



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE
AGUA POTABLE DE LA ZONA CENTRAL DE LA CIUDAD DEL
PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA**

AUTOR: ESTACIO FIGUEROA, STEPHANIE CAROLINA

DIRECTOR: ING. MASABANDA CAISAGUANO, MARCO VINICIO PH.D.

SANGOLQUÍ

2019



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“MEJORAMIENTO DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE LA ZONA CENTRAL DE LA CIUDAD DEL PUYO, PROVINCIA DE PASTAZA”**, fue realizado por la señorita **Estacio Figueroa, Stephanie Carolina** el mismo que ha sido realizado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 31 de enero del 2019

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la del Ing. Marco Masabanda Caisaguano.

Ing. Marco Masabanda Caisaguano Ph.D.

Director del Trabajo de Titulación



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Estacio Figueroa, Stephanie Carolina**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación “**Mejoramiento del sistema de distribución de agua potable de la zona central de la ciudad del Puyo, provincia de Pastaza**”, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 31 de enero del 2019

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir 'S. Estacio'.

Stephanie Carolina Estacio Figueroa

C.C 1714113964



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Estacio Figueroa Stephanie Carolina**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación **“Mejoramiento del sistema de distribución de agua potable de la zona central de la ciudad del Puyo, provincia de Pastaza”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 31 de enero del 2019

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "S. Estacio".

Stephanie Carolina Estacio Figueroa

C.C 1714113964

DEDICATORIA

A toda mi familia por el apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida.

A mi madre, Margarita, por ser mi motor en todos mis metas

A mi padre Patricio, por tu cariño incondicional

Stephanie Carolina Estacio Figueroa

AGRADECIMIENTO

A Dios por todas sus bendiciones, su amor, por darme fuerza día a día y por poner en mí camino a personas únicas.

A mi madre, Margarita por ser mi mejor ejemplo de esfuerzo y lucha, todo lo que soy es por ti por tu amor incondicional y gracias por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía.

A mi padre, Patricio por tu cariño y apoyo

A Yuly, que has estado ahí siempre que te necesito.

A mi tío Fernando Jara, por su guía en la realización de este proyecto.

A cada uno de mis amigos que siempre estuvieron para apoyarme

Al Doctor Marco Masabanda por su paciencia y ayuda

Stephanie Carolina Estacio Figueroa

INDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO 1	1
PROBLEMA	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Planteamiento del problema	3
1.4. Justificación e importancia	6
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general del proyecto	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	6

CAPÍTULO 2	8
SITUACIÓN ACTUAL	8
2.1. Antecedentes de la ciudad de Puyo	8
2.2. Ubicación	9
2.3. Clima	10
2.4. Área de influencia del proyecto	11
2.5. Población	13
2.5.1. Estimación poblacional.....	16
2.6. Determinación de la dotación.....	17
2.7. Topología del sistema	18
2.8. Problemas identificados en el sistema de distribución existente.....	21
2.9. Encuesta socioeconómica	22
CAPÍTULO 3	33
MARCO METODOLÓGICO	33
3.1. Parámetros de diseño.....	33
3.1.1. Periodo de diseño.....	33
3.1.2. Proyección poblacional.....	34
3.1.3. Dotación	38
3.1.4. Proyección de demandas de agua	40
3.1.5. Dotación de agua contra incendio	44
3.1.6. Caudales de diseño	44
3.1.7. Volúmenes de almacenamiento	45

3.2.	Sectorización hidráulica.....	46
3.3.	Criterios para la sectorización.....	47
3.4.	Definición de sectores y puntos de alimentación	49
3.4.1.	Zona alta central.....	52
3.4.2.	Zona baja.....	57
3.5.	Redes matrices de distribución	61
CAPÍTULO 4.....		62
MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS		62
4.1.	Modelación matemática	62
4.1.1.	Capacidades hidráulicas.....	62
4.2.	Criterios de diseño para el cálculo de redes de distribución	63
4.3.	Recopilación y análisis de la información.....	65
4.4.	Modelación de la zona alta central	67
4.4.1.	Resultados de presiones zona alta central (Año 2018)	68
4.4.2.	Resultado de presiones zona alta central (Año 2043).....	71
4.4.3.	Resultado de velocidades en el sistema de la zona alta central	77
4.5.	Modelación y análisis de la zona baja.....	79
4.5.1.	Resultados de presiones zona baja (Año 2018)	80
4.5.2.	Resultados de presiones zona baja (Año 2043)	82
4.5.3.	Resultado de velocidades en el sistema de la zona baja	89
4.6.	Control de las redes mediante válvulas reductoras de presión	90
4.6.1.	Dimensionamiento de las válvulas reductoras de presión	92

4.6.2.	Resultados de presiones con <i>VRP</i>	99
CAPÍTULO 5		103
TANQUES DE ABASTECIMIENTO		103
5.1.	Tanque de almacenamiento	103
5.2.	Curva de masa o curva de consumo acumulado.....	104
5.3.	Cálculo de volumen de almacenamiento de los tanques	107
5.3.1.	Tanque Palestina	108
5.3.2.	<i>Tanque Constructora</i>	112
5.3.3.	Tanque la Isla	114
5.3.4.	Tanque Victoria de León	116
5.4.	Sistema SCADA	118
CAPÍTULO 6		121
DISEÑO DE REDES MATRICES DE DISTRIBUCIÓN		121
6.1.	Conducciones a los tanques.....	121
6.2.	Evaluación de pérdidas	122
6.2.1.	Pérdidas por fricción en la tubería.....	122
6.2.2.	Pérdidas Locales	123
6.3.	Método de cálculo y parámetros de diseño	125
6.4.	Resultados de la modelación de las conducciones	127
6.5.	Válvulas de control de caudal	132
6.5.1.	Dimensionamiento de las válvulas de control de caudales	133
6.6.	Diagnóstico de las conducciones matrices de distribución	138

CAPÍTULO 7	145
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
7.1. Conclusiones	145
7.2. Recomendaciones	146
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	148

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Población Puyo Años 1990, 2001 y 2010</i>	14
Tabla 2. <i>Población SSD1 del Puyo año 2010</i>	15
Tabla 3. <i>Población SSD1 del Puyo año 2018</i>	17
Tabla 4. <i>Consumos facturados de la ciudad del Puyo</i>	17
Tabla 5. <i>Datos de las captaciones del Puyo</i>	18
Tabla 6. <i>Tanques de almacenamiento del Puyo</i>	20
Tabla 7. <i>Fuente de abastecimiento de agua</i>	24
Tabla 8. <i>Paga por el servicio de agua</i>	25
Tabla 9. <i>Pago mensual de planilla de agua potable</i>	26
Tabla 10. <i>Tiene problemas con el servicio de agua</i>	27
Tabla 11. <i>Problemas con el servicio de agua</i>	28
Tabla 12. <i>El agua que recibe es suficiente o insuficiente</i>	29
Tabla 13. <i>Días a la semana que se dispone del servicio de agua potable</i>	30
Tabla 14. <i>Vida útil sugerida para los elementos de un sistema de agua potable.</i>	33
Tabla 15. <i>Población de saturación del SSD 1 del Puyo</i>	35
Tabla 16. <i>Comportamiento poblacional esperado del SSD1</i>	37
Tabla 17. <i>Dotaciones recomendadas</i>	38
Tabla 18. <i>Dotación neta mínima y máxima según normativa colombiana</i>	39
Tabla 19. <i>Dotaciones recomendadas según normativa mexicana</i>	39
Tabla 20. <i>Proyección de demandas de agua para el SSD1</i>	43
Tabla 21. <i>Dotación de agua contra incendio</i>	44

Tabla 22. <i>Caudales de diseño para los elementos de un sistema de agua potable</i>	45
Tabla 23. <i>Pobalción zona alta central año 2018</i>	54
Tabla 24. <i>Pobalción zona alta central año 2043</i>	55
Tabla 25. <i>Zona alta central proyección al año 2043</i>	56
Tabla 26. <i>Pobalción zona alta central año 2018</i>	58
Tabla 27. <i>Pobalción zona alta central año 2043</i>	59
Tabla 28. <i>Sistema zona baja proyección al año 2043</i>	60
Tabla 29. <i>Resumen de datos y parámetros de diseño zona alta central</i>	67
Tabla 30. <i>Presiones en hidrantes año 2018</i>	70
Tabla 31. <i>Presiones en hidrantes año 2043</i>	73
Tabla 32. <i>Resumen de presiones de la modelación hidráulica – Zona alta central</i>	75
Tabla 33. <i>Resumen de datos y parámetros de diseño zona baja</i>	79
Tabla 34. <i>Resumen de presiones de la modelación hidráulica – Zona baja</i>	84
Tabla 35. <i>Caudales de diseño para válvulas reductoras de presión</i>	91
Tabla 36. <i>Dimencionamitno de VRP de la zona alta central</i>	95
Tabla 37. <i>Dimencionamitno de VRP de la zona baja</i>	98
Tabla 38. <i>Procedimiento de cálculo numérico (curva de masa)</i>	105
Tabla 39. <i>Consumo horario de una ciudad de clima cálido en el Ecuador</i>	106
Tabla 40. <i>Volumen de almacenamiento actual de los tanques</i>	107
Tabla 41. <i>Resumen de cauales máximos horarios y población</i>	108
Tabla 42. <i>Volumen de regulación zona alta central año 2043</i>	108
Tabla 43. <i>Volumen de almacenamiento zona alta central</i>	110

Tabla 44. <i>Volumen de regulación Zona alta lateral año 2043</i>	110
Tabla 45. <i>Volumen de almacenamiento zona alta lateral</i>	112
Tabla 46. <i>Volumen de regulación Zona baja</i>	112
Tabla 47. <i>Volumen de almacenamiento tanque Constructora</i>	114
Tabla 48. <i>Volumen de regulación Zona la isla</i>	114
Tabla 49. <i>Volumen de almacenamiento tanque La Isla</i>	116
Tabla 50. <i>Volumen de regulación Zona sur</i>	116
Tabla 51. <i>Volumen de almacenamiento tanque Victoria de León</i>	118
Tabla 52. <i>Valores de K, coeficientes para pérdidas en accesorios</i>	124
Tabla 53. <i>Parámetros técnicos para el cálculo de las Conducciones matrices a los Tanques</i> ..	126
Tabla 54. <i>Resultados de la conducción a tanque Palestina</i>	128
Tabla 55. <i>Resultados de la conducción a tanque Constructora</i>	129
Tabla 56. <i>Resultados de la conducción a tanque Victoria de León</i>	130
Tabla 57. <i>Resultados de la conducción a tanque La Isla</i>	131
Tabla 58. <i>Altura remanente en tanques de almacenamiento</i>	134
Tabla 59. <i>Direccionamiento de válvulas de control de caudal</i>	134
Tabla 60. <i>Características técnicas de válvulas adoptadas</i>	135
Tabla 61. <i>Cálculo de válvulas al año 2018</i>	136
Tabla 62. <i>Porcentajes de apertura de las válvulas año 2018 al 2043</i>	137
Tabla 63. <i>Cota de instalación de las válvulas</i>	137
Tabla 64. <i>Caudales y presiones en la conducción Tanque El Rosal – Derivación Y1</i>	139
Tabla 65. <i>Datos de la conducción tanque El Rosal – Derivación Y2</i>	141

Tabla 66. *Pérdidas de carga reales en la conducción tanque El Rosal – Derivación Y2* 144

Tabla 67. *Pérdidas de carga reales y teóricas en las líneas de conducción*..... 144

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Puyo a nivel nacional	10
Figura 2. Total días con precipitación. Año 2015	11
Figura 3 Subsistemas de distribución del Puyo.....	12
Figura 4 Subsistema de distribución 1	13
Figura 5 Barrios del área de estudio.....	13
Figura 6. Zonas censales del Subsistema 1 del Puyo	14
Figura 7. Densidad poblacional del SSD1 año 1990.....	15
Figura 8. Densidad poblacional del SSD1 año 2001.....	16
Figura 9. Densidad poblacional del SSD1 año 2010.....	16
Figura 10. Tanques de almacenamiento del Puyo.....	19
Figura 11. Red de distribución del SSD1.....	21
Figura 12. Zona en que se realizó las encuestas.....	23
Figura 13. Fuente de abastecimiento de agua	25
Figura 14. Paga por el servicio de agua	26
Figura 15. Pago mensual por el servicio de agua.....	27
Figura 16. Problemas con el servicio de agua.....	28
Figura 17. Problemas con el servicio de agua.....	29
Figura 18. El agua que recibe es suficiente o insuficiente	30

Figura 19. Días a la semana que se dispone del servicio de agua potable	31
Figura 20. Componentes de una red de agua potable.....	46
Figura 21. Mapa de elevaciones del Subsistema 1 del Puyo.....	49
Figura 22. Sectorización de la ciudad del Puyo	50
Figura 23. Sectores piloto	52
Figura 24. Delimitación zona alta central	53
Figura 25. Viviendas actuales dentro de la zona alta central	54
Figura 26. Diametro tuberías zona alta central	55
Figura 27. Delimitación zona baja	57
Figura 28. Viviendas dentro de la zona baja	58
Figura 29. Diametro tuberías zona baja	59
Figura 30. Redes matrices	61
Figura 31. Presiones en estado dinámico zona alta año 2018	68
Figura 32. Presiones en estado dinámico + incendio zona alta año 2018.....	70
Figura 33. Presiones en estado estático zona alta año 2018.....	71
Figura 34. Presiones en estado dinámico zona alta año 2043	72
Figura 35. Presiones en estado dinámico + incendio zona alta año 2043.....	73
Figura 36. Presiones en estado estático zona alta año 2043.....	74
Figura 37. Velocidades en el sistema de la zona alta central año 2043	78
Figura 38. Presiones en estado dinámico + incendio zona baja año 2018.....	80
Figura 39. Presiones en estado estático zona baja año 2018.....	81
Figura 40. Presiones en estado dinámico + incendio zona baja año 2043	82

Figura 41. Presiones en estado estático zona baja año 2043.....	83
Figura 42. Velocidades en el sistema de la zona baja año 2043	89
Figura 43. VRP entre embalse y red de distribución	90
Figura 44. Válvulas reguladoras de presión zona alta central.....	93
Figura 45. Diámetros de válvula según Kv	94
Figura 46. Porcentaje de apertura VRP.....	96
Figura 47. Válvulas reductoras de presión en paralelo	96
Figura 48. Válvulas reguladoras de presión zona baja.....	97
Figura 49. Cavitación en VRP	99
Figura 50. Presiones en estado dinámico zona alta año 2018 con VRP	99
Figura 51. Presiones en estado dinámico zona alta año 2043 con VRP	100
Figura 52. Presiones en estado estático zona alta año 2018 con VRP.....	100
Figura 53. Presiones en estado dinámico zona baja año 2018 con VRP.....	101
Figura 54. Presiones en estado estático zona baja año 2018 con VRP	101
Figura 55. Presiones en estado dinámico zona baja año 2043 con VRP.....	102
Figura 56. Curva de masa.....	104
Figura 57. Curva típica de consumo de una ciudad de clima cálido en el Ecuador.....	106
Figura 58. Curva de variación horaria zona alta central	109
Figura 59. Curva de variación horaria zona alta lateral	111
Figura 60. Curva de variación horaria zona baja	113
Figura 61. Curva de variación horaria zona la isla.....	115
Figura 62. Curva de variación horaria zona baja sur	117

Figura 63. Arquitectura básica del sistema SCADA.....	120
Figura 64. Conducciones hacia los tanques de distribución	121
Figura 65. Coeficiente de pérdida de carga para codos	124
Figura 66. Coeficiente de corrección para codos en función de la deflexión	125
Figura 67. Perfil de conducción desde El Rosal a Palestina	128
Figura 68. Perfil de conducción desde El Rosal a Constructora	129
Figura 69. Perfil de conducción desde El Rosal a Victoria de León.....	130
Figura 70. Perfil de conducción desde El Rosal a La Isla.....	131
Figura 71. Resultados modelación de conducciones.....	132
Figura 72. Diámetro de válvula en función del Kv	135
Figura 73. Porcentaje de apertura válvula.....	136
Figura 74. Guía de cavitación válvula BERMAD	138

RESUMEN

El proyecto “**Mejoramiento del sistema de distribución de agua potable de la zona central de la ciudad del Puyo, provincia de Pastaza**”, tiene como fin de realizar la sectorización de la red actual del sistema de distribución uno de la ciudad del Puyo, especialmente en el análisis de la parte central de la ciudad, donde habita la mayor parte de la población además de ser el casco comercial de la ciudad. Se busca mejorar las deficiencias del sistema de distribución de agua potable actual, mediante la división de la red en zonas altas y bajas, para tener un mejor control de caudales, presiones y pérdidas de agua en la red. Para la modelación de la redes sectorizadas se utilizó el programa WaterCad Vi8, partiendo de la información obtenida del catastro de la red existente, número de habitantes y consumos de agua. Para el diseño se ha considerado una vida útil de 25 años, periodo en el cual las redes sectorizadas deben funcionar bajos los criterios establecidos, por lo que para esto, se dimensionó las estructuras de control necesarias; como son las válvulas reductoras de presión y válvulas controladoras de caudal para garantizar el funcionamiento óptimo de cada uno de los sistemas.

PALABRAS CLAVE

- **SECTORIZACIÓN DE REDES DE AGUA POTABLE**
- **ESTRUCTURAS DE CONTROL DE CAUDALES**
- **REDES MATRICES DE DISTRIBUCIÓN**

ABSTRACT

The project "Improvement of the distribution system of drinking water of the central zone of the city of Puyo, province of Pastaza", has the purpose of realizing the sectorization of the current distribution system network one of the city of Puyo, focusing mainly in the analysis of the central part of the city, where most of the population is located. This seeks to improve the deficiencies of the current distribution system, since the network has been divided into high and low areas, to have better control of flows, pressures and losses in the network. For the modeling of sectorized networks, the WaterCad Vi8 program has been used, based on the information obtained about the network's cadastre, number of inhabitants and water consumption. For the design, a useful life of 25 years has been taken, a period in which the sectorized networks must operate under the established criteria, for which reason the necessary control structures have been dimensioned, such as pressure and flow reducing valves to guarantee the optimal functioning of each system.

KEYWORDS

- **SECTORIZATION OF DRINKING WATER NETWORKS**
- **FLOW CONTROL STRUCTURES**
- **DISTRIBUTION MATRIX NETWORKS**

CAPÍTULO 1

PROBLEMA

1.1. Introducción

El agua es un elemento vital para la subsistencia del ser humano, lo que ha dado lugar a que se den grandes asentamientos cerca de los lugares donde se facilite la obtención de tal recurso. En la antigüedad las personas para abastecerse llevaban el agua mediante barriles, acarreándolos a mano o mediante el lomo de una mula, posteriormente se comenzaron a construir obras de abastecimiento, como canales, pozos y represas, siendo los romanos los que pusieron en punto estas técnicas, debido fundamentalmente a su uso del hormigón.

Hoy en día, se construyen redes de distribución para el abastecimiento de agua potable a una población, estas redes son sistemas compuestos por tanques, tuberías, bombas, válvulas de diferentes tipos, que se encuentran conectados entre sí y tienen la finalidad de suministrar la demanda de agua requerida por los consumidores. Debido a que la inversión económica para la construcción de estas infraestructuras es significativa, se busca que el diseño de estas redes de distribución sea óptimo.

El diseño óptimo de una red de distribución de agua consiste en que esta debe cumplir con la normatividad y reglamentos establecidos, cumpliendo ciertas restricciones: presión mínima, caudal, velocidad del agua etc. Dichas condiciones, permiten analizar si redes de distribución existentes cumplen con las condiciones hidráulicas necesarias para su operación, o si es necesario implementar soluciones técnicas con el fin de mejorar las condiciones de dicha red.

Por ello en el presente trabajo de investigación, tiene por objeto dar una propuesta para el mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable de la ciudad del Puyo, concretamente en la zona central de la ciudad. Para ello se pretende realizar la sectorización de la red con el fin de tener más control de las presiones y las fugas.

Para el modelamiento de la red se utilizará el programa WaterCAD V8i de dominio público, el cual nos permitirá calcular las presiones estáticas en cada punto de la red y así poder realizar un análisis hidráulico.

1.2. Antecedentes

La ciudad de Puyo, capital provincial de Pastaza, tiene una superficie de 991,75 ha. y se encuentra estratégicamente localizado en el centro de la Amazonía ecuatoriana, a 4 horas de Quito y a 7 horas de Guayaquil, tiene una altitud promedio de 924 msnm y la zona se caracteriza por sus constantes lluvias . (GAD Municipal del Cantón Pastaza, 2015)

El Puyo en los últimos años ha experimentado un notable incremento poblacional, lo cual consecuentemente ha dado lugar a la mayor demanda de los servicios de infraestructura, como: vialidad, agua potable, alcantarillado, electrificación, telefonía, áreas de recreación, etc., cuya implementación debe realizarse dentro de los conceptos modernos de confort, en forma coherente y planificada, anticipándose al futuro, en un plazo razonable determinado a base del crecimiento demográfico, la magnitud de estas poblaciones, la importancia socio-económica y progreso que se da conforme a los requerimientos técnicos modernos, que permitan alcanzar mejores niveles de vida para quienes habitan en este cantón.

Según el censo INEC del año 2010, la ciudad de Puyo contaba con una población de 36.659 habitantes, según proyecciones realizadas en base a lo estipulado en la información proporcionada por el INEC, en el presente año bordearía los 50.000 habitantes.

El GAD Municipal de Pastaza es el responsable de brindar los servicios de agua potable y alcantarillado de la ciudad, actividad que lo realiza a través de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Pastaza -EMAPAST EP que fue creada en el año 2010. En el afán de cumplir con sus objetivos de desarrollo integral para los habitantes de la ciudad del Puyo, ha emprendido en una serie de obras y acciones tendientes, a lograr un mejor nivel de vida de sus habitantes (GAD Municipal del Cantón Pastaza, 2015).

En la actualidad el GAD Municipal y la Empresa Municipal de Agua Potable Pastaza, EMAPAST consideran que es prioritario solucionar los problemas de desperdicio, pérdidas de agua y falta de abastecimiento en varios sectores de la ciudad, en tal sentido es prioritario dar una adecuada solución del servicio de agua potable a esta ciudad por la importancia que representa en el sector amazónico y el turismo nacional.

1.3. Planteamiento del problema

A nivel mundial, el agua potable es un servicio básico, el más importante para el desarrollo de las actividades diarias de los seres humanos y por ende del desarrollo de las poblaciones.

Hoy en día el agua potable juega un rol muy importante en lo que se refiere a la salubridad de las poblaciones, debido a que si no existe una calidad adecuada de agua se pueden producir

enfermedades de origen hídrico como: gastroenteritis, salmonella, poliomielitis, meningitis, hepatitis, diarrea, etc., lo que puede conducir a la muerte de la población infantil (Prieto, 2004).

Por esto se requiere dar soluciones a los problemas sanitarios y de salud pública, siendo de gran importancia la implementación de infraestructuras que satisfagan la demanda de agua potable de calidad a la población y que cumpla con todos los parámetros de diseño, que se deben basar en la norma INEN 1108.

En el Ecuador y especialmente en las zonas rurales muchos sistemas de dotación de agua potable fueron creados con diseños que ya han cumplido con su vida útil o simplemente no se ajustan a la realidad demográfica del país, además que los materiales utilizados no son los adecuados para las conducciones. En consecuencia los sistemas de distribución son deficientes o se encuentran en mal estado y ocasionan una serie de problemas tanto de tipo económico como de dotación (Güilcazo, 2012).

La ciudad del Puyo a pesar de tener gran cantidad de agua por sus constantes lluvias, presenta graves problemas en su sistema de distribución de agua potable, esto se da por el mal diseño de las estructuras de control de caudales, lo que lleva a que el agua que llega de las plantas de tratamiento a los tanques de reserva sea superior a lo que estos pueden almacenar propiciando una gran desperdicio de agua. Asimismo el diseño de la red de distribución fue hecha en una sola malla en vez de hacer una sectorización adecuada entre las zonas altas y bajas, lo que garantizaría una correcta distribución de agua en la ciudad y evitaría que haya sectores sin agua como sucede actualmente.

Puyo cuenta actualmente con tres plantas de tratamiento de agua Potable que se alimentan de los ríos aledaños a la ciudad Blanco, Puyo y Pindo, que tienen una captación de 75 l/s, 320 l/s y 100 l/s, respectivamente y estos a su vez alimentan a las plantas El Rosal, Palestina y San Vicente.

Las obras de toma de las tres plantas tienen varios problemas derivados de las características geológicas de las cuencas y en los períodos de lluvias intensas se presentan en los ríos flujos de lodos que azolvan las obras de cierre y afectan la calidad del agua captada. Los sistemas no disponen de reservorios de agua cruda que permitan almacenar agua para disponer de un volumen de reserva para superar las emergencias, de manera que, cuando ocurren estos eventos las captaciones dejan de suministrar agua a las plantas o las plantas reciben agua de una calidad que no es factible lograr el grado de calidad que la norma ecuatoriana INEN 1108 recomienda.

A pesar de la gran cantidad de agua que se le inyecta a la red de distribución la cobertura de agua potable sigue siendo deficiente, determinándose que no se dispone de un servicio continuo de agua potable durante las 24 horas del día, que la presión en algunos casos es mínima y que la calidad del agua distribuida no es segura al 100%.

Por otra parte, la red general de distribución de la ciudad no dispone de una sectorización apropiada y mantiene una red única de tuberías que son alimentadas por las tres plantas. Igualmente las pérdidas de agua no contabilizada afectan económicamente el desempeño empresarial de EMAPAST situación que la institución está procurando resolver con un trabajo técnico y administrativo lo más eficiente posible.

1.4. Justificación e importancia

En la ciudad del Puyo ha habido un crecimiento desordenado de la red de distribución de agua potable, lo que acarreado una gran cantidad de problemas como son: pérdidas de agua, presiones bajas, mala calidad del agua, entre otros. Por lo que el propósito principal de este proyecto es mejorar los servicios de agua de la zona central de la ciudad del Puyo, entregando agua a todos los consumidores en cantidades adecuadas con presiones suficientes, con una calidad mínima que permita su consumo y sobre todo de manera continua y así mejorar la calidad de vida de la población.

Con este proyecto se beneficiaría directamente a la población que se encuentra en la parte central de la ciudad del Puyo, teniendo un impacto positivo directo en la población en general porque mejoraría las condiciones de vida, lo que significa para la población resolver un problema que requiere una respuesta a mediano y largo plazo de manera urgente.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general del proyecto

Mejorar el sistema de distribución de agua potable de la zona central de la ciudad del Puyo, mediante el control de caudales y la reducción de pérdidas de agua, con la finalidad de satisfacer la demanda de su población.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar la sectorización de la red de distribución para garantizar el abastecimiento a las zonas altas.

- Simular matemáticamente mediante programas computacionales el funcionamiento de la red de distribución del sector alto de la ciudad.
- Diagnosticar el funcionamiento de las conducciones matrices de distribución de agua desde las plantas de tratamiento hasta los tanques de reserva.
- Dimensionar las redes matrices de distribución a los sectores de la ciudad, para un mejor control de pérdidas.
- Dimensionar las estructuras de control de caudales para la entrega de agua a los tanques de reserva.

CAPÍTULO 2

SITACIÓN ACTUAL

2.1. Antecedentes de la ciudad de Puyo

La ciudad de Puyo o también conocida como Nuestra Señora del Rosario de Pompeya de Puyo, fue fundada el 12 de mayo de 1899 por el Padre Álvaro Valladares, misionero dominico y un grupo de indígenas de Canelos. El Puyo es una ciudad ecuatoriana; cabecera cantonal del Cantón Pastaza y capital de la Provincia de Pastaza, y actualmente es el centro económico, político y cultural de la provincia y una de las ciudades más importantes de la Región Amazónica del Ecuador, ya que en ella se alberga grandes organismos culturales, financieros, administrativos y comerciales (GADM del Cantón Pastaza, 2017).

El nombre de la ciudad se debe a que está ubicada a orillas del río Puyo. Además que la palabra Puyo viene del vocablo “puyu” que en quichua significa neblina, y era así que generalmente se encontraba a esta zona, nublada y húmeda.

El 4 de enero de 1947 fue inaugurada, por el Presidente de la República Dr. José, María Velasco Ibarra y el Vicepresidente Dr. Mariano Suárez Veintimilla, la carretera interprovincial Baños - Puyo, la cual se convertiría en una de las principales vías de conexión entre la Sierra y la Amazonía. Ese mismo año se inauguró el Palacio Municipal, donde el 12 de mayo de 1948 se instaló el Primer Concejo Municipal (GAD Municipal del Cantón Pastaza, 2015).

Desde hace muchos años, entre las propuestas de campaña para la Alcaldía del Cantón Pastaza, siempre se ha destacado “la solución definitiva al problema de agua potable tanto en cantidad como en calidad”, y es por ello que tanto el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón

Pastaza (GADM-P), como la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Pastaza (EMAPAST-EP), están trabajando conjuntamente para incrementar la cobertura y calidad del servicio.

Puyo ha crecido significativamente en los últimos veinte años. En lo físico, se han incrementado, a más de los barrios, urbanizaciones y cooperativas de vivienda en su periferia, ello ha agudizado el problema de los servicios básicos, puesto que en el perímetro urbano aún existen grandes lotizaciones particulares y familiares por las que los servicios tienen que atravesarlos, encareciendo el costo de los mismos: Agua Potable, electrificación alcantarillado, apertura de vías, adecentamiento y ornato, educación, salud, etc.

Según el censo del 2010 realizado por el INEC, Puyo tiene 36.659 habitantes, que crece a un ritmo del 3.83% anual en su población.

2.2. Ubicación

El Puyo se caracteriza por su ubicación central en la Región Amazónica del Ecuador y además de encontrarse a los externos de la cordillera oriental de los Andes. La ciudad está ubicada al occidente de la provincia de Pastaza; a 100 Km de la Ciudad de Ambato (Provincia de Tungurahua) aproximadamente a una hora de Baños (ver *Figura 1*). Se encuentra a 940 m sobre el nivel del mar, a una latitud de $0^{\circ} 59' -1''$ S y a una longitud de $77^{\circ} 49' 0''$ W.

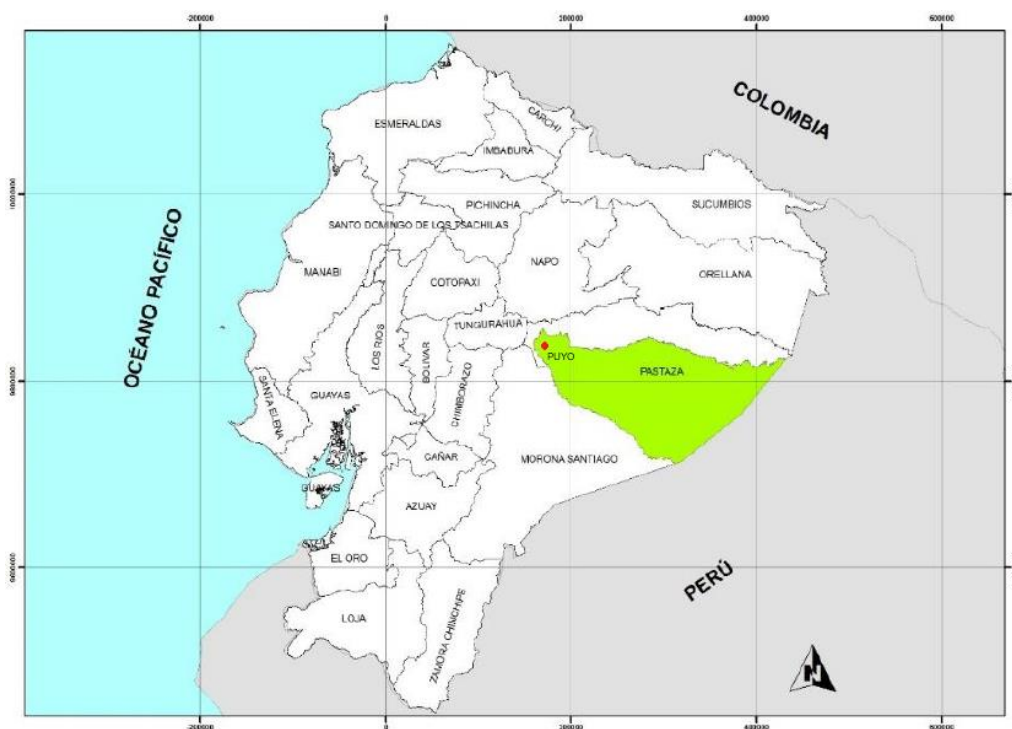


Figura 1. Ubicación del Puyo a nivel nacional

Fuente: (GAD Municipal del Cantón Pastaza, 2015)

2.3. Clima

La ciudad del Puyo se caracteriza por tener un clima tropical monzónico, según el INAHMI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, 2015), dentro de sus boletines anuales, indica que el Puyo presenta una temperatura media anual de 21,1°C y una temperatura media máxima anual de 29,7°C.

En el boletín también se encuentra que la precipitación anual en la ciudad es de 4.604,8 mm al año y que el mayor número de días con precipitación se registró en la estación del Puyo con 312 días (ver **Figura 2**). Esto recalca que la ciudad del Puyo y sus alrededores son los lugares en el Ecuador que más días llueve en el año, por lo que no hay una estación seca bien definida.

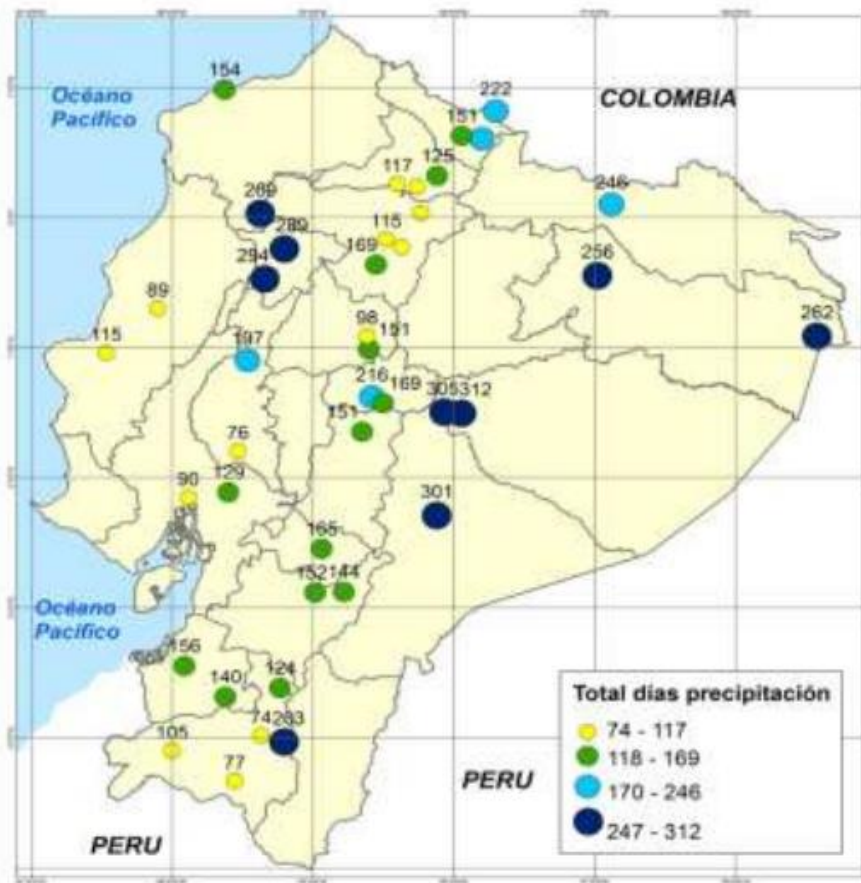


Figura 2. Total días con precipitación. Año 2015

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador, 2015)

2.4. Área de influencia del proyecto

El GAD Municipal de Pastaza ha dividido a la ciudad del Puyo en tres subsistemas de distribución de agua; donde el Subsistema de distribución uno (SSD1), abarca el centro de la ciudad y en el cual aproximadamente se encuentra el 70% de la población, además que allí se encuentran todos los organismos financieros, administrativos y comerciales. El Subsistema de distribución dos (SSD2) y Subsistema de distribución tres (SSD3), son los sectores de expansión donde se encuentran las nuevas urbanizaciones y terrenos que utilizan el agua potable para riego (ver Figura 3).

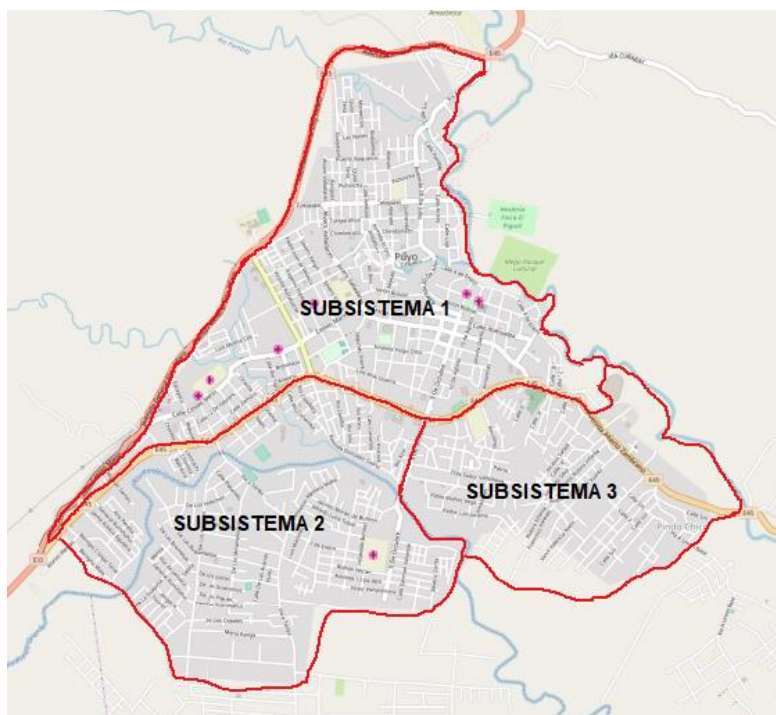


Figura 3 Subsistemas de distribución del Puyo

El presente proyecto se direcciona a analizar el sistema de distribución de agua del SSD1 principalmente la zona central de la ciudad, para lo cual se ha utilizado información proporcionada por el municipio sobre el mapeo de las tuberías existentes de dicho sector. El Subsistema de distribución 1 se encuentra separado de los otros dos subsistemas por la Avenida Alberto Zambrano, con un área total de influencia de 345 ha. y con una población aproximada de 27000 habitantes (ver **Figura 4**).

En la figura **Figura 5** se tiene los barrios que se encuentran dentro del SSD1, los cuales son: Pambay, Vicentino, Obrero, Cumanda, Cdla. del Chofer, Miraflores, Intipungo, Amazonas, Libertad, Mexico, 12 de Mayo, Mariscal, La Unión y El Dorado.

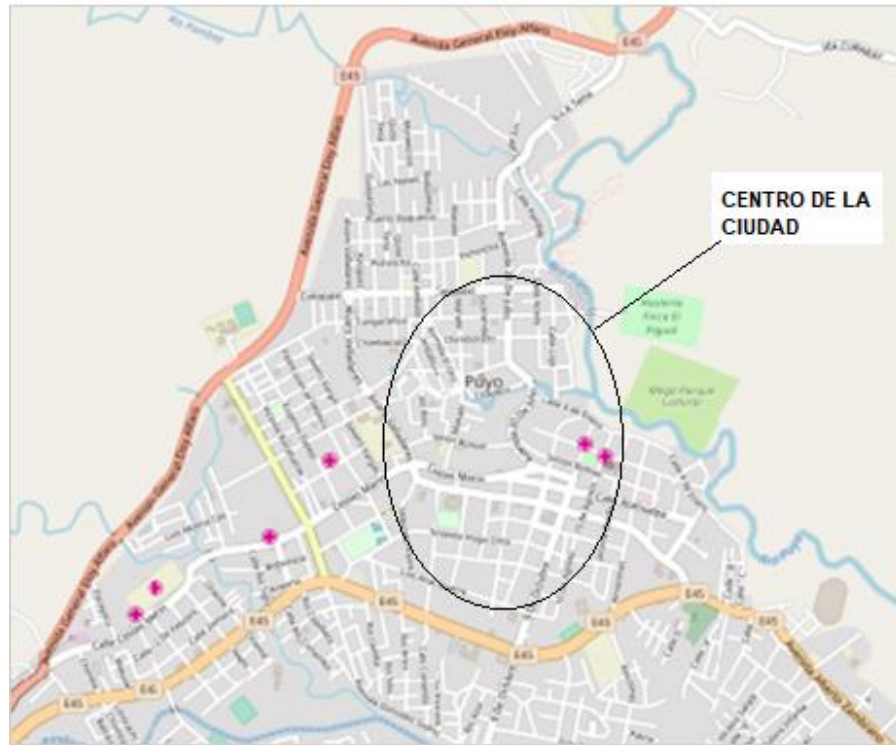


Figura 4 Subsistema de distribución 1

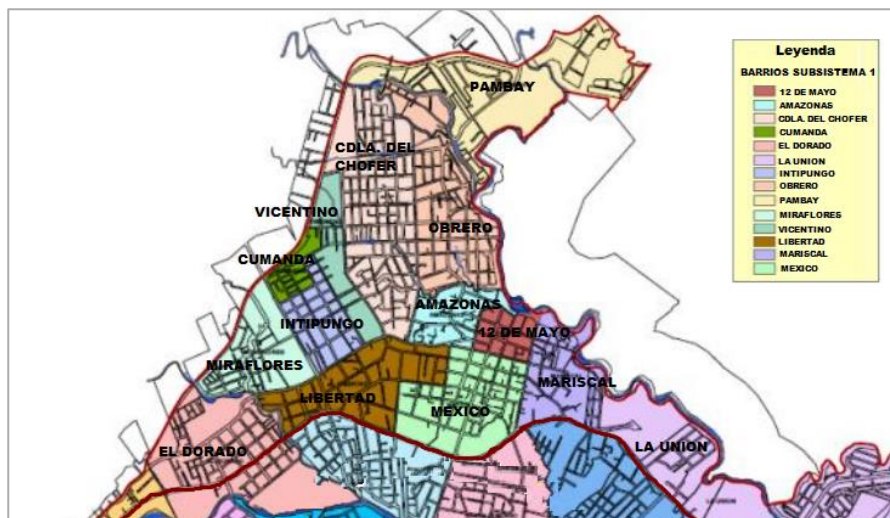


Figura 5 Barrios del área de estudio
Fuente: (Palma, 2013)

2.5. Población

La ciudad del Puyo cuenta con información de población de los censos en los años 1990, 2001 y 2010, realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), datos que se pueden

observar en la Tabla 1, en el Anexo 1 se puede encontrar con más detalle en número de habitantes por cada zona censal de los tres censos mencionados. Esta información servirá de base para posteriormente conocer cuál es la población que corresponde únicamente al subsistema 1 de Puyo.

Tabla 1.
Población Puyo Años 1990, 2001 y 2010

Año	Población urbana	Población Rural	Población total	Tasa de crecimiento
1990	14.438	1.125	15.563	-
2001	24.432	1.533	25.965	4,65%
2010	33.557	3.102	36.659	3,83%

Fuente: INEC, Censo de Población y Vivienda, 1990, 2001 y 2010

Como el objeto del mejoramiento del sistema de agua potable se enfoca específicamente a los habitantes del subsistema 1 del Puyo, es necesario obtener la población correspondiente a este sector, por lo que se ha utilizado la información obtenida de las zonas censales que se encuentran dentro del área de interés, las cuales se puede observar en la Figura 6. En el Anexo 2 se encuentra más detallado según el área, densidad y población correspondiente a cada uno de los sectores censales del último censo en el año 2010.

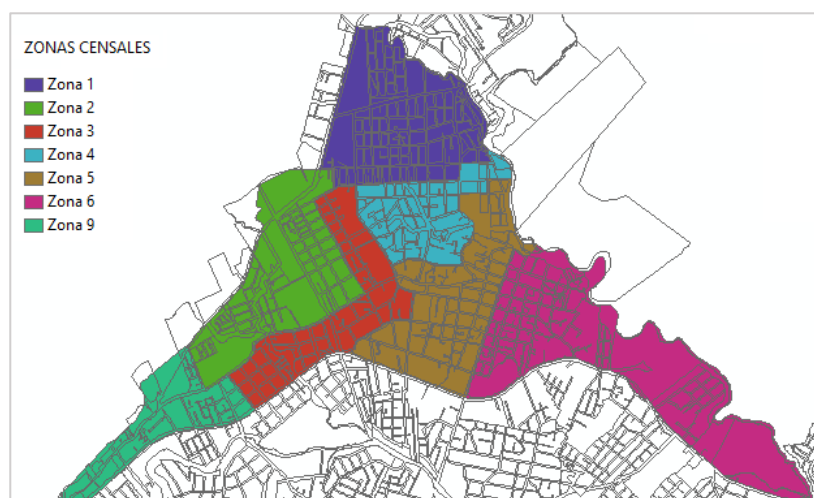


Figura 6. Zonas censales del Subsistema 1 del Puyo

La siguiente tabla (Tabla 2) muestra la población en cada zona censal del subsistema 1 del Puyo, según el último censo de población y vivienda del INEC año 2010.

Tabla 2.
Población SSD1 del Puyo año 2010

Zonas Censales	Población 2010
Zona 1	3056
Zona 2	2695
Zona 3	2861
Zona 4	2908
Zona 5	3692
Zona 6	4413
Zona 9	1197
	20.822

En las *Figuras 7, 8 y 9*, se puede observar el crecimiento poblacional que ha tenido el subsistema de distribución 1, según los censos de los años de 1990, 2001 y 2010, y es evidente que la zona central de la ciudad es donde más se encuentra asentada la población, teniendo un número alto de habitantes por hectárea en dicha zona.



Figura 7. Densidad poblacional del SSD1 año 1990

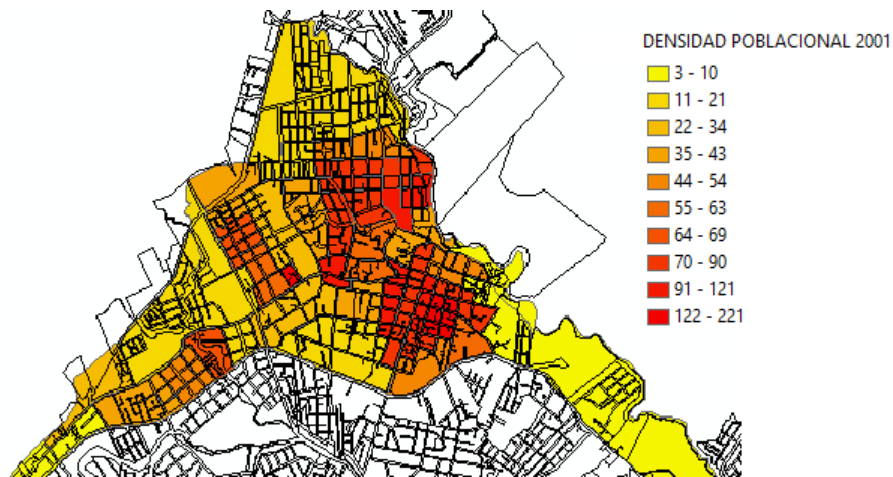


Figura 8. Densidad poblacional del SSD1 año 2001

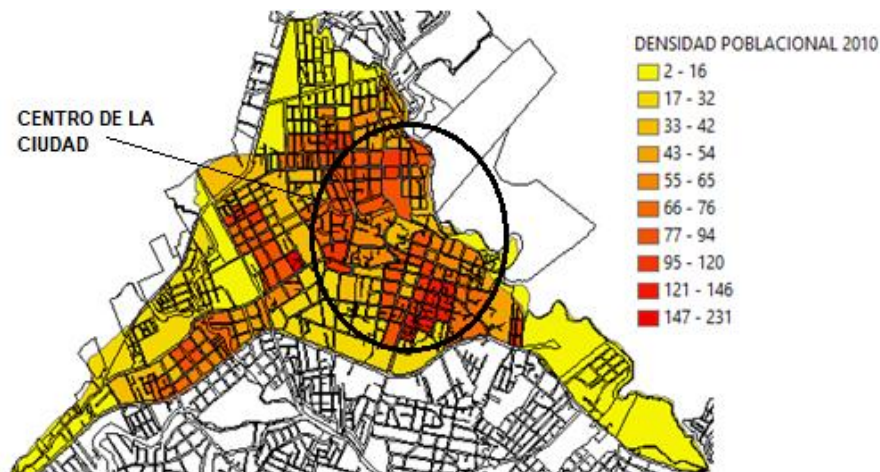


Figura 9. Densidad poblacional del SSD1 año 2010

2.5.1. Estimación poblacional

Para la estimación de la población actual se considera que el número de habitantes por cada vivienda es de 3,68; dato obtenido del último censo de la ciudad y se utilizó como base el plano de catastro actual en formato shape, emitido por el INEC.

A continuación se presenta una tabla resumen del número de habitantes en cada zona censal perteneciente al sistema de distribución 1 de la ciudad del Puyo del año 2018, según el número de viviendas existentes.

Tabla 3.
Población SSDI del Puyo año 2018

Zonas Censales	Total Viviendas	Población 2018
Zona 1	953	3507
Zona 2	898	3305
Zona 3	998	3672
Zona 4	992	3650
Zona 5	1302	4791
Zona 6	1655	6090
Zona 9	451	1659
	7.249	26.674

2.6. Determinación de la dotación

Según estadísticas tomadas de las planillas de agua facturadas en el año 2017 de los meses de octubre, de la zona de análisis, se tiene que el consumo de ese mes es de 191.421 m³, por lo que para encontrar la dotación se ha tomado igualmente 3,68 habitantes por cada vivienda, obteniendo una dotación de 242,53 l/hab/día, como se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4.
Consumos facturados de la ciudad del Puyo

Dotación de la ciudad del Puyo		
Consumo promedio por mes	191.421	m ³ /mes
Consumo promedio por día	6.380,70	m ³ /día
No. de Usuarios	7.149	
Total de usuarios	26.308	hab.
Dotación	0,2425	m ³ /had/día
Dotación	242,53	l/hab/día

La dotación de 242,53 es un valor alto, lo que significa que las personas están desperdiciando el agua potable, esto se puede deber a varios factores, uno de ellos es el bajo costo, las personas derrochan el agua ya que no les cuesta mucho, por lo que se recomienda, que para llegar a valores razonable que se indican en las normas, se debe realizar campañas de concientización de uso del agua.

Se debe considerar que en esta dotación no se está considerando el agua no contabilizada debido a las pérdidas por fugas o por conexiones ilícitas, el Puyo no cuenta con estos datos debido a que la red no tiene macro medidores que monitoreen estas pedidas, por lo que no se puede hablar de una dotación real sin considerar estos datos.

2.7. Topología del sistema

Puyo cuenta actualmente con tres plantas de tratamiento de agua Potable; El Rosal, Palestina y San Vicente que se alimentan respectivamente de los ríos Blanco, Puyo y Pindo aledaños a la ciudad, como se puede ver en la Tabla 5.

Tabla 5.
Datos de las captaciones del Puyo

Captaciones	Caudal	Tanque que Alimenta
Río Puyo	75 L/s	La Palestina
Río Blanco	320 L/s	El Rosal
Río Pindo Mirador	100 L/s	San Vicente

La red de distribución de agua potable del Puyo se abastece de los tanques de almacenamiento: La Constructora, Palestina 1 y 2, La Isla, Victoria de León y San Vicente, y a su vez estos tanques son abastecidos por el tanque El Rosal a excepción de los tanques de Palestina y San Vicente.

En la **Figura 10** se puede observar cómo se encuentran ubicados los tanques de almacenamiento ya mencionados, además de las conducciones las cuales parten desde el tanque de carga El Rosal con una tubería de 500 mm hasta la derivación al tanque la constructora, a partir de ese punto las tuberías que llegan a los tanques Constructora, La Isla y Victoria de León tienen un diámetro de 315 mm.

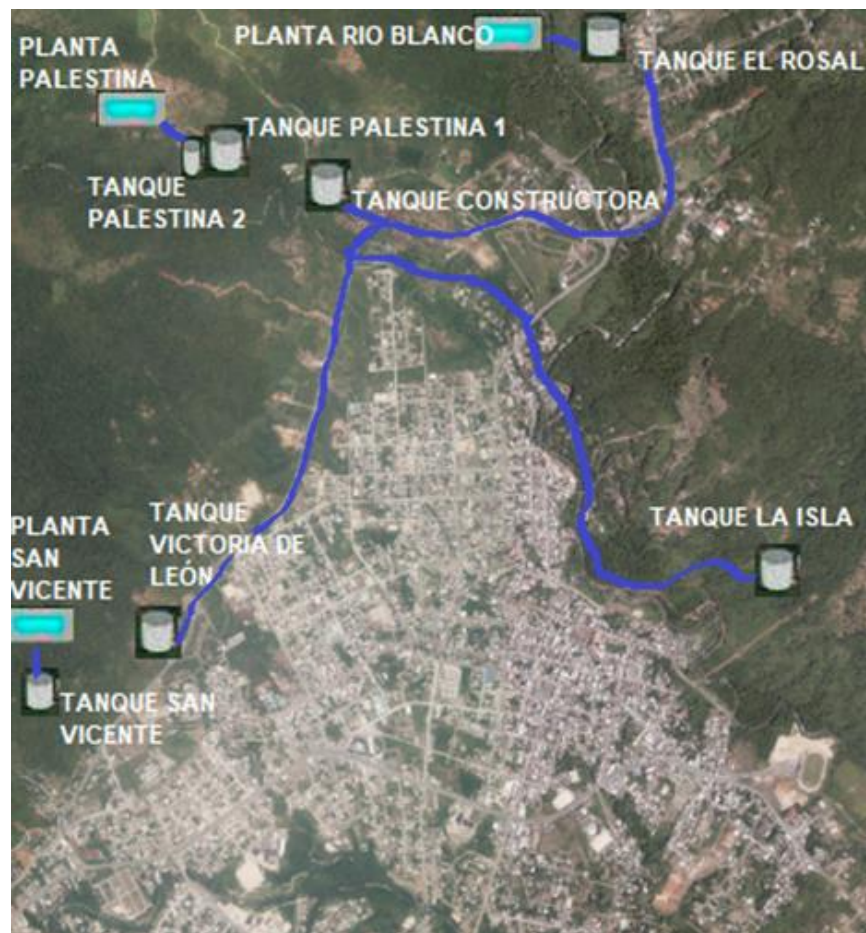


Figura 10. Tanques de almacenamiento del Puyo

En la Tabla 6 se tiene los datos de volumen de almacenamiento y nivel de operación de los tanques de almacenamiento del sistema de distribución de agua potable del Puyo.

Tabla 6.
Tanques de almacenamiento del Puyo

Tanques de Almacenamiento	Volumen de Almacenamiento (m³)	Nivel mínimo de Operación (msnm)	Nivel máximo de Operación (msnm)
El Rosal	1000	1024,00	1028,69
Palestina 1	1000	996,00	1000,15
Palestina 2	300	996,00	1000,15
La Constructora	1000	976,92	980,92
La Isla	1000	966,00	970,18
Victoria de León	1000	967,47	971,47
San Vicente	1500	1026,00	1030,00

Las conducciones desde los tanques de almacenamiento a la red de distribución, van desde el tanque la constructora con una tubería de 400 mm y llega a la zona norte, de los tanques la palestina va una doble tubería de 200 mm que llega directamente al centro de la ciudad y del tanque Victoria de León sale una tubería de 315 mm (ver *Figura 11*).

Con respecto a los tanques La Isla como San Vicente no se tiene información de las conducciones ya que estos tanques llegan a los subsistemas de distribución 2 y 3, los cuales no están dentro del área de influencia del proyecto.

En la *Figura 11* se puede observar también el resto de tuberías que conforman la red de distribución del Subsistema de distribución 1, las cuales tienen los siguientes diámetros: 50, 63, 90, 110 y 160mm.

La red de distribución del Puyo ha ido creciendo tan desordenadamente que hoy en día se tiene que por una calle pasan de dos hasta tres tuberías, esto se puede atribuir a que en el afán del

Municipio de abastecer de agua potable a sus habitantes, por lo que han ido colocando tuberías adicionales en la red.

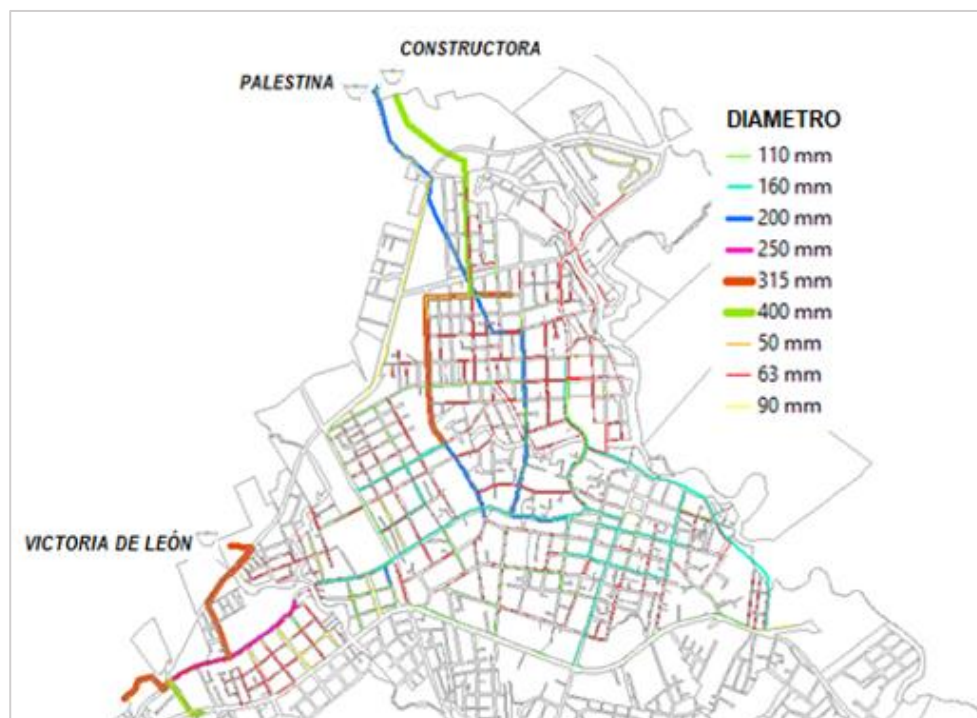


Figura 11. Red de distribución del SSD1

2.8. Problemas identificados en el sistema de distribución existente

Entre los problemas que se han podido identificar en el sistema de distribución de agua potable existente del Puyo están los siguientes:

- Los sistemas no disponen de reservorios de agua cruda que permitan almacenar agua para disponer de un volumen de reserva para superar las emergencias, de manera que, cuando ocurren estos eventos las captaciones dejan de suministrar agua a las plantas o las plantas reciben agua de una calidad no recomendada por la normatividad ecuatoriana.

- La red general de distribución de la ciudad tampoco dispone de una sectorización apropiada y mantiene una red única de tuberías que son alimentadas por las tres plantas, con un caudal que supera en mucho lo que técnicamente indican las Normas Ecuatorianas respecto a dotación para las ciudades principales.
- Las pérdidas de agua no contabilizada afectan económicamente el desempeño empresarial de EMAPAST situación que la institución está procurando resolver con un trabajo técnico y administrativo lo más eficiente posible.
- Daños o roturas en las tuberías de traslado y distribución de agua potable a los domicilios, producen racionamientos en el Puyo lo que ocasiona molestias debido al déficit del fluido en los hogares, además de las molestias que producen los trabajos en las calles por las reparaciones.

2.9. Encuesta socioeconómica

Se optó por hacer una encuesta a la población de la zona de estudio, para tener conocimiento de lo que los habitantes piensan del servicio del sistema de agua potable de la ciudad del Puyo.

En la Figura 12 se indica el sector seleccionado para realizar las encuestas, dicho sector se escogió por ser una de las zonas con una alta densidad poblacional, aparte de que allí se encuentra gran parte de los comercios de la ciudad, como entidades importantes como el, GAD Municipal. Entre los parámetros que se va considerar en la encuesta esta la localización, satisfacción del servicio y satisfacción con la cantidad agua. El modelo de la encuesta realizada se encuentra en el Anexo 3.

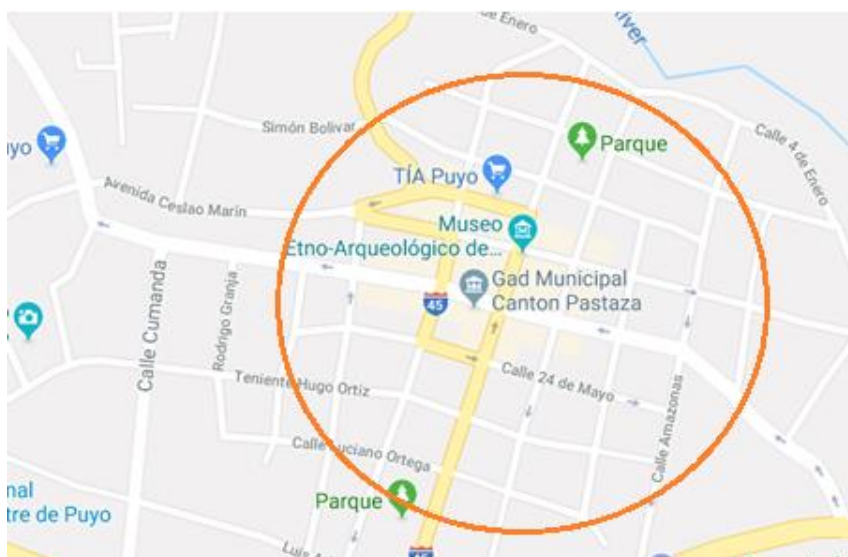


Figura 12. Zona en que se realizó las encuestas

2.9.1. Tamaño de la muestra

Tomando como referente la cantidad de habitantes que actualmente hay en el subsistema de distribución 1 de la ciudad del Puyo para poder determinar el tamaño de la muestra se hizo uso de herramientas estadísticas descriptivas.

Considerando que el universo a estudiar está determinado por el número de pobladores del casco urbano del municipio, es decir que se conoce el tamaño de la población se hará uso de la siguiente formula:

$$n = \frac{N Z^2 p q}{e^2(N - 1) + Z^2 p q}$$

Donde:

N: Población = 26.674 hab.

Z: Nivel de confianza (95%) =1,96

p: Probabilidad de éxito =0,50

q: Probabilidad de fracaso =0,50

e: Error de estimación (0.01 a 0.10) =0,10

n: tamaño de la muestra.

$$n = \frac{27.326 * 1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,10^2(27.326 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5}$$

$$n= 96$$

Con el resultado anterior se tiene una muestra de 96 personas a las que hay que encuestar dentro del subsistema de distribución 1 del Puyo.

2.9.2. Análisis e interpretación de resultados

Las encuestas se realizaron el centro de la ciudad como ya se mencionó anteriormente, zona donde se encuentran gran parte de los comercios de la ciudad además de organismos importantes.

En las siguientes tablas y figuras se presenta los resultados obtenido de la encuesta realizada.

Tabla 7.
Fuente de abastecimiento de agua

Fuente de abastecimiento de agua		
Red municipal de agua	86	90%
Camión cisterna	2	2%
Pozo	0	0%
Otro	8	8%
Total	96	100%

Fuente de abastecimiento de agua

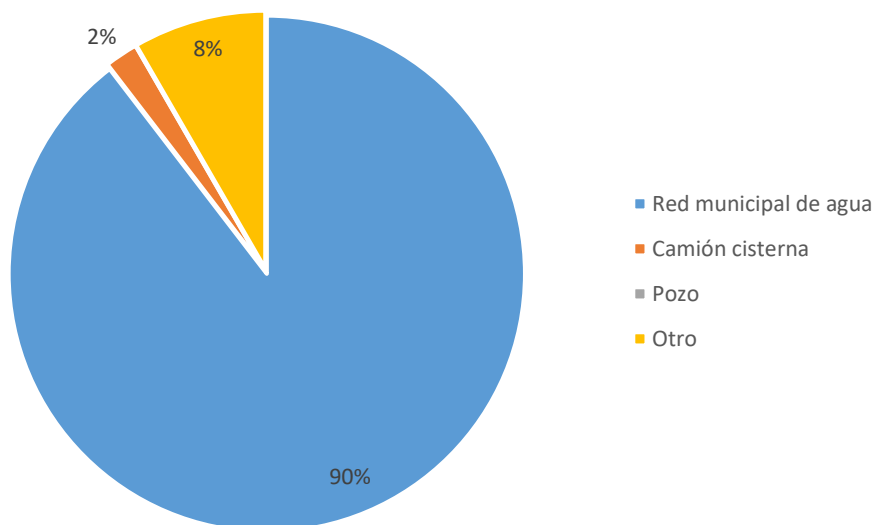


Figura 13. Fuente de abastecimiento de agua

Del total de las encuestas realizadas de una muestra de 96 personas, se pudo conocer que el 90% obtienen el agua de la red de distribución de agua potable, que el 2% la obtiene de camiones cisterna y el 8% obtiene agua de otras fuentes como es el agua lluvia.

Tabla 8.
Paga por el servicio de agua

Paga por el servicio de agua		
Si	92	96%
No	4	4%
Total	96	100%

Paga por el servicio de agua

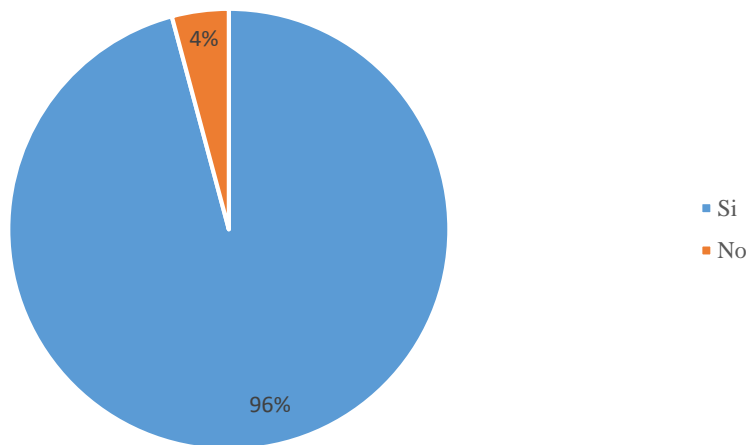


Figura 14. Paga por el servicio de agua

Según la tabla 8, el 96% de los encuestados pagan por el servicio de agua potable que reciben, pero el 4% restante menciona que no pagan por el agua que consumen.

Tabla 9.

Pago mensual de planilla de agua potable

Pago mensual de planilla de agua potable		
1\$-3\$	26	28%
4\$-6\$	41	45%
7\$-9\$	15	16%
11\$-13\$	10	11%
Total	92	100%

Pago mensual de planilla de agua potable

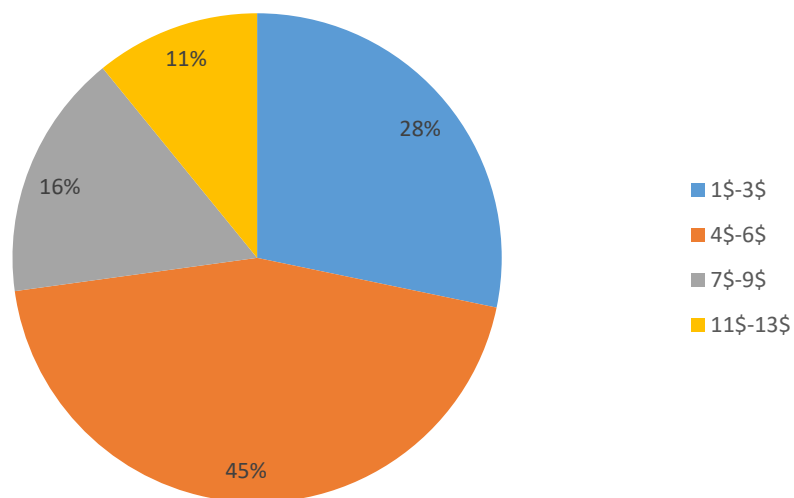


Figura 15. Pago mensual por el servicio de agua

De las 92 personas encuestadas que pagan mensualmente por el servicio de agua según la planilla que reciben, el 28% paga de uno a tres dólares por el agua que consumen, el 45% paga entre cuatro y seis dólares, el 16% entre siete a nueve dólares y 11% restante paga entre once a trece dólares.

Tabla 10.
Tiene problemas con el servicio de agua

Tiene problemas con el servicio de agua		
Si	51	53%
No	45	47%
Total	96	100%

Tiene problemas con el servicio de agua

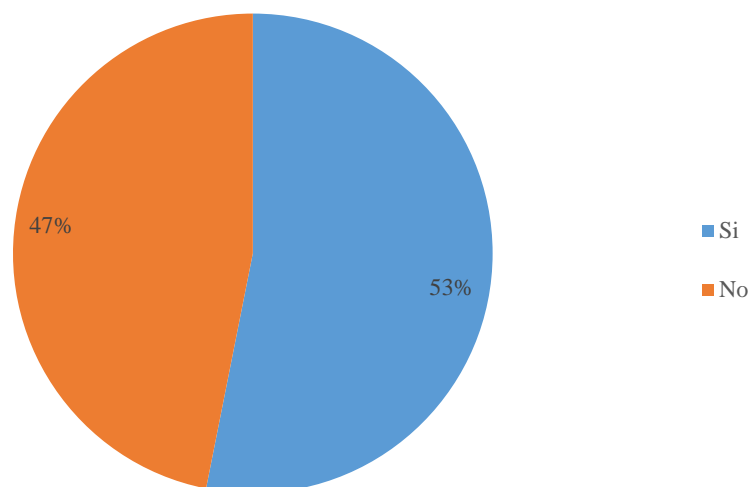


Figura 16. Problemas con el servicio de agua

Según a la tabla 10, el 53% de los encuestados sienten el problema en el servicio de agua potable, debido a cortes por fugas en las tuberías de las redes de agua potable o problemas en las instalaciones internas de agua de las viviendas debido a las presiones altas en horarios de bajos consumos y el 47% restante mencionan que no sienten ningún problema en el servicio de agua potable.

Tabla 11.
Problemas con el servicio de agua

Problemas con el servicio de agua		
Cortes por lluvia	24	47%
Cortes nocturnos	9	18%
Intermitente	18	35%
Total	51	100%

Problemas con el servicio de agua

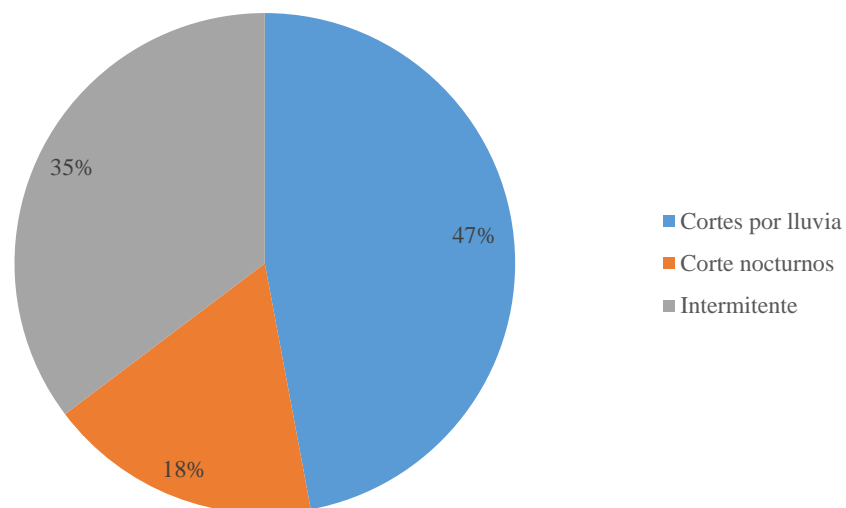


Figura 17. Problemas con el servicio de agua

En cuanto a lo que se refiere a los problemas que se presentan en el servicio de distribución de agua potable, el 47% de los encuestados mencionan que tienen problemas de cortes de agua después de que se presenten fuertes lluvias en la ciudad, el 18% señalan que tienen problemas de interrupción del servicio de agua potable por las noches y el 35% restante dice que el agua que reciben es en muchas ocasiones intermitente.

Tabla 12.

El agua que recibe es suficiente o insuficiente

El agua que recibe es suficiente o insuficiente		
Suficiente	55	57%
Insuficiente	41	43%
Total	96	100%

El agua que recibe es suficiente o insuficiente

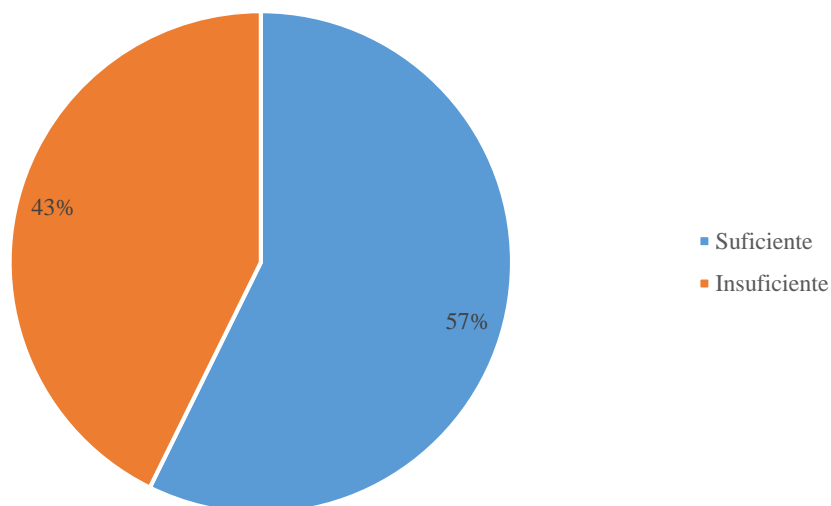


Figura 18. El agua que recibe es suficiente o insuficiente

En la Tabla 12 se puede observar el 57% de los encuestados opina que es suficiente la cantidad de agua potable que reciben, al contrario del otro 43% que dice no ser suficiente la cantidad de agua potable que reciben.

Tabla 13.

Días a la semana que se dispone del servicio de agua potable

Días a la semana que se dispone del servicio de agua potable		
5 a 6 días	55	57%
7 días	41	43%
Total	96	100%

Días a la semana que se dispone del servicio de agua potable

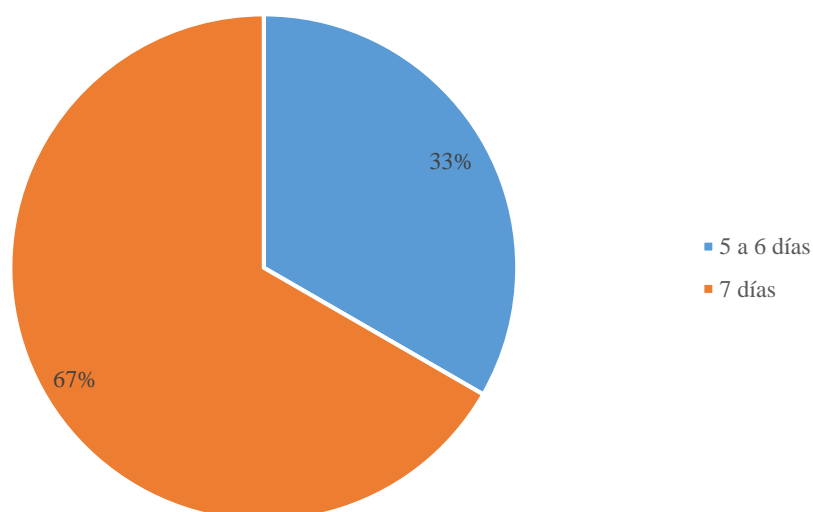


Figura 19. Días a la semana que se dispone del servicio de agua potable

De la última pregunta de las encuestas, se puede observar en la Tabla 13 que el 43% de los encuestados dispones de los siete días de la semana el servicio de agua potable, al contrario del 57% que dice que hay ocasiones en los que solo cuentan con cinco o seis días a la semana con el servicio.

Como análisis general de la encuesta que se realizar a los habitantes, se puede decir que es evidente que existen problemas con el sistema de distribución de agua potable actual de la ciudad.

De los encuetados la mayor parte de ellos cuenta con el servicio de agua potable y se supo que el costo mensual por el servicio no es muy alto comparado con otras ciudades del país, y a pesar de ellos muchas de las personas opinaron que el costo era caro sobre todo por la calidad del servicio.

También se puede rescatar entre las opiniones que muchos no tienen problemas con la disponibilidad del servicio, otros debido a que disponen de cisternas en sus hogares tampoco tienen problemas pero saben que algunos de sus vecinos sí los tienen, y el resto de los encuestados, que en la mayoría fueron personas que habitan en zonas altas, opina que sí tiene problemas ya que muchas veces no es suficiente la cantidad de agua que llega a sus casas o que en ocasiones hay interrupciones con el servicio que puede durar de uno a dos días.

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Parámetros de diseño

3.1.1. Periodo de diseño

Es el tiempo en el cual se estima que una obra o estructura va a funcionar adecuadamente. En el caso de los sistemas de abastecimiento de agua potable, durante el periodo escogido se debe garantizar el desempeño de todas las obras del sistema.

En ningún caso se debe proyectar el diseño de obras para periodos menores a 15 años, y se considera que para obras de fácil ampliación los periodos de diseño serán cortos, a diferencia de aquellas obras cuyas ampliaciones sean complicadas y deberán tener periodos de diseño más largos (SENAGUA, 1992)

El criterio a considerarse para el período de los diferentes elementos que constituyen un sistema de agua potable se pueden observar en la Tabla 14.

Tabla 14.
Vida útil sugerida para los elementos de un sistema de agua potable.

Componente	Vida útil (años)
Diques grandes y túneles	50 a 100
Obras de captación	25 a 50
Pozos	10 a 25
Conducciones de hierro dúctil	40 a 50
Conducciones de asbesto cemento o PVC	20 a 30
Planta de tratamiento	30 a 40
Tanques de almacenamiento	30 a 40
Tuberías principales y secundarias de la red	
De hierro dúctil	40 a 50
De asbesto cemento	20 a 25
De PVC	20 a 25

Fuente: (SENAGUA, 1992)

Considerando que el objeto de este trabajo de titulación se centrara en las líneas de conducción, transmisión y distribución, para el mejoramiento del sistema de distribución 1 del Puyo, se ha adoptado un período de diseño de 25 años para todo el sistema, tiempo en el cual se estima que el sistema funcionará adecuadamente, lo que representaría un horizonte de diseño hasta el año 2043.

3.1.2. Proyección poblacional

La determinación de la población futura es muy impórtate, ya que nos permitirá conocer el caudal requerido para satisfacer de agua potable a la población hasta el año de diseño del proyecto. Para su cálculo existen varios métodos entre los que están el método aritmético, geométrico, exponencial y de saturación.

Para este proyecto se ha y utilizado el método de saturación ya que la zona de análisis actualmente ya tiene una alta densidad poblacional lo que nos indica que este sector no va a crecer al mismo ritmo que las áreas menos pobladas según el último censo.

Para la proyección se ha tomado como base las ordenanzas del municipio de Pastaza donde se indica que el lote mínimo debe tener un área de 250 m², para viviendas de hasta dos pisos de altura.

Población de saturación

Para determinar la población de saturación del SSD 1 del Puyo se estima 3,68 habitantes por vivienda, datos obtenido de último censo del INEC de la ciudad y para una mayor seguridad se lo va a aproximar a 4 habitantes por cada lote.

En la Tabla 15 se indica el número de viviendas actual y el número de lotas vacíos en cada zona censal del área de interés, obtenido de la información del plano de catastro actual de la ciudad. Teniendo el número de viviendas proyectadas para el año de diseño se ha encontrado la población futura para cada zona como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 15.
Población de saturación del SSD 1 del Puyo

Zonas Censales	Viviendas 2018	Lotes vacíos	Total viviendas futuras	Población futura
Zona 1	953	111	1064	4256
Zona 2	898	57	955	3820
Zona 3	998	66	1064	4256
Zona 4	992	48	1040	4160
Zona 5	1302	65	1367	5468
Zona 6	1655	66	1721	6884
Zona 9	451	42	493	1972
	7.249	455	7.704	30.816

Población Total:

Pt= 7.704 lotes*4 ocupantes

Pt = 30.816 habitantes

Como se mencionó se va utilizar la población de saturación como dato de diseño hasta el final del período de diseño, pero es de nuestro interés conocer la forma en que crecerá la zona en análisis hasta alcanzar el nivel de saturación ya antes mencionado. Para ello se va utilizar los otros métodos de proyección de la población y se tomó un ritmo de crecimiento constante del 1%, obtenido de los datos de la población actual y de la población futura de saturación.

- ***Método aritmético o lineal***

En este método se prevé un crecimiento lineal o constante el cual se balancea por la mortalidad y la emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$Pf = P_{uc} * [1 + r * (T_f - T_{uc})]$$

Donde:

P_f : Población (hab) correspondiente al año para el que quiere proyectar.

P_{uc} : Población (hab) correspondiente al último año censado con información.

T_{uc} : Año correspondiente al último año censado con información

T_f : Año al cual se quiere proyectar la información.

r : Tasa de crecimiento anual

- **Método geométrico**

Para este método se estima una tasa de crecimiento constante, y se cree que es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica. La ecuación que se emplea es:

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

Donde:

P_{uc} : Población (hab) correspondiente al último año censado con información.

T_{uc} : Año correspondiente al último año censado con información

T_f : Año al cual se quiere proyectar la información.

r : Tasa de crecimiento anual

- **Método exponencial**

La ecuación empleada por este método es la siguiente:

$$P_f = P_{ci} e^{r * (T_f - T_{ci})}$$

Donde:

P_f : Población (hab) correspondiente al año para el que quiere proyectar.

P_{ci} : Población (hab) correspondiente al último año censado con información.

T_{ci} : Año correspondiente al último año censado con información

T_f : Año al cual se quiere proyectar la información.

r : Tasa de crecimiento anual

En la Tabla 16 se puede observar el comportamiento del crecimiento de la población del subsistema de distribución 1 esperado, donde se puede ver que el método exponencial es el de mayor número de habitantes.

Tabla 16.
Comportamiento poblacional esperado del SSD1

Año	Método Aritmético	Método Geométrico	Método Exponencial
2018	26674	26674	26674
2019	26828	26828	26828
2020	26982	26983	26984
2021	27136	27139	27140
2022	27290	27295	27297
2023	27444	27453	27455
2024	27598	27612	27614
2025	27752	27771	27774
2026	27906	27931	27935
2027	28060	28093	28097
2028	28214	28255	28259
2029	28368	28418	28423
2030	28522	28582	28588
2031	28676	28747	28753
2032	28830	28913	28920
2033	28984	29080	29087
2034	29138	29248	29256
2035	29292	29417	29425
2036	29446	29587	29595
2037	29600	29757	29767

CONTINUA →

2038	29754	29929	29939
2039	29908	30102	30112
2040	30062	30276	30287
2041	30216	30451	30462
2042	30370	30626	30639
2043	30524	30803	30816

3.1.3. Dotación

La dotación corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer diariamente en promedio las necesidades básicas de un habitante.

Estas dotaciones van acuerdo a la normativa de cada país, para tener una comparación a continuación se presenta las dotaciones utilizadas por Ecuador, Colombia y México, según la normativa de cada uno de estos países.

En la siguiente tabla (Tabla 17), se encuentra las dotaciones recomendadas en Ecuador, según la secretaria del agua.

Tabla 17.
Dotaciones recomendadas

Población (habitantes)	Clima	Dotación media futura (L/hab/día)
Hasta 5000	Frio	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frio	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frio	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

Fuente: (SENAGUA, 1992)

En la Tabla 18 y Tabla 19, se puede observar la dotación que utilizan en Colombia según el Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (PAS-2000) y en México según la CONAGUA, en estas normas la una toma las dotaciones según el nivel de complejidad del sistema y la otra según el clima.

Tabla 18.
Dotación neta mínima y máxima según normativa colombiana

Nivel de complejidad del sistema	Dotación neta mínima (L/hab.-día)	Dotación neta máxima (L/hab.-día)
Bajo	100	150
Medio	120	175
Medio Alto	130	-
Alto	150	-

Fuente: Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (PAS-2000)

Tabla 19.
Dotaciones recomendadas según normativa mexicana

Clima	Consumo (l/hab/día)			Subtotal por clima
	Bajo	Media	Alto	
Cálido húmedo	198	204	243	201
Cálido subhúmedo	175	203	217	191
Seco o muy seco	184	191	202	190
Templado o frío	140	142	145	142

Fuente: CONAGUA: Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.

De las tres normas mencionadas la normativa colombiana es la más conservadora con la asignación de dotaciones de agua, ya que no superan los 150 l/hab/día, a diferencia de la normativa ecuatoriana que tiene dotaciones de hasta 230 l/hab/día. Estos valores reflejan la tendencia que actualmente se está teniendo, en que las ciudades están bajando la dotación de agua que entregan a sus habitantes, por lo que no se puede descartar que en futuros años el Ecuador cambie sus normas y ajuste la dotación a la de los países vecinos.

Habiendo analizado las condiciones climáticas de la ciudad del Puyo, y como ya se mencionó anteriormente que esta tiene una temperatura media anual de 21,1°C y de acuerdo a las dotaciones recomendadas en la Tabla 17 de la norma CO-10.7.601 de la SENAGUA, las dotaciones recomendadas para este caso van de 190-220 l/hab/día.

Para el presente trabajo de titulación se ha utilizado una dotación de 220 l/hab/día, debido a que las tuberías tienen varios años de antigüedad y son propensas a tener pérdidas físicas tales como fugas o conexiones clandestinas, lo que incide desfavorablemente en torno al índice de agua no contabilizada.

Se recalca que inicialmente se va a utilizar la dotación calculada en el capítulo 2, obtenida por medio de las planillas de consumo y se prevé que mediante campañas de concientización el municipio logre llegar hasta el año de diseño a una dotación de 220 l/hab/día.

3.1.4. Proyección de demandas de agua

A continuación se presenta el cálculo de las proyecciones de la demanda de agua para el subsistema de distribución 1 al año 2018, según las variaciones de consumo que están especificadas en la secretaria del agua.

- Caudal medio diario (Q_{md})

Corresponde a los consumos promedios diarios consumidos por una población, en el rango de un año. Es decir:

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

$$Qmd = \frac{26.674 * 242.53}{86400}$$

$$Qmd = 74,88 \text{ l/s}$$

- **Caudal máximo diario (QMD)**

Consumo máximo registrado en 24 horas durante el rango de un año. El *QMD* se lo obtiene multiplicando el caudal medio, *Qmd*, por un coeficiente de mayoración *k. max. dia*.

Por lo que, el QMD será:

$$QMD = Qmd * k_{max.día}$$

Donde:

QMD: Caudal máximo diario

k. max. dia: Coeficiente de variación del consumo máximo diario, la SENAGUA recomienda utilizar los siguientes valores:

$$k. max. dia: 1 - 1.5$$

Como coeficiente de variación de consumo máximo diario ($k_{max.día}$), se ha tomado el valor de 1,30, debido a que la zona en análisis es residencial y comercial de media y alta densidad.

$$QMD = 74,87 * 1,3$$

$$QMD = 97,34 \text{ l/s}$$

- **Caudal máximo horario (*QMH*)**

Consumo máximo registrado durante una hora en el rango de un año, sin considerar el caudal de incendio. Se lo calcula de la siguiente ecuación:

$$QMH = Qmd * k_{max.hor}$$

Donde:

QMH: Caudal máximo diario (l/s)

k.max.hor: Coeficiente de variación del consumo máximo horario, la SENAGUA recomienda utilizar los siguientes valores:

$$k.max.hor: 2 - 2.3$$

Para este estudio se ha tomado 2,20 como coeficiente de consumo máximo horario (*k_{max.hor}*), valor que se encuentra dentro del rango indicado por la SENAGUA.

$$QMH = 74,87 * 2,2$$

$$QMH = 164,73 \text{ l/s}$$

En la siguiente tabla (Tabla 20), se ha proyectado las variaciones de consumo hasta el periodo de análisis (año 2043), correspondientes al sistema de distribución 1 de la ciudad del Puyo.

Tabla 20.***Proyección de demandas de agua para el SSDI***

Año	Población	Dot. Neta [l/hab/día]	Qmd [l/s]	QMD [l/s]	QMH [l/s]
2018	26674	242,53	74,88	1,30	97,34
2019	26828	242	75,14	1,30	97,69
2020	26984	242	75,58	1,30	98,25
2021	27140	240	75,39	1,30	98,01
2022	27297	240	75,83	1,30	98,57
2023	27455	240	76,26	1,30	99,14
2024	27614	240	76,71	1,30	99,72
2025	27774	240	77,15	1,30	100,30
2026	27935	235	75,98	1,30	98,77
2027	28097	235	76,42	1,30	99,35
2028	28259	235	76,86	1,30	99,92
2029	28423	235	77,31	1,30	100,50
2030	28588	235	77,76	1,30	101,08
2031	28753	230	76,54	1,30	99,50
2032	28920	230	76,99	1,30	100,08
2033	29087	230	77,43	1,30	100,66
2034	29256	230	77,88	1,30	101,24
2035	29425	230	78,33	1,30	101,83
2036	29595	225	77,07	1,30	100,19
2037	29767	225	77,52	1,30	100,77
2038	29939	225	77,97	1,30	101,36
2039	30112	225	78,42	1,30	101,94
2040	30287	225	78,87	1,30	102,53
2041	30462	220	77,57	1,30	100,84
2042	30639	220	78,01	1,30	101,42
2043	30816	220	78,47	1,30	102,01

3.1.5. Dotación de agua contra incendio

Las dotaciones para incendio que se deben considerar para el diseño de sistemas de distribución según la secretaria del agua del Ecuador, son los valores que se presentan a continuación en la Tabla 21.

Tabla 21.
Dotación de agua contra incendio

Número de habitantes (en miles)	Número de incendios simultáneos	Dotación por incendio (l/s)
5	1	10
10	1	10
25	2	10
50	2	20
100	2	25
200	3	25
500	3	25
1000	3	25
2000	3	25

Fuente: (SENAGUA, 1992)

El caudal de incendio se lo analizará en cada zona sectorizada con la que se vaya a trabajar, tomando en consideración la población que correspondan a cada una de estas.

3.1.6. Caudales de diseño

Con el fin de modelar todas las estructuras del sistema es inexcusable calcular el caudal apropiado, el cual debe ajustarse las necesidades de la población de diseño y los costos de la construcción.

Se debe tomar en cuenta los caudales de la siguiente tabla:

Tabla 22.
Caudales de diseño para los elementos de un sistema de agua potable

Elemento	Caudal
Captación con agua superficiales	Máximo diario + 20%
Captación con aguas subterráneas	Máximo diario + 5%
Conducción de aguas superficiales	Máximo diario + 10%
Conducción de aguas subterráneas	Máximo diario + 5%
Red de distribución	Máximo diario + incendio
Planta de tratamiento	Máximo diario + 10%

Fuente: (SENAGUA, 1992)

3.1.7. Volúmenes de almacenamiento

Según la secretaria del agua los volúmenes a considerar en un tanque de almacenamiento son:

- ***Volumen de regulación***

Es el volumen que diariamente provee de agua al sistema para el consumo de la población. Se lo puede definir como el 25% del volumen consumido en un día para poblaciones mayores a 5000 habitante.

- ***Volumen contra incendios***

Se tomara los siguientes valore para poblaciones de:

- Hasta 5000 habitantes no se considera almacenamiento para incendio.
- Hasta 20.000 habitantes se usa la fórmula $V_i = 50\sqrt{P}$, donde P es el número de habitantes en miles.
- Más de 20.000 habitantes e usa la fórmula $V_i = 100\sqrt{P}$,

- ***Volumen de emergencia***

Para cubrir situaciones de emergencia se tomara el 25% del volumen de regulación para poblaciones mayores a 5 000 habitantes futuros.

Estos volúmenes se los calculara posteriormente para cada uno de los tanques del sistema que estén dentro del área de interés de este proyecto, ya que como se mencionó anteriormente, el sistema actual cuenta con cinco tanques de almacenamiento.

3.2. Sectorización hidráulica

En una red de agua potable sencilla, donde se tiene que la población es abastecida por un solo tanque y el agua es conducida por una tubería matriz que va directamente desde el tanque de almacenamiento hasta la red de distribución como se observar en la **Figura 20**, es muy fácil establecer la presión en los nodos, como también la presión estática.

Pero a pesar de ser una red sencilla se puede tener muchas variaciones en las presiones debido a que los hábitos de los pobladores nunca son los mismos o van cambiando con el tiempo, pero en este tipo de redes en mucho más fácil poder controlar la red mediante aparatos que hagan que la red funcione adecuadamente.

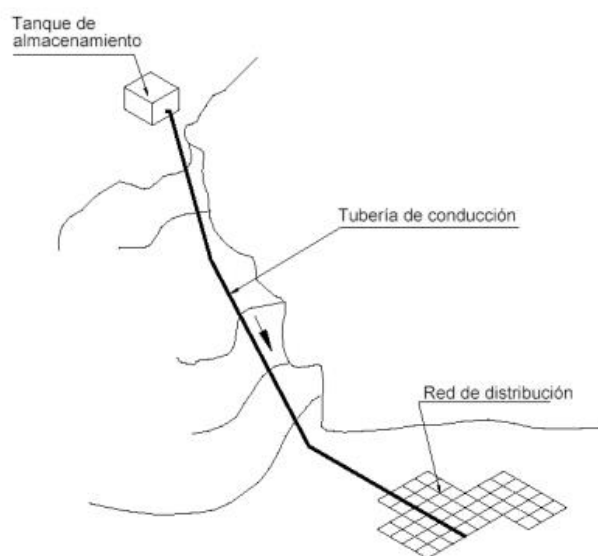


Figura 20. Componentes de una red de agua potable

Fuente: (Cruz, 2012)

En el caso del puyo no se tiene un solo tanque, se tiene varios tanques que se encuentran a diferentes elevaciones y alimentan a la red por diferentes zonas, además de que la red del subsistema 1 tiene salidas a los sectores 2 y 3.

Si con un solo tanque se tienen varias incertidumbres, con otros tanques se tiene una gama de presiones que a la final no sirven de mucho para poder controlar que la red funcione eficientemente, además que en redes tan extensas como es el caso del Puyo, se presentan una cantidad considerable de fugas.

Una forma adecuada para mejorar la eficiencia de la red, de la ciudad del Puyo y suministrar el agua potable a sus habitantes con la cantidad, presión y constancia adecuada, es sectorizar la red (objeto del presente trabajo) que consiste en la división de la misma en muchas pequeñas redes, con el fin de facilitar su operación, además que permiten tener un mejor control de los consumos, fugas y presiones.

3.3. Criterios para la sectorización

Los criterios a seguir para la sectorización de una red de distribución de agua potable, y así optimizar su funcionamiento, son los siguientes:

- La sectorización no debe afectar a las presiones, al contrario debe minimizar las variaciones y tener cierta uniformidad teniendo valores de entre 15 a 50 m.c.a tanto en estado dinámico como estático.
- Dividir en sectores a la red no debe provocar que la calidad del agua disminuya, por lo que se debe evitar la formación de ramales muertos de tubería, ya que esto provoca que aumente

el tiempo de permanencia del agua en la red lo que favorece a la pérdida del agente desinfectante, por lo que se debe procurar que el agua circule libremente sin restricciones.

- La longitud de los sectores debe favorecer a la localización rápida de fugas de agua en la red, tras haber sido detectadas.
- La sectorización debe promover un mejor control de lo que sucede dentro de cada uno de los sectores divididos, por lo que es indispensable la monitorización mediante equipos de control.
- Al dividir los sectores se debe buscar que estos tengan características similares en lo referente a consumos y también en la topografía del terreno.
- Verificar que las velocidades del agua que transcurren por cada una de las tuberías, estén dentro del rango de 0,3 a 3 m/s.

Para la sectorización de la red del subsistema 1 del Puyo se busca crear zonas que tengan cotas semejante y que sean alimentadas por un solo tanque, para que cuando se simplifique el problema hidráulico, se pueda controlar el agua apropiadamente.

En la **Figura 21** se puede observar las diferentes elevaciones del subsistema 1 del Puyo y partiendo de esta información se pretende confinar zonas de presión que estén entre 10 a 15 metros de diferencia, y de esta manera fragmentar la red de distribución de agua en sectores bajos y altos, de modo que cada uno funcione y pueda ser controlado de forma independiente.



Figura 21. Mapa de elevaciones del Subsistema 1 del Puyo

Desde el punto de vista teórico la mejor solución es tomar una calle como división de los sectores, y colocar una doble tubería a cada lado con el fin de tener ramales cerrados que permitan la circulación constante del agua, esta medida es muy costosa por lo que en la práctica lo que se acostumbra hacer es dividir los sectores por medio de manzanas o calles, fragmentando las tuberías y dejando ramales abiertos.

3.4. Definición de sectores y puntos de alimentación

Aplicando los criterios antes mencionados, se plantea dividir al subsistema de distribución 1 en tres sectores dos sectores altos que serán la Zona Alta Central y Zona Alta Lateral, y el tercero un sector bajo que será la Zona Baja. La parte sur del SSD 1 se debe sectorizar conjuntamente con los sistemas de distribución 2 y 3, dando como resultado tres sectores más que serán la zona San Vicente, Sur y La Isla. En la *Figura 22* se puede ver la sectorización propuesta de la red de distribución del Puyo.

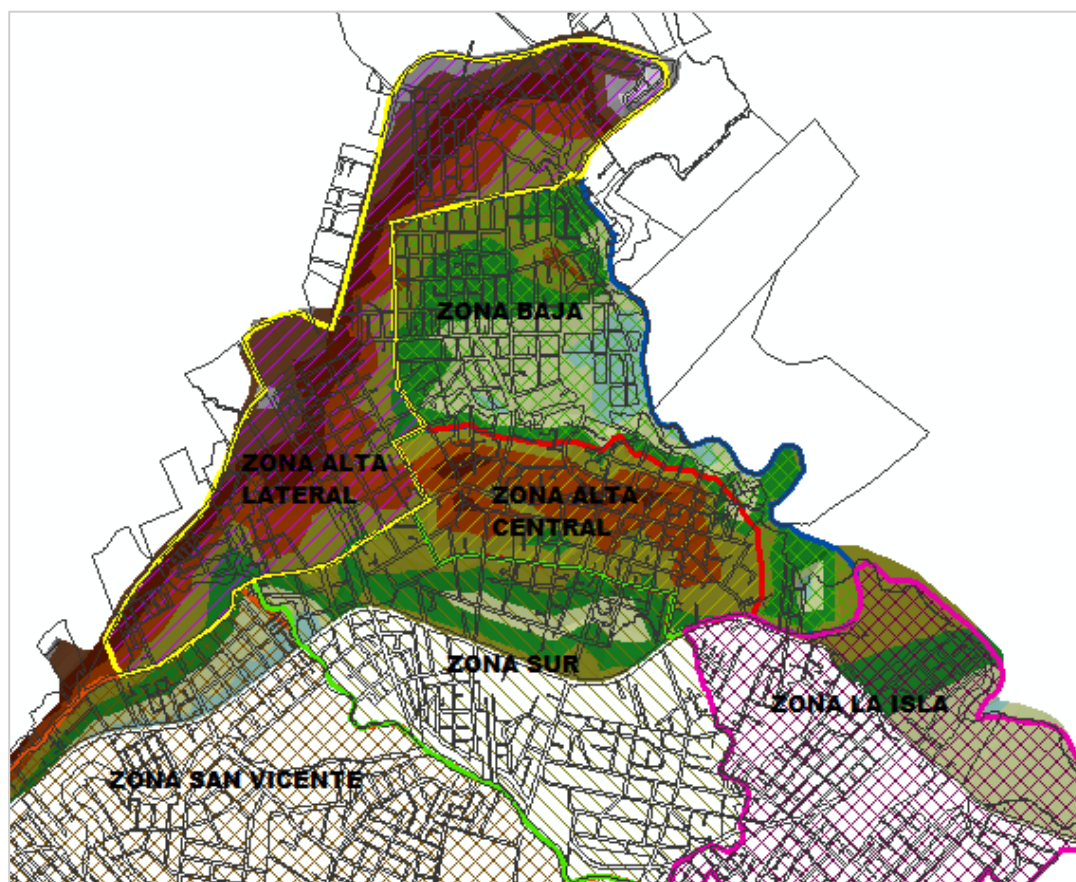


Figura 22. Sectorización de la ciudad del Puyo

A pesar que los sistemas de distribución 2 y 3, no formaban parte del análisis de este proyecto, se ha visto la necesidad de tomarlos en cuenta para la sectorización, ya que posteriormente se necesitara los datos de consumo de estos sectores para el análisis de los tanques de almacenamiento como de las conducciones matrices. Tomando en cuenta que al no tener datos de elevación, ni del catastro de tuberías en estos tramos se ha tomado como limites las quebradas existentes en dichas zonas.

Cada una de las zonas se alimentara de un tanque de almacenamiento específico a través de una conducción matriz que ira directamente desde el tanque a cada sector, esta conducción facilitara

el monitoreo de cada red mediante dispositivos de control, como lo son las válvulas reguladoras de presión o caudal y macro medidores para el registro de consumos.

Las zonas altas se abastecerán de los tanques Palestina, que se encuentran en una elevación de 1000,15 msnm, donde la Zona Alta Central será alimentada por una doble tubería de 200 mm y Zona Alta Lateral por una tubería de 90 mm.

La Zona Baja se alimentara por el tanque Constructora que está a 980,92 msnm., directamente por una tubería de 400 mm.

Se plantea además que la zona de la isla y la zona sur sean abastecidas por los tanques La Isla y Victoria de León respectivamente. La zona San Vicente lógicamente será alimentada por el tanque San Vicente, este sector no forma parte del análisis de este proyecto, ya que es completamente independiente.

De estos sectores se elige al sector de la Zona Alta Central y a la Zona Baja como sectores piloto para el análisis correspondiente de presiones (*ver Figura 23*). La definición de población y demandas del resto de zonas que forman parte del análisis para las conducciones matrices se encuentra en el Anexo 4.

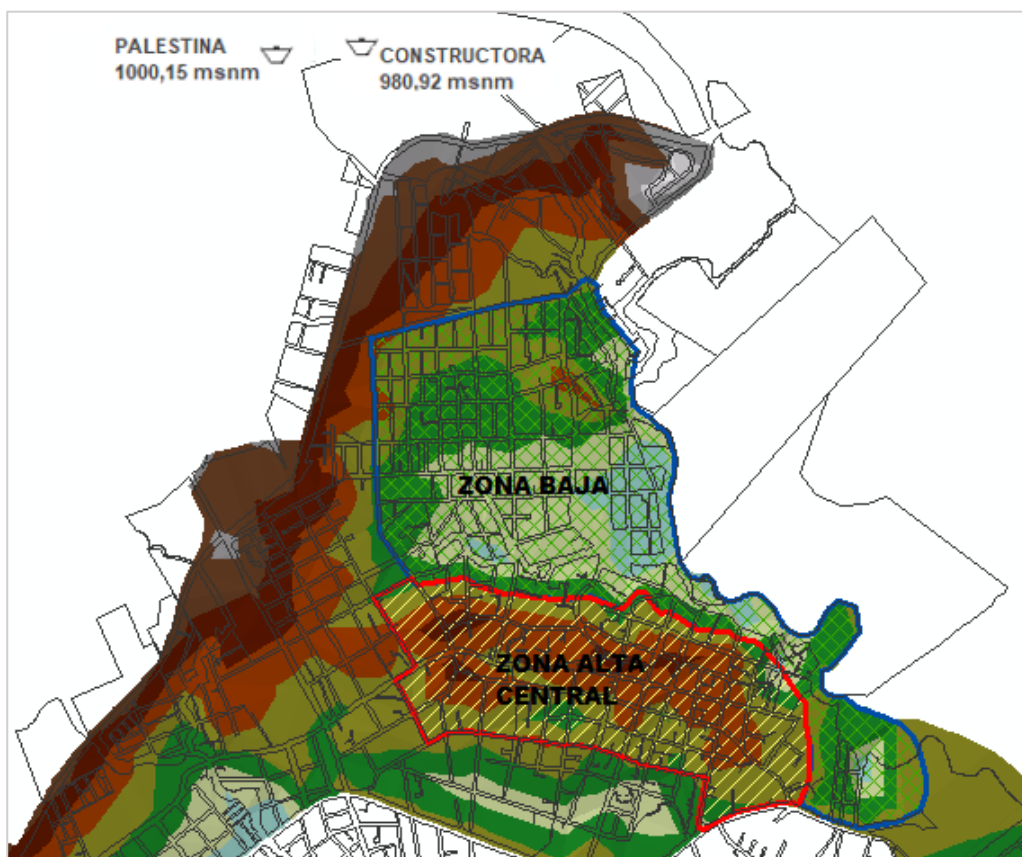


Figura 23. Sectores piloto

A continuación se define cada uno de estos dos sectores identificando sus características principales.

3.4.1. Zona alta central

La zona alta central tiene una extensión de 73,10 ha. Y se ubica en la parte central de la ciudad del Puyo y se caracteriza por tener elevaciones desde 922 a 943,53 msnm. Al tener elevaciones altas este sector se alimenta de los tanques la Palestina que tienen una elevación de 1000,15 msnm.

En este sector de la ciudad se encuentran gran parte de los comercios además de muchos organismos importantes como el GAD Municipal de Pastaza.

En la **Figura 24** se puede observar la delimitación de la zona, teniendo al sur la calle Teniente Hugo Ortiz y al norte se limita en la cota 929 msnm. Se recalca que no es necesario delimitar la zona por calles, como en este el caso que se dividió al sector tomando en cuenta las elevaciones, buscando así una mejor eficiencia hidráulica.

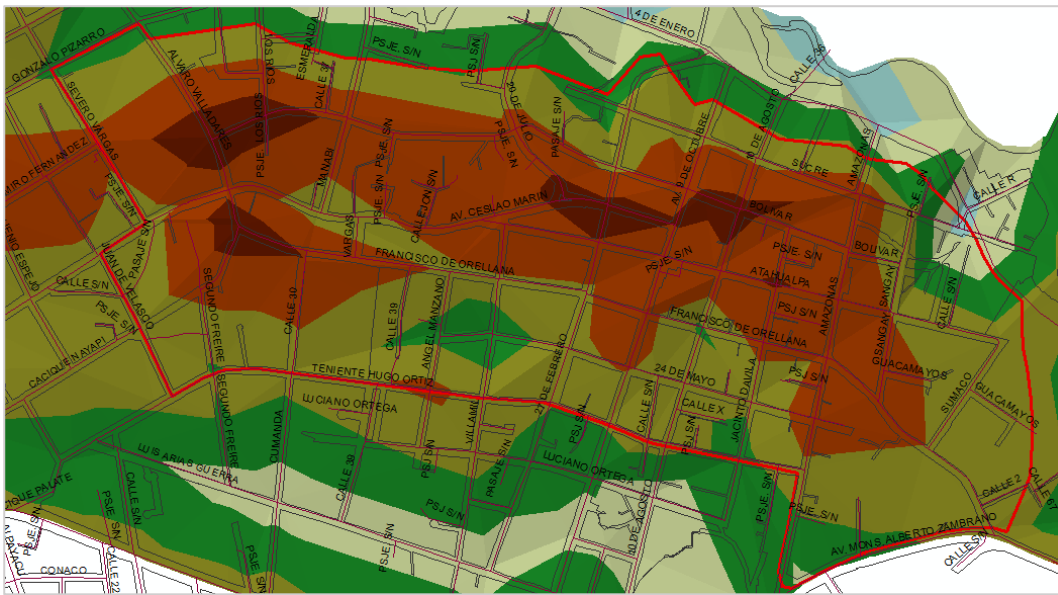


Figura 24. Delimitación zona alta central

Para determina la población correspondiente a la zona alta central, se ha utilizado la información del catastro actual de la ciudad, tomando el dato del número de viviendas actuales que se encuentran dentro del límite de la zona en estudio (ver **Figura 25**), además se ha considerado 3,68 habitantes por cada vivienda como ya se menciona anteriormente.

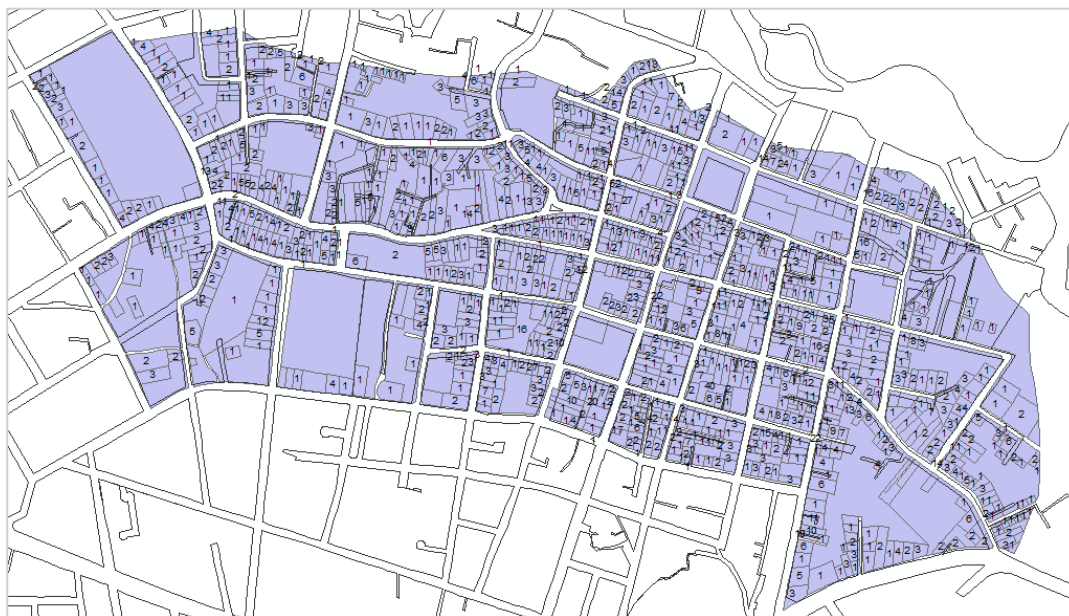


Figura 25. Viviendas actuales dentro de la zona alta central

En la Tabla 23 se puede observar los datos de área, población y densidad poblacional de cada uno de los sectores censales. Lo que se hizo para obtener la población que se encuentra dentro de la zona alta central, fue determinar el área de estos sectores dentro de sus límites y multiplicarlo por la densidad poblacional del sector obteniendo así el número de habitantes de la zona alta central al año 2018.

Tabla 23.

Pobalción zona alta central año 2018

Sector	Número de viviendas dentro del limite	Número de habitantes por vivienda	Población del sector año 2018 [hab]
Zona Alta Central	2411	3,68	8873

De la misma manera se calcula el número de habitantes para el año de diseño (ver Tabla 24), mediante el dato de lotes vacíos que se encuentran dentro de área de la zona y como ya se mencionó

anteriormente para este caso se ha tomado 4 habitantes por vivienda, lo que da como resultado que para el año 2043 la zona alta central tendrá una población de 10.032 habitantes.

Tabla 24.

Pobalción zona alta central año 2043

Sector	Número de viviendas dentro del limite	Lotes vacíos	Total de viviendas	Número de habitantes por vivienda	Población del sector año 2043 [hab]
Zona Alta Central	2411	97	2508	4	10.032

La longitud de tuberías de la red en este sector es de 19,30 km, con diámetros entre 63, 90, 110 y 160 mm como se indica en la **Figura 26**.

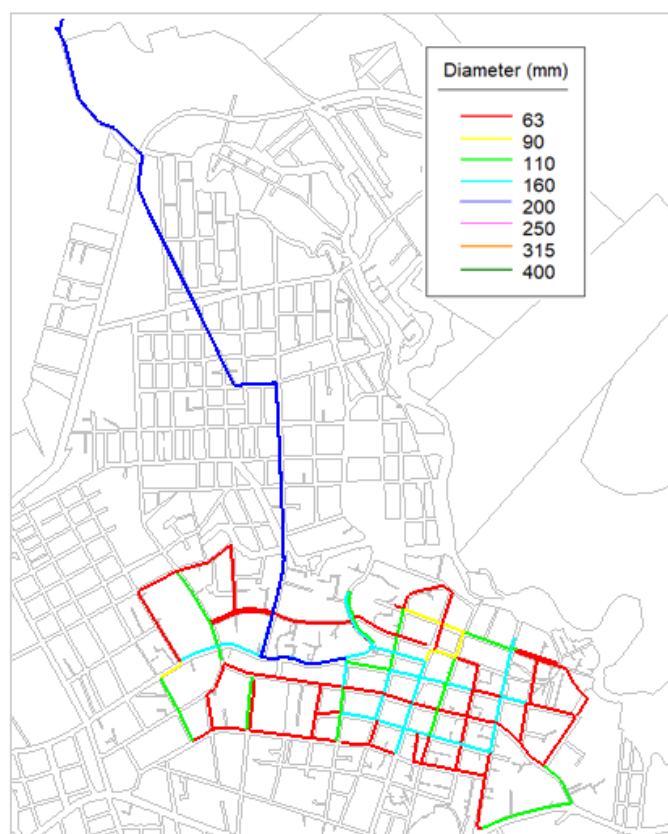


Figura 26. Diametro tuberías zona alta central

A continuación en la Tabla 25 se presenta la proyección de población, dotación y demandas de la zona alta central hasta el año diseño

Tabla 25.
Zona alta central proyección al año 2043

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE ZONA ALTA CENTRAL								
POBLACIÓN - DOTACIÓN - DEMANDA								
Año	Población [hab.]	Dotación [l/hab/dia]	Demanda		Demanda		Demanda	Demanda
			media diaria [l/s]	k.max.dia	maxima diaria [l/s]	k.max.hor	maxima horaria [l/s]	minima [l/s]
2018	8873	242,5	24,91	1,30	32,38	2,20	54,80	6,23
2019	8917	242	24,97	1,30	32,47	2,20	54,94	6,24
2020	8961	242	25,10	1,30	32,63	2,20	55,22	6,27
2021	9005	240	25,01	1,30	32,52	2,20	55,03	6,25
2022	9049	240	25,14	1,30	32,68	2,20	55,30	6,28
2023	9094	240	25,26	1,30	32,84	2,20	55,57	6,31
2024	9138	240	25,38	1,30	33,00	2,20	55,85	6,35
2025	9183	240	25,51	1,30	33,16	2,20	56,12	6,38
2026	9229	235	25,10	1,30	32,63	2,20	55,22	6,28
2027	9274	235	25,22	1,30	32,79	2,20	55,49	6,31
2028	9320	235	25,35	1,30	32,95	2,20	55,77	6,34
2029	9365	235	25,47	1,30	33,12	2,20	56,04	6,37
2030	9412	235	25,60	1,30	33,28	2,20	56,32	6,40
2031	9458	230	25,18	1,30	32,73	2,20	55,39	6,29
2032	9504	230	25,30	1,30	32,89	2,20	55,66	6,33
2033	9551	230	25,43	1,30	33,05	2,20	55,94	6,36
2034	9598	230	25,55	1,30	33,22	2,20	56,21	6,39
2035	9646	230	25,68	1,30	33,38	2,20	56,49	6,42
2036	9693	225	25,24	1,30	32,81	2,20	55,53	6,31
2037	9741	225	25,37	1,30	32,98	2,20	55,81	6,34
2038	9789	225	25,49	1,30	33,14	2,30	58,63	6,37
2039	9837	225	25,62	1,30	33,30	2,20	56,36	6,40
2040	9885	225	25,74	1,30	33,47	2,20	56,63	6,44
2041	9934	220	25,29	1,30	32,88	2,20	55,65	6,32
2042	9983	220	25,42	1,30	33,05	2,20	55,92	6,35
2043	10032	220	25,54	1,30	33,21	2,20	56,20	6,39

3.4.2. Zona baja

La zona baja tiene una extensión aproximada de 125,387 ha, este sector está ubicado en la parte norte de la ciudad del Puyo.

En la *Figura 27* se puede observar que esta zona se encuentra delimitado al norte por la calle Las Naves, la calle Álvaro Valladares al oeste y al sur se limita con la zona alta central. Este sector se define por tener elevaciones que van desde 920 a 934 msnm. Esta zona se va alimentar directamente del tanque la Constructora en cual tiene una elevación de 980, 92 msnm.

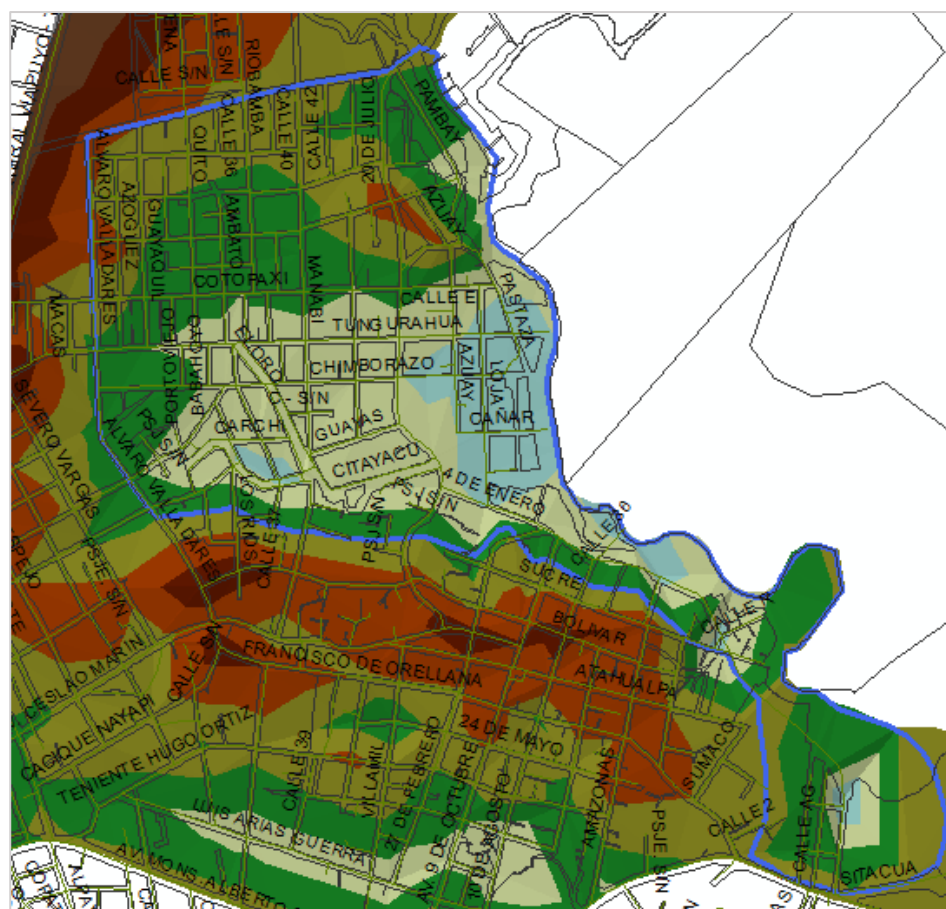


Figura 27. Delimitación zona baja

Para determinar la población, se parte de la información de número de viviendas actuales que están dentro del límite de la zona baja (ver Figura 28), igualmente como en la zona anterior, se ha utilizado 3,68 habitantes por cada vivienda para el presente, datos que se pueden observar en la Tabla 26.

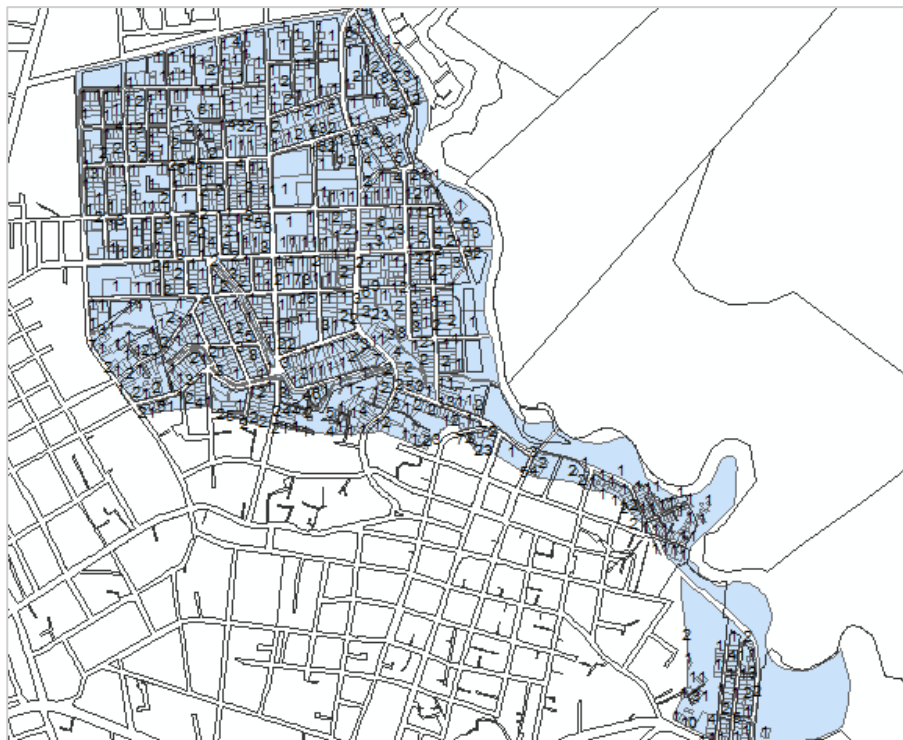


Figura 28. Viviendas dentro de la zona baja

Tabla 26.
Pobalción zona baja año 2018

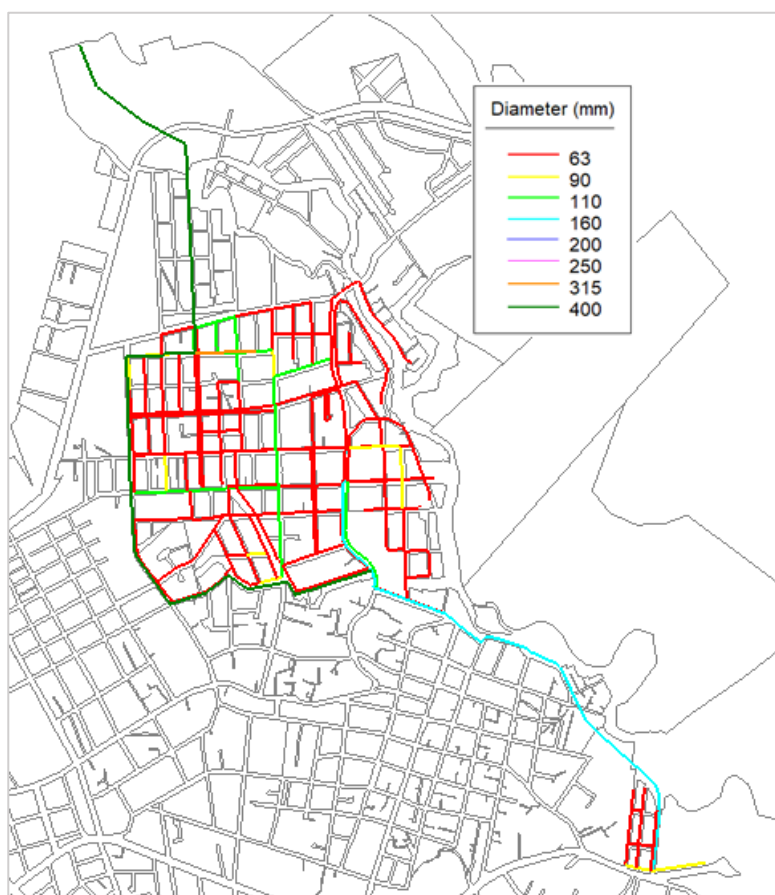
Sector	Número de viviendas dentro del limite	Número de habitantes por vivienda	Población del sector año 2018 [hab]
Zona Alta Central	2382	3,68	8766

De la misma manera que en la zona anterior se calcula el número de habitantes para el año de diseño (ver Tabla 27), mediante el dato de lotes vacíos que se encuentran dentro de área de la zona, tomado 4 habitantes por vivienda, lo que da como resultado que para el año 2043 la zona baja tendrá una población de 10.032 habitantes.

Tabla 27.**Pobalción zona baja año 2043**

Sector	Número de viviendas dentro del limite	Lotes vacíos	Total de viviendas	Número de habitantes por vivienda	Población del sector año 2043 [hab]
Zona Alta Central	2382	184	2566	4	10.264

La longitud de tuberías en este sector es de 26,36 km, con diámetros entre 63, 90, 110 y 160mm, y como se puede observar en la **Figura 29** la cantidad de tuberías con diámetro de 63 mm es bastante apreciable.

**Figura 29.** Diametro tuberias zona baja

A continuación en la Tabla 28 se presenta la proyección de población, dotación y demandas de la zona alta central hasta el año diseño.

Tabla 28.
Sistema zona baja proyección al año 2043

SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE ZONA BAJA								
POBLACIÓN - DOTACIÓN - DEMANDA								
Año	Población [hab.]	Dotación bruta [l/hab/dia]	Demanda media diaria [l/s]	k.max.dia	Demanda maxima diaria [l/s]	k.max.hor	Demanda maxima horaria [l/s]	Demanda minima [l/s]
2018	8766	242,5	24,61	1,30	31,99	2,20	54,13	6,15
2019	8821	242	24,71	1,30	32,12	2,20	54,36	6,18
2020	8877	242	24,86	1,30	32,32	2,20	54,70	6,22
2021	8934	240	24,82	1,30	32,26	2,20	54,59	6,20
2022	8990	240	24,97	1,30	32,46	2,20	54,94	6,24
2023	9047	240	25,13	1,30	32,67	2,20	55,29	6,28
2024	9104	240	25,29	1,30	32,88	2,20	55,64	6,32
2025	9162	240	25,45	1,30	33,08	2,20	55,99	6,36
2026	9220	235	25,08	1,30	32,60	2,20	55,17	6,27
2027	9278	235	25,24	1,30	32,81	2,20	55,52	6,31
2028	9337	235	25,40	1,30	33,01	2,20	55,87	6,35
2029	9396	235	25,56	1,30	33,22	2,20	56,22	6,39
2030	9456	235	25,72	1,30	33,43	2,20	56,58	6,43
2031	9515	230	25,33	1,30	32,93	2,20	55,73	6,33
2032	9576	230	25,49	1,30	33,14	2,20	56,08	6,37
2033	9636	230	25,65	1,30	33,35	2,20	56,43	6,41
2034	9697	230	25,81	1,30	33,56	2,20	56,79	6,45
2035	9759	230	25,98	1,30	33,77	2,20	57,15	6,49
2036	9820	225	25,57	1,30	33,25	2,20	56,26	6,39
2037	9883	225	25,74	1,30	33,46	2,20	56,62	6,43
2038	9945	225	25,90	1,30	33,67	2,20	56,98	6,47
2039	10008	225	26,06	1,30	33,88	2,20	57,34	6,52
2040	10072	225	26,23	1,30	34,10	2,20	57,70	6,56
2041	10135	220	25,81	1,30	33,55	2,20	56,78	6,45
2042	10199	220	25,97	1,30	33,76	2,20	57,14	6,49
2043	10264	220	26,14	1,30	33,98	2,20	57,50	6,53

3.5. Redes matrices de distribución

Es necesario definir la red matriz dentro de todo el sistema de distribución, para comenzar con la presurización de esta. La red matriz debe permitir la alimentación de cada uno de los sectores propuestos de manera independiente, para un mayor control y mejor monitoreo.

En la *Figura 30* se observa que la zona alta central se alimentara de los tanques de “La Palestina” mediante una doble tubería de 200mm de diámetro, y la zona baja ubicada hacia el norte de la ciudad, se abastecerá del tanque “Constructora” con una tubería de 400 mm.

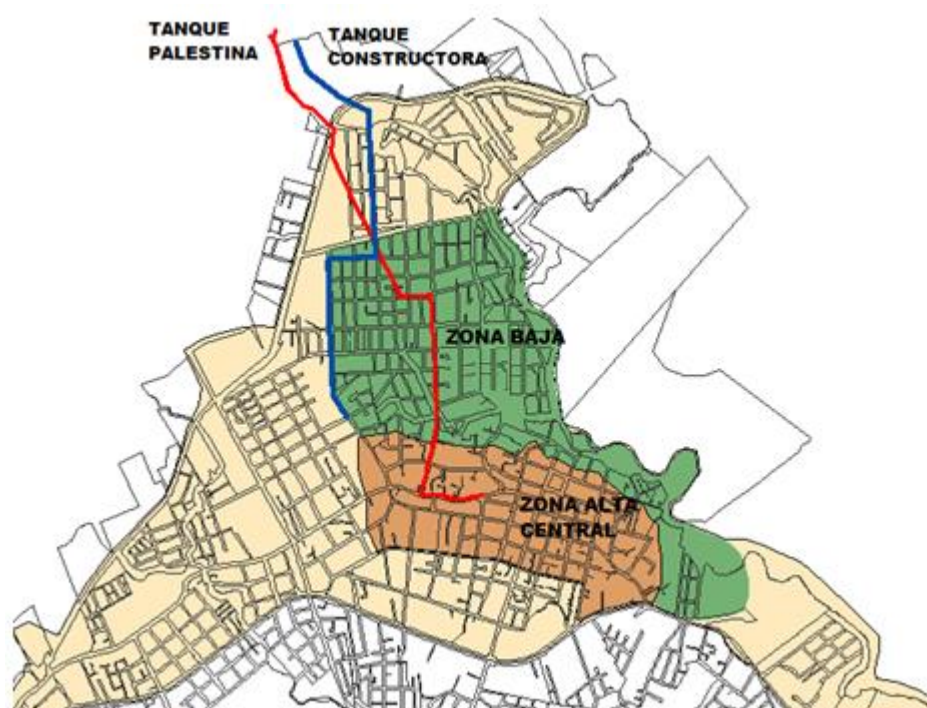


Figura 30. Redes matrices

CAPÍTULO 4

MODELACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Modelación matemática

La modelación fue desarrollada a través del programa WATERCAD Vi8, que es un software comercial que sirve para el análisis, modelación y gestión de sistemas de distribución de agua. Este programa permite la simulación hidráulica de un modelo computacional representado en este caso por elementos tipo; línea (tramos de tubería), punto (nodos de consumo, tanques, reservorios, hidrantes) e híbridos (bombas, válvulas de control, regulación, etc.)

4.1.1. Capacidades hidráulicas

El programa WaterCAD Vi8 tiene en cuenta las siguientes capacidades hidráulicas:

- No existe ningún límite en cuanto al tamaño en que puede modelarse una red.
- Se puede calcular las pérdidas de carga empleando las fórmulas de Hazen Williams, de Darcy Weisbach o de Chezy-Manning.
- Contempla pérdidas menores que pueda haber en codos, accesorios, etc.
- Admite bombas ya sea de velocidad fija o variable.
- Determina el gasto energético y sus costes.
- Permite emplear varios tipos de válvulas, tales como válvulas de corte, de retención, y reguladoras de presión o caudal.
- Admite depósitos que tengan una geometría variable (es decir, cuyo diámetro varíe con el nivel).

- Se puede considerar diferentes tipos de demanda en los nudos, cada uno con su propia curva de modulación en el tiempo.
- Permite modelar tomas de agua cuyo caudal dependa de la presión (ej. rociadores).
- Admite leyes de control simples, basadas en el valor del nivel en los depósitos o en la hora prefijada por un temporizador, y leyes de control más complejas basadas en reglas lógicas

Además según (Sanchez, 2014) el programa tiene las siguientes aplicaciones en el modelamiento de redes:

- Permite encontrar las presiones en los nodos y los caudales reales que circulan por las tuberías, según las condiciones que se dé al programa.
- Ayuda a detectar problemas existentes, mediante el diagnóstico del estado de la red.
- Puede evaluar fugas en la red y también estima la eficiencia hidráulica del sistema.
- Se puede planificar las mejoras a efectuar en la red de una forma efectiva, aprovechando así mejor las inversiones.
- Permite mejorar las condiciones de operación de la red, para garantizar presiones en un rango aceptable, ahorro de energía, etc.
- Determina y controla la calidad del agua que le llega a los abonados tras viajar por la red de distribución.

4.2. Criterios de diseño para el cálculo de redes de distribución

- *Coefficiente de rugosidad para tuberías:*

Según investigaciones la ecuación de Hazen-Williams, puede utilizarse para el diseño de sistemas de tuberías de PVC, pero la fórmula más recomendada es la de Darcy-Weisbach, porque

trata con flujos laminares, turbulentos y de transición en una forma apropiada, en cambio las otras fórmulas como Manning y Hazen-Williams son formulas aproximadas y necesitan determinadas condiciones para poder funcionar por ejemplo para utilizar Hazen-Williams o Manning se necesita que el flujo sea turbulento ya que no sirve para tuberías con flujo laminar ni de transición.

Se ha utilizado la ecuación de Darcy-Weisbach para el cálculo de las pérdidas de carga por fricción, ya que está trabaja con más precisión y más detalle. Por lo que para la modelación de las zonas sectorizadas se ha utilizado con un coeficiente de rugosidad (ϵ) de 0,0015 mm para tuberías de PVC.

- ***Caudales de diseño:***

El análisis del sistema de distribución, por medio de la simulación matemática del comportamiento hidráulico, se toma como caudales de diseño: al caudal máximo horario más la demanda por incendio y el caudal mínimo o caudal nocturno, el cual se lo obtiene tomando el 25% del caudal medio.

- ***Demanda en nodos:***

Para la asignación de caudales en los nodos que conforman la red de distribución de cada sector, se utilizará el método de polígonos de Thiessen generados en el propio WaterCAD, el cual establece el caudal de cada nodo considerando su área de influencia.

- ***Rango de presiones:***

Para el caso de la presión estática esta no debe superar los 60 m.c.a. para evitar rotura en las tuberías, el caso estático es cuando no hay flujo en movimiento a través de la red.

La presión dinámica no debe ser inferior de 15 m.c.a. y esta se da cuando está circulando el caudal máximo horario.

- ***Rango de velocidades:***

Para prevenir el deterioro de las tuberías, las velocidades no deben superar los 3 m/s, y para evitar la sedimentación se recomienda velocidades superiores a 0,3 m/s.

- ***Sectorización:***

Para el abastecimiento de agua potable a la parte central de la ciudad, se ha dividido en un sector alto y otro bajo, con el fin de tener zonas de presión con rangos semejantes y así evitar las presiones excesivamente bajas o altas. Además se ha considerado la incorporación de nuevas tuberías para reforzar las redes ya seccionadas.

- ***Automatización:***

Para el mejoramiento del sistema actual de abastecimiento de la zona central de la ciudad del Puyo, se va a incorporar válvulas que sean independientes, para cada una de las zonas sectorizadas, para tener un control de las presiones y evitar que estas lleguen a rangos altos, todo esto con el fin de optimizar el funcionamiento de las redes y minimizar las perdidas debido a fugas en las tuberías.

4.3. Recopilación y análisis de la información

Dentro del proceso de modelación de redes de abastecimiento, se tiene una fase inicial, en la cual se recopila y analiza la información existente, la cual es necesaria para el posterior montaje de la red.

Entre la información existente que se ha recolectado si tiene:

- Topografía del SSD1 del Puyo, esta información ha sido sumamente importante tanto para la modelación como para la sectorización, ya que el fin era dividir a los sectores elevados de los bajos. La topografía se puede observar en la sección de planos.
- Topología de la red de distribución del SSD1 de la ciudad, con la información de conducciones, tanques, tuberías y nodos. Datos que se presentan en la sección de planos.
- Datos de población y densidad según los últimos censos realizados por el INEC, los cuales se detallan en la sección de planos y anexos. Esta información ha sido la base para el cálculo de las dotaciones.
- Funcionamiento del sistema de abastecimiento actual, mediante encuestas a la población y entrevistas con el personal de EMAPAST-EP.

Habiendo recopilado y analizado esa información, se procede a la modelación inicial de cada uno de los sistemas, con el fin de corregir y ajustar los parámetros que sean necesarios, como puede ser la conexión correcta entre tanques, tuberías, nodos y otros elementos de la red.

Por último se obtiene un modelo de cada zona sectorizada, con el que se podrá trabajar con cualquier estado de carga y realizar la simulación tanto para el estado actual, como futuro. Esto permitirá detectar las deficiencias y problemas en cada una de las redes y con esta información se podrá plantear las mejoras, para así dar soluciones a corto y largo plazo.

Para la elaboración de los modelos de cada una de las zonas sectorizadas, se debe tener en cuenta que se está trabajando sobre una red en servicio, por lo que en muchos de los casos se va a suponer o proyectar parámetros como el consumo, rugosidad, etc.

4.4. Modelación de la zona alta central

Para la simulación de la zona alta central, se tiene que este sector se va abastecer exclusivamente de los tanques Palestina, que tienen la elevación necesaria para cumplir con las presiones impuestas en los criterios de diseño. La conducción desde los tanques será por medio de dos tuberías de PVC a presión de 200 mm de diámetro y la red secundaria de la zona comprende de tuberías de PVC a presión con diámetros entre 50 mm a 160 mm.

Los resultados de caudal, presión, velocidad entre otros, de la modelación de la zona alta, se encuentran detallados en el Anexo 5.

Para analizar el comportamiento hidráulico de la zona alta central por medio de la simulación matemática se ha utilizado los siguientes datos:

Tabla 29.
Resumen de datos y parámetros de diseño zona alta central

Área [ha]	73,10
Longitud tuberías red de distribución [km]	19,30
Nivel máximo de operación tanque Palestina [msnm]	1000,15
Nivel mínimo de operación tanque Palestina [msnm]	996,00
Población año 2018 [hab]	8.873
Población año 2043 [hab]	10.032
Caudales de diseño año 2018	
QMH – Caudal máximo horario [l/s]	54,80
Qmin – caudal mínimo [l/s]	6,23
Caudales de diseño año 2043	
QMH – Caudal máximo horario [l/s]	56,20
Qmin – caudal mínimo [l/s]	6,39

4.4.1. Resultados de presiones zona alta central (Año 2018)

El análisis de las presiones en este sistema se tomó tanto para el caudal máximo horario más demanda de incendio, como también para el caudal mínimo.

En la **Figura 31** se presenta la gama de presiones del sistema en estado dinámico obtenido por el caudal máximo horario para el año 2018. En la mayor parte del sector se observan presiones que están alrededor de los 50 m.c.a. un rango aceptable pero se observa que hay algunos nodos con presiones se sobrepasan los 60 m.c.a.

- Presión máxima: 63,74 m.c.a.
- Presión mínima: 47,05 m.c.a

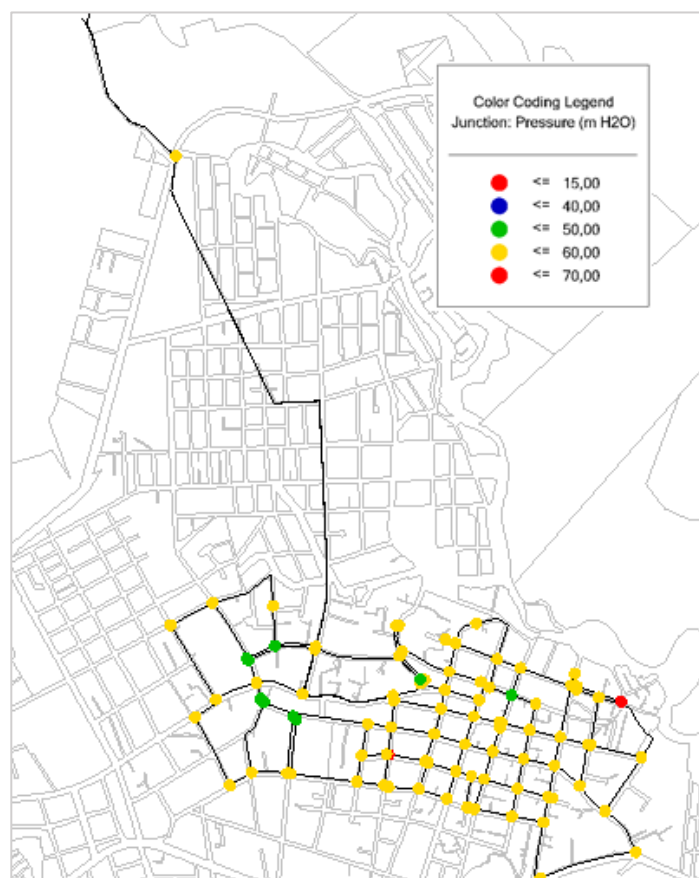


Figura 31. Presiones en estado dinámico zona alta año 2018

Igualmente se hizo la corrida teniendo el caso en que se presente un incendio, como se vio anteriormente según la norma ecuatoriana de la construcción para el número de habitantes que tiene este sector se necesita un caudal de incendio de 10 l/s.

Se optó por colocar dos hidrantes, uno que abarque la parte Este de la zona alta y otro la parte Oeste. Uno se colocó en la Av. Ceslao Marin por fácil acceso y está conectado a una tubería de 200 mm de diámetro, el segundo está en la calle 10 de Agosto conectado a una tubería de 160 mm de diámetro. Se procuró que los hidrantes estén conectados a tuberías de diámetros altos para su buen funcionamiento.

En el caso de un incendio es importante verificar que la presión de que se suministra a los hidrantes sea mayor a los 10 m.c.a., en la **Figura 32** se puede observar que el rango de presiones esta entre los 50 m.c.a. Comparado con la corrida anterior se ve que las presiones bajaron un poco teniendo una presión mínima de 44,04 m.c.a. y una máxima de 60,12 m.c.a. Por lo tanto se comprueba que las presiones suministradas a los hidrantes están sobre el rango mínimo.

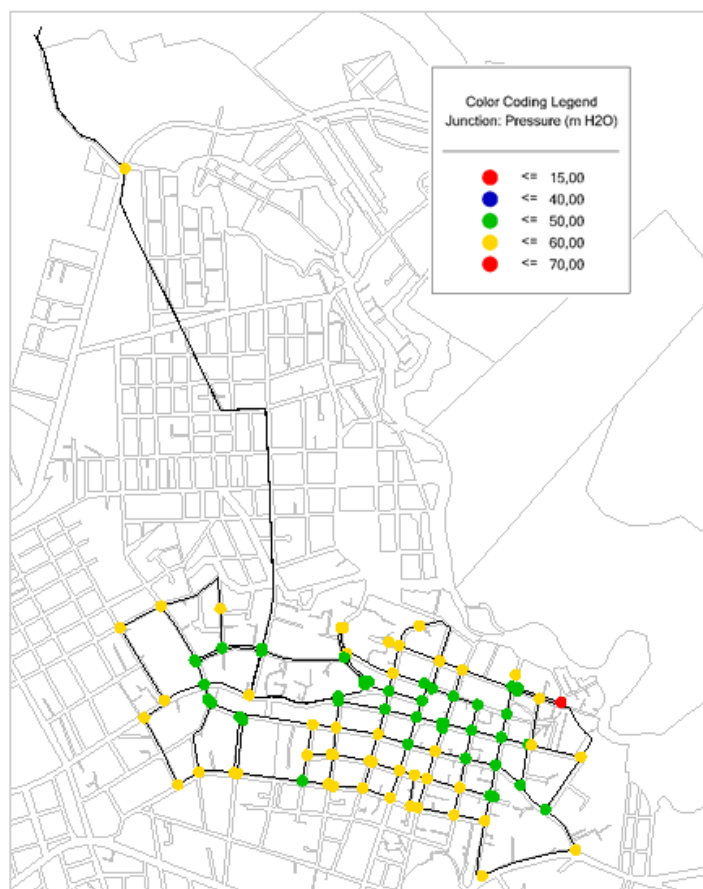


Figura 32. Presiones en estado dinámico + incendio zona alta año 2018

En la siguiente Tabla 30 se indican las presiones resultantes de la corrida en caso de incendio, en los nodos donde se encuentran los hidrantes.

Tabla 30.
Presiones en hidrantes año 2018

	Nodo	Presión [m H2O]
Hidrante 1	N - 4	49,17
Hidrante 2	N - 94	47,73

Para la corrida del sistema en estado estático, se tomó el caudal mínimo el cual representa al caudal que circula por las noches en la red. En la **Figura 33** se puede ver que las presiones en este caso sobrepasan el rango mínimo establecido, ya que todas sobrepasan los 60 m.c.a. y hay nudos

de la red que presentan presiones mayores a los 70 m.c.a., estas presiones no son aceptables ya que al ser muy altas pueden provocar rupturas en las tuberías. La presión máxima que se obtuvo en este caso fue 77,78 m.c.a.

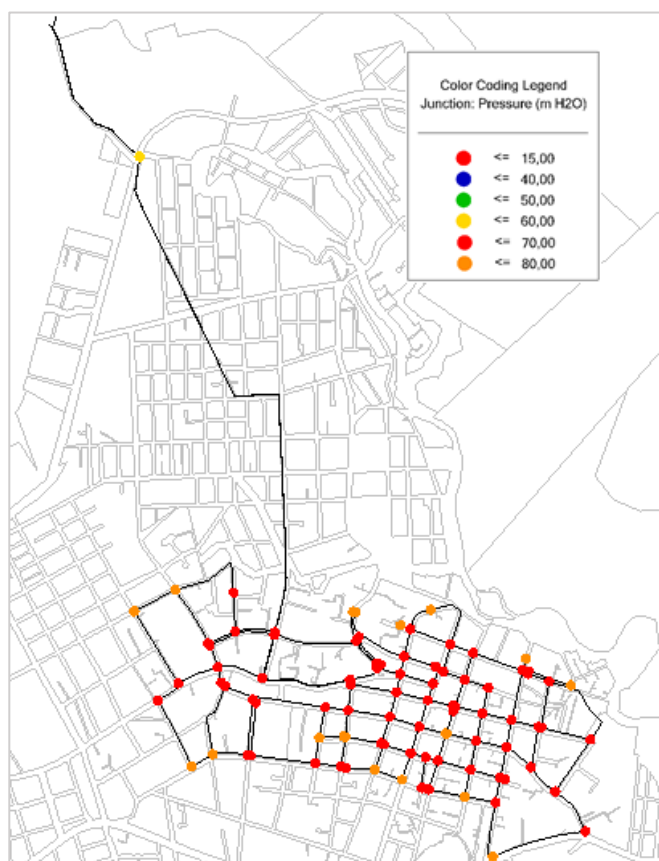


Figura 33. Presiones en estado estático zona alta año 2018

4.4.2. Resultado de presiones zona alta central (Año 2043)

Igualmente como se ha realizado el análisis de las presiones para el año actual, ahora se procede a analizar el sistema para el año del periodo de diseño del proyecto que es el año 2043.

Los resultados obtenidos en la red para el estado dinámico, para el cual se tomó el caudal máximo horario del sector del año 2043, da como resultado presiones que están en el rango mínimo

de 46,55 m.c.a. y máximo de 63,27 m.c.a (ver **Figura 34**). Es necesario tener precaución con estas presiones, ya que algunas están en el rango de los 60 m.c.a. y esto puede ser peligroso para las tuberías, ya que podrían causar fugas en ellas.

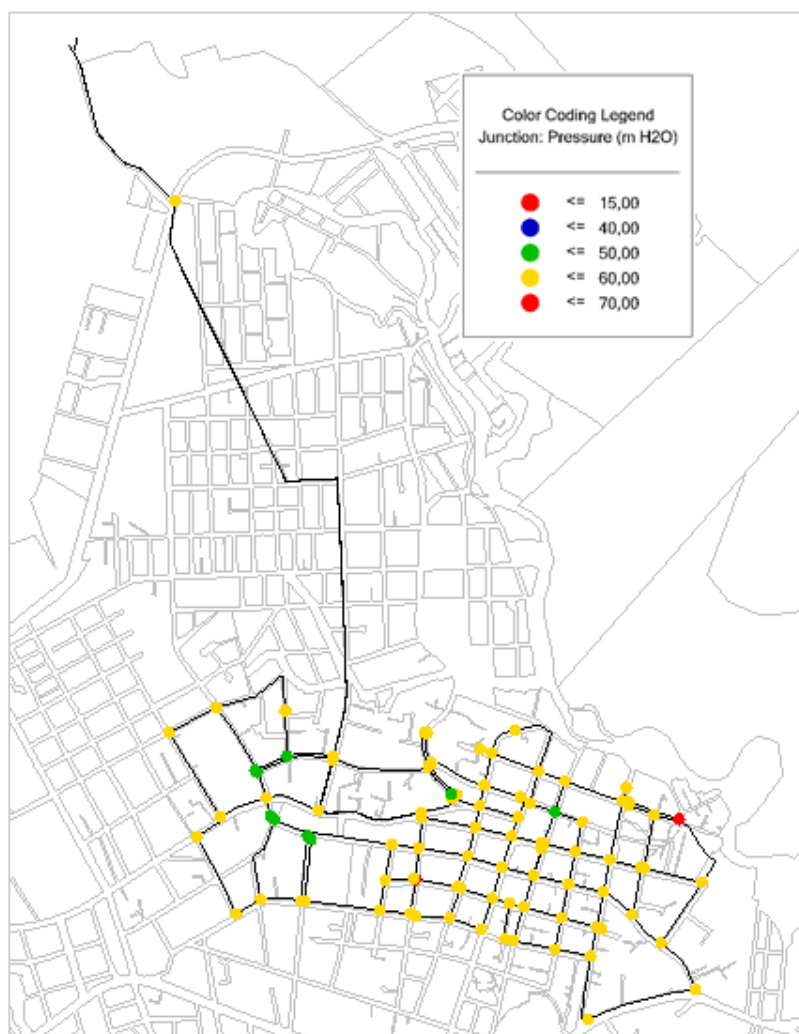


Figura 34. Presiones en estado dinámico zona alta año 2043

En el caso que se produzca un incendio la modelación da como resultado que la red presenta presiones desde 43,42 m.c.a hasta 59,42 m.c.a. como se puede observar en la **Figura 35**, y presenta una media de 49,77m.c.a., por lo que se comprueba que la presión en lo hidrantes están sobre el rango mínimo de presión.

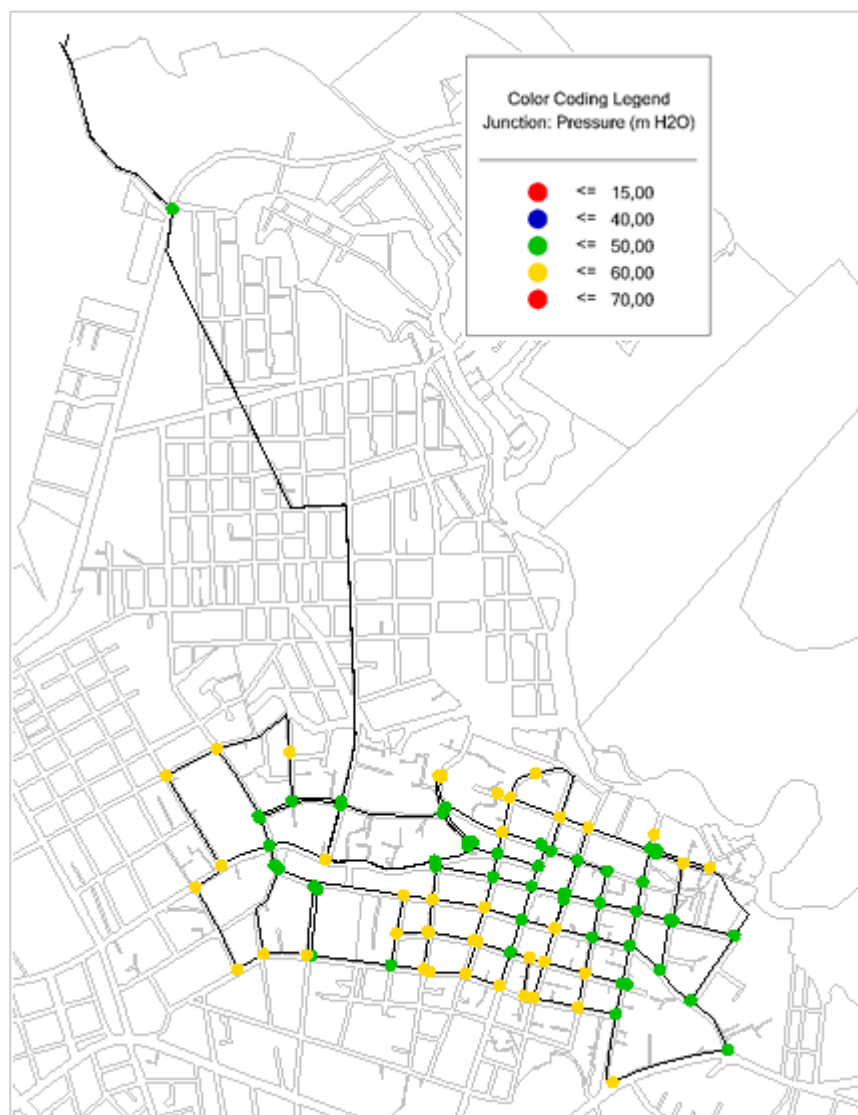


Figura 35. Presiones en estado dinámico + incendio zona alta año 2043

En la siguiente Tabla 31 se indican las presiones resultantes de la corrida en caso de incendio, en los nodos donde se encuentran los hidrantes.

Tabla 31.
Presiones en hidrantes año 2043

	Nodo	Presión [m H2O]
Hidrante 1	N - 4	48,71
Hidrante 2	N - 94	46,34

En el caso de la corrida de la red en estado estático, utilizando el caudal mínimo del año 2043 da como resultados que el sistema presenta presiones altas, todos superiores al rango máximo permitido de 60 m.c.a como se puede observar en la **Figura 36** y se tiene una presión máxima de 77,77 m.c.a.

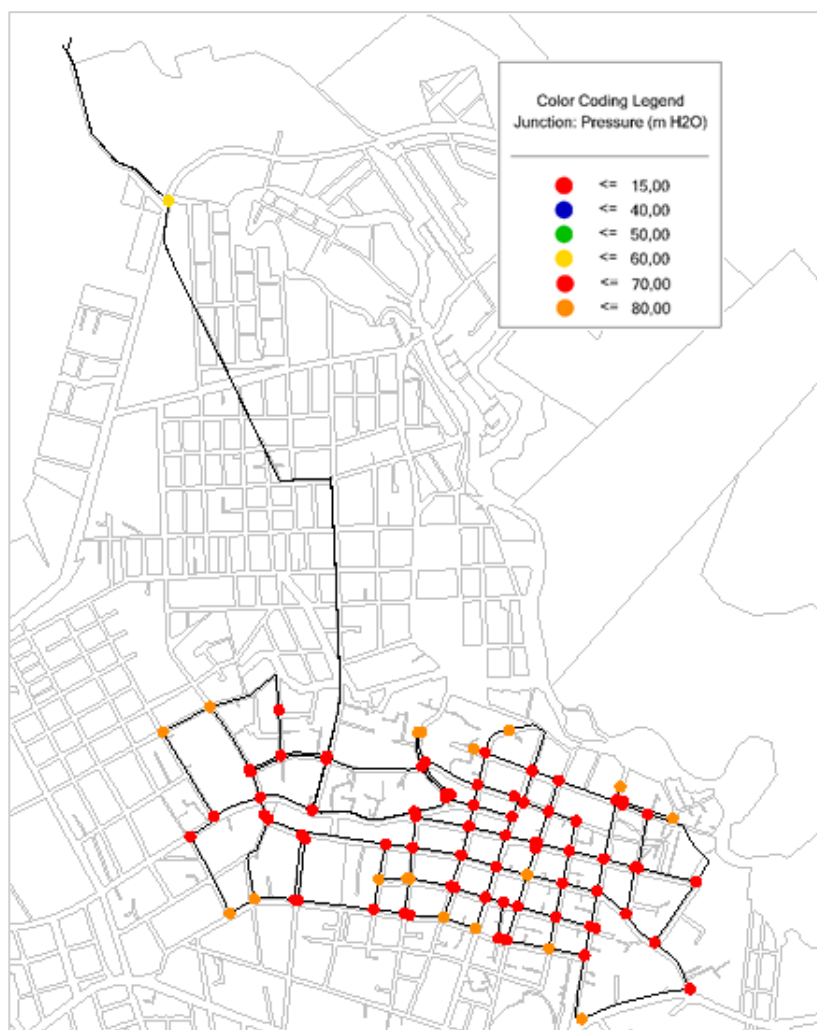


Figura 36. Presiones en estado estático zona alta año 2043

De los resultados obtenidos tanto para el año actual como para el año de diseño, se puede notar que las presiones en estado dinámico son aceptables ya que no superan los 60 m.c.a., al contrario de las presiones que se presentan en el estado estático ya que todas estas están por encima de ese

rango, lo que es muy peligroso ya que puede causar roturas en las tuberías. En la Tabla 32 se puede observar los resultados de presiones obtenidos de las corridas, tanto para el año actual como para el año de diseño.

Tabla 32.

Resumen de presiones de la modelación hidráulica – Zona alta central

<i>Caso:</i>	<i>QMH</i> 2018	<i>Qmin</i> 2018	<i>QMH</i> 2043	<i>Qmin</i> 2043	
Nodo	Elevación [m]	Presión [m H2O]			
N-1	943,53	50,06	56,47	49,96	56,47
N-2	943,49	50,02	56,51	49,92	56,51
N-3	935,02	49,17	64,82	48,71	64,81
N-4	935,01	49,17	64,83	48,71	64,82
N-5	935,00	49,17	64,83	48,70	64,83
N-6	936,00	47,63	63,83	47,14	63,82
N-7	935,91	46,41	63,90	45,86	63,89
N-8	935,84	47,72	63,99	47,23	63,98
N-9	933,36	48,96	66,44	48,42	66,43
N-10	933,37	50,19	66,45	49,70	66,45
N-11	929,34	54,25	70,48	53,76	70,47
N-12	929,37	54,21	70,44	53,72	70,44
N-13	928,82	54,17	70,99	53,29	70,98
N-14	926,88	56,17	72,93	55,63	72,92
N-15	929,96	53,10	69,85	52,57	69,84
N-16	931,92	50,94	67,89	50,42	67,88
N-17	931,79	50,90	68,02	50,32	68,01
N-18	934,00	48,28	65,80	47,59	65,79
N-19	929,52	52,76	70,28	52,07	70,27
N-20	933,61	48,65	66,19	47,96	66,18
N-21	934,00	48,21	65,81	47,53	65,80
N-22	929,82	52,05	69,97	51,42	69,96
N-23	922,00	60,12	77,78	59,42	77,77
N-24	930,00	50,27	69,75	49,56	69,74
N-25	932,08	50,06	67,72	49,55	67,71
N-26	932,39	49,87	67,41	49,38	67,40
N-27	935,00	47,30	64,81	46,81	64,80
N-28	935,00	47,97	64,82	47,45	64,81

CONTINUA →

N-29	934,00	48,90	65,82	48,41	65,81
N-30	935,03	47,97	64,79	47,46	64,78
N-31	935,00	48,03	64,82	47,52	64,81
N-32	936,91	46,04	62,92	45,51	62,91
N-33	935,66	47,34	64,16	46,82	64,15
N-34	934,57	48,59	65,25	48,07	65,24
N-35	931,24	51,97	68,58	51,45	68,57
N-36	935,97	47,33	63,86	46,83	63,85
N-37	935,85	47,29	63,97	46,78	63,96
N-38	935,43	47,76	64,39	47,26	64,39
N-39	934,36	50,06	56,47	49,96	56,47
N-40	935,05	48,74	65,46	48,24	65,45
N-41	932,31	49,04	64,78	48,57	64,77
N-42	932,59	51,54	67,52	51,07	67,51
N-43	933,98	50,57	67,22	50,06	67,21
N-44	935,00	49,07	65,84	48,56	65,83
N-45	929,24	47,79	64,82	47,29	64,81
N-46	929,13	53,54	70,57	53,04	70,56
N-47	934,07	53,89	70,68	53,38	70,67
N-48	933,12	48,56	65,74	48,06	65,73
N-49	933,34	49,24	66,69	48,75	66,68
N-50	932,51	48,58	66,46	48,07	66,45
N-51	931,08	48,82	67,27	48,28	67,26
N-52	926,00	50,25	68,71	49,71	68,70
N-53	932,12	55,34	73,77	54,80	73,76
N-54	933,98	50,04	67,68	49,53	67,67
N-55	934,00	48,47	65,82	47,98	65,82
N-56	929,89	48,46	65,81	47,96	65,80
N-57	930,67	52,70	69,91	52,20	69,90
N-58	928,18	52,12	69,14	51,62	69,13
N-59	931,00	54,29	71,62	53,79	71,61
N-60	931,02	51,71	68,81	51,20	68,80
N-61	931,63	51,71	68,79	51,20	68,78
N-62	932,83	51,24	68,18	50,74	68,17
N-63	929,74	50,17	66,99	49,67	66,98
N-64	931,82	53,26	70,07	52,76	70,06
N-65	931,43	51,29	67,99	50,79	67,98
N-66	929,53	51,69	68,38	51,19	68,37
N-67	931,18	53,47	70,28	52,97	70,27

CONTINUA →

N-68	931,19	51,82	68,63	51,31	68,62
N-69	926,00	51,93	68,62	51,42	68,61
N-70	926,05	57,19	73,80	56,69	73,79
N-71	933,00	56,21	73,73	55,67	73,72
N-72	928,16	49,30	66,80	48,75	66,79
N-73	932,07	54,13	71,63	53,59	71,62
N-74	930,72	50,62	67,73	50,10	67,72
N-75	930,50	50,19	69,04	49,58	69,03
N-76	935,57	51,44	69,29	50,88	69,28
N-77	935,82	44,85	64,19	44,22	64,18
N-78	937,00	46,12	63,97	45,56	63,96
N-79	937,00	45,15	62,80	44,60	62,79
N-80	929,77	46,13	62,82	45,62	62,81
N-81	929,73	52,36	70,01	51,80	70,00
N-82	931,75	52,95	70,06	52,42	70,05
N-83	931,08	51,09	68,05	50,57	68,05
N-84	934,97	51,99	68,73	51,48	68,72
N-85	931,03	48,15	64,84	47,65	64,84
N-86	935,02	52,23	68,78	51,73	68,77
N-87	934,63	48,16	64,79	47,65	64,79
N-88	938,00	48,54	65,19	48,03	65,18
N-89	937,95	45,12	61,82	44,61	61,81
N-90	937,07	44,04	61,85	43,42	61,84
N-91	929,87	45,20	62,73	44,59	62,72
N-92	927,88	52,43	69,92	51,81	69,91
N-93	928,91	55,22	71,92	54,55	71,91

4.4.3. Resultado de velocidades en el sistema de la zona alta central

Las velocidades obtenidas en la simulación de la red para el año de diseño no sobrepasan los 3m/s, como se observa en la *Figura 37*, presentando una velocidad máxima de 2,18 m/s la cual está dentro del rango permitido.

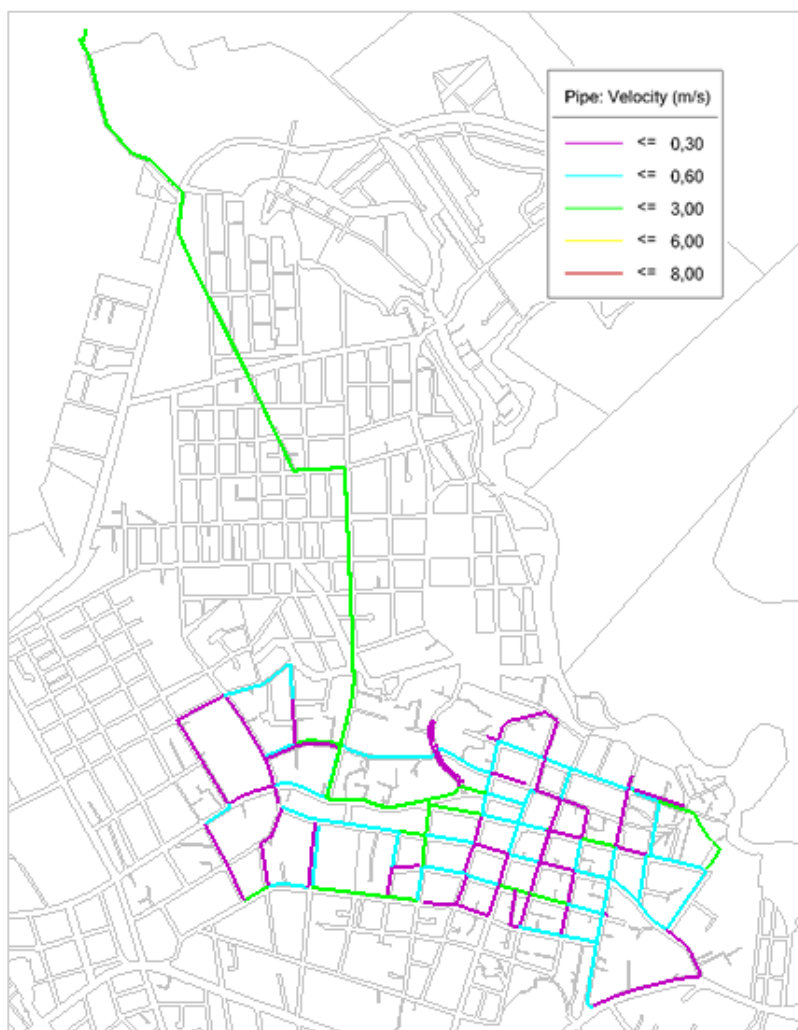


Figura 37. Velocidades en el sistema de la zona alta central año 2043

De los resultados obtenidos de las velocidades, se puede observar que hay algunas zonas donde la velocidad que transita por la red es menor a los 0,3 m/s, debido a que los diámetros de las tuberías están sobredimensionados. Esto puede producir sedimentaciones en las tuberías y bajar la calidad del agua que se distribuye, por lo que como medida preventiva se recomienda, realizar la limpieza de la red tan continuamente se necesite, para lo cual se debe colocar válvulas de desagüe, en lugares que facilite el lavado de la red.

4.5. Modelación y análisis de la zona baja

Para la simulación de la zona baja, se tiene que este sector se va abastecer exclusivamente del tanque Constructora, con una conducción matriz por medio de una tubería existente de PVC de 400 mm de diámetro y la red secundaria de la zona comprende de tuberías de PVC a presión con diámetros entre 63 mm a 160 mm.

Los resultados de caudal, presión, velocidad entre otros, obtenidos de la modelación de la zona baja, se encuentran detallados en el Anexo 6.

Para el análisis de la zona baja se utilizaron los siguientes datos:

Tabla 33.
Resumen de datos y parámetros de diseño zona baja

Área [ha]	125,387
Longitud tuberías red de distribución [km]	26,36
Nivel máximo de operación tanque Constructora [msnm]	976,92
Nivel mínimo de operación tanque Constructora [msnm]	980,92
Población año 2018 [hab]	8.766
Población año 2043 [hab]	10.264
Caudales de diseño año 2018	
QMH – Caudal máximo horario [l/s]	54,13
Qmin – caudal mínimo [l/s]	6,15
Caudales de diseño año 2043	
QMH – Caudal máximo horario [l/s]	57,50
Qmin – caudal mínimo [l/s]	6,53

4.5.1. Resultados de presiones zona baja (Año 2018)

El análisis de las presiones en este sistema se tomó tanto para el caudal máximo horario más demanda de incendio, como también para el caudal mínimo.

En la **Figura 38** se presenta la gama de presiones del sistema en estado dinámico obtenido por el caudal máximo horario más el caudal de incendio para el año 2018. Analizando los resultados de la modelación en el estado dinámico, se puede ver que la mayor parte del sector tiene presiones dentro del rango de 40 a 50 m.c.a., teniendo como presión máxima de 52,36 m.c.a y mínima de 38,75 m.c.a.

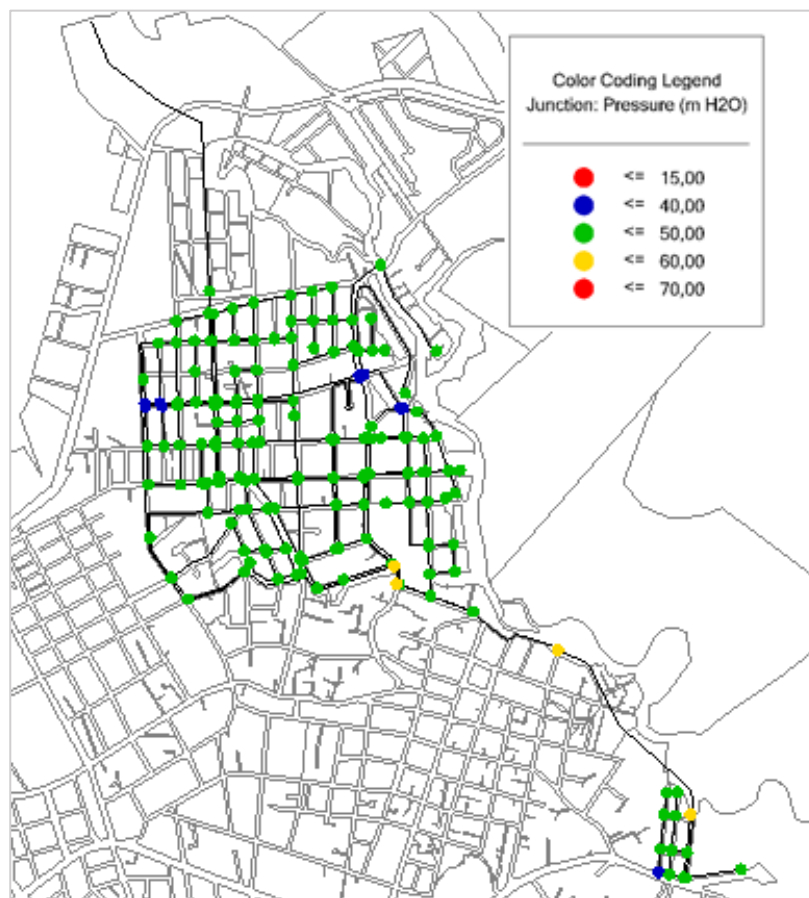


Figura 38. Presiones en estado dinámico + incendio zona baja año 2018

Para el caso de incendio, según la SENAGUA para el número de habitantes que tiene este sector se necesita un caudal de incendio de 10 l/s. y se ha decidido colocar dos hidrantes, uno en la Av. 20 de Julio a lado este del sector y el otro en la calle Puerto Baquerizo al oeste y se ha verificado que en estos puntos la presión sea mayor a 10 m.c.a.

En el caso de esta zona, fue necesario la incorporación de una nueva tubería de reforzamiento, debido a que en la simulación, se obtenía presiones demasiado bajas.

En la **Figura 39** se presenta las presiones del sistema en estado estático, obtenido por el caudal mínimo del año 2018. De los resultados se observa que la mayoría de las presiones sobrepasan los 50 m.c.a., teniendo como presión máxima 60,71 m.c.a.

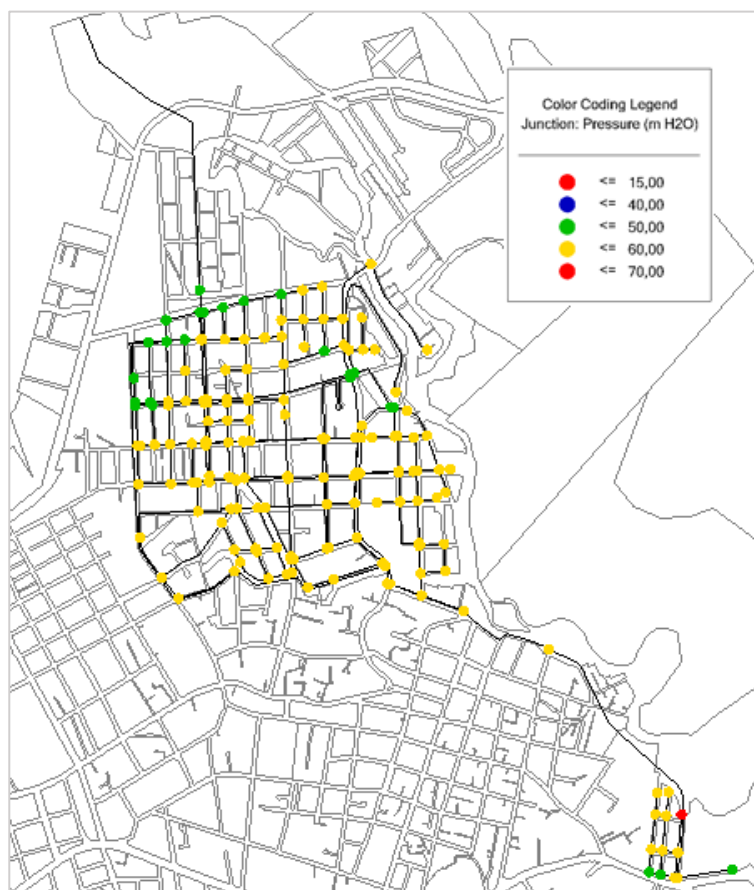


Figura 39. Presiones en estado estático zona baja año 2018

4.5.2. Resultados de presiones zona baja (Año 2043)

Para el análisis en el periodo de diseño, año 2043, se ha hecho la modelación para el estado dinámico y estático, utilizando el caudal máximo horario de ese año, más el caudal de incendio y el caudal mínimo.

Los resultados obtenidos en la red para el estado dinámico, para el cual se tomó el caudal máximo horario más caudal de incendio del sector del año 2043, da como resultado presiones que están en el rango mínimo de 37,98m.c.a. y máximo de 51,53 m.c.a (ver **Figura 40**). En este caso se comprueba igualmente que la presión en los hidrantes es mayor a los 10 m.c.a.

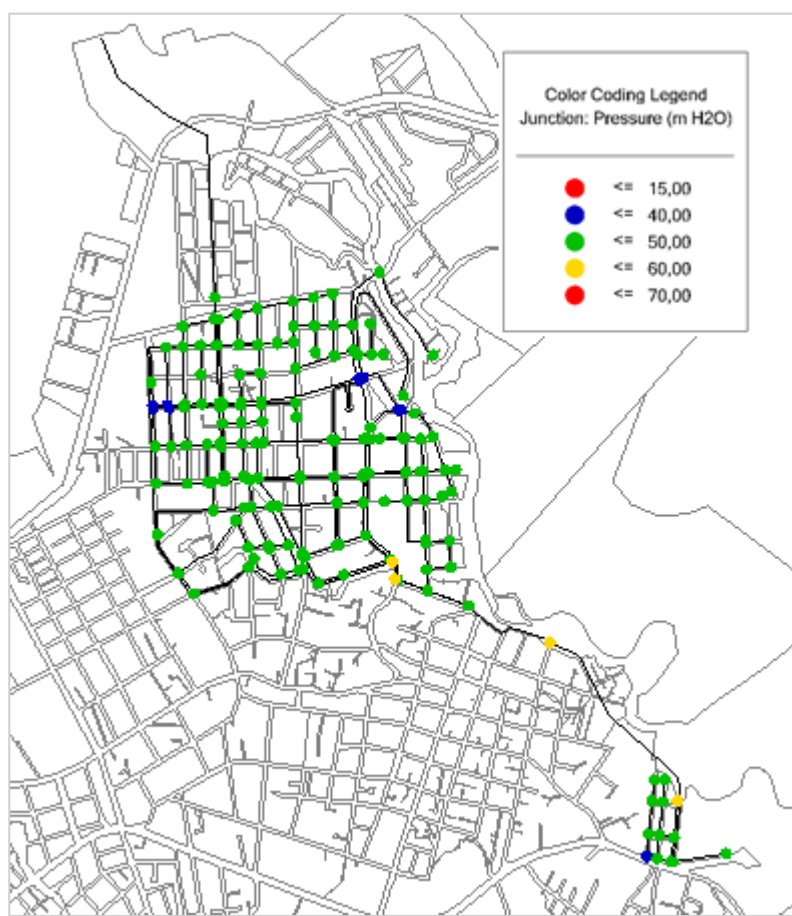


Figura 40. Presiones en estado dinámico + incendio zona baja año 2043

En el caso de la corrida de la red en estado estático, utilizando el caudal mínimo del año 2043 correspondiente a la zona baja, el cual representa el caudal mínimo nocturno que transita por la red, da como resultados que el sistema presenta presiones relativamente altas, como se puede observar en la **Figura 41**, las cuales están en el rango mínimo de 46,74 m.c.a. y máximo de 60,71 m.c.a.

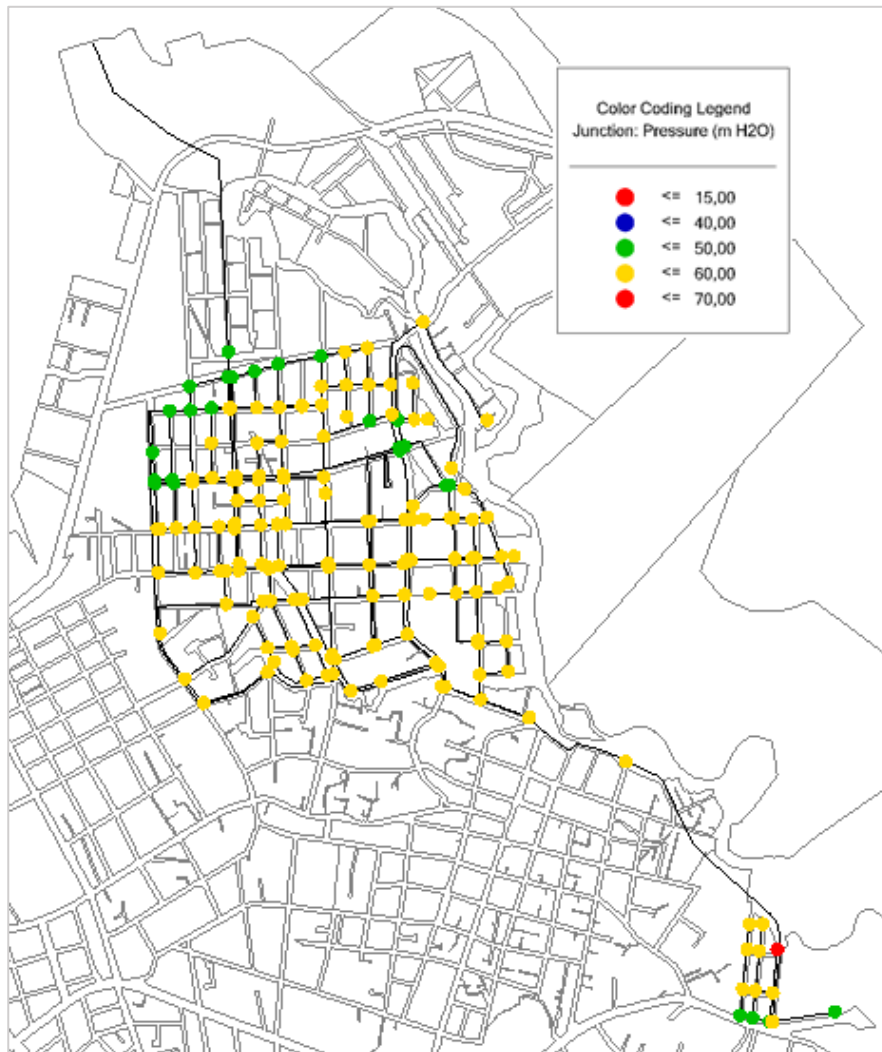


Figura 41. Presiones en estado estático zona baja año 2043

En conclusión de los resultados obtenidos de la modelación, tanto para el año actual como para el año de diseño de la zona baja, se puede notar que las presiones en estado dinámico son aceptables y se encuentran en el rango de 40 a 50 m.c.a y en el caso del estado estático se obtuvo presiones más altas entre los 50 a 60 m.c.a., es importante controlar estas presiones porque pueden provocar roturas en las tuberías.

En la Tabla 34 se puede observar los resultados de presiones obtenidos de las modelaciones de los diferentes estados de carga, tanto para el año actual como para el año de diseño, de la zona baja.

Tabla 34.
Resumen de presiones de la modelación hidráulica – Zona baja

<i>Caso:</i>	<i>Q_{mh} 2018</i>	<i>Q_{min} 2018</i>	<i>Q_{mh} 2043</i>	<i>Q_{min} 2043</i>	
Nodo	Elevación [m]	Presión [m H₂O]			
N-1	926,52	45,98	54,22	44,88	54,21
N-2	928,28	43,15	52,43	42,41	52,42
N-4	930,51	43,49	50,26	43,07	50,25
N-5	926,49	45,93	54,23	45,16	54,22
N-6	927,64	45,37	53,1	44,76	53,09
N-7	926,56	45,92	54,17	45,17	54,16
N-8	927,60	45,24	53,13	44,6	53,12
N-9	931,84	41,45	48,91	40,91	48,9
N-10	932,55	40,58	48,2	40,02	48,19
N-11	934,00	38,79	46,75	38,19	46,74
N-12	929,95	42,86	50,79	42,25	50,78
N-15	928,00	44,38	52,73	43,65	52,72
N-16	930,40	42,02	50,33	41,92	50,32
N-17	926,40	45,96	54,32	45,21	54,31
N-18	925,96	46,32	54,76	45,57	54,75
N-19	925,11	46,72	55,61	45,97	55,6
N-20	926,00	46,37	54,72	45,63	54,71
N-21	927,68	44,6	53,04	43,85	53,03

CONTINUA →

N-22	926,08	46,23	54,65	45,48	54,64
N-23	925,06	46,68	55,65	45,93	55,64
N-24	926,54	44,89	54,16	44,14	54,15
N-26	925,29	46,54	55,42	45,79	55,41
N-27	922,41	50,21	58,32	49,29	58,31
N-28	923,09	49,77	57,65	48,87	57,64
N-29	927,50	46,05	53,26	45,23	53,26
N-30	922,69	49,32	58,03	48,54	58,02
N-31	924,00	47,84	56,71	47,06	56,7
N-32	924,85	47,76	55,88	46,86	55,88
N-33	924,47	48,13	56,26	47,23	56,25
N-34	926,74	45,86	54	44,96	53,99
N-35	931,01	42,63	49,74	42,15	49,74
N-36	922,00	50,47	58,73	49,55	58,72
N-37	924,44	48,85	56,31	47,98	56,3
N-38	925,00	47,01	55,72	46,21	55,71
N-39	923,94	48,08	56,78	47,29	56,77
N-40	924,00	47,88	56,71	47,12	56,7
N-41	923,47	48,4	57,24	47,63	57,23
N-42	923,82	48,18	56,89	47,38	56,88
N-43	926,01	46,45	54,72	45,66	54,71
N-44	924,00	47,87	56,71	47,1	56,7
N-45	922,00	50,43	58,72	49,49	58,72
N-46	929,30	43,91	51,44	43,36	51,44
N-47	922,00	50,02	58,72	49,03	58,71
N-48	922,00	49,87	58,71	48,86	58,71
N-49	922,00	49,98	58,72	48,98	58,71
N-50	922,00	49,87	58,71	48,86	58,71
N-51	930,71	41,28	50,02	40,4	50,01
N-52	926,00	45,72	54,72	44,81	54,71
N-53	932,51	40,2	48,24	39,33	48,24
N-54	928,62	44,45	52,13	43,58	52,12
N-55	932,23	40,44	48,52	39,57	48,51
N-56	929,82	42,79	50,92	41,9	50,92
N-57	926,95	44,65	53,76	43,72	53,75
N-58	923,08	48,6	57,62	47,88	57,61
N-59	923,05	48,86	57,66	48,14	57,65
N-60	922,98	49,09	57,73	48,39	57,72
N-61	923,00	49,02	57,71	48,31	57,7
N-62	923,80	47,95	56,91	47,18	56,9

CONTINUA →

N-63	922,00	52,36	58,77	51,47	58,77
N-64	930,72	42,64	50,05	41,64	50,04
N-65	930,65	42,8	50,11	41,81	50,11
N-67	927,56	44,19	53,16	43,29	53,15
N-68	932,80	40,27	47,96	39,23	47,96
N-69	930,98	42,38	49,79	41,38	49,78
N-70	920,00	51,98	60,71	50,82	60,71
N-71	923,12	49,43	57,61	48,52	57,6
N-72	923,20	48,6	57,51	47,84	57,5
N-73	928,60	45,33	52,16	44,89	52,15
N-74	931,22	42,59	49,54	42,13	49,53
N-75	930,00	44,17	50,76	43,77	50,76
N-76	926,03	46,5	54,71	45,4	54,71
N-77	928,90	45,29	51,86	44,9	51,86
N-78	928,40	44,62	52,33	44,03	52,33
N-79	927,07	44,59	53,64	43,88	53,63
N-80	926,89	45,6	53,85	44,49	53,84
N-81	931,03	42,42	49,72	41,91	49,72
N-82	922,04	50,36	58,68	49,42	58,68
N-83	922,03	50,41	58,69	49,47	58,69
N-84	922,94	49,76	57,79	48,85	57,78
N-85	922,96	49,74	57,77	48,83	57,76
N-86	925,00	46,73	55,71	45,99	55,7
N-87	928,29	43,45	52,43	42,26	52,42
N-88	923,19	48,51	57,52	47,77	57,51
N-89	928,75	45,35	52,01	44,93	52,01
N-90	928,00	45,65	52,75	45,15	52,74
N-91	924,05	47,54	56,65	46,82	56,64
N-92	927,04	45,5	53,69	44,78	53,68
N-93	926,97	45,47	53,75	44,74	53,74
N-94	927,91	44,34	52,81	43,69	52,8
N-95	930,02	42,34	50,71	41,69	50,7
N-96	934,00	38,75	46,74	38,13	46,74
N-97	933,97	38,77	46,78	37,98	46,77
N-98	928,13	43,14	52,58	41,9	52,57
N-99	933,92	39,03	46,83	38,29	46,82
N-100	925,17	47,18	55,55	46,42	55,54
N-101	922,00	50,51	58,73	49,59	58,72
N-102	922,00	50,48	58,73	49,56	58,72
N-103	930,00	45,48	50,79	45,3	50,79

CONTINUA →

N-104	929,99	44,65	50,78	44,34	50,78
N-105	927,71	44,81	53,02	44,1	53,01
N-106	927,48	44,47	53,24	43,7	53,23
N-107	925,99	45,97	54,73	45,2	54,72
N-108	927,26	46,02	53,49	45,16	53,49
N-109	927,18	44,34	53,54	43,13	53,53
N-110	933,94	42,37	46,87	42,32	46,87
N-112	927,41	46,2	53,36	45,37	53,35
N-113	923,97	49,98	56,79	49,16	56,78
N-114	923,64	49,3	57,1	48,4	57,09
N-115	925,04	46,15	55,67	45,06	55,66
N-116	924,46	48,82	56,29	47,95	56,28
N-117	923,85	51,9	56,94	51,11	56,94
N-118	923,87	48,15	56,84	47,45	56,83
N-119	927,07	44,69	53,65	43,51	53,64
N-120	924,05	47,44	56,65	46,7	56,64
N-121	922,51	49,09	58,19	48,36	58,18
N-122	922,00	49,91	58,71	49,19	58,7
N-123	922,92	49,05	57,79	48,35	57,78
N-124	923,00	48,6	57,7	47,87	57,69
N-125	923,05	48,64	57,65	47,91	57,64
N-126	924,00	47,71	56,71	46,99	56,7
N-127	923,35	48,36	57,35	47,63	57,34
N-128	924,36	47,29	56,34	46,58	56,33
N-129	922,00	50,37	58,72	49,42	58,72
N-130	924,16	47,54	56,54	46,82	56,53
N-131	925,24	46,71	55,47	46,08	55,46
N-132	925,00	46,94	55,71	46,32	55,7
N-133	925,16	46,81	55,55	46,2	55,55
N-134	925,55	46,44	55,17	45,83	55,16
N-135	926,09	45,95	54,63	45,33	54,62
N-136	925,35	46,66	55,36	46,03	55,35
N-137	926,43	45,58	54,29	44,94	54,28
N-138	927,05	44,91	53,67	44,53	53,66
N-139	930,37	41,99	50,36	41,34	50,35
N-140	922,49	50,2	58,24	49,29	58,23
N-141	933,96	38,99	46,8	38,25	46,79
N-142	928,00	45,77	52,75	45,28	52,75
N-143	933,95	38,91	46,8	38,31	46,79
N-144	934,00	38,91	46,75	38,31	46,74

CONTINUA →

N-145	927,70	45,34	53,03	44,74	53,03
N-146	927,72	45,32	53,01	44,72	53,01
N-147	929,91	42,99	50,83	42,39	50,82
N-148	928,43	46,15	52,34	45,81	52,33
N-149	929,74	45,05	51,03	44,75	51,03
N-150	930,06	44,42	50,71	44,07	50,71
N-151	925,45	46,52	55,26	45,91	55,25
N-152	929,08	44,82	51,68	44,37	51,68
N-153	927,38	45,97	53,36	45,45	53,35
N-154	931,21	43,26	49,57	42,92	49,56
N-155	930,23	43,97	50,54	43,58	50,53
N-156	928,19	45,57	52,56	45,09	52,56
N-157	929,32	44,73	51,44	44,31	51,44
N-158	930,54	43,23	50,23	42,76	50,22
N-159	930,00	43,32	50,75	42,79	50,74
N-160	924,74	48,31	56	47,75	55,99
N-161	927,96	43,5	52,76	42,57	52,75
N-162	930,88	42,24	49,88	41,21	49,88
N-165	922,00	49,84	58,71	48,83	58,71
N-166	922,00	49,83	58,71	48,82	58,71
N-168	928,48	43,57	52,25	42,95	52,24
N-169	932,40	42,07	48,37	41,73	48,37
N-170	932,52	41,46	48,24	41,03	48,24
N-171	931,78	42,8	49	42,47	49
N-172	927,55	43,89	53,16	43,14	53,15
N-173	923,59	52,31	57,2	51,53	57,2
N-174	929,74	46,4	51,06	46,33	51,06
N-175	931,70	42,8	49,07	42,45	49,07
N-176	932,71	40,92	48,05	40,43	48,05
N-177	923,54	48,21	57,16	47,43	57,15
N-178	930,48	45,74	50,32	45,68	50,32
N-179	929,77	46,38	51,03	46,3	51,03

De los resultados obtenidos de la simulación del comportamiento hidráulico, tanto para la zona alta y baja, se puede ver que es necesario la incorporación de elementos que ayuden con la optimización de cada uno de los sistemas. Por lo que se va a colocar válvulas reductoras de presión, con el fin de potencializar el funcionamiento de cada red y minimizar las pérdidas de agua.

4.5.3. Resultado de velocidades en el sistema de la zona baja

Para el año de diseño las velocidades no sobrepasan los 3 m/s, lo que nos asegura que no habrá futuros daños, en la **Figura 42** se puede ver las velocidades de este sistema, presentando una máxima de 2,39 m/s la cual está dentro del rango permitido.

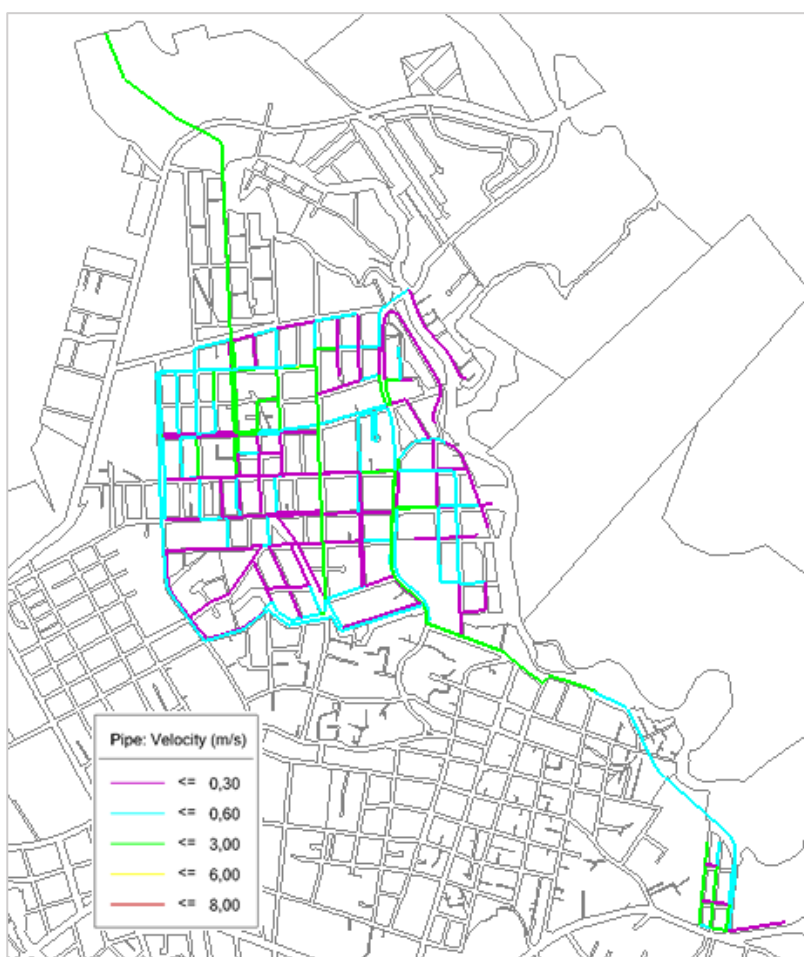


Figura 42. Velocidades en el sistema de la zona baja año 2043

Como se pudo ver para ambas zonas hay tramos de tubería donde hay velocidades menores a 0,3 m/s y por esta razón se va a colocar válvulas de desagüe en zonas donde se facilite la limpieza de las tuberías.

4.6. Control de las redes mediante válvulas reductoras de presión

Con el objeto de mejorar el rendimiento de cada uno de las zonas sectorizadas se pretende incorporar a las redes válvulas automáticas, en este caso válvulas reductoras de presión con el fin de controlar las presiones altas que se presentan en las horas de bajo consumo.

Las válvulas reductoras o reguladoras de presión tienen diversas aplicaciones; la principal es disminuir la presión en un punto específico de la tubería, para que a partir de este se obtengan valores iguales o por debajo de la máxima presión deseada (Mateos de Vicente, 2000).

En la **Figura 43** se tiene el ejemplo exacto de cómo se va a colocar las válvulas, tanto para la zona alta central, como para la zona baja, ya que como se observa en la figura, se tiene una población cuya red de distribución está alimentada por un embalse, que en nuestro caso son tanques de almacenamiento, que están situados a una elevación más alta con respecto a la red. Por lo que para reducir la presión se coloca una válvula reductora de presión (*VRP*), entre el tanque y la población y de esta forma se logra que el sistema de distribución solo tenga que soportar presiones dentro de un rango óptimo de diseño.

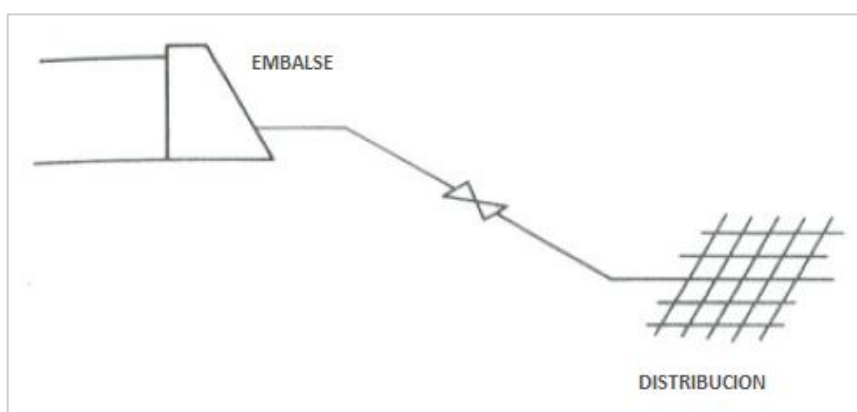


Figura 43. VRP entre embalse y red de distribución

Fuente: (Mateos de Vicente, 2000, pág. 27)

Para el dimensionamiento de las válvulas reductoras de presión se va a considerar los siguientes criterios de diseño:

Los caudales de diseño que se va a utilizar, son de los escenarios más críticos, es decir, el caudal máximo horario incluido el caudal para incendio tanto para el año actual (2018) como para el año al fin del periodo de diseño (2043), y el caudal mínimo del año actual (2018), que representa al caudal que circula en las noches por la red en las horas de menor consumo. En la siguiente Tabla 35 se indican los caudales de diseño para cada uno de los sectores en análisis.

Tabla 35.
Caudales de diseño para válvulas reductoras de presión

Sector	<i>Q_{mh} (2018)</i>	<i>Q_{mh} (2043)</i>	<i>Q_{min} (2018)</i>
Zona alta central	54,80	56,20	6,25
Zona baja	54,13	57,50	6,15

Para mejorar el sistema de distribución de cada una de las redes se propone que estas operen con un rango de presiones de 45 m.c.a. como máximo y como mínimo de 15 m.c.a. para el caso de la red de la zona alta central y de la zona baja. La presión mínima será suficiente para suministrar agua hasta edificaciones de cuatro pisos que estén ubicadas en las zonas más altas del sector y las presiones máximas de 40 y 45 m.c.a evitan grandes pérdidas de caudal en las partes bajas.

El porcentaje de apertura de las válvulas, será de máximo 90% en el caso del caudal máximo horario y mínimo del 10% para el caudal nocturno. Además se verificara que la velocidad del flujo que pasa por dichas válvulas sea como máximo 4,5 m/s, en caso contrario se modificara el diámetro de las mismas.

Estas válvulas estarán colocadas dentro de cajas de hormigón, ubicadas en un sitio de fácil acceso, dependiendo de cada uno de los sectores.

4.6.1. Dimensionamiento de las válvulas reductoras de presión

Para el dimensionamiento de las válvulas reductoras de presión, se calcula en base a la capacidad de manejo de caudales de las válvulas, representada por el coeficiente de flujo (Kv), que relaciona el caudal de diseño con la diferencia de altura piezométrica (ΔP) entre la entrada y la salida de la válvula. El coeficiente de flujo de la válvula se determina con la siguiente expresión:

$$Kv = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P/S}}$$

Donde:

Kv : Coeficiente de flujo de la válvula ($\frac{m^3/hora}{\sqrt{bar}}$); Cv según algunos fabricantes

Q : Caudal ($m^3/hora$)

ΔP : Altura de diseño de la válvula (bar)

S : Gravedad específica del agua =1

Se aclara que los datos de Kv o Cv , varían según el fabricante, para este caso se ha seleccionado válvulas BERMAD tipo globo.

- *Zona alta central*

Para el caso de la zona alta central se ha colocado una *VRP* en cada una de las tuberías de 200 mm, que conducen el agua directamente desde los tanques de Palestina hasta la red (ver *Figura*

44), esto tiene una ventaja ya que si se requiera hacer mantenimiento a cualquiera de estas válvulas, se puede desactivar una y el sistema de distribución no sufrirá ninguna suspensión del servicio, ya que la otra válvula seguirá trabajando.

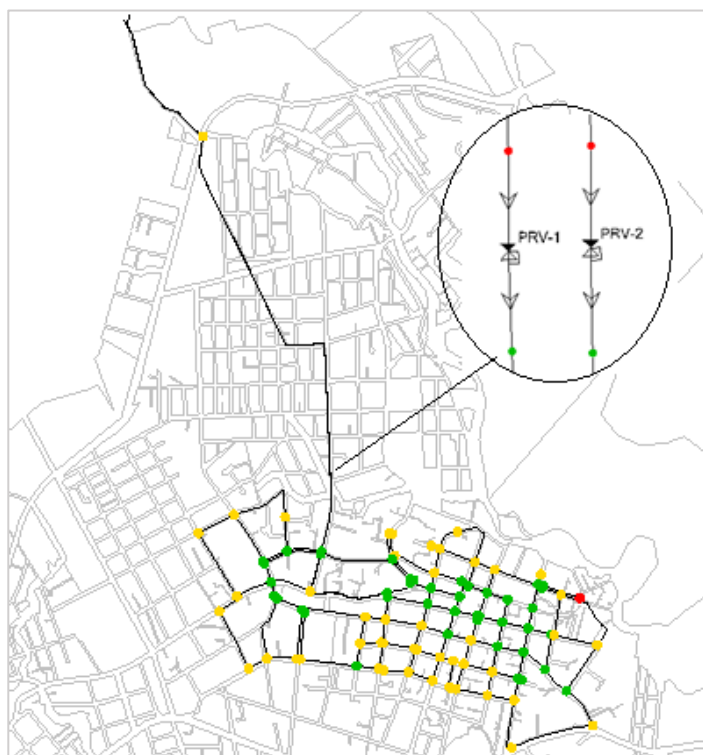


Figura 44. Válvulas reguladoras de presión zona alta central

Como ejemplo se va a calcular el coeficiente de capacidad de flujo, para el caso del caudal máximo horario incluido incendio para el año 2018, empleando la formula antes mencionada.

- Escenario 1 - Qmax Horario más incendio, año 2018

Para obtener los datos necesarios se recurre a la simulación de la red de la zona alta central, para el caso del estado de carga que se está analizando, del cual se obtiene el caudal que pasa por cada una de las tuberías, además de las presiones aguas arriba, (P_1), del punto donde se va a colocar

cada una de las válvulas y la presión agua debajo de la válvula, (P_2), que estará dentro de un rango de operación seleccionado.

A continuación se tienen los datos para el caso en análisis:

Datos tubería 1

$$Q = 32,37 \text{ l/s}$$

$$P_1 = 64,13 \text{ mca}$$

$$P_2 = 45 \text{ mca}$$

$$\Delta P = 19,12 \text{ mca}$$

Datos tubería 2

$$Q = 32,43 \text{ l/s}$$

$$P_1 = 63,99 \text{ mca}$$

$$P_2 = 45 \text{ mca}$$

$$\Delta P = 18,98 \text{ mca}$$

Empleando la fórmula del coeficiente de capacidad del flujo se obtiene:

VRP-1

$$Q = 116,17 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta P = 1,91 \text{ bar}$$

$$kv = 84,02 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\sqrt{\text{bar}}}$$

VRP-2

$$Q = 116,75 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta P = 1,90 \text{ bar}$$

$$kv = 84,74 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\sqrt{\text{bar}}}$$

Se ha seleccionado válvulas BERMAD tipo globo de la serie 700 con patrón en “Y”, y disco plano. Por lo que con los valores obtenidos de kv , se determinó el diámetro de cada válvula requerida, empleando los datos de la **Figura 45**, lo que da que para el caso en análisis se necesita un válvula con un diámetro de 125mm, se recuerda que si la velocidad que transita por la válvula es mayor a 4,5 m/s se debe incrementar el diámetro.



	DN	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450
700-ES En "Y" Disco plano 	Kv	54	57	60	65	145	215	395	610	905	1,520	N/A	2,250	N/A
	K	1.4	3.0	7.8	15.2	7.5	8.3	5.1	6.7	7.5	5.5	N/A	7.9	N/A
	Leq - m	2.8	7.5	25.3	60.8	37.3	51.7	38.1	96.3	138.4	126.8	N/A	253.6	N/A
700-ES En "Y" Tapón regulador (V-Port) 	Kv	46	48	51	55	123	183	336	519	769	1,292	N/A	2,027	N/A
	K	1.9	4.3	10.8	21.2	10.4	11.4	7.0	9.3	10.4	7.6	N/A	9.8	N/A
	Leq - m	3.8	10.6	34.9	84.9	51.8	71.4	52.7	133.0	191.7	175.5	N/A	312.4	N/A

Figura 45. Diámetros de válvula según Kv

Fuente: BERMAD, Caltalogo serie 700-ES

En la Tabla 36 se puede observar en resumen los cálculos del coeficiente de capacidad de flujo (kv), en cada uno de los escenarios de diseño, para las válvulas de la zona alta central.

Tabla 36.
Dimencionamiento de VRP de la zona alta central

Escenario	Qmh 2018		Qmin 2018		Qmh 2043	
	VRP-1	VRP-2	VRP-1	VRP-2	VRP-1	VRP-2
No. Válvula						
Q (l/s)	32,27	32,43	6,23	3,12	33,06	33,14
Q (m ³ /h)	116,17	116,75	22,43	11,21	119,02	119,30
Presión aguas arriba (mca)	64,13	63,99	76,66	76,64	63,78	63,62
Presión aguas arriba (bar)	6,41	6,40	7,67	7,66	6,38	6,36
Presión aguas abajo (mca)	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,0
Presión aguas abajo (bar)	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
Diferencia de presión (mca)	19,12	18,98	31,66	31,64	18,78	18,62
Diferencia de presión (bar)	1,91	1,90	3,17	3,16	1,88	1,86
kv (m ³ /h/ \sqrt{bar})	84,02	84,74	12,60	6,30	86,85	87,43
Diámetro (mm)	125	125	125	125	125	125
Velocidad (m/s)	2,63	2,64	0,508	0,254	2,694	2,700
Kv Fabricante (m ³ /h/ \sqrt{bar})	183	183	183	183	183	183
($Kv_{calculado}/Kv_{Fabricante}$)	46%	46%	7%	4%	48%	48%
Porcentaje de apertura	63%	63%	11%	10%	66%	66%

Los porcentajes de apertura de las válvulas adoptadas, para el paso de los caudales de diseño, se determinaron a partir de la **Figura 46**. De los resultados obtenidos de la tabla anterior, se puede ver que para que el porcentaje de apertura de la válvula como mínimo es de 10%.

Características del tapón de la válvula

Kv; Cv al diagrama de carrera de la válvula

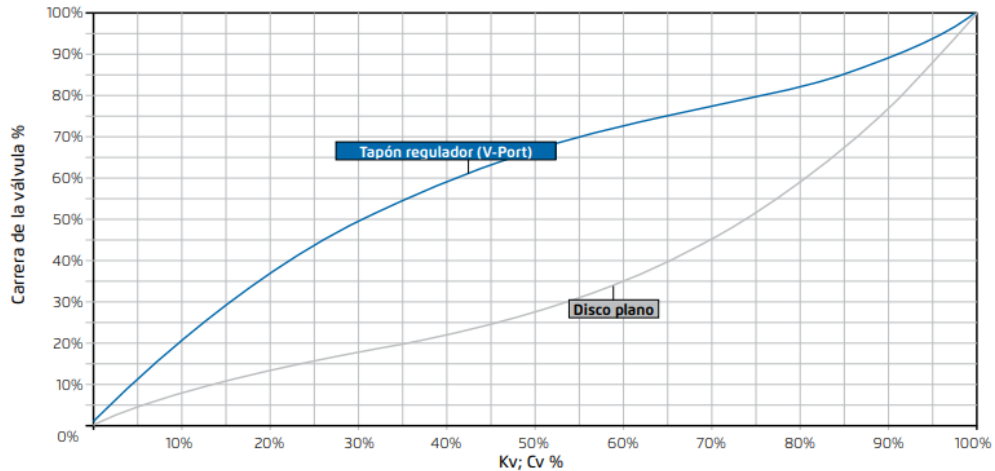


Figura 46. Porcentaje de apertura VRP

Fuente: BERMAD, Caltalogo serie 700

- Zona baja norte

Para el caso de la zona baja norte se ha colocado dos válvulas en paralelo (ver **Figura 47**), que igual que en el caso anterior, se tiene la ventaja que se puede dar mantenimiento a cualquiera de estas válvulas, sin que el sistema de distribución sufra interrupciones.

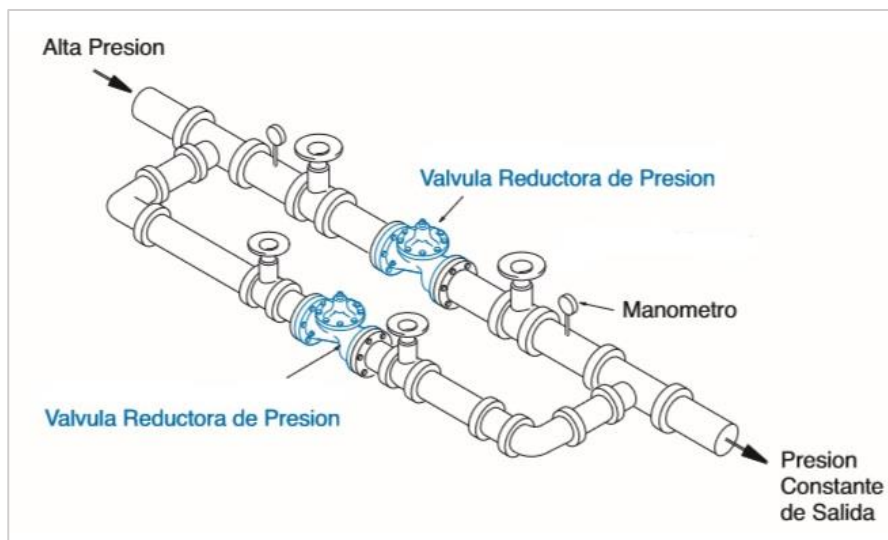


Figura 47. Válvulas reductoras de presion en paralelo

La válvula que lleve el mayor diámetro se dimensiona para el caudal máximo horario, mientras que la de menor diámetro manejará el caudal de las horas de consumo mínimo, esto ayuda a que el porcentaje de apertura de la válvula cumpla con los parámetros de diseño que se especificaron inicialmente. Estas válvulas se colocaron en un sitio de fácil acceso, y están conectadas a la conducción que viene desde el tanque Constructora, cuyo diámetro es 400 mm (*ver Figura 48*).

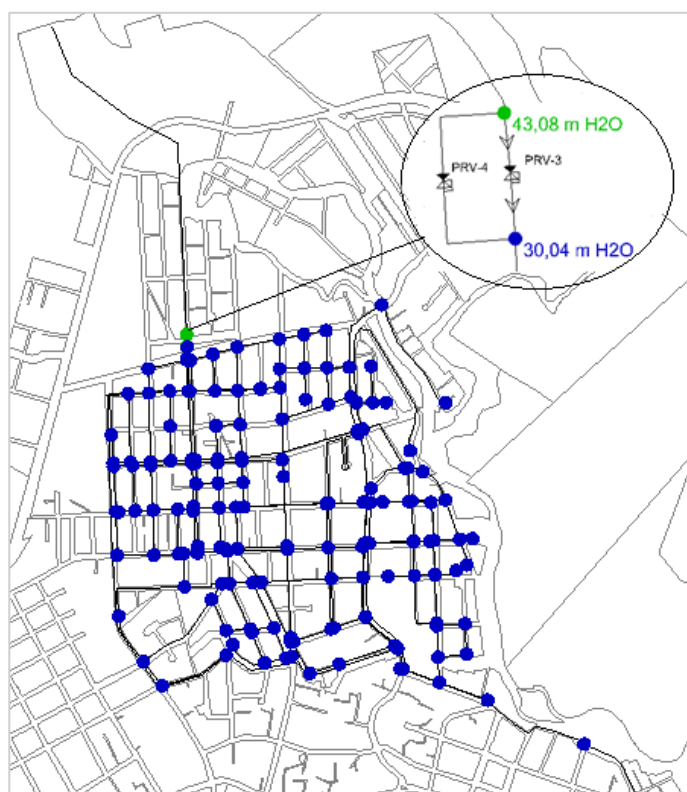


Figura 48. Válvulas reguladoras de presión zona baja

En la **Tabla 37** se puede observar en resumen los cálculos del coeficiente de capacidad de flujo (kv), en cada uno de los escenarios de diseño, para las válvulas de la zona baja y se seleccionó igualmente válvulas BERMAD tipo globo, serie 700.

Tabla 37.
Dimencionamitno de VRP de la zona baja

Escenario	Qmh 2018	Qmh 20143	Qmin 2018
No. Válvula	VRP-3	VRP-3	VRP-4
Q (l/s)	64,13	67,50	6,15
Q (m ³ /h)	230,87	243,00	22,14
Presión aguas arriba (mca)	42,96	42,82	47,45
Presión aguas arriba (kg/cm ²)	4,30	4,28	4,75
Presión aguas abajo (mca)	30,04	30,05	29,90
Presión aguas abajo (kg/cm ²)	3,00	3,01	2,99
Diferencia de presión (mca)	12,92	12,77	17,54
Diferencia de presión (kg/cm ²)	1,29	1,28	1,75
$kv (m^3/h/\sqrt{kg/cm^2})$	203,11	215,04	16,72
Diámetro (mm)	150	150	50
Velocidad (m/s)	3,52	3,70	3,03
$Kv Fabricante (m^3/h/\sqrt{kg/cm^2})$	336	336	48
$(Kv_{Calculado}/Kv_{Fabricante})$	61%	64%	35%
Porcentaje de apertura	72%	75%	55%

Las características técnicas adoptadas las válvulas, de la zona baja, también se obtuvieron del catálogo de BERMAD serie 700, que se indica en las Figuras 47 y 48.

En la **Figura 49** se muestran los puntos de operación de cada válvula, con respecto a la posible presencia de cavitación, observándose que todas presentan un rango de seguridad apropiado.

Guía de cavitación

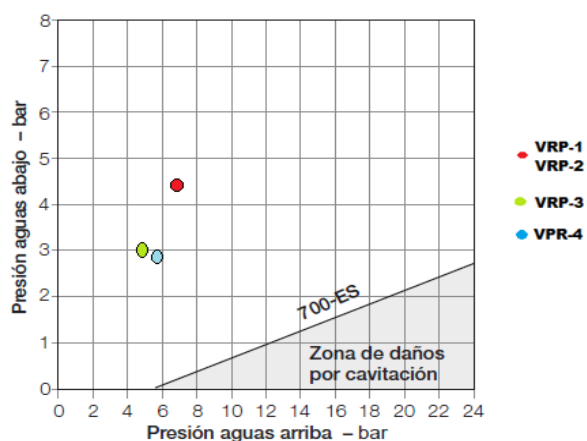


Figura 49. Cavitación en VRP

Fuente: Catalogo válvula BERMAD

4.6.2. Resultados de presiones con VRP

A continuación en las siguientes figuras, se indica los resultados obtenidos de la modelación de la zona alta, en cada uno de los escenarios de análisis, donde se puede ver que las presiones se encuentran entre el rango de 15 a 45 m.c.a.

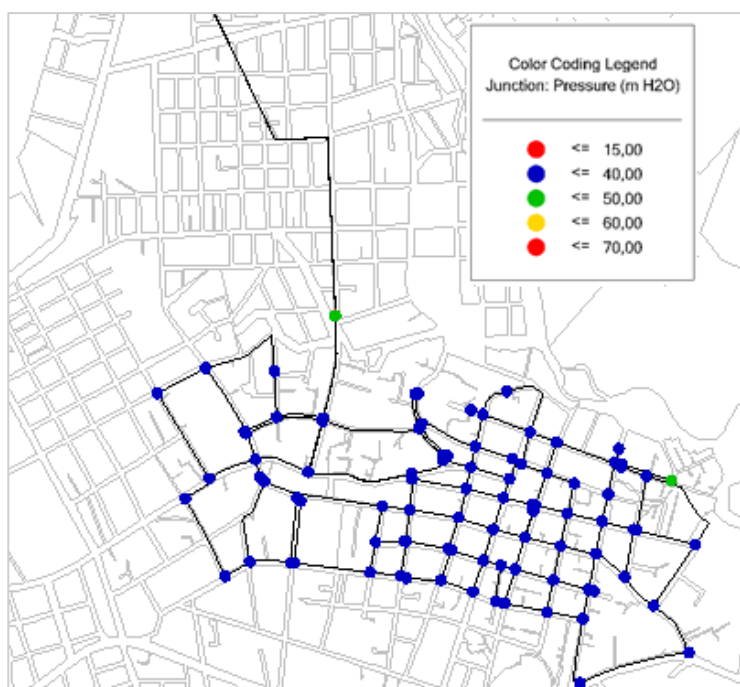


Figura 50. Presiones en estado dinámico zona alta año 2018 con VRP

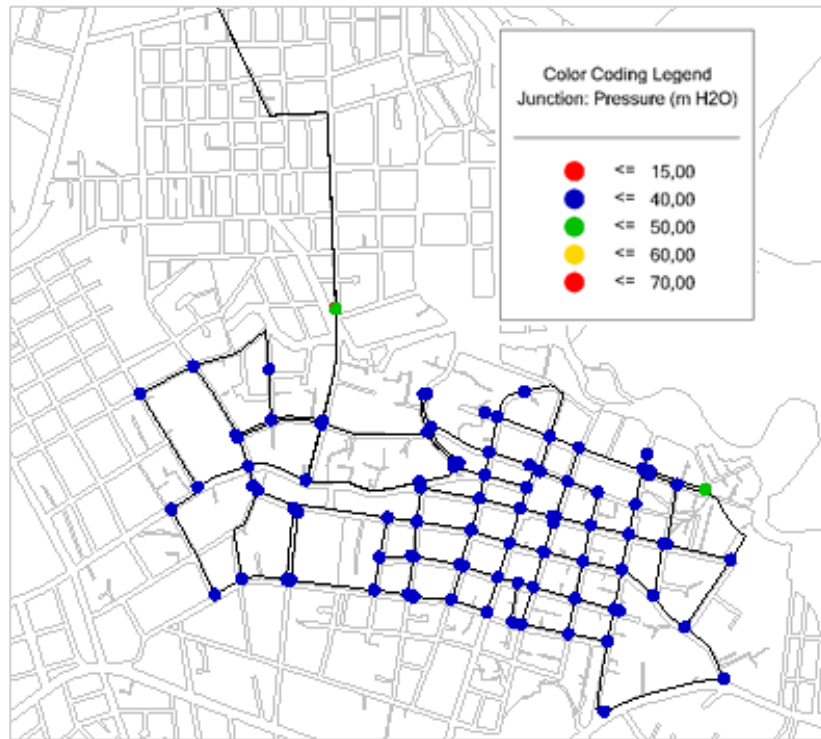


Figura 51. Presiones en estado dinámico zona alta año 2043 con VRP

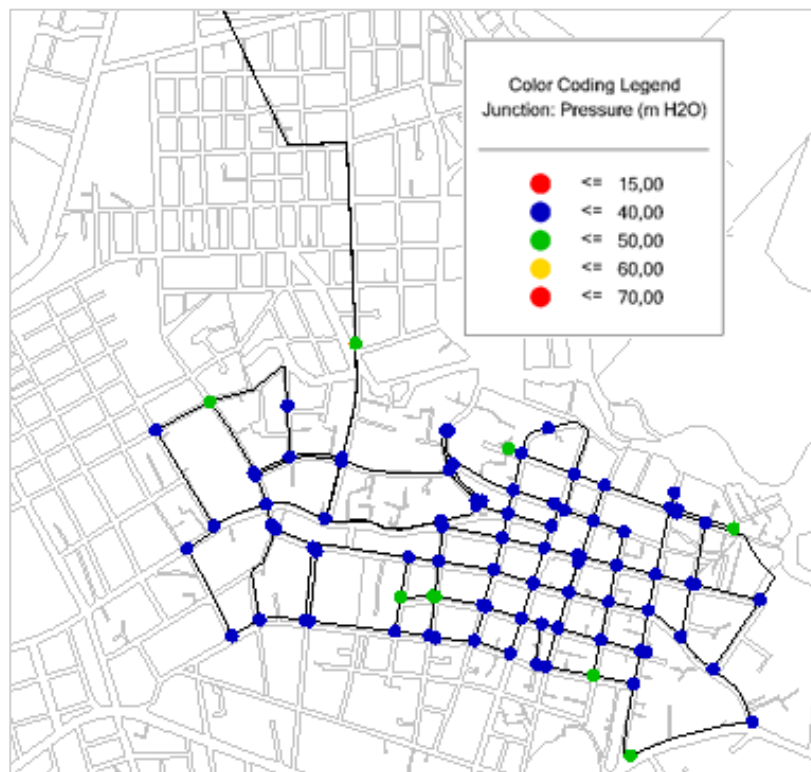


Figura 52. Presiones en estado estático zona alta año 2018 con VRP

Las figuras que se presentan a continuación muestran las presiones en la zona baja norte, con la incorporación de válvulas reductoras de presión en el sistema, lo que ha dado como resultado que las presiones se encuentren entre el rango de 20 a 45 m.c.a.

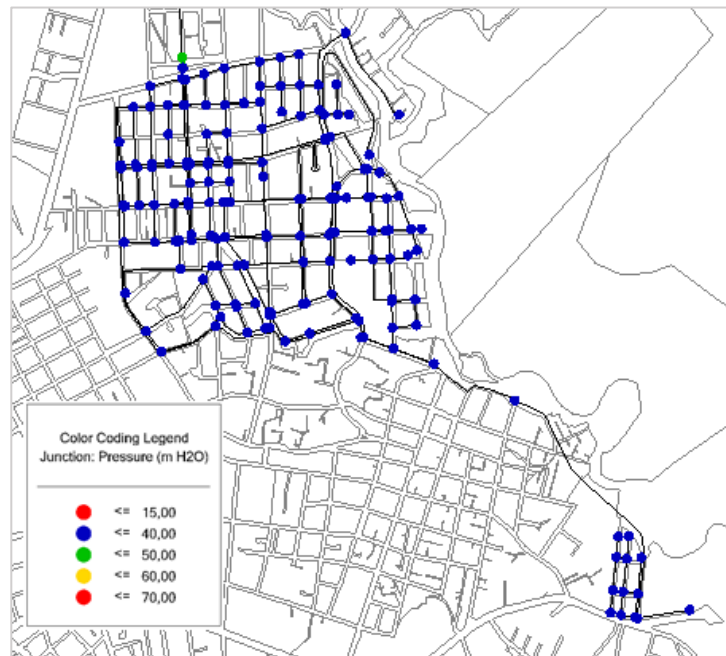


Figura 53. Presiones en estado dinámico zona baja año 2018 con VRP

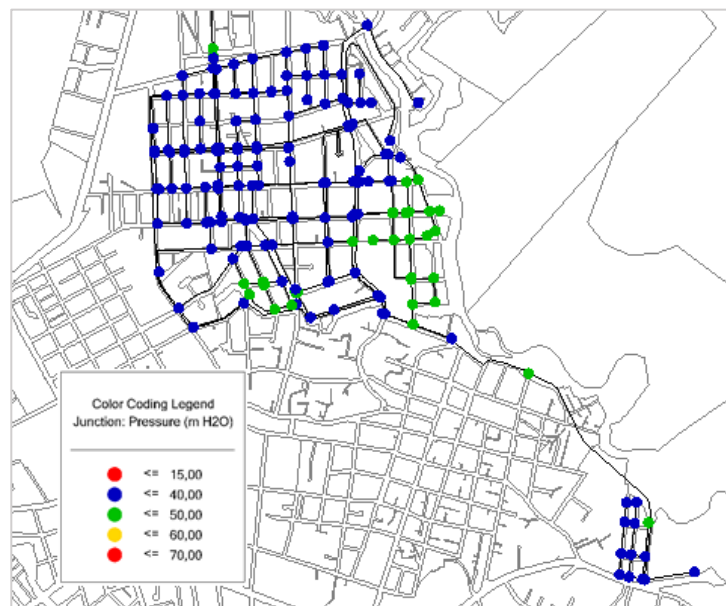


Figura 54. Presiones en estado estático zona baja año 2018 con VRP

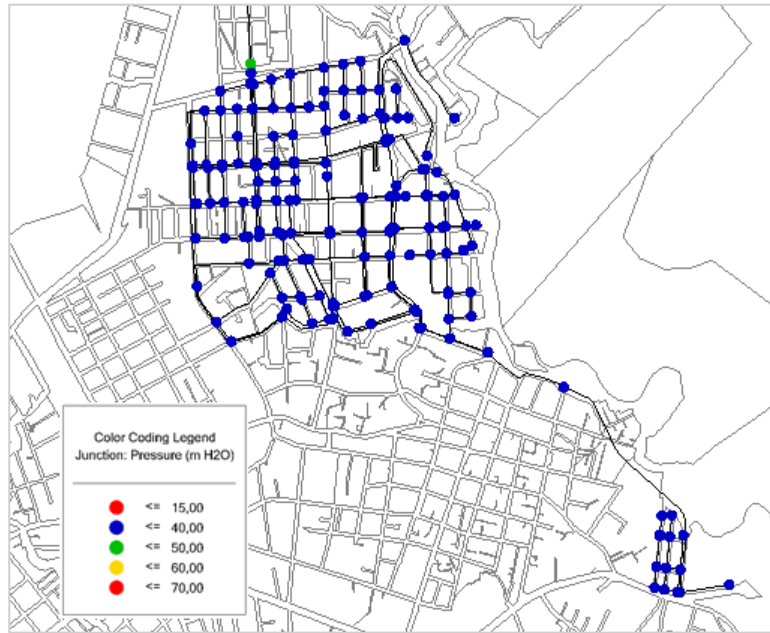


Figura 55. Presiones en estado dinámico zona baja año 2043 con VRP

CAPÍTULO 5

TANQUES DE ABASTECIMIENTO

5.1. Tanque de almacenamiento

La función básica de estos tanques es almacenar agua en las horas de baja demanda, para compensar el déficit que se presenta en las horas de mayor consumo de la población, donde el suministro es menor que la demanda. Por esto el volumen de almacenamiento dependerá de las variaciones horarias, entre más variaciones se tiene más volumen se necesita.

En el caso del Puyo como ya se mencionó en el capítulo 2, consta de los tanques El Rosal, Palestina, Constructora, La Isla, Victoria de León y San Vicente , este último no forma parte del análisis del estudio.

El tanque de carga que recibe el agua de la planta de tratamiento es el tanque el Rosal, y este tanque es el que alimenta a los tanques de la constructora, la isla y san Vicente, por lo tanto de este tanque sale el agua a cada uno de los sectores.

Cuando no se tienen los datos necesarios, lo que se suele hacer es recurrir a lo que se establece en las normas, donde se dice que el volumen será un porcentaje de los caudales medios diarios multiplicado por el número de habitantes. Este método es solo una aproximación a la realidad por lo que para el presente trabajo de titulación se ha decidido calcular el volumen de cada tanque mediante el cálculo de la curva de masa.

5.2. Curva de masa o curva de consumo acumulado

Es una curva que relaciona el caudal, el volumen y el tiempo, está representado por un gráfico donde el volumen está ubicado en las ordenadas, el tiempo en las abscisas y el caudal se obtiene a partir de la pendiente entre las dos. A través de la curva de masa se puede calcular el volumen de un embalse.

Este método consiste en que el volumen de compensación según la curva de masa de la **Figura 56**, será el valor de QU que se obtiene mediante la suma del déficit (QR) y de exceso (ST), estos valores se obtienen al trazar una pendiente en todos los puntos altos y bajos de la curva.

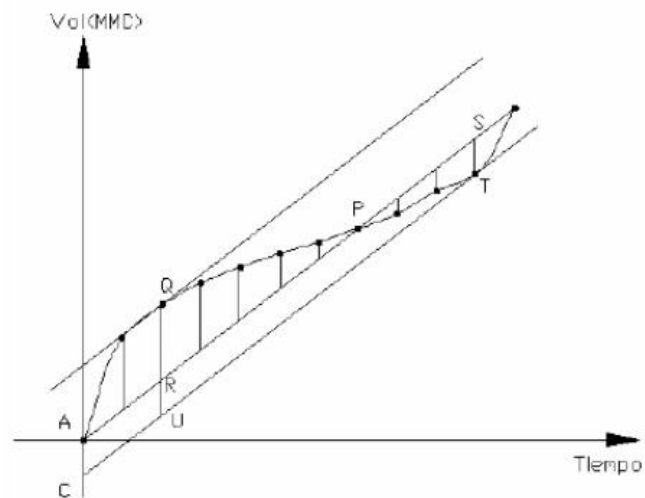


Figura 56. Curva de masa

El volumen no solo se lo puede obtener gráficamente como ya se indicó, otra forma es mediante la siguiente **Tabla 38**.

Tabla 38.
Procedimiento de cálculo numérico (curva de masa)

Tiempo	<i>Qd</i>	<i>Vd</i>	<i>Vd.Ac.</i>	<i>Q</i>	<i>V.A.</i>	<i>V.A.A</i>	<i>Dif.</i>	<i>Volumen</i>
Hora	L/s	m ³	m ³	%	m ³	m ³	m ³	m ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Donde:

Columna 1: Intervalos de tiempo

Columna 2: Caudal de demanda (consumo)

Columna 3: Volumen de demanda

Columna 4: Volumen de demanda acumulada

Columna 5: Caudal de aporte (suministro)

Columna 6: Volumen de aporte

Columna 7: Volumen de aporte acumulado

Columna 8: Déficit, ($Dif = V.A.A - Vd.Ac$)

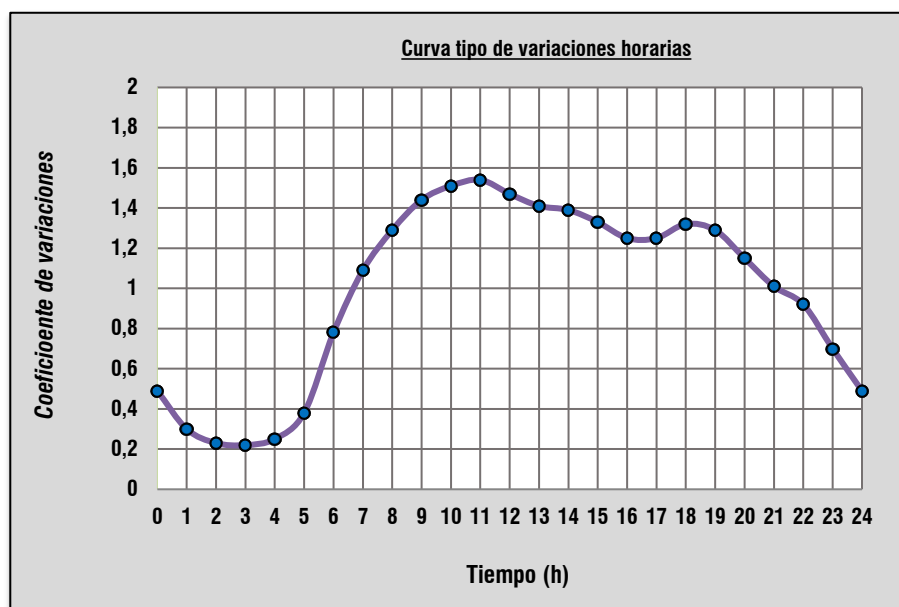
Columna 9: Volumen de agua en el tanque (El volumen del tanque es la suma de los dos valores extremos, positivo y negativo, ambos con signo positivo)

Para utilizar este método es necesario disponer de los datos suficientes sobre las variaciones de consumo horario del lugar donde se está realizado el proyecto o a su vez de una zona que tenga características semejantes. La ciudad del Puyo no cuenta con estos datos, debido a que no se lleva un registro de los caudales que salen de los tanques, además estos datos de variación horario son históricos ya que para que la información sea confiable se debe tener estadísticas de por lo menos dos o tres años.

Debido a esto para encontrar el volumen da cada uno de los tanques, se va a utilizar una curva típica de consumo residencial para una ciudad de clima cálido en el Ecuador (*ver Figura 57*), esta curva fue entregada por el municipio y es la siguiente.

Tabla 39.**Consumo horario de una ciudad de clima cálido en el Ecuador**

Hora	Consumo horario	Hora	Consumo horario
1:00	0,30	13:00	1,41
2:00	0,23	14:00	1,39
3:00	0,22	15:00	1,33
4:00	0,25	16:00	1,25
5:00	0,38	17:00	1,25
6:00	0,78	18:00	1,32
7:00	1,09	19:00	1,29
8:00	1,29	20:00	1,15
9:00	1,44	21:00	1,01
10:00	1,51	22:00	0,92
11:00	1,54	23:00	0,70
12:00	1,47	0:00	0,49

**Figura 57.** Curva típica de consumo de una ciudad de clima cálido en el Ecuador

5.3. Cálculo de volumen de almacenamiento de los tanques

Es necesario comprobar que el volumen que almacena actualmente cada uno de los tanques de distribución (ver Tabla 40), sea suficiente para cubrir el caudal máximo diario hasta el periodo de diseño, año 2043. En el caso contrario será necesario la construcción de un tanque adicional, a partir del año de déficit.

Tabla 40.
Volumen de almacenamiento actual de los tanques

Tanques de Distribución	Volumen de Almacenamiento (m ³)
El Rosal	1000
Palestina	1300
La Constructora	1000
La Isla	1000
Victoria de León	1000

El volumen necesario de cada tanque va a ser la suma de, el volumen de regulación calculado por el método de la curva de masa, el volumen de emergencia y el volumen de incendio, estos dos últimos se los determinara utilizando las fórmulas que se indican en la SENAGUA para poblaciones mayores a 5.00 habitantes, estas son:

$$V_i = 50\sqrt{p}$$

$$V_{eme} = 0.25 \times V_{reg}$$

En la **Tabla 41**, se puede observar los datos, que se va a utilizar para calcular el volumen total necesario de cada tanque.

Tabla 41.
Resumen de caudales máximos horarios y población

Zona	QMD 2018 (l/s)	QMD 2043 (l/s)	Población 2043 (hab.)
Zona alta central	32,38	33,21	10.032
Zona alta lateral	21,09	29,86	9.020
Zona baja	31,99	33,98	10.264
Zona la isla	14,72	24,26	7.328
Zona sur	29,56	48,70	14.711

5.3.1. Tanque Palestina

El tanque Palestina va a distribuir el agua a la zona alta central, uno de los sectores de análisis, por lo que en la Tabla 42 se puede observar el cálculo del volumen necesario para la zona alta central al año 2043, para que satisfaga un caudal máximo diario de 32,38 l/s. Para encontrar el volumen se suma el valor negativo más grande en forma positiva a cada uno de los valores de la columna ocho.

Tabla 42.
Volumen de regulación zona alta central año 2043

Tiempo Hora	<i>Qd</i> (L/s)	<i>Vd</i> <i>m</i>³	<i>Vd.Ac</i> <i>m</i>³.	<i>Q</i> (L/s)	<i>V.A.</i> <i>m</i>³	<i>V.A.A</i> <i>m</i>³	<i>Dif.</i> <i>m</i>³	<i>Volumen</i> <i>m</i>³
1:00	9,96	35,87	35,87	33,21	119,56	119,56	83,69	191,29
2:00	7,64	27,50	63,36	33,21	119,56	239,11	175,75	283,35
3:00	7,31	26,30	89,67	33,21	119,56	358,67	269,00	376,60
4:00	8,30	29,89	119,56	33,21	119,56	478,22	358,67	466,27
5:00	12,62	45,43	164,99	33,21	119,56	597,78	432,79	540,39
6:00	25,90	93,25	258,24	33,21	119,56	717,34	459,10	566,70

CONTINUA →

7:00	36,20	130,32	388,56	33,21	119,56	836,89	448,34	555,94
8:00	42,84	154,23	542,78	33,21	119,56	956,45	413,66	521,26
9:00	47,82	172,16	714,94	33,21	119,56	1076,00	361,06	468,66
10:00	50,15	180,53	895,47	33,21	119,56	1195,56	300,09	407,69
11:00	51,14	184,12	1079,59	33,21	119,56	1315,12	235,53	343,13
12:00	48,82	175,75	1255,34	33,21	119,56	1434,67	179,33	286,93
13:00	46,83	168,57	1423,91	33,21	119,56	1554,23	130,32	237,92
14:00	46,16	166,18	1590,09	33,21	119,56	1673,78	83,69	191,29
15:00	44,17	159,01	1749,10	33,21	119,56	1793,34	44,24	151,84
16:00	41,51	149,45	1898,55	33,21	119,56	1912,90	14,35	121,95
17:00	41,51	149,45	2047,99	33,21	119,56	2032,45	-15,54	92,06
18:00	43,84	157,81	2205,81	33,21	119,56	2152,01	-53,80	53,80
19:00	42,84	154,23	2360,04	33,21	119,56	2271,56	-88,47	19,13
20:00	38,19	137,49	2497,52	33,21	119,56	2391,12	-106,40	1,20
21:00	33,54	120,75	2618,28	33,21	119,56	2510,68	-107,60	0,00
22:00	30,55	109,99	2728,27	33,21	119,56	2630,23	-98,04	9,56
23:00	23,25	83,69	2811,96	33,21	119,56	2749,79	-62,17	45,43
0:00	16,27	58,58	2870,54	33,21	119,56	2869,34	-1,20	106,40

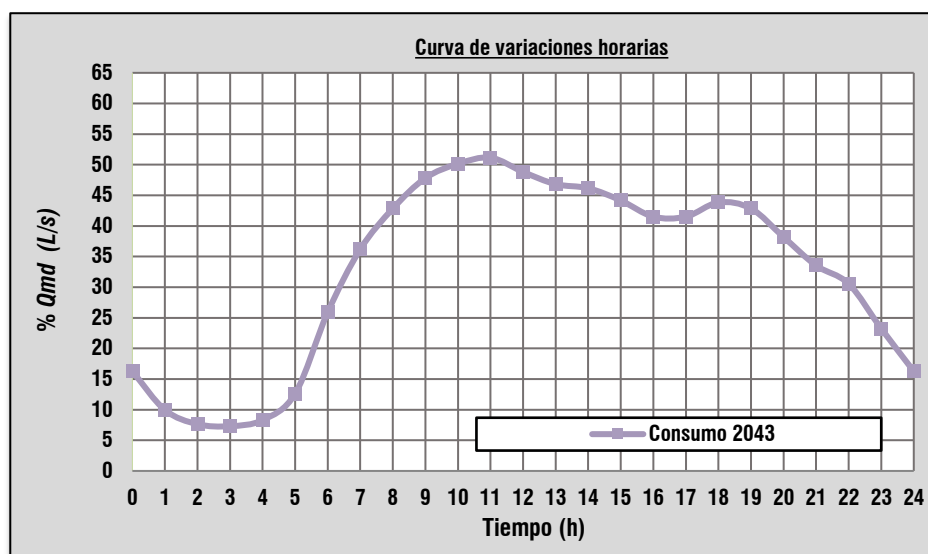


Figura 58. Curva de variación horaria zona alta central

A continuación en la Tabla 43 se calcula el volumen total para satisfacer a la zona alta central hasta el año 2043, en el que se considera el volumen de regulación, de incendio y de emergencia. Se puede observar que para satisfacer a la población de este sector se necesita un volumen de 866,74 m³, lo que indica que el volumen actual de palestina satisface a este sector sin inconveniente hasta el año de diseño.

Tabla 43.
Volumen de almacenamiento zona alta central

Año	Población (hab.)	V_{reg} (m³)	V_i (m³)	V_{eme} (m³)	V_{total} (m³)
2043	10.032	566,70	158,37	141,68	866,74

Como se había indicado que el tanque Palestina también va a distribuir a la zona alta lateral, por lo que es necesario calcular el volumen de este sector. En la Tabla 44 se encuentra el cálculo del volumen necesario para la zona alta lateral al año 2043, para que satisfaga un caudal máximo diario de 29,86 l/s.

Tabla 44.
Volumen de regulación Zona alta lateral año 2043

Tiempo Hora	Q_d (L/s)	V_d m³	V_{d.Ac} m³.	Q (L/s)	V.A. m³	V.A.A m³	Dif. m³	Volumen m³
1:00	8,96	32,25	32,25	29,86	107,49	107,49	75,24	171,99
2:00	6,87	24,72	56,97	29,86	107,49	214,98	158,01	254,75
3:00	6,57	23,65	80,62	29,86	107,49	322,47	241,85	338,60
4:00	7,46	26,87	107,49	29,86	107,49	429,96	322,47	419,22
5:00	11,35	40,85	148,34	29,86	107,49	537,46	389,12	485,86
6:00	23,29	83,84	232,18	29,86	107,49	644,95	412,77	509,51

CONTINUA →

7:00	32,55	117,17	349,35	29,86	107,49	752,44	403,09	499,83
8:00	38,52	138,66	488,01	29,86	107,49	859,93	371,92	468,66
9:00	43,00	154,79	642,80	29,86	107,49	967,42	324,62	421,36
10:00	45,09	162,31	805,11	29,86	107,49	1074,91	269,80	366,54
11:00	45,98	165,54	970,64	29,86	107,49	1182,40	211,76	308,50
12:00	43,89	158,01	1128,66	29,86	107,49	1289,89	161,24	257,98
13:00	42,10	151,56	1280,22	29,86	107,49	1397,38	117,17	213,91
14:00	41,50	149,41	1429,63	29,86	107,49	1504,87	75,24	171,99
15:00	39,71	142,96	1572,59	29,86	107,49	1612,37	39,77	136,51
16:00	37,32	134,36	1706,96	29,86	107,49	1719,86	12,90	109,64
17:00	37,32	134,36	1841,32	29,86	107,49	1827,35	-13,97	82,77
18:00	39,41	141,89	1983,21	29,86	107,49	1934,84	-48,37	48,37
19:00	38,52	138,66	2121,87	29,86	107,49	2042,33	-79,54	17,20
20:00	34,34	123,61	2245,49	29,86	107,49	2149,82	-95,67	1,07
21:00	30,16	108,57	2354,05	29,86	107,49	2257,31	-96,74	0,00
22:00	27,47	98,89	2452,95	29,86	107,49	2364,80	-88,14	8,60
23:00	20,90	75,24	2528,19	29,86	107,49	2472,29	-55,90	40,85
0:00	14,63	52,67	2580,86	29,86	107,49	2579,79	-1,07	95,67

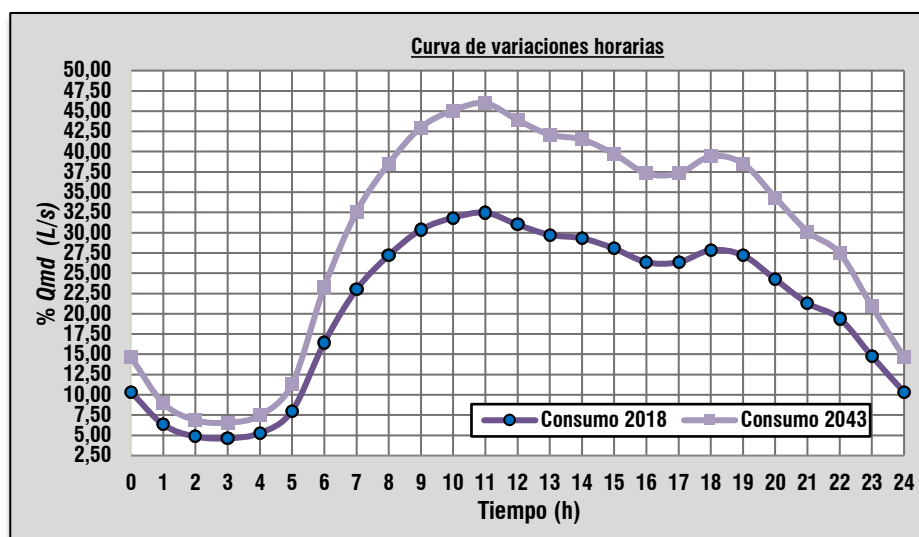


Figura 59. Curva de variación horaria zona alta lateral

Como se ve en la Tabla 45, el volumen de almacenamiento necesario para la zona alta lateral al año 2043 es de 787,05 m³, lo que nos indica que para dicho año el tanque Palestina no satisface a los dos sectores, por lo que se recomienda la construcción de un tanque netamente para la zona alta lateral.

Tabla 45.
Volumen de almacenamiento zona alta lateral

Año	Población (hab.)	Vreg (m ³)	Vi (m ³)	Veme (m ³)	Vtotal (m ³)
2043	9.020	509,51	150,17	127,38	787,05

5.3.2. Tanque Constructora

El tanque Constructora va a distribuir el agua a la zona baja, al norte de la ciudad. En la Tabla 46 se encuentra el cálculo del volumen necesario para solventar un caudal de 33,98 l/s.

Tabla 46
Volumen de regulación Zona baja

Tiempo Hora	Qd (L/s)	Vd m ³	Vd.Ac m ³ .	Q (L/s)	V.A. m ³	V.A.A m ³	Dif. m ³	Volumen m ³
1:00	10,19	36,69	36,69	33,98	122,31	122,31	85,62	195,70
2:00	7,81	28,13	64,83	33,98	122,31	244,63	179,80	289,88
3:00	7,47	26,91	91,73	33,98	122,31	366,94	275,20	385,28
4:00	8,49	30,58	122,31	33,98	122,31	489,25	366,94	477,02
5:00	12,91	46,48	168,79	33,98	122,31	611,56	442,77	552,85
6:00	26,50	95,40	264,20	33,98	122,31	733,88	469,68	579,76
7:00	37,03	133,32	397,52	33,98	122,31	856,19	458,67	568,75
8:00	43,83	157,78	555,30	33,98	122,31	978,50	423,20	533,28
9:00	48,93	176,13	731,43	33,98	122,31	1100,81	369,38	479,47

CONTINUA →

10:00	51,30	184,69	916,12	33,98	122,31	1223,13	307,00	417,09
11:00	52,32	188,36	1104,48	33,98	122,31	1345,44	240,96	351,04
12:00	49,94	179,80	1284,28	33,98	122,31	1467,75	183,47	293,55
13:00	47,91	172,46	1456,74	33,98	122,31	1590,06	133,32	243,40
14:00	47,23	170,01	1626,76	33,98	122,31	1712,38	85,62	195,70
15:00	45,19	162,68	1789,43	33,98	122,31	1834,69	45,26	155,34
16:00	42,47	152,89	1942,33	33,98	122,31	1957,00	14,68	124,76
17:00	42,47	152,89	2095,22	33,98	122,31	2079,32	-15,90	94,18
18:00	44,85	161,45	2256,67	33,98	122,31	2201,63	-55,04	55,04
19:00	43,83	157,78	2414,45	33,98	122,31	2323,94	-90,51	19,57
20:00	39,07	140,66	2555,11	33,98	122,31	2446,25	-108,86	1,22
21:00	34,32	123,54	2678,65	33,98	122,31	2568,57	-110,08	0,00
22:00	31,26	112,53	2791,18	33,98	122,31	2690,88	-100,30	9,79
23:00	23,78	85,62	2876,79	33,98	122,31	2813,19	-63,60	46,48
0:00	16,65	59,93	2936,73	33,98	122,31	2935,50	-1,22	108,86

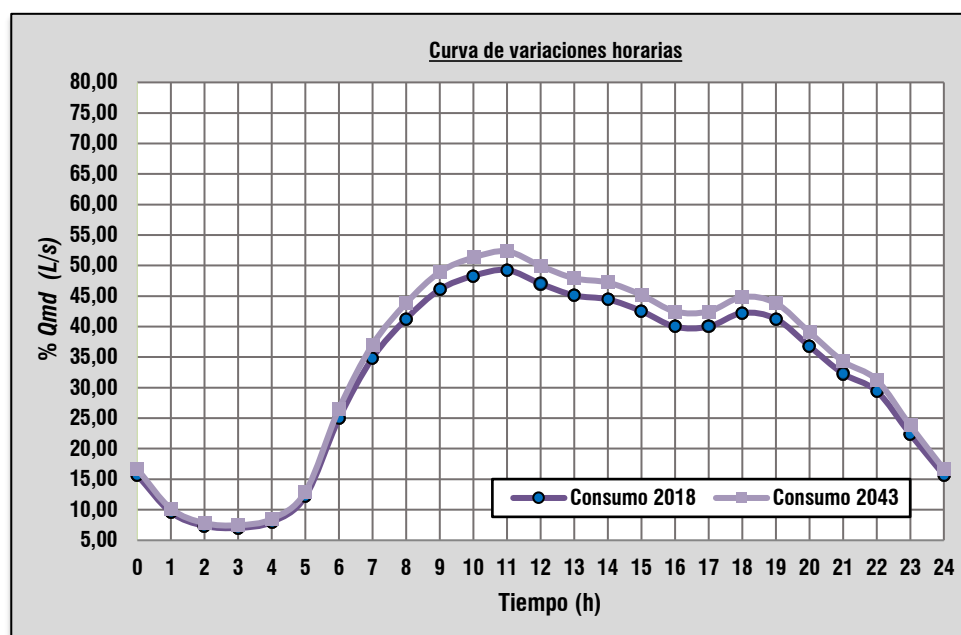


Figura 60. Curva de variación horaria zona baja

Como se ve en la Tabla 47, el volumen de almacenamiento del tanque Constructora al año 2043, es de 884.89m³, menor al volumen de almacenamiento actual, por lo que este tanque satisface perfectamente a la zona baja.

Tabla 47.
Volumen de almacenamiento tanque Constructora

Año	Población (hab.)	Vreg (m³)	Vi (m³)	Veme (m³)	Vtotal (m³)
2043	10.264	579,76	160,19	144,94	884,89

5.3.3. Tanque la Isla

El tanque La Isla va a distribuir el agua a la zona de la isla, y deberá solventar un caudal máximo diario de 24,26 l/s.

Tabla 48.
Volumen de regulación Zona la isla

Tiempo Hora	Qd (L/s)	Vd m³	Vd.Ac m³.	Q (L/s)	V.A. m³	V.A.A m³	Dif. m³	Volumen m³
1:00	7,28	26,20	26,20	24,26	87,33	87,33	61,13	139,72
2:00	5,58	20,09	46,28	24,26	87,33	174,66	128,37	206,97
3:00	5,34	19,21	65,50	24,26	87,33	261,98	196,49	275,08
4:00	6,06	21,83	87,33	24,26	87,33	349,31	261,98	340,58
5:00	9,22	33,18	120,51	24,26	87,33	436,64	316,13	394,72
6:00	18,92	68,12	188,63	24,26	87,33	523,97	335,34	413,93
7:00	26,44	95,19	283,82	24,26	87,33	611,30	327,48	406,08
8:00	31,29	112,65	396,47	24,26	87,33	698,62	302,15	380,75
9:00	34,93	125,75	522,22	24,26	87,33	785,95	263,73	342,33

CONTINUA →

10:00	36,63	131,87	654,09	24,26	87,33	873,28	219,19	297,79
11:00	37,36	134,49	788,57	24,26	87,33	960,61	172,04	250,63
12:00	35,66	128,37	916,94	24,26	87,33	1047,94	130,99	209,59
13:00	34,20	123,13	1040,08	24,26	87,33	1135,26	95,19	173,78
14:00	33,72	121,39	1161,46	24,26	87,33	1222,59	61,13	139,72
15:00	32,26	116,15	1277,61	24,26	87,33	1309,92	32,31	110,91
16:00	30,32	109,16	1386,77	24,26	87,33	1397,25	10,48	89,07
17:00	30,32	109,16	1495,93	24,26	87,33	1484,58	-11,35	67,24
18:00	32,02	115,27	1611,20	24,26	87,33	1571,90	-39,30	39,30
19:00	31,29	112,65	1723,85	24,26	87,33	1659,23	-64,62	13,97
20:00	27,90	100,43	1824,28	24,26	87,33	1746,56	-77,72	0,87
21:00	24,50	88,20	1912,48	24,26	87,33	1833,89	-78,60	0,00
22:00	22,32	80,34	1992,82	24,26	87,33	1921,22	-71,61	6,99
23:00	16,98	61,13	2053,95	24,26	87,33	2008,54	-45,41	33,18
0:00	11,89	42,79	2096,75	24,26	87,33	2095,87	-0,87	77,72

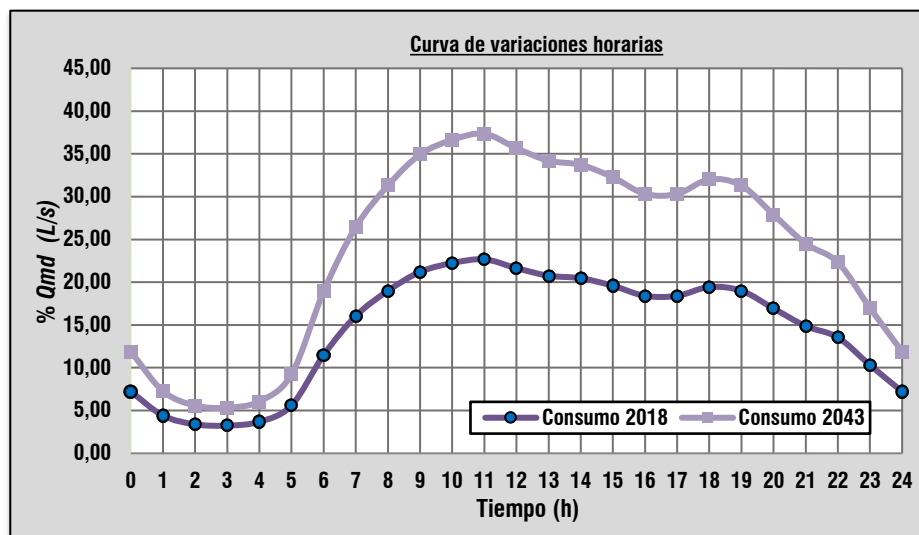


Figura 61. Curva de variación horaria zona la isla

Como se ve en la Tabla 49, el volumen de almacenamiento del tanque La Isla al año 2043, es menor al volumen que almacena actualmente el tanque.

Tabla 49.
Volumen de almacenamiento tanque La Isla

Año	Población (hab.)	Vreg (m³)	Vi (m³)	Veme (m³)	Vtotal (m³)
2043	7328	413,93	135,35	103,48	652,77

5.3.4. Tanque Victoria de León

El tanque Victoria de León va a distribuir el agua a la zona sur. En la Tabla 50 se encuentra el cálculo del volumen necesario para solventar un caudal de 48,70 l/s.

Tabla 50.
Volumen de regulación Zona sur

Tiempo Hora	Qd (L/s)	Vd m³	Vd.Ac m³.	Q (L/s)	V.A. m³	V.A.A m³	Dif. m³	Volumen m³
1:00	14,61	52,59	52,59	48,70	175,31	175,31	122,72	280,49
2:00	11,20	40,32	92,91	48,70	175,31	350,61	257,70	415,48
3:00	10,71	38,57	131,48	48,70	175,31	525,92	394,44	552,22
4:00	12,17	43,83	175,31	48,70	175,31	701,23	525,92	683,70
5:00	18,50	66,62	241,92	48,70	175,31	876,54	634,61	792,39
6:00	37,98	136,74	378,66	48,70	175,31	1051,84	673,18	830,96
7:00	53,08	191,08	569,75	48,70	175,31	1227,15	657,40	815,18
8:00	62,82	226,15	795,90	48,70	175,31	1402,46	606,56	764,34
9:00	70,12	252,44	1048,34	48,70	175,31	1577,77	529,43	687,20
10:00	73,53	264,71	1313,05	48,70	175,31	1753,07	440,02	597,80
11:00	74,99	269,97	1583,02	48,70	175,31	1928,38	345,36	503,13
12:00	71,58	257,70	1840,73	48,70	175,31	2103,69	262,96	420,74
13:00	68,66	247,18	2087,91	48,70	175,31	2278,99	191,08	348,86
14:00	67,69	243,68	2331,59	48,70	175,31	2454,30	122,72	280,49

CONTINUA →

15:00	64,77	233,16	2564,75	48,70	175,31	2629,61	64,86	222,64
16:00	60,87	219,13	2783,88	48,70	175,31	2804,92	21,04	178,81
17:00	60,87	219,13	3003,01	48,70	175,31	2980,22	-22,79	134,99
18:00	64,28	231,41	3234,42	48,70	175,31	3155,53	-78,89	78,89
19:00	62,82	226,15	3460,57	48,70	175,31	3330,84	-129,73	28,05
20:00	56,00	201,60	3662,17	48,70	175,31	3506,15	-156,02	1,75
21:00	49,18	177,06	3839,23	48,70	175,31	3681,45	-157,78	0,00
22:00	44,80	161,28	4000,51	48,70	175,31	3856,76	-143,75	14,02
23:00	34,09	122,72	4123,23	48,70	175,31	4032,07	-91,16	66,62
0:00	23,86	85,90	4209,13	48,70	175,31	4207,38	-1,75	156,02

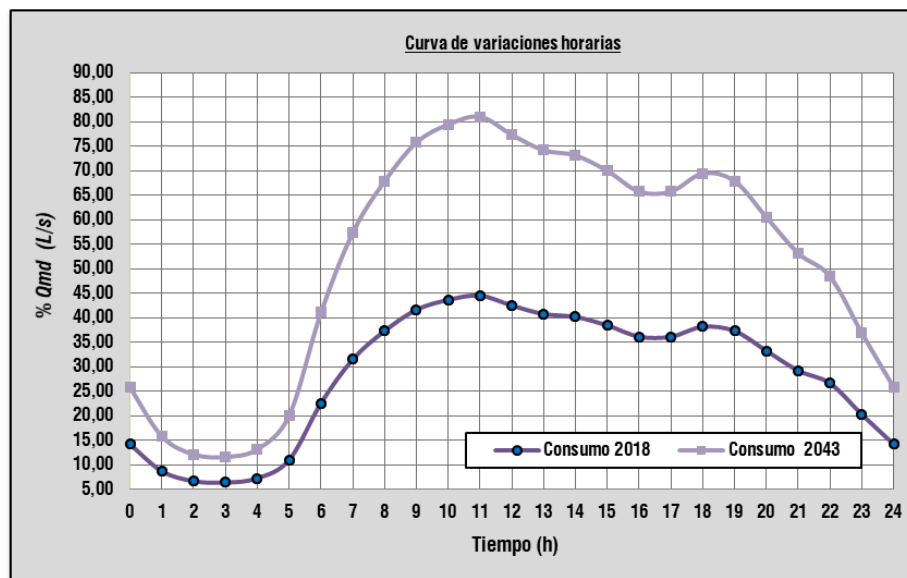


Figura 62. Curva de variación horaria zona baja sur

Como se ve en la **Tabla 51**, el volumen de almacenamiento del tanque Victoria de León al año 2043, sobrepaso el volumen que almacena actualmente el tanque, por lo que para el año 2032 ya será necesario la construcción de un tanque adicional.

Tabla 51.
Volumen de almacenamiento tanque Victoria de León

Año	Población (hab.)	<i>V</i>_{reg} (m³)	<i>V</i>_i (m³)	<i>V</i>_{eme} (m³)	<i>V</i>_{total} (m³)
2043	13.775	830,96	191,78	207,74	1230,47
2029	11.763	664,45	171,49	166,11	1002,05
2028	11.519	650,65	169,70	162,66	983,01

Para evitar la necesidad de construir tanques adicionales para solventar los consumos requeridos, o a su vez para evitar desbordamiento del agua de los tanque, se propone desarrollar un sistema SCADA, para el monitoreo y control automático del sistema.

5.4. Sistema SCADA

El termino SCADA viene de las siglas “Supervisory Control and Date Acquisition” y consiste en adquirir y procesar datos en tiempo real, además que permite solicitar, desplegar, archivar y ejercer control sobre información de procesos.

Las tareas fundamentales de un SCADA son:

- Recolección de información del sistema de forma periódica, procesarla y monitorearla.
- Control remoto de dispositivos, permite activar o desactivar automáticamente elementos como válvulas, bombas entre otros.
- Generar estadísticas de los datos recolectados.
- Mejorar el equilibrio en la distribución del agua entre los diferentes tanques que se encuentran en un mismo sistema.
- Permite controlar niveles en los tanques para evitar desbordes.

- Control de calidad de agua en el sistema de distribución.
- Permite tomar decisiones en tiempo real, desde los centros de control.
- Se puede almacenar información de manera histórica y así poder evaluar el comportamiento de las diferentes variables.

En el diagrama de la **Figura 63**, se puede observar la arquitectura básica de un sistema SCADA, donde existes dos elementos principales que son, la unidad terminal maestra y las unidades terminales remotas (RTU). Cuando se habla de las unidades terminales remotas se refiere a los dispositivos que están ubicados en el proceso y distribuidos geográficamente, para este proyecto se plantea que estas terminales estén ubicadas en conjunto con las válvulas de control de caudales en dada uno de los tanques de almacenamiento. La función principal de estas terminales es transmitir la información para ser centralizada por la unidad terminal maestra (UTM).

La unidad terminal maestra está formada por tres grandes elementos, el primero el sistema de telecomunicaciones que es el que recoge la información desde la RTU y la transmite hacia la UTM, el segundo los sistemas de servidores son los que recogen la información directamente de los sistemas de comunicaciones y luego a través de sistema de redes se puede distribuir y organizar la información por ejemplo a través de servidores para organizar la data en tiempo real, servidores de base de data histórica para almacenar información en días meses o años según el requerimiento y servidores de interfaz que permiten conectar a todo el sistemas SCADA con otros sistemas o aplicaciones. Para poder acceder estos sistemas se tienen la interfaz hombre máquina que a través de un software permite a los operadores ubicados en una sala de control, interactuar a través de toda esta arquitectura con los elementos que están físicamente en el sistema.

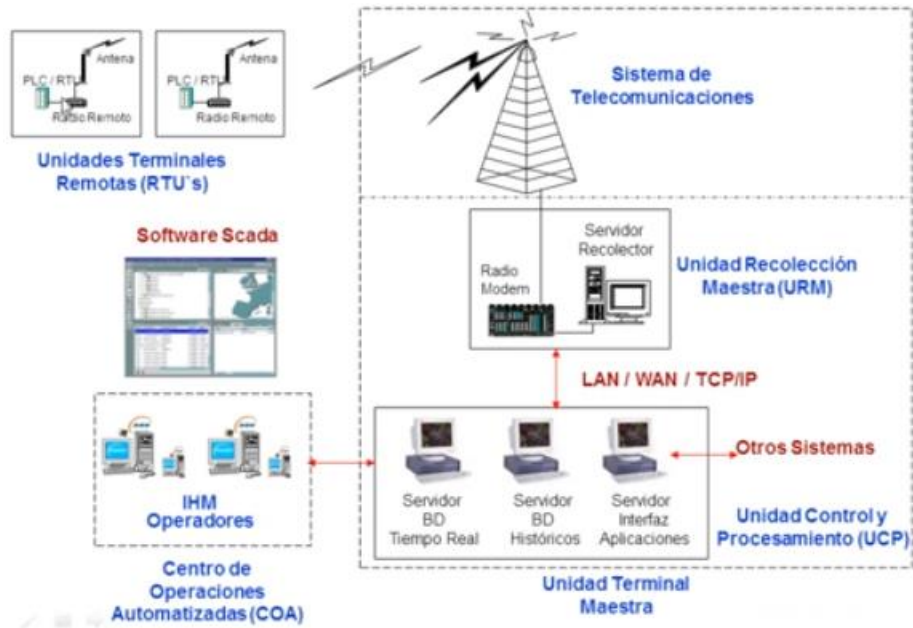


Figura 63. Arquitectura básica del sistema SCADA

CAPÍTULO 6

DISEÑO DE REDES MATRICES DE DISTRIBUCIÓN

6.1. Conducciones a los tanques

En este capítulo se pretende verificar la capacidad de las conducciones mediante el cálculo hidráulico de las mismas, es decir que se quiere comprobar si el agua que se va a transportar a cada uno de los tanques llega o no.

Para comprobar la capacidad máxima de las tuberías, es necesario hallar las pérdidas tanto de fricción como locales y ver si las conducciones serán capaces de pasar el caudal máximo diario al año 2043, esto también ayudara para el dimensionamiento de las válvulas de control de caudales, ya que si no se tiene dimensionadas estas válvulas el agua siempre va a ir a la parte más baja y no se tiene la seguridad de que el agua llegue a las zonas altas.

En la **Figura 64** se puede observar las conducciones que parten desde el tanque de carga El Rosal hasta cada uno de los tanques de almacenamiento, los cuales distribuyen el agua a los diferentes sectores de la ciudad del Puyo.



Figura 64. Conducciones hacia los tanques de distribución

6.2. Evaluación de pérdidas

6.2.1. Pérdidas por fricción en la tubería

La evaluación de las pérdidas por fricción en las tuberías se la realiza con la ecuación de Darcy – Weisbach:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

En donde:

h_f : Pérdida de carga (m)

f : Coeficiente de fricción

L : Longitud de la tubería (m)

D : Diámetro interno de la tubería (m)

V : Velocidad media del flujo (m/s)

g : Aceleración de la gravedad (m/s²)

El coeficiente de fricción se realiza con ayuda de la expresión propuesta por Colebrook, válida para flujos en la zona de transición y flujo turbulento.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{R_e * \sqrt{f}} \right)$$

Donde:

ε : Rugosidad absoluta del material de la tubería, (mm)

D : Diámetro de la tubería, (mm)

R_e : Número de Reynolds.

f : Coeficiente de pérdida por fricción.

El número de Reynolds, se calcula con la siguiente expresión:

$$R_e = \frac{V * D}{\vartheta}$$

Donde:

V : Velocidad media (m/s).

D : Diámetro de la tubería (m/s).

ϑ : Viscosidad cinemática (m²/s).

Para una temperatura del agua de 12 grados centígrados, la viscosidad cinemática del agua alcanza un valor de aproximadamente $1,244 \times 10^{-6}$ m²/s.

6.2.2. Pérdidas Locales

Las conducciones que se utilizan en la práctica están compuestas por tramos rectos y curvos para ajustarse a la topografía del terreno, estos cambios y elementos que se incluyen en la conducción, originan pérdidas de carga en el sitio mismo de cada dispositivo. El cálculo de las pérdidas locales o pérdidas menores se han calculado con la siguiente expresión:

$$hl = K * \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde:

hl : Pérdida de carga local (m)

K : Coeficiente de pérdida (adimensional)

V : Velocidad media en la tubería en m/s

g : Aceleración de la gravedad en m/s²

La siguiente tabla (**Tabla 52**), proporciona los valores de K para algunos accesorios según (Saldarriaga, 2017).

Tabla 52.
Valores de K , coeficientes para pérdidas en accesorios

Accesorios	K
Válvula de compuerta, completamente abierta	0.20
Codos	Ver Figura 65
Retorno (curva en U)	2.20
Tee en sentido recto	0.30
Tee a través de la salida lateral	1.80
Unión	0.30
Ye de 45°, en sentido recto	0.30
Ye de 45°, salida lateral	0.80
Entrada recta a tope	0.50
Entrada con boca acampanada	0.10
Entrada con tubo reentrante	0.90
Salida	1.00

Fuente: *Hidráulica de tuberías, Abastecimiento de agua, redes, riego, 2007*

El coeficiente de pérdida de carga para los codos se obtuvo de la **Figura 65** de la Hidráulica de Sotelo, el mismo que permite obtener el coeficiente C_c para curvas de diámetro constante en tubos lisos y rugosos.

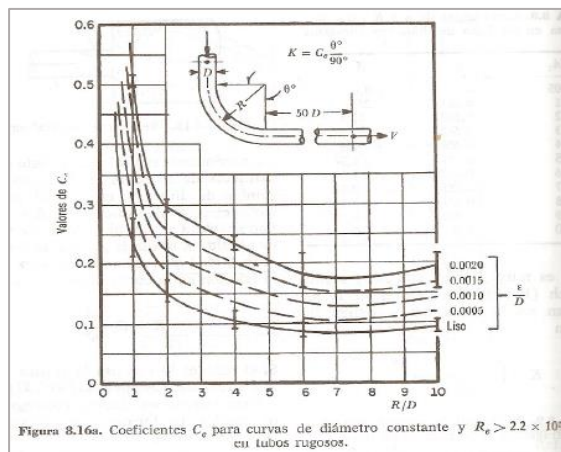


Figura 65. Coeficiente de pérdida de carga para codos

Fuente: (Sotelo, 1997)

Para codos diferentes a 90 grados se aplicó la corrección del coeficiente de pérdida en función de la deflexión que nos permita encontrar el K del codo.

$$K = Cc * FACTOR$$

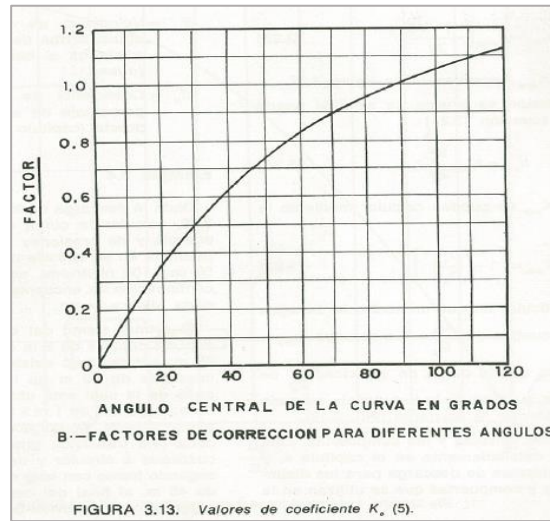


Figura 66. Coeficiente de corrección para codos en función de la deflexión

Fuente: (Sotelo, 1997)

Para la simulación matemática en la herramienta WaterCAD Vi8, se consideró la suma de los valores de K de los accesorios en los diferentes tramos conducciones estudiadas. Los valores de K se encuentran detallados en el Anexo 7.

6.3. Método de cálculo y parámetros de diseño

El diseño de las redes matriz de Agua Potable se realiza a través de un modelo matemático con ayuda de la herramienta computacional WaterCAD Vi8, por las características que tiene el programa ya mencionadas en el capítulo 4.

Para la evaluación del modelo matemático se ha considerado:

- La Ecuación de Darcy-Weisbach
- El coeficiente de pérdidas propio de cada conducción
- Los diámetros internos de la tubería de PVC clase 1.25 MPa
- La rugosidad absoluta de 0.0015 para tuberías de PVC y 0,07 mm para tuberías metálicas.
- Los caudales de abastecimientos a los tanques (máximos diarios en el año 2043)
- Nivel mínimo tanque superior
- Nivel máximo tanque de llegada
- Perdidas máximas en la conducción
- Tomar en cuenta las máximas pérdidas locales

Los cálculos consideran los parámetros de diseño que se presentan en la **Tabla 53**, para la simulación de las conducciones matrices a los tanques.

Tabla 53.

Parámetros técnicos para el cálculo de las Conducciones matrices a los Tanques

Parámetros	Unidad	Valor
Diámetros mínimos internos de tubería D nominal 315 mm	mm	285
Diámetros mínimos internos de tubería D nominal 500 mm	mm	452,40
Rugosidad tubería de PVC	mm	0,015
Caudales máximos diarios año 2018		
Caudal al tanque Constructora	l/s	31,99
Caudal al tanque Palestina	l/s	53,47
Caudal al tanque La Isla	l/s	14,72
Caudal al tanque Victoria León	l/s	29,56
Caudales máximos diarios año 2043		
Caudal al tanque Constructora	l/s	33,98

CONTINUA →

Caudal al tanque Palestina	l/s	62,07
Caudal al tanque La Isla	l/s	24,26
Caudal al tanque Victoria León	l/s	48,70
K pérdidas menores Rosal – ye Constructora	-	2,10
K pérdidas menores ye Constructora – tanque Constructora	-	1,97
K pérdidas menores ye Palestina – tanque Palestina	-	1,97
K pérdidas menores ye Constructora – tanque Victoria de León	-	2,01
K pérdidas menores ye La Isla – tanque La Isla	-	4,70
Ecuación hidráulica	-	Darcy-Weisbach

6.4. Resultados de la modelación de las conducciones

A continuación se detalla los resultados obtenidos de las conducciones matrices, con los caudales máximos diarios año 2043 de cada zona.

Para optimizar el sistemas se ha planteado que el tanque Palestina también se encuentre conectado al tanque de carga El Rosal, con el objeto de asegurar que las zonas altas no se queden sin agua, ya que la planta de tratamiento de la Palestina tiene ya varios años, por lo que no se descarta que en algún momento pueda presentar problemas y se corte la distribución a estos sectores.

Los resultados de la modelación del tramo desde el tanque El Rosal a la derivación a Palestina y a su vez el tramo hasta el tanque Palestina, se presentan en la **Tabla 54** en el que se indica la altura remanente que debería ser consumida por la válvula reguladora de caudal mediante un cierre parcial, que es de 8,42 m. En la **Figura 67** se puede observar el perfil completo de la conducción al tanque palestina. Los resultados de la modelación de las conducciones se detallan en el Anexo 8.

Tabla 54.
Resultados de la conducción a tanque Palestina

Descripción	Unidad	Valor
El Rosal – Derivación Palestina		
Nivel mínimo de operación	(msnm)	1024,00
Caudal	(l/s)	169,01
Diámetro tubería	(mm)	500
Velocidad	(m/s)	1,05
Pérdida de carga total	(m)	13,01
Línea energía	(msnm)	1010,99
Derivación Palestina – Tanque Palestina		
Nivel máximo de operación	(msnm)	1000,15
Caudal	(l/s)	62,07
Diámetro tubería	(mm)	315
Velocidad	(m/s)	0,91
Pérdida de carga total	(m)	15,43
Línea energía	(msnm)	1008,57
Altura remanente	(m)	8,42

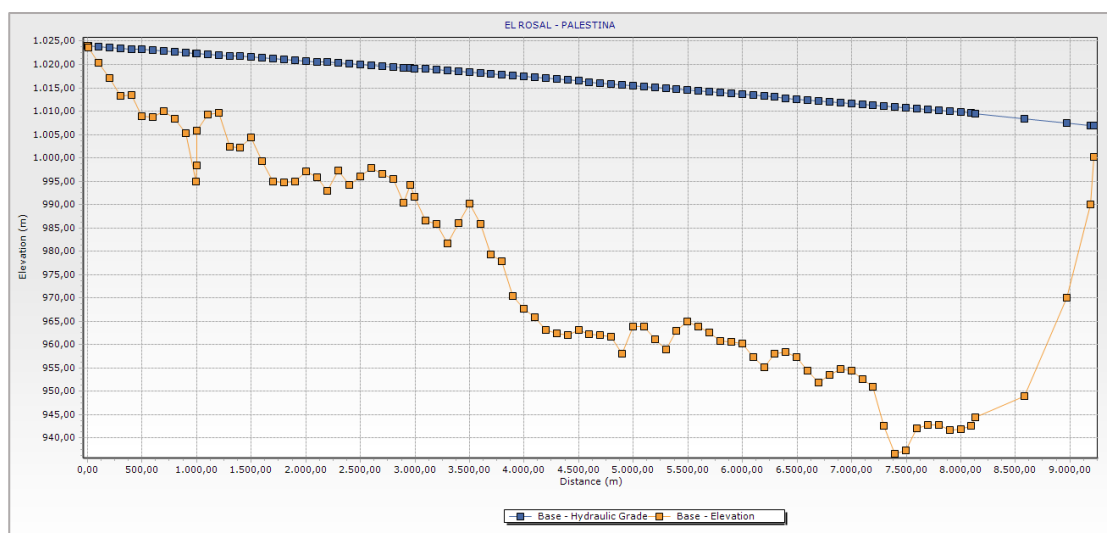


Figura 67. Perfil de conducción desde El Rosal a Palestina

En la **Tabla 55** se presenta los resultados obtenidos en la conducción al tanque Constructora, obteniendo una altura remanente de 29,27 m.

Tabla 55.
Resultados de la conducción a tanque Constructora

Derivación Constructora– Tanque Constructora		
Nivel máximo de operación	(msnm)	980,92
Caudal	(l/s)	33,98
Diámetro tubería	(mm)	315
Velocidad	(m/s)	0,50
Pérdida de carga total	(m)	13,91
Línea energía	(msnm)	1010,19
Altura remanente	(m)	29,27

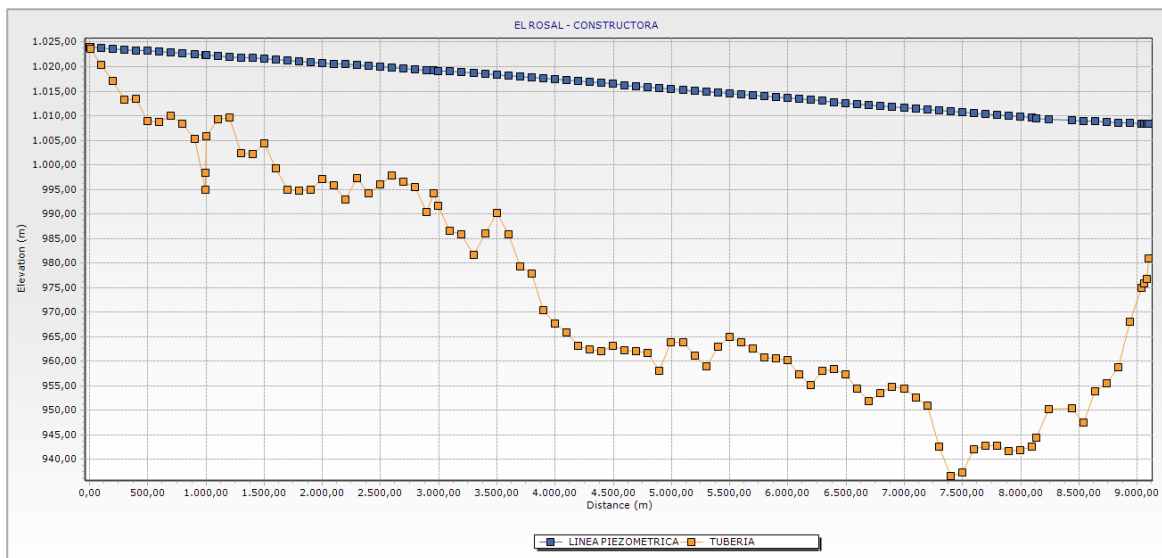


Figura 68. Perfil de conducción desde El Rosal a Constructora

En la **Tabla 56** se presenta los resultados obtenidos en la conducción al tanque Victoria de León, obteniendo una altura remanente de 35,83 m. y en la **Figura 69** se puede observar el perfil de la conducción de dicho tanque.

Tabla 56.
Resultados de la conducción a tanque Victoria de León

Derivación Constructora – Tanque Victoria de León		
Nivel máximo de operación	(msnm)	971,47
Caudal	(l/s)	48,70
Diámetro tubería	(mm)	315
Velocidad	(m/s)	0,73
Pérdida de carga total	(m)	16,70
Línea energía	(msnm)	1007,30
Altura remanente	(m)	35,83

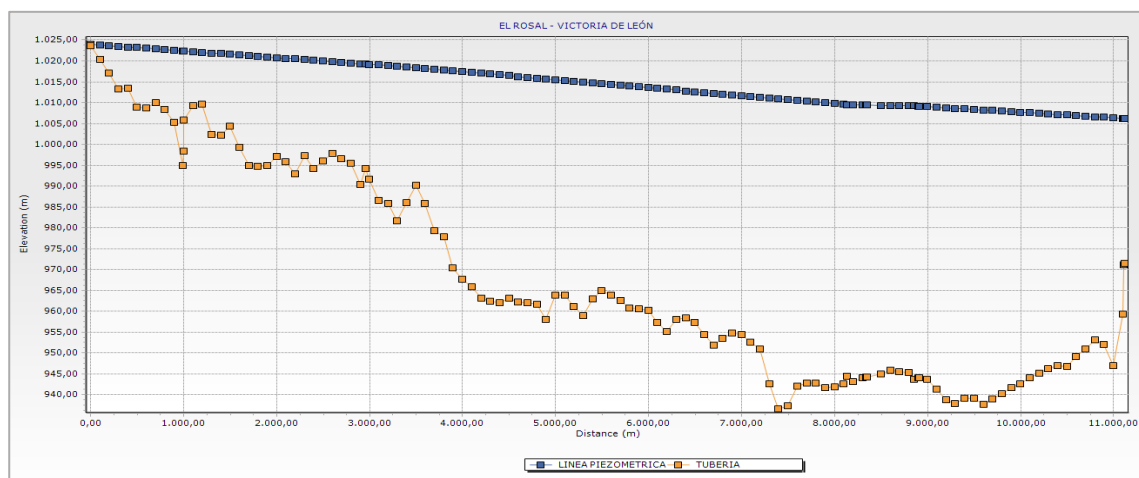


Figura 69. Perfil de conducción desde El Rosal a Victoria de León

En la **Tabla 56** se presenta los resultados obtenidos en la conducción al tanque La Isla, obteniendo una altura remanente de 38,91 m. y en la **Figura 70** se puede observar el perfil de la conducción de dicho tanque.

Tabla 57.
Resultados de la conducción a tanque La Isla

Derivación La Isla – Tanque La Isla		
Nivel máximo de operación	(msnm)	970,18
Caudal	(l/s)	24,26
Diámetro tubería	(mm)	315
Velocidad	(m/s)	0,37
Pérdida de carga total	(m)	14,91
Línea energía	(msnm)	1009,09
Altura remanente	(m)	38,91

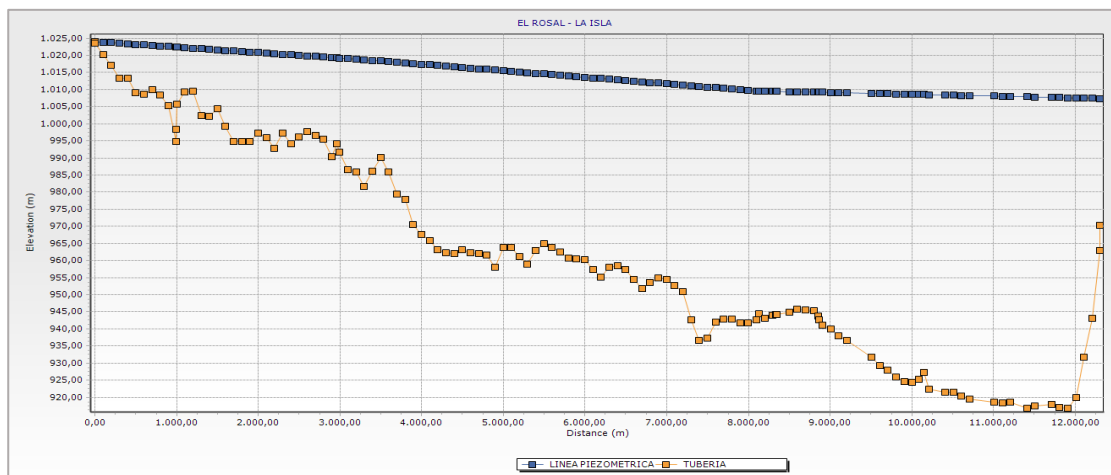


Figura 70. Perfil de conducción desde El Rosal a La Isla

Como se pudo ver, los valores de alturas remanentes son superiores a 8 m, de manera que teóricamente cada ramal podría manejar caudales mayores a los indicados. En conclusión se ha comprobado que las conducciones están en capacidad de transportar el caudal máximo diario hasta el final de periodo de diseño (año 2043).

En la **Figura 71** se puede observar los resultados de la modelación en cada tramo de las conducciones hacia cada uno de los tanques de almacenamiento.

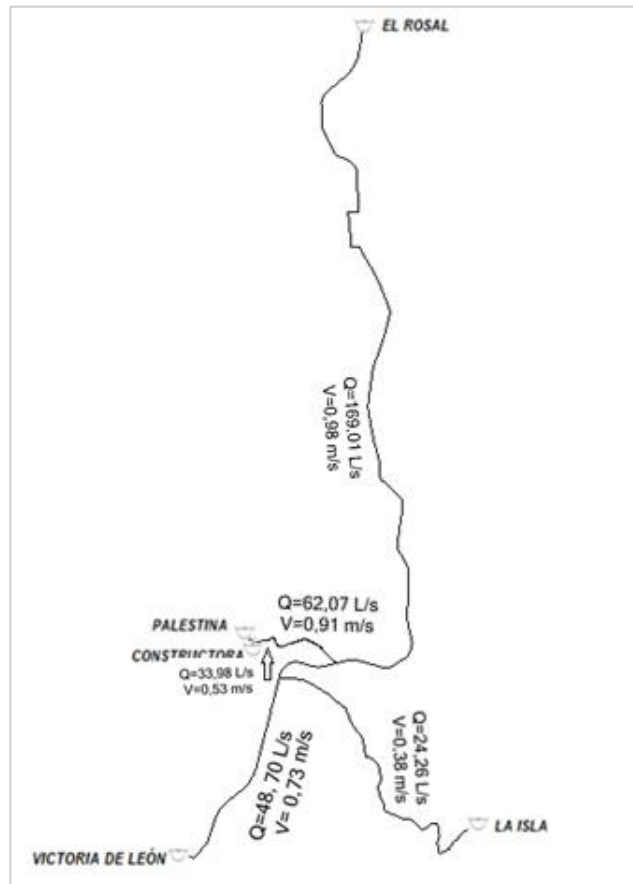


Figura 71. Resultados modelación de conducciones

6.5. Válvulas de control de caudal

Las válvulas de control de caudal, como su nombre lo dice, tiene la función de regular el caudal que se envía a cierta línea de la conducción del sistema de distribución, dicha válvula dispone un orificio de área variable, que modifica la pérdida de carga, por lo que solo deja pasar una porción del caudal de entrada, ya que el orificio va a presentar una restricción al paso del flujo. Para dimensionar una válvula de control es necesario analizar la capacidad (K_v) de la válvula, la velocidad y el porcentaje de apertura de la misma.

Para seleccionar el diámetro de la válvula de control se debe calcular el coeficiente de capacidad de flujo requerido por la válvula, K_v , para el caudal máximo y las presiones inmediatamente aguas arriba y aguas abajo de la válvula.

El coeficiente de la válvula se calcula mediante la ecuación:

$$K_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P/S}}$$

Dónde:

K_v : Coeficiente de caudal de la válvula (flujo en m³/h a 1bar de presión diferencial)

Q: Caudal a considerar, en m³/h

ΔP : Diferencia de presión a través de la válvula de control, en bar.

Seleccionado el diámetro de la válvula se debe verificar que la velocidad máxima de flujo que pasa a través de ella, no sobrepase el límite máximo recomendado por el fabricante, este valor suele ser de 4,5 m/s. En caso contrario se incrementará el diámetro hasta reducir la velocidad a un valor aceptable.

Habiendo escogido el diámetro de la válvula de control y verificado la velocidad que pasara a través de esta, por último se debe encontrar el porcentaje de apertura de la misma, utilizando las catálogos del fabricante de la válvula seleccionada.

6.5.1. Dimensionamiento de las válvulas de control de caudales

Para el dimensionamiento de las válvulas de control, se han aplicado los criterios mencionados en el apartado anterior, partiendo de los datos del caudal máximo horario de cada tanque al año

2043 y de la altura remanente, que es la altura que debe disipar la válvula para que pase el caudal exigido.

La altura remanente es la diferencia entre la línea piezométrica y el nivel máximo de agua del tanque al que se va a entregar. En la **Tabla 58** se puede observar los datos de la altura remanente de cada tanque de almacenamiento.

Tabla 58.
Altura remanente en tanques de almacenamiento

Tanques de Almacenamiento	Nivel mínimo de Operación (msnm)	Nivel máximo de Operación (msnm)	Línea de energía	Altura remanente
El Rosal	1024,00	1028,69	1024,00	
La Constructora	976,92	980,92	1010,19	29,27
La Isla	966,00	970,18	1009,09	38,91
Victoria de León	967,47	971,47	1007,30	35,83
Palestina	996,15	1000,15	1008,57	8,42

La **Tabla 59** resume los resultados del cálculo del coeficiente de capacidad de flujo necesario para las válvulas de cada uno de los tanques.

Tabla 59.
Direccionamiento de válvulas de control de caudal

Tanque	Constructora	La Isla	Victoria de León	Palestina
No. Válvula	VRC-1	VRC-2	VRC-3	VRC-4
Q (l/s)	33,98	24,26	48,70	62,07
Q (m ³ /h)	122,31	87,33	175,31	223,45
Altura remanente (m)	29,27	38,91	35,83	8,42
Altura remanente (bar)	2,93	3,89	3,58	0,84
Kv (m ³ /h/√bar)	71,49	44,27	92,61	243,52

Se ha seleccionado válvulas BERMAD tipo globo bridadas, debido a su reconocido prestigio además por ser económicas, con disposición vertical en Y y asiento tipo V port. En la **Figura 72** se puede observar los diámetros de esta válvula en función del coeficiente de capacidad, Kv, según el catalogo del fabricante.

	DN	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450
700-ES En "Y" Disco plano	Kv	54	57	60	65	145	215	395	610	905	1,520	N/A	2,250	N/A
	K	1.4	3.0	7.8	15.2	7.5	8.3	5.1	6.7	7.5	5.5	N/A	7.9	N/A
	Leq - m	2.8	7.5	25.3	60.8	37.3	51.7	38.1	96.3	138.4	126.8	N/A	253.6	N/A
700-ES En "Y" Tapón regulador (V-Port)	Kv	46	48	51	55	123	183	336	519	769	1,292	N/A	2,027	N/A
	K	1.9	4.3	10.8	21.2	10.4	11.4	7.0	9.3	10.4	7.6	N/A	9.8	N/A
	Leq - m	3.8	10.6	34.9	84.9	51.8	71.4	52.7	133.0	191.7	175.5	N/A	312.4	N/A

Figura 72. Diámetro de válvula en función del Kv

Fuente: Catalogo válvula BERMAD

En la Tabla 60 se encuentra las características de las válvulas seleccionadas para cada tanque, donde los diámetros fueron elegidos según el coeficiente de capacidad, Kv, y cumpliendo que la velocidad del flujo que va a transitar por la válvula no supere los 4,5 m/s.

Tabla 60.
Características técnicas de válvulas adoptadas

Tanque	Constructora	La Isla	Victoria de León	Palestina
No. Válvula	VRC-1	VRC-2	VRC-3	VRC-4
Serie	700-ES	700-ES	700-ES	700-ES
Tipo tapón	V-Port	V-Port	V-Port	V-Port
Diámetro (mm)	10	100	125	15
Área (mm ²)	7853,98	7853,98	12271,85	17671,46
A (m ²)	0,01	0,01	0,01	0,02
Q (m ³ /s)	0,03	0,02	0,05	0,06
V (m/s)	4,33	3,09	3,97	3,51
Kv Calculado (m ³ /h/√bar)	71,49	44,27	92,61	243,52
Kv Fabricante (m ³ /h/√bar)	123	123	183	336
(Kv _{Calculado} /Kv _{Fabricante})	58%	36%	51%	72%
Porcentaje de apertura	60%	37%	51%	72%

En la tabla anterior también se determinó, los porcentajes de apertura de las válvulas adoptadas, para el paso de los caudales de diseño, este porcentaje se estableció a partir de la **Figura 73**.

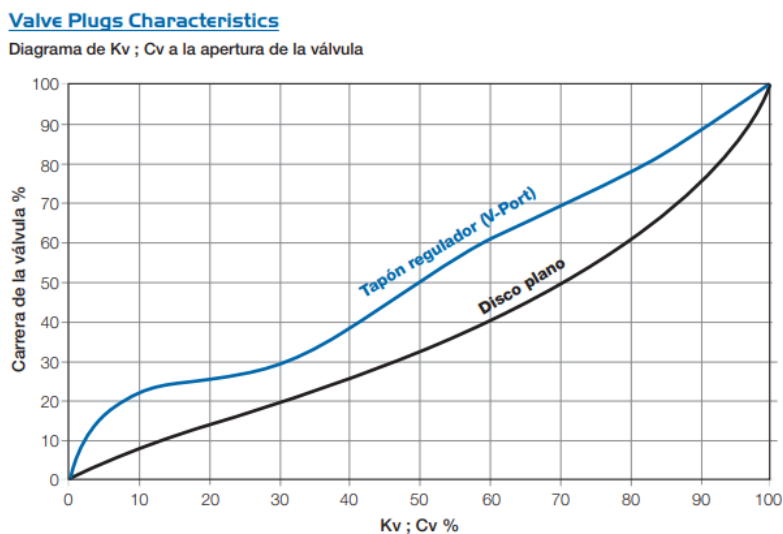


Figura 73. Porcentaje de apertura válvula

Fuente: Catalogo válvula BERMAD

Es necesario calcular las válvulas también para el caudal máximo diario del año 2018, para conocer en que rangos va estar el porcentaje de apertura de cada una de las válvulas por lo que en la presente **Tabla 61** se indica los resultados obtenidos de la modelación de las conducciones para ese año obteniendo la altura remanente con la que se ha calculado el coeficiente de capacidad de flujo.

Tabla 61.
Cálculo de válvulas al año 2018

Tanque	Constructora	La Isla	Victoria de León	Palestina
No. Válvula	VRC-1	VRC-2	VRC-3	VRC-4
Q (l/s)	31,99	14,72	29,56	53,47
Q (m ³ /h)	115,16	53,00	106,40	192,48
Línea de energía (m)	1014,95	1014,62	1014,17	1013,83

CONTINUA →

Altura remanente (m)	34,03	44,44	42,70	13,68
Altura remanente (bar)	3,40	4,44	4,27	1,37
Kv ($m^3/h/\sqrt{bar}$)	62,43	25,14	51,49	164,57
Diámetro (mm)	125	100	125	200
V (m/s)	4,07	1,87	2,41	3,03
Kv Fabricante ($m^3/h/\sqrt{bar}$)	123	123	183	336
($Kv_{Calculado}/Kv_{Fabricante}$)	51%	20%	28%	49%
Porcentaje de apertura	50%	27%	29%	60%

En la **Tabla 62** se puede observar los rangos en que fluctuara el porcentaje de apertura de cada válvula desde el año 2018 al 2043.

Tabla 62.
Porcentajes de apertura de las válvulas año 2018 al 2043

Tanque	Constructora	La Isla	Victoria de León	Palestina
No. Válvula	VRC-1	VRC-2	VRC-3	VRC-4
Porcentaje de apertura año 2018	50%	27%	29%	60%
Porcentaje de apertura año 2043	60%	37%	51%	72%

Para ubicar la cota de instalación de cada válvula, se debe chequear que la cavitación este en rangos normales.

Tabla 63.
Cota de instalación de las válvulas

Tanques de Almacenamiento	No. Válvula	Nivel de Válvula (msnm)	Presión aguas arriba (bar)	Presión aguas abajo (bar)
La Constructora	VRC-1	975,42	3,07	0,2
La Isla	VRC-2	964,50	4,2	0,4
Victoria de León	VRC-3	965,97	3,6	0,2
Palestina	VRC-4	994,65	1,39	0,55

En la **Figura 74** se muestran los puntos de operación de cada válvula, con respecto a la posible presencia de cavitación, observándose que todas presentan un rango de seguridad apropiado.

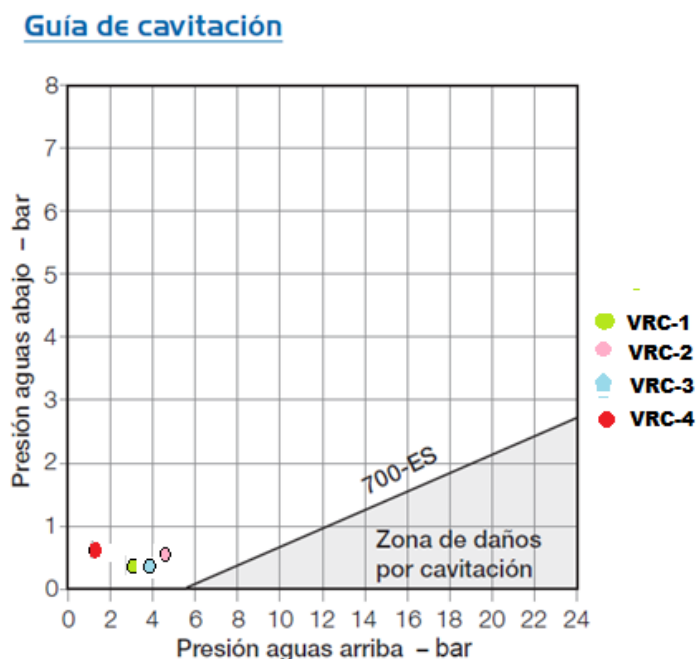


Figura 74. Guía de cavitación válvula BERMAD

Fuente: Catalogo válvula BERMAD

6.6. Diagnóstico de las conducciones matrices de distribución

En este punto se ha tratado de conocer el estado real de las conducciones matrices de distribución que parten desde el tanque de carga El Rosal y van a cada uno de los tanques de distribución. Para esto se realizó una campaña de medición de caudales y presiones, y mediante estos datos poder conocer las pérdidas reales que está habiendo en las conducciones.

En la **Tabla 64** se puede observar los resultados obtenidos en el primer tramo de la conducción que parte desde el tanque El Rosal y llega antes de la derivación al tanque la Constructora, exactamente en el puente de la Universidad Estatal Amazónica.

Tabla 64.
Caudales y presiones en la conducción Tanque El Rosal – Derivación Y1

Lugar:	El Rosal (punto 1)	Puente Universidad Estatal Amazónica (punto 2)		
Tubería:	500 mm (PVC)	500 mm (Acero al carbono)		
Equipo:	Greyline PTMF 1.0	NIVUS NivuSonic CO100P		
Hora	Caudal (l/s)	Presión (psi)	Caudal (l/s)	Diferencia de Caudal entre punto 1 y 2
12:00	207	100	196	11
12:05	207	100	196	11
12:10	207	100	196	11
12:15	212	100	198	14
12:20	211	100	195	16
12:25	213	100	197	16
12:30	207	100	195	12
12:35	211	100	195	16
12:40	212	100	196	16
12:45	211	100	196	15
12:50	213	100	197	16
12:55	212	100	196	16
13:00	217	100	196	21
13:05	217	100	197	20
13:10	215	100	197	18
13:15	210	100	198	12
13:20	212	100	197	15
13:25	211	100	198	13
13:30	213	100	196	17
13:35	210	100	196	14
13:40	210	100	200	10
13:45	214	100	198	16
13:50	213	100	199	14
13:55	210	100	196	14
14:00	212	100	195	17
14:05	214	100	197	17
14:10	211	100	195	16
14:15	210	100	194	16
14:20	211	99	193	18
15:00	213	96	189	24

CONTINUA →

15:05	189	96	190	-1
15:10	189	96	190	-1
15:15	187	96	190	-3
15:20	207	96	190	17
15:30	189	96	190	-1
15:35	190	96	189	1
15:40	208	96	188	20
15:45	209	96	190	19
15:50	209	96	190	19
15:55	205	96	190	15
16:00	206	96	188	18
16:05	190	96	191	-1
16:10	208	96	188	20
16:15	207	96	190	17
16:20	211	96	190	21
16:25	204	96	193	11
17:50	190	95	191	-1
17:55	189	95	192	-3
18:00	186	95	190	-4
18:05	183	95	192	-9
18:10	186	95	190	-4
18:15	187	95	192	-5
18:20	186	95	190	-4
18:25	187	95	190	-3
18:30	186	95	192	-6

Al analizar los resultados de la tabla anterior, se puede ver que existen diferencias en el caudal entre el primer y segundo punto de medición, lo que da una diferencia promedio de 10,98 l/s que se está perdiendo en este tramo de la conducción. Estas pérdidas se pueden deber a conexiones ilícitas, ya que se evidencio que en este tramo hay un barrio, por lo que se cree que sus habitantes tienen conexiones clandestinas.

A continuación se va a calcular las pérdidas de carga, en este tramo de la conducción mediante los datos de la **Tabla 65**, y así poder comparar las perdidas reales a las teóricas.

Tabla 65.
Datos de la conducción tanque El Rosal – Derivación Y2

Datos	
Caudal medido	190,2 l/s
Material de tubería	PVC
Diámetro nominal tubería	500 mm
Diámetro interno tubería	469 mm
Área de flujo	0,173 m ²
Longitud tubería	7528,25
Rugosidad	0,015 mm
Viscosidad cinemática	1,24 x 10 ⁻⁶ m ² /s
Presión medida	96 psi 67,49 m.c.a.

▪ **Cálculo de pérdidas teóricas**

- **Perdidas por fricción**

Para poder encontrar las pérdidas por fricción se ha utilizado la ecuación de Darcy-Weisbach, ya mencionada anteriormente.

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

Para utilizar esta ecuación antes necesitamos calcular la velocidad, el número de Reynolds y el factor de fricción.

- **Velocidad:**

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0,19 \text{ m}^3/\text{s}}{0,173 \text{ m}^2}$$

$$V = 1,101 \text{ m/s}$$

- *Número de Reynolds*

$$R_e = \frac{V * D}{\nu}$$

$$R_e = \frac{1,101 \text{ m/s} * 0,469 \text{ m}}{1,24 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$R_e = 415,076$$

- *Factor de fricción (por iteraciones)*

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.71} + \frac{2.51}{R_e * \sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0,014018$$

Habiendo calculado los datos necesarios, se procede a cálculo de las pérdidas por fricción con la siguiente ecuación:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2 * g}$$

$$h_f = 0,014018 * \frac{7528,25}{0,469} * \frac{1,101^2}{2 * 9,81}$$

$$h_f = 13,90 \text{ m}$$

- ***Pérdidas locales***

Para poder encontrar las pérdidas locales, del tramo de la conducción en análisis, se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$hl = K * \frac{V^2}{2 * g}$$

El coeficiente de pérdida de carga para los diferentes codos que se presentan en este tramo de la conducción es de 2,02.

$$hl = 2,02 * \frac{1,01^2}{2 * 9,81}$$

$$hl = 0,542 \text{ m}$$

Pérdidas de carga teóricas en la conducción tramo tanque El Rosal – Derivación Y1, es de 14,44m.

▪ ***Cálculo de pérdidas reales***

En la Tabla 66 se puede observar el cálculo de las pérdidas reales del tramo de conducción en análisis, empleando los datos de las mediciones de presiones del punto 1 al punto 2. El resultado nos dejar ver que hay más pérdidas en la realidad que en lo que se calculó teóricamente.

Tabla 66.***Pérdidas de carga reales en la conducción tanque El Rosal – Derivación Y2***

Medición	Punto 1	Punto 2
Elevación	1028,69 msnm	937,36 msnm
Presión medida	-	67,49 m.c.a.
Línea de energía	1028,69 msnm	1004,85msnm
Perdidas	23,84 m	

- Pérdidas de carga reales y teóricas en las líneas de conducción

A continuación, en la **Tabla 67**, se presenta un resumen que sintetiza los datos obtenidos de las mediciones de caudales y presiones en cada uno de los tramos de las conducciones, así como los resultados de las pérdidas de carga calculado. El procedimiento de medición completo y los resultados numéricos se adjuntan en el Anexo 9.

Tabla 67.***Pérdidas de carga reales y teóricas en las líneas de conducción***

Conducción	Caudal l/s	Presión psi	Perdidas reales m	Perdidas teóricas m	Diferencia m
Rosal – Y1	190,2	96	23,84	14,44	9,40
Y1 - Constructora	84,0	47	11,27	3,55	7,72
Y2 – San Vicente	122	19	26,06	18,91	7,15
Y3 – La Isla	40	65	7,67	2,,28	5,39

De los resultados obtenidos en la tabla anterior, se puede observar que hay una gran diferencia entre las pérdidas teóricas y las pérdidas reales, por esta razón se recomienda que EMAPAST realice un trabajo de detección de las acometidas clandestinas o el arreglo de fugas para evitar estas pérdidas de agua potable.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- Las encuestas realizadas permitieron constatar que la mayor parte de los encuestados cuentan con el servicio de agua potable y se supo que el costo mensual por el servicio no es muy alto comparado con otras ciudades del país, ya que el valor mensual promedio va desde los cuatro a seis dólares hasta máximo trece dólares, y a pesar de ellos muchas de las personas opinaron que el costo era caro sobre todo por la calidad del servicio. También se puede rescatar que muchos no tienen problemas con la disponibilidad del servicio, otros debido a que dispones de cisternas en sus hogares tampoco tienen problemas pero saben que algunos de sus vecinos si los tienen, y el resto de los encuestados, que en la mayoría fueron personas que habitan en zonas altas, opina que si tiene problemas ya que muchas veces no es suficiente la cantidad de agua que llega a sus casas o que en ocasiones hay interrupciones con el servicio que puede durar de uno a dos días.
- Luego de analizar en sistemas de distribución de agua potable actual de la ciudad del Puyo, se verifico que la ciudad ha ido creciendo desordenadamente, lo que ha causado que haya dos e incluso tres tuberías que pasen por la misma calle, esto se debe a que el municipio con el afán de resolver los problemas de distribución de agua, ha ido aumentando tuberías a la red, y en la mayoría de los casos sobredimensionadas, esto se puede evidenciar sobre todo en la zona baja norte. Esto no ha solucionado en nada el problema, ya que hasta el momento los habitantes de la ciudad se siguen quejando del mal servicio.

- De la modelación de los sectores de análisis se concluye que se ha logrado la optimización de la zona alta central y la zona baja mediante la sectorización y que esta facilitara un mejor control en las redes mediante las estructuras de control.
- Mediante las válvulas reguladoras de presión se ha logrados tener presiones dentro de los rangos de 15 a 45 m.c.a, esto garantiza un buen funcionamiento de la red.
- Las velocidades en las redes analizadas no superan los 3 m/s, lo que garantiza que no existirán futuros daños en las tuberías debido a la erosión de las mismas.
- Del diagnóstico de las conducciones matrices de distribución que van desde el tanque de carga El Rosal hasta cada uno de los tanques de distribución, se pudo observar, que las tuberías presentan fugas o disponen de tomas clandestinas que reducen el caudal en una magnitud que está en el rango de 10 l/s, y se pudo definir que las pérdidas de carga reales son mucho mayores que las perdidas teóricas.
- Al modelar las conducciones matrices de distribución que van a cada tanque de almacenamiento, se pudo ver que teóricamente cada ramal podría manejar caudales mayores a los indicados, ya que los valores de alturas remanentes fueron superiores a 5 m, por lo que se comprobó que las conducciones están en capacidad de transportar el caudal máximo diario hasta el final de periodo de diseño (año 2043).

7.2. Recomendaciones

- Plantear campañas de concientización del uso del agua, ya que se pudo ver que los habitantes tienden a derrochar el recurso.

- Se debe colocar macro medidores de flujo al comienzo de cada una de las redes seccionadas, para tener un control de los consumos de cada sector, esto sirve para la rápida detección de fugas que se pueden presentar en cada una de las redes.
- EMAPAST debe realizar un trabajo de detección de las acometidas clandestinas o el arreglo de fugas para evitar las pérdidas de agua potable que actualmente se está dando en la red.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AWWA. (2002). *Manual M23. PVC Pipe - Design And Installation*. Denver.

Beltrán Niño, A. L., & Abril Galindo, J. J. (Diciembre de 2014). *Análisis de la demanda y la red de distribución de agua en el Municipio de Aracataca, Colombia*. Obtenido de Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería : <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1757/1/Optimizaci%C3%B3n-Red-de-Distribuci%C3%B3n-Aracataca.pdf>

BERMAD. (2007). *Válvulas de control hidráulicas, Series 700, 700 ES y 800*. Obtenido de <http://breeze.wee.co.il/BCWeb/Catalog/Spanish/WW-Cat.pdf>

Cabrera, E., Esperet, V., Martínez, F., García-Serra, J., Andrés, M., & García, M. (1996). *Ingeniería Hidráulica Aplicada a los Sistemas de Distribución de Agua. Volumen 1*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

Campaña Quisaguano, J. L., & Ortega Quiñónez, W. M. (27 de abril de 2016). *Evaluación de la red de distribución de Agua Potable para determinar pérdidas y fugas de la Urbanización La Colina del Cantón Rumiñahui*. Obtenido de Repositorio Digital - EPN: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15217>

CBS Ingeniería. (2017). *Consultoría de optimización en base al mapeo y sectorización del subsistema 1 del sistema de agua potable ciudad de la ciudad de Puyo*. Quito.

CONAGUA. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Conducciones*. México: Comisión Nacional del Agua.

CONAGUA. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable*. México: Comisión Nacional del Agua .

Cruz, L. L. (2012). *Sistema de red de distribución de agua potable Zona Salluca Comunidad Locka* . La Paz: Universidad Mayor de San Andrés. Facultad de tecnología construcciones civiles .

GAD Municipal del Cantón Pastaza. (Abril de 2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del canton pastaza*. Obtenido de GAD Municipal del Cantón Pastaza:
http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/portal_sni/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1660000250001_pdyot%20canton%20pastaza_19-04-2015_23-45-18.pdf

GADM del Cantón Pastaza. (2017). *Historia de Puyo*. Obtenido de GADM del Cantón Pastaza:
<https://puyo.gob.ec/historia-puyo/>

Gómez Otero, I. (2010). *Diseño de sistemas de acueducto y alcantarillado basados en la norma técnica colombiana RAS - 2000*. Cali: Javeriano.

Güilcazo, C. P. (2012). *Factores que influyen la escasez del agua potable y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes de la comunidad el Tejar de la parroquia La Victoria, Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador. (2015). *Boletín climatológico semestral 2015*. Quito.

Mateos de Vicente, M. (2000). *Válvulas reductoras de presión. Clasificación, descripción, errores y soluciones*. Madrid: Dellisco.

McGhee, T. (2000). *Abastecimiento de agua y alcantarillado. Ingeniería ambiental*. Mexico: McGraw Hill.

Nasimba, J. (2017). *Evaluación y rediseño del sistema de agua potable entre el parque central de Cotogchoa y la Cooperativa Eloy Alfaro, Cantón Rumiñahui*. (Tesis de pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE. Sangolquí .

Palma, A. M. (2013). *Las aguas negras y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes del barrio Juan Montalvo, sector de los trabajadores municipales del Catón Puyp Provincia de Pastaza*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato.

Prieto, C. J. (2004). *El Agua: Sus formas, Efectos, Abastecimientos, Usos, Daños, Control y Consercación*. Bogotá: Eco Ediciones.

Saldarriaga, J. (2017). *Hidráulica de tuberías : abastecimiento de agua, redes, riegos*. Alfaomega.

Sanchez, Y. M. (2014). *Obtenido de Modelamiento computarizado de sistemas de distribución de agua. Aplicación de WaterCAD Vi8:*

https://issuu.com/engcaos/docs/modelamiento_computarizado_watercad

Sandoval, W. (2013). *Principios de la Hidráulica 2*. Quito: EDI ESPE.

- Segovia, O. I. (2016). *“Levantamiento y digitalización de la red principal, secundaria de agua potable y sus componentes comprendido en los barrios El Recreo, Las Palmas y Cooperativa Plaza Aray de la ciudad de Puyo, Cantón y Provincia de Pastaza, aplicando un software especial.* (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato.
- SENAGUA. (1992). *Normas para el estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposiciones de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.* Quito-Ecuador.
- Sotelo, G. (1997). *Hidráulica General. Volumen 1 Fundamentos.* México D.F.: Limusa.
- Unidad Docente Mecánica de Fluidos. (1996). *Ingeniería Hidráulica. Aplicada a los sistemas de distribución de agua.* Valencia: Universidad Politecnica de Valecia.
- Zubieta Nuñez, A. C. (2007). *Proyecto de sectorización para el mejoramiento de la oferta de agua potable en la zona piloto del Barrio Buenos Aires - Sullana - Piura.* Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Nacional de Ingeniería:
<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/12037>