Abierto
P-38	23.23	1.76	25.58	Abierto
P-17	5.32	0.28	0.54	Abierto
P-43	14.83	0.78	3.55	Abierto
P-15	8.02	0.42	1.13	Abierto
P-16	6.49	0.34	0.77	Abierto
P-31	58.76	3.10	45.47	Abierto
P-66	-1.97	0.10	0.08	Abierto
P-67	3.68	0.19	0.27	Abierto
P-68	7.93	0.42	1.11	Abierto
P-69	-20.41	1.08	6.42	Abierto
P-70	54.50	2.88	39.56	Abierto
P-71	35.78	1.89	18.15	Abierto
P-72	38.23	2.02	20.52	Abierto
P-73	20.21	1.07	6.30	Abierto
P-74	36.12	1.91	18.47	Abierto
P-75	9.98	0.53	1.71	Abierto
P-76	58.48	1.82	12.47	Abierto
P-77	56.16	1.75	11.57	Abierto
P-1	123.71	2.48	17.07	Abierto
P-2	0.00	0.00	0.00	Abierto
P-3	0.00	0.00	0.00	Abierto
P-4	0.00	0.00	0.00	Abierto
P-5	0.00	0.00	0.00	Abierto
P-6	16.83	0.89	4.49	Abierto
P-7	16.83	0.89	4.49	Abierto
P-8	14.07	1.61	21.20	Abierto
P-9	14.07	1.61	21.20	Abierto
P-10	12.81	1.47	23.44	Abierto
P-11	12.81	1.47	23.44	Abierto
P-12	0.00	0.00	0.00	Abierto
P-13	0.00	0.00	0.00	Abierto
PRV-1	0.00	0.00	0.00	Cerrado Válvula
PRV-2	0.00	0.00	0.00	Cerrado Válvula
PRV-3	16.83	0.89	0.00	Abierto Válvula
PRV-4	14.07	1.61	0.00	Abierto Válvula
PRV-5	12.81	1.47	0.00	Abierto Válvula
PRV-6	0.00	0.00	0.00	Cerrado Válvula

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Presupuesto red de distribución

MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (Q.)	Total (Q.)
Tubo Ø6" pvc 160 psi	unidad	15	1 166,80	17 502,00
Junta Dresser Ø6"	unidad	2	3 500,00	7 000,00
material selecto	m ³	60	125,00	7 500,00
Tubo Ø1/2" pvc 315 psi	unidad	3	27,15	81,45
adaptador macho Ø1/2"	unidad	10	2,00	20,00
Cemento UGC	saco	160	83,00	13 280,00
Arena de río	m ³	9	160,00	1 440,00
Piedrín triturado	m ³	9	225,00	2 025,00
Antisol	galón	2	145,00	290,00
Acelerante sikament 100	galón	3	145,00	435,00
Wype	lb	15	10,00	150,00
Subtotal				49 573,45
15% Imprevistos				7 436,02
TOTAL materiales				57 009,47
HERRAMIENTA, MAQUINARIA Y EQUIPO				
Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (Q.)	Total (Q.)
Cortadora concreto alquiler	ml	218,4	12,00	2 620,80
Vibrocompactador alquiler	día	15	450,00	6 750,00
Vibrador de concreto alquiler	día	15	100,00	1 500,00
Martillo hidráulico alquiler	día	15	175,00	2 625,00
Generador de energía	día	15	150,00	2 250,00
Concreteira alquiler	día	5	250,00	1 250,00
Piochas	unidad	10	60,00	600,00
Carretilla de mano	Unidad	5	225,00	1 125,00
Cubeta concreteira	Unidad	5	12,00	60,00
Pala	Unidad	5	55,00	275,00
Subtotal				19 055,80
15% Imprevistos				2 858,37
TOTAL herramientas, maquinaria y equipo				21 914,17
MANO DE OBRA				
Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (Q.)	Total (Q.)
Excavación y retiro de material	m ³	109,52	25,00	2 738,00
Corte de pavimento	ml	218,4	6,70	1 463,28
Demolición de concreto y retiro de material	m ²	70,2	35,00	2 457,00
fundición de concreto	m ³	14,04	130,00	1 825,20
Limpieza	m ²	70,2	60,00	4 212,00
Subtotal				12 695,48
15 % Imprevistos				1 904,32
TOTAL mano de obra				14 599,80
TOTAL RENGLON				93 523,44

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. Presupuesto Instalación hidráulica VRP

MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (Q.)	Total (Q.)
Tubo Ø5" pvc 100 psi	Unidad	1	478,70	478,70
Tubo Ø6" pvc 160 psi	Unidad	2	968,40	1 936,80
Tubo Ø4" pvc 160 psi	Unidad	10	456,30	4 563,00
Tubo Ø1" pvc 160 psi	Unidad	2	48,40	96,80
Tubo Ø1/2" pvc 315 psi	Unidad	1	29,90	29,90
Tee lisa Ø6" pvc	Unidad	2	667,40	1 334,80
Tee lisa Ø4" pvc	Unidad	10	103,50	1 035,00
Tee lisa Ø1" pvc	Unidad	12	5,00	60,00
Codo liso Ø6"x90°	Unidad	2	339,20	678,40
Codo liso Ø4"x90°	Unidad	10	67,00	670,00
Copla lisa Ø6"	Unidad	2	193,50	387,00
Copla lisa Ø4"	Unidad	10	44,30	443,00
Abrazadera Ø6"xØ3/4"	Unidad	2	275,80	551,60
Abrazadera Ø4"xØ3/4"	Unidad	10	114,40	1 144,00
Manómetro 100 psi	Unidad	12	150,00	1 800,00
Chorro Ø1/2"	Unidad	12	37,00	444,00
Válvula de compuerta Ø6"	Unidad	3	7 500,00	22 500,00
Válvula de compuerta Ø4"	Unidad	15	5 250,00	78 750,00
Válvula de comp. Ø1/2"	Unidad	12	60,00	720,00
Válvula VRP Ø6"	Unidad	1	9 725,00	9 725,00
Válvula VRP Ø4"	Unidad	5	6 225,00	31 125,00
Filtro Y hf flageada Ø6"	Unidad	1	4 250,00	4 250,00
Filtro Y hf flageada Ø4"	Unidad	5	3 725,00	18 625,00
Válvula de aire ARI Ø2"	Unidad	12	455,00	5 460,00
Unión dresser Ø6"	Unidad	2	4 200,00	8 400,00
Unión dresser Ø4"	Unidad	10	3 600,00	36 000,00
Flange Ø6" pvc	Unidad	10	467,40	4 674,00
Flange Ø4" pvc	Unidad	50	368,00	18 400,00
Empaque Neopreno Ø6"	Unidad	10	45,00	450,00
Empaque Neopreno Ø4"	Unidad	50	30,00	1 500,00
Reducidor Ø2"x 1" pvc	Unidad	12	8,00	96,00
Reducidor Ø1"x 1/2" pvc	Unidad	12	3,40	40,80
Reducidor Ø1/2"x 1/4" pvc	Unidad	12	1,80	21,60
Reducidor Ø1"x 3/4" pvc	Unidad	12	3,40	40,80
Adaptador macho Ø1/2" pvc	Unidad	24	1,20	28,80
Adaptador hembra Ø2" pvc	Unidad	12	7,00	84,00
Adaptador hembra Ø1/2" pvc	Unidad	12	1,90	22,80
Block 0.14x0.19x0.39	Unidad	85	5,50	467,5
Cemento UGC	Unidad	18	83,00	1 494,00
Pegamento para pvc	1/4 gal	12	155,00	1 860,00
wype	lb	30	10,00	300,00
Subtotal				12 695,48
15% Imprevistos				1 904,32
TOTAL materiales				14 599,80
MANO DE OBRA				
Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (Q.)	Total (Q.)
Instalación de Válvulas Ø6"	Unidad	3	400,00	1 200,00
Instalación de Válvulas Ø4"	Unidad	15	300,00	4 500,00
Instalación de VRP Ø6"	Unidad	1	400,00	400,00
Instalación de VRP Ø4"	Unidad	5	300,00	1 500,00
Instalación de tubería y acc	caja	6	750,00	4 500,00
Subtotal				12 100,00
15% Imprevistos				1 815,00
TOTAL mano de obra				13 915,00
TOTAL RENGLON				313 706,55

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Presupuesto Cajas para válvulas reguladoras de presión y resumen de presupuesto**

MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (Q.)	Total (Q.)
Cemento UGC	saco	396	83,00	32 868,00
Arena de río	m ³	22,5	160,00	3 600,00
Piedrín triturado	m ³	22,5	225,00	5 062,50
Hierro No. 4	varilla	452	51,15	23 124,18
Alambre de amarre	Lb	300	6,00	1 800,00
Tabla de 1"x12"X8'	Unidad	192	38,33	7 359,36
Tabla de 1"x12"X9'	Unidad	96	38,33	3 679,68
Regla 3"x3"x9'	Unidad	120	25,00	3 000,00
clavo 3"	Lb	210	7,00	1 470,00
Separol	galón	30	143,00	4 290,00
Subtotal				86 253,72
15% Imprevistos				12 938,06
TOTAL mano de obra				99 191,78
HERRAMIENTA, MAQUINARIA Y EQUIPO				
Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (Q.)	Total (Q.)
Cortadora de concreto	ml	338,1	12,00	4 057,20
Vibrocompactador	dia	6	450,00	2 700,00
Vibrador de concreto	dia	30	100,00	3 000,00
Martillo hidráulico	dia	12	175,00	2 100,00
Generador de energía	dia	30	150,00	4 500,00
Concreteira	dia	18	250,00	4 500,00
Piocha	Unidad	18	60,00	1 080,00
Carretilla de mano	Unidad	18	225,00	4 050,00
Cubeta concreteira	Unidad	30	12,00	360,00
Pala	Unidad	18	55,00	990,00
Subtotal				Q 27 337,20
15% Imprevistos				Q 4 100,58
TOTAL herramienta, maquinaria y equipo				Q 31 437,78
MANO DE OBRA				
Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (Q.)	Total (Q.)
Excavación y retiro	m ³	113,1	25,00	2 827,50
Corte de pavimento	ml	338,1	6,70	2 265,27
Demolición de concreto	m ²	38,22	35,00	1 337,70
fundición de concreto	m ³	40,62	130,00	5 280,60
Armado	quintal	39	70,00	2 730,00
encofrado y desencofrado	pie-tabla	3306	5,00	16 530,00
Limpieza	m ²	38,22	60,00	2 293,20
Subtotal				33 264,27
15% Imprevistos				4 989,64
TOTAL mano de obra				38 253,91
TOTAL RENGLON				168 883,47

Descripción	Unidad	Cantidad	P.U. (Q.)	Total (Q.)
Red de distribución	ml	78	1 199,02	93 523,44
Instalación hidráulica válvulas reguladoras de presión	unidad	6	52 284,42	313 706,55
Cajas válvulas reguladoras de presión	unidad	6	28 147,24	168 883,47
TOTAL				576 113,45

Fuente: elaboración propia.