



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“EVALUACIÓN DE LA LÍNEA PRINCIPAL DE
CAPTACIÓN Y MODELACIÓN HIDRAÚLICA DEL
SISTEMA DE AGUA DE CONSUMO HUMANO DE LA
CABECERA PARROQUIAL DE CALPI. PROPUESTAS DE
MEJORA”**

FIALLOS AVILA KAREN LIZBETH

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA MECÁNICA

RIOBAMBA – ECUADOR

2019

ESPOCH

Facultad de Mecánica

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2018-10-04

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

FIALLOS AVILA KAREN LIZBETH

Titulado:

“EVALUACIÓN DE LA LÍNEA PRINCIPAL DE CAPTACIÓN Y MODELACIÓN
HIDRÁULICA DEL SISTEMA DE AGUA DE CONSUMO HUMANO DE LA
CABECERA PARROQUIAL DE CALPI. PROPUESTAS DE MEJORA”

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERA MECÁNICA


Ing. Carlos Santillán Mariño
DECANO FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:


Ing. Nelson Chuquín Vasco
DIRECTOR


Ing. Fabián Bastidas Alarcón
MIEMBRO

ESPOCH

Facultad de Mecánica



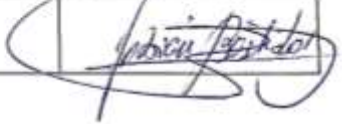
EXAMINACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: FIALLOS AVILA KAREN LIZBETH

TRABAJO DE TITULACIÓN: “EVALUACIÓN DE LA LÍNEA PRINCIPAL DE CAPTACIÓN Y MODELACIÓN HIDRAÚLICA DEL SISTEMA DE AGUA DE CONSUMO HUMANO DE LA CABECERA PARROQUIAL DE CALPL. PROPUESTAS DE MEJORA”

Fecha de Examinación: 2019-04-18


RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Edwin Viteri Núñez PRESIDENTE TRIB. DEFENSA	✓		
Ing. Nelson Chuquín Vasco DIRECTOR	✓		
Ing. Fabián Bastidas Alarcón MIEMBRO	✓		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.



Ing. Edwin Viteri Núñez
PRESIDENTE TRIB. DEFENSA

DERECHOS DE AUTORÍA

El Trabajo de Titulación que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Fiallos Avila Karen Lizbeth

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Fiallos Avila Karen Lizbeth, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación.



Fiallos Avila Karen Lizbeth
Cedula de Identidad: 060618055-2

DEDICATORIA

A mis padres que lucharon todos los días para que no me faltara nada, a mis hermanos que siempre estuvieron a mi lado, a quien se mantuvo creyendo en mí desde el principio y a todas las personas que construyeron mi camino...

A ti que conoces las noches de desvelo, el sacrificio y la dedicación: estas en el punto culminante de tu carrera y es tiempo de alzar el vuelo. Continúa trabajando por tus sueños que todavía falta mucho, ¡Confía en ti! ...

Karen Fiallos Avila.

AGRADECIMIENTO

Agradezco con el corazón en la mano a la fuerza que ha permitido mantenerme constante en la lucha diaria por alcanzar mis sueños; a mi madre por enseñarme que, siendo firme, correcta y una mujer con convicción se pueden alcanzar grandes cosas en medio de cualquier tempestad.

Agradezco también el apoyo recibido para la realización de este estudio a la Unidad de Desarrollo Rural Integral del Municipio de Riobamba en nombre de la Ing. Kelvi Heredia con su equipo de trabajo y a la Junta de Agua Potable de la Parroquia Santiago de Calpi representado por el Sr. Homero Moyano por las facilidades brindadas.

Agradezco sinceramente el soporte que representó para mí durante los últimos meses el Grupo de Investigación en Seguridad, Ambiente e Ingeniería de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH quienes supieron guiarme en todo momento con su valiosa experiencia, de forma especial al Ing. Santiago Chuquín y al Ing. Juan Pablo Chuquín que se mantuvieron constantes en el desarrollo del proyecto.

¡Dios les pague!

Karen Fiallos Avila.

CONTENIDO

Pág.

RESUMEN ABSTRACT

CAPÍTULO I

1.	MARCO REFERENCIAL.....	1
1.1.	Antecedentes.....	1
1.2.	Planteamiento del Problema	3
1.3.	Justificación.....	4
1.4	Objetivos.....	5
<i>1.4.1</i>	<i>Objetivo General</i>	<i>5</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>5</i>

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	6
2.1.	Flujo en tuberías	6
<i>2.1.1.</i>	<i>Presión</i>	<i>6</i>
<i>2.1.2.</i>	<i>Rugosidad.....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.3.</i>	<i>Ecuación de Continuidad</i>	<i>8</i>
<i>2.1.4.</i>	<i>Principio de Bernoulli.....</i>	<i>10</i>
<i>2.1.4.1.</i>	<i>Pérdidas Primarias.....</i>	<i>11</i>
<i>2.1.4.2.</i>	<i>Pérdidas Secundarias</i>	<i>13</i>
2.2.	Agua para el consumo humano.....	14
<i>2.2.1.</i>	<i>Calidad del agua potable.....</i>	<i>14</i>
<i>2.2.2.</i>	<i>Agua domiciliaria, nivel de servicio y salud</i>	<i>14</i>
2.3.	Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable	17
<i>2.3.1.</i>	<i>Captación</i>	<i>18</i>
<i>2.3.2.</i>	<i>Transporte</i>	<i>19</i>
<i>2.3.2.1.</i>	<i>Conducción por gravedad.....</i>	<i>19</i>
<i>2.3.2.2.</i>	<i>Conducciones a presión.....</i>	<i>20</i>
<i>2.3.3.</i>	<i>Tratamiento.....</i>	<i>20</i>
<i>2.3.4.</i>	<i>Almacenamiento y distribución de Agua Potable.....</i>	<i>21</i>
2.4.	Sistemas de Abastecimiento de Agua y Modelos Hidráulicos	21
<i>2.4.1.</i>	<i>Diseño/rediseño de sistemas de agua potable</i>	<i>22</i>

2.4.2.	<i>Estudios Preliminares</i>	23
2.4.2.1.	<i>Datos de Topografía</i>	23
2.4.2.2.	<i>Estudio de la demanda (Caudal de diseño)</i>	25
2.4.2.3.	<i>Evaluación de fugas</i>	27
2.4.3.	<i>Modelación hidráulica: EPANET</i>	30
2.4.3.1.	<i>Interfaz y elementos básicos</i>	30
2.4.3.2.	<i>Alcance de la simulación</i>	32
2.5.	<i>Santiago de Calpi</i>	32
2.5.1.	<i>Características Generales.</i>	32
2.5.2.	<i>Distribución política</i>	33
2.5.3.	<i>Demografía</i>	33
2.5.4.	<i>Principales actividades Socio Económicas</i>	34
2.5.5.	<i>Estadísticas de acceso a servicios básicos</i>	35
CAPÍTULO III		
3.	<i>MÉTODOS Y TÉCNICAS</i>	36
3.1.	<i>Línea de Captación</i>	36
3.1.1.	<i>Generalidades</i>	36
3.1.2.	<i>Elementos constitutivos de la red y parámetros actuales</i>	37
3.1.2.1.	<i>Línea Antigua</i>	37
3.1.2.2.	<i>Línea Nueva</i>	38
3.1.2.3.	<i>Línea en conjunto</i>	40
3.1.2.4.	<i>Tiempo de Simulación</i>	41
3.1.3.	<i>Esquema de la red actual</i>	41
3.1.4.	<i>Caudales del Sistema</i>	43
3.1.5.	<i>Problemas detectados</i>	46
3.1.6.	<i>Modelación Hidráulica Mediante Epanet</i>	47
3.1.6.1.	<i>Recopilación y procesamiento de Información</i>	47
3.1.6.2.	<i>Proyecto en ArcView</i>	51
3.1.6.3.	<i>Archivo Epanet</i>	52
3.2.	<i>Red de Distribución.</i>	53
3.2.1.	<i>Generalidades</i>	53
3.2.2.	<i>Estudio en campo: Red de Distribución.</i>	56
3.2.2.1.	<i>Encuesta para consumo Residencial</i>	57
3.2.2.2.	<i>Encuesta para Otros Consumos</i>	64
3.2.2.3.	<i>Parámetros Extraídos del Estudio</i>	66
3.2.3.	<i>Elementos constitutivos de la red y parámetros actuales</i>	66
3.2.3.1.	<i>Tiempo de simulación</i>	66

3.2.3.2.	<i>Tanques</i>	66
3.2.3.3.	<i>Tuberías</i>	69
3.2.3.4.	<i>Otros elementos</i>	69
3.2.3.5.	<i>Caudal Inyectado a la red</i>	69
3.2.3.6.	<i>Demanda Base</i>	71
3.2.3.7.	<i>Fugas</i>	73
3.2.4.	<i>Problemas detectados</i>	73
3.2.5.	<i>Modelación Hidráulica Mediante Epanet</i>	74
3.2.5.1.	<i>Recopilación y procesamiento de Información</i>	74
3.2.5.2.	<i>Proyecto en ArcView</i>	76
3.2.5.3.	<i>Archivo Epanet</i>	76
CAPÍTULO IV		
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
4.1.	Línea de Captación	82
4.1.1.	<i>Evaluación de la Situación Actual</i>	82
4.1.1.1.	<i>Diagnóstico</i>	87
4.1.2.	<i>Propuestas de Mejora</i>	87
4.1.2.1.	<i>Simulación Escenario 1</i>	88
4.1.2.2.	<i>Simulación Escenario 2</i>	90
4.1.2.3.	<i>Simulación Escenario 3</i>	96
4.1.3.	<i>Toma de decisiones</i>	99
4.1.4.	<i>Propuesta final</i>	99
4.1.4.1.	<i>Tipo de Tubería y Diámetro</i>	100
4.1.4.2.	<i>Accesorios</i>	101
4.1.4.3.	<i>Estudio de Transitorios</i>	103
4.1.4.4.	<i>Válvula Reguladora de Presión</i>	111
4.1.4.5.	<i>Detalle de las Líneas</i>	112
4.1.4.6.	<i>Simulación final</i>	116
4.1.4.7.	<i>Recomendaciones para la instalación</i>	117
4.2.	Red de Distribución	118
4.2.1.	<i>Evaluación de la Situación Actual</i>	118
4.2.1.1.	<i>Caudales</i>	118
4.2.1.2.	<i>Velocidades</i>	120
4.2.1.3.	<i>Pérdidas</i>	122
4.2.1.4.	<i>Presiones</i>	122
4.2.1.5.	<i>Diagnóstico</i>	124
4.2.2.	<i>Propuestas de Mejora</i>	124

4.2.2.1. <i>Estudio de caudales</i>	124
4.2.2.2. <i>Control de Tanques</i>	126
4.2.2.3. <i>Problemas de Presión</i>	127
5. CONCLUSIONES.	131
6. RECOMENDACIONES	133

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2: Índice de aumento anual de la rugosidad	8
Tabla 2-2: Límites comunes para definir el tipo de flujo.....	10
Tabla 3-2: Velocidades de flujo recomendada en sistemas de potencia de fluido	10
Tabla 4-2: Valores comunes del coeficiente C para la ecuación de Hazen-Williams	12
Tabla 5-2: Criterios de aceptabilidad del agua potable.....	14
Tabla 6-2: Consumos mínimos por persona para sistemas a mediano plazo	15
Tabla 7-2: Impacto del nivel de servicio de agua en la salud	16
Tabla 8-2: Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua	16
Tabla 9-2: Dotación futura de agua para los diferentes niveles de servicio	17
Tabla 10-2: Presiones recomendadas en sistemas de agua para domicilios	17
Tabla 11-2: Caudales de diseño para los elementos de un sistema de agua potable	26
Tabla 12-2: Valores experimentales para el exponente de fugas.	28
Tabla 13-2: Elementos en los modelos de Epanet	31
Tabla 14-2: Algunos estudios que se pueden hacer en Epanet	32
Tabla 15-2: Distribución por edades y género de la parroquia Calpi.....	33
Tabla 1-3: Línea Antigua Propiedades	37
Tabla 2-3: Línea Nueva Propiedades	38
Tabla 3-3: Línea en conjunto. Propiedades	40
Tabla 4-3: Ubicación de los elementos principales	42
Tabla 5-3: Procedo para Medición de Caudales.	45
Tabla 6-3: Caudales del sistema.....	46
Tabla 7-3: Elementos añadidos al modelo Epanet.....	52
Tabla 8-3: Resultados de la Encuesta a Otros Consumidores.....	65
Tabla 9-3: Depósito 1 Propiedades	67
Tabla 10-3: Depósito 2 Propiedades	68
Tabla 11-3: Depósito 3 Propiedades	68
Tabla 12-3: Medición de caudales a la entrada de los tanques.	70
Tabla 13-3: Mediciones de consumo diario familiar.	71
Tabla 14-3: Asignación de Demandas Base para otros consumidores.....	72
Tabla 15-3: Resumen del cálculo de Fugas.	81

Tabla 1-4: Parámetros para el cálculo de Pérdidas Primarias en la Línea Antigua.	90
Tabla 2-4: Cálculo de la longitud de menor tamaño en la Línea Antigua.	91
Tabla 3-4: Ventajas y Desventajas del Escenario 2-1.	94
Tabla 4-4: Ventajas y Desventajas del Escenario 2-2.	96
Tabla 5-4: Diámetros interiores para tubería tipo Biax de 110 mm.	97
Tabla 6-4: Ventajas y Desventajas del Escenario 2-2.	98
Tabla 7-4: Denominación del detalle en el proyecto.	99
Tabla 8-4: Diámetros interiores para tubería tipo Biax de 160 mm.	100
Tabla 9-4: Especificaciones para las tuberías del proyecto.	101
Tabla 10-4: Resultados del cálculo permanente en Allievi.	104
Tabla 11-4: Presiones mínimas en estado transitorio para L1.	105
Tabla 12-4: Presiones mínimas en estado transitorio para L2.	106
Tabla 13-4: Presiones mínimas en estado transitorio para L2.	107
Tabla 14-4: Ubicación de las ventosas.	108
Tabla 15-4: Presiones mínimas en estado transitorio para L2.	108
Tabla 16-4: Posición y elevación de los nodos en la L1.	112
Tabla 17-4: Lista de accesorios para la L1.	112
Tabla 18-4: Posición y elevación de los nodos en la L2.	113
Tabla 19-4: Lista de accesorios para la L2.	114
Tabla 20-4: Posición y elevación de los nodos en la L3.	115
Tabla 21-4: Lista de accesorios para la L3.	115
Tabla 22-4: Resumen del cálculo del volumen de compensación.	120
Tabla 23-4: Datos iniciales para la VRP en la red de distribución.	127

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1-2: Proyección de la población	34
Gráfico 2-2: Distribución de la Población Económicamente Activa	34
Gráfico 1-3: Tramos de tubería de diferente tamaño.	42
Gráfico 2-3: Modelo TIN del proyecto.	49
Gráfico 3-3: Ráster y nube de puntos con información de la elevación.....	50
Gráfico 4-3: Miembros de la familia en la muestra.	58
Gráfico 5-3: Presión del agua en las viviendas.	59
Gráfico 6-3: Horario del Servicio.....	59
Gráfico 7-3: Viviendas con cortes constantes.	60
Gráfico 8-3: Horario de cortes.	61
Gráfico 9-3: Viviendas con tanques de reserva.	61
Gráfico 10-3: Viviendas con sistemas de bombeo.....	62
Gráfico 11-3: Viviendas con zonas verdes.	62
Gráfico 12-3: Viviendas con agua de regadío.	63
Gráfico 13-3: Satisfacción con el Servicio de Agua Potable.	63
Gráfico 14-3: Nivel de Satisfacción con el Servicio de Agua Potable.....	64
Gráfico 15-3: Coeficientes de variación horario para pequeñas comunidades (México)	72
Gráfico 16-3: Coeficientes de variación horario para centros Hospitalarios.	72
Gráfico 17-3: Coeficientes de variación horario para Centros Educativos.	73
Gráfico 18-3: Distribución de tuberías.	77
Gráfico 19-3: Evolución del caudal consumido en la red.	79
Gráfico 20-3: Presiones Máximas (00:00).....	79
Gráfico 21-3: Presiones Máximas.	80
Gráfico 22-3: Presiones Mínimas (19:00)	80
Gráfico 1-4: Cambios de altura Sistema de Captación	82
Gráfico 2-4: Simulación Sistema de Captación.....	83
Gráfico 3-4: Simulación centrada en el punto de unión.	83
Gráfico 4-4: Distribución de alturas en la Línea Antigua	84
Gráfico 5-4: Simulación Línea Antigua	84

Gráfico 6-4: Distribución de alturas en la Línea Nueva	85
Gráfico 7-4: Simulación de presiones en la Línea Nueva.....	86
Gráfico 8-4: Esquema básico del Escenario 1.	89
Gráfico 9-4: Resultados de Presión del Escenario 1.....	89
Gráfico 10-4: Esquema de tramos en la Línea Antigua.....	91
Gráfico 11-4: Resultados del Escenario 2-1 en la Línea Antigua.....	92
Gráfico 12-4: Resultados del Escenario 2-1 en el Sistema de Captación.....	92
Gráfico 13-4: Resultados finales del Escenario 2-1 en el Sistema de Captación.....	93
Gráfico 14-4: Resultados del Escenario 2-2 en el Sistema de Captación.....	95
Gráfico 15-4: Resultados finales del Escenario 2-2 en el Sistema de Captación.....	98
Gráfico 16-4: Secuencia de pasos en la creación del Archivo Allievi.	103
Gráfico 17-4: Esquema del Archivo Allievi.	104
Gráfico 18-4: Resultados en la Línea 1 (Línea Nueva).	105
Gráfico 19-4: Resultados en la Línea 2 (Línea Antigua).	106
Gráfico 20-4: Resultados en la Línea 3 (Línea en Conjunto).	107
Gráfico 21-4: Resultados en la Línea 2 (Sistema con ventosas).	109
Gráfico 22-4: Resultados en la Línea 1 (Sistema con ventosas).	109
Gráfico 23-4: Resultados en la Línea 3 (Sistema con ventosas).	110
Gráfico 24-4: Esquema de Longitud vs. Elevación para la Línea 1.....	113
Gráfico 25-4: Esquema de Longitud vs. Elevación para la Línea 2.....	114
Gráfico 26-4: Esquema de Longitud vs. Elevación para la Línea 3.....	116
Gráfico 27-4: Simulación Final.....	117
Gráfico 28-4: Evolución del caudal consumido considerando las fugas.....	118
Gráfico 29-4: Distribución del caudal consumido: 09:00.....	120
Gráfico 30-4: Velocidades en las horas de consumo pico (09:00).....	121
Gráfico 31-4: Velocidades en las horas de menor consumo (00:00).	121
Gráfico 32-4: Pérdidas unitarias máximas en el sistema (09:00).....	122
Gráfico 33-4: Presiones mínimas en el sistema (09:00).	123
Gráfico 34-4: Presiones máximas en el sistema (00:00).....	123
Gráfico 35-4: Comparación de presiones antes (izq.) y después (der.) (00:00).	128

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Flujo laminar (a) y turbulento (b)	9
Figura 2-2: Jerarquía en necesidades de agua	15
Figura 3-2: Esquema básico de distribución de agua	18
Figura 4-2: Toma de agua de superficie y reservorio de agua cruda.	18
Figura 5-2: Captación de un manantial	19
Figura 6 -2: Pérdidas en el proceso de abastecimiento de agua.....	27
Figura 7-2: Procedimiento para el cálculo de fugas.	29
Figura 8-2: Ejemplo red de tuberías.	30
Figura 9-2: Interfaz de Epanet	31
Figura 10-2: Distribución política de la parroquia Calpi.....	33
Figura 1-3: Tanque Antiguo. Fuente Shobolpamba.	37
Figura 2-3: Salida del tanque antiguo.	38
Figura 3-3: Tanque línea Nueva.....	38
Figura 4-3: Esquema de funcionamiento del Tanque Nuevo.....	39
Figura 5-3: Válvula de vaciado y cruce de río.	39
Figura 6-3: Punto de unión de las tuberías “Yee”	40
Figura 7-3: Válvulas en la Línea en conjunto.	40
Figura 8-3: Esquema básico de la línea de captación.	41
Figura 9-3: Medidor de caudal PCE.....	43
Figura 10-3: Medidor de espesores.	44
Figura 11-3: Excavación para medidas de caudal.	44
Figura 12-3: Desconexión de la fuente El Lirio para el aforo.	45
Figura 13-3: Consumo aproximado de una familia.	46
Figura 14-3: Fuga de agua usada para el regadío.	47
Figura 15-3: Topografía del proyecto.	47
Figura 16-3: Coordenadas importadas en ArcGIS.	48
Figura 17-3: Puntos de Topografía graficados.	49
Figura 18-3: Campos añadidos a la tubería.	50
Figura 19-3: Campos añadidos a la tubería.	51
Figura 20-3: Interpolación de alturas mediante GisRed.	52

Figura 21-3: Esquema básico de la línea de captación obtenido de GisRed.....	53
Figura 22-3: Esquema de la red de distribución en los barrios.....	53
Figura 23-3: Tanques de almacenamiento del sistema.....	54
Figura 24-3: Barrio El Progreso.....	55
Figura 25-3: Fotografía panorámica del centro parroquial.....	56
Figura 26-3: Imagen satelital del centro parroquial dividida en sectores.....	58
Figura 27-3: Depósito 1.....	67
Figura 28-3: Depósito 2.....	67
Figura 29-3: Depósito 3 (Compensación).....	68
Figura 30-3: Plano de tuberías-Barrio Central.....	69
Figura 31-3: Válvula de regulación y boca de incendios.....	69
Figura 32-3: Medición de caudal a la entrada de los depósitos.....	70
Figura 33-3: Obtención del Ráster de la Parroquia Calpi.....	74
Figura 34-3: Nube de puntos de la Parroquia Calpi.....	75
Figura 35-3: Sistema de tuberías trazadas en AutoCAD.....	75
Figura 36-3: Esquema del Proyecto en ArcView.....	76
Figura 37-3: Distribución de tuberías.....	78
Figura 38-3: Distribución de tuberías.....	78
Figura 1-4: Configuración de la Válvula Reductora de Presión en el Escenario 2-1.....	95
Figura 2-4: Criterios para la ubicación de válvulas de expulsión de aire.....	102
Figura 3-4: Esquema de la instalación.....	111
Figura 4-4: Válvulas a la salida de los tanques.....	126
Figura 5-4: Presiones excesivas a la hora de menor consumo (00:00).....	127
Figura 6-4: Presiones reducidas a la hora de menor consumo (00:00).....	128
Figura 7-4: Puntos mínimos a la hora de mayor consumo (09:00).....	129

LISTA DE ABREVIACIONES

GISAI	Grupo de Investigación en Seguridad Ambiente e Ingeniería.
ESPOCH	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana.
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización.
TCU	True color units (Medida de coloración).
NTU	Unidad nefelométrica de turbidez
OMS	Organización Mundial de la Salud.
SSA	Subsecretaría de Saneamiento Ambiental.
IEOS	Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias.
SIG	Sistema de Información Geográfica.
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua.

SIMBOLOGÍA

ε	Rugosidad relativa.	mm
K_a	Rugosidad absoluta	
D	Diámetro interior de la tubería.	mm
K_o	Rugosidad absoluta de la tubería nueva.	mm
α	Índice de aumento anual de la rugosidad.	mm/año
t	Tiempo de operación de la tubería.	Años
ρ	Densidad del fluido.	Kg/m ³
A	Sección de flujo en la tubería.	mm ²
v	Velocidad del fluido.	m/s
ν	Viscosidad cinemática.	m ² /s
u	Viscosidad dinámica.	Kg-m/s
P	Presión manométrica.	MPa (mca)
γ	Peso específico.	N/ m ³
g	Aceleración de la gravedad.	m/s ²
z	Elevación respecto a una referencia.	M
h_L	Pérdida de carga primaria.	Mca
f	Factor de Fricción de Darcy.	
L	Longitud de la tubería.	m
Re	Reynolds.	
C	Coefficiente de Hazen – Williams	
h_f	Pérdida de carga secundaria.	Mca
K_L	Coefficiente de resistencia por accesorios.	
Q_{md}	Caudal medio diario.	l/s
q	Dotación de agua.	l/hab/día
N	Población de diseño del proyecto	Hab
Q_{MD}	Caudal máximo diario.	l/s
K_{MD}	Coefficiente para el consumo máximo diario	

Q_{MH}	Caudal máximo horario.	l/s
k_{MH}	Coefficiente del consumo máximo horario.	
Q_f	Caudal fugado.	l/s
C_d	Coefficiente de descarga.	
K	Coefficiente emisor global.	
n	Exponente de fugas.	
M	Tamaño de la población.	
k	Nivel de confianza.	
e	Error muestral	
p	Individuos con las características buscadas.	
q	Individuos sin las características buscadas.	
m	Tamaño de la muestra.	

LISTA DE ANEXOS

Anexo A	Mediciones de Caudal en la Línea de Captación.
Anexo B	Encuesta para Consumos Residenciales.
Anexo C	Respuestas Encuesta de Consumo Residencial.
Anexo D	Encuestas para Otros Consumos.
Anexo E	Plano de tuberías del Centro Parroquial.
Anexo F	Cálculo de fugas.
Anexo G	Cotización tuberías.
Anexo H	Cotización VRP.
Anexo I	Detalle del Proyecto: Línea de Captación.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es brindar una solución que elimine el volumen de agua destinado al consumo humano que actualmente está siendo desperdiciado hacia el río Chimborazo en el sistema de captación de Calpi y la comunidad Bayushí del cantón Riobamba, a la vez se evalúa el estado actual de la red de distribución en el centro parroquial. Mediante el procesamiento de datos obtenidos en campo y proporcionados por el municipio se construyeron dos modelos hidráulicos en Epanet para determinar: capacidad de conducción, velocidad, presión, y pérdidas de cada sistema bajo distintas perspectivas. El estudio muestra que en la captación las condiciones de tubería y terreno no permiten que el sistema conduzca el agua total producida. Un aproximado de 2.3 l/s se desperdician diariamente porque en el punto de unión de las líneas las presiones no se igualan impidiendo un mayor caudal en la línea de menor presión (Línea Nueva). Para resolver el conflicto de presiones y capacidad es necesario que toda la tubería sea de 160 mm y colocar una válvula reductora de presión en la línea de mayor fuerza para igualarla con el otro ramal. Para el sistema de captación se usó una dotación mínima de 100 l/hab./día y se estimó el comportamiento de la red mediante un patrón de consumos referenciales. Se concluyó que el caudal actual ingresado de 12.61 l/s está por encima de las necesidades del sector durante los 2/3 del día, esto indica un volumen de entrada exagerado a la red que se justifica como gastos de agricultura e industria que no se esperaron durante la simulación. Referente a las presiones, topográficamente el sistema no posee problemas de valores bajo la mínima, aunque existen grandes presiones en los sectores al sur que deben reducirse colocando una válvula. Así mismo se recomienda colocar contadores domiciliarios para mejorar la conciencia ciudadana sobre el uso del agua.

Palabras clave: <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA MECÁNICA>, <HIDRÁULICA>, <MODELOS HIDRÁULICOS>, <EPANET>, <REDES DE DISTRIBUCIÓN>, <CONSUMO BÁSICO>, <CANTÓN RIOBAMBA>, <PROVINCIA CHIMBORAZO>.



ABSTRACT

The objective of this work is providing a solution that eliminates the volume of water destined for human consumption, which is being wasted towards the Chimborazo River in the systems of water pick up of Calpi and Bayushí community of Riobamba canton, at the same time, the present state and problems related to water is evaluated in the parish center. Through the processing of data obtained in the field and provided by the municipality, two hydraulic models were constructed in Epanet to determine: driving capacity, speed, pressure, and losses of each system under different perspectives. This study also shows systems of water pick up the conditions of pipe and soil do not allow the system to conduct the total water produced. An approximate 2.3 l / s are wasted daily because at the junction of the lines the pressures do not equal, preventing a greater flow in the lower pressure line (New Line). To resolve the conflict of pressures and capacity, it is necessary that the entire pipe be 160 mm and place a pressure reducing valve in the line of greatest strength to equalize it with the other branch. For the collection system, a minimum allocation of 100 l / inhab / day was used and the network behavior was estimated using a reference consumption pattern. It was concluded that the current flow rate of 12.61 l / s is above the needs of the sector during the 2/3 of the day, this indicates an exaggerated volume of input to the network that is justified as expenses of agriculture and industry that are not waited during the simulation. Regarding the pressures, topographically the system does not have problems of values under the minimum, although there are great pressures in the sectors to the south that must be reduced by placing a valve. It is also recommended to place domiciliary accountants to improve citizen awareness about the use of water.

KEYWORDS: <TECHNOLOGIES AND ENGINEERING SCIENCES> <MECHANICAL ENGINEERING>, <HYDRAULICS>, <HYDRAULIC MODELS>, <EPANET>, <DISTRIBUTION NETWORKS>, <BASIC CONSUMPTION>, <RIOBAMBA CANTON>, <CHIMBORAZO PROVINCE>.



CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL.

1.1. Antecedentes

Por su posición geográfica, el Ecuador goza de todo tipo de recursos a pesar de su corta extensión; uno de ellos es el hídrico debido a que existe gran cantidad de ríos, nevados y fuentes subterráneas de agua que satisfacen a todas las poblaciones especialmente en consumo, sanidad, e industria. Emplear métodos y herramientas que permitan un uso responsable, evitando el desperdicio y asegurando un servicio eficaz mejorará la calidad de vida de las comunidades cooperando con el desarrollo sustentable. Una de estas herramientas es el uso de modelos hidráulicos que ayudan al manejo de grandes sistemas de agua con rapidez y de forma sencilla.

Este tipo de estudios se han realizado anteriormente, por ejemplo, otros autores han evaluado la administración de una red de agua potable en Puebla, México; mediante el procesamiento de información geográfica que permitió generar un modelo en Epanet. Estos autores coinciden con la afirmación de que la actualización e innovación en la gestión de sistemas de distribución de agua deben ser un motivo de estudio, pues según su criterio, estos elementos permitirán a futuro el desarrollo de las comunidades en general. (Fragoso Sandoval, et al., 2013, pp. 112-126).

El interés en la creación de modelos hidráulicos surge por la facilidad a futuro de optimización y calibración de la red de distribución, para la toma de decisiones, y simulaciones de calidad de agua. Uno de estos casos de estudio corresponde a una aplicación en Finlandia, en la empresa de agua Vellamo, despertando el interés de los moradores y haciendo que la empresa se empeñe cada día en mejorar el modelo hidráulico, entre los parámetros que llegaron a controlarse están: presiones, pH, calidad de agua y energía de bombeo (Sunela, et al., 2015, pp. 744-752).

También hay que considerar usualmente que los sistemas de agua se construían con el objeto de que al usuario le llegue una buena cantidad de agua, en la actualidad los modelos hidráulicos nos permiten optimizar parámetros de funcionamiento como la presión o el volumen de reserva, por ejemplo, el caso práctico del modelado del distrito Metered en Plovac. Con ayuda de Epanet se pudieron definir puntos críticos de presión (por ende, puntos de pérdida de fluido importantes) y también el volumen del reservorio que definieron como no óptimo. En este trabajo, Epanet resultó una herramienta rápida, tanto para ubicar problemas como para probar soluciones rápidas a los mismos, ayuda en planeación y administración, pero especialmente en la optimización de sistemas existentes. (Košarac, et al., 2019, pp. 443-451)

Si bien los programas de modelación hidráulica han sido diseñados para el manejo de redes extensas de gran complejidad, pueden simularse sistemas más simples como se hizo en el proyecto El Gato, de Catalina Guines en Cuba. Los resultados de la simulación se compararon con datos de campo, para lograr una mejor calibración iterativa al manipular ciertas características del sistema; terminando con una buena correlación entre las medidas de caudal y presión. La principal herramienta obtenida de esta calibración es un modelo hidráulico fiable del sistema El Gato con gran exactitud, capaz de servir como base para futuros análisis hidráulicos. (Bosch Fuentes, et al., 2014, pp. 101-115)

Los modelos hidráulicos son un gran soporte para las decisiones de administración y mantenimiento de sistemas de agua. Evaluando el caso de la simulación realizada en Old Town Distric Metered Area, un sector turístico de Turquía que sufre de grandes variaciones de comportamiento con un total de 1400 usuarios activos e inactivos. Como en casos anteriores, el sistema modelado fue sometido a calibración mediante la medición de puntos en la ciudad que permitieron realizar una variación de la rugosidad y aminorar el error en esta comparación, aunque se prevé que el estudio tenga una segunda parte destinada a un análisis mucho más fino y a un estudio exhaustivo de fugas. Los valores de presión ayudaron también a determinar zonas de bajas presiones, no solo por el inconveniente en la satisfacción de los usuarios, también debido a la relación necesaria en la presión para la actividad contraincendios. (Kara, et al., 2016, pp. 521-529)

Ciertamente gran cantidad de estudios que combinan la modelación hidráulica y el uso del software Epanet son de carácter internacional, pero ya existe un proyecto enfocado al sistema de la ciudad de Riobamba con estas características. El análisis permitió determinar presiones, pérdidas de carga, velocidades y caudales en puntos específicos del sistema que en general dieron a conocer que la red actual podría abastecer un caudal mayor al transportado, así como también la existencia de zonas con presiones demasiado altas respecto a la normativa nacional. Con este modelo creado se sugirieron varias mejoras con el fin no solo de extender la vida útil de la red, también para mejorar el servicio y de ser posible reducir la cantidad de agua desperdiciada en una ciudad donde actualmente la cantidad de agua para los usuarios es un problema. (Chuquín, et al., 2016, pp. 88-92)

Este modelo debería componer una herramienta básica y fundamental para la comprensión no solo de los problemas de la red de Riobamba, además para prever sucesos mediante la adición o sustracción de condiciones por lo que, se puede decir que el estudio podría ser replicado en otras comunidades esperando resultados exitosos.

1.2. Planteamiento del Problema

La preocupación actual por el uso desmedido de los recursos naturales y su lenta recuperación es uno de los temas en vanguardia, no sólo enfocado a la responsabilidad que tiene el sector industrial que provee gran parte de la contaminación en todos los ámbitos, sino también a menor escala en nivel doméstico, comercial y público donde el uso de recursos puede llegar a ser irresponsable, exagerado y de poca importancia. El agua constituye uno de los elementos fundamentales para la vida del ser humano y una de las mayores preocupaciones para los gobernantes quienes deben asegurar no solo que las personas tengan acceso a él, sino procurar que se cumplan ciertos criterios tanto físico-químicos (Color, pureza, olor, etc.) como de confort relacionados con la presión o caudal.

Las grandes ciudades requieren obligatoriamente que sus sistemas de abastecimiento se encuentren sustentados por estudios técnicos que garanticen su buen funcionamiento, incluso tomando en cuenta el crecimiento poblacional, mientras aquellos en zonas rurales especialmente los más antiguos pueden usar sistemas obsoletos ya sea porque que han superado el tiempo de vida útil según su diseño o en el peor de los casos debido a que no se incorporaron bajo un criterio técnico adecuado; estos problemas repercutirán en el comportamiento del mismo ya sea en el presente o futuro, induciendo fallos, roturas o cortes en el abastecimiento que se reflejarán en la incomodidad del usuario por falta de un acceso adecuado al recurso.

Las concesiones de agua otorgadas por la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) buscan brindar una cantidad suficiente del recurso en concordancia con la cantidad de habitantes que se desee satisfacer, por lo que si se reduce esta cantidad otorgada por fenómenos como: grandes fugas, desperdicios o incluso acometidas ilegales, se reducirá el volumen real destinado afectando el desarrollo de actividades cotidianas, y por tanto la calidad de vida de las personas, tomando en cuenta que normalmente estos sistemas no solo responden a necesidades de tipo doméstico sino en muchos casos de tipo industrial, social y comercial.

Por tanto, si hablamos del abastecimiento de agua en zonas rurales, la falta de asesoramiento técnico adecuado en las decisiones de mantenimiento, reparación ampliaciones o diseños nuevos, han sido el motivo principal por el que se producen daños o fallos en el sistema, llevando al desperdicio de un recurso tan valioso como el agua y a la suspensión de un servicio básico, sin mencionar los gastos que implicarán los trabajos de reparación y la reducción del tiempo de trabajo en industrias y comercios reflejada en pérdidas económicas.

1.3. Justificación.

La elaboración de este trabajo permitirá brindar asesoramiento gratuito a la dependencia encargada del abastecimiento de agua de la cabecera parroquial de Calpi, para poder resolver problemas actuales y evitarlos a futuro, respaldando los criterios y decisiones con estudios técnicos que puedan asegurar un mejor funcionamiento para no desperdiciar recursos de construcción, económicos y humanos.

Este trabajo forma parte del Convenio de Cooperación entre la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en forma del Grupo de Investigación en Seguridad, Ambiente e Ingeniería (GISAI) y la Unidad de Desarrollo Rural Integral (UDRI) que busca llevar a los estudiantes a problemas reales que aporten a la comunidad mediante la aplicación del conocimiento adquirido durante varios años de formación académica, en este caso en la rama de la Ingeniería Mecánica principalmente la Hidráulica, permitiendo al estudiante no solo desarrollar aptitudes para la vida profesional sino también inmiscuirnos en el trabajo colectivo entre usuarios, empresa y academia.

Respecto a la investigación, este trabajo es importante puesto que brinda la oportunidad de poner en práctica metodologías como la experimental y deductiva; en cuanto a las técnicas, se emplea la entrevista, observación, encuestas y otras para la recolección de información importante en el proyecto.

Entre otros aspectos que se pueden indicar como justificativos en la realización de este proyecto están:

- Realizar validaciones en los resultados obtenidos mediante simulación, así como la inclusión de técnicas actuales de diseño/verificación de sistemas hidráulicos, que faciliten etapas como la planeación, evaluación, construcción u otras.
- Optimizar el acceso al servicio de agua potable de la población en la cabecera de Calpi, con lo que se mejoraría el nivel de vida de las personas en cuanto a salud, desarrollo agrícola u otros.
- Con un sistema de agua trabajando adecuadamente, lograremos el uso efectivo del recurso evitando desperdicios y preservando el medio ambiente al aprovechar el agua destinada al consumo humano únicamente en dicho propósito.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General

Evaluar la línea principal de captación y modelar hidráulicamente el sistema de agua de consumo humano de la cabecera Parroquial de Calpi y desarrollar propuestas de mejora.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Obtener datos de elevación, caudal y dimensiones de los sistemas actuales.
- Procesar la información recolectada por medio de programas informáticos que permitan generar dos modelos hidráulicos.
- Realizar simulaciones bajo condiciones específicas de funcionamiento de los sistemas que reflejen el estado real de los mismos.
- Elaborar propuestas de mejora que respondan a las necesidades de cada sistema para optimizar la calidad del servicio.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Flujo en tuberías

La Mecánica de fluidos se encarga del estudio del comportamiento de los fluidos, indistintamente si estos se encuentran en reposo (estática de fluidos) o en movimiento en cuyo caso se tratará de la Dinámica de fluidos, recalcando que un fluido puede encontrarse en estado líquido y gaseoso. (Mott, 2006, pp. 1) En caso de que el fluido bajo estudio sea agua en movimiento, se denominará Hidrodinámica. Para la caracterización de los fluidos, hablando de la dinámica, se necesita determinar propiedades como la presión, caudal, rugosidad de tuberías entre otros según sea el objetivo de la investigación.

2.1.1. Presión

La presión de un fluido se define como la fuerza que ejerce sobre las paredes del recipiente que lo contiene. En la mecánica de materiales, la presión se entiende como la relación existente entre la fuerza aplicada sobre un área definida. Así pues, al hablar sobre la fuerza que provoca el aire se da paso a la presión atmosférica la cual depende directamente de la elevación con referencia al nivel del mar. En la mecánica de fluidos la presión se mide en las unidades clásicas como: Pa, Psi, u otras, aunque para el flujo en tuberías se usa como medida principal los metros de columna de agua (mca).

Para un punto cualquiera que se encuentra bajo el efecto de un fluido independientemente de su velocidad sea este líquido o gaseoso, dicho punto sufre los efectos del peso de la columna de fluido sobre él conocido como presión estática. Cuando a la presión estática de un punto se le añade la presión atmosférica esta toma el nombre de presión absoluta. Por otro lado, si el fluido obtiene una velocidad esta ofrece un impulso el cuál se interpreta como presión dinámica. En este caso, independientemente de la columna de fluido anterior la velocidad desarrolla una presión inversamente proporcional a la sección de flujo. (Sosa, et al., 2004, pp. 29)

Respecto al flujo en tuberías, los sistemas funcionan con una combinación de las dos presiones por lo que este empuja en todas las direcciones, por este efecto la presión de funcionamiento en las líneas es el principal criterio en la selección del espesor de la tubería, este parámetro se define por medio de la clase de la tubería o la Presión de trabajo que proporcionan los fabricantes; mientras estos valores son mayores la tubería presenta un espesor también mayor. En los sistemas por gravedad la presión estática domina la selección de la clase mientras que si existen equipos de bombeo estos son los que brindan el pico de presión requerido para la selección del espesor.

A más de la presión interna las tuberías están sujetas a cargas externas, sobrepresiones y depresiones. (Farrás, et al., 2007, pp. 13)

2.1.2. *Rugosidad*

Hasta mediados del siglo XIX se creía que el tipo de pared no influía en el flujo de los fluidos, en la actualidad se conoce que mientras más lisas son las tuberías mayores velocidades pueden alcanzar los fluidos que por ahí circulan. Las rugosidades pueden considerarse como irregularidades de distinto tamaño, forma, y distribución que son similares en un mismo material. Debido a este hecho, se disponen tablas de referencia con rugosidades promedio para cada material llamado rugosidad absoluta medida en unidades de longitud. (Afif Khouri, 2004, pp. 89)

Cuando se habla de rugosidad en tuberías también se habla de rugosidad relativa, definida como la relación entre la rugosidad absoluta y el diámetro interior del tubo ambos en la misma unidad de longitud. ε

$$\varepsilon = \frac{K_a}{D} \quad (1)$$

Donde:

- ε : Rugosidad relativa.
- K_a : Rugosidad absoluta
- D : Diámetro interior de la tubería.

El valor de la rugosidad en tuberías inicialmente dependerá del tipo de material y proceso de manufactura, pero conforme se use el sistema este valor irá cambiando debido al aumento de las irregularidades en las paredes debido a efectos del flujo como la corrosión, incrustaciones, sedimentos, etc.; causando mayores rozamientos y por tanto grandes pérdidas de energía que reducirán la capacidad de conducción comparado con la inicial al momento de la instalación de la tubería. Genijew dedujo experimentalmente que la rugosidad absoluta y el tiempo forman una relación lineal, expresado de forma empírica:

$$K_a = K_o + \alpha t \quad (2)$$

Donde:

- K_a : Rugosidad absoluta después de un tiempo t .
- K_o : Rugosidad absoluta de la tubería nueva.

α : Índice de aumento anual de la rugosidad.

t : Tiempo en años de operación.

El índice de aumento anual es un factor que dependerá de las características del tipo de fluido transportado, los valores comunes se encuentran en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Índice de aumento anual de la rugosidad

Grupo	Característica	Factor
Grupo I	Agua con poco contenido mineral que no origina corrosión. Agua con un pequeño contenido de materia orgánica y de solución de hierro.	Entre 0.005 y 0.055
Grupo II	Agua con poco contenido mineral que origina corrosión. Agua que contiene menos de 3 mg/l de materia orgánica y hierro en solución.	Entre 0.055 y 0.18
Grupo III	Agua que origina fuerte corrosión y con escaso contenido de cloruros y sulfatos (menos de 100 a 150 mg/l). Agua con un contenido de hierro de más de 3 mg/l.	Entre 0.18 a 0.40
Grupo IV	Agua que origina corrosión, con un gran contenido de cloruros (más de 500 a 700 mg/l). Agua impura con una gran cantidad de materia orgánica.	Entre 0.4 a 0.60
Grupo V	Agua con cantidades importantes de carbonatos, pero de dureza pequeña permanente, con residuo denso de 2000 mg/l.	De 0.6 a 1

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Fuente: (Sotelo Avila, 1997, pp. 144-146)

2.1.3. Ecuación de Continuidad

La ecuación de continuidad analiza el flujo másico que ha atravesado dos puntos en un determinado tiempo y considera que no existe flujo escapándose por las paredes del volumen de estudio por lo que estos flujos deben ser iguales.

$$\frac{\Delta m_1}{\Delta t} = \frac{\Delta m_2}{\Delta t} \quad (3)$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (4)$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido.

A : Sección de flujo.

v : Velocidad del fluido.

Si el flujo es incompresible (la densidad no cambia con la presión) casi siempre se trata de fluidos líquidos como el agua, en los que la expresión anterior puede simplificarse, donde el producto de la sección de flujo por la velocidad del fluido se conoce como Caudal o flujo volumétrico (Volumen de fluido que circula un punto por unidad de tiempo).

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (5)$$

De acuerdo al flujo y su velocidad se distinguen dos tipos principales, si este es suave se conoce como aerodinámico o laminar (en capas o láminas) pero si alcanza una mayor velocidad provoca que el flujo se vuelva turbulento caracterizado por movimientos erráticos que forman remolinos absorbiendo gran cantidad de energía y fricción. (Giancoli, 2006, pp. 268-269)

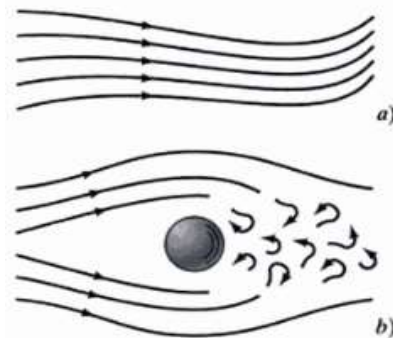


Figura 1-2: Flujo laminar (a) y turbulento (b)
Fuente: (Giancoli, 2006)

La transición del flujo dependerá de la geometría, la rugosidad de la superficie, la velocidad de flujo, la temperatura de la superficie y el tipo de fluido entre otros factores. Mediante experimentación, existe una expresión llamada número de Reynolds que se expresa para flujo interno en una tubería circular como: (Cengel, 2006, pp. 324)

$$Re = \frac{\text{Fuerzas inerciales}}{\text{Fuerzas viscosas}} = \frac{vD}{\nu} = \frac{\rho v D}{\mu} \quad (6)$$

Donde:

- v : Velocidad del fluido.
- D : Diámetro de la tubería
- ν : Viscosidad cinemática
- ρ : Densidad del fluido
- μ : Viscosidad Dinámica

Durante el cambio de tipo de flujo se da un período conocido como transición, este valor dependerá de varios factores como la rugosidad de la superficie, vibración en la tubería o fluctuaciones del fluido; en la mayoría de casos de flujo en tubería circular se toman los siguientes valores de referencia.

Tabla 2-2: Límites comunes para definir el tipo de flujo.

Intervalo	Tipo de Flujo
$Re \leq 2300$	Laminar
$2300 \leq Re \leq 4000$	Transicional
$Re \geq 4000$	Turbulento

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.
Fuente: (Cengel, 2006, pp. 324)

Como es notorio, la importancia de tener una velocidad adecuada en el flujo de tuberías ha llevado a investigaciones experimentales en las que se proponen valores recomendados de velocidades en tuberías, aunque siempre habrá que tomar en cuenta otros factores como el tipo de fluido, la longitud del sistema, el tipo de tubería, la presión y otros dispositivos como bombas, válvulas etc. Una velocidad de flujo razonable para sistemas de distribución es de 3 m/s hablando de agua, aceite y otros fluidos comunes, aunque dependiendo de la situación en la que se encuentra la instalación se puede seguir las recomendaciones de la Tabla siguiente. (Mott, 2006, pp. 156-157)

Tabla 3-2: Velocidades de flujo recomendada en sistemas de potencia de fluido

Sistema	Velocidad Recomendada
Entradas a bombas (Succión)	0.6 a 2.2 m/s
Salidas a bombas (Descarga)	2.4 a 7.5 m/s
Líneas de retorno	0.6 a 2.6 m/s

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.
Fuente: (Mott, 2006, pp. 156-157)

2.1.4. Principio de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli o conservación de la energía establece que el trabajo que se obtiene de un fluido incompresible cuando este fluye entre dos puntos será igual a la variación de sus energías mecánicas:

- Energía Potencial. Por su elevación respecto a un punto de referencia.
- Energía cinética. Por la velocidad de flujo del fluido.
- Energía de flujo. O energía de presión, representa la cantidad de trabajo que debe darse a un volumen de fluido para que este puede fluir en contra de la presión.

Si en el transcurso de los dos puntos no se ha agregado o quitado energía (tampoco como transferencia de calor), la ecuación de Bernoulli entre dos puntos de flujo queda como:

$$E_1 = E_2 \tag{7}$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (8)$$

Donde:

- P : Presión manométrica del fluido
- γ : Peso específico del fluido.
- v : Velocidad del fluido.
- g : Aceleración de la gravedad.
- z : Elevación del punto respecto a una referencia.

A la Ecuación 8 se le conoce como ecuación de Bernoulli. Cada término es el resultado de dividir la energía para el peso de una cantidad de fluido, por lo que la energía que posee el fluido calculada a partir de esta ecuación se conocerá como “Energía del fluido por unidad de peso del fluido que fluye en el sistema” (Mott, 2006, pp. 152). La ecuación de Bernoulli tal como se ha planteado permitirá resolver problemas en los que los efectos de la rugosidad se han eliminado (ideal) por lo que al realizar un estudio en condiciones reales es importante añadir su efecto energético traducido en forma de caída de presión o pérdida. Existen varias ecuaciones para determinar la cantidad de energía perdida, entre las más utilizadas las propuestas por Darcy-Weisbach y las de Hazen-Williams.

2.1.4.1. Pérdidas Primarias

Las pérdidas primarias hacen referencia a la caída de presión producto del flujo a través de una tubería rugosa de longitud conocida, provocando pérdidas de presión debido a la fricción que se incrementan cuando el tipo de flujo transportado es turbulento. La diferencia en la presión debido a la caída de presión entre dos puntos Darcy Weisbach la define mediante la siguiente ecuación.

$$h_L = f \frac{L v^2}{D 2g} \quad (9)$$

Donde:

- h_L : Pérdida de carga primaria.
- f : Factor de fricción de Darcy.
- L : Longitud de la tubería.
- v : Velocidad del fluido.
- D : Diámetro de la tubería.

El factor de fricción de Darcy depende del tipo de flujo, en caso de que el flujo sea laminar se usará la Ecuación 10, mientras que si es turbulento se usará la Ecuación 11:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (10)$$

$$f = 0.25 \left(\log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)^{-2} \quad (11)$$

Donde:

- f : Factor de fricción de Darcy.
- ε : Rugosidad Absoluta.
- D : Diámetro de la tubería.
- Re : Número de Reynolds.

Mientras más longitud de tubería por la que circula el fluido la pérdida de carga será mayor e igual a la cantidad de energía adicional que deberá agregarse al sistema, sea como energía potencial (con una mayor diferencia de cotas entre el inicio y fin de la tubería) o mecánica (bombas). Por otro lado, se puede usar la ecuación propuesta por Hazen-Williams para el cálculo de pérdidas primarias con la cual obtendremos valores similares a los calculados por Darcy, pero igual de válidos sin necesidad de usar el factor de fricción.

$$h_L = L \frac{10.675}{D^{4.8707}} \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.852} \quad (12)$$

Donde:

- h_L : Pérdida de carga primaria.
- L : Longitud de la tubería en metros.
- D : Diámetro de la tubería de sección L en metros.
- Q : Caudal transportado por esa tubería en m³/s.
- C : Coeficiente en función de la rugosidad y estado de la tubería.

Tabla 4-2: Valores comunes del coeficiente C para la ecuación de Hazen-Williams

Factor C	Material/Condición
140	Tubos rectos y extremadamente lisos, asbesto-cemento.
130	Tubos muy lisos, concreto, hierro fundido nuevo.
95	Acero remachado con varios años de uso.
60-80	Tuberías viejas en mala condición.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Fuente: (Mott, 2006, pp. 156)

2.1.4.2. Pérdidas Secundarias

También conocidas como pérdidas menores, se presentan debido a la interrupción en el flujo que provocan los accesorios en el sistema como: codos, ramificaciones, tes, codos, ensanchamientos, etc. Las pérdidas secundarias pueden o no rebasar a las pérdidas primarias dependiendo del tipo de sistema que se analice.

Las pérdidas ocasionadas por válvulas, también consideradas secundarias, dependerán directamente del estado en que se encuentre la válvula: abierta completamente, parcialmente o cerrada, para los cuales añade al sistema un valor de pérdida diferente, mayor conforme se obstaculiza el flujo del fluido. Al factor que determina el valor de la caída de presión en los accesorios se conoce como coeficiente de resistencia.

$$h_f = K_L \frac{v^2}{2g} \quad (13)$$

Donde:

h_f : Pérdida de carga secundaria.

K_L Coeficiente de resistencia.

v : Velocidad del fluido.

g : Aceleración de la gravedad.

Las pérdidas menores pueden expresarse también en función de una longitud equivalente que al igual que el coeficiente de resistencia está dado por el tipo de accesorio y la condición de operación. La longitud equivalente (L_{equiv}) representa al accesorio como un tramo de tubería recta que experimentará una caída de presión por la fricción, ambos términos están dados por el fabricante. La longitud equivalente se podrá reemplazar en ambas ecuaciones, Darcy-Weisbach y Hazen-Williams dependiendo de cual teoría se use en el desarrollo de un proyecto.

Una vez se integran los términos de pérdidas primarias y secundarias a la Ecuación 8 y siempre que al sistema no se aporte energía mecánica en forma de una bomba o se extraiga energía mediante una turbina, la ecuación quedaría:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_L + h_f \quad (14)$$

La ecuación anterior será útil para determinar la cantidad de energía inicial que se debe proveer a un sistema para que, sin necesidad de añadir energía pueda fluir en condiciones favorables de presión y velocidad.

2.2. Agua para el consumo humano

El agua constituye la base para alcanzar el desarrollo sostenible y posteriormente socioeconómico de las comunidades, no solo porque se demanda en aspectos industriales, alimentarios, agrícolas, de salubridad o incluso para mantener el equilibrio de los ecosistemas en la naturaleza; sino porque es indispensable para la supervivencia del ser humano. Bajo estas circunstancias, el recurso hídrico es un derecho que debe ser atendido por los gobernantes, de forma que los sistemas de abastecimiento y saneamiento puedan realizar un trabajo en conjunto para que el acceso al agua sea digno y seguro. (Naciones Unidas, 2017)

2.2.1. Calidad del agua potable

Se denomina agua potable a aquella que puede ser consumida con seguridad debido a que ha sido apropiadamente tratada y sus características físicas, químicas y microbiológicas no representan un peligro para la salud (Organización Mundial de la Salud, 2018). Instituciones locales e internacionales dictan valores según la percepción del usuario que aseguren la sanidad, entre los criterios de aceptabilidad comunes están los indicados en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Criterios de aceptabilidad del agua potable.

Parámetro	Instituto Ecuatoriano de Normalización	Organización Mundial de la Salud
Color (TCU)	15	<15
Turbidez (NTU)	5	<5
Olor, Sabor	No objetable	Aceptable para el consumidor
pH	6.5 - 8.5	6.5 - 8
Sólidos totales disueltos (mg/l)	1000	<600 se considera buena
Máximo cloro (ug/l)	5	5000

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Fuente: (NTE INEN 1108, 2006, pp. 2-4); (Organización Mundial de la Salud, 2008)

En el Ecuador el agua destinada al consumo humano debe cumplir con los criterios establecidos en la NTE INEN 1108, con esto el recurso que llega a los hogares puede considerarse como potable.

2.2.2. Agua domiciliaria, nivel de servicio y salud

Una vez que el agua ha llegado a los domicilios en las condiciones esperadas se dispone a utilizarlo como lo necesite cada abonado y como sea posible debido a la cantidad y fuerza con la que llega el recurso. Algunas actividades en la que se usa el agua pueden ser más importantes que

otras, por ejemplo, es mucho más importante asegurar caudal para consumo humanos (bebida y cocina) que para lavar la ropa; con fundamento en lo anterior la OMS ha adoptado el diagrama de Abraham Maslow en el que se explica cómo se distribuye el consumo de agua en función de la importancia con que se atiende una necesidad.



Figura 2-2: Jerarquía en necesidades de agua

Fuente: (Organización Mundial de la Salud, 2018, pp. 1)

El conjunto de todos estos consumos permite establecer un valor referencial de la cantidad de agua que una persona necesita para cubrir al menos los requerimientos básicos diarios. Por tanto, si se habla de un usuario preocupado únicamente de los usos residenciales podría considerarse un consumo promedio por persona aproximado de 220 l/día, mientras que si se necesita atender el cultivo de alimentos la cantidad se incrementa a 280 l/día, aunque todos los valores de consumo dependerán mucho de la cantidad de agua de la que se disponga, ubicación de la población, costumbres e inclusive los costos.

Tabla 6-2: Consumos mínimos por persona para sistemas a mediano plazo

Necesidad	Cuota Mínima Diaria
Para beber	3 a 4 l/persona
Para preparar comida	2 a 3 l/persona
Para Higiene personal	6 a 7 l/persona
Para lavado de ropa	6 a 7 l/persona
<i>Otras necesidades:</i>	
Centros de salud	5 l/paciente ambulatorio y 40 a 60 l/paciente hospitalizado
Hospital (con instalaciones para lavado de ropa)	200 a 300 l/cama
Escuelas	2 l/estudiante, 10 a 15 l/estudiante con inodoros de descarga de agua
<i>Ganado y agricultura:</i>	
Reses, caballos y mulas	20 a 30 l/cabeza
Cabras, ovejas, cerdos	10 a 20 l/cabeza
Pollos	10 a 20 l/100 pollos
Jardines Vegetales	3 a 6 l/m ²

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Fuente: (Organización Mundial de la Salud, 2018, pp. 1-4)

Desde el punto de vista de la salud, la OMS establece directrices para caracterizar el impacto del servicio en la salubridad relacionado con la cantidad de agua disponible y el método de recolección.

Tabla 7-2: Impacto del nivel de servicio de agua en la salud

Nivel de Servicio	Medición del acceso	Necesidades atendidas	Nivel de efecto en la Salud
Sin acceso (<5 l/hab/d)	Más de 1km o 30 minutos	Consumo (Sin Garantizar) Higiene no es posible	Muy Alto
Acceso básico (<20 l/hab/d)	Entre 100 y 1000 m o 5 a 20 minutos A través de un grifo público, a 100 m o 5 minutos.	Consumo Higiene (Difícil de alcanzar) Consumo asegurado	Alto
Acceso intermedio (aprox. 50 l/hab/d)	A través de varios grifos de forma continua	Higiene básica personal y de alimentos Lavandería y baño	Bajo
Acceso óptimo (>100 l/hab/d)	A través de varios grifos de forma continua	Consumo e higiene en todas las necesidades	Muy bajo

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Fuente: (Howard, et al., 2003, pp. 22)

De la Tabla 7-2 podemos decir que la cantidad idónea de consumo de agua es de al menos 100 l/c/d (Litros per cápita por día), aunque naturalmente factores como las fugas, el desinterés en la conservación del agua, o incluso la despreocupación por un servicio sin costo hacen que su uso sea deliberado y muy por encima del valor mínimo ideal. En cuanto a la perspectiva nacional, la cantidad de agua destinada por habitante por día se regula por las recomendaciones del nivel de servicio de la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental y Obras Sanitarias, así como del Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias (IEOS). De acuerdo con la primera, las Normas de diseño de SAA regulan el caudal destinado analizando el tipo de servicios disponibles en la comunidad según el numeral 4.3.1 (Tabla 8-2).

Tabla 8-2: Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua

Nivel	Sistema	Descripción
0	AP	Sistemas Individuales. Diseñar de acuerdo a las disposiciones técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económica del usuario.
	DE	
Ia	AP	Grifos públicos.
	DE	Letrinas sin arrastre de agua
Ib	AO	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño
	DE	
IIa	AP	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa. Letrinas con o sin arrastre de agua
	DE	
IIb	AP	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa.
	DRL	Sistema de alcantarillado sanitario.

Simbología utilizada:

AP: Agua Potable

DE: Disposición de Excretas

DRL: Disposición de residuos líquidos

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Fuente: (Subsecretaría de Saneamiento Ambiental, 1988, pp. 19)

Cuando se haya establecido el nivel de servicio requerido según las características del sistema en la comunidad, se introduce este en la Tabla 9-2, del numeral 4.4.1 y según de la ubicación geográfica determinar la dotación máxima promedio que un habitante habrá de necesitar en un día.

Tabla 9-2: Dotación futura de agua para los diferentes niveles de servicio

Nivel de Servicio	Clima Frío (l/hab/día)	Clima Cálido (l/hab/día)
Ia	25	30
Ib	50	65
IIa	60	85
IIb	75	100

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Fuente: (Subsecretaria de Saneamiento Ambiental, 1988, pp. 19)

La cantidad máxima de agua que podrá destinarse a un ecuatoriano será de 100 l/hab/día cuando el sistema se instale en una zona de clima cálido que disponga de grifos domiciliarios y de un sistema de alcantarillado y disposición de excretas, coincidente con el mínimo recomendado por la OMS para tener una afección en la salud muy baja.

Si bien la cantidad de agua es el factor más importante en la distribución de agua, en varias zonas entra en consideración la presión (o fuerza) con la que ese caudal llega al consumidor, pudiendo causar malestar al usuario porque detiene sus actividades cotidianas. Por este motivo, así como se recomiendan valores de caudal existen también sugerencias para la presión mínima con la que deberían funcionar estos sistemas, como referencia se analizan los estándares de varios países comparados con el de Ecuador en la Tabla 10-2.

Tabla 10-2: Presiones recomendadas en sistemas de agua para domicilios

Institución	Máximo aceptable en el sistema	Mínimo aceptable en grifos comunes
Código Técnico de la Edificación (España)	500 kPa (50 mca)	100 kPa (10 mca)
Instalaciones domiciliarias de agua potable (Chile)	500 kPa (50 mca)	39.2 kPa (4 mca) para alimentación por gravedad 68.6 kPa (7mca) mediante elevación mecánica
Norma Urbana para estudio y diseño de Sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales (Ecuador)	700 kPa (70 mca) en presión estática y 500 kPa (50 mca) en presión dinámica	100 kPa (10 mca) en los puntos más desfavorables de la red y 50 kPa (5mca) para grifos públicos.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Fuente: (Ministerio de Vivienda, 2006, pp. 16), (Norma Chilena Oficial, 2000, pp. 10), (Secretaría del Agua, 2012, pp. 264).

Un sistema que provea a nivel domiciliario un caudal diario mínimo 100 l/hab. a una presión de al menos 50 kPa (5 mca) permitirá al usuario disfrutar de un servicio de calidad, con el podrá satisfacer con tranquilidad cada una de sus necesidades, sin afectar su salud ni su comodidad.

2.3. Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable

Dentro de los problemas de saneamiento ambiental, un sistema de abastecimiento de agua y un servicio de alcantarillado constituyen una necesidad básica para lograr el progreso social, económico de los pueblos y también una mejor salud en los habitantes. Se puede decir entonces

que el trabajo del ingeniero en la actualidad es proveer soluciones viables y económicas a los problemas en las grandes redes de abastecimiento, así como el diseño de nuevas en comunidades pequeñas con miras al desarrollo futuro integral. (Lopez, 1995, pp. 35)

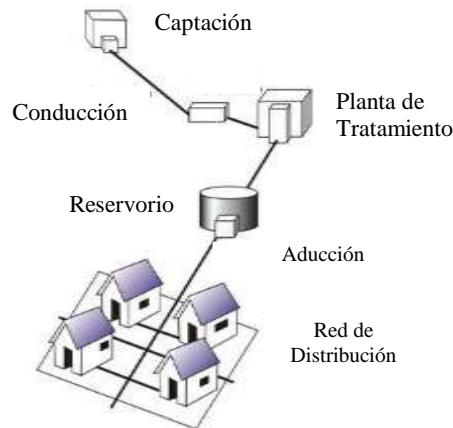


Figura 3-2: Esquema básico de distribución de agua
Fuente: (Barrios, et al., 2009)

2.3.1. Captación

La captación constituye una obra construida para reunir el agua natural (llamada también agua cruda) de una fuente superficial o de una capa freática, una vez que se ha determinado la cantidad de reserva y su buena calidad (alejada de fuentes contaminantes) para que luego de ser tratada pueda destinarse al consumo humano. Se considera agua cruda a aquel recurso que se encuentra en fuentes naturales y que no ha recibido ningún tratamiento.

Fuentes superficiales. Son las provenientes de ríos o lagos. Un estudio de descargas permitirá conocer la cantidad de recurso, la capacidad de un embalse para la regulación de los consumos del sistema a futuro, y las características físicas, químicas y biológicas para conocer cuáles son los tratamientos que deben hacerse a las aguas naturales para su uso.

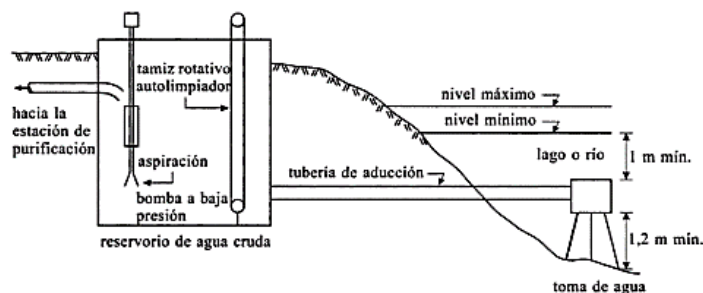


Figura 4-2: Toma de agua de superficie y reservorio de agua cruda.
Fuente: (Briere, 2005, pp. 64)

Fuentes Subterráneas. Cuando la fuente superficial no tiene el recurso en cantidad o calidad suficiente se puede optar por una subterránea. Las capas freáticas contienen un volumen de agua

subterránea a poca profundidad que puede encontrarse a presión atmosférica o mayor. Las características de este tipo de reservas se evalúan mediante perforaciones, aunque sus aguas no son contaminadas, se debe determinar sus características físicas, químicas y bacteriológicas para saber qué tipo de tratamientos debe hacerse para que el agua se vuelva potable. (Briere, 2005, pp. 64-66)

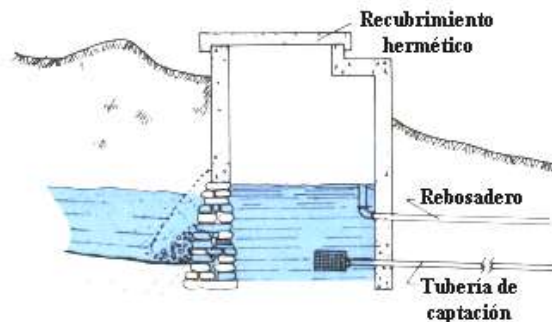


Figura 5-2: Captación de un manantial

Fuente: (Universidad de Salamanca, 2013)

2.3.2. *Transporte*

Las obras de transporte o conducciones son las obras encargadas de llevar el recurso desde la fuente normalmente hasta un tanque de regularización antes de su distribución (por gravedad, bombeo o una combinación entre ambos).

Una línea de conducción está compuesta principalmente de tuberías, válvulas y piezas especiales como juntas, carretes, tee's, cruces, codos reducciones, acoples y tapones. En cuanto a las válvulas, estas responderán a las necesidades de cada instalación, pero generalmente se usan los siguientes tipos: eliminadora de aire, de admisión y expulsión de aire (ventosa), antirretorno y de regulación.

2.3.2.1. *Conducción por gravedad*

El sistema de transporte por gravedad es una opción viable cuando la cota del agua en la fuente es mayor a la presión requerida para llevar el recurso al punto de entrega ya que el movimiento del agua se da por diferencia de energía disponible. (Comisión Nacional del Agua, 2016, pp. 47)

Una conducción por gravedad será suficiente cuando a la salida del punto de consumo la presión obtenida sea aceptable sin necesidad de añadir energía. Entre las ventajas de instalar un sistema por gravedad son las siguientes:

- No hay consumo de energía.
- No se dispone de equipos complejos por lo que la manipulación del sistema es sencilla.
- Mantenimiento económico.

- Menor cantidad de cambios bruscos de presión.

2.3.2.2. *Conducciones a presión*

Cuando la altura en la fuente no es la suficiente para que esta llegue al punto de consumo debe añadirse energía al sistema, se consigue mediante sistemas de bombeo; esta situación se produce cuando la topografía de la reserva es menor a la de los usuarios en el punto de entrega.

Algunos de estos sistemas no disponen de tanques de almacenamiento y el bombeo desde la fuente puede llevar directamente el agua para su consumo a la red de distribución, aunque esto no es muy favorable ya que se tendría un sistema de bombeo trabajando todo el tiempo lo cual conlleva a un gasto excesivo de energía eléctrica. Se deben tomar ciertas consideraciones en los sistemas de bombeo:

- El sistema debe contar con una fuente eléctrica alternativa que pueda funcionar en caso de emergencia.
- Debe preferirse la automatización del sistema.
- Las operaciones de mantenimiento incluyen acciones más complejas que deben ser realizadas periódicamente.
- La capacidad de bombeo debe ser la suficiente para abastecer a la red durante las diferentes demandas del día.

2.3.3. *Tratamiento*

El principal objetivo de realizar un tratamiento al agua cruda es reducir el contenido de sustancias, impurezas o cuerpos indeseables para llevarlos a los recomendados por normas de calidad, por tanto, se busca la eliminación total o parcial de estos mediante métodos en conjunto (Gomella, et al., 1977, pp. 55-60). Entre los métodos

- Métodos de Extracción: Transferencia de masa sólido-líquido, líquido-líquido o gas-líquido, es decir: rejas, tamizado, sedimentación, filtración, flotación, adsorción, intercambio iónico, transferencia iónica y ultrafiltración.
- Modificación de Estado o estructura: Precipitación de coloides, transformación de iones en precipitados o en gas, disgregación de moléculas, formación de moléculas más complejas, destrucción de seres vivos sean organismos o microorganismos.
- Combinación de la modificación de estado o estructura y de la extracción.

Entre los tratamientos principales de desinfección del agua natural está la cloración, destinada a la destrucción de microorganismos patógenos siendo muy común en las plantas de tratamiento,

pueden usarse para dosificar coagulantes, oxidantes, inhibidores de la corrosión, sustancias químicas para el ajuste del pH, control de sabor y olor, desinfectantes, fluoruro, etc. (Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, 2013)

2.3.4. Almacenamiento y distribución de Agua Potable

Los tanques de distribución son recipientes de almacenamiento de agua ubicados entre la línea de captación y la red de distribución, sus funciones son regular la distribución (si dispone de un volumen extra para las horas de mayor consumo de agua) y contener un volumen de reserva para emergencias, aunque esta función suele suprimirse (los abonados poseen su propio tanque de almacenamiento en caso de emergencia). Normalmente, en horas de bajo consumo, el sistema consume un caudal igual o menor al que provee la fuente, por lo que se puede almacenar una porción de este caudal en el tanque para aquellas horas del día en que el consumo es mayor al que puede satisfacer la fuente, como la mañana o el medio día en los que muchas personas se disponen a usar una gran cantidad de agua. (Comisión Nacional del Agua, 2016, pp. 13-15)

La disposición y cantidad de tanques depende directamente de las características propias de la red, ya que estos pueden variar con el número de fuentes, el número de abonados, las condiciones de topografía u otros.

La salida del tanque se une a la red de distribución que es el conjunto de tubos, accesorios y estructura que transportan el recurso hídrico hasta los hogares de una comunidad o bien a los servicios públicos de la misma. Mediante esta obra civil se satisfacen necesidades cotidianas de tipo domésticas, públicas, industriales, comerciales u otras; indispensables para el desarrollo normal de las sociedades.

Así como el sistema de distribución de agua es fundamental, lo es también el sistema de alcantarillado el cuál transporta el agua ya utilizada para tratarla y regresarla al medio ambiente, en el mejor de los casos, dejando un mínimo impacto. Los elementos básicos que conforman una red de distribución son: tuberías, piezas especiales (Como ramificaciones, intersecciones, uniones, reducciones, etc.), válvulas, hidrantes, tomas domiciliarias, rebombeos y cajas rompedoras de presión. Los sistemas de distribución, al igual que las captaciones, pueden funcionar por gravedad, bombeo o una combinación de ambas.

2.4. Sistemas de Abastecimiento de Agua y Modelos Hidráulicos

Para la construcción de sistemas de abastecimiento de agua habrá de seguir un conjunto de pasos ordenados y consecuentes con el alcance del mismo y el límite de la inversión. Los proyectos de Abastecimiento de agua pueden ser de diseño en aquellos casos donde el sistema parte desde cero

y de ampliaciones cuando se requiere extender las zonas del servicio, aunque para cualquiera de estos dos tipos es necesario contar con herramientas tecnológicas que faciliten, y agilicen el trabajo pero que también verifiquen los resultados obtenidos mediante otros métodos. Mientras más minucioso sea el proyecto ejecutado requiere de mayores recursos económicos, humanos y de tiempo por lo que es importante ubicar el objetivo del proyecto y de acuerdo a este darle un alcance y extensión.

Las herramientas tecnológicas permitirán introducir modelos hidráulicos, los cuales mediante un modelo matemático (conjunto de ecuaciones) procesan datos que se hayan introducido previamente para poder obtener resultados confiables, rápidos y que ahorren recursos al facilitar la edición rápida del sistema y conocer su nuevo funcionamiento en cualquier condición normal o anormal. La elección del tipo de modelo responderá a la necesidad que se desea satisfacer con el proyecto.

2.4.1. Diseño/rediseño de sistemas de agua potable

Indistintamente el tipo de modelo que se desee realizar se debe seguir una serie de pasos, el tiempo que se destine a cada uno dependerá de cuán exactos se deseen los resultados y cuanta inversión se disponga. Comúnmente deben seguirse los siguientes pasos para asegurar que el modelo brinde una respuesta aproximada a la del sistema real:

- **Recopilación de Información.** En esta etapa del proyecto se recolecta datos de topografía, registros de consumos, usuarios, calidad, elementos del sistema, características de las tuberías como tamaño, espesor, material y edad. El tiempo, esfuerzo y dinero que se invierta en esta etapa va relacionado con el uso que se le dé al modelo para que requiera más o menos exactitud.
- **Esqueletización de la red.** En esta etapa se dibuja la red o el sistema usando comúnmente software CAD y GIS, como en la etapa anterior se puede dibujar una red muy detallada, así como un esquema simple de la misma. Se asignan los datos de la tubería y el terreno recolectados en el punto anterior.
- **Análisis de la demanda.** El análisis de la demanda corresponde a uno de los puntos más importantes en el modelado, puesto que influyen en gran medida en los resultados de la simulación. Datos erróneos de consumos harán que el modelo hidráulico se aleje demasiado del comportamiento real del sistema.
- **Evaluación y reparto del caudal de fugas.** Al igual que el punto anterior, el análisis de fugas es de gran importancia y requiere de un análisis con mayor dificultad comparado al anterior, mientras que para la demanda se pueden usar registros de consumo por parte de la institución encargada del abastecimiento, las fugas no siempre son visibles al usuario o al equipo de

mantenimiento, pero es importante reconocer su existencia y añadirlas al modelo para acercarse más al comportamiento real.

- **Calibración del modelo (Validación).** Este punto se refiere a la comparación entre los datos obtenidos en la simulación y aquellos en campo con el objeto de realizar ajustes al modelo buscando una mayor precisión. Entre las variables que se deben manipular están: la rugosidad, diámetros, consumos, condiciones iniciales de calidad y velocidad de reacción como las más importantes.
- **Medición, Evaluación y Pre calibrado.** Como los resultados buscados en el modelo son comúnmente la presión y los caudales en la línea; se verifican estos con medidas realizadas en campo en busca de un error aceptable. Si la diferencia es considerable (mayor al 15 o 20% del valor total) se debe cambiar los valores de rugosidad o demandas para darle un ajuste fino al modelo en caso de ser necesario.
- **Análisis de Sensibilidad.** Cuando el modelo hidráulico que se requiere debe tener una gran precisión, el análisis de sensibilidad permite a través de la modificación de ciertos parámetros acercarse aún más al comportamiento real del sistema. En esta etapa se verifican: demandas, fugas, rugosidades, condiciones de bombeo, niveles de almacenamiento, etc.

2.4.2. Estudios Preliminares

Para poder crear un modelo hidráulico se deben disponer de ciertos datos necesarios previos a la ejecución del proyecto. Entre la información requerida están los caudales disponibles en el sistema, la ubicación geográfica del proyecto, población beneficiaria, duración prevista del sistema, elementos existentes (tuberías, estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento u otros), y consumos previstos, se han dividido en tres tipos de estudios fundamentales.

2.4.2.1. Datos de Topografía

Los estudios de topografía son el conjunto de actividades de campo y oficina que buscan brindar información altimétrica y/o planimétrica, para representarlas en planos a una escala adecuada. Conocer los cambios de alturas es fundamental en sistemas de abastecimiento de agua tanto en sistemas a gravedad o por bombeo, con ellos podrá calcularse la cantidad de energía necesaria para transportar el agua entre dos puntos de forma exitosa.

Una vez se dispone del plano topográfico con la posición planar y cota de la superficie del proyecto comúnmente se hace uso de ciertas herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para procesar los puntos y llevarlos a un programa de modelación hidráulica. Entre los programas SIG de código libre más populares están: QGIS, Saga GIS y gvSIG; aunque existen también corporaciones que ofrecen licencias temporales gratuitas como es el caso de ArcMAP o AutoCAD Civil 3d disponibles para estudiantes. (Montoya, 2015)

En cada caso es posible leer datos en forma de curvas de nivel; aunque también pueden encontrarse otros archivos que contienen el mismo tipo de información, entre los más comunes están:

- Archivos Tiff. La extensión tiff corresponde a un formato de imagen que contiene gran cantidad de información, especialmente de grandes extensiones en alta resolución. La información es geo referenciada y se usa especialmente para manejar ortofotos, por lo que en un programa de Sistemas de Información Geográfica se leerán proyecciones, posiciones, sistemas de coordenadas y otros datos. (Olaya, 2014, pp. 101)
- Superficies TIN. Es una red irregular de triángulos, o dicho de otra forma es un medio digital para representar la morfología de una superficie. Son producto de la interpolación de puntos basados en vectores mediante una variedad de métodos. Los modelos TIN son menos generalizados que los modelos Ráster puesto que son más costosos de obtener y procesar. Sirven para modelar espacios pequeños con alta precisión, especialmente para ingeniería puesto que permiten realizar cálculos de superficie y volumen. (ArcMAP, 2016)
- Modelos Ráster. Una malla ráster permite manipular la información mediante el uso de celdas almacenando en cada una la información necesaria para describirla. Aunque comúnmente pueden almacenarse varios datos por casillero, comúnmente solo se guarda uno, por ejemplo, la cota de la celda. Cada celda lleva relación con las demás debido al análisis sistemático con que se crea el archivo facilitando ubicar a cada una por sus contiguas. (Olaya, 2014, pp. 106)
- Nubes de puntos (Tipo Shape). Este es un formato sencillo usado para almacenar ubicación geométrica e información de atributos de las entidades geográficas. Pueden representar líneas, polígonos o incluso tablas del dBASE. Una nube de puntos calcula puntos 3D a partir de un modelo Ráster extrayendo información importante como la posición y altura. (ArcMAP, 2016)

Por consiguiente, la información topográfica puede venir expresada en cualquiera de los tipos anteriores, o procesada en ellos dependiendo de cuál será su destino. Al tratarse de modelos hidráulicos de sistemas ya existentes mediante Epanet se necesita de un archivo en formato shapefile que contenga los datos de altura de la superficie donde se ubica el proyecto, con la herramienta Arcview y el complemento GIS se podrá obtener de forma rápida y sencilla el archivo ejecutable Epanet inclusive, con sus demandas, longitud de tubería, diámetro, rugosidad y más variables ahorrando tiempo para con y obteniendo un sistema listo para someterse a distintas condiciones para su análisis.

2.4.2.2. Estudio de la demanda (Caudal de diseño)

El consumo es aquella parte de agua potable que comúnmente disponen los usuarios del servicio y viene expresada en unidades de volumen por unidad de tiempo. El consumo de una población difiere significativamente de otras debido a que está directamente relacionado con el clima, las costumbres, clase socio económica y las actividades cotidianas; por lo que, aunque dos lugares sean muy parecidos el estudio de los consumos no será necesariamente igual. Para zonas rurales se recomienda tomar un caudal promedio diario de 100 l/hab. (Comisión Nacional del Agua, 2016, pp. 8-13)

Así como cada usuario tiene un consumo diferente, de igual forma hay que considerar que la época del año, el día de la semana y la hora del día también influye en la cantidad de agua que se usa; por ejemplo: se registra un mayor consumo en horas de la mañana o del medio día. Por tal motivo, la variable que permite caracterizar de mejor manera al consumo de acuerdo a la hora del día se denomina curva de modulación. Los valores de la curva de modulación se definen por una serie de factores como el tipo de población (urbana o rural), la clase de usuario (comercial, industrial, doméstico) y la zona geográfica de estudio.

La demanda es la suma de los consumos y fugas y está relacionada con la cantidad de agua consumida a diario por una persona, la población actual y futura estos datos son primordiales al momento de determinar el caudal de diseño bajo el cual el sistema va a funcionar. La línea de conducción se diseñará para conducir el caudal requerido en el día de máxima demanda del período de diseño establecido, por tanto, se deben estudiar los caudales medios, máximo diario y máximo horario de un usuario.

Caudal Medio Diario. Este caudal es el resultado de multiplicar la dotación media futura por la población y dividir para 86400 segundos que tiene un día y luego multiplicar por un factor de 1.2 que es debido a las pérdidas que se pueden ocasionar en el sistema según el Código Ecuatoriano Norma C0 10.7-601 literal 4.1.5.1

$$Q_{md} = \frac{(qN)}{86400} \quad (15)$$

Donde:

Q_{md} : Caudal medio.

q : Dotación en L/hab/día (Numeral 4.1.4.2.)

N : Población al final del diseño del proyecto.

Caudal Máximo Diario. El caudal máximo diario sirve para cubrir la demanda en el día de máximo consumo. Se calcula en base a un factor de mayoración de 1.30 respecto del caudal medio diario.

$$Q_{MD} = Q_{md} K_{MD} \quad (16)$$

Donde:

Q_{MD} : Caudal máximo diario.

Q_{md} : Caudal medio.

K_{MD} : Coeficiente de variación del consumo máximo diario. (1.3 a 1.5)

Caudal Máximo Horario. El caudal máximo horario sirve para cubrir la demanda en las horas de máximo consumo y normalmente se calcula con un factor de mayoración de 2 respecto del caudal medio diario.

$$Q_{MH} = Q_{MD} k_{MH} \quad (17)$$

Donde:

Q_{MH} : Caudal máximo horario.

Q_{MD} : Caudal máximo diario.

k_{MH} : Coeficiente de variación del consumo máximo horario. (2 a 2.3)

Las normas de diseño de la SSA en el numeral 4.1.6.1, recomiendan que el diseño de las distintas partes de un sistema de abastecimiento de agua potable, se usen los caudales de la Tabla 11-2.

Tabla 11-2: Caudales de diseño para los elementos de un sistema de agua potable

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

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Fuente: (Secretaría del Agua, 2012, pp. 264)

En el caso de sistemas de distribución se debe recurrir al apartado 4.1.5.3 para determinar las dotaciones de agua para incendios en función al número de habitantes del diseño.

2.4.2.3. Evaluación de fugas

Mientras los consumos de los usuarios se colocan en el modelo independientemente de la presión, (aunque en condiciones reales si existe una relación entre estos factores) existen algunas condiciones que deben estar en función de la presión y se las conoce como fugas. Estudios previos han demostrado que en las redes de agua potable de las ciudades se pierde en promedio 36.4% del caudal suministrado por las fuentes, debido a fugas que se presentan en las conexiones domiciliarias y en las tuberías de la red. (Comisión Nacional del Agua, 2016)

Aunque al hablar de fugas se consideran solo las pérdidas reales del sistema es importante recalcar que en la instalación real estas no son el único tipo de pérdidas que existen.

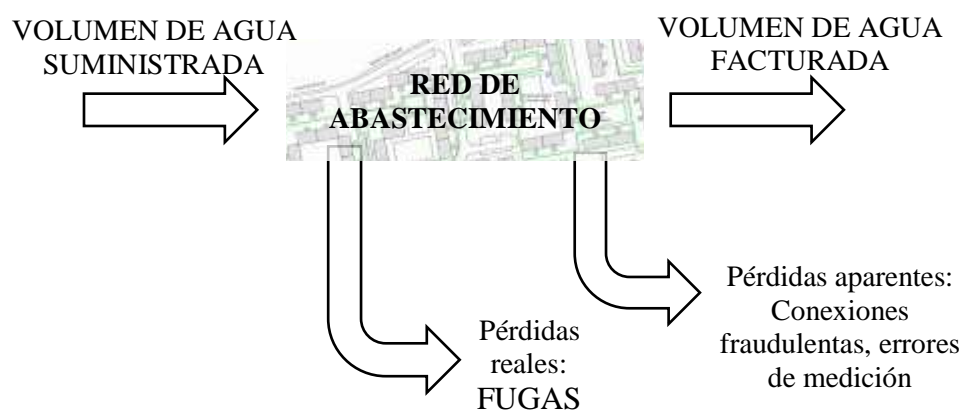


Figura 6 -2: Pérdidas en el proceso de abastecimiento de agua
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Descartando las pérdidas de presión en el terreno que rodea a una tubería, hidráulicamente la fuga será equivalente a un orificio de salida en un tanque, por lo que inicialmente su comportamiento responde a la ecuación de Torricelli.

$$Q_f = C_d A (2gH)^{0.5} \quad (18)$$

Donde:

Q_f : Caudal de fugas a través de un orificio.

C_d : Coeficiente de descarga.

A : Sección transversal del orificio.

g : Aceleración de la gravedad.

H : Pérdida de carga entre los puntos aguas arriba y aguas abajo del punto de descarga.

Aunque mediante la Ecuación 18 simplifica en gran medida el caudal de fuga se debe recordar que su comportamiento es mucho más complejo, puesto que hay varios términos que cambian en

función del tipo de flujo (laminar o turbulento), las propiedades del terreno alrededor, pero especialmente del material de la tubería que modifican el exponente de fuga. De esta forma, varios autores concluyen que el uso de un coeficiente de descarga constante en todas las fugas es incorrecto. (Rondán Galán, 2016, pp. 45-49). Una de las ecuaciones mejor aceptadas por varios autores es la siguiente.

$$Q_f = KP^n \quad (19)$$

Donde:

Q_f : Caudal de fugas a través de un orificio.

K : Coeficiente emisor.

P : Presión en el nodo.

n : Exponente de fugas.

De la ecuación anterior, tanto el coeficiente emisor como el exponente de fugas no tienen un valor único, por ejemplo, de varios experimentos se han extraído los siguientes datos experimentales.

Tabla 12-2: Valores experimentales para el exponente de fugas.

Criterio	Exponente de fugas
Flujo laminar con Reynold menor a 10	El exponente toma valor de 1
Tuberías plásticas entre 25 y 150 mm de diámetro, con fisuras circulares y longitudinales.	Entre 0.47 y 0.76, promedio de 0.58
Acero y PVC con orificios circulares de 1.6 a 2.8mm de diámetro	Valores cercanos a 0.5

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth

Fuente: (Rondán Galán, 2016, pp. 39)

El método más simple de análisis consiste en dar un mismo exponente emisor para todos los nudos del sistema, sin tomar en cuenta características físicas del sistema como la longitud de la tubería o el número de conexiones. El caudal de fugas total será la suma de las fugas en todos los nodos. Algunos autores ya han determinado un porcentaje del caudal total del sistema en fugas el cuál comúnmente varía entre el 27.8% y 32.62% del flujo inyectado a la red (Valores tomados de (Chuquín, et al., 2016, pp. 32) y (Hurtado, 2006, pp. 52). Mediante esta aproximación es posible determinar un coeficiente global de emisión por medio de la ecuación:

$$K_{global} = \frac{Q_T}{\sqrt{P_{promedio}}} \quad (20)$$

Donde:

- Q_T : Caudal de fugas a través de un orificio.
 K_{global} : Coeficiente emisor global.
 $P_{promedio}$: Presión promedio del sistema.

Hay que considerar que cada nodo en la red tiene un coeficiente emisor diferente que varía con las condiciones del nodo, por ejemplo, con una longitud de tubería mayor las probabilidades de presentar fugas en dicho punto son mayores. Bajo esta consideración se puede usar la siguiente ecuación en el cálculo del coeficiente emisor de un nodo en la red.

$$C_E = \frac{L_i}{2L_T} K_{global} \quad (21)$$

Donde:

- C_{Ei} : Coeficiente emisor del nodo i.
 L_i : Longitud de tubería conectada al nodo i.
 L_T : Longitud total del sistema.
 K_{global} : Coeficiente emisor global.

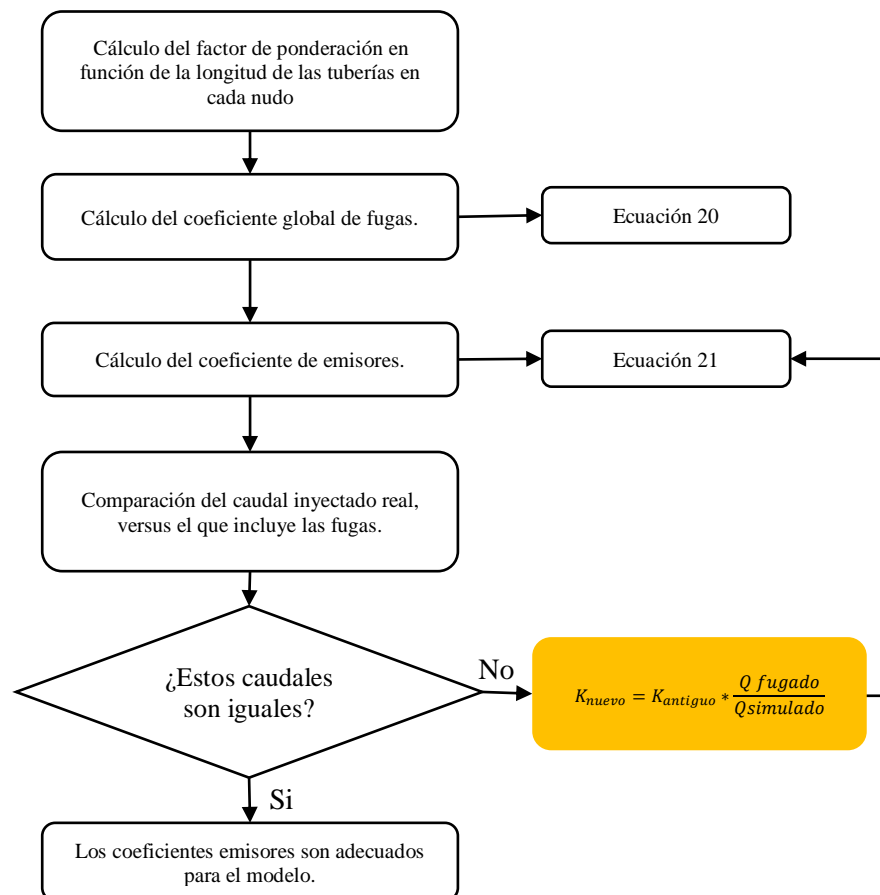


Figura 7-2: Procedimiento para el cálculo de fugas.
Fuente: (Chuquín, et al., 2016, pp. 34)

Al ejecutar el modelo hidráulico se puede presentar el caso de que inicialmente el caudal fugado que indique el programa difiera del real esperado por lo cual se debe realizar un proceso iterativo para el cálculo del caudal fugado; los pasos se muestran en el Figura 7-2. De ser necesario, este procedimiento puede repetirse hasta alcanzar un margen de diferencia aceptable entre las fugas simuladas y las reales.

2.4.3. Modelación hidráulica: EPANET

La necesidad de proponer soluciones rápidas, de bajo costo y que sean precisas demandada la utilización de métodos más sofisticados de cálculo, especialmente cuando se habla de redes de abastecimiento en las cuales se dispone de numerosas variables que se vuelven difíciles de calcular manualmente. Epanet es un programa informático diseñado para realizar simulaciones en período extendido tanto de tipo hidráulico como de calidad de agua para sistemas que funcionen a presión. Epanet utiliza un modelo matemático que permite construir redes con tuberías, bombas, válvulas, depósitos y tanques de almacenamiento para calcular los caudales que circulan por cada conducto, la presión en cada punto, niveles en tanques y concentración de químicos durante un período de tiempo que se simule.

2.4.3.1. Interfaz y elementos básicos

Para Epanet un sistema de distribución de agua es una serie de líneas conectadas entre sí por nudos, las líneas pueden representar tuberías, bombas y válvulas; los nodos representan conexiones, tanques y depósitos.

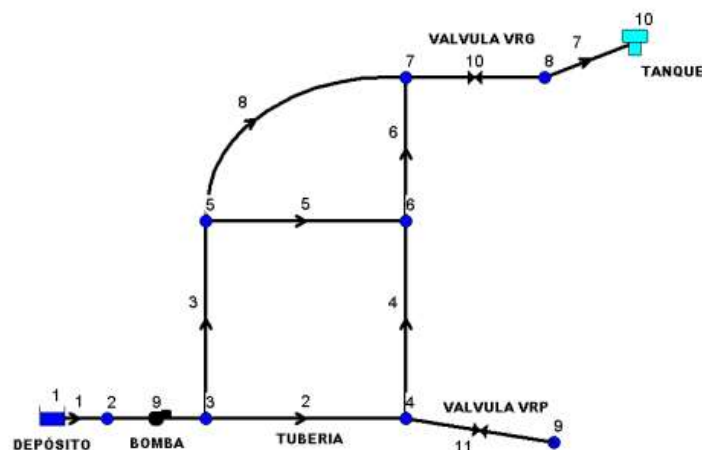


Figura 8-2: Ejemplo red de tuberías.
Fuente: (Rossman, 2001, pp. 13)

La interfaz de Epanet se encuentra formada por una gran área de trabajo donde se dibuja la red, una segunda ventana que es el visor de características y elementos, barra de menú, barra de herramientas y en la parte inferior una barra de estado.

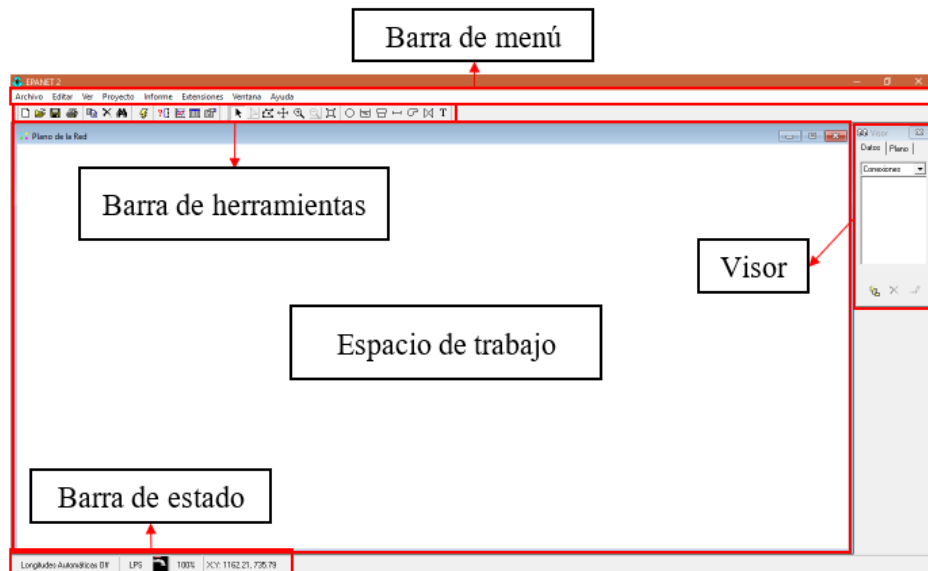



Figura 9-2: Interfaz de Epanet
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Dentro de la barra de herramientas están los elementos de la red, de acuerdo con la naturaleza del elemento se deben definir ciertas propiedades para poder ejecutar la simulación.

Tabla 13-2: Elementos en los modelos de Epanet

Tipo	Dibujo	Características	Datos	Resultados
Conexión	●	Puntos donde se unen líneas o por donde entra o sale agua.	Cota, demanda, calidad, curva de modulación.	Altura piezométrica, presión, calidad.
Embalse	■	Fuente de agua infinita, se usa para lagos, ríos, acuíferos, etc.	Altura piezométrica, calidad inicial.	Variación de altura con el tiempo.
Depósito	⊥	Son nudos con capacidad de almacenamiento finito.	Cota, diámetro o geometría, nivel máximo y mínimo, calidad.	Nivel de la superficie y calidad del agua con el tiempo.
Tubería	●—●	Son líneas llenas que llevan el agua de un punto de la red a otro.	Nudo de entrada y salida, diámetro, longitud, coeficiente de rugosidad, estado, coeficientes de reacción.	Caudal, velocidad, pérdidas, factor de fricción, variación de la velocidad de reacción y calidad de agua.
Bomba	●—■—●	Son elementos que aportan energía al fluido incrementando su altura piezométrica.	Nudo de entrada y salida, curva característica, velocidad relativa (bomba de velocidad variable)	Caudal, carga
Válvula	●—⌞—●	Son líneas que limitan la presión y el caudal en puntos específicos.	Nudo de entrada y salida, tipo, diámetro, consigna (tarado) y estado.	Caudal, pérdidas.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth
Fuente: (Rossman, 2001, pp. 14)

La red se construye añadiendo los elementos desde la barra de herramientas al área de trabajo y dándoles las propiedades necesarias, cuando se agrega un elemento el programa da una identificación por defecto de acuerdo al tipo y número de elementos en la red. Estas propiedades por defecto pueden cambiarse dentro de la barra de menú, en Proyectos y dentro Valores por defecto entre las opciones están: los nombres de los objetos, el diámetro, longitud y rugosidad de las líneas nuevas y opciones relacionadas con el método de cálculo hidráulico. La simulación arranca al dar clic sobre el botón Iniciar Análisis en la barra de herramientas ().

2.4.3.2. Alcance de la simulación

Epanet constituye una herramienta eficaz para determinar el movimiento y comportamiento del agua en una red bajo distintas perspectivas, esto permite que al disponer de un solo modelo se puede analizar varias condiciones a la vez. Cuando se ha creado un modelo hidráulico en Epanet se pueden definir varias capacidades de simulación de acuerdo a los datos ingresados durante la creación del archivo, como los descritos en la Tabla 14-2.

Tabla 14-2: Algunos estudios que se pueden hacer en Epanet

Modelo de Calidad de Agua	Modelo Hidráulico
- Seguimiento de una sustancia en la red, sea que aumente o reduzca su concentración.	- No existe límite de tamaño.
- Edad del agua en la red	- Calcula pérdidas mediante Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chezy-Manning.
- Seguimiento de una porción de fluido a lo largo de la red.	- Incluye pérdidas menores de elementos como: codos, acoples, etc.
- Reacciones en el fluido	- Modela bombas de velocidad constante y variable.
- Permite entradas de concentración en cualquier punto.	- Calcula la energía consumida y el costo de bombeo.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth

Fuente: (Rossman, 2001, pp. 14-17)

2.5. Santiago de Calpi

Dado que este proyecto se desarrolla por completo en la Parroquia Calpi, es necesario conocer ciertas generalidades sobre ella. El 13 de noviembre de 1846 Calpi fue elevada a cartografía Parroquial Civil siendo una de las poblaciones más antiguas del Ecuador, remontada a tiempos de la colonia cuando el país se conocía como Real Audiencia de Quito.

2.5.1. Características Generales.

Santiago de Calpi es una parroquia rural perteneciente al cantón Riobamba en la provincia de Chimborazo. Tiene una extensión aproximada de 5353 Ha y una altitud promedio de 3200 msnm. Por su ubicación geográfica se encuentra limitada al norte por comunidades de la parroquia San

Andrés, cantón Guano; al sur por el río Chibunga y la Comunidad Gatazo del cantón Colta; al este por la parroquia Licán y al oeste por la Parroquia San Juan estas dos últimas pertenecientes al cantón Riobamba.

2.5.2. Distribución política

Calpi cuenta con 17 comunidades: Asunción, Palacio Real, San Francisco de Cunuguachay, Nitiluisa, La Moya, Jatari Campesino, Rumicruz, San Vicente de Luisa, San José de Gaushi, Bayushi San Vicente, Calpi Loma, San José de Chanchahuan, San José de Bayobug, Chamboloma, Chiquicaz y Telempala.



Figura 10-2: Distribución política de la parroquia Calpi
Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Santiago de Calpi, 2012, pp. 45)

2.5.3. Demografía

De la información proporcionada por el Instituto Ecuatoriano de Normalización del último censo de población realizado en 2010, la población de Calpi alcanza los 6469 habitantes. La distribución detallada se especifica en la Tabla 15-2.

Tabla 15-2: Distribución por edades y género de la parroquia Calpi

Grupos Etáreos	Hombres	Mujeres	Total
Menores de 1 año	52	58	110
1 y 9 años	499	548	1047
10 a 14 años	312	392	704
15 a 29 años	757	868	1625
30 a 49 años	622	703	1325
Total:	3012	3457	6469

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth
Fuente: INEC, 2010

Del total de habitantes, el 8.86% están establecidos en los barrios El Progreso, Los Pinos, La Nubecita, El Complejo, El Belén, Barrio Central, La Florida, Jesús del Buen Poder, y El Panecillo, dejando el 91.14% restante entre sus 17 comunidades. (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Santiago de Calpi, 2012).

El crecimiento poblacional va disminuyendo progresivamente en los últimos años según los datos que presenta el INEC, ya que entre 1990 y 2001 el factor descendió 0.39 puntos mientras que entre los años 2001 y 2010 la tasa quedó en 0.53 puntos. Una de las razones más importantes para la reducción de la población es la migración a los centros urbanos, mayormente por causas laborales y educativas. (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Santiago de Calpi, 2015, pp. 52-53) Considerando estos factores, la proyección de la población se sugiere como se indica en el Gráfico 1-2.

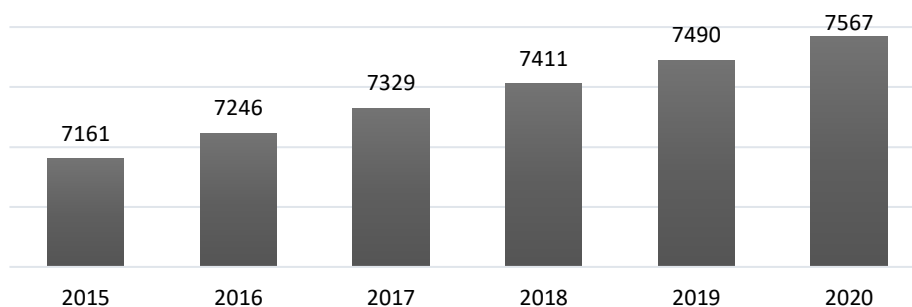


Gráfico 1-2: Proyección de la población

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Santiago de Calpi, 2015, pp. 52)

2.5.4. Principales actividades Socio Económicas

En el aspecto socioeconómico, los ingresos familiares de la parroquia se obtienen principalmente de la actividad agrícola con productos como maíz, choclo suave, papas, zanahoria y alfalfa. Las actividades que siguen a la agricultura son la albañilería, la actividad pecuaria de especies mayores y menores, el comercio y en menor proporción el trabajo en los sectores públicos y privados.

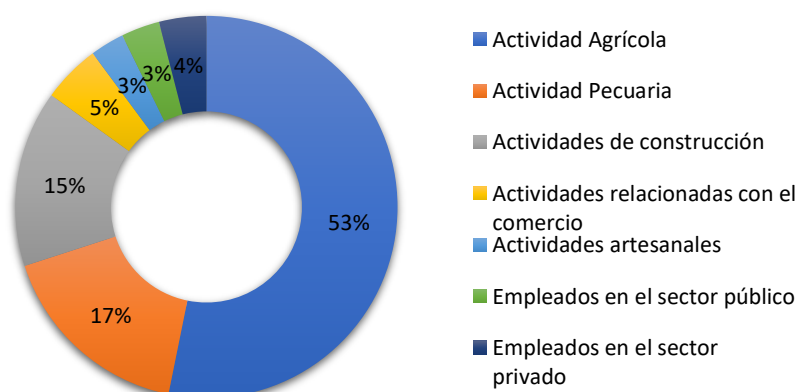


Gráfico 2-2: Distribución de la Población Económicamente Activa

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Santiago de Calpi, 2012, pp. 56)

2.5.5. Estadísticas de acceso a servicios básicos

Se entiende por servicios a la población todos aquellos prestados directa o indirectamente a los hogares y personas, que satisfacen necesidades individuales o colectivos de carácter social, económico y cultural. (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Santiago de Calpi, 2015, pp. 187) Entre estos servicios constan:

- Viviendas con servicio de energía Eléctrica. Aunque según datos recolectados en la parroquia se dice que el 100% de la población tiene acceso a la electricidad, la calidad de este servicio no es buena puesto que muchas veces el servicio no es continuo y los cortes son recurrentes debido a las lluvias o fuertes vientos.
- Viviendas con abastecimiento de agua. A pesar de que la población en su totalidad dispone de agua para consumo y uso doméstico; solo para las comunidades de Asunción, Palacio Real, San Francisco de Cunuguachay y el centro parroquial el agua proviene de una red pública. En general, la calidad del agua no es buena debido a la falta de tratamientos adecuados desde la captación hasta la distribución (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Santiago de Calpi, 2012, pp. 192-194).
- Viviendas con eliminación de aguas servidas por red pública de alcantarillado. El acceso a este servicio es restringido, disponible solo en las comunidades con sistema de red pública de agua (Asunción, Palacio Real, San Francisco de Cunuguachay y el centro parroquial), incluso para estas zonas, la calidad del sistema es baja ya que no existen plantas de tratamiento de agua antes de devolverlas a la naturaleza (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Santiago de Calpi, 2012, pp. 196).
- Eliminación de basura por carro recolector. Lamentablemente el acceso al sistema de recolección de basura es muy bajo, solo disponible en el centro parroquial (Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Santiago de Calpi, 2012, pp. 197).
- Otros servicios. La telefonía fija no está disponible en toda la extensión de la parroquia a diferencia de la telefonía móvil. En cuanto a educación, existen varios centros como escuelas, colegio, y CIBVs distribuidos entre las comunidades y el centro parroquial. La cabecera parroquial goza de varios servicios extras como: una unidad de policía comunitaria (UPC), Subcentro de salud, cementerio, junta de agua, tenencia política, GAD Parroquial y un mejor sistema de transporte a la cabecera cantonal.

CAPÍTULO III

3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.1. Línea de Captación

3.1.1. Generalidades

El sistema de captación que abastece a Calpi es un conjunto de tuberías de alrededor de 7.5 km de longitud desde las fuentes en Guabug (Parroquia San Juan) hasta el punto de repartición de caudales en Calpi Loma, la captación es compartida, ya que además de suministrar a Calpi lo hacen también los pobladores de la comunidad de Bayushi San Vicente. El tipo de conducción es por gravedad en tuberías a presión. El agua que se aprovecha para el consumo humano proviene de fuentes subterráneas, por lo que su calidad es relativamente buena. Actualmente se usa agua de tres reservas diferentes: Shobolpamba, El Lirio y Represa; contando cada una con buena obra de captación que evita la contaminación del recurso y permite una adecuada captación.

La primera, es un tipo de fuente subterránea ubicada junto al río Chimborazo que provee la mayor parte del caudal que abastece el sistema. El Lirio constituye una fuente relativamente nueva adjudicada con un caudal de aproximadamente 2 l/s por la Secretaría del Agua (SENAGUA) destinada en su totalidad para el consumo. El tipo de conducción es por gravedad en tuberías a presión.

La represa es una obra de captación con el objeto de recuperar el agua de pequeñas fuentes relacionadas a Shobolpamba cuyo caudal estaba siendo desperdiciado al río Chumborazo, el objetivo de la represa es recolectar los pequeños volúmenes de agua generados alrededor de la fuente mayor para llevarlos por una serie de filtros que mejoran su pureza y eliminan partículas que hayan sido atrapadas.

Inicialmente, el sistema de agua estaba formado únicamente por el caudal proveniente de la fuente Shobolpamba que abastecía a ambas comunidades, pero debido al crecimiento poblacional y de las necesidades por satisfacer el caudal tuvo que ser incrementado mediante la adjudicación de aprovechamiento de las otras fuentes nombradas, por este motivo el sistema debió sufrir de adaptaciones para poder transportar este nuevo caudal en su conjunto. Al sistema ya existente se le conoce como "Línea Antigua" mientras que la obra nueva construida se conoce como "Línea Nueva" que luego del punto de unión pasan a formar una "Línea en conjunto".

3.1.2. Elementos constitutivos de la red y parámetros actuales

3.1.2.1. Línea Antigua



Figura 1-3: Tanque Antiguo. Fuente Shobolpamba.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

La línea antigua es la obra destinada al transporte del caudal producido en la fuente Shobolpamba, desde la reserva hasta el tanque repartidor de caudales. Las características de esta parte del sistema se detallan en la Tabla 1-3.

Tabla 1-3: Línea Antigua Propiedades

Característica	Valor	Tipo
Longitud	346.35 m	Calculada
Diámetro interno	152.55 mm	Calculada
Espesor	3.84 mm	Medida
Material	PVC	Observada

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

La tubería nace de un tanque de base rectangular abierto a la atmósfera construido de hormigón y conectado a una segunda línea que es la encargada de transportar el fluido desde la fuente, este tanque no dispone de sistema de reboso para la evacuación de excesos de agua. Para este estudio se asume que el nivel de agua en el tanque siempre permanece constante, por lo que en este caso las dimensiones del mismo no son relevantes.

Durante las visitas al sistema se pudo notar que por la posición de la tubería y el nivel de agua en el tanque esta no se encontraba por completo cubierta por el fluido, por lo que era observable la gran cantidad de aire que al momento ingresaba al sistema, así como la formación de remolinos a la entrada de la tubería. Es importante recalcar que este nivel en el tanque está en función de la producción variable en la fuente, aunque según el encargado, el nivel siempre se mantiene relativamente bajo (aproximadamente, 0.35m)



Figura 2-3: Salida del tanque antiguo.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Entre otros elementos importantes que pueden señalarse en este tramo de tuberías están: válvula de regulación a la salida del tanque y un cruce de quebrada.

3.1.2.2. Línea Nueva



Figura 3-3: Tanque línea Nueva.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

La línea nueva proviene de un tanque de base circular que recolecta el agua producto tanto de la fuente el Lirio como de la Represa. El agua llena el tanque que dispone de un sistema de reboso para evacuar el agua en exceso que pueda presentarse. La tubería que sale del depósito originalmente fue construida en la parte inferior del mismo (para aprovechar la presión estática) pero se han realizado modificaciones elevando la tubería un metro sobre su posición original. Los parámetros extraídos de este sistema son:

Tabla 2-3: Línea Nueva Propiedades

Característica	Valor	Tipo
Longitud	316.84 m	Calculada
Diámetro interno	152.55 mm	Calculada/Medida
Espesor	4.2 mm	Medida
Material	PVC	Observada
Máxima altura del tanque	1.98m	Medida

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

La asunción de que el nivel de agua es constante con el tiempo se repite para este tanque, con la consideración de que máximo podría ubicarse al nivel de la tubería de expulsión ya que el volumen de fluido que ingresa al sistema no está siendo evacuado en su totalidad, dejando un remanente que ya no puede acumularse en el depósito y que debe ser arrojado hacia el río Chimborazo, el proceso se esquematiza en la Figura 4-3. Por la disposición de la tubería en el depósito, se puede decir que esta transporta el agua a sección llena, o lo que es lo mismo como un sistema a presión distinta a la atmosférica.

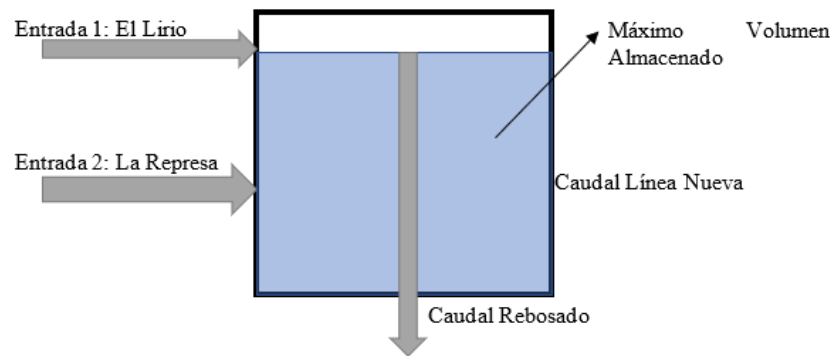


Figura 4-3: Esquema de funcionamiento del Tanque Nuevo.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

El sistema anterior corresponde a un volumen de control en el cual la masa de agua que ingresa es mayor a la que sale por la línea nueva por lo cual la diferencia entre estas provoca una acumulación de masa que supera el máximo volumen de almacenamiento obligando al tanque a tener una segunda salida de caudal mediante la tubería de reboso. Es importante señalar que el volumen de agua que se transporta por la línea nueva no solo depende de la presión con la que sale desde el tanque, sino también de las características en la tubería aguas abajo, principalmente la unión directa a otra tubería a una distancia relativamente corta. Entre otros elementos que se encuentran en esta parte del sistema están: válvula de regulación a la salida del tanque (recientemente instalada), válvula de compuerta para vaciado, y dos cruces de río.



Figura 5-3: Válvula de vaciado y cruce de río.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

3.1.2.3. Línea en conjunto



Figura 6-3: Punto de unión de las tuberías “Yee”
Fuente Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Si bien ambas partes nacen de fuentes diferentes, las dos líneas se unen mediante una intersección en Yee a una distancia menor a los 500 m a partir de ellas. A partir de este punto el flujo se transporta en conjunto hasta el tanque repartidor de caudales. El Sr. Homero Moyano, Presidente de la Junta Parroquial de Agua Potable de Calpi (al momento de ejecutarse el proyecto), explicó que en la construcción de esta parte de la línea intervinieron criterios ingenieriles que garantizaron el buen funcionamiento en la construcción como por ejemplo el uso de segmentos de tubería con diámetro menor pues este tipo de decisiones se toman por motivos económicos, técnicos o inclusive por experiencia. Bajo estas condiciones se determinaron las características de este segmento de captación como muestra la Tabla 3-3.

Tabla 3-3: Línea en conjunto. Propiedades

Característica	Valor	Tipo
Longitud	6909.96 m	Calculada
Diámetro interno	152.55 y 103.73 mm	Calculada/Medida
Espesor (Promedio)	3.85 mm	Medida
Material	PVC	Observada

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

A partir del punto de unión la tubería dispone de varios elementos como válvulas de aire y válvulas de control cada cierta distancia hasta llegar al tanque regulador de caudales.



Figura 7-3: Válvulas en la Línea en conjunto.
Fuente Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

3.1.2.4. *Tiempo de Simulación*

Para la creación del modelo hidráulico de la línea de captación se asumen caudales constantes a la salida de cada fuente, con esto el comportamiento de las tuberías será el mismo durante todo el día haciendo que el modelo sea de tipo estático.

3.1.3. *Esquema de la red actual*

Para ubicar geográficamente la red se utilizarán coordenadas de geolocalización UTM sabiendo que la red se extiende desde la comunidad Guabug en la parroquia San Juan hasta el tanque repartidor de caudales en Calpi Loma de la parroquia Calpi.

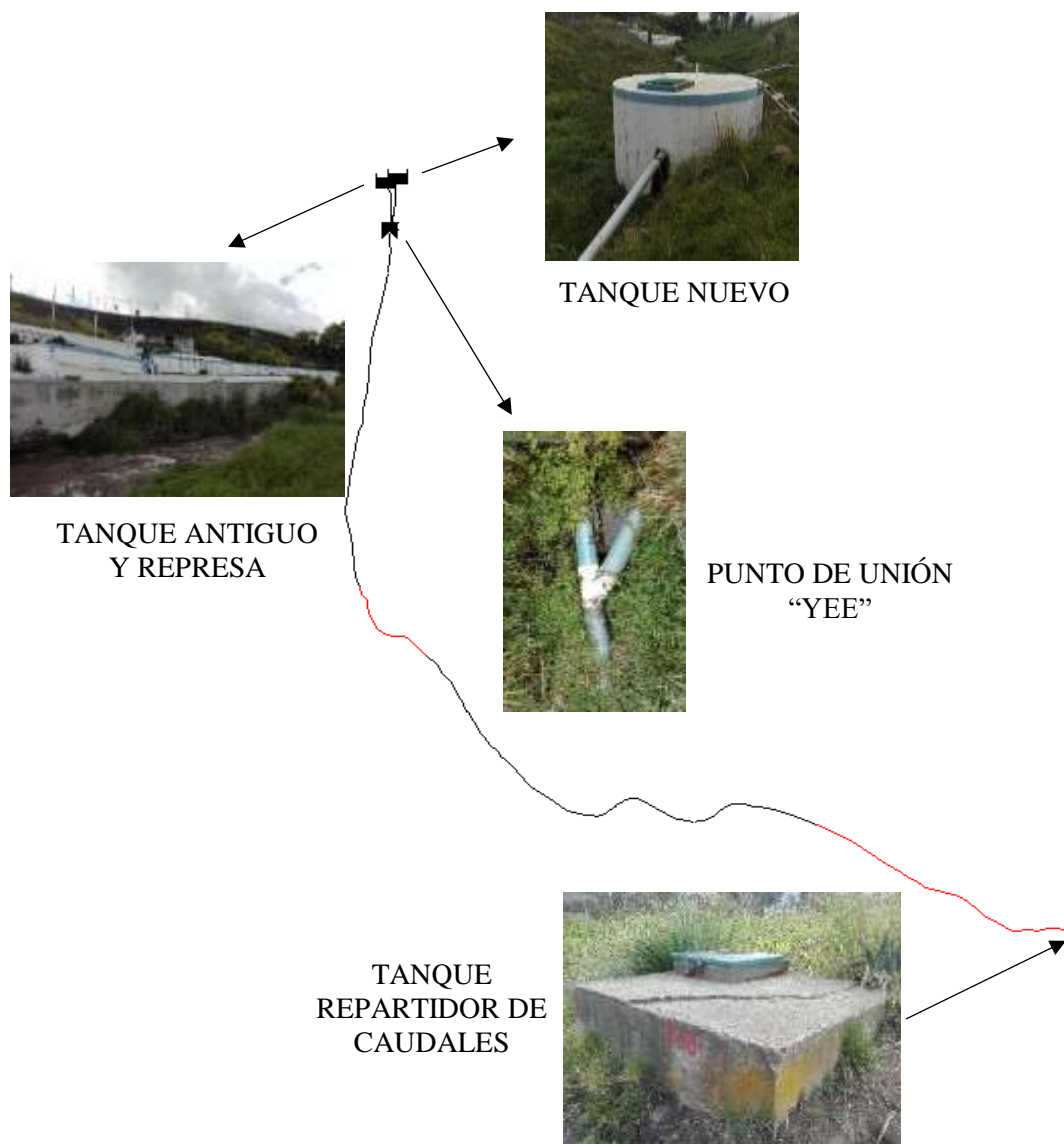


Figura 8-3: Esquema básico de la línea de captación.

Fuente Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Tabla 4-3: Ubicación de los elementos principales

Nombre	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura (msnm)
Tanque Antigo	746332.46	9822778.90	3293.95
Tanque Nuevo	746347.52	9822743.76	3291.98
Punto de unión “Yee”	746313.08	9822427.01	3282.4523
Tanque repartidor de caudales	750054.01	9818375.78	3242.8144

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

En total el sistema consta de 7573.15 m de tubería, entre los cuales es importante señalar los tramos existentes de menor tamaño. Debido al tiempo de la construcción en cuanto a la línea antigua y a la línea en conjunto se conocía de la existencia de dichos tramos de tubería, pero no su longitud y ubicación exacta, para lo cual se realizaron excavaciones cada cierta distancia a partir de la “Yee” mediante la colaboración de la comunidad beneficiaria por las que se pudo establecer al menos los siguientes tramos de tubería.

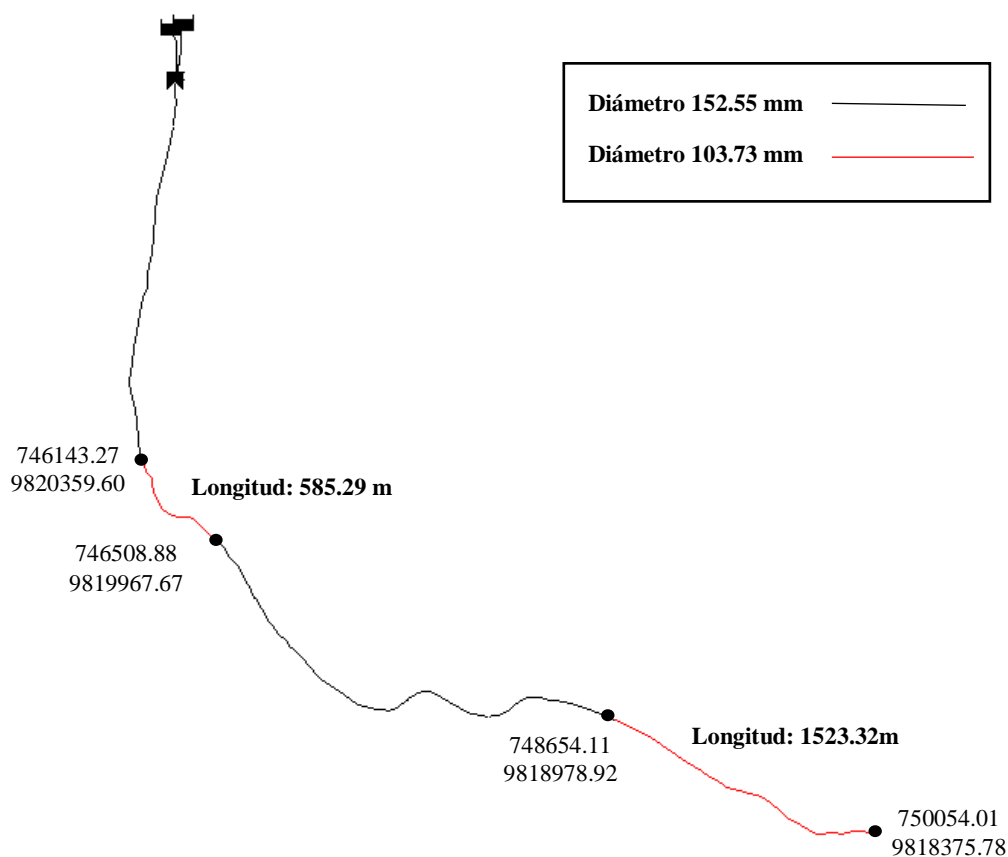


Gráfico 1-3: Tramos de tubería de diferente tamaño.

Fuente Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Los tramos correspondientes a cada tamaño se indican en el diagrama anterior. Este tipo de detalles influyen en gran medida en el comportamiento hidráulico del sistema, por lo que en la simulación hay que establecer al menos los dos tramos de tubería localizados de menor tamaño con una longitud total de 2.11 km de los 7.5 km en total. Para determinar las condiciones actuales del sistema es necesario establecer en que puntos el tamaño de tubería se reduce pues esto influye

en la caída de presión y por tanto en la fuerza con que el fluido llegará al tanque repartidor de caudales. Mediante las aclaraciones de funcionamiento del sistema y usando la topografía proporcionada por la municipalidad se puede procesar la información para construir la simulación.

3.1.4. Caudales del Sistema

Parte primordial en la elaboración de modelos hidráulicos es la definición de demandas o caudales en el sistema, siendo uno de los parámetros más sensibles que intervienen en la precisión de modelo. Para este fin y bajo las condiciones actuales del sistema se realiza un aforo de caudal en cada una de las partes requeridas no resulta práctico, por lo que debe recurrir a otras técnicas.

Bajo estas premisas se debe optar a un equipo de medición que no interrumpa en el funcionamiento del sistema y que a la vez provea una exactitud aceptable (los flujómetros de ultrasonido y específicamente en este caso el equipo PCE TDS 100 Series).



Figura 9-3: Medidor de caudal PCE.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Al usar este equipo para la medición en campo de caudales se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las mediciones que arroja el equipo serán confiables siempre y cuando la tubería donde se realice la medición se encuentre completamente llena.
- La medición está directamente relacionada con las características de la tubería como: espesor, material, fluido y; condiciones físicas en el lugar de medición como: presencia de accesorios, recubrimientos, limpieza u otros.
- Una medición será aceptable solo cuando los valores de intensidad (>600) y calidad de señal ($>70\%$) sean al menos los recomendados por el fabricante del equipo.

Teniendo en cuenta los puntos anteriores se ve la necesidad de conocer el espesor de la tubería instalada. Para el sistema construido, este valor es desconocido, por lo que se recurre a la medición de este parámetro mediante el equipo PCE TG250.



Figura 10-3: Medidor de espesores.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

El único requerimiento para la medición corresponde a la velocidad del sonido en el material que se desea medir, en este caso PVC en todas las tuberías, el cual tiene con un valor típico predeterminado de 2395 m/s.

Debido a que los medidores deben ser colocados de forma segura sobre el sistema y su medición depende de las condiciones ambientales, se tuvieron que realizar excavaciones para la toma de datos de caudal en distintos puntos de los tramos de la línea nueva, antigua y en conjunto. Los agujeros necesarios fueron amablemente realizados por comitivas conformadas por habitantes de la comunidad Bayushí y de la cabecera de Calpi.



Figura 11-3: Excavación para medidas de caudal.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

La secuencia de pasos en la medición de caudales se representa en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3: Proceso para Medición de Caudales.

Etapa	Actividades
Preparación	Lijado, limpieza y secado de la tubería.
Medición del espesor	Calibración del equipo. Colocar la glicerina en la zona de medición. Definir la velocidad del sonido adecuada al material.
Medición de Caudal	Ingresar las propiedades de la tubería: Espesor, material, perímetro. Seleccionar el tipo de fluido. Definir el tipo de sensor usado. Colocar la glicerina sobre la zona de medición. Colocar los sensores dentro del rango de separación recomendada en el equipo. Asegurarlos verificando que la calidad y cantidad de señal es la adecuada. Dejar que la medida se estabilice antes de tomar los datos.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

El procedimiento descrito anteriormente fue usado para la medición de caudales en la Línea Nueva, Antigua, en puntos intermedios de la línea en conjunto, así como en las entradas de las fuentes Shobolpamba y Represa. La fuente el Lirio constituye un caso especial puesto que la tubería no se encuentra completamente llena, para la cual necesariamente se realizó un aforo. La tubería de reboso también fue descubierta con el objeto de medir el caudal desperdiciado, pero al intentar realizar la medición la intensidad de la señal del equipo era intermitente lo cual indica que esta tubería no se encontraba completamente llena y debido a lo cual no pudo medirse este caudal, ya que a diferencia de El Lirio durante los días de medición el Río Chimborazo había aumentado su caudal considerablemente ocultando la salida del tanque.



Figura 12-3: Desconexión de la fuente El Lirio para el aforo.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Las mediciones realizadas por día se especifican en el Anexo A. En resumen, los resultados obtenidos por línea son los descritos en la Tabla 6-3.

Tabla 6-3: Caudales del sistema

Línea	Valor
Entrada Shobolpamba	13.18 l/s
Entrada Represa	3.31 l/s
Entrada El Lirio	1.95 l/s
Salida Línea Nueva	2.95 l/s
Reboso (Diferencia Calculada)	2.31 l/s
Llegada Tanque repartidor (Esperado)	18.45 l/s

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Como se observa en la Tabla 6-3 existe una deficiencia entre los caudales de entrada y salida en el tanque nuevo, este flujo representa el desperdicio actual al río Chimborazo.

3.1.5. Problemas detectados

Conocidas las especificaciones del sistema actual el mayor problema que enfrenta es el desperdicio del recurso hídrico. Tomando en cuenta las medidas de caudal se están desperdiciando un aproximado de 2.3 l/s, equivalente al consumo promedio de 1 m³ diarios de 200 familias sin considerar que dependiendo de la estación del año esta pérdida podría ser mayor en épocas de lluvia.



Figura 13-3: Consumo aproximado de una familia.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Si la razón de construir la línea nueva y la adjudicación de otras fuentes se dio para aumentar el caudal que actualmente se provee a Calpi, la pérdida de esta cantidad constituye un importante problema para la comunidad pues mientras varias zonas no logran satisfacer sus necesidades con el servicio actual, existe la posibilidad de mejorarlo modificando la red ya existente para que las condiciones hidráulicas sean apropiadas y sea posible transportar el total del recurso disponible.

A más del desperdicio de caudal por el reboso al río, otro de los problemas del sistema de captación son las conexiones ilegales usadas para el consumo y también para el regadío las cuales técnicamente se comportan como un punto de demanda constante con el tiempo (son agujeros o perforaciones en la tubería) y de las cuales no se conoce número, condición o ubicación.



Figura 14-3: Fuga de agua usada para el regadío.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

3.1.6. Modelación Hidráulica Mediante Epanet

3.1.6.1. Recopilación y procesamiento de Información

La obtención del modelo hidráulico del sistema inicia con el procesamiento de la información brindada por la Unidad de Desarrollo Rural Integral en la que se observa el detalle de la línea en conjunto, nueva y antigua.

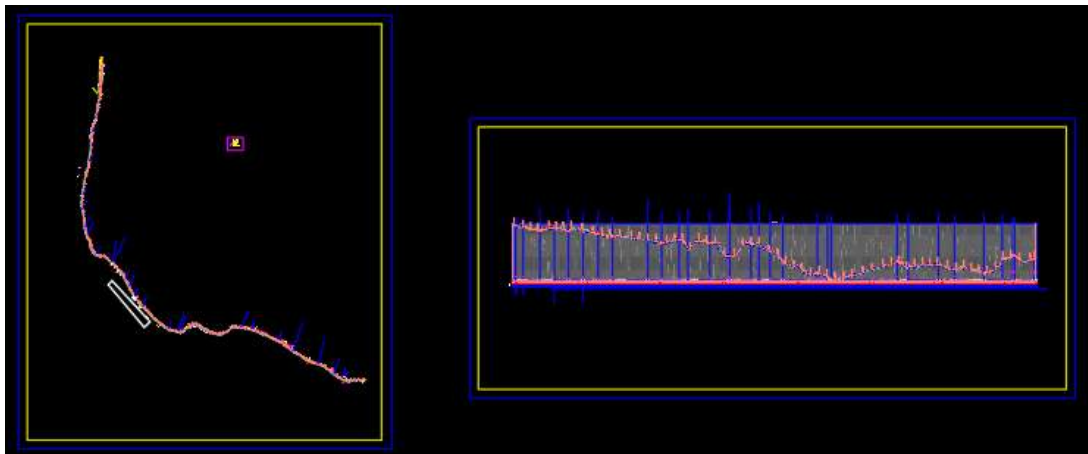


Figura 15-3: Topografía del proyecto.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Es importante indicar que la información proporcionada en el Archivo CAD del sistema de captación se encuentra en una posición diferente a la real por lo cual fue necesario realizar una rotación manual de todo el conjunto para que el modelo final que se obtenga del proyecto permita manejar las coordenadas reales de las líneas. Inicialmente se pretendía solicitar el archivo geo referenciado al equipo técnico de la Unidad de Desarrollo Rural Integral, pero por motivos de logística el tiempo de entrega extendía el proyecto injustificadamente. El giro de las tuberías se realizó tomando como referencias las coordenadas UTM de los elementos iniciales y finales tomados en campo, estos se muestran en la Tabla 4-3.

El perfil de alturas corresponde al detalle de las tuberías que conforman la “Línea Nueva” y la “Línea en Conjunto” debido a lo cual los puntos que brindan las características de altura en el tramo “Línea Antigua” no son específicos ni numerosos.

Para la creación del modelo se requieren dos archivos; el primero debe contener los puntos tomados por el topógrafo cuyos valores se exportan en un bloc de notas; y en segundo lugar, un archivo que únicamente contenga los distintos tramos de tuberías que conforman al sistema de captación, de preferencia con las polilíneas explotadas.

Creación de la capa Shape: Elevación

Tomando los puntos con información sobre las coordenadas de plano y elevación se utilizan estos datos para la interpolación de la altura de ciertos puntos requeridos, en este caso los nodos de unión entre tramos de tuberías. Para este propósito se emplea un software tipo GIS en se importa el archivo con los puntos de topografía mediante el botón *Add Data*, la Tabla de atributos de este archivo se muestra como en la siguiente Figura 16-3.

Field1	Field2	Field3	Field4	Field5
1	9822190.066	746289.257	3284.94	<Null>
2	9822194.6519	746300.9885	3285.186	<Null>
3	9822295.0107	746326.2528	3290.03	EST
4	9821948.7452	746248.9085	3286.098	EST
5	9822180.0489	746302.8736	3285.13	VA
6	9822146.3676	746293.9829	3284.858	TU
7	9821987.8573	746264.3521	3281.345	TU
8	9821773.3131	746209.6139	3285.51	EST
9	9821792.8365	746210.892	3282.033	TU
10	9821794.1456	746206.1512	3282.022	ABC
11	9821792.8575	746214.6716	3284.662	ABC
12	9821768.8124	746206.1501	3283.234	ABC
13	9821768.9512	746201.2414	3282.608	ABC
14	9821768.5001	746209.2847	3284.705	ABC
15	9821771.2122	746210.966	3285.349	CAS
16	9821764.8678	746210.5137	3284.251	CAS
17	9821770.6357	746217.3456	3286.365	CAS

Figura 16-3: Coordenadas importadas en ArcGIS.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Por otra parte, una vez se ha definido que el sistema de trabajo es de tipo UTM 17S 1984, el archivo contiene tres campos correspondientes a las coordenadas en el plano de cada punto en otras palabras, el Campo 2 corresponde a las coordenadas en Y, el Campo 3 a las coordenadas en X y finalmente el Campo 4 que representa a la elevación o coordenada Z y con esto, se puede graficar los puntos en el plano.

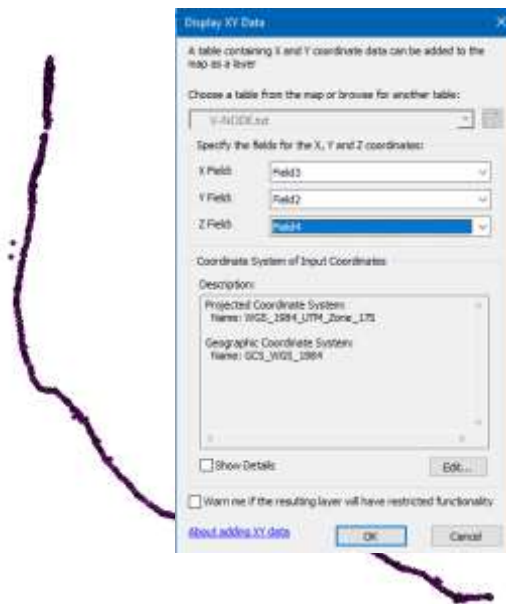


Figura 17-3: Puntos de Topografía graficados.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Mediante estos puntos se procede a crear una superficie TIN que representa el cambio de alturas en cualquier punto del plano como se puede observar en el Gráfico 2-3. En este proceso se puede hacer uso tanto del *Model Builder* o bien con el comando *Create TIN* directamente.

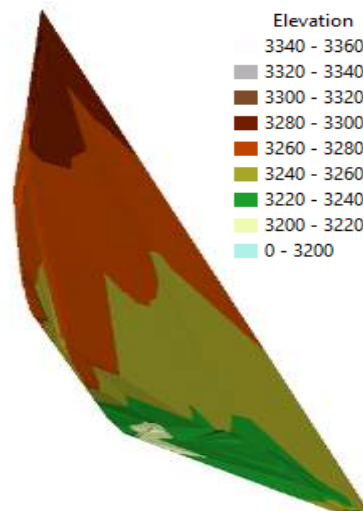


Gráfico 2-3: Modelo TIN del proyecto.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Al observar el Gráfico anterior y el gradiente de colores se podría decir que el sistema de captación funciona en caída debido a que el punto más alto corresponde a la ubicación de los tanques, aunque también se debe notar que entre los tramos finales existen zonas con cambio de pendiente pasando de una zona de altura baja a una alta antes de llegar al último punto. De estas interpretaciones se puede predecir que existe un buen diferencial de altura en el primer tramo del sistema por lo cual se esperaría grandes presiones que deben ser las mínimas aceptables para

poder atravesar de forma exitosa los cambios de pendiente del tramo final con la condición de llegar al tanque repartidor de caudales con una buena presión.

Generado el modelo vectorial TIN se obtiene a partir de éste un archivo Ráster (*Tin to Raster*) y posteriormente una nube de puntos (*Raster to Point*) que muestren la variación de la altura en función de la posición en el plano, siendo este último el que permitirá generar el modelo hidráulico mediante la herramienta ArcView.

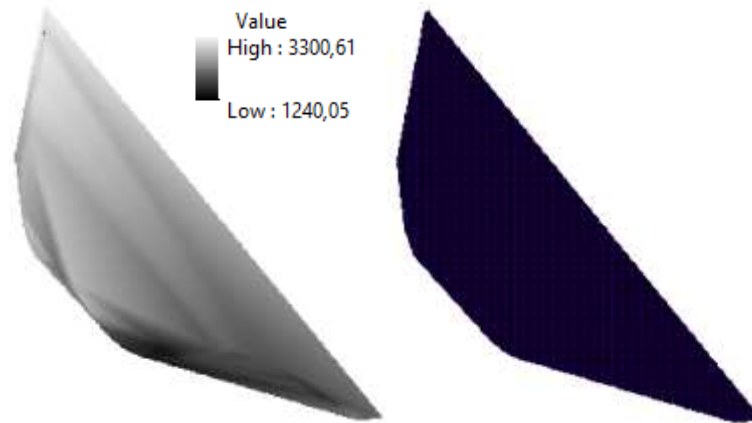


Gráfico 3-3: Ráster y nube de puntos con información de la elevación
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Creación de la capa Shape: Tuberías

El archivo creado anteriormente con las tuberías en AutoCAD se puede modificar mediante el mismo software ArcGIS, para añadir otros parámetros fácilmente. Lo primero que se debe hacer es importar el archivo en formato *.dxf año 2007 para evitar problemas de compatibilidad. Una vez exportado y dando clic derecho sobre el archivo se accede a la Tabla de atributos y así añadir manualmente otros parámetros importantes de forma fácil y rápida comparado con el procedimiento en el programa Epanet directamente.

Table				
LINE2				
FID	Shape *	LONGITUD	DIAMETRO I	
0	Polyline ZM	24.054536	152.446	
1	Polyline ZM	86.417766	152.446	
2	Polyline ZM	45.369973	152.446	
3	Polyline ZM	62.429721	152.446	
4	Polyline ZM	74.338694	152.446	
5	Polyline ZM	103.222794	152.446	
6	Polyline ZM	44.869111	152.446	
7	Polyline ZM	72.173685	152.446	
8	Polyline ZM	36.02122	152.446	
9	Polyline ZM	51.452051	152.446	
10	Polyline ZM	36.353599	152.446	
11	Polyline ZM	86.131	152.446	
12	Polyline ZM	44.311491	152.446	
13	Polyline ZM	60.047317	152.446	
14	Polyline ZM	40.75244	152.446	
15	Polyline ZM	54.736815	152.446	
16	Polyline ZM	91.530866	152.446	
17	Polyline ZM	29.201277	152.446	
18	Polyline ZM	197.530251	152.446	

Figura 18-3: Campos añadidos a la tubería.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Los parámetros añadidos son los siguientes: Longitud (calculado por el programa) y diámetro Interno (definido por el usuario). Es importante también verificar que los tramos no se encuentren formados como polilíneas, por lo que se recomienda siempre usar las funciones *Define Projection* y *Split Line at Vertices* preferiblemente antes de exportar este nuevo archivo en formato shape.

3.1.6.2. Proyecto en ArcView

La herramienta ArcView a través del paquete GisRed, permite interpolar la ubicación de los nodos de la tubería con una altura aproximada esperada, mediante el trazado de la red en un archivo tipo shape o tipo Cad y usando una nube de puntos con información de la elevación del terreno en un archivo formato shape.

En este estudio se emplean ambos archivos con formato shape, una vez importado el archivo de las tuberías en la forma líneas y el archivo correspondiente a las elevaciones, se debe realizar la verificación de posibles problemas (menú *Edit Model* opción *Data Verification*) que puedan encontrarse en el modelo Epanet, como tuberías abiertas, trazados entrecruzados u otros.

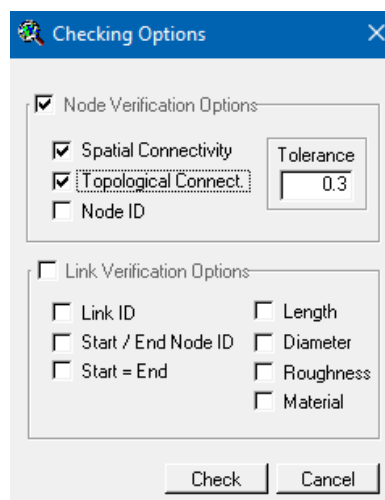


Figura 19-3: Campos añadidos a la tubería.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Finalmente, cuando los errores han sido descartados se puede ejecutar la interpolación de alturas. Esta opción está ubicada dentro del menú *Model Tools* y la opción correspondiente a *Elevation Interpolation*, luego se desplegará una ventana en la que debe indicarse el tipo de archivo que se emplea como referencia de las alturas y como ya hemos dicho antes en este proyecto se usa un archivo tipo *.shp con el campo elevación en el atributo *Grid_Code*.

Cuando se haya terminado el proceso, se mostrará un cuadro de diálogo con la información respectiva del proyecto y presentando posibles errores que hayan podido suscitarse.

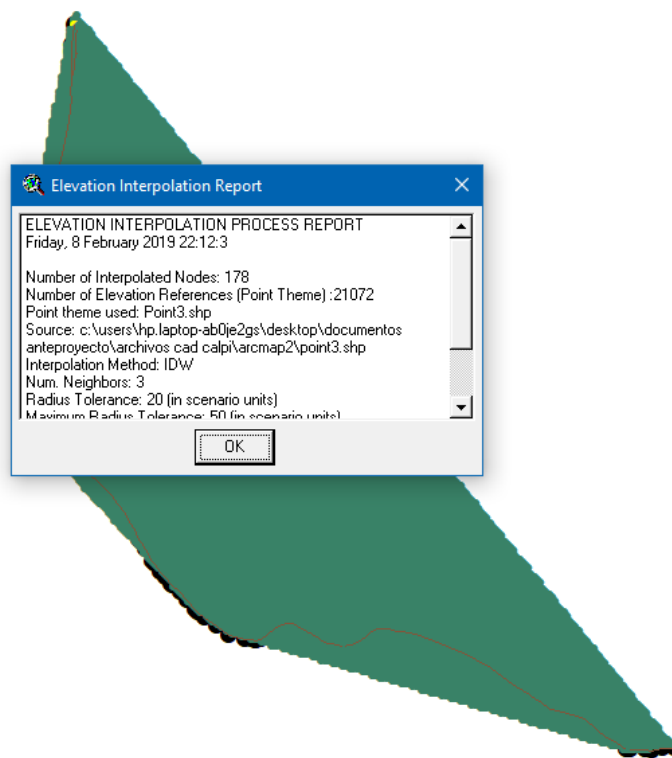


Figura 20-3: Interpolación de alturas mediante GisRed.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

3.1.6.3. Archivo Epanet

Si no existen errores se puede dar la interpolación de elevaciones y nodos, y a continuación, se podrá generar un archivo Epanet de extensión *.inp que contiene el trazado de tuberías y al cual se debe añadir los siguientes elementos.

Tabla 7-3: Elementos añadidos al modelo Epanet

Nombre	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura (msnm)	Nodo	Tipo
Tanque Antigo	746332.46	9822778.90	3293.95*	1	Embalse
Tanque Nuevo	746347.52	9822743.76	3291.98**	2	Embalse
Demanda Base	750054.01	9818375.78	-	j1	Nodo

*La altura corresponde a la del nodo J175 (3293.65 m) del archivo Epanet original más 0.30 m debido al nivel constante del fluido sobre el terreno.

** La altura corresponde a la del nodo J169 (3290 m) del archivo Epanet original más 1.98 m debido al nivel máximo del fluido en el tanque.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

La demanda base especificada en el punto final de la red corresponde al caudal de llegada al tanque repartidor de caudales, aproximadamente 16.13 l/s.

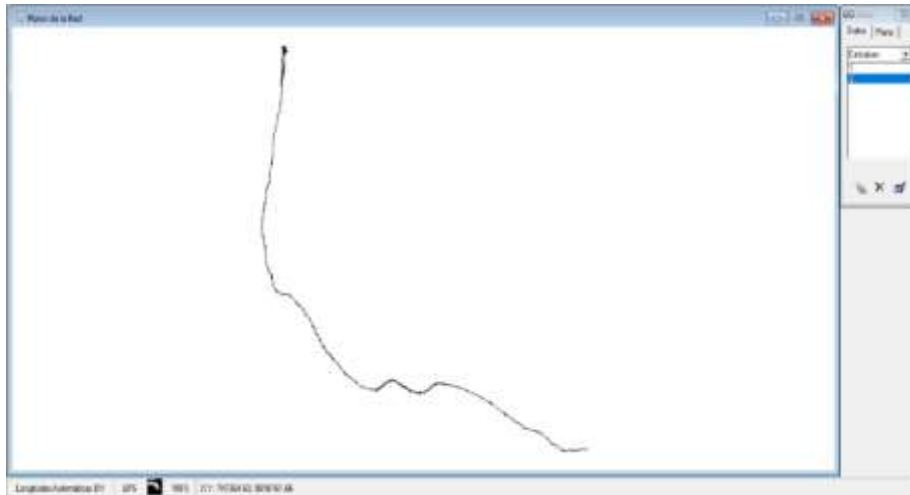


Figura 21-3: Esquema básico de la línea de captación obtenido de GisRed
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

3.2. Red de Distribución.

3.2.1. Generalidades

En cuanto a los sistemas de distribución de agua hay que indicar que el centro parroquial es una de las pocas zonas de la parroquia en las que se dispone de agua potable representado con las comunidades: Asunción. Palacio Real y San Francisco al 22% de la población total.

El sistema de distribución de agua potable que abastece a la cabecera parroquial de Calpi es un sistema de tuberías, válvulas y tanques que almacenan y distribuyen el caudal proveniente del tanque repartidor de caudales en Calpi Loma hasta cada uno de los consumidores en los distintos barrios, con una extensión de 664.663 ha en la cabecera parroquial.



Figura 22-3: Esquema de la red de distribución en los barrios.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

El sistema inicia a partir de dos tanques de almacenamiento ubicados arriba del Barrio El Progreso, el agua llega por una tubería de PVC de 110 mm seguida de una válvula de control completamente abierta para después dividirse en dos tuberías de igual tamaño para el llenado de cada tanque. El flujo de agua es constante y la regulación de cada uno se lo realiza mediante una válvula a la salida de cada depósito.

Referente a la potabilización del fluido se dispone de un sistema de dosificación de cloro que permite inyectar una cantidad constante de este líquido a cada uno de los tanques; la regulación del fluido no es automatizada y al parecer tampoco se han realizado cálculos que permitan determinar el volumen apropiado de cloro en función a la cantidad de agua en los depósitos por lo que es probable que en ciertos momentos el agua contenga cantidades exageradas de cloro et al., en los que no sería suficiente para la desinfección.



Figura 23-3: Tanques de almacenamiento del sistema.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

En la Figura anterior, existen dos tanques de almacenamiento que se han denominado como Depósito 1 y Depósito 2, a la salida de cada uno de ellos se encuentran válvulas, que se utilizan para regulación. Como el consumo de la población no es constante en el tiempo, existen momentos en los que el volumen de agua no satisface la demanda total, con lo cual se deben manipular las válvulas en cada tanque para que el agua pueda alcanzar todos los puntos de consumo al menos durante todas las horas del día. Por esta razón, el “aguatero” o persona encargada de la manipulación de válvulas y mantenimiento del sistema cumple diariamente con los siguientes pasos:

- A las 06:30 pp.m. el encargado del agua cierra casi completamente la válvula a la salida del Depósito 1 para permitir que se eleve el nivel de agua en el tanque. La válvula a la salida del Depósito 2 se cierra dejando el paso de una pequeña cantidad de fluido para no dejar vacías las tuberías del sistema. El caudal que se deja pasar del Depósito 2 es mayor al del Depósito 1 para que sea este último el que acumule la mayor cantidad de agua.

- A la mañana siguiente alrededor de las 05:30 a.m. el encargado abre la válvula a la salida del Depósito 1 un valor ya establecido de “3 vueltas” como lo indica el presidente de la Junta de Agua Potable y “2 vueltas” para la válvula restante.
- El sistema consume el agua almacenada en las horas de mayor gasto vaciando el Depósito 1 en el transcurso del día con lo cual el encargado nuevamente debe repetir los pasos anteriores para asegurar el volumen de agua para el día siguiente.

Con esta secuencia de pasos el sistema ha funcionado equilibradamente durante los últimos años, aunque uno de los inconvenientes que se presentan es que el Depósito 1 termina vaciado antes del mediodía haciendo que el agua que ingresa salga inmediatamente mezclándose con el cloro, con esto el tanque permanece vacío durante varias horas pudiendo contaminarse el agua. Además de los tanques principales el sistema dispone de un tanque de compensación que específicamente abastece al Barrio El Progreso, el motivo por el cual se construyó este depósito radica en la diferencia de cotas entre el barrio y los tanques de regulación ya que con una pequeña diferencia de alturas el caudal no ingresa a las tuberías y seguirá la ruta con la menor resistencia formada por los puntos más bajos de la red de tuberías.



Figura 24-3: Barrio El Progreso.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Este tanque designado como Depósito 3, se llena por medio del rebose del Depósito 1; por lo cual para satisfacer esta demanda es necesario cerrar por completo la válvula a la salida de este tanque permitiendo que durante la noche alcance su altura máxima y el rebose alimente al nuevo depósito; este proceso se lo realiza una vez a la semana. Ya que este barrio se alimenta únicamente con el agua del Depósito 3 una vez que se termina el volumen almacenado los habitantes sufren de la falta de agua inclusive por varios días.

Con respecto al funcionamiento actual del sistema, Don Homero Moyano, Presidente de la Junta de Agua Potable de Santiago de Calpi, indicó que las tuberías son de PVC y tienen una antigüedad

de hasta 40 años en algunos sectores ya que normalmente se producen grandes fugas en algunos sitios por lo que necesariamente se hacen reparaciones de tubería constantes.

Así también indicó que actualmente el sistema funciona con un promedio de 445 acometidas, de las cuales algunas disponen de medidores de caudal. Respecto al apartado de medición del consumo de forma general se puede decir que no existe un sistema de control de estos, ya que, si bien algunos hogares tienen flujómetros, estos se encuentran en mal estado e inutilizados, mientras que los demás no disponen siquiera del medidor, con lo cual es imposible construir un registro del volumen de consumo o un patrón de consumo. Con esta aclaración, en la construcción del modelo se debe recurrir al uso de datos normalizados de consumo y patrones típicos de los consumidores.

Como no existen registros de consumo en la junta de agua el método de recaudación consiste en cobrar un valor referencial de \$1.00 mensual para todos los consumidores residenciales, los cuales según indica el representante de la administración, no son cancelados por los usuarios dejando a la institución sin recursos para el mejoramiento de la misma ya que se tienen usuarios hasta con 10 años de deuda. Algo que puede recalcar es la presencia de tanques de reserva en la gran mayoría de residencias, esto con motivo de los antecedentes de poco caudal o grandes cortes que han debido sufrir los usuarios en el transcurso de los últimos años.



Figura 25-3: Fotografía panorámica del centro parroquial.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Bajo estos antecedentes, el modelo que se pretende crear tiene muchas incertidumbres aun cuando no se desea que este tenga gran precisión, por lo que se procede a realizar un estudio en campo para conocer la realidad actual del sistema de agua del centro parroquial de Calpi.

3.2.2. Estudio en campo: Red de Distribución.

Por lo que se refiere al modelo hidráulico es necesario conocer al menos los aspectos correspondientes a demandas, patrones de consumo, población actual y uso del agua. Es

importante recordar que estos valores serán diferentes con el tipo de consumidor, para este estudio se ha dividido a la población en dos grupos: Residenciales y Otros consumidores. Para cada uno se ha elaborado una encuesta con el fin de recolectar información importante para la construcción del modelo.

3.2.2.1. Encuesta para consumo Residencial

Para empezar, se dispone del número de acometidas, en total 445 a partir de las que se puede tomar una muestra que represente el comportamiento del total de usuarios para lo que se hace uso de la siguiente Ecuación.

$$m = \frac{k^2 p q M}{e^2(N - 1) + k^2 p q} \quad (22)$$

Donde:

- M : Tamaño de la población (445 acometidas).
- k : Constante en función del nivel de confianza (Confianza del 95%, $k = 1.96$).
- e : Error muestral deseado (10.6 %).
- p : Proporción de individuos con las características de estudio ($p = q = 0.5$).
- q : Proporción de individuos que no poseen las características de estudio.
- m : Tamaño de la muestra.

Es importante mencionar que los valores indicados anteriormente son los considerados estándar en cualquier investigación, al reemplazarlos se obtiene una muestra de:

$$n = \frac{(1.96)^2 * 0.5 * 0.5 * 445}{(10.6\%)^2(445 - 1) + (1.96)^2 * 0.5 * 0.5} = 71.84 \approx 72$$

Es decir que se desea obtener un resultado confiable y con un error máximo del 10.6% se deben realizar 82 encuestas. El Anexo B muestra el modelo de encuesta planteado.

Observando las preguntas de la Encuesta Residencial se puede intuir que algunas respuestas estarán en función del lugar donde se realiza la encuesta con lo cual se propone dividir el centro parroquial en sectores con el fin de poder abarcar la mayor parte de los puntos residenciales. La Figura 26-3 muestra la división por sectores a las que responden las diferentes encuestas.



Figura 26-3: Imagen satelital del centro parroquial dividida en sectores.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Una vez se han definido todos los parámetros de las encuestas, éstas se realizaron entre los días 13, 14 y 15 de enero del 2019 con el apoyo de la Unidad de Desarrollo Rural Integral y de las autoridades que conforman el GAD Parroquial de Santiago de Calpi tomando residencial al azar en todos los sectores. Los resultados obtenidos por pregunta se describen a continuación.

Pregunta 1: Miembros de la familia.

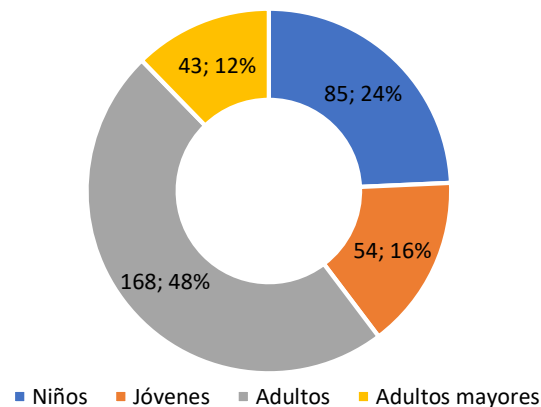


Gráfico 4-3: Miembros de la familia en la muestra.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Por medio de esta pregunta se concluye que, de la población total el 48% de la muestra son personas adultas seguido por un 24% que son niños. En total para la muestra del proyecto, en 72 hogares la población corresponde a 350 personas, dicho de otra forma, un promedio de 5 miembros por acometida.

El sistema está conformado por 445 acometidas que dan como resultado una población esperada de 2225 habitantes en el centro parroquial. Haciendo un contraste con la proyección realizada por el INEC (Sección 2.5.3.) la diferencia es importante.

Pregunta 2: Presión del agua.

En cuanto a la presión, se consultó a los encuestados si consideraban que la fuerza del agua en su vivienda la calificaban como: Buena, Regular o Mala.

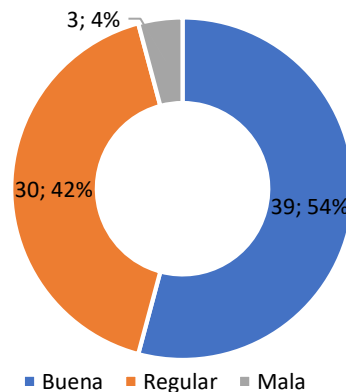


Gráfico 5-3: Presión del agua en las viviendas.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

En esta sección podemos decir que el 54% de las personas encuestadas se sienten satisfechas con la presión del agua, mientras que el porcentaje restante (46%) no está conforme y califican como regular e inclusive malo. Debido a que las encuestas se tomaron por sectores, es posible determinar en qué zonas se dan estos problemas para verificarlos en la simulación, se sugiere revisar el Anexo C que corresponde a los resultados de las encuestas con mayor detalle.

Pregunta 3: Horario de Servicio.

Como se dijo en secciones anteriores, durante la noche el caudal disponible se reduce considerablemente haciendo que en zonas el agua sea permanente y en otras no.

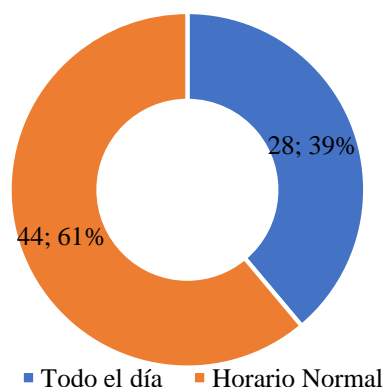


Gráfico 6-3: Horario del Servicio.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

En efecto, el 61% de las acometidas encuestadas afirma que el horario en que el agua está disponible se acerca al propuesto por el encargado del agua, existe una pequeña variación, pero

al ser un sistema manual depende de la disposición del trabajador. Para el 39% restante hay que tomar en cuenta que esta cantidad puede sufrir un error debido a la comprensión de la pregunta ya que muchos confundían el hecho de recibir agua todo el día desde la red con aquella proveniente de sus propios depósitos; en todo caso se puede revisar los sectores con esta disposición en el Anexo C verificando las respuestas.

Pregunta 4: Viviendas con cortes constantes

Al hablar de redes de distribución puede darse el caso de que por las mismas condiciones de consumo y topografía ciertas zonas se vean afectadas durante un momento del día con cortes de agua ajenos a reparaciones o daños, sino que comunes a cierta hora del día.

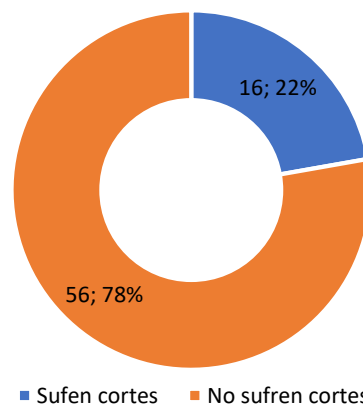


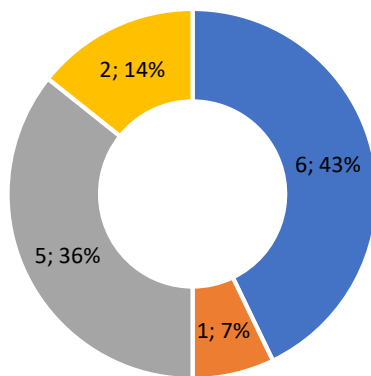
Gráfico 7-3: Viviendas con cortes constantes.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

El 78% de las viviendas afirman que únicamente sufren cortes cuando se realizan reparaciones pero que normalmente disponen del agua en el horario normal; un 22% asegura que existen cortes comunes en el transcurso del día, mientras los demás sectores tienen agua estos hogares no. Entre los sectores en los que se tuvo estas respuestas están: B, D, V, R, N, Q, P, V, K, T, AK y J.

Pregunta 5: Viviendas con cortes constantes – Horario del corte

Para aquellas viviendas que afirmaban tener cortes comunes durante el día se pidió un horario aproximado en el que se producía este corte, las horas brindadas no presentan mayor dispersión.

Mediante el Gráfico 15-3, se puede decir que las zonas que sufren cortes lo hacen durante los momentos de mayor consumo, especialmente durante la primera mitad de la mañana. Con el modelo se podría verificar esta situación revisando las presiones en los sectores específicos durante estas horas críticas.

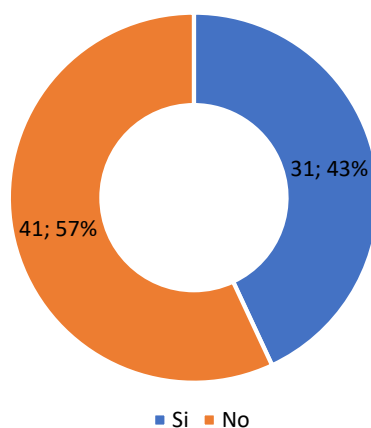


■ 10:00:00 a. m. ■ 3:00:00 p. m. ■ 12:00:00 p. m. ■ 11:00:00 a. m.

Gráfico 8-3: Horario de cortes.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Pregunta 6: Tanques de reserva.



■ Si ■ No

Gráfico 9-3: Viviendas con tanques de reserva.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Por el Gráfico anterior y con la Figura 25-3 se verifica que una gran parte de la población tiene tanques de reserva e inclusive cisternas en algunos casos; la justificación se da por el historial de problemas de tuberías, reparaciones y falta de agua en la población.

Por tanto, durante el día además de suministrar el caudal necesario que será consumido por los usuarios también se debe satisfacer el caudal que rellene los depósitos cada cierto tiempo. El 57% de las acometidas dispone de tanques de reserva, un aproximado de 254 viviendas.

Pregunta 7: Equipos de bombeo.

Las respuestas muestran que solamente el 17% tiene en sus hogares este tipo de sistemas sofisticados, equivalente a 76 casas en todo el centro parroquial.

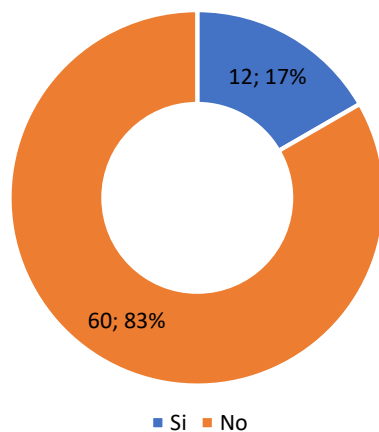


Gráfico 10-3: Viviendas con sistemas de bombeo.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Pregunta 8: Jardines y zonas de huerto.

Observando la imagen satelital de Calpi son muy distintivas las zonas verdes en el centro parroquial, muchas de ellas se riegan usando el agua destinada para ese fin, pero muchos usuarios sostienen que varios terrenos son regados con agua destinada al consumo humano. Este fenómeno es bastante común incluso en las zonas urbanas y mucho más en lo rural; en esta pregunta la exactitud en los resultados está en función de la buena voluntad de los consultados por lo que se prevé un error considerable al manipular estos datos.

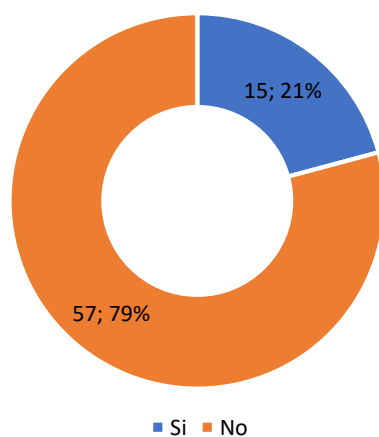


Gráfico 11-3: Viviendas con zonas verdes.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Aun así, un 21% admite tener cierto tipo de cultivo en su hogar, pero se debe pensar que en algún momento hará uso del agua potable para regarlo.

Pregunta 9: Agua de regadío.

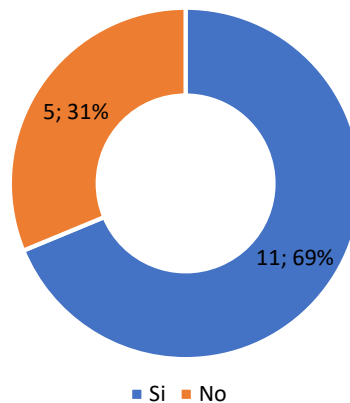


Gráfico 12-3: Viviendas con agua de regadío.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Del total de usuarios con zonas de siembra, el 31% confirma que no dispone de agua destinada para el regadío en su hogar, por lo cual deben usar el agua de consumo humano, para mantener estos huertos. Esto implica un consumo adicional al esperado por la población, aunque por la cantidad de viviendas (21 en todo el centro parroquial), el incremento del requerimiento de agua no debe ser significativo.

Pregunta 10: Tiempo de riego.

De igual forma, para la población con zonas de huerto en sus viviendas el tiempo de riego se encuentra en el rango de 2 a 120 min, es decir un promedio de 22 min. Se debe recalcar que este tiempo es alto debido a que las respuestas incluyen riego de áreas pequeñas y más extensas.

Pregunta 11: Satisfacción del servicio.

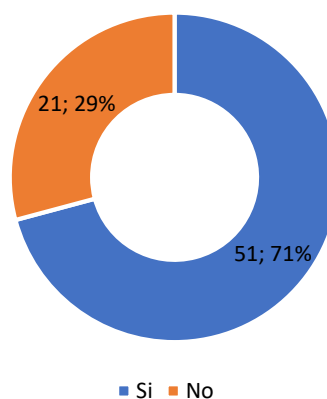


Gráfico 13-3: Satisfacción con el Servicio de Agua Potable.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Aunque como en todas las instituciones se presentan problemas, el 71% de la muestra dice estar satisfecho con el servicio; mientras que el 29% cree que aún hay muchos parámetros que mejorar, este porcentaje equivale a 129 hogares del centro parroquial.

Pregunta 12: Parámetros de mejora.

Como algo adicional se planteó determinar cuáles son las mayores preocupaciones o quejas en el sistema actual de agua potable; inicialmente se plantearon las opciones: Fuerza, Calidad, Cantidad, Tiempo de Servicio y Otros; el Gráfico siguiente muestra la opinión de los usuarios.

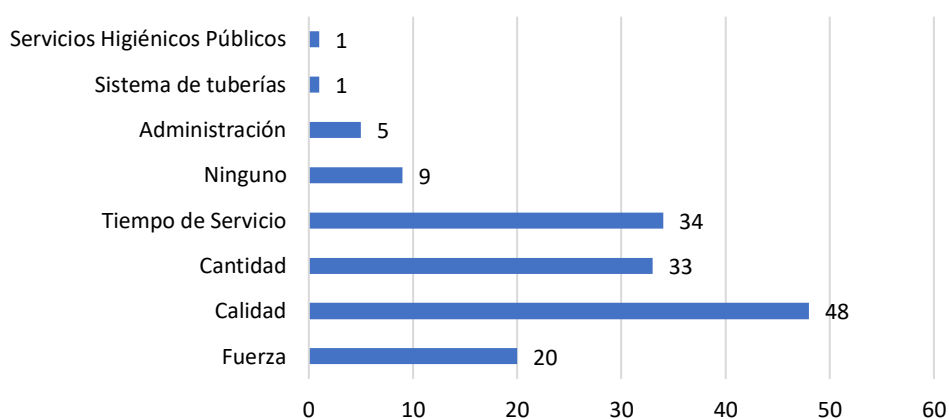


Gráfico 14-3: Nivel de Satisfacción con el Servicio de Agua Potable.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Interpretando los resultados se puede distinguir una clara preocupación primordialmente por la calidad del agua ya que muchos de los encuestados afirmaron sufrir enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada, cantidades exageradas de cloro, así como la experiencia de encontrar objetos extraños en el agua. Siguiendo el orden de importancia, tenemos el tiempo de servicio y la cantidad del fluido para finalizar con la fuerza; por lo que de lograr un incremento del caudal en el sistema se podría satisfacer la necesidad de agua en tiempo y cantidad ya que la presión al parecer no constituye un problema.

Entre otros aspectos que las personas solicitan se mejore están la Administración o manejo del agua, el sistema de tuberías que consideran antiguo y la construcción de baños públicos para los visitantes del sector. Un total de 9 personas en la muestra afirma que no requiere ningún cambio y que se sienten satisfechos con el manejo actual.






3.2.2.2. Encuesta para Otros Consumos

Aun cuando la mayor parte de la carga de agua se destine al consumo residencial se debe poner atención en aquellos centros que tienen un comportamiento diferente que puede alterar la

respuesta del modelo como lo son: negocios, industrias, centros educativos, centros de salud, centros de reuniones u otros.

Para este proyecto se realizó un estudio enfocado netamente a los consumos de centros educativos y de salud puesto que estos se consideran como aquellos con una gran diferencia respecto a los residenciales. El modelo de la encuesta se muestra en el Anexo D.

Tabla 8-3: Resultados de la Encuesta a Otros Consumidores

No. Encuesta	1	2	3	4	5
Sector	AC	AB	AA	S	UE
Nombre	Centro de Salud Tipo B Calpi	UE- Planta de Inicial	UE -Planta Central	UE-Planta de música	UE-Planta Escuela
Fotografía					
Tipo	Centro de Salud	Escuela	Colegio	Colegio	Escuela
Trabajadores	41	5	18	14	15
Consumidores Temporales	140	70	380	60	282
Hora de Apertura	08:00 a.m.	07:00 a.m.	07:00 a.m.	07:00 a.m.	07:00 a.m.
Hora de Cierre	07:00 pp.m.	13:30 pp.m.	13:30 pp.m.	13:30 pp.m.	13:30 pp.m.
Presión del agua	Buena	Regular	Regular	Buena	Regular
Cortes de agua	No	No	No	Si	No
Tanques	Si	Si	Si	No	Si
Sist. Bombeo	Si	No	No	No	No
Satisfacción Servicio	Si	Si	No	No	Si
Parámetros de mejora	Calidad	Fuerza, Calidad, Cantidad, Tiempo de Servicio	Fuerza, Calidad, Cantidad	Calidad, Tiempo de Servicio	Fuerza, Calidad, Tiempo de Servicio

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Dependiendo del número de trabajadores permanentes, y consumidores temporales se puede establecer un consumo básico promedio para cada institución relacionado estos valores con los consumos sugeridos en la Tabla 8-3.

3.2.2.3. *Parámetros Extraídos del Estudio*

El estudio realizado sobre una muestra de 72 acometidas ha permitido establecer los siguientes parámetros importantes para la modelación:

- Actualmente se puede proyectar una población de 2225 personas, con este valor se puede asignar un consumo per cápita diario y definir la demanda base en los nodos residenciales.
- Un total de 254 viviendas requieren que el sistema aporte el caudal suficiente para llenar tanques de reserva; es decir debido a estos volúmenes de agua el requerimiento de caudal general se aumenta.
- Aproximadamente 94 viviendas tienen zonas de huerto que se riegan en un tiempo promedio de 5 minutos semanalmente empleando únicamente agua potable.
- Existen zonas con problemas de presión y de caudal, de ser posible esto debe verificarse en el modelo hidráulico.

En cuanto a las encuestas de otros consumidores:

- Ciertas instituciones del centro parroquial pueden comportarse como una carga muy diferente a las residenciales debido a la gran concurrencia en horarios específicos del día por lo cual se establece en el estudio la necesidad de determinar una demanda base para cada uno.
- Cada establecimiento posee una demanda básica diferente relacionada con el número de personas que interactúan en el día.

3.2.3. *Elementos constitutivos de la red y parámetros actuales*

3.2.3.1. *Tiempo de simulación*

Para esta sección se nota una variación en el comportamiento de la red que va en función de la hora del día, por este motivo el modelo hidráulico debe responder a esta necesidad convirtiéndolo en un modelo de tipo dinámico.

Se sugiere emplear un tiempo de simulación igual a un día con intervalos de cálculo de una hora iniciando los cálculos a las 0:00; los resultados se mostrarán en estos mismos intervalos.

3.2.3.2. *Tanques*

Respecto a lo que se dijo en secciones anteriores, el sistema de distribución de agua del centro parroquial funciona utilizando tres depósitos; dos para el almacenamiento del fluido y uno de compensación. Para la simulación se pueden emplear elementos tipo depósitos ya que el nivel de cada uno no es constante, en el programa requiere ciertas propiedades que fueron medidas en campo para cada uno.

DEPÓSITO 1



Figura 27-3: Depósito 1.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Tabla 9-3: Depósito 1 Propiedades

Característica	Valor
Tipo de Sección	Circular
Tipo de Altura	Constante
Diámetro	7.30 m
Máxima altura	3.50 m
Material	Hormigón
Coord-x	750927.63 m
Coord-y	9818338.93 m
Elevación	3134.53 msnm
Presión	Abierto a la atmósfera
Dosificación de Cloro	Si

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

DEPÓSITO 2



Figura 28-3: Depósito 2.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Tabla 10-3: Depósito 2 Propiedades

Característica	Valor
Tipo de Sección	Circular
Tipo de Altura	Constante
Diámetro	7.85 m
Máxima altura	2.60 m
Material	Hormigón
Coord-x	750930.00 m
Coord-y	9818340.99 m
Elevación	3134.53 msnm
Presión	Abierto a la atmósfera
Dosificación de Cloro	Si

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth

DEPÓSITO 3



Figura 29-3: Depósito 3 (Compensación)

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Tabla 11-3: Depósito 3 Propiedades

Característica	Valor
Tipo de Sección	Rectangular/Variable
Tipo de Altura	Constante
Largo promedio	5.51 m
Ancho promedio	1.48 m
Diámetro equivalente	3.22 m
Máxima altura	2.16 m
Material	Hormigón
Coord-x	750850.42 m
Coord-y	9818114.96 m
Elevación	3115.44 m
Presión	Abierto a la atmósfera
Dosificación de cloro	No

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

3.2.3.3. Tuberías

Debido a la antigüedad del sistema este ha debido sufrir variaciones en el tiempo añadiendo líneas en las zonas más nuevas de asentamientos. En general, se conoce que en su totalidad el material empleado es PVC, para el tamaño de cada tramo se usará el plano proporcionado por la Unidad de Desarrollo Rural Integral cuyo levantamiento corresponde a marzo del año 2000. (Ver Anexo E)



Figura 30-3: Plano de tuberías-Barrio Central
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

En el sistema de distribución se encuentran tuberías que van desde los 75 mm hasta las 6 plg de diámetro en el tramo a la salida de los tanques.

3.2.3.4. Otros elementos

En el plano proporcionado se puede distinguir que existen válvulas de regulación e incluso bocas para incendios, en cuyo caso al tratarse de un modelo hidráulico no detallado se omiten en la simulación al utilizar el coeficiente de rugosidad de 0.1.



Figura 31-3: Válvula de regulación y boca de incendios
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

3.2.3.5. Caudal Inyectado a la red

Respecto a esta sección se conoce que la cabecera parroquial de Calpi comparte el caudal proveniente de las fuentes ubicadas en Guabug en la parroquia San Juan, las que se describieron

en la sección 3.1 de este trabajo. Una vez que llegan al tanque repartidor de caudales en Calpi Loma la mayor parte de este se destina a la cabecera de la parroquia y el restante a la comunidad Bayushí. Esta conducción utiliza una tubería de 110 mm de PVC hasta la llegada a los tanques de regulación en el Barrio El Progreso cuyo flujo se requiere en la simulación para valorar el balance entre los caudales producidos y consumidos. Para realizar este trabajo se usan los equipos descritos en la sección 3.14 siguiendo el esquema de pasos de la Tabla 5-3.



Figura 32-3: Medición de caudal a la entrada de los depósitos.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Uno de los inconvenientes en la medición de este caudal que la tubería no estaba llena, y se debe recordar que el flujómetro de ultrasonido que se usó en el estudio funciona adecuadamente solo cuando el fluido llena completamente la sección. Durante la medición se escuchan golpeteos de aire y agua en la tubería, la medición se hace durante los momentos en que la señal y la calidad fueron los más aceptables (700 en señal y 70% de calidad). Las medidas tomadas se muestran en la Tabla 12-3.

Tabla 12-3: Medición de caudales a la entrada de los tanques.

Medición (l/s)	Medición (l/s)
10.25	11.04
11.64	13.7
17.1	13.47
13.8	9.33
12.63	12.74
9.23	12.81
15.19	11.95
13.19	13.8
12.52	

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

En promedio al sistema ingresa diariamente 12.61 l/s que se distribuyen a los dos tanques de regulación de forma constante durante todo el día.

3.2.3.6. Demanda Base

Respecto a los consumos estos son variables durante todo el día y dependen del tipo de usuario; en este estudio se dividen a los consumidores en tres tipos: Residencial, Hospitalario y Educativo.

Residencial.

Corresponde al conjunto de usuarios que utilizan el agua únicamente para actividades cotidianas: cocina, higiene, salubridad, etc. El consumo per cápita promedio por persona según la sección 2.2.2. en promedio es de 100 l/s, a modo de verificación se tomaron mediciones de volumen de agua consumida por una familia de personas en una zona rural similar a las condiciones en Santiago de Calpi. Estas mediciones se muestran en la Tabla 13-3.

Tabla 13-3: Mediciones de consumo diario familiar.

Día	Volumen Consumido (m ³)	Volumen Consumido (l)	Consumo per cápita (l/día)
1	0.3499	349.85	69.97
2	0.3829	382.90	76.58
3	0.5753	575.30	115.06
4	0.5104	510.40	102.08
5	0.6272	627.15	125.43
6	0.4480	448.00	89.60
7	0.6484	648.40	129.68
Total:	3.542	3542.00	708.40
Promedio	0.506	506.00	101.20

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

El caudal medido y el propuesto en la bibliografía coinciden casi exactamente, aunque es importante recalcar que según los requerimientos de la OMS en la Figura 2-2 y la Tabla 7-2 el volumen óptimo es mayor a los 100 l/s. Para la simulación se empleará el caudal de diseño del sistema calculado mediante las Ecuaciones 15, 16 y 17.

$$Q_{md} = \frac{(100 * 2225)}{86400} = 2.58 \text{ l/s}$$

$$Q_{MD} = 2.58 * 1.30 = 3.35 \text{ l/s}$$

$$Q_{MH} = 3.35 * 2 = 6.70 \text{ l/s}$$

En conclusión, la demanda base para satisfacer a todos los nodos residenciales se establece en 6.70 l/s para todo el centro parroquial y 0.015 l/s para cada acometida. Al mismo tiempo, como el consumo de los hogares cambia con la hora del día, para el estudio se emplea la curva de modulación rural en la Gráfica a continuación.

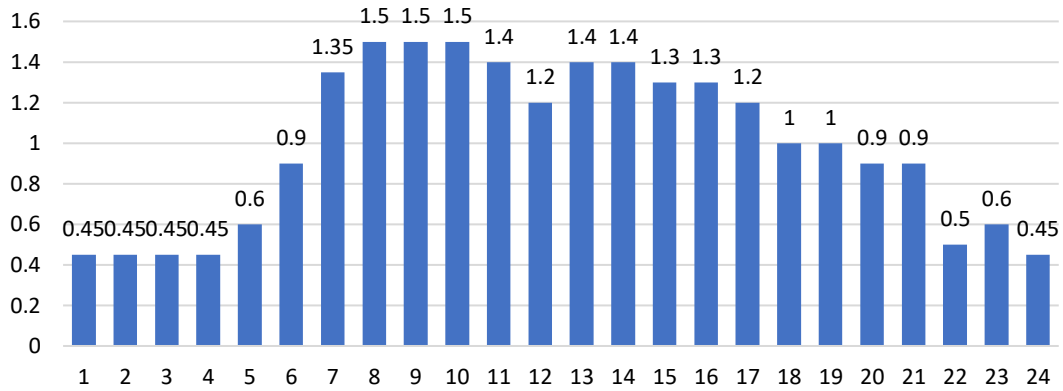


Gráfico 15-3: Coeficientes de variación horario para pequeñas comunidades (México)

Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2016)

Hospitalario y Educativo.

A continuación, se muestra el cálculo de la demanda base para los consumidores hospitalario y educativo combinando los datos extraídos de las Tablas 6-2 y 8-3.

Tabla 14-3: Asignación de Demandas Base para otros consumidores.

Otros Consumidores	Consumo Permanente			Consumo Variable		Consumo Total		l/s
	Individual	Trabajadores	Total (l/día)	Individual	Pacientes Estudiantes	Total (l/día)	l/día	
Centro de Salud Tipo B	11	42	462	40	140	5600	6062	0.070
Inicial	11	5	55	15	70	1050	1105	0.013
Colegio	11	18	198	15	380	5700	5898	0.068
Colegio Musical	11	14	154	15	60	900	1054	0.012
Escuela	11	15	165	15	282	4230	4395	0.051

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Por otro lado, el consumo de todas estas instituciones también es variable con el tiempo por ello se emplearán los siguientes patrones de consumo.

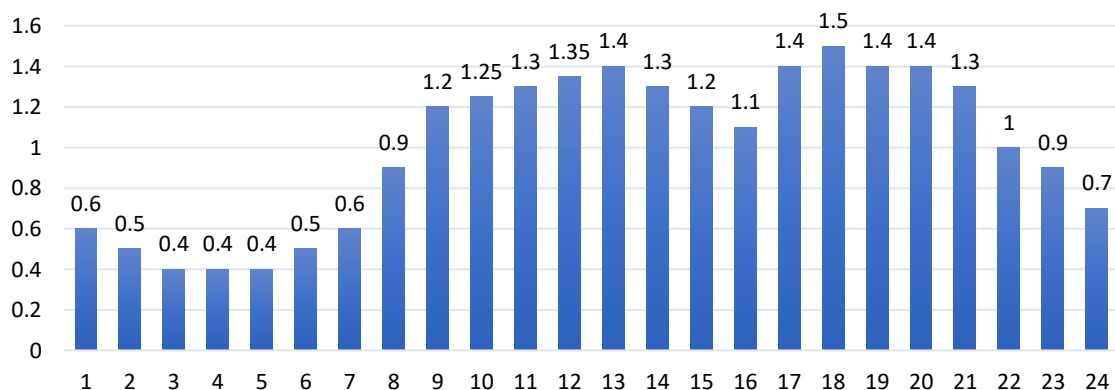


Gráfico 16-3: Coeficientes de variación horario para centros Hospitalarios.

Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2016)

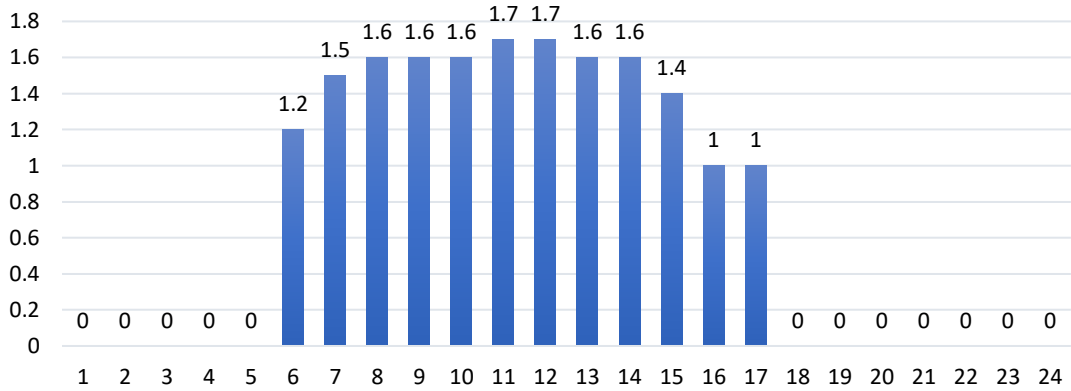


Gráfico 17-3: Coeficientes de variación horario para Centros Educativos.

Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2016)

3.2.3.7. Fugas

En el apartado de las fugas se incluirá en Epanet el coeficiente emisor y un exponente de fugas igual para todos los nodos. De forma general el exponente toma el valor de 0.58 de la Tabla 12-2 tomando el material del sistema como plástico.

El caudal total ingresado al sistema es de 12.61 l/s y conforme a las sugerencias de la bibliografía se toma un 32.61% que corresponde a 4.11 l/s de volumen fugado; como la ecuación requiere de una presión promedio del sistema es necesario construir el modelo de forma preliminar y determinar este término en una primera simulación. Luego, mediante el criterio de longitudes ponderadas y de acuerdo al procedimiento del Figura 6-2 se calculará el coeficiente emisor para cada nodo.

3.2.4. Problemas detectados

A través de la evaluación de todos los parámetros en la red para la creación del modelo hidráulico se interpretan los siguientes problemas:

- Mediante la obtención de los caudales producidos y consumidos teóricos se identifica de forma preliminar un exceso de consumo de agua en la población. Esto podría ser una señal de mal uso del recurso ya que a pesar de disponer de un buen caudal que teóricamente puede abastecer a todo el pueblo, en muchos lugares creen que debe incrementarse el fluido.
- El problema de la falta de registro de consumo de caudal es de gran importancia pues actualmente es imposible conocer el volumen real consumido por los usuarios, el caudal fugado, así como también es imposible facturar el agua con lo que se reducen los recursos económicos propios para la Administración de Agua sin posibilidad de hacer mejoras a futuro.

- El plano proporcionado por las instituciones a cargo no está actualizado, al revisar la imagen satelital existen nuevas zonas residenciales de las que no existe información sobre ubicación de válvulas y tamaño de tuberías.
- Por la disposición topográfica probablemente ciertas zonas se queden sin agua durante los períodos de mayor consumo ya que el sistema obtendrá más agua de los depósitos generando mayores pérdidas en las líneas, esto se verificará en el modelo hidráulico.

3.2.5. Modelación Hidráulica Mediante Epanet

3.2.5.1. Recopilación y procesamiento de Información

Creación de la capa Shape: Elevación

Para la creación del modelo se necesita de una fuente que proporcione la elevación de los nodos en el sistema, en este estudio se carece de un levantamiento topográfico específico para la red de distribución, pero se tiene la imagen ráster del cantón Riobamba; mediante ésta podemos extraer la nube de puntos requerida. Como el archivo ráster contiene mucha información su procesamiento se vuelve lento, hay que recortar la imagen a la zona de interés usando el programa ArcMapp.

Al abrir la imagen en el programa se despliega la Figura 33-3, además el ráster contiene un archivo shape con los límites en la cabecera parroquial y las parroquias rurales; este archivo permitirá realizar el recorte. Mediante la herramienta Clip, seleccionando el ráster original y el archivo de extensión .shp del área de estudio (Parroquia Calpi).

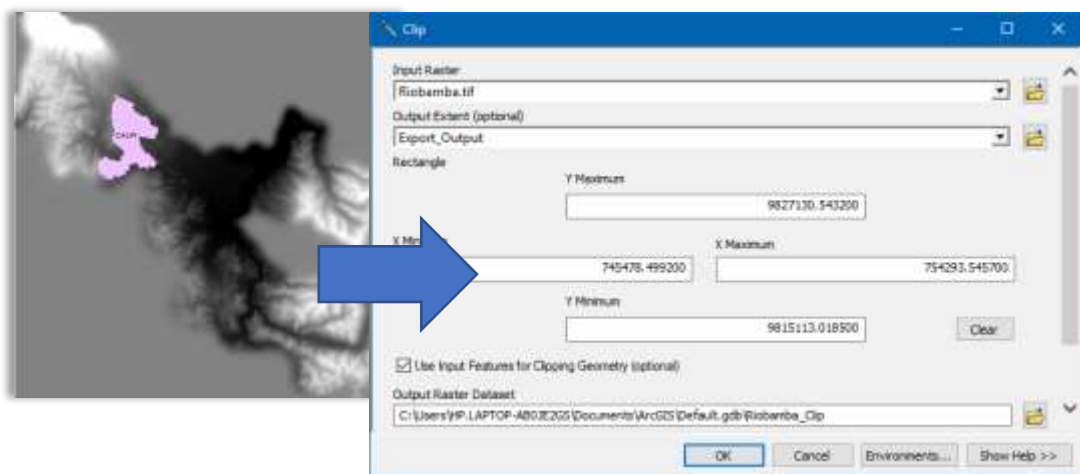


Figura 33-3: Obtención del Ráster de la Parroquia Calpi

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Por el tamaño de la imagen este proceso puede tardar un poco, de acuerdo con la capacidad del computador. Con este archivo se crea la nube de puntos con el comando *Ráster to Point* con la extensión .shp; este último será el usado en la interpolación de las elevaciones.



Figura 34-3: Nube de puntos de la Parroquia Calpi
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Creación de la capa Shape: Tuberías

El plano proporcionado por el Municipio consta de tuberías, uniones, válvulas y otros accesorios que se omiten en esta modelación que para la compensación se utiliza un coeficiente de rugosidad de 0.1. Se dibuja la red manualmente en AutoCAD. Como se conoce, existe un total de 445 acometidas alrededor del centro parroquial, estas no se dibujarán individualmente, sino que se asignan un promedio de 2 conexiones por cada manzana; para la asignación de demandas se divide el caudal consumido por todo el centro (definido en la sección 3.2.3.6) para el total de nodos residenciales dibujados.



Figura 35-3: Sistema de tuberías trazadas en AutoCAD
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Posteriormente, el archivo se añade a un nuevo proyecto en ArcMap dónde se le asigna los diámetros a cada una de las líneas según lo indicado en el plano. Antes de exportar el nuevo

archivo tipo Shape, se sugiere utilizar los comandos *Define Projection* y *Split Line at Vertices* para evitar errores en el siguiente paso.

3.2.5.2. Proyecto en ArcView

Cuando ya se han generado los archivos de elevación y tuberías se realiza la interpolación de las elevaciones mediante ArcView. Antes de realizar la interpolación y generar el archivo de Epanet, se sugiere realizar la verificación de posibles problemas que puedan encontrarse en el modelo Epanet, como tuberías abiertas, trazados entrecruzados u otros como en la Figura 36-3 (Menú *Edit Model* en la opción: *Data Verification*). Si no existen errores se importa el archivo Epanet que se generará con extensión inpp.

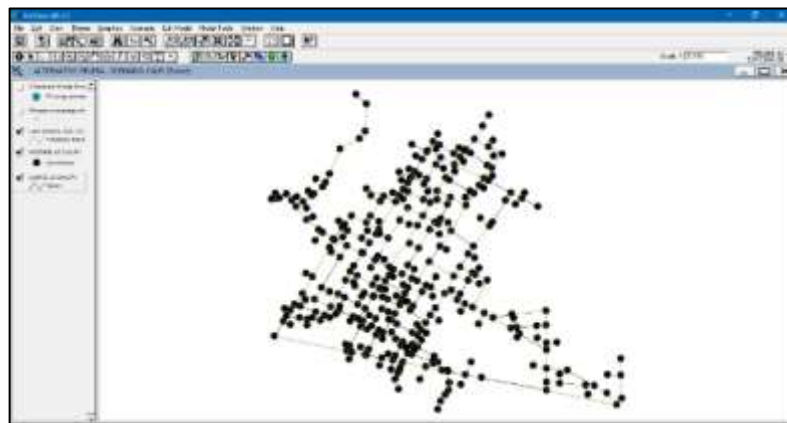


Figura 36-3: Esquema del Proyecto en ArcView.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

3.2.5.3. Archivo Epanet

Al abrir el archivo Epanet se verifica la información de elevaciones, coordenadas UTM y longitudes de tubería. Sobre este archivo se colocan los elementos y parámetros de la sección 3.2.3 iniciando por aquel que suministra el fluido a la red; en el sistema real esto se realiza mediante una tubería proveniente del tanque repartidor de caudales hasta otros dos tanques cuya altura cambia respecto a la hora del día y a la apertura de las válvulas a la salida de cada uno.

Dado que la regulación de las válvulas se realiza de forma manual actualmente no se podría determinar el porcentaje de flujo que se obtiene de cada tanque y consecuentemente es imposible conocer el comportamiento real de la lámina de agua en ellos, por lo tanto, para evitar trabajar con valores asumidos se decide usar un embalse como fuente de caudal el cual proporciona el caudal necesario a cada momento de la red. A este embalse se le coloca la cota de los tanques reales con un añadido de cero metros por el nivel de agua (Esta es la situación más crítica, cuando los depósitos se encuentran completamente vacíos),

Para el tanque de compensación en el Barrio más alto se usa un embalse para la simulación con el fin de verificar la variación de la altura con los consumos del sector, los datos ingresados corresponden a los de la Tabla 11-3. Como la simulación inicia a las 00:00 se asume que para ese entonces el tanque está completamente lleno y a partir de ahí se deja vaciar hasta un nivel mínimo de cero.

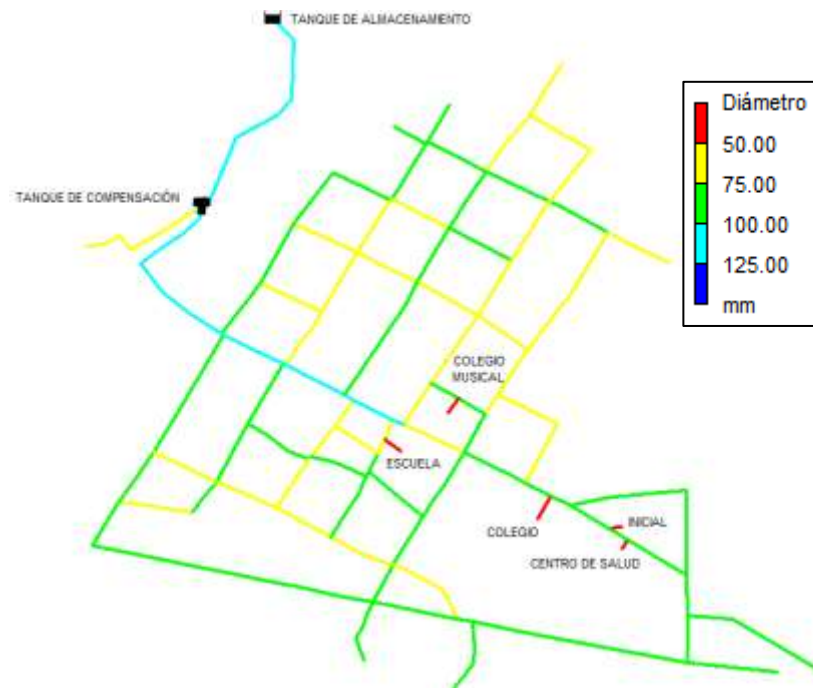


Gráfico 18-3: Distribución de tuberías.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

En cuanto a las tuberías, al revisar el plano proporcionado se observan sectores en los que no existía el sistema de distribución de agua potable, como medida conservadora para la verificación del sistema se asumirá en aquellos casos una tubería de 75 mm como la situación más crítica. El esquema de la distribución de tuberías queda como en el Gráfico 25-3.

Las tuberías de color cian corresponden a los tamaños de 4 pulgadas a la salida del tanque y 100 mm desde la calle principal. Las líneas rojas que se muestran simulan las entradas de flujo a los consumidores no residenciales de 2 m de longitud y 25 mm de diámetro.

Al verificar las opciones hidráulicas, el método de cálculo usado es Darcy Weisbach y rugosidad 0.1 en todas las tuberías (se coloca un valor de rugosidad alto para compensar las pérdidas de presión secundarias que no se detallan en el modelo) y se configura el coeficiente de emisores al valor acordado de 0.58. En resumen, actualmente el modelo presenta los siguientes parámetros:

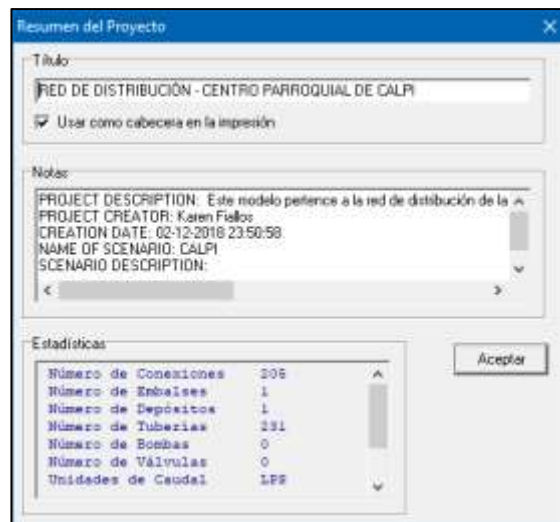


Figura 37-3: Distribución de tuberías.
 Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Con 200 nodos residenciales y 4 consumos especiales se añaden los parámetros de demanda en cada nodo. Para facilitar el cálculo, se dividen los 6.70 l/s de demanda de la red para el total de nodos que representan los hogares, esto da como resultado una demanda básica de 0.0335 l/s. Para los nodos de distinto consumo se colocan las demandas básicas calculadas en la Tabla 14-3, el esquema se puede observar a continuación.

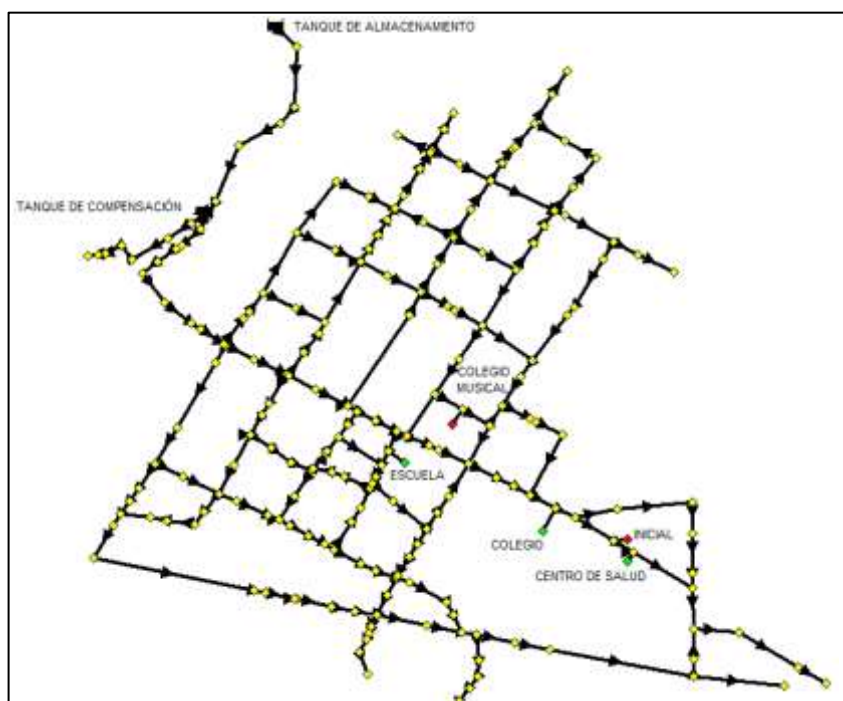


Figura 38-3: Distribución de tuberías.
 Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

La escuela tiene una demanda de 0.05 l/s, el colegio musical 0.012 l/s, el bachillerato con 0.068 l/s, la escuela inicial 0.013 l/s y finalmente el centro de salud 0.069 l/s. A cada uno le corresponde los patrones de demanda ya definidos en la sección 3.2.3.6 que deben ingresarse y asignarse en el

sistema mediante la ventana *Visor*, dentro la opción *Patrones* y finalmente el botón *Añadir*. Se corre el sistema para verificar que los caudales han cambiado y se extrae que la red está consumiendo un caudal máximo de 10.01 l/s a las 7:00- 9:00 y; 2.94 l/s durante la noche (00:00- 3:00).

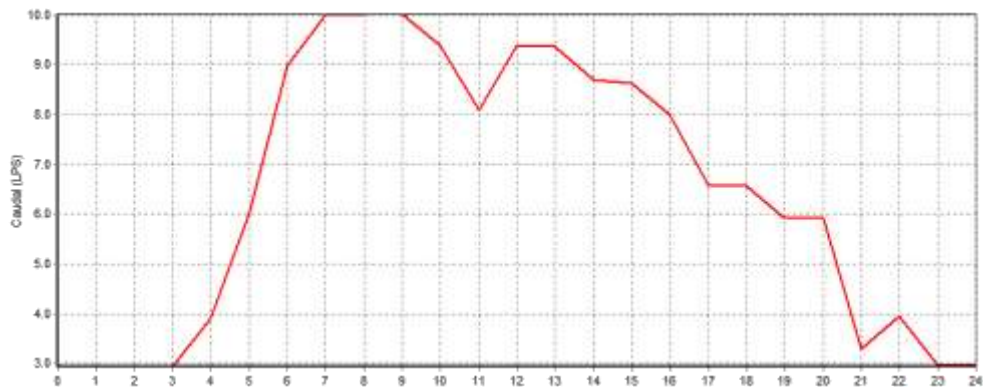


Gráfico 19-3: Evolución del caudal consumido en la red.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Mediante esta última configuración el sistema está listo para hacer una primera simulación de prueba, puesto que aún queda editar los coeficientes de emisores para el apartado de fugas. Primero se verifican las presiones máximas del sistema los cuales presentan la configuración siguiente.

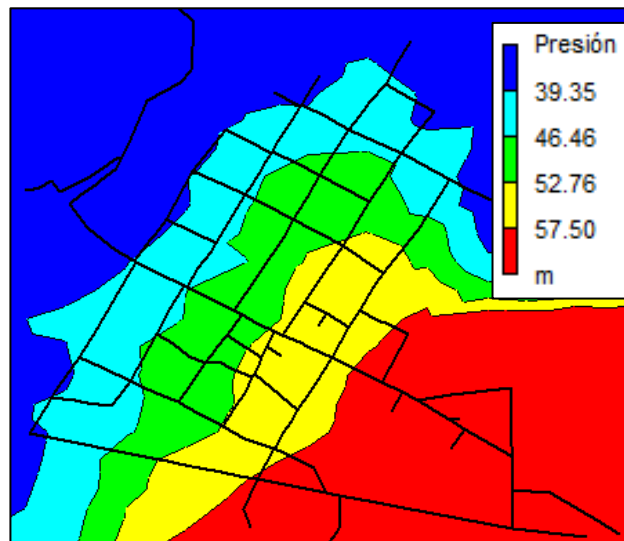


Gráfico 20-3: Presiones Máximas (00:00).
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Como lo indica el Gráfico 27-3 de contorno, el centro parroquial se ubica en un terreno cuya altura disminuye desde la ubicación de los depósitos hasta el último nodo de consumo. Esta variación en un sistema de distribución por gravedad hace que aparezcan presiones muy altas, específicamente una presión de 70.67 mca en el nodo J320 a las 00:00 cuando el consumo es mínimo y las tuberías se encuentran completamente llenas.

Al revisar las presiones mínimas la simulación muestra un error de presiones negativas, en la línea que corresponde al Barrio El Progreso, este problema hay que confirmarlo con la variación de alturas en el tanque de compensación (Nudo 117).

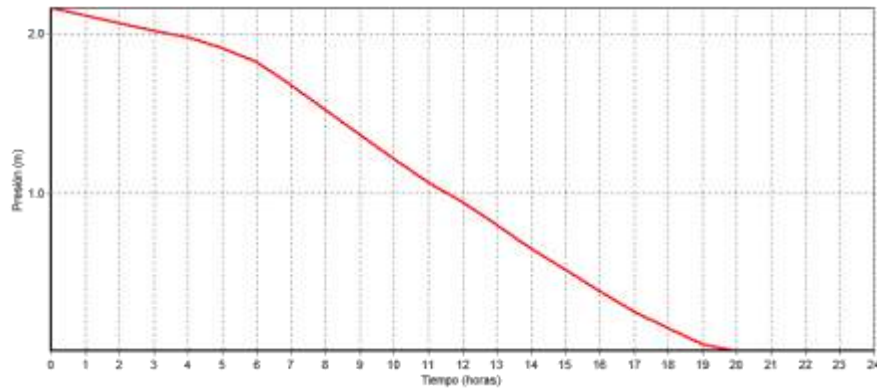


Gráfico 21-3: Presiones Máximas.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Efectivamente para los consumos asignados el tanque termina de vaciarse aproximadamente a las 20:00 con lo cual deja las tuberías del sector vacías haciendo que en la simulación se muestren grandes presiones negativas, por tanto, para el cálculo de fugas se toma la presión mínima como 0 mca. El escenario de presiones mínimas sin generar vacíos se produce aproximadamente a las 19:00, los resultados se encuentran en el Gráfico 29-3, en ese momento el nodo 109 tiene una presión de 0.48 mca.

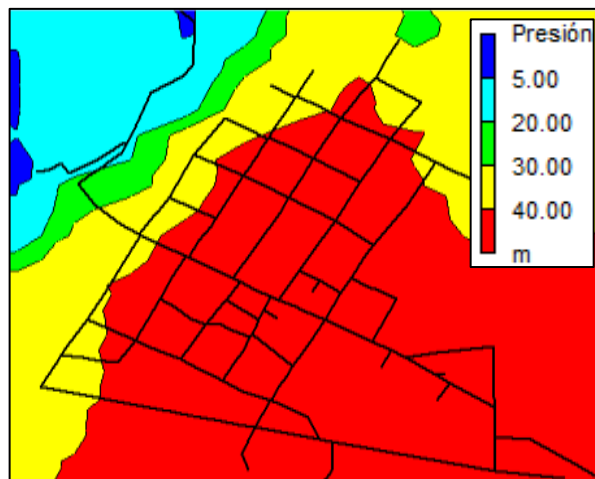


Gráfico 22-3: Presiones Mínimas (19:00)
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Luego de añadir las fugas será importante verificar el comportamiento del depósito modificando los consumos asignados. Para incluir las fugas se trabaja con el diagrama de flujo de la Figura 3-2 en el que primero nos solicita calcular un coeficiente de emisores global en función de las presiones máximas y mínimas.

$$K_{global} = \frac{4.11}{\sqrt{\frac{70.67}{2}}} = 24.44$$

Del modelo se extrae la longitud total de tuberías (7984.62 m) así como la longitud promedio de unida a cada nodo. El procedimiento iterativo se detalla en el Anexo F, se realizaron 8 cálculos comparando las fugas esperadas con las simuladas en función de las presiones máximas a las 00:00.

Tabla 15-3: Resumen del cálculo de Fugas.

No. Iter.	Coficiente Global	Caudal Total Fugado (l/s)	Error
1	24.44	154.29	3653.89%
2	0.65	0.82	80.05%
3	3.27	13.91	238.37%
4	0.97	7.87	91.46%
5	0.50	3.18	22.67%
6	0.65	5.58	35.81%
7	0.48	4.21	2.46%
8	0.47	4.11	0.12%

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Ahora que el archivo incluye el apartado de fugas el modelo hidráulico está completo y pueden realizarse las evaluaciones correspondientes.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Línea de Captación

4.1.1. Evaluación de la Situación Actual

Como se describe en las generalidades, se disponen de dos caudales que se unen en un punto llamado “Yee”, la primera consideración que se debe recordar es que dos flujos podrán unirse siempre y cuando las presiones en cada ramal sean las mismas.

Para la simulación se define una rugosidad de 0.1 para todas las tuberías. Antes de ejecutar la simulación, se debe realizar una revisión en el cambio de alturas del terreno mediante un mapa de contorno como lo muestra el Gráfico 1-4.

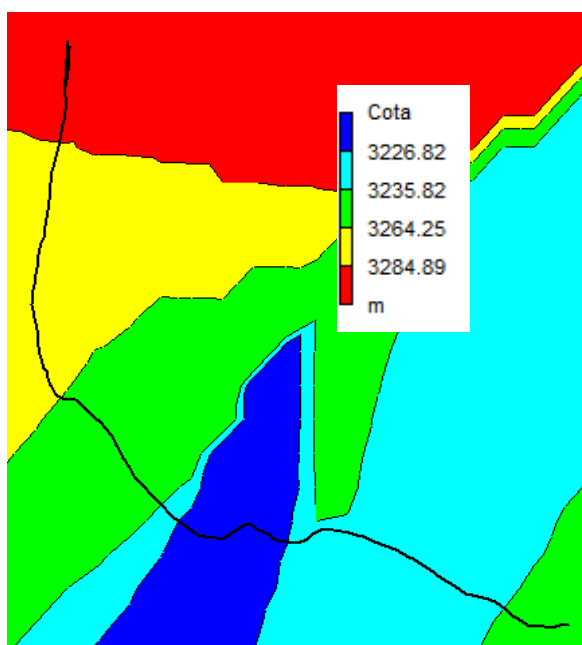


Gráfico 1-4: Cambios de altura Sistema de Captación
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Observando el mapa de contorno el terreno donde se ubican los depósitos dispone de una gran altura, luego de la cual el sistema sufre de varios cambios de elevación. La simulación permitirá definir si se podrá o no transportar el flujo bajo estas condiciones, los resultados preliminares son los siguientes.

Al ejecutar el archivo con estos parámetros, la línea nueva posee un caudal en sentido contrario al existente, indicando que un caudal mayor al total se transporta por la línea antigua, los resultados se muestran en el siguiente Gráfico

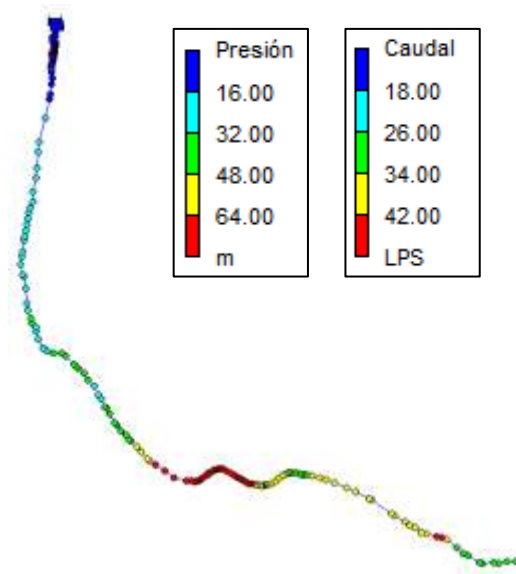


Gráfico 2-4: Simulación Sistema de Captación
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

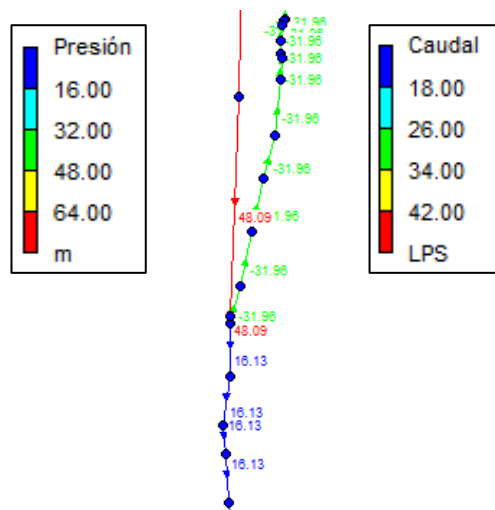


Gráfico 3-4: Simulación centrada en el punto de unión.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Con estos resultados erróneos se debe verificar las presiones en el punto de unión para determinar si los caudales podrán unirse. Para ello se construyen simulaciones por separado de cada línea: nueva y antigua.

Simulación “Línea Antigua”

Para la línea antigua se coloca un embalse en representación del tanque antiguo de nivel constante, mientras que en el punto de unión se define una demanda base igual al caudal que actualmente conduce esta parte del sistema, alrededor de 13.1776 l/s. La distribución de alturas en este tramo del sistema se representa en el Gráfico 7-3

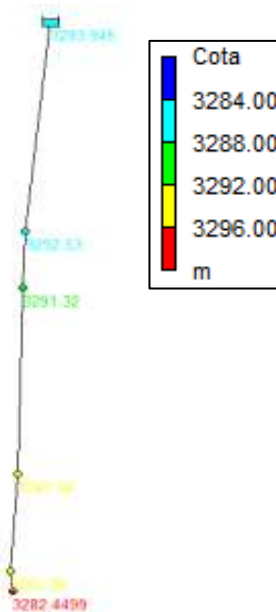


Gráfico 4-4: Distribución de alturas en la Línea Antigua
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Previo a revisar los resultados de la simulación se puede decir que el diferencial de altura existente es cerca de 11.49 m siempre que el sistema pueda funcionar a sección llena. La simulación muestra los siguientes valores.

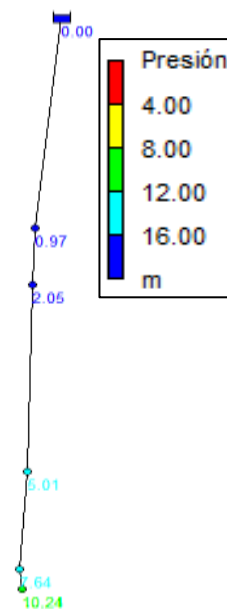


Gráfico 5-4: Simulación Línea Antigua
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Respecto a los resultados de la simulación se observa que en el punto de unión este segmento de tubería llega con una presión de 10.24 mca (100 kPa aprox.). Considerando que durante todo el tramo el tamaño de la tubería es constante la velocidad con la que fluye el agua también lo será, el valor calculado por Epanet es 0.72 m/s y el factor de fricción 0.021. Como la velocidad, el

caudal y el tamaño de la tubería son los mismos durante todo el tiempo, lo es también las pérdidas por longitud de tubería. Utilizando la Ecuación 9 para el cálculo de pérdidas primarias se obtiene:

$$h_L = 0.021 \frac{1}{0.152} \frac{0.72^2}{2(9.8)} = 0.0036 \text{ mca/m}$$

Del mismo modo se podría decir que por cada km de esta tubería la pérdida de presión será de apenas 3.65 mca, que comparado con los 3.63 mca en Epanet son valores relativamente iguales.

Simulación “Línea Nueva”

De igual manera, en la línea nueva se añade el tanque al inicio de la tubería y en el punto final de esta el caudal que debería transportar la línea, es decir 5.26 l/s. En este tramo la tubería tiene un tamaño constante de 152.55 mm, y se define el parámetro de rugosidad como 0.1. El nivel del tanque se supone como el máximo posible, medido como 1.98 m desde el fondo del tanque. La distribución aproximada de alturas entre los puntos inicial y final de este tramo se representa en el siguiente Gráfico 9-3.

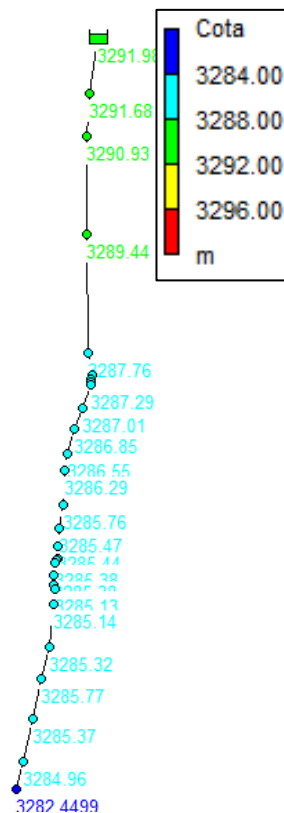


Gráfico 6-4: Distribución de alturas en la Línea Nueva
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Como se puede observar en la Figura anterior, existe un diferencial de altura positivo entre la altura del tanque de captación y el punto de unión; con una caída aproximada de 9.53 m sin tomar

en cuenta aún las pérdidas en el sistema. A su vez, al ejecutar la simulación los resultados quedan como se muestra a continuación.

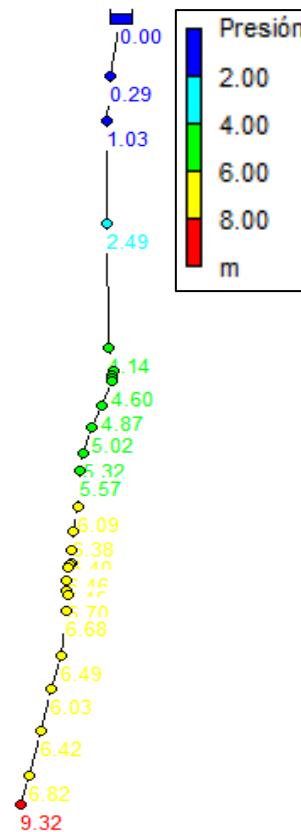


Gráfico 7-4: Simulación de presiones en la Línea Nueva
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

De forma semejante a la simulación anterior, se puede observar que en el punto de unión el fluido llegaría con una presión aproximada de 9.32 mca. Dado que el tamaño de la tubería es el mismo en todo el trayecto, la velocidad calculada es 0.29 m/s con un factor de fricción de 0.024. Es importante observar que la velocidad está muy por debajo de la mínima recomendada que es 0.6 m/s. Tomando la velocidad calculada por Epanet las pérdidas por unidad de longitud en esta línea quedan como:

$$h_L = 0.024 \frac{1}{0.152} \frac{0.29^2}{2(9.8)} = 0.00067 \text{ mca/m}$$

Con el cálculo anterior se concluye que las pérdidas por longitud de tubería en una tubería con las condiciones ya descritas serían de 0.67 mca por cada km, muy similar a los 0.65 mca calculados por Epanet.

4.1.1.1. Diagnóstico

De la recopilación de datos en campo y del estudio respaldado por Epanet se pueden dar el siguiente análisis:

- El primer análisis en campo del sistema de captación permite intuir la existencia de un problema hidráulico, puesto que a pesar de que ambos tramos tienen el mismo tamaño de tubería, uno de ellos es capaz de transportar el doble de caudal comparado con la otra línea. El inconveniente radica en la diferencia de las condiciones topográficas en los tanques, que a pesar de ubicarse relativamente cerca no brindan el mismo diferencial de alturas y por tanto cambia el valor de las presiones.
- Como conclusión de las simulaciones por partes de cada tramo, el sistema actual no está aprovechando la totalidad de agua proveniente de los manantiales, y la razón que puede adjudicarse a ello, es la diferencia de presiones existente entre la línea nueva y antigua de aproximadamente 1mca que impide que sus flujos se unan y sean transportados, por lo que se concluye que el flujo actual en la línea nueva solo se debe al arrastre que provoca la mayor presión de la línea antigua, haciendo que el volumen de agua restante que ingresa al tanque sea desbordado y evacuado al río Chimborazo.
- Además de los problemas de presión existentes antes del punto de unión, se debe recordar la existencia de tramos de tubería de menor tamaño, un total aproximado de 2.11 km de tubería de 110 mm. Se analiza la ecuación de las pérdidas primarias mientras menor es el tamaño del tubo mayores pérdidas se alcanzan, así como mientras más caudal debe transportarse más pérdidas se generan. Esto puede ocasionar algo similar a un limitador hidráulico, ya que en la Línea en Conjunto el caudal que debe ser transportado es de aproximadamente 16 l/s por lo que este podría exceder la capacidad de los tramos más pequeños provocando que la entrada de caudal con menor cantidad de fuerza (menor presión, representado como la Línea Nueva) se reduzca para compensar esta pérdida haciendo que la capacidad de transporte de la línea de captación no pueda ser mayor al actual.

4.1.2. Propuestas de Mejora

De acuerdo a lo especificado en el diagnóstico del sistema, el problema radica en la diferencia de presiones existente en ambas líneas; por lo cual si se logra eliminar dicha variación teóricamente ambos flujos volumétricos lograrán unirse, permitiendo que la capacidad de transporte de la “Línea Nueva” se incremente y por tanto el caudal total.

En cuanto a los métodos por los cuales se puede llegar al objetivo de transportar el total del caudal producido se sugieren los siguientes:

- **ESCENARIO 1: Construcción de un tanque en el punto de unión.** La propuesta consiste en la cimentación de un tanque que sea alimentado por los caudales provenientes de las Líneas Antigua y Nueva, siendo este el punto de partida para que el fluido pueda transportarse en la Línea en Conjunto hasta el tanque repartidor de caudales. El único inconveniente que podría darse es topográfico, ya que la construcción de un nuevo tanque implica que en ese punto el fluido arranca con una presión manométrica de cero (presión atmosférica), con lo cual hay que verificar si la cota es suficiente para llevar el caudal.
- **ESCENARIO 2: Inducir pérdidas en la línea de mayor presión.** Existen varias formas de provocar pérdidas al tramo de mayor presión (Línea Antigua), puesto que se podría disminuir el tamaño de la tubería a un tramo determinado, para reducir este diferencial de presión y permitir la unión de caudales. Otra opción es la introducción de un accesorio específico para este objetivo como lo son las válvulas reductoras de presión. Es importante la verificación de los tramos de tubería de menor tamaño posteriores (Línea en Conjunto), ya que con el incremento de caudal podrían hacerlo también las pérdidas, con lo cual el fluido no llega al punto deseado.
- **ESCENARIO 3: Construcción de una línea en paralelo a la existente.** Finalmente, la opción más lógica sería la de construir un sistema de tuberías paralela a la existente, permitiendo que por esta nueva línea se transporte el caudal esperado en la Línea Nueva, es decir la producción completa de las fuentes El Lirio y La Represa. Mientras que el sistema actual sin modificaciones se encarga del caudal de la fuente Shobolpamba.

Para cada uno de los escenarios anteriores es necesario hacer una verificación mediante el modelo hidráulico, con lo cual se podrá definir aquellas opciones válidas para su construcción a futuro. De igual forma, en caso de que varios escenarios logren solucionar el problema, estos se pondrán a consideración de las partes involucradas y mediante un análisis de factibilidad, costos u otros criterios se determinará la propuesta final aceptada.

4.1.2.1. Simulación Escenario 1

Mediante la construcción de un tanque que permita transportar el total de la producción en las fuentes, reduciendo al mínimo los desperdicios al Río Chimborazo. Las condiciones de funcionamiento de este escenario son las siguientes:

- Se construirá un tanque en el punto de unión con dos entradas: Línea Nueva y Línea Antigua. Para la simulación este tanque se representará como un embalse con un nivel de agua constante de 2.5 m; dejando la cota de este punto como 3284.96 m.
- El caudal total que se debe extraer desde el tanque corresponde al total producido: 18.44 l/s.

- El tamaño de las tuberías no se altera, dejando los tramos existentes de 152.55 mm y 103.73 mm en la Línea en Conjunto tal y como existen.

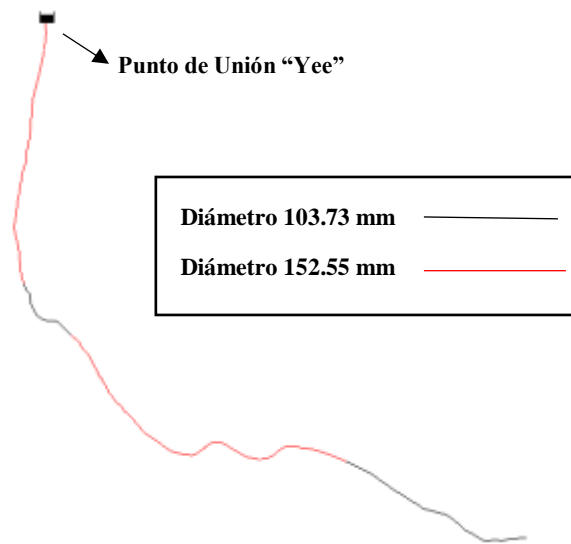


Gráfico 8-4: Esquema básico del Escenario 1.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Al correr la simulación los datos de presión obtenidos se presentan como en la siguiente figura.

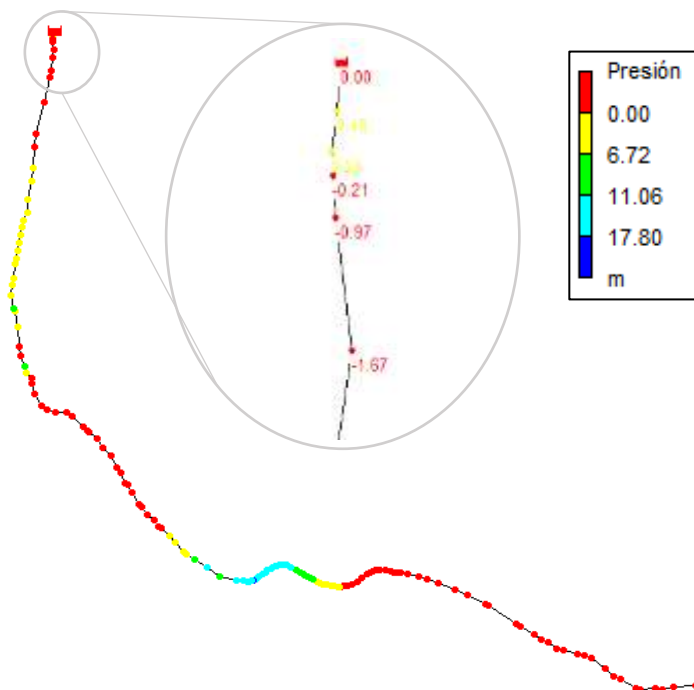


Gráfico 9-4: Resultados de Presión del Escenario 1.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Tal y como indica la Figura anterior, el punto en el que se ubica la Yee no dispone de una cota lo suficientemente alta para poder transportar el caudal, ya que en los tramos siguientes al tanque la presión aparece negativa lo cual significa que después de este punto se presenta una pequeña

montaña que el fluido es incapaz de pasar por las condiciones de presión. La solución a este problema sería elevar el nivel del tanque, dado que este valor es de 2.5 metros ya no sería posible incrementarlo, así que la siguiente opción es de un tanque elevado, para el cual debería implementarse un sistema más costoso y complicado, por lo que tampoco sería prudente. Bajo estas circunstancias, el Escenario 1 no es una alternativa viable para resolver el problema planteado.

4.1.2.2. Simulación Escenario 2

Como segunda alternativa se planteó introducir pérdidas en la línea de mayor presión, para lo cual podemos realizar dos análisis: Pérdidas por longitud de tubería y Pérdidas por accesorios.

En cuanto a la primera opción, mediante el diferencial de presiones se puede determinar un tamaño de tubería adecuado que introduzca esa pérdida por longitud de tubería. Tal cual se determinó en la simulación de la Línea Antigua bajo las condiciones actuales las pérdidas primarias del segmento de 346.35 m se calculan usando los siguientes parámetros.

Tabla 1-4: Parámetros para el cálculo de Pérdidas Primarias en la Línea Antigua.

Diámetro (mm)	Área (mm²)	Velocidad (m/s)	Reynolds (ρ)	Factor de fricción	Pérdidas Primarias* (m)
152.55	0.018	0.72	110005.22	0.021	1.25

*Se usó el Método Darcy Weisbach.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Por tanto, si se desea obtener presiones aproximadas en ambas líneas se debe incrementar la caída de presión en un valor cercano a 0.92 mca según lo simulado en las secciones anteriores. Para elevar este valor se debe recordar que las pérdidas primarias provienen de la fricción existente entre las paredes de la tubería y el fluido siendo mucho mayor mientras más turbulento sea, en otras palabras, mientras más pequeña sea la tubería este estrangulamiento del fluido provocará un crecimiento en la velocidad y en el número de Reynolds, haciendo que sea más turbulento e incrementando la caída de presión hasta el valor necesario que para este estudio es de 2.17 mca.

Como el tamaño actual de la tubería es de 152.55 mm (6 plg. aprox.) se podría intentar hacer una reducción a 103.73 mm que equivale a un tamaño aproximado de 4 plg. Para determinar la longitud de tubería que debe reemplazarse, se realizó un proceso iterativo ingresando el tramo de tubería que se va a reducir, la Tabla 2-4 indica los resultados obtenidos.

En consecuencia, para introducir la cantidad de pérdidas requeridas en el sistema, se debe cambiar un tramo de aproximadamente 42 m a 103.73 mm. En el modelo hidráulico se coloca un nuevo

nudo a la salida del tanque con tubería de longitud 42 m y diámetro 103.73 mm, mediante una proporción directa se establece la altura de este nuevo nodo N2 como 3290.5289 m; el modelo de la Línea Antigua queda como en el Gráfico 10-4.

Tabla 2-4: Cálculo de la longitud de menor tamaño en la Línea Antigua.

Tramo 1		Tramo 2		Pérdidas totales Tramo 1 + Tramo 2 (mca)
Diámetro (mm)	152.55	Diámetro (mm)	103.73	
Área (m²)	0.018	Área (m²)	0.008	
Velocidad (m/s)	0.721	Velocidad (m/s)	1.559	
Reynolds	110005.226	Reynolds	161778.629	
Factor Fricc.	0.0208	Factor Fricc.	0.0213	
Longitud (m)	Pérdidas (mca)	Longitud (m)	Pérdidas (mca)	
346.35	1.25	0.00	0.00	1.25
336.35	1.22	10.00	0.26	1.47
326.35	1.18	20.00	0.51	1.69
316.35	1.15	30.00	0.77	1.91
306.35	1.11	40.00	1.02	2.13
305.35	1.11	41.00	1.05	2.15
304.35	1.10	42.00	1.07	2.17

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

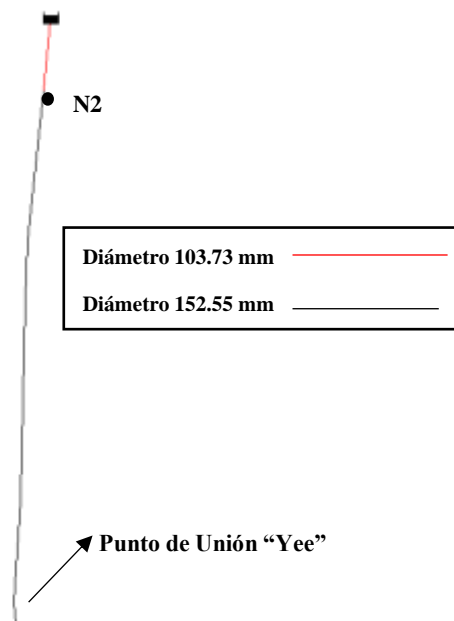


Gráfico 10-4: Esquema de tramos en la Línea Antigua

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Colocando en el punto de unión una demanda base igual al caudal que se requiere transportar en el tramo en este caso 13.18 l/s, al ejecutar el programa se muestran los resultados siguientes.

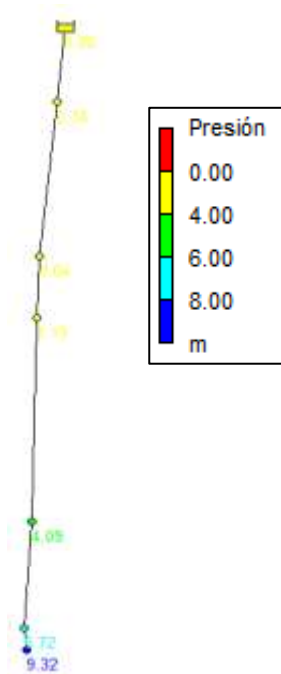


Gráfico 11-4: Resultados del Escenario 2-1 en la Línea Antigua.
 Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Se puede concluir que mediante este cambio es posible igualar las presiones en el punto de unión para los dos tramos; con lo cual queda determinar si con esa presión a partir de la Yee es posible llevar la totalidad del flujo al tanque repartidor de caudales ubicado en Calpi Loma, se introduce esa nueva configuración del tramo en el modelo hidráulico completo y se verifican los resultados.

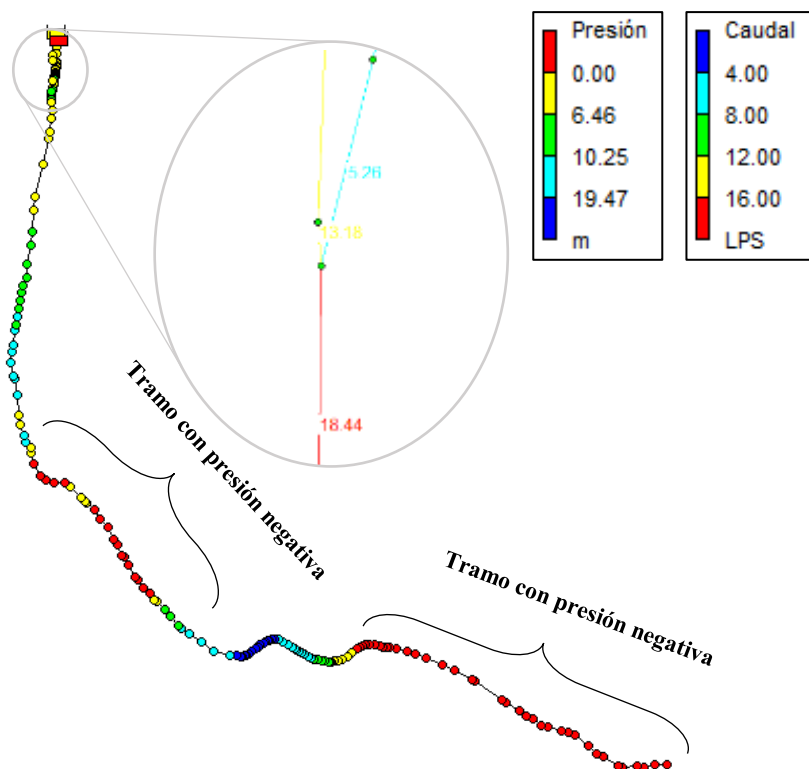


Gráfico 12-4: Resultados del Escenario 2-1 en el Sistema de Captación
 Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Podemos observar que con este cambio las líneas Nueva y Antigua transportan el total producido por las fuentes; en contraste, el problema que existe es la incapacidad del sistema luego del punto de unión para transportar el caudal, ya que basta con encontrar un solo punto de presión negativa significa que el fluido no podrá pasar dicho nodo y en este caso este primer nodo es el J107 (746203.32, 9820187.49). Para entonces el fluido ha perdido toda la energía y es incapaz de superar esta elevación, impidiendo que el fluido llegue al punto esperado, posiblemente debido al cambio en el tamaño de la tubería que termina provocando pérdidas de presión exageradas.

En resumen, no basta con añadir las pérdidas a la línea de mayor presión puesto que para transportar el total de los caudales medidos es necesario reducir las pérdidas de presión en la Línea en Conjunto incrementando el diámetro de los tramos más pequeños, dicho de otra forma, reemplazando la tubería de 103.73 mm por tubería de diámetro 152.55 mm. Realizando estos cambios y verificando la simulación los resultados se muestran a continuación.

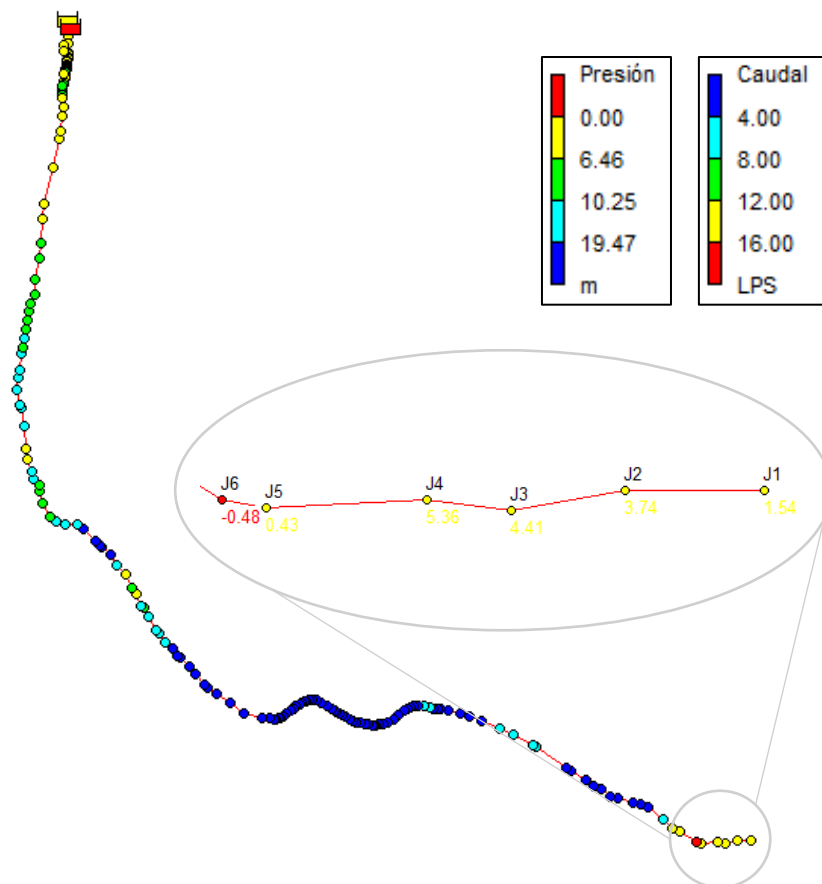


Gráfico 13-4: Resultados finales del Escenario 2-1 en el Sistema de Captación
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

En conclusión, mediante este intercambio es muy probable que se consiga transportar el total de agua desde las fuentes al tanque repartidor, siempre que se pueda eliminar aproximadamente 0.48 m de elevación al nodo J6 sin afectar los nudos contiguos; no obstante, tomando muy en cuenta

la profundidad de enterrado de las tuberías en estos puntos críticos es posible considerar esta opción como una solución. De tomarse en cuenta al Escenario 2-1 como una opción real se deben recalcar las siguientes ventajas y desventajas.

Tabla 3-4: Ventajas y Desventajas del Escenario 2-1

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Bajo las condiciones esperadas, el caudal transportado será el total producido en las fuentes. - No requiere mantenimiento. - Costo relativamente bajo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Las pérdidas reales del sistema pueden ser mayores a las calculadas, provocando un aumento en el nivel del tanque antiguo que puede llevar al desbordamiento ya que no existe sistemas de reboso. - Una vez instalado, las condiciones reales del terreno y profundidad de las tuberías pueden ser diferentes a las esperadas, si son mayores el desperdicio de la línea nueva se incrementa y en cambio, si son menores, se reduce la capacidad de la línea antigua. - El diseño considera un caudal siempre constante que no puede asegurarse, puesto que las medidas se tomaron durante el inicio de la temporada seca.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Por todo lo anterior, a pesar de que es posible solucionar el problema mediante esta estrategia hay que destacar la importancia de un estudio minucioso tanto topográfico como en la variación de caudales ya que como se ha mencionado antes el objeto de este estudio es aprovechar el total de los caudales.

Por otra parte, tomando la segunda opción en la introducción de las pérdidas a la línea de mayor presión se puede incluir un accesorio exclusivamente para este propósito denominado Válvula Reductora de Presión, la cual mediante un mecanismo permitirá introducir una cantidad de pérdidas variables en función de las necesidades del sistema.

Por lo que se refiere al modelo hidráulico en Epanet este tipo de válvulas si se las puede simular simplemente indicando la consigna o presión de salida del accesorio, que en este caso sería la presión de llegada de la Línea Nueva. Para la simulación inicialmente se añade un nodo cercano al punto de unión de las tuberías N3 con la misma altura del nodo J136 y se intercambia el nodo final de la tubería P173 como muestra el esquema.

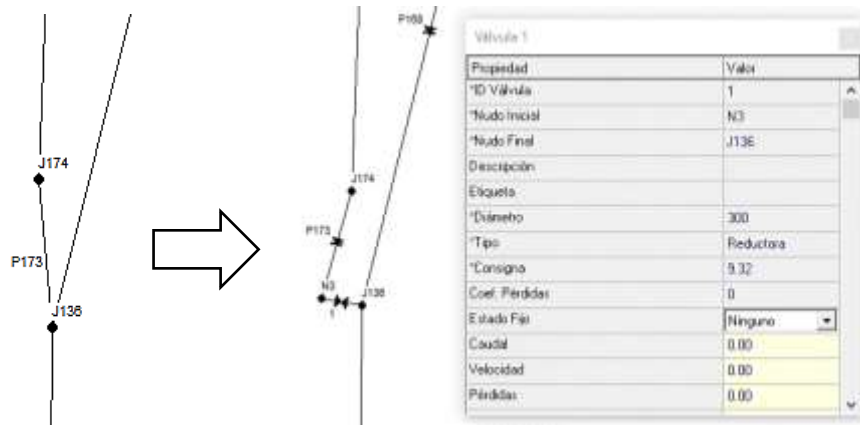


Figura 1-4: Configuración de la Válvula Reductora de Presión en el Escenario 2-1
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

La válvula reductora se coloca entre los nodos N3 y J136, por lo que teóricamente estaría siendo ubicada en el punto exacto de la unión llevando la presión de la Línea Antigua al valor requerido para unirse con el otro tramo, es decir 9.32 mca. Como ya se verificó en la opción anterior, además de añadir las pérdidas también debe regularizarse el tamaño de la tubería luego de la unión por lo que esto se realiza en este paso previo a la simulación.

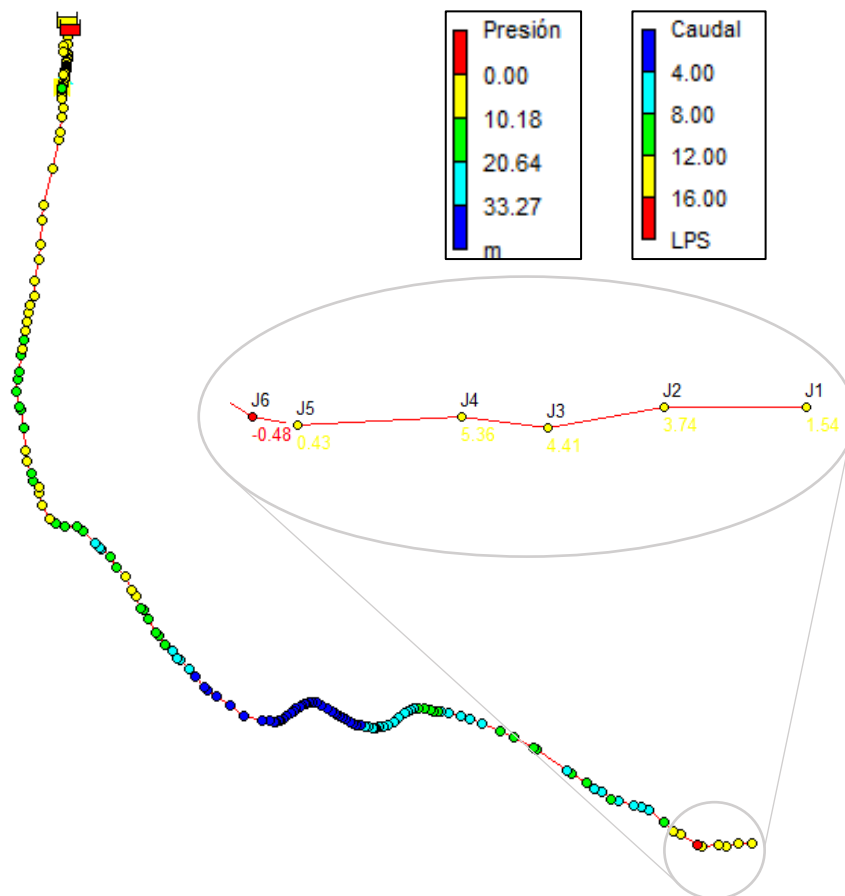


Gráfico 14-4: Resultados del Escenario 2-2 en el Sistema de Captación
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Como podemos verificar en la Figura anterior, los resultados son exactamente iguales, por lo que en definitiva, teóricamente ambas opciones provocan la misma respuesta del sistema, en cuanto a las ventajas y desventajas que acompañan a esta propuesta se muestran algunos en la Tabla 4-4.

Tabla 4-4: Ventajas y Desventajas del Escenario 2-2

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Bajo las condiciones esperadas, el caudal transportado será el total producido en las fuentes. - Dependiendo del tipo de válvula seleccionado, este elemento puede adaptarse automáticamente a los cambios en el sistema reduciendo al mínimo el desperdicio de caudal. - Independientemente de las variaciones reales de la cota (Errores de topografía), el accesorio puede adaptarse a las necesidades del sistema al momento de la instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> - El equipo requiere el mantenimiento recomendado por el fabricante para mantener la integridad y buen funcionamiento del mismo. - El costo del accesorio podría ser elevado.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

En definitiva, considerando que el estudio topográfico bajo el cual se construyó el modelo hidráulico se enfoca en gran parte en el detalle de las Líneas Nuevas y en Conjunto, no podemos asegurar con certeza que las condiciones simuladas representan a las reales; razón por la cual la solución más confiable en el Escenario 2 corresponde a la segunda opción (La primera se descarta).

4.1.2.3. Simulación Escenario 3

Como ya se demostró en las simulaciones anteriores los caudales de las líneas Antigua y Nueva no pueden llegar a unirse por la diferencia en sus presiones, haciendo que en la actualidad el sistema sea capaz de transportar aproximadamente el total de lo captado en la línea antigua, es decir 13.18 l/s, por tanto, puede resultar conveniente la implementación de una línea paralela a la ya existente para que transporte el caudal de la línea nueva.

Para tal caso únicamente se debe determinar el tamaño adecuado de la tubería de forma que las pérdidas primarias no interfieran en la llegada del flujo. Como primera iteración se asume una velocidad mínima de 0.60 m/s.

$$Q = A * v$$

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

Se conoce que el caudal conducido debe ser de al menos 5.26 l/s equivalente a $5.26 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, reemplazando en la ecuación.

$$A = \frac{5.26 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0.60 \text{ m/s}} = 8.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

De donde el diámetro mínimo que se puede escoger será:

$$A = \frac{\pi}{4} D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(8.77 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}{\pi}} = 0.105 \text{ m} = 105 \text{ mm}$$

Mediante la Tabla referencial de tamaños proporcionada por Plastigama se identifica el diámetro nominal correspondiente al diámetro interno calculado.

Tabla 5-4: Diámetros interiores para tubería tipo Biax de 110 mm.

Diámetro Nominal	Diámetro Interior	Espesor Nominal	Presión de trabajo		
			MPa	Psi	Kg/cm ²
110	105.2	2.4	0.63	91	6.43
	105.0	2.5	0.8	116	8.16
	104.6	2.7	1.00	145	10.20
	104.4	2.8	1.25	181	12.75

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.
Fuente: (Plastigama, 2018, pp. 2)

En efecto, el diámetro calculado corresponde aproximadamente a un tamaño nominal de 110 mm con una presión de trabajo de entre 0.63 y 0.8 MPa; para seleccionar uno de los valores de presión debe verificarse la presión máxima esperada en todos los casos de funcionamiento sean permanentes o transitorios durante el trabajo del sistema.

La simulación a continuación verifica que las condiciones topográficas del terreno, juntamente con el uso de una tubería de diámetro nominal de 110 mm (4 pulgadas) (Presión de trabajo de 0.63 MPa, diámetro interno de 105.2 mm) satisfacen la necesidad de transportar los 5.26 l/s que se disponen en la actualidad en la línea nueva.

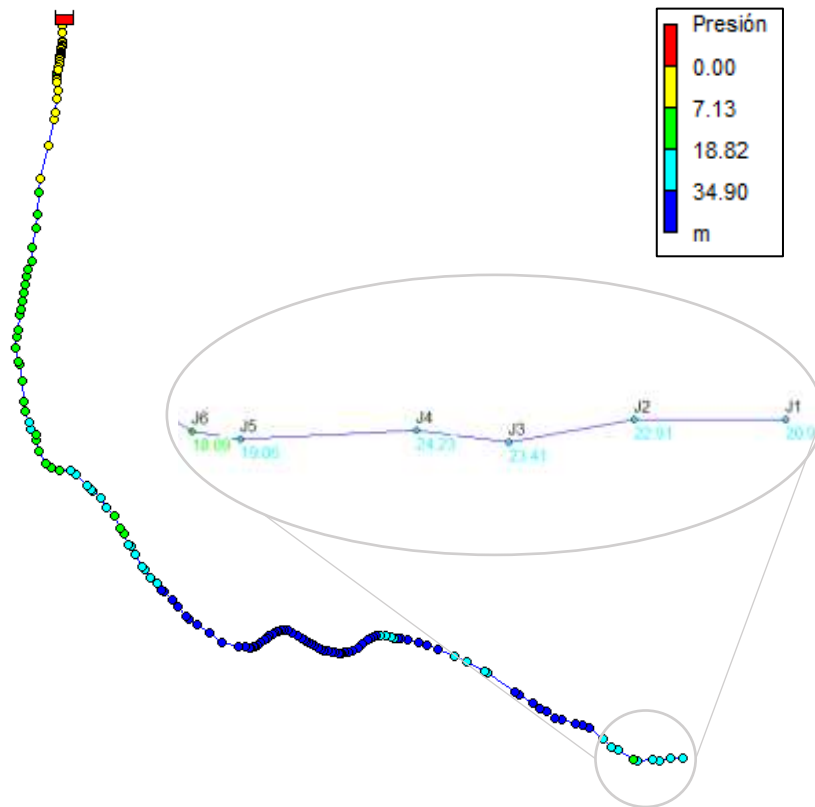


Gráfico 15-4: Resultados finales del Escenario 2-2 en el Sistema de Captación
 Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Analizando los resultados de la simulación anterior se puede concluir que efectivamente un sistema paralelo al ya existente que conduzca la cantidad de agua captada en la Línea Nueva es viable, tanto que incluso podrían usarse tamaños de tubería menores al simulado ya que en el punto final de ingreso al tanque repartidor de caudales se tiene una presión cercana a los 20 mca. Por lo que se refiere a las ventajas y problemas detectados en el Escenario 3, estos se describen en la Tabla 6-4.

Tabla 6-4: Ventajas y Desventajas del Escenario 2-2

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Bajo las condiciones esperadas, el caudal transportado será el total producido en las fuentes. - El caudal que puede ser transportado en el nuevo sistema tiene un buen rango de variación debido a la gran presión que se tiene a la llegada de la captación. - No requiere de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - La construcción de una obra así requiere de una gran cantidad de recursos de todo tipo. - Al tener dos líneas en paralelo, las probabilidades de tener fugas se incrementan. - El costo del proyecto se eleva.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

4.1.3. Toma de decisiones

Visto que se disponen de algunas opciones de solución se debe sugerir una de ellas que se adapte mejor a las condiciones no solo del sistema en cuanto a su funcionamiento, también en costos, mantenimiento y otros criterios. Las opciones que pueden tomarse son las siguientes:

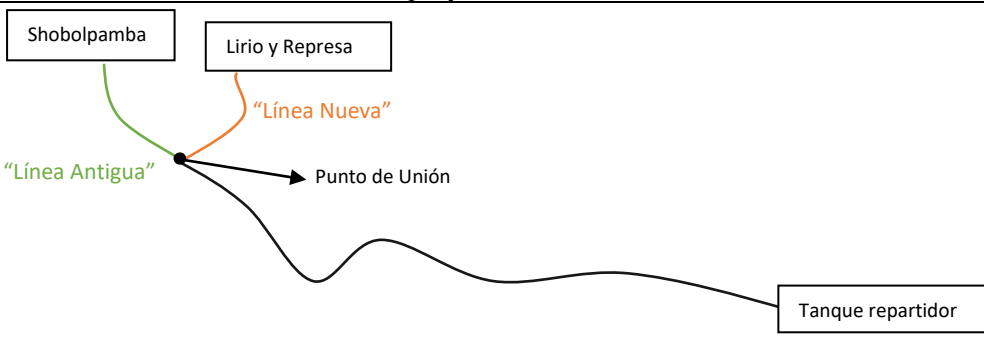
- ESCENARIO 2-2: Introducir pérdidas mediante una válvula reguladora de presión.
- ESCENARIO 3: Construcción de una nueva línea, paralela a la existente



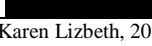
Conforme lo estipulado, el Grupo de Investigación en Seguridad, Ambiente e Ingeniería realizó la divulgación de resultados a las partes interesadas: representantes de la Parroquia Santiago de Calpi y de la Junta Administradora de Agua Potable, representantes del Municipio de Riobamba en la voz de la Unidad de Desarrollo Rural Integral y finalmente, representantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, la reunión se llevó a cabo el día Jueves 19 de Julio del 2018 en las instalaciones del Infocentro en la cabecera parroquial de Calpi.

En primer lugar se exponen las condiciones actuales del sistema seguido por las posibles soluciones desarrolladas en este estudio cada una explicada detalladamente en funcionamiento acompañado de un análisis preliminar de costos. Las partes acordaron en una reunión del 17 de Diciembre del 2018 en las instalaciones de la UDRI ejecutar como solución definitiva el Escenario 2-2, a la vez que se reemplazará toda la tubería de la Línea en Conjunto, con lo cual se nos solicita el detalle de la propuesta para la construcción.

4.1.4. Propuesta final

Tabla 7-4: Denominación del detalle en el proyecto.



Identificación	Color	Nombre	Longitud (m)	Caudal de Diseño (l/s)
Línea Nueva		Línea 1 (L1)	316.841	5
Línea Antigua		Línea 2 (L2)	346.353	13
Línea en Conjunto		Línea 3 (L3)	6909.956	18

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

La propuesta final se ha elaborado siguiendo las directrices del Código Ecuatoriano de la Construcción Parte IX dedicado a lo que se refiere a Obras Sanitarias con el nombre: Normas para

Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, específicamente en la sección 5.2 referido a Sistemas de Conducción. Con objeto de facilitar el manejo y disposición de los datos se usa la terminología en la Tabla 7-4.

4.1.4.1. Tipo de Tubería y Diámetro

La Norma de Construcción indica que el material y tamaño de la tubería en la instalación se definen mediante un análisis de factibilidad y costos que determine la combinación necesaria para el buen funcionamiento del sistema. La instalación actual está construida por tubería de Policloruro de Vinilo mejor conocido como PVC en condición enterrada, por lo que para el nuevo sistema se disponen iguales características.

Al considerar tuberías enterradas no es necesario hablar sobre anclajes puesto que el mismo volumen de tierra sobre la tubería cumplirá con la misma función; aunque por otro lado uno de los factores que se vuelven relevantes por este hecho es la resistencia a la corrosión. Por este motivo al usar PVC aprovechamos su buena resistencia a la corrosión, su flexibilidad y su bajo costo.

Para determinar la clase de tubería (Espesor) sabemos de la necesidad de tomar en cuenta: la presión interna, presión externa en puntos de vacío y otras cargas temporales. Debido a que este estudio es netamente hidráulico se harán uso únicamente de este tipo de cargas para determinar el espesor mínimo del material. Mediante la respuesta de la simulación se espera una presión interna máxima de 49.33 mca (0.48 MPa) en el nodo J72. Los rangos de presión permisibles para la tubería de 160 mm (6 plg.) se muestran en la Tabla 8-4.

Tabla 8-4: Diámetros interiores para tubería tipo Biax de 160 mm.

Diámetro Nominal mm	Diámetro Interior mm	Espesor Nominal mm	Presión de trabajo	
			MPa	Psi
160	153.60	3.20	0.63	91.37
	153.00	3.50	0.80	116.03
	152.00	4.00	1.00	145.04
	152.00	4.00	1.25	181.30
	152.00	4.00	1.60	232.06

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Fuente: (Plastigama, 2018, pp. 2)

Verificando con la presión máxima esperada en el nodo J72 y al usar una tubería con una presión de trabajo de 0.63 MPa se tiene una ventaja del 31.25% sobre la presión esperada, con lo que puede concluirse que para las condiciones del sistema se puede usar únicamente tubería de este tipo en todo el transcurso de la línea de forma segura. En cuanto a los puntos de presión negativa,

el proyecto se ha planificado con la intención de incluir elementos de protección contra golpes de ariete por lo que se entiende que estos efectos deben ser eliminados para los casos más críticos.

Refiriéndose a los fabricantes nacionales y principalmente a Plastigama, existen dos tipos de tubería PVC disponibles al mercado actualmente: el PVC-U (PVC orientado Biax de PLASTIGAMA) y el PVC-O (PVC rígido y/o tradicional); a pesar de que ambas son tuberías a presión la diferencia radica en su resistencia, durabilidad, hermeticidad y flexibilidad, siendo el PVC Biax aquel con las mejores propiedades.

Bajo las características superiores que presenta el PVC-U se sugiere emplearlo como el material del proyecto, dejando como propiedades finales las siguientes:

Tabla 9-4: Especificaciones para las tuberías del proyecto.

Propiedad	Valor
Material	PVC (Todo el proyecto)
Presión de Trabajo	0.63 Mpa.
Presión máxima en cond. normales	0.48 Mpa.
Diámetro Nominal	160 mm
Espesor	3.4 mm
Diámetro Interno	153.2 mm
Observaciones	Biax, con sellado elastomérico

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Es importante recordar que la resistencia esperada con la presión de trabajo indicada, se obtendrá únicamente al considerar los valores hidráulicos; en cuanto a cargas temporales del terreno y otras, deberán ser verificadas por el encargado de la obra ya que estos pueden afectar en gran medida a la tubería especialmente en los nodos cercanos al J72 que son los de mayor presión. Para los demás cálculos en el proyecto, se toma un diámetro interno de la tubería de 153.2 mm en todos los tramos.

4.1.4.2. Accesorios

Tomando en consideración las sugerencias de la Norma Ecuatoriana de Construcción debemos colocar al menos los siguientes accesorios:

- Válvulas de extracción de aire y de purga.

Como sugerencia general se dice que estas válvulas se colocan en los puntos más altos de la instalación y así liberar el aire que pueda encontrarse atrapado en las tuberías. Se ubican conforme se presenta la topografía del sistema para cada línea, aunque se sugiere mantener una válvula entre

tramos de 500 a 1000 m. El esquema básico sugerido para la colocación de válvulas de expulsión de aire se ejemplifica en la Figura a continuación.

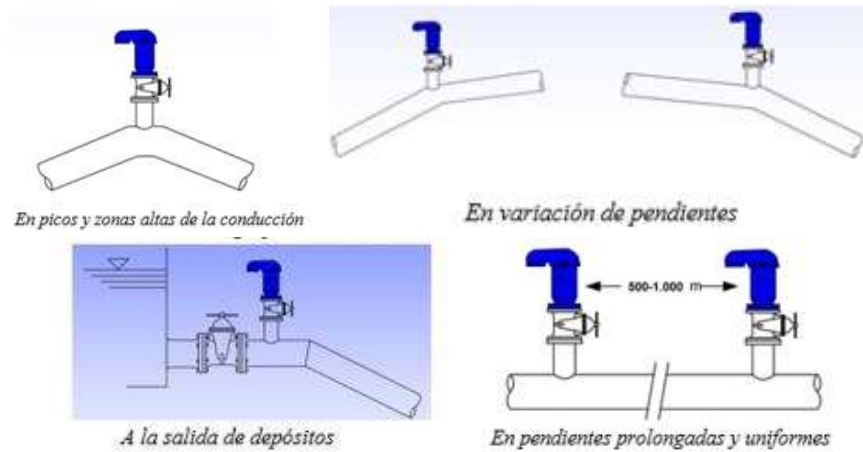


Figura 2-4: Criterios para la ubicación de válvulas de expulsión de aire.
Fuente: (Monge, 2017)

En lo que se refiere a válvulas de purga, contrario a las anteriores, deben colocarse en los puntos bajos del sistema, permitiendo vaciar por completo varios tramos de tubería en caso de que deban realizarse mantenimientos, reparaciones o trabajos en la línea. De nuevo, su ubicación responde a la situación topográfica de cada línea.

- Estación para medición de caudal.

Actualmente el sistema no dispone de este tipo de estaciones, siendo realmente importante conocer el total de caudal producido y de llegada al punto final, para poder identificar grandes fugas o instalaciones ilegales que estén perjudicando a los usuarios de Calpi y Bayushí. Se sugiere instalar flujómetros a la salida de cada tanque con la observación de estos deben provocar la menor caída de presión posible ya que al tener puntos bastante críticos en el transcurso de la tubería y una presión de llegada cercana a los 1.15 mca no se tiene un rango muy grande de presión en el que puedan pérdidas al sistema. Con estos antecedentes, se sugiere que el personal encargado de la ejecución del proyecto revise cuidadosamente que las pérdidas de presión que incluyan los medidores de caudal no afecten al sistema.

- Válvulas para la interrupción de servicio.

Entre los parámetros que sugiere el código de construcción se encuentra la necesidad de colocar válvulas de compuerta a la salida de cada tanque, con lo que al pensar en la manipulación de estos accesorios inevitablemente se producirán efectos transitorios por la interrupción severa del servicio, esto permite identificar la necesidad de realizar un estudio de transitorios.

Además de las válvulas a la salida de cada tanque, se sugiere revisar la necesidad de ubicar más válvulas especialmente en tramos de tubería de la línea L3 por su longitud, incluso la misma norma sugiere dividir al menos en dos tramos de mantenimiento con lo que se podría colocar una tercera válvula en un punto intermedio de esta, esto se deja a criterio de la experiencia y conocimientos del encargado del proyecto. Así mismo se sugiere revisar los efectos de cavitación en las válvulas, la selección deberá hacerse cuidadosamente.

- Ventosas para la admisión de aire.

Con el estudio de transitorios se podrá identificar las ubicaciones aproximadas que permita eliminar este efecto o por lo menos disminuir los problemas que puedan desviarse de los golpes de ariete.

4.1.4.3. Estudio de Transitorios

Al colocar válvulas a las salidas de los tanques como sugiere el código hay que cuidar que no se produzcan grandes cambios de presión en el sistema debido a cierres bruscos (muy rápidos) de estas válvulas, ya que de hacerlo se provocarían fenómenos de sobrepresión o depresión que podrían llegar a dañar las tuberías. Como una verificación de estas posibles situaciones se decide realizar un estudio de transitorios en la línea de captación tomando como casos críticos los cierres muy bruscos de las válvulas que se instalarán en las Líneas 1 y 2 mediante simulación en el Software Allievi partiendo del modelo hidráulico generado en Epanet. En resumen, el archivo de Allievi se generó mediante la siguiente secuencia de pasos.

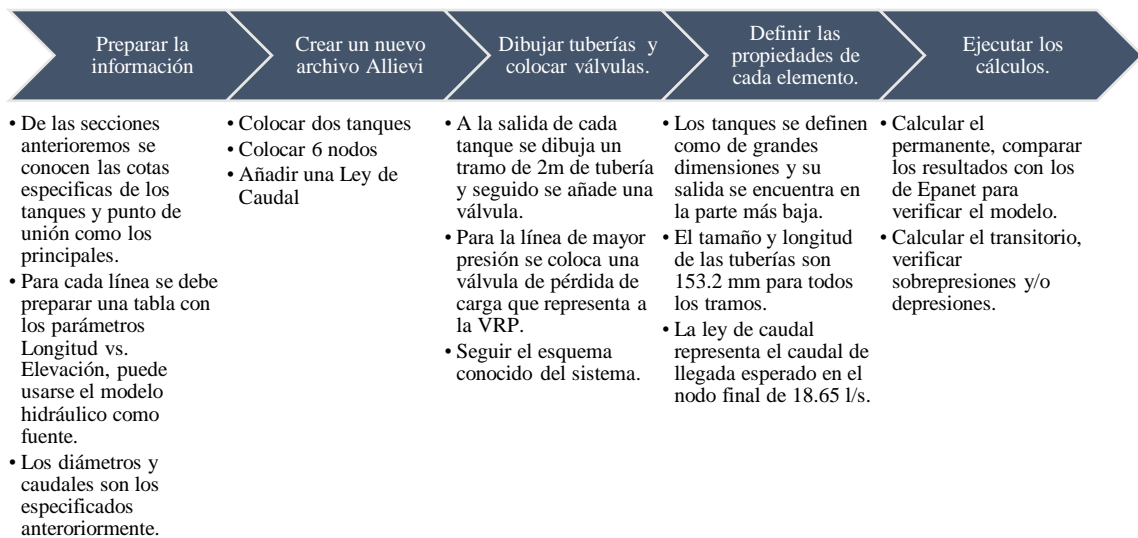


Gráfico 16-4: Secuencia de pasos en la creación del Archivo Allievi.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

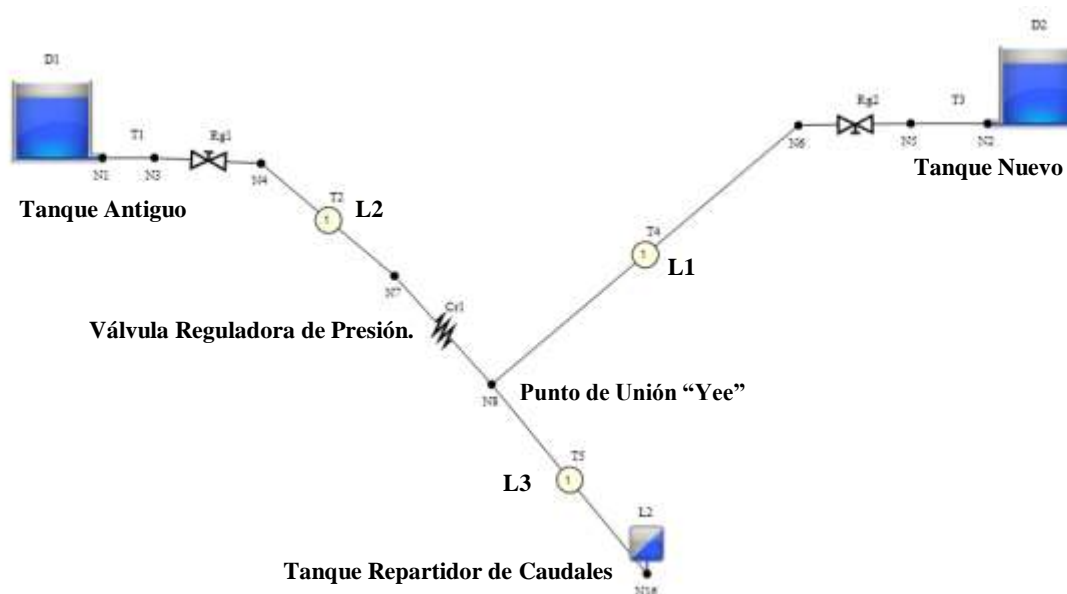


Gráfico 17-4: Esquema del Archivo Allievi.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

El esquema formado en Allievi se muestra en la Figura anterior, donde cada tubería contiene la información topográfica de cada línea y a la válvula de pérdida se le designó un diámetro de 153.2 mm con una constante de pérdidas de 28u que permite añadir una caída de aproximadamente 1 mca. Al ejecutar el permanente se disponen los resultados de la Tabla 10-4.

Tabla 10-4: Resultados del cálculo permanente en Allievi.

Identificación	Nodo Allievi	Presión (mca)	Nodo Epanet	Presión (mca)
Punto de unión "Yee"	N8	9.35	J136	9.32
Tanque repartidor.	N16	1.21	J1	1.54
Identificación	Línea Allievi	Caudal (l/s)	Línea Epanet	Caudal (l/s)
L1	T4	4.90	P142-P168	5.34
L2	T2	13.75	P169-P173	13.31
L3	T5	18.65	P1-P135	18.65

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Observando los resultados se puede decir que el modelo construido en Allievi es bastante cercano al planteado en Epanet por lo que podemos continuar en la evaluación del transitorio ejecutando su cálculo. Para esto se ha editado las propiedades de las válvulas, en primer lugar, la simulación se realiza editando la válvula en la línea L1 asumiendo un tiempo de cierre igual a 60 segundos (1 minuto), mientras la válvula de la línea L2 se mantiene completamente abierta, luego de ejecutar el cálculo del transitorio se generan gráficos envolventes para las tres líneas en verificación (Clic derecho sobre la línea, seleccionando en el menú *1-click chart* y dentro de este la opción *Envolvente*).

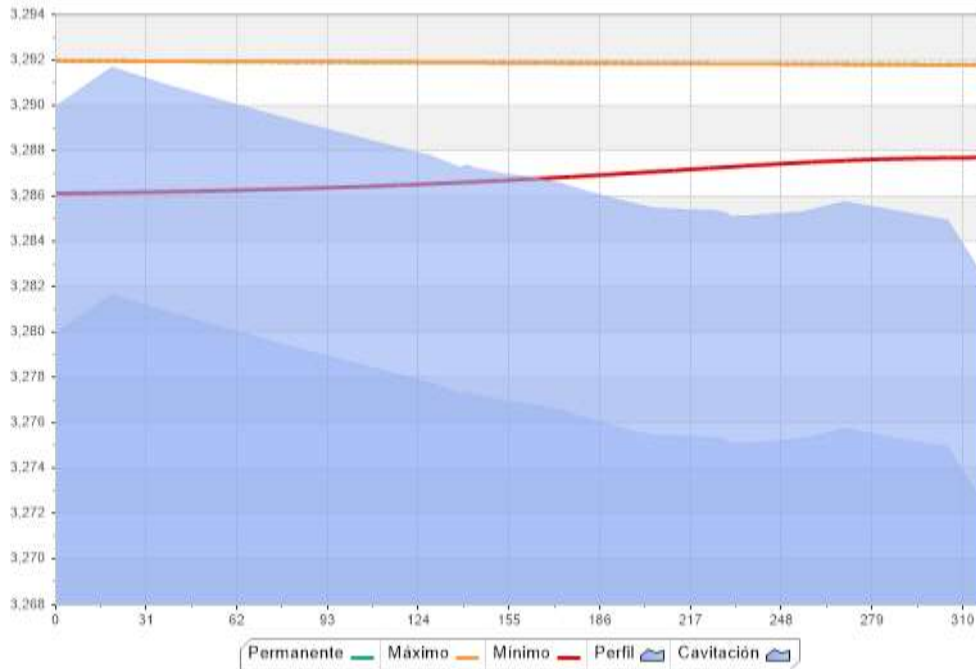


Gráfico 18-4: Resultados en la Línea 1 (Línea Nueva).

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Teóricamente, se identifica una presión de vacío en el Gráfico 18-4 en todos aquellos tramos donde la línea de depresión se ubica por debajo del perfil de elevaciones mientras que una presión excesiva se denota cuando la curva de sobrepresiones se ubica muy por encima del perfil de elevaciones del sistema y del comportamiento permanente. En el caso del gráfico anterior, se puede observar un tramo de tubería en el cual se produce depresión a la vez que las líneas de máximo y permanente se encuentran sobrepuestas lo que indica que no existen presiones excesivas. Para la línea 1, los valores de presiones críticas se muestran en la Tabla 11-4.

Tabla 11-4: Presiones mínimas en estado transitorio para L1

Longitud acumulada (m)	Elevación (msnm)	Mínimo (msnm)	Diferencia (m)
0	3290	3286.10	-3.90
19.198	3291.67	3286.15	-5.53
37.36	3290.92	3286.19	-4.74
78.52	3289.43	3286.27	-3.17
128.73	3287.76	3286.42	-1.34
138.06	3287.28	3286.45	-0.83
140.12	3287.37	3286.46	-0.91
141.04	3287.35	3286.46	-0.89
142.10	3287.29	3286.46	-0.83
152.55	3287.01	3286.50	-0.51
162.36	3286.85	3286.54	-0.31
173.25	3286.55	3286.57	0.02

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Como conclusión, se puede indicar que el vacío se genera desde la válvula en un tramo de aproximadamente 162.36 m y una diferencia tope de alturas de: 5.53 m. Al reducir el tiempo de cierre de la válvula este pico de depresión será más crítico, con lo cual se sugiere incluir un mecanismo de alivio de presión en este segmento.

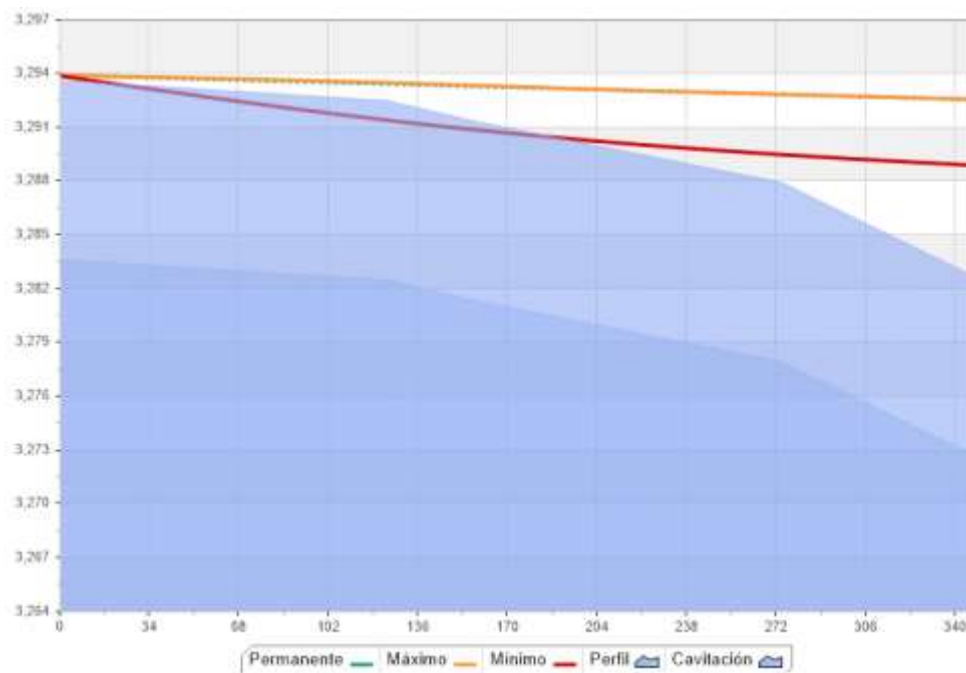


Gráfico 19-4: Resultados en la Línea 2 (Línea Antigua).
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Tabla 12-4: Presiones mínimas en estado transitorio para L2

Longitud acumulada (m)	Elevación (msnm)	Mínimo (msnm)	Diferencia (m)
0.00	3293.65	3293.90	0.25
123.93	3292.53	3291.51	-1.02
158.88	3291.32	3291.00	-0.32
274.04	3287.94	3289.85	1.91
343.85	3282.94	3289.54	6.59
346.35	3282.45	3289.53	7.08

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Los resultados correspondientes a la L2 muestran que la línea de máximas presiones es cercana al permanente, pero existe un pequeño tramo que se ve afectado por depresión, se requiere añadir una válvula de admisión de aire para aliviar este efecto. De acuerdo con la Tabla 12-4 la depresión se produce en el tramo siguiente de la válvula con longitud 160 m siendo la diferencia máxima de 1m.

Para la línea L3 con una longitud aproximada de 6.9 km, el efecto del cierre brusco se mantiene y provoca dos picos de presión negativa como se destaca en el Gráfico 20-4. Los valores representativos de estos cambios de presión se encuentran en la Tabla 13-4.

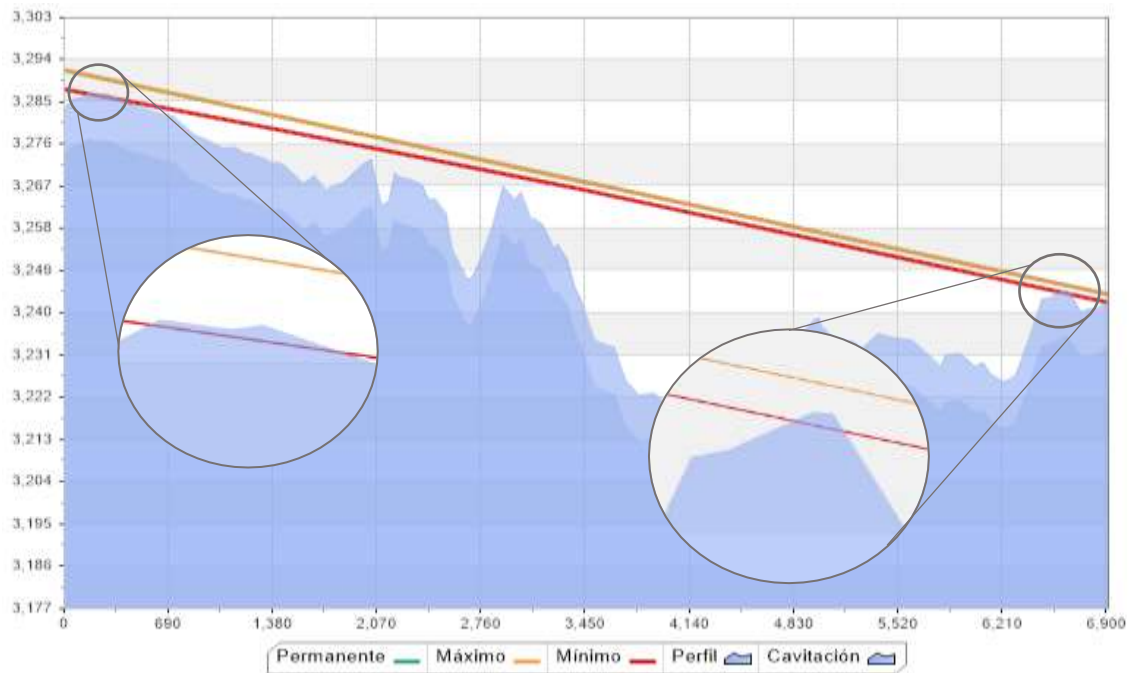


Gráfico 20-4: Resultados en la Línea 3 (Línea en Conjunto).

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Tabla 13-4: Presiones mínimas en estado transitorio para L2

Longitud acumulada (m)	Elevación (msnm)	Mínimo (msnm)	Diferencia (m)
108.00	3285.89	3287.15	1.26
162.64	3287.04	3286.82	-0.22
244.73	3286.59	3286.33	-0.26
279.68	3286.79	3286.11	-0.68
440.93	3284.50	3285.14	0.64
6514.12	3243.32	3244.90	1.58
6617.34	3244.84	3244.15	-0.69
6641.40	3244.77	3243.98	-0.79
6727.82	3240.24	3243.36	3.12
6773.19	3240.88	3243.03	2.15
6835.62	3241.12	3242.58	1.46
6909.96	3242.81	3242.04	-0.77

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Aunque dos tramos de la tubería sufren de presiones negativas, es importante resaltar que la diferencia es bastante pequeña, llegando a un valor máximo de 0.79 m. Con estos antecedentes podemos decir que es necesario añadir al menos una válvula de admisión de aire en el pico más

crítico del perfil de la Línea 3. De esta primera hipótesis de funcionamiento podemos extraer que en cada tramo deben colocarse elementos que permitan el ingreso de aire al sistema, ya que aunque no existe sobrepresión, si se forman vacíos. Según la Norma de Construcción en la sección 5.2.4.22, cuando se trata de instalar ventosas en tuberías de diámetros menores a 500 mm se recomienda instalar válvulas de 25 mm de diámetro nominal; específicamente este tipo de válvulas debe permitir el ingreso de aire. Haciendo un estudio iterativo, se determinaron las ubicaciones estimadas de la válvula que permitan aliviar el efecto del transitorio.

Tabla 14-4: Ubicación de las ventosas

Línea	Longitud acumulada para cada tubería (m)
L1	19.198
L2	6
L3	6617.344

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Al verificar la simulación, las líneas L1 y L3 han logrado superar las depresiones, mientras que en la línea 2 aún ha quedado un pequeño remanente de vacío, pero como el valor es bastante pequeño se asume que la tubería podrá soportarlo. A continuación, se debe revisar el transitorio que provocará el cierre brusco de la válvula a la salida del tanque de la L2, asumiendo que el tiempo transcurrido en cerrarla es de 60 segundos una vez que las ventosas se han dispuesto en los lugares especificados anteriormente.

La primera revisión se la realiza en la Línea L2, el resultado se muestra en la Gráfica 14-4 que apenas se produce una pequeña depresión en el tramo siguiente a la válvula de compuerta; revisando los valores de esta depresión en la Tabla 15-4 se puede verificar que en efecto, este vacío es bastante pequeño, alrededor de 0.3 m. Debido a que este número es pequeño podría resultar innecesario subir el tamaño de la ventosa, y se asume que esta pequeña variación la podrá soportar la tubería, concluyendo que los resultados en este tramo son favorables.

Tabla 15-4: Presiones mínimas en estado transitorio para L2

Longitud acumulada (m)	Elevación (msnm)	Mínimo (msnm)	Diferencia (m)
0.00	3293.65	3293.36	-0.29
123.93	3292.53	3293.46	0.93
158.88	3291.32	3293.42	2.10
274.04	3287.94	3293.39	5.45
343.85	3282.94	3293.35	10.40
346.35	3282.45	3293.31	10.86

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

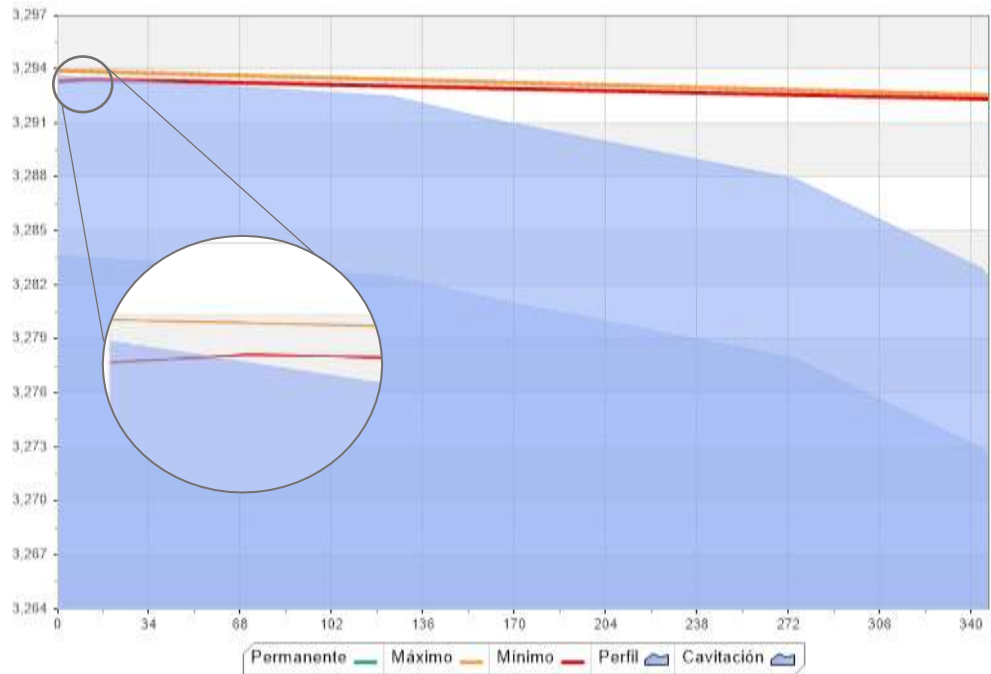


Gráfico 21-4: Resultados en la Línea 2 (Sistema con ventosas).
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Revisando los resultados para la línea nueva L1, se distingue en el Gráfico de envolventes que no existen tramos que generen vacíos en la tubería, con lo que la posición sugerida para la ventosa se considera efectiva, finalmente, este tramo ha logrado superar el transitorio y su respuesta es afirmativa.

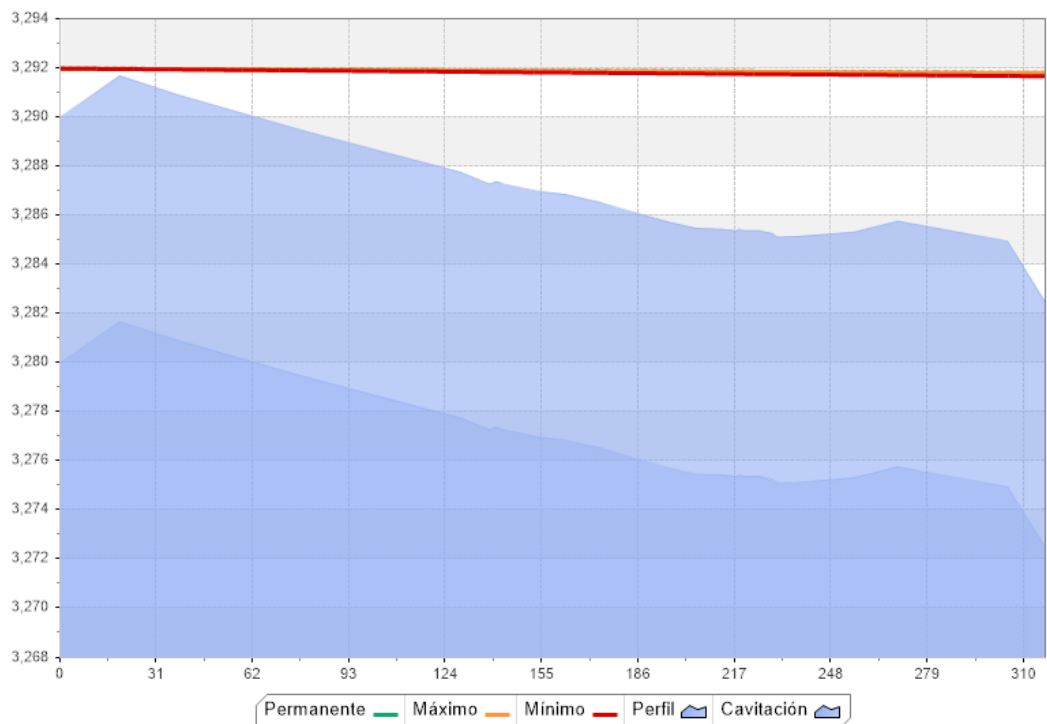


Gráfico 22-4: Resultados en la Línea 1 (Sistema con ventosas).
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Por último, al revisar la gráfica que corresponde a la línea L3 los resultados también son positivos puesto que no existen tramos con presiones mínimas, superando por completo los problemas debidos a golpe de ariete. Es importante recalcar el pico en la elevación de la tubería ubicada aproximadamente a los 6.55 km de la misma puesto que las líneas de sobrepresión y depresión se encuentran muy cercanas a ese punto por lo que es preferible dejar la ventosa indicada en esa posición como medida de seguridad.

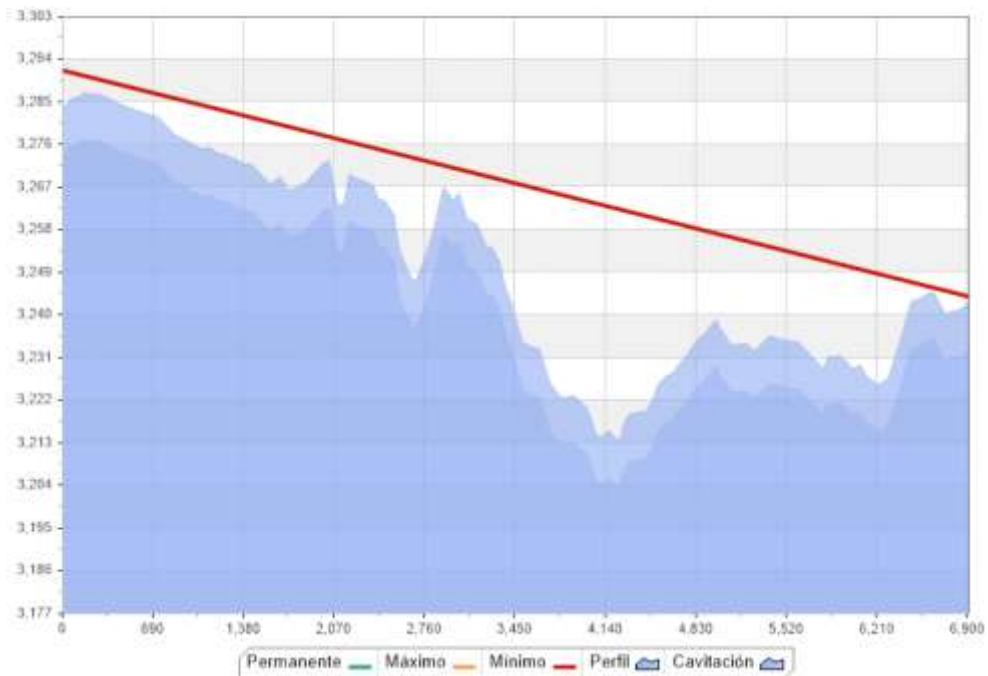


Gráfico 23-4: Resultados en la Línea 3 (Sistema con ventosas).

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Como última verificación se analiza la posibilidad del cierre de las dos válvulas al mismo tiempo en un instante de 60 segundos y tomando en cuenta la naturaleza del sistema esto implicaría un corte total del suministro de agua, además de una situación hipotética en la que dos personas acuerdan cerrar las dos válvulas al mismo tiempo en el mismo intervalo de cierre. Considerando las circunstancias descritas anteriormente, se puede decir que es poco probable que esta situación se dé, por lo cual esta situación, aunque simulada no implica mayor problema (Provoca pequeñas depresiones en las líneas L1 y L2), se indica como precaución.

Mediante este pequeño estudio se puede concluir finalmente que:

- El sistema no sufrirá los efectos de un transitorio siempre que la manipulación de válvulas sea cuidadosa. Se sugiere un tiempo de cierre no menor a 300 segundos para evitar cualquier riesgo en la tubería.
- La ubicación y tamaño de las ventosas de admisión de aire en la Tabla 14-4 se ratifican como adecuadas para este sistema.

- Por medio del uso de válvulas se concluye que el efecto de los transitorios se ha disipado, dejando estas presiones con valores pequeños por lo que inclusive podrían ser obviados en el cálculo de la clase de tubería. Con esta aclaración, el tamaño y clase de tubería puede mantenerse como los indicados en las secciones anteriores.

4.1.4.4. Válvula Reguladora de Presión

A modo de sugerencia, se selecciona una válvula reductora de presión que reúna los parámetros siguientes:

- Caudal máximo que debe transportar: 12 l/s
- Presión de trabajo: entre 0.10 y 0.09 MPa
- Tamaño: de 4 a 6 pulgadas dependiendo de la capacidad
- Tipo de fluido: Agua, 20°C
- Instalación en campo.
- Accionamiento Mecánico (En el sitio no existen conexiones eléctricas)
- Materiales: Resistencia a la corrosión por efecto del ambiente.
- Vida útil: mayor a 10 años.
- Mantenimiento: fácil, que no requiera de un técnico especializado.

Mediante las hojas de datos proporcionadas por los fabricantes y revisando que los equipos satisfagan la gran parte de las necesidades previstas se seleccionó la válvula Claval 690-01 en ambos tamaños. El Anexo H, muestra a detalle la cotización y particulares correspondientes a la válvula.

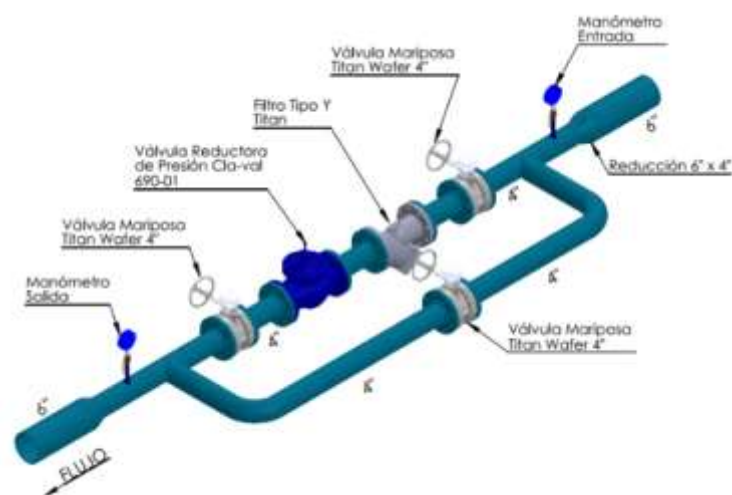


Figura 3-4: Esquema de la instalación.

Fuente: (VTK, 2018, pp. 1)

4.1.4.5. Detalle de las Líneas

Línea 1

Revisando las respuestas esperadas en el Escenario 3, para la L1 existe un punto cuya elevación podría afectar el sistema, ya que la presión es bastante pequeña, para este punto se debe disminuir ese valor permitiendo que la presión pueda elevarse y el fluido traspase el nodo sin problemas.

Con las consideraciones descritas en las secciones anteriores, la línea L1 debe estar formada por la unión de los nodos con al menos las cotas que muestra la Tabla 16-4. Si la variación de cotas entre nodos inicial y final es la sugerida, se asegura que la presión esperada en cada nodo sea la indicada en la última columna.

Tabla 16-4: Posición y elevación de los nodos en la L1.

Caudal de diseño:		5.34 LPS (Velocidad esperada 0.28 m/s)					
Nodo Inicial	Nodo Final	Longitud por tramo (m)	Longitud Acumulada (m)	NODO FINAL			Presión en el nodo Final (mca)
				Elevación (m)	X-Coord	Y-Coord	
Tanque Nuevo (J169)		0	0	3290	746347.52	9822743.76	1.98
J169	J168	19.198	19.198	3291.68 ^a	746344.11	9822720.35	0.29
J168	J167	18.165	37.363	3290.93	746342.58	9822702.25	1.03
J167	J166	41.167	78.53	3289.44	746342.87	9822661.09	2.49
J145	J144	17.184	286.582	3285.37	746319.96	9822456.47	6.43
J144	J143	18.06	304.642	3284.96	746316.02	9822438.84	6.83
J143	J142	12.199	316.841	3282.4523	746314.21	9822428.49	9.33

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

En cuanto a los accesorios, revisando las sugerencias de la sección 4.1.4.2, en esta tubería deben colocarse al menos los siguientes elementos.

Tabla 17-4: Lista de accesorios para la L1.

No.	Tipo	Nodo	Long. acum. (m)	Elevación (m)	X-Coord	Y-Coord	Tamaño (mm)
V1	Compuerta	J169	0	3290	746347.52	9822743.76	DN 160
V16	Admisión de Aire	J168	19.198	3291.68	746344.11	9822720.35	DN 25
V18	Purga	J148	230.52	3285.13	746329.29	9822511.61	DN 90
MF1	Medidor de flujo ^b	J169	0	3290	746347.52	9822743.76	DN 160

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Finalmente, el perfil de la tubería que incluye los accesorios de este tramo es el que se muestra en la Gráfico 19-4.

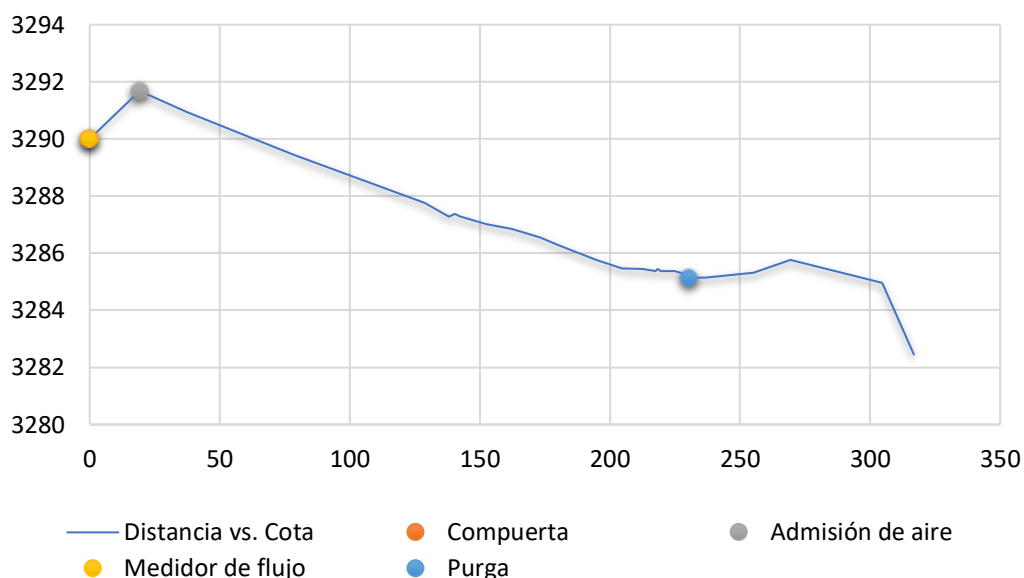


Gráfico 24-4: Esquema de Longitud vs. Elevación para la Línea 1
 Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Observaciones:

- La elevación marcada en rojo constituye un punto crítico, si no se consigue al menos la diferencia de altura entre este y el nodo anterior la presión en este punto se ve muy afectada.
- Verificar requerimientos de instalación del medidor en la hoja de especificaciones (Distancia necesaria antes y después del flujómetro para que la medición sea correcta)

Línea 2

Al revisar los problemas en la L2, se encuentra un punto cuya altura se considera crítica, puesto que por la baja presión el fluido no podría traspasar este punto.

Con estos antecedentes, la Tabla muestra las cotas requeridas en cada nodo para transportar un caudal de diseño de 13.31 l/s. Siguiendo estas recomendaciones se pueden conseguir las presiones indicadas en la última columna de la Tabla 18-4.

Tabla 18-4: Posición y elevación de los nodos en la L2.

Caudal de diseño: 13.31 LPS (Velocidad esperada 0.73 m/s)							
Nodo Inicial	Nodo Final	Longitud (m)	Longitud Acumulada (m)	NODO FINAL			Presión del nodo Final (mca)
				Elevación (m)	X-Coord	Y-Coord	
Tanque (J175)		0	0	3293.6	746332.46	9822778.9	0.35
J175	J174	123.929	123.929	3292.53 ^a	746319.64	9822649.31	0.96
J172	J171	69.81	343.848	3285.06	746312.86	9822429.5	6.72
J171	J142	2.505	346.353	3282.4523	746313.08	9822428.49	9.33

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Similar a la línea anterior se requieren añadir al menos los siguientes elementos al sistema. Se recalca que al ser esta la línea de mayor presión aquí se coloca la válvula reguladora de presión y como sugerencia se propone colocarla al menos a 2.5 m del punto de unión siempre verificando las condiciones propuestas por el fabricante.

Tabla 19-4: Lista de accesorios para la L2.

No.	Tipo	Nodo	Long. acum. (m)	Elevación (m)	X-Coord	Y-Coord	Tamaño (mm)
V2	Compuerta	J175	0	3293.6	746332.46	9822778.9	DN 160
V17	Admisión de Aire ^b	J175	0	3293.6	746332.46	9822778.9	DN 25
V25	Reguladora de presión ^c	J171	343.848	3285.06	746312.86	9822429.5	DN 160
MF2	Medidor de caudal ^d	J175	0	3293.6	746332.46	9822778.9	DN 160

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

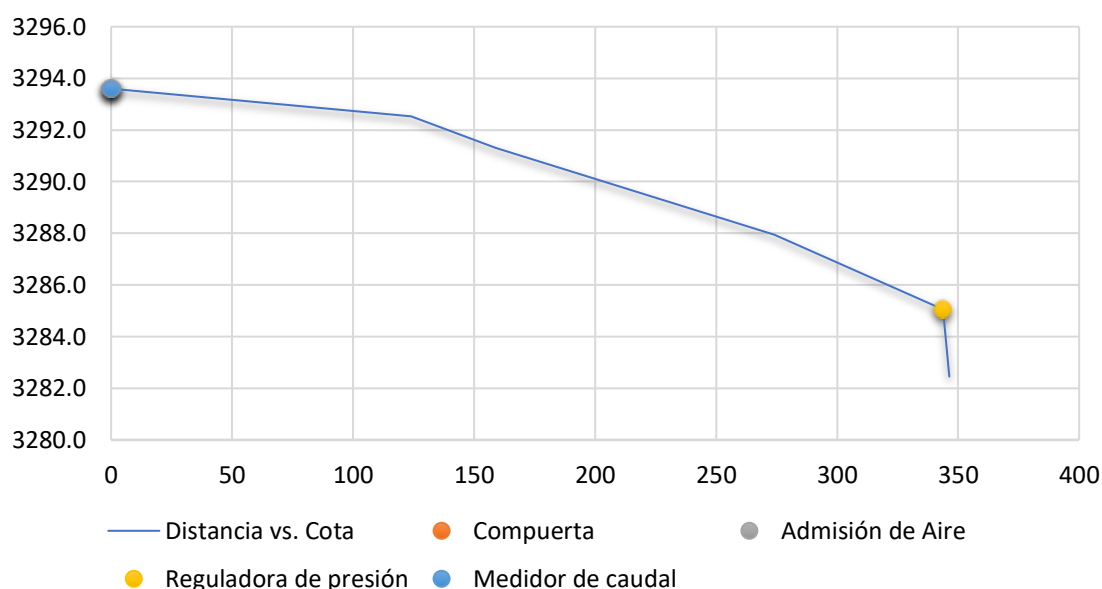


Gráfico 25-4: Esquema de Longitud vs. Elevación para la Línea 2

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Esta tubería con los accesorios se muestra como en el Gráfico anterior, y la instalación debe hacerse siempre verificando los siguientes puntos:

- La elevación marcada en rojo constituye un punto crítico, si no se consigue al menos la diferencia de altura entre este y el nodo anterior la presión se ve muy afectada.
- La válvula de admisión de aire se debe colocar a 6 metros a partir de la salida del tanque.
- La VRP debe colocarse en un tramo de tubería aguas arriba a partir del punto indicado, respetando las necesidades en la ficha técnica del equipo.
- Verificar requerimientos de instalación del medidor en la hoja de especificaciones. (Distancia necesaria antes y después del medidor para que la medición sea correcta)

Línea 3

Tabla 20-4: Posición y elevación de los nodos en la L3.

Caudal de diseño:		18.65 LPS (Velocidad esperada 1.01 m/s)					
Nodo Inicial	Nodo Final	Longitud (m)	Longitud Acumulada (m)	NODO FINAL			Presión del nodo Final (mca)
				Elevación (m)	X-Coord	Y-Coord	
YEE (J142)		0	0	3282.4523	746313.08	9822428.49	9.33
J142	J141	16.998	16.998	3284.36	746312.9	9822410.01	7.31
J141	J140	15.523	32.521	3284.5	746310.95	9822394.61	7.06
J12	J11	36.354	6247.905	3225.8	749406.29	9818577.58	23.1
J11	J10	51.452	6299.357	3226.96	749453.44	9818556.99	21.58
J10	J9	98.021	6397.378	3235.95	749531.03	9818497.09	11.92
J9	J8	72.174	6469.552	3243.03	749584.23	9818448.31	4.34
J8	J7	44.569	6514.121	3243.32 ^a	749622.84	9818426.05	3.75
J7	J6	103.223	6617.344	3244.84 ^a	749710.45	9818371.48	0.52
J6	J5	24.055	6641.399	3244.77 ^a	749734.16	9818367.39	1.43
J5	J4	86.418	6727.817	3240.24	749820.45	9818372.1	5.36
J4	J3	45.37	6773.187	3240.88	749865.42	9818366.07	4.41
J3	J2	62.43	6835.617	3241.12	749926.89	9818376.93	3.74
J2	TANQUE REPARTI DOR (J1)	74.339	6909.956	3242.8144	750054.01	9818375.78	1.54

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Tabla 21-4: Lista de accesorios para la L3.

No.	Tipo	Nodo	Long. acum. (m)	Elevación (m)	X-Coord	Y-Coord	Tamaño (mm)
V3	Expulsión de aire ^b	J136	162.644	3287.04	746310.65	9822265.5	DN 25
V4	Expulsión de aire	J131	726.105	3281.99	746199.91	9821714.07	DN 25
V5	Expulsión de aire	J127	1127.797	3275.35	746161.23	9821315.17	DN 25
V6	Expulsión de aire	J112	2030.236	3272.67	746124.04	9820428.41	DN 25
V7	Expulsión de aire	J94	3022.29	3265.88	746709.27	9819703.69	DN 25
V8	Expulsión de aire	J89	3264.759	3254.66	746828.16	9819496.02	DN 25
V9	Expulsión de aire	J82	3639.257	3232.72	747076.16	9819216.61	DN 25
V10	Expulsión de aire	J78	3901.375	3222.97	747286.86	9819060.81	DN 25
V11	Expulsión de aire	J48	4590.462	3226.82	747910.16	9819010	DN 25
V12	Expulsión de aire	J31	4991.417	3239.02	748280.88	9819097.39	DN 25
V13	Expulsión de aire	J22	5468.071	3234.97	748728.77	9818946.38	DN 25
V14	Expulsión de aire	J17	5925.601	3231.47	749116.17	9818705.71	DN 25
V15	Admisión / Expulsión de aire	J6	6617.344	3244.84	749710.45	9818371.48	DN 25
V19	Purga ^c	J116	1733.611	3266.34	746082.5	9820721.46	DN 90
V20	Purga	J111	2101.689	3262.91	746143.27	9820359.6	DN 90
V21	Purga	J100	2686.979	3247.33	746508.88	9819967.67	DN 90
V22	Purga	J65	4252.186	3213.63	747594.18	9819121.67	DN 90
V23	Purga	J24	5279.002	3232.46	748555.6	9819022.28	DN 90
V24	Purga	J12	6247.905	3225.47	749370.89	9818585.87	DN 90
MF3	Medidor de caudal ^d	J1	6909.956	3242.8144	750054.01	9818375.78	DN 160

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Para la línea en conjunto o L3, las coordenadas y nodos que la conforman es muy extenso puesto que se trata de aproximadamente 6.9 km, el detalle de todos los puntos se muestra en el Anexo I, mientras que los puntos importantes se muestran en la Tabla 21-4. En este tramo y debido a la topografía cambiante del sistema, es necesario colocar los accesorios detallados en la tabla anterior con las consideraciones descritas en cada accesorio, la línea queda como en el siguiente esquema.

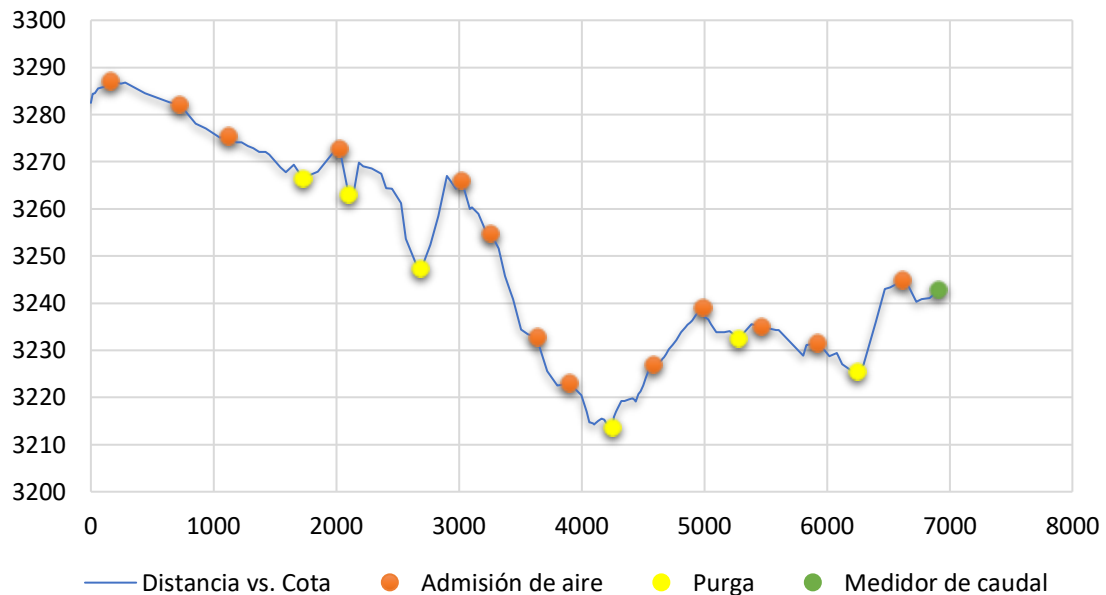


Gráfico 26-4: Esquema de Longitud vs. Elevación para la Línea 3.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

De nuevo, hay que verificar en este tramo los siguientes criterios para los nodos indicados en las Tablas 19-4; estos son:

- Las elevaciones marcadas en rojo constituyen puntos críticos, si no se consigue al menos la diferencia de altura indicada entre este y el nodo anterior la presión en ese punto se verá muy afectada.
- Las válvulas de expulsión de aire se instalaron con los criterios indicados en la sección 4.1.3.2.
- Las válvulas de purga pueden ser de tipo compuerta o de bola.
- Verificar requerimientos de instalación del medidor en la hoja de especificaciones (Distancia necesaria antes y después del medidor para que la medición sea correcta).

4.1.4.6. Simulación final

Finalmente, con las nuevas elevaciones de los puntos críticos, diámetros, demandas y una vez que se ha colocado la válvula reductora de presión a una distancia de 2.5 m antes del punto de unión se modifica el modelo hidráulico que se verificó en Epanet en la Sección 4.1.2.2. El resultado es el siguiente.

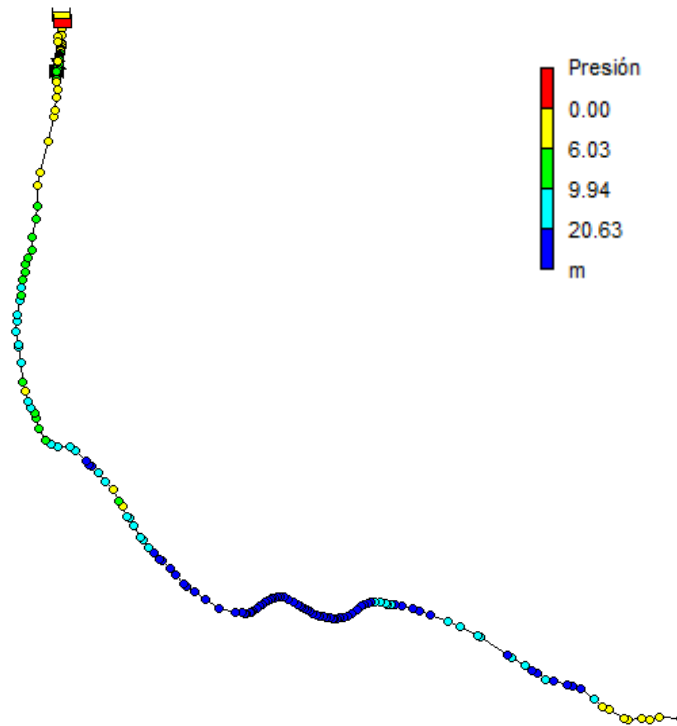


Gráfico 27-4: Simulación Final.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Como se puede observar en la gráfica anterior, mediante esta configuración se logra eliminar los puntos de presión negativa, aunque se debe indicar que por la topografía del terreno la diferencia de cotas entre los puntos marcados en las tablas anteriores debe respetarse, ya que con una variación el sistema reducirá su capacidad de transporte haciendo que nuevamente se desperdicie fluido en el tanque con menor resistencia, es decir el tanque nuevo.

Aunque la norma ecuatoriana de la construcción indique que para líneas de captación debe añadirse un 5% extra al caudal máximo esperado a ser transportado desde las fuentes, las condiciones de elevación no permiten llegar a los 18.9 l/s calculado sino que solamente se permite transportar 18.65 l/s con una presión de 1.16 mca; en caso de acatar esta recomendación se debería cambiar un tramo de tubería al siguiente tamaño (200 mm nominal, 192.20 mm interno y velocidad esperada 0.65 m/s), incrementando los gastos del proyecto y saliendo del requerimiento explícito de los representantes de las partes de transportar al menos 18 l/s.

4.1.4.7. *Recomendaciones para la instalación.*

- La cantidad y ubicación de los accesorios se decidió tomando en cuenta criterios técnicos y sugerencias en libros y normas que permitan el buen funcionamiento del sistema bajo distintas condiciones, por lo que cualquier cambio podría alterar su comportamiento.
- La topografía presentada en cada uno de los puntos del proyecto se ha tomado sobre el nivel del terreno, por consiguiente, es necesario agregar la profundidad a la que será enterrada la

tubería con los criterios que sean necesarios manteniendo siempre al menos la diferencia de altura indicada entre cada punto.

- Tanto la válvula reguladora de presión, como el medidor de flujo pueden necesitar de accesorios extras, esto debe verificarse en la hoja de especificaciones de cada equipo y añadir aquellos que indique el fabricante.
- El adecuado manejo de la instalación será parte importante en el mantenimiento de la misma, cada una de las válvulas instaladas en el sistema deben manipularse con precaución tomándose al menos como sugerencia 5 minutos en su apertura o cierre (lentamente) para evitar efectos negativos debido al cambio brusco de presión dentro de la tubería, aunque se han dispuesto los elementos de precaución necesarios.

4.2. Red de Distribución

Al evaluar los problemas descritos en la sección 3.2.6.5, se pueden resumir las acciones recomendadas dentro de tres aspectos principales: Estudio de caudales, Control de Tanques y Problemas de presión.

4.2.1. Evaluación de la Situación Actual

4.2.1.1. Caudales

En el modelo final se debe verificar el incremento de caudal por fugas; ahora se tiene un flujo máximo consumido de 13.48 l/s en las horas pico y de apenas 7.03 l/s durante la noche. La siguiente gráfica muestra en rojo la evolución del caudal consumido y fugas en el sistema durante el día, mientras que la línea azul representa el caudal que ingresa desde las fuentes.

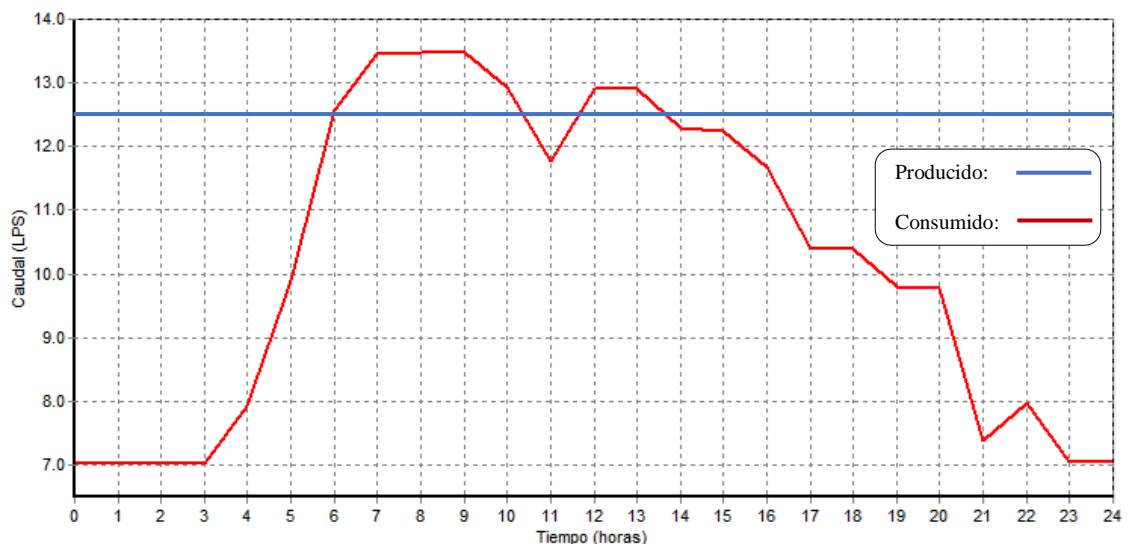


Gráfico 28-4: Evolución del caudal consumido considerando las fugas.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Recordar que el caudal de entrada a los tanques (constante durante el día) es de 12.61 l/s, al verificar el comportamiento de los consumos en el sistema es notable la cercanía entre el caudal de entrada y el valor máximo de agua; esto indica que efectivamente el caudal tomado de la bibliografía no responde a las necesidades reales de los habitantes de Calpi. ya que si lo hiciera el caudal de entrada desde las fuentes sería capaz de abastecer a toda la red directamente casi por todo el día sin dificultades. El volumen de agua que se acumula bajo la curva de caudal producido en los intervalos de 00:00 a 03:00 y de 17:00 a 24:00 es más que suficiente para compensar el volumen sobre la curva de caudal entre las 06:00 y las 14:00.

Este comportamiento se verificó al realizar una simulación con depósitos (Elementos que permiten observar la variación de altura en función del tiempo), en los que Epanet no sabía en dónde colocar el volumen extra de agua que se genera haciendo que para correr la simulación sea necesario bajar la producción en las fuentes lo cual en la realidad es imposible.

Las causas de esta diferencia de consumos se pueden atribuir al uso de cisternas y depósitos de reserva; esta carga extra no se tomó en cuenta al definir la demanda básica. Este volumen de agua por los depósitos en los hogares es variable ya que mientras algunas acometidas se abastecen solo de la red, otros deben llenar su depósito en cierto momento del día y usarlo cuando por condiciones del sistema no exista agua.

Otro aspecto aún más importante que el anterior es el uso del agua destinada para el consumo humano en regadío, ya que efectivamente en la encuesta se hablaba de alrededor de un 20% de hogares con huertos o jardines en los que al menos de vez en cuando los riegan con agua de la red. Muchos de los encuestados afirmaban tener vecinos que regaban no solo un pequeño jardín, sino que terrenos completos de cultivos que afectarían demasiado el caudal que se usó en el estudio. Finalmente, hay que recalcar que la población empleada para el cálculo del caudal nace de los resultados en la encuesta que pueden variar notablemente, así como el número de acometidas.

Respecto al tanque de compensación del Barrio El Progreso, Epanet genera un error de presiones negativas, se debe al vaciado prematuro del depósito. Al incluir las pérdidas este tanque se vacía aún más rápido sin poder llegar siquiera a las 19:00, el comportamiento se justifica con una demanda base demasiado alta, para estos consumidores puesto que ellos están conscientes de que el llenado del tanque se lo realiza solo una vez por semana y cuando se culmina este volumen deben esperar 7 días para tener el recurso de nuevo, volviéndolos más responsables y prudentes con el uso del agua. Otros aspectos son: error en la medición del depósito y asignación de una población demasiado alta para el sector. Si este volumen debe ser suficiente para 7 días se puede revisar mediante la simulación el consumo básico que los usuarios de ese barrio pueden consumir.

Se modifica el tiempo de simulación y se cambia la demanda base, la Tabla 22-3 resume estos valores.

Tabla 22-4: Resumen del cálculo del volumen de compensación.

Demanda Básica en los nodos (l/s)	Demanda Básica Total (l/s)	Tiempo de vaciado	
		Horas	Días
0.0335	0.2345	18	0.75
0.0168	0.1173	35	1.46
0.0084	0.0586	60	2.50
0.0042	0.0293	93	3.88
0.0021	0.0147	131	5.46
0.0010	0.0073	166	6.92

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Con un consumo diario de 631 l/día sería posible que el tanque compense todo el consumo semanal; pero este valor representa el consumo diario mínimo solo de 6 personas cuando la población en ese sector es mayor, esto confirma que el volumen del tanque llenándolo una vez por semana no es suficiente para abastecer de forma satisfactoria al sector. Con excepción de la parte anterior, ninguna otra zona tiene problemas de suministro. El Gráfico siguiente muestra el caudal aproximado transportado por cada línea y como se realiza la distribución a una hora de gran consumo (09:00).

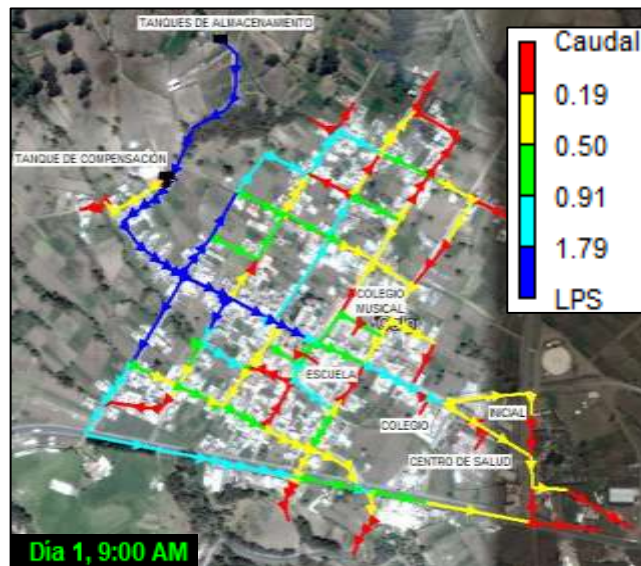


Gráfico 29-4: Distribución del caudal consumido: 09:00.

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

4.2.1.2. Velocidades

Definir el intervalo de velocidad en los que el agua se mueve a través de las tuberías es importante ya que si es demasiado alta tendremos desgaste en la tubería y accesorios por fricción que se refleja como pérdidas de presión; mientras si es demasiado baja la calidad del agua disminuye.

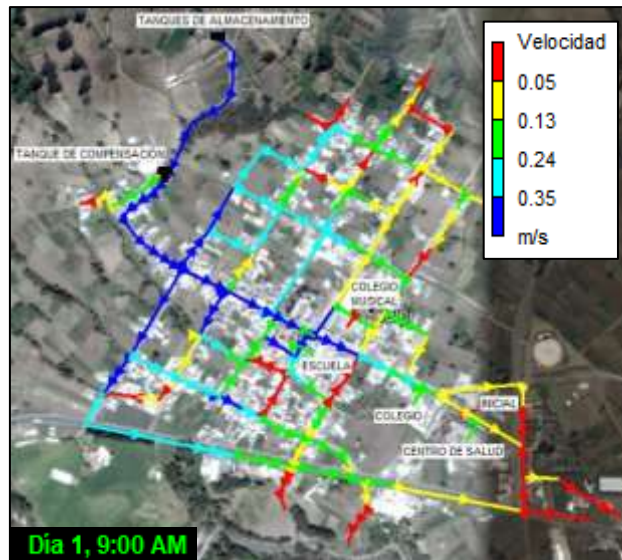


Gráfico 30-4: Velocidades en las horas de consumo pico (09:00).
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

En cuanto a las velocidades máximas se producen en las horas de mayor consumo (se tomaron valores a las 9:00); el sistema maneja un intervalo entre 0.01 m/s a 1.66 m/s. Se puede notar que existen velocidades menores a 0.6 m/s que pueden considerarse muy bajas para el sistema y por tanto si en las horas de mayor consumo existen velocidades bajas, podemos esperar que durante el consumo mínimo estas serán menores, esto se verifica en la simulación.

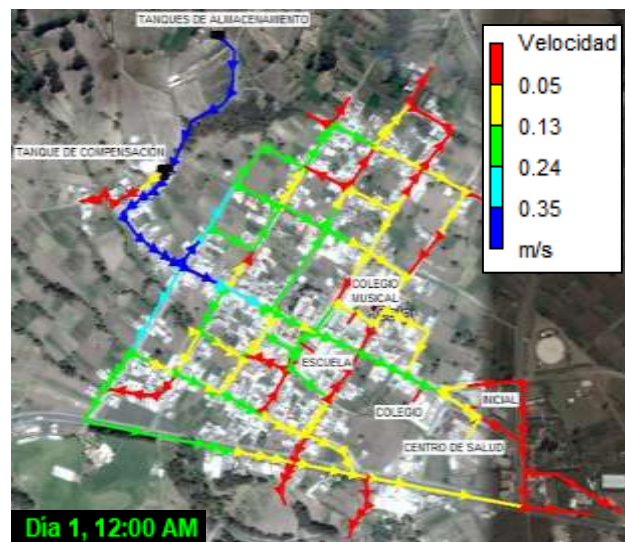


Gráfico 31-4: Velocidades en las horas de menor consumo (00:00).
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Efectivamente a las 00:00, las velocidades disminuyen hasta 0.86 m/s en la tubería con mayor caudal a la salida de los tanques y 0.01 m/s en los tramos más lejano. En general, toda la red funciona con velocidades por debajo incluso de los 0.2 m/s. lo cual es un indicativo de que el tamaño de las tuberías es excesivo respecto al caudal que transporta, el caudal real consumido por la red es mayor.

Estas velocidades bajas provocan que el agua se transporte muy lentamente en las tuberías reduciendo la concentración de cloro añadido en los tanques, especialmente en los sectores más alejados en horas de la mañana.

4.2.1.3. Pérdidas

Las pérdidas analizadas por Epanet son únicamente las primarias, por lo que la diferencia de presión en las tuberías estará en función de la cantidad de agua que pase por ellas y su sección, se prevé que en los tramos de más caudal las pérdidas sean mayores que en el resto de zonas del centro parroquial.

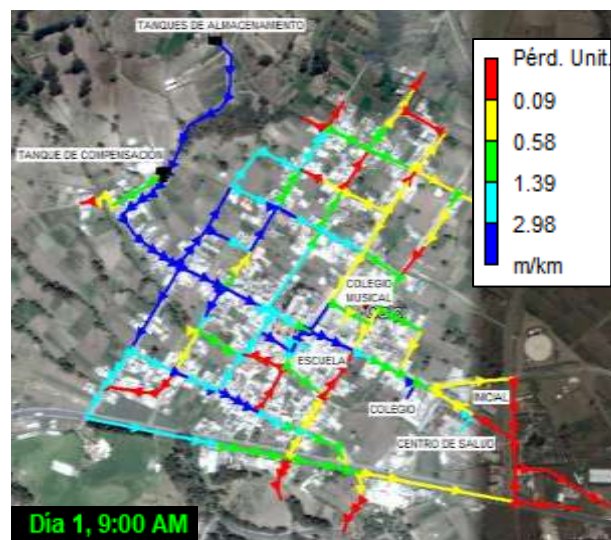


Gráfico 32-4: Pérdidas unitarias máximas en el sistema (09:00).
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Se analiza el escenario de mayor requerimiento de caudal en el día a partir del cual es posible notar que las mayores pérdidas están en la línea principal de distribución, luego van reduciéndose considerablemente en con la reducción de agua en las tuberías por el consumo.

Esto nos indica que si entre las líneas de color azul en la gráfica anterior existiera una tubería con un menor diámetro al esperado, el sistema se vería afectado en gran medida ya que las pérdidas serán mayores pudiendo llevar incluso al corte del servicio en algunos sectores. Dado que el plano proporcionado tiene 19 años de antigüedad seguramente varias líneas han sido reemplazadas en este tiempo sin actualizar el dibujo, esto puede explicar, porque algunos hogares se quedan sin agua durante un día normal y las bajas presiones en otros.

4.2.1.4. Presiones

La evaluación de presiones en el sistema por gravedad, indica que la diferencia de cotas entre el tanque y todos los nodos de consumo no presenta dificultades para el buen funcionamiento de la

red a cualquier hora del día, inclusive es mucho más común encontrar sectores con presiones excesivas que aquellos con valores bajos (excepto por el Barrio alto que usa el tanque de compensación).

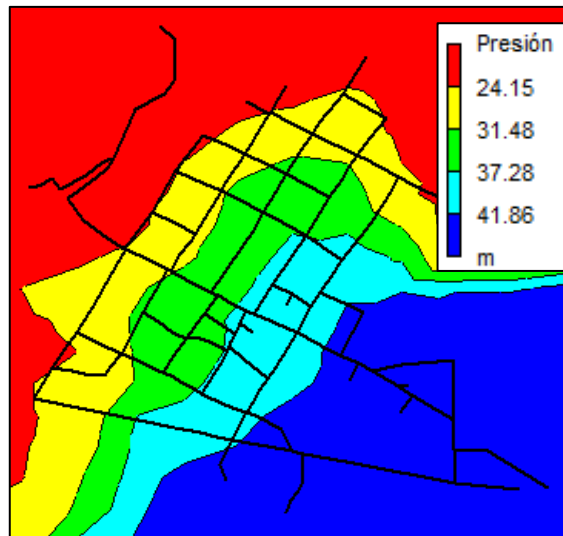


Gráfico 33-4: Presiones mínimas en el sistema (09:00).
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

A las 09:00 (Hora de mayor consumo) se presentan las presiones más bajas posibles, con un valor máximo de 55.88 mca en el nodo J320 y 1.69 mca entre los nodos cercanos al tanque de compensación en el nodo 109.

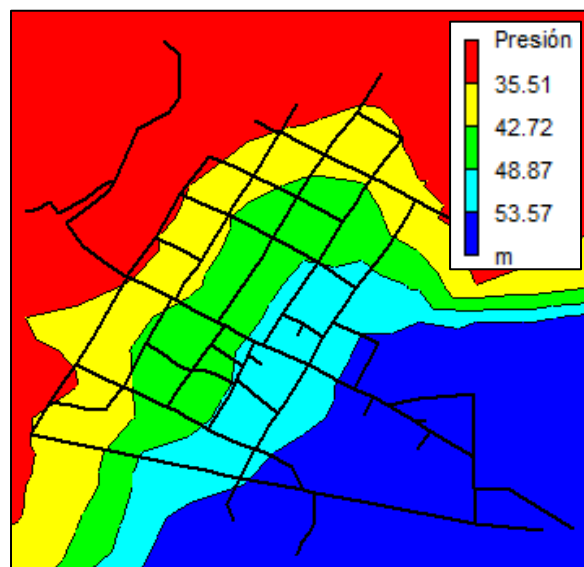


Gráfico 34-4: Presiones máximas en el sistema (00:00).
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Debido a que durante las horas de la noche no hay consumo, la red permanece acumulando columnas de fluido que incrementan la presión estática en todos los nodos, esto hace que el nodo J320 desarrolle una presión de 66.69 mca y en el nodo 109 con 2.60 mca.

Al revisar los valores proporcionados por la normativa en la Tabla 10-2 y comparar las presiones recomendadas de máximo 50 mca y mínimo 10 mca es fácil distinguir que el sistema funciona fuera de este rango recomendado; las presiones excesivas deben evitarse no solo porque provocan mayores fugas, sino también porque las roturas en los tubos serán más frecuentes induciendo tiempos de corte en el servicio e incomodidad en los usuarios.

4.2.1.5. Diagnóstico

El modelo hidráulico de la red de distribución permitió conocer los siguientes inconvenientes en el funcionamiento de la red.

- El caudal real consumido por los usuarios es mayor a los 100 l/día que se esperaban para los 2225 habitantes; el problema radica principalmente en el uso del agua potable para regadío y otros.
- Para los habitantes del El Progreso, el volumen de agua que se almacena semanalmente no es el adecuado para abastecer a estos usuarios; el apartado de presión tampoco lo es ya que las presiones son demasiado pequeñas según los requerimientos por norma.
- Las velocidades bajas y el agua que permanece estancada durante las horas de menor consumo pueden estar provocando problemas de desinfección del agua por reducción de la concentración del desinfectante.
- La actualización del plano se vuelve fundamental en el problema de presiones ya que una tubería pequeña colocada en un tramo de gran caudal incluirá grandes valores de pérdidas y fallas en varias zonas de la red.
- En el modelo no existen problemas de topografía, el sistema en su gran parte sufre de presiones excesivas, en especial el Barrio Virgen del Cisne que es el más bajo aun cuando se asumieron tuberías lo más pequeñas posibles, esto podría generar fisuras y provocar fugas importantes.

4.2.2. Propuestas de Mejora.

4.2.2.1. Estudio de caudales

Una de las interrogantes al momento de hacer el estudio fue el por qué son tan cercanos el caudal asumido como consumo diario y el caudal medido de entrada. Indiscutiblemente existe un consumo mayor que permite que los tanques varíen su altura conforme la necesidad del sistema sin derramarse e incluso se vacíen por la gran necesidad del agua a ciertas horas del día. Es importante indicar que uno de los parámetros que definen la precisión de los modelos hidráulicos de redes de agua son los consumos; no existen historiales de este tipo, aunque algunas casas si dispongan de medidores de caudal.

Para empezar, la Norma de Construcción en el apartado de Redes de Distribución indica que a la salida de los tanques medidores de caudal para controlar cual es volumen real absorbido por la red, como la población proyectada de Calpi no supera a los 5000 habitantes se debería instalar un medidor tipo domiciliario.

Otra acción recomendada es la instalación de contadores de volumen a la entrada de cada acometida, esto no solo para regular el consumo lícito de los consumidores, sino que para conocer el destino real del agua sobrante en el modelo (Se muestra en la Gráfica 30-3). Incluir medidores de flujo brindará al menos las siguientes ventajas:

- El consumo será racional ya que mientras más agua se utilice mayor será la tarifa mensual con lo que se podrá persuadir a los usuarios a tener un consumo ahorrativo del recurso puesto que querrán evitar pagar grandes cantidades de dinero.
- Control de fugas y acometidas ilegales; al colocar medidores de caudal tanto a la salida de los tanques y en las entradas a las acometidas será posible determinar si existen consumos ilegales, usos indebidos o grandes fugas. Controlar el uso del agua permitirá una distribución eficaz y equitativa del recurso.
- La Administración de Agua Potable dispondrá de recursos propios con lo que podrán implementarse mejoras a futuro que beneficien a toda la población en calidad, cantidad, confort, etc. En caso de modificarse las tarifas, estas deben responder a la realidad social y económica del sector mediante un estudio que pueda respaldar los nuevos valores.

Hay que reconocer que implementar medidores de caudal y tarifas en función al consumo en una población que durante toda su historia no los tuvo es un proceso complicado, no solo en la parte constructiva y económica, lo es aún más en el aspecto social puesto que incluso durante la realización de las encuestas varias personas se negaron a brindar información con razón de que posteriormente se les colocaría medidores en los hogares y deberían pagar más dinero. El uso consciente del agua debería ser una prioridad, su uso es fundamental en el día a día, aunque aun así pagamos más dinero por servicios como el eléctrico, telefónico e internet cuando perfectamente se podría vivir sin ellos, pero sin el agua no.

Se recomienda que de ser posible la instalación de medidores en el sistema se acompañe por charlas de concientización de consumo e importancia del agua y mejoras en el servicio de algún tipo para que la comunidad sienta que se está trabajando por un mejor servicio de agua y reconozca que se necesita de la colaboración de toda la población para lograrlo.

4.2.2.2. Control de Tanques

El sistema actual se maneja mediante válvulas a la salida de cada tanque que se abren y cierran manualmente por las mañanas y tardes. Una solución eficaz que puede brindarse es la implementación de un sistema de control automático que manipule la apertura y cierre de las válvulas.

Con este sistema el horario de funcionamiento será permanente y optimizará el uso de ambos tanques a la vez, ya que si uno de ellos permanece vacío a ciertas horas del día puede afectarse la calidad del agua de consumo y provocar problemas de salud en la población.



Figura 4-4: Válvulas a la salida de los tanques.
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Un sistema simple de control consiste en colocar sensores de nivel en los tanques con los que se pueda controlar el porcentaje de apertura y cierre de las válvulas de forma que se mantenga un volumen de agua aceptable en los dos tanques donde se pueda añadir el desinfectante sin problema y al mismo tiempo sin comprometer el consumo de los usuarios. Además de lo anterior, sabemos de la conexión entre el rebose del Depósito 1 hasta el Tanque de Compensación o Depósito 3 cuyo volumen ya se estudió en las secciones anteriores, concluyendo que llenarlo una vez por semana no es suficiente para satisfacer la demanda básica de los pobladores del Barrio El Progreso sin que se sientan inconformes, por esto, el mismo sistema automático puede controlar el nivel de agua en el Depósito 1 para que al menos dos veces por semana (Según la Tabla 22-4) pueda reemplazarse el volumen consumido y los usuarios no deban sacrificar su confort.

Como ya se dijo, para los habitantes del sector más alto es importante que el llenado del tanque de compensación se lo haga dos veces por semana, aun cuando no se implemente el sistema de control, ya que el volumen de agua que tienen para siete días es demasiado pequeño relacionado con la demanda básica considerada.

4.2.2.3. Problemas de Presión

Las presiones del sistema deben ajustarse a los límites establecidos por las instituciones de regulación, esto permite que el servicio sea satisfactorio y se conserve la integridad de los elementos físicos instalados.

En primer lugar, se evalúan las presiones sobre los 50 mca sugeridos como valor tope en sistemas de distribución. Al revisar minuciosamente los resultados de presión en el intervalo más crítico del día encontramos que los sectores más bajos del sistema (Barrios Virgen del Cisne, La Florida y parte de los Barrios Central y Complejo Deportivo) tienen presiones sobre el valor permitido en total 64 nodos.

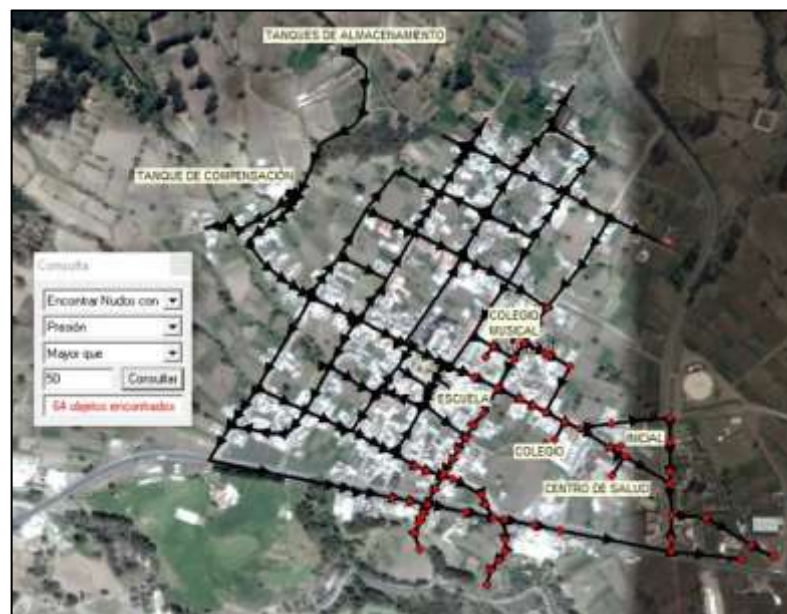


Figura 5-4: Presiones excesivas a la hora de menor consumo (00:00).
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Analizando las líneas que conducen el fluido a estos sectores se sugiere instalar una válvula reductora de presión en la línea principal que ingresa fluido a la red (Calles Guayaquil y Flores) ya que obligadamente el agua deberá circular por la válvula haciendo que el impulso se disminuya para evitar estas presiones excesivas. Los datos iniciales para la primera simulación con válvula son los indicados en la Tabla 23-4. Se añade solo una válvula reductora para verificar si es suficiente o se deben colocar otras.

Tabla 23-4: Datos iniciales para la VRP en la red de distribución.

No.	Tipo	Nodo	Consigna (mca)	Elevación (m)	X-Coord	Y-Coord	Tamaño (mm)
1	Reductora	3	20	3094.66	750873.55	9817964.28	DN 100

Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Como la presión máxima en el sistema sobrepasa casi con 20 mca al valor tope en el nodo más alejado y en el punto de instalación de la VRP se tiene una presión máxima de 36.41 mca; se decide llevar la presión a la salida del accesorio hasta 20 mca (reducción de presión de 16.41 mca) y se verifica en la simulación la afectación del sistema.

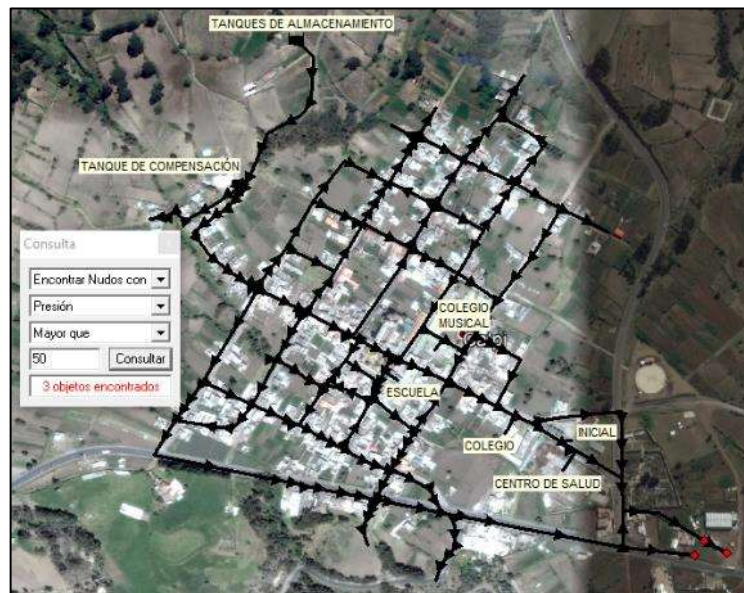


Figura 6-4: Presiones reducidas a la hora de menor consumo (00:00).
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Con la introducción de la válvula en la red y durante las horas de menor consumo (y mayor presión) únicamente los tres nodos últimos tienen problemas de presión excesiva, los resultados indican que en estos puntos la presión es de 50.16 mca para los dos primeros y 51.27 mca para el nodo final. Finalmente se reduce la consigna de 20 a 18 mca y los resultados muestran presiones menores a 50 mca en todos los nodos de la red durante cualquier momento del día. Al comparar las presiones máximas antes y después observamos que existía una gran zona con presiones mayores a 60 mca, ahora estos indicadores son menores a 50 mca tal como sugiere la norma.

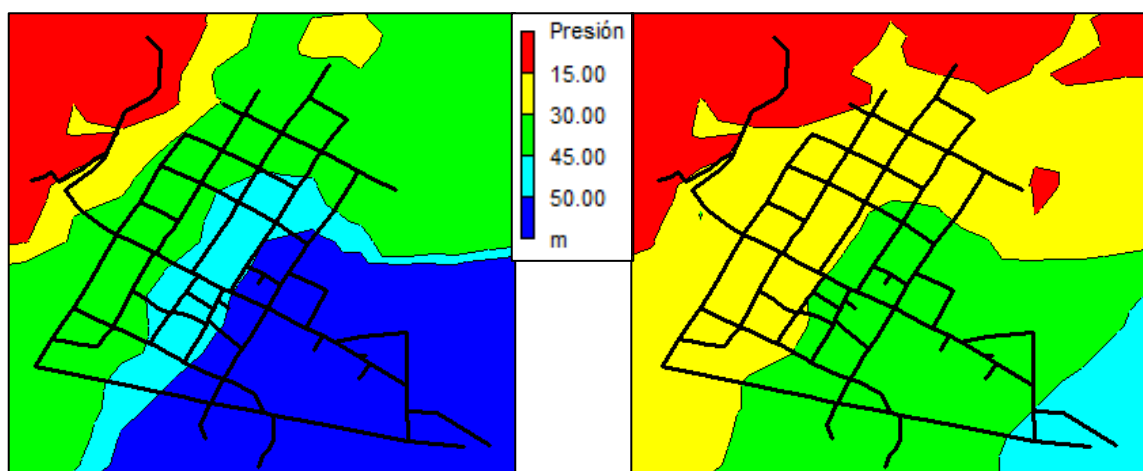


Gráfico 35-4: Comparación de presiones antes (izq.) y después (der.) (00:00).
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Es evidente que la presión se redujo no solo a las horas de menor consumo, sino que, en todo el día; ahora que el rango de presión máxima se ha regulado es momento de revisar si esta reducción afectó a las presiones mínimas del sistema, que deben ser de al menos 10 mca. Se considera el tiempo de mayor consumo a las 09:00 en los que las presiones quedan como en la Figura 7-4.

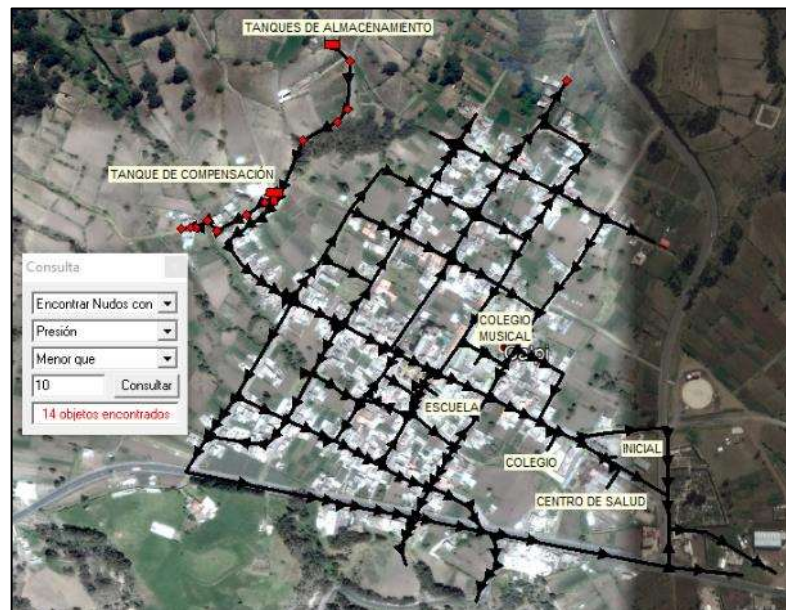


Figura 7-4: Puntos mínimos a la hora de mayor consumo (09:00).
Realizado por: Fiallos Avila Karen Lizbeth, 2019.

Exceptuando los puntos que corresponden al tramo de tubería a la salida de los tanques que por el pequeño diferencial de alturas presentan bajas presiones y al Barrio El Progreso cuyo caso especial se analiza más adelante; en la red de distribución se tiene un solo nodo con problemas de presión mínima, con 7.70 mca a las 09:00 el nodo 32 es el punto de mínima presión en toda la red; en este caso habrá que manipular la consigna de la válvula para que este sector no se vea afectado con una diferencia de 2.30 mca por debajo del valor referencial.

Se hicieron simulaciones con consignas de 19, 20 y 21 mca siendo este último valor el único que elimina por completo los problemas de baja presión, aunque por otro lado hace que otros 6 nodos eleven su presión por encima de los 50 mca; bajo esta circunstancia se acepta la consigna original de 18 mca en la válvula, aunque dista un poco de la cantidad solicitada se tiene un solo nodo problemático respecto a los 6 que podrían dañar su configuración. Otra opción sería verificar un punto diferente para la instalación de la válvula en el sistema.

Una vez se solucionaron los problemas de presión en la red de mayor tamaño se revisa la situación del Barrio El Progreso, según la Figura 7-4 este presenta problemas de presión con valores muy por debajo del referencial; a las 09:00 estas presiones se encuentran entre los 2.6 y 5.49 mca aunque es importante recordar que en estos nodos las presiones están en función directa del nivel en el Tanque de Compensación además de unos cuantos metros que gana el fluido por la caída

del terreno. En esta situación la única manera de elevar la presión en este sector sería mediante la colocación de una bomba que permita mejorar la fuerza con que el agua llega a cada acometida. Colocar un tanque elevado también solucionaría el problema, aunque como este depósito de compensación ya existe no sería prudente construir otro.

Respecto a colocar una bomba para impulsar al fluido de mejor manera sería importante contar con el criterio de los habitantes del sector para conocer el nivel de satisfacción con el servicio de agua para el parámetro presión. Si no representa una gran disconformidad se puede dejar el sistema funcionando como actualmente lo hace puesto que al colocar un equipo de bombeo los costos del servicio se elevarán no solo por la inversión sino también por los costos operativos y de mantenimiento.

5. CONCLUSIONES.

Al finalizar el estudio hidráulico sobre la línea de captación se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- El problema del desperdicio de agua en las fuentes de la red de captación que abastece a Calpi y Bayushí es hidráulico y topográfico; la tubería tiene un límite de caudal que puede transportar y cuando el flujo total en las fuentes lo sobrepasa la línea debe reorganizar su caudal impidiendo a la tubería de menor resistencia en el punto de unión (Línea Nueva) ingresar mayores cantidades de agua a la red. Se pudo comprobar que la diferencia de cotas de las Líneas Nueva y Antigua entre sus respectivos tanques y el punto de unión, difieren entre sí por aproximadamente 1 m lo que impide también que los caudales totales puedan transportarse juntos.
- De la recopilación de datos se determinó que el sistema está conformado por tramos de tubería de 160 y 110 mm; estos últimos incrementan la caída de presión en el sistema reduciendo la capacidad de caudal que puede transportar la línea.; las mediciones de caudal en el sitio indican que actualmente las fuentes tienen una producción total de 18.45 l/s. El volumen medido de desperdicio asciende a 2.3 l/s, esta cantidad será variable ya que el volumen de agua en las fuentes también lo es.
- Para conducir la mayor cantidad de caudal producido en las fuentes es necesario realizar dos acciones en el sistema actual: **1.** Se deben eliminar los tramos de tubería de 110 mm y reemplazarlos por tubería de 160 mm para reducir las pérdidas y aumentar la capacidad del sistema **2.** Se debe colocar una válvula reductora de presión en la Línea Antigua que permita la mezcla de los caudales completos producidos en cada fuente y a la vez pueda adaptarse a los cambios del sistema, sean de topografía, caudal o por nivel en los depósitos.
- Al implementar el nuevo sistema de tuberías se sugiere emplear tubos de PVC tipo Biax de 160 mm de diámetro y al menos 0.68 MPa de resistencia, acompañado de accesorios y elementos de extracción/admisión de aire como ya se indicó en el proyecto. Bajo estos parámetros se espera en el punto de llegada un caudal de máximo 18.65 l/s con una presión de al menos 1.35 mca en el tanque repartidor.

En cuanto a la modelación de la red de distribución de agua se extraen las siguientes conclusiones:

- Respecto a los caudales, mediante mediciones en el sitio se pudo determinar que el caudal disponible para la cabecera Parroquial de Calpi es de 12.61 l/s equivalente al 78% del total producido en las fuentes; también se establecieron los consumos básicos promedio en una

familia de la zona rural conformada por 5 personas de 708.4 l/s que equivale a un gasto personal de 101.2 l/s, muy cercano al propuesto por la bibliografía (Error del 1.2%).

- El desconocimiento en el uso y distribución real del agua en Calpi constituye un problema para el estudio de la red, al tomar el valor referencial de consumo promedio por persona y simular se tiene un exceso de caudal casi permanente que en la realidad no existe, por lo que su destino puede señalar a los consumos en agricultura, ganadería e industria que no se tomaron en cuenta en este estudio. La diferencia es considerable ya que incluso durante los 2/3 del día el agua directa de las fuentes podría abastecer toda la red sin problemas con exceso. Es fundamental la implementación de medidores residenciales para controlar el uso real del agua.
- La regulación actual de las válvulas a la salida de los tanques puede mejorarse, de forma que se puede conservar un volumen mínimo en cada uno de ellos sin comprometer el caudal que requiere el sistema para mejorar la desinfección y aprovechar la construcción de ambos tanques mediante un sistema automatizado.
- El volumen de agua destinado para el Barrio El Progreso en el tanque de compensación no es el suficiente para surtir en lo básico a la población del sector; ya que actualmente este volumen se recupera solo una vez por semana, se sugiere hacerlo al menos dos veces para que los usuarios no se sientan amenazados por la falta constante de agua.
- Referente a las presiones permisibles en el sistema bajo norma, se nota un exceso de presiones en la zona baja de la parroquia con valores cercanos a los 66 mca; se debe añadir una válvula reguladora de presión que disipe 18 mca como mínimo, para reducir estas presiones que pueden provocar fugas, roturas y otros problemas. Al colocarlas, todo el sistema funciona entre los 10 y 50 mca durante cualquier instante del día.

6. RECOMENDACIONES

Al finalizar este trabajo me permito realizar las siguientes sugerencias:

- Los elementos añadidos en el desarrollo de la propuesta para la línea de captación responden a las necesidades propias del sistema y requerimientos normados; por tanto, se deberían mantener al menos los elementos y sugerencias indicadas por línea para asegurar los resultados esperados en este estudio. Si se modifica alguno de estos criterios por otras razones los resultados pueden cambiar.
- Las válvulas de compuerta para la línea de captación deben seleccionarse cuidando que no se produzcan efectos de cavitación, así mismo el momento de manipularlas deben darse al menos 5 minutos para el cierre y apertura.
- La variación en las cotas utilizadas en todo el proyecto puede generar errores importantes en el cálculo de presiones, se recomienda realizar un levantamiento topográfico al menos en ciertos puntos clave del modelo.
- Según los resultados en la encuesta, la mayor preocupación de la población es la calidad del agua, por lo que se sugiere mejorar el sistema de dosificación de cloro para brindar satisfacción en el servicio.
- Existen elementos de regulación que actualmente están abiertos a los usuarios, según los criterios recogidos en las encuestas existen personas que manipulan estas válvulas perjudicando varios sectores que se quedan con poco caudal durante ciertas horas del día. Se sugiere cerrar estas válvulas a la comunidad para que solo el personal encargado pueda regular a la apertura adecuada que beneficie a todos los habitantes por igual.

BIBLIOGRAFÍA

Afif Khouri, Elías. *Apuntes de Hidráulica para Explotaciones Forestales.* Oviedo, España. Ediciones de la Universidad de Oviedo, 2004. ISBN: 84-8917-453-7, pp. 89.

ArcMAP. *Fundamentos de las Superficies TIN.* [en línea] 2016. [Consulta:15 noviembre 2018.]. Disponible en: <http://desktopp.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/tin/fundamentals-of-tin-surfaces.htm>.

ArcMAP. *¿Qué es un archivo Shape?.* [en línea] 2016. [Consulta:15 noviembre 2018.]. Disponible en: <http://desktopp.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.htm>.

Calderón, Carlos; et al. “Aspectos generales de la Modelación y Diseño bajo ambiente de fugas o pérdidas técnicas” *Revista Técnica Agua, Saneamiento y Ambiente* [en línea], 2014, (Colombia), pp. 24. [Consulta: 15 noviembre 2018] ISSN: 2322-8989. Disponible en: <http://www.vallecaucanadeaguas.gov.co/revistas/revista-6/files/assets/downloads/publication.pdf>

Barrios, Carlos; et al. *Biblioteca virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental.* [en línea] 2009. [Consulta: 15 noviembre 2018.] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/2-3sas.htm>.

Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. [en línea] 2013. [Consulta: 3 noviembre 2018.] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/inspecciones/lec6.pdf>.

Bosch Fuentes, Patricia & Recio Villa, Iosvany. “Calibración y simulación del sistema fuente para abasto de agua del acueducto El Gato”. *RIHA* [en línea].2014, (Cuba) 35(1), pp. 101-115. [Consulta: 15 noviembre 2018.] ISSN 1680-0338. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382014000100008&lang=pt

Briere, Francois G. *Distribución de agua potable y colecta de desagües y de agua lluvia.* [en línea]. Canadá. Escuela Politécnica de Montreal, 2005. [Consulta: 2 noviembre 2018.]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=kgXhjH-vZ78C&pg=PA65&dq=obras+de+captaci%C3%B3n+de+agua+potable&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi3uub_wdzeAhWurFkKHdUWCfKQ6AEIJAA#v=onepage&q&f=false

Cengel, Yunus. *Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones.* México: McGraw Hill, 2006. ISBN: 970-10-5612-4. pp. 324-325.

CHUQUÍN, Nelson. Análisis y elaboración del modelo matemático de la red de distribución de Agua Potable de la ciudad Riobamba-Ecuador. Propuestas de Mejora. [en línea] (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. 2016. pp. 88-92

Comisión Nacional del Agua. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Datos Básicos para Proyectos de Agua Potable y Alcantarillado.* [en línea] Coyoacán, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016. [Consulta: 16 noviembre 2018.]. ISBN en trámite. Disponible en: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>

Comisión Nacional del Agua. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Modelación Hidráulica y de Calidad del agua en Redes de Distribución.* [en línea] Coyoacán, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016. [Consulta: 16 noviembre 2018.]. ISBN en trámite. Disponible en: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro13.pdf>

Comisión Nacional del Agua. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable.* [en línea] Coyoacán, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016. [Consulta: 17 noviembre 2018.]. Disponible en: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro12.pdf>

Comisión Nacional del Agua. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Conducciones.* [en línea] Coyoacán, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016. [Consulta: 18 noviembre 2018.]. Disponible en: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro10.pdf>

Comisión Nacional del Agua. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Tomas Domiciliarias.* [en línea] Coyoacán, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016. [Consulta: 18 noviembre 2018.]. ISBN: 978-968-817-880-5. Disponible en: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro19.pdf>

Farrás, Luis & Pérez, Sandra. *Criterios de Diseño, Cálculo y Selección de Tuberías en Base al Criterio de las Prestaciones Equivalentes.* 2007. pp. 11-13.

Fragoso Sandoval, et al. “Sistema para control y gestión de redes de agua potable de dos localidades de México”. *REHO* [en línea], 2013, (Cuba), 34(1), pp. 112-126. [Consulta: 15 noviembre 2018.] ISSN 1680-0338. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382013000100009&lang=pt

Giancoli, Douglas C. *Física. Principios con Aplicaciones*. 6^a ed. Pearson Educación, 2006. ISBN: 970-26-0695-0. pp. 268-269.

Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquia Santiago de Calpi. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Santiago de Calpi*. Riobamba-Ecuador: Unidad de Planificación y Ordenamiento Territorial, 2012. pp. 55-56.

Gomella, C. & Guerree, H. *Tratamiento de aguas para abastecimiento público*. Paris-Francia: Editores Técnicos Asociados, 1977. ISBN: 84-7146-090-4. pp. 55-60

Howard, Guy & Bartram, Jamie. *Organización Mundial de la Salud*. [en línea] 2003. [Consulta: 29 octubre 2018.]. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf.

HURTADO, Arabeli. Cálculo del porcentaje de pérdidas por fugas en la red de Agua Potable. Celaya. (Trabajo de Titulación) (Ingeniería) Universidad Popular Autónoma de la Ciudad de Puebla, México. 2006. pp. 52.

Kara, Selami; et al. “Hydraulic modeling of a water distribution network in a tourism area with highly varyn characteristics” *Procedia Engineering* [en línea], 2016, 162, pp. 521-529.

Košarac, Aleksandar; et al. *Optimization of Water Supply System Using Software EPANET 2.0*. Isak Karabegovic. 2019, ISBN: 978-3-319-90893-9. pp.443-451.

López, Ricardo. *Fundamentos de Diseño para acueductos y alcantarillados*. Bogotá-Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 1995. ISBN: 958-8060-36-2. pp. 35-40.

Ministerio de Vivienda Español. *Código Técnico de la Edificación*. Sección 2.1.3

Monge, Miguel. *El aire en las tuberías: Un problema que a veces es parte de la solución*. [en línea] 2017. [Consulta: 5 diciembre 2018.] Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/aire-tuberias-problema-que-veces-es-parte-solucion-i>

Montoya, Saúl. 2015. *Gida Hatari*. [blog]. 2015. [Consulta: 14 noviembre 2018.] Disponible en: <http://gidahatari.com/ih-es/cuales-son-los-mejores-software-de-sig-de-codigo-libre>.

Mott, Robert L. *Mecánica de Fluidos Aplicada*. México: Pearson Education, 2006. ISBN: 970-26-0805-8. pp. 1-5

Naciones Unidas. *Water*. [en línea] 2017. [Consulta: 27 octubre 2018.] Disponible en: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>.

Norma Chilena Oficial. *Instalaciones domiciliarias de agua potable - Diseño, cálculo y requisitos de las redes interiores.* Sección 5.6.

NTE INEN 1108. Agua Potable. Requisitos.

Olaya, Victor. *Sistemas de Información Geográfica.* 2014. pp. 100-110.

OPS & OMS. CRIDLAC. [en línea] 2009. [Consulta: 29 octubre 2018.] Disponible en: https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_content&view=article&id=618:documentos-de-referencia&Itemid=776&lang=es

Organización Mundial de la Salud. *Agua potable salubre y saneamiento básico en pro de la salud.* [en línea] 2018. [Consulta: 27 octubre 2018.]. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/.

Organización Mundial de la Salud. *Guías para la calidad del agua potable. Recomendaciones.* 3^{era} ed. 2008. ISBN 92 4 92 4 154696 4. pp. 183-190.

Organización Mundial de la Salud. *Cantidad necesaria de agua para emergencias.* [en línea] 2017. [Consulta: 4 noviembre 2018.] Disponible en: https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=technical-notes-on-disasters&alias=2024-9-cantidad-de-agua-necesaria-para-emergencias&Itemid=1179&lang=en.

Plastigama. *Biax.* [en línea] 2018. [Consulta: 5 diciembre 2018.] Disponible en: <http://plastigama.com/wp-content/uploads/2018/07/Biax-2018-1.pdf>

RONDÁN Galán, Enrique. Estado del arte de la calibración de modelos hidráulico. Modelado de fugas con Epanet. (Trabajo de Titulación).(Ingeniería) Universidad de Sevilla, España. 2016. pp. 39, 45-49.

Rossman, Lewis *EPANET 2. Manual de Usuario.* Cincinnati: Water Supply and Water Resources Division, 2001. pp. 13-17.

Secretaría del Agua. 2012. *Normas para Estudio y Diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. Código Ecuatoriano de la Construcción de parte IX.* Secciones 4.2.3.2 y 4.2.3.3.

Sosa, Jorge; et al. *Mecánica de Fluidos: Antecedentes y Actualidad.* Mérida-México: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán, 2004. ISBN 970-698-072-5. pp. 29.

Sotelo Avila, Gilberto. *Hidráulica General. Fundamentos.* México DF-México: Noriega Ediciones, 1997. ISBN: 968-18-0503-8. pp. 144-146

Subsecretaria de Saneamiento Ambiental. Normas de Diseño SSA. Numeral 4.3.1.

Sunela, Markus & Puust, Raido. “Real Time water supply system hydraulic and quality modeling - a case study”. *Procedia Engineering.* [en línea], 2015(), 119, pp. 744-752. [Consulta: 1 noviembre 2018.] ISSN: 1877-7058. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815025989>

Universidad de Salamanca. *Modalidades de Captación.* [en línea] 2013. [Consulta: 2 noviembre 2018.] Disponible en: http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/curso/uni_03/u3c2s2.htm.



ANEXOS