



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGIA**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GERENCIA  
DE CONSTRUCCIONES**

**Elaboración y análisis del modelo de sectorización de los  
sistemas de distribución de la red de agua potable en los  
sectores 4B2 y 6A de la ciudad de Cuenca.**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE  
CONSTRUCCIONES**

**Autores:**

**DAVID ALBÁN FEIJÓO**

**JONNATHAN ADRIAN CUMBE CRIOLLO**

**Director:**

**ING. FABIAN EDUARDO CAZAR ALMACHE**

**CUENCA, ECUADOR**

**2020**

## **DEDICATORIAS**

A mis padres German y María, quienes me dieron la vida, y me supieron criar con mucho amor, inculcándome valores muy importantes en mi vida que me han llevado a ser la persona que soy.

A mis hermanas Gabriela y Mary Elena, que me han brindado todo su apoyo durante toda mi vida, siempre con una palabra de aliento; sabiendo que, aunque tropiece ellas me sabrían levantar para continuar el camino añorado.

A mi hermano Christian, quien siempre ha sido una inspiración para mí, con su gran ejemplo, me ha enseñado ser una mejor persona y tener esa hambre de gloria para triunfar en la vida.

A mis sobrinas Amelia y Valentina, quienes son el futuro en mi vida, y deseo ser un gran ejemplo para ellas.

A mis mejores amigos: Adrian, Christian, Erik, Jonnathan, Josué y Vicente ya que con ellos he convivido gran parte de la carrera, en donde hemos tenido buenos y malos momentos, pero siempre estábamos apoyándonos unos a otros.

David Albán Feijóo

Este trabajo va dedicado principalmente a Dios; y a mis padres Manuel y Olga, quienes han sido el pilar fundamental para llegar hasta a este punto, ya que siempre estuvieron ahí con su incondicional amor y apoyo, aconsejándome para poder cumplir cada una de mis metas y sueños propuestos. A mis hermanos Jhonny, Jimmy y Diego quienes siempre estuvieron conmigo dándome sus palabras de aliento en cada uno de mis tropiezos, para nunca rendirme y poder salir adelante para cumplir esta gran meta. A mi hermana Joslyn quien ha sido mi inspiración para cada día seguirme superando y ser una mejor persona y un gran profesional. A Patricia quien estuvo conmigo durante todo este gran camino, que con su paciencia y cariño siempre supo alentarme y aconsejarme para cumplir cada uno de mis objetivos. A mis mejores amigos: Christian, David, Erik, Josué y Vicente ya que con ellos he convivido gran parte de la carrera, en donde hemos tenido buenos y malos momentos, pero siempre estábamos apoyándonos unos a otros.

Jonnathan Adrian Cumbe Criollo

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos:

A nuestro director de tesis, el Ing. Fabian Cazar Almache, Mst, por colaborar con sus conocimientos y enseñanzas para realizar este proyecto.

A los miembros del tribunal, el Ing. Josué Larriva Vásquez y el Ing. Oswaldo Torres Vásquez, por su apoyo brindado para la culminación de este proyecto.

A los miembros que conforman ETAPA EP, en especial a la Ing. Verónica Chumi, por su gran ayuda brindada para la realización del presente proyecto.

Al personal que labora en la facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad del Azuay, maestros y compañeros que nos acompañaron durante toda la carrera, en los buenos y malos momentos.

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIAS.....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>iii</b>
<b>INDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>iv</b>
<b>INDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>vii</b>
<b>INDICE DE TABLAS.....</b>	<b>x</b>
<b>INDICE DE ANEXOS .....</b>	<b>xii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xv</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>4</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>5</b>
<b>Alcance .....</b>	<b>5</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>6</b>
<b>Objetivo General .....</b>	<b>6</b>
<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>6</b>
<b>1. CAPÍTULO I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN. ....</b>	<b>7</b>
<b>1.1 Conceptos preliminares.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.1 Agua potable .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.2 Agua cruda.....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.3 Dotación .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.4 Conducción .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.5 Caudal de diseño .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.6 Red de distribución .....</b>	<b>7</b>
<b>1.1.7 Sistema de distribución de una red de agua potable.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.8 Planta potabilizadora de agua.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.9 Información catastral.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.10 Pérdida de agua potable .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.11 Fuga .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1.12 Micromedición.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.13 Macromedición.....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.14 Índice de agua no contabilizada (IANC) .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1.15 Sectorización de una red de agua potable.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Descripción de los sectores.....</b>	<b>10</b>

1.2.1	Sector 4B2 .....	10
1.2.2	Sector 6A .....	11
<b>1.3</b>	<b>Softwares utilizados.....</b>	<b>13</b>
1.3.1	AutoCAD Map 3D.....	13
1.3.2	ArcMap .....	13
1.3.3	WaterGEMS .....	14
<b>1.4</b>	<b>Levantamiento de información de la red existente.....</b>	<b>14</b>
1.4.1	Componentes de un sistema de abastecimiento.....	16
1.4.1.1	Válvula de control.....	16
1.4.1.2	Válvula de operación.....	16
1.4.1.3	Válvula de aire .....	16
1.4.1.4	Válvula de purga.....	16
1.4.1.5	Estación reductora de presión.....	16
1.4.1.6	Tanque de almacenamiento .....	16
1.4.1.7	Medidor .....	17
1.4.1.8	Hidrante.....	17
1.4.1.9	Nodos .....	17
1.4.1.10	Simbología .....	17
1.4.2	Actualización de los catastros de los sectores .....	18
1.4.3	Medición de campo .....	21
1.4.3.1	Sitios de medición .....	22
1.4.3.2	Lecturas de campo.....	23
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO II: MODELACION Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE RED ABIERTA.....</b>	<b>27</b>
2.1	Determinación de población calculada y proyecciones poblacionales..	27
2.1.1	Población calculada.....	27
2.1.2	Cálculo de proyecciones utilizando base poblacional .....	28
2.1.3	Método geométrico.....	28
2.1.4	Método aritmético o lineal.....	29
2.2	Cálculo de Caudales .....	31
2.3	Construcción y validación de los modelos actualizados en el software WaterGEMS .....	35
2.4	Calibración de los modelos. ....	37
2.5	Criterios para evaluar una red distribución. ....	43

2.5.1	Velocidad.....	43
2.5.2	Pérdidas de carga .....	44
2.5.3	Presión.....	44
2.6	Determinación de tramos que no cumplan con velocidades mínimas y pérdidas de carga.....	44
2.6.1	Análisis de velocidades.....	44
2.6.2	Análisis de pérdidas de carga.....	46
2.7	Determinación de nodos que no cumplan con el rango de presiones establecidas en la norma. ....	48
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO III: MODELACIONES HIDRÁULICAS IMPLEMENTANDO LA TÉCNICA DE SECTORIZACIÓN. ....</b>	<b>51</b>
3.1	Construcción de los modelos hidráulicos del año 2019. ....	51
3.2	Ajuste de demandas.....	52
3.3	Calibración de los modelos con presiones medidas en campo.....	52
3.4	Resultados de las modelaciones hidráulicas del año 2019 implementada la sectorización.....	55
3.4.1	Resultados de velocidades.....	55
3.4.2	Resultados de pérdidas de carga.....	57
3.4.3	Resultados de presiones .....	58
3.5	Construcción de escenarios con proyecciones cada 5 años hasta el año 2045. 61	
3.6	Análisis y comparación de los diferentes escenarios con respecto a la situación actual. ....	62
3.6.1	Análisis y comparación de velocidades .....	62
3.6.2	Análisis y comparación de pérdidas de carga.....	64
3.6.3	Análisis y comparación de presiones .....	65
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>70</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>74</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 0.1 Sectores del cantón Cuenca. ....	2
Figura 0.2 Sector 4B2 (Cruz Verde 2). ....	2
Figura 0.3 Sector 6A (Milchichig). ....	3
Figura 1.1 Evolución anual del IANC desde 1992 hasta diciembre del 2018 de los sistemas Tomebamba y Machángara .....	9
Figura 1.2 Delimitación del sector 4B2 .....	10
Figura 1.3 Sector 4B2, distribución de subsectores .....	11
Figura 1.4 Delimitación del sector 4B2 .....	12
Figura 1.5 Sector 6A, distribución de subsectores .....	13
Figura 1.6 Simbología de los accesorios de la red de distribución .....	17
Figura 1.7 Catastro año 2015 de la red de distribución de agua potable sector 4B2 .	18
Figura 1.8 Catastro año 2015 de la red de distribución de agua potable sector 6A ...	19
Figura 1.9 Catastro actualizado año 2019 del sector 4B2 .....	20
Figura 1.10 Catastro actualizado año 2019 del sector 6A.....	20
Figura 1.11 Ubicación de presiones medidas en campo. sector 4B2 .....	22
Figura 1.12 Ubicación de presiones medidas en campo, sector 6A.....	23
Figura 2.1 Incremento poblacional del sector 4B2 .....	31
Figura 2.2 Incremento poblacional del sector 6A .....	31
Figura 2.3 Demandas cargadas en el software WaterGEMS .....	36
Figura 2.4 Configuración en la pestaña Field Data Snapshots.....	37
Figura 2.5 Materiales asignados a las tuberías del sector 4B2.....	38
Figura 2.6 Materiales asignados a las tuberías del sector 6A .....	38
Figura 2.7 Configuración en la pestaña Calibration Criteria .....	38
Figura 2.8 Presiones usadas para la calibración a red abierta del sector 4B2 .....	39
Figura 2.9 Presiones usadas para la calibración a red abierta del sector 6A.....	39
Figura 2.10 Gráfico de dispersión de la simulación base del sector 4B2 .....	40
Figura 2.11 Gráfico de dispersión de la simulación base del sector 6A .....	41
Figura 2.12 Configuración en la pestaña <i>Options</i> .....	42
Figura 2.13 Gráfico de dispersión de la simulación optimizada del sector 4B2 .....	43
Figura 2.14 Gráfico de dispersión de la simulación optimizada del sector 6A.....	43
Figura 2.15 Leyenda de código de colores de velocidades .....	44
Figura 2.16 Velocidades clasificadas por color del sector 4B2 .....	45
Figura 2.17 Velocidad clasificadas por colores del sector 6A .....	45

Figura 2.18 Leyenda de código de colores de pérdidas de cargas .....	46
Figura 2.19 Pérdidas de carga clasificadas por colores del sector 4B2 .....	47
Figura 2.20 Pérdidas de carga clasificadas por colores del sector 6A .....	47
Figura 2.21 Leyenda de código de colores de presiones.....	48
Figura 2.22 Presiones clasificadas por colores del sector 4B2 .....	49
Figura 2.23 Presiones clasificadas por colores del sector 6A .....	50
Figura 3.1 Gráfico de dispersión de la simulación base del modelo sectorizado del sector 4B2.....	53
Figura 3.2 Gráfico de dispersión de la simulación base del modelo sectorizado del sector 6A .....	54
Figura 3.3 Gráfico de dispersión de la simulación optimizada del modelo sectorizado del sector 4B2.....	55
Figura 3.4 Gráfico de dispersión de la simulación optimizada del modelo sectorizado del sector 6A .....	55
Figura 3.5 Velocidades clasificadas por color del sector 4B2 implementada la sectorización.....	56
Figura 3.6 Velocidades clasificadas por color del sector 6A implementada la sectorización.....	56
Figura 3.7 Pérdidas de carga clasificadas por color del sector 4B2 implementada la sectorización.....	57
Figura 3.8 Pérdidas de carga clasificadas por color del sector 6A implementada la sectorización.....	58
Figura 3.9 Presiones de carga clasificadas por color del sector 4B2 implementada la sectorización.....	59
Figura 3.10 Presiones de carga clasificadas por color del sector 6A implementada la sectorización.....	60
Figura 3.11 Escenarios creados para cada proyección poblacional .....	61
Figura 3.12 Ejemplo de asignación de demanda para cada escenario .....	61
Figura 3.13 Gráfico de barras del resumen de velocidades de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 4B2.....	62
Figura 3.14 Gráfico de barras del resumen de velocidades de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 6A .....	63
Figura 3.15 Gráfico de barras del resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 4B2.....	64

Figura 3.16 Gráfico de barras del resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 6A .....	65
Figura 3.17 Gráfico de barras del resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 4B2.....	66
Figura 3.18 Gráfico de barras del resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 6A .....	67

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1.1 Clasificación de la tubería de distribución del sector 4B2.....	14
Tabla 1.2 Clasificación de la tubería de distribución del sector 6A.....	15
Tabla 1.3 Presiones tomadas en el sector 4B2 .....	21
Tabla 1.4 Presiones tomadas en el sector 6A .....	21
Tabla 1.5 Presiones medidas en el sector 4B2 .....	23
Tabla 1.6 Presiones medidas en el sector 6A .....	24
Tabla 2.1 Población calculada para el sector 4B2 y 6A.....	27
Tabla 2.2 Poblaciones proyectadas de los sectores 4B2 y 6A, utilizando base poblacional .....	28
Tabla 2.3 Poblaciones proyectadas de los sectores 4B2 y 6A, obtenidas con el método geométrico.....	29
Tabla 2.4 Tasa de crecimiento poblacional para el método aritmético.....	30
Tabla 2.5 Poblaciones proyectadas de los sectores 4B2 y 6A, obtenidas con el método aritmético.....	30
Tabla 2.6 Factores para el cálculo de caudales .....	32
Tabla 2.7 Cálculo del factor de incremento para número de instalaciones promedio	33
Tabla 2.8 Determinación del factor de ajuste.....	34
Tabla 2.9 Caudales asumidos en cada proyección poblacional asumida.....	35
Tabla 2.10 Coeficiente de rugosidad según el material de la tubería.....	37
Tabla 3.1 Presiones medidas en campo en la entrada de la zona de alrededor de la Unidad Educativa Kennedy.....	52
Tabla 3.2 Velocidades y presiones máximas de la red abierta y sectorizada de los sectores 4B2 y 6A .....	60
Tabla 3.3 Resumen de velocidades de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 4B2.....	62
Tabla 3.4 Resumen de velocidades de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 6A .....	63
Tabla 3.5 Resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 4B2.....	64
Tabla 3.6 Resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 6A.....	65
Tabla 3.7 Resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 4B2.....	66

Tabla 3.8 Resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 6A..... 66

**INDICE DE ANEXOS**

Anexo 1 Catastros de las redes de distribución de agua potable del cantón Cuenca .	74
Anexo 2 Catastros de la red de distribución de agua potable del sector 4B2 .....	74
Anexo 3 Catastros de la red de distribución de agua potable del sector 6A .....	74
Anexo 4 Archivo shape de medidores .....	74
Anexo 5 Determinación de habitantes por medidor para los sectores 4B2 y 6A.....	74
Anexo 6 Archivo shape de base poblacional .....	74
Anexo 7 Modelo a red abierta de la red de distribución del sector 4B2 .....	74
Anexo 8 Modelo a red abierta de la red de distribución del sector 6A.....	74
Anexo 9 Archivo CAD de curvas de nivel del cantón Cuenca .....	74
Anexo 10 Válvulas a mantener cerradas para el sector 4B2.....	74
Anexo 11 Válvulas a mantener abiertas para el sector 4B2.....	78
Anexo 12 Válvulas a mantener cerradas para el sector 6A.....	79
Anexo 13 Válvulas a mantener abiertas para el sector 6A.....	80
Anexo 14 Modelo sectorizado de la red de distribución del sector 4B2.....	80
Anexo 15 Modelo sectorizado de la red de distribución del sector 6A .....	80
Anexo 16 Velocidad clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2025.	81
Anexo 17 Velocidad clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2025 ..	81
Anexo 18 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2025.....	82
Anexo 19 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2025 .....	82
Anexo 20 Presiones clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2025..	83
Anexo 21 Presiones clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2025 ...	83
Anexo 22 Velocidad clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2030.	84
Anexo 23 Velocidad clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2030 ..	84
Anexo 24 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2030.....	85
Anexo 25 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2030 .....	85
Anexo 26 Presiones clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2030..	86
Anexo 27 Presiones clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2030 ...	86
Anexo 28 Velocidad clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2035.	87
Anexo 29 Velocidad clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2035 ..	87

Anexo 30 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2035.....	88
Anexo 31 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2035 .....	88
Anexo 32 Presiones clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2035..	89
Anexo 33 Presiones clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2035 ...	89
Anexo 34 Velocidad clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2040.	90
Anexo 35 Velocidad clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2040 ..	90
Anexo 36 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2040.....	91
Anexo 37 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2040 .....	91
Anexo 38 Presiones clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2040..	92
Anexo 39 Presiones clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2040 ...	92
Anexo 40 Velocidad clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2045.	93
Anexo 41 Velocidad clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2045 ..	93
Anexo 42 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2045.....	94
Anexo 43 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2045 .....	94
Anexo 44 Presiones clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2045..	95
Anexo 45 Presiones clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2045 ...	95

**Elaboración y análisis del modelo de sectorización de los sistemas de distribución de la red de agua potable en los sectores 4B2 y 6A de la ciudad de Cuenca.**

**RESUMEN**

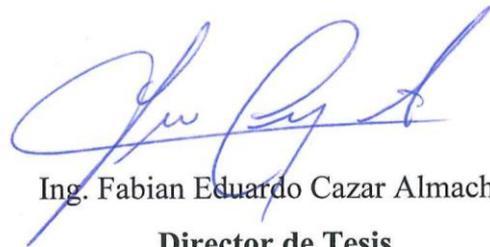
En el presente proyecto se actualiza los catastros de las redes de distribución de los sectores 4B2 y 6A pertenecientes a Cruz Verde 2 y Milchichig respectivamente, para posteriormente realizar sus modelaciones hidráulicas a red abierta y sectorizada en el software WaterGEMS. Se midió en campo presiones en puntos estratégicos, para realizar la calibración de los modelos sectorizados, que represente el funcionamiento real de la red, y poder realizar los diferentes escenarios con las proyecciones poblacionales propuestas. Para finalmente comparar y analizar los resultados de cada uno de los escenarios con el comportamiento de la modelación actual.

Palabras claves: calibración, catastros, modelación hidráulica, proyecciones poblacionales, red sectorizada, redes de distribución.



Ing. José Fernando Vázquez Calero

**Coordinador de Escuela**



Ing. Fabian Eduardo Cazar Almache

**Director de Tesis**



David Albán Feijóo

**Autor**



Jonnathan Adrian Cumbe Criollo

**Autor**

**Development and analysis of the sectorization model for the distribution systems of the drinking water network in sectors 4B2 and 6A of Cuenca.**

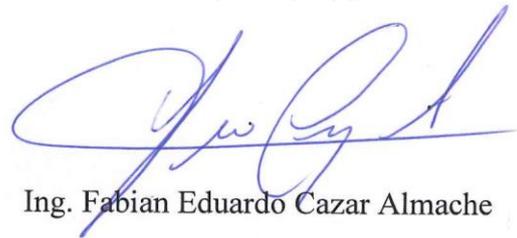
**ABSTRACT**

This project updated the cadastres of the distribution networks of sectors 4B2 and 6A of Cruz Verde 2 and Milchichig, respectively. Subsequently, their hydraulic modeling was carried out in open network and sectorized network using the WaterGEMS software. Field measurements of the pressures at strategic points were performed to calibrate the sectorized models in order to represent the real operation of the network and consider different scenarios with the proposed population projections. Finally, the results of each scenario were compared and analyzed with the current modeling behavior.

Keywords: calibration, cadastres, hydraulic modeling, population projections, sectorized network, distribution networks.



Ing. José Fernando Vázquez Calero  
**Faculty Coordinator**



Ing. Fabian Eduardo Cazar Almache  
**Thesis Director**



David Albán Feijóo  
**Author**



Jonnathan Adrian Cumbe Criollo  
**Author**



Translated by  
Ing. Paúl Arpi

David Albán Feijóo

Jonnathan Adrian Cumbe Criollo

Trabajo de Titulación

Mst. Fabian Eduardo Cazar Almache

Diciembre, 2019

**Elaboración y análisis del modelo de sectorización de los sistemas de distribución de la red de agua potable en los sectores 4B2 y 6A de la ciudad de Cuenca.**

**INTRODUCCION**

Un modelo de sectorización de una red de distribución de agua potable, básicamente, permite volver eficiente a la red en la tarea de operación y mantenimiento; además, de tener un mayor control de las anomalías que puedan presentarse dentro de la red a partir de la división en sub sectores, facilitar la detección y reparación de fugas (Campbell Gonzalez, 2013).

La Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ETAPA EP) es la entidad encargada de brindar el servicio de agua potable en el cantón Cuenca. Las redes de distribución de dicha empresa cubren un 96% en el área urbana y 88% en el área rural, cuenta con 33 reservas en todo el territorio llegando a tener una capacidad de almacenamiento total de 120000 metros cúbicos (ETAPA EP, 2019).

En el cantón Cuenca los sistemas de distribución trabajan completamente a gravedad, excepto en dos sectores altos de la ciudad. Este sistema está dividido en 22 zonas de presión, cada una cuenta con un centro de reserva, y algunas de estas pueden ser interconectadas cuando se lo requiera (ETAPA EP, 2019). A continuación, se observan los sectores de todo el cantón Cuenca (Figura 0.1). En este proyecto se tomará en cuenta los sectores 4B2 y 6A pertenecientes a Cruz Verde 2 (Figura 0.2) y Milchichig (Figura 0.3) respectivamente. El sector 4B2 es abastecido por la planta de agua potable El Cebollar y el sector 6A por la planta de agua potable de Tixan.

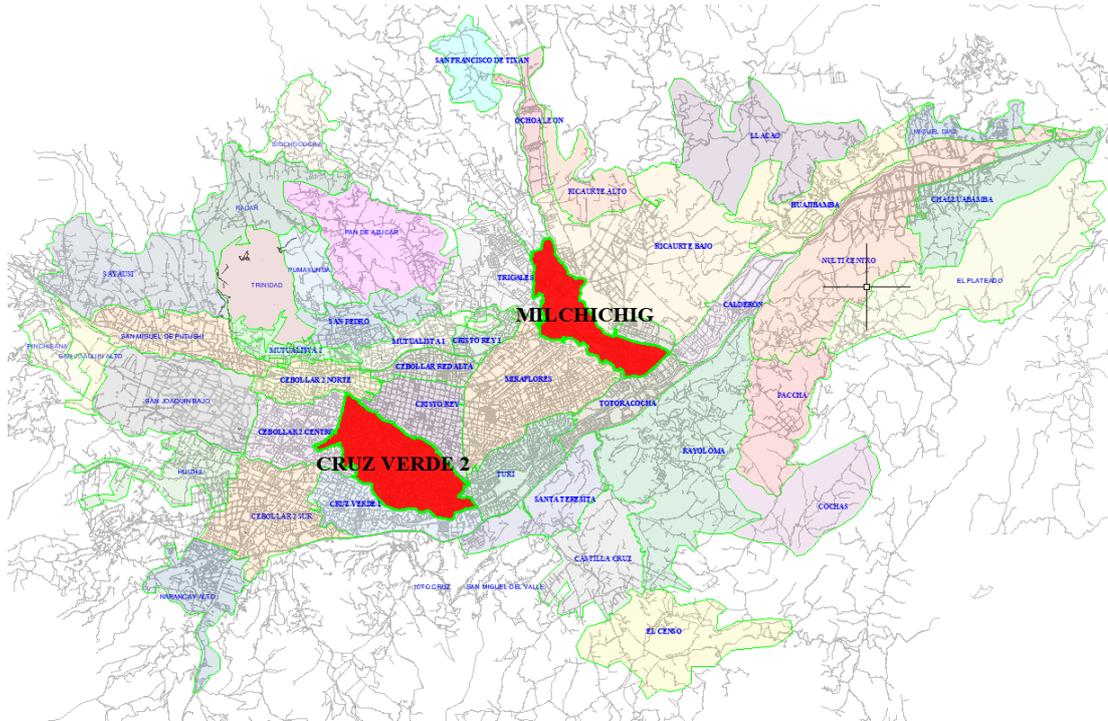


Figura 0.1 Sectores del cantón Cuenca.

Fuente: ETAPA EP

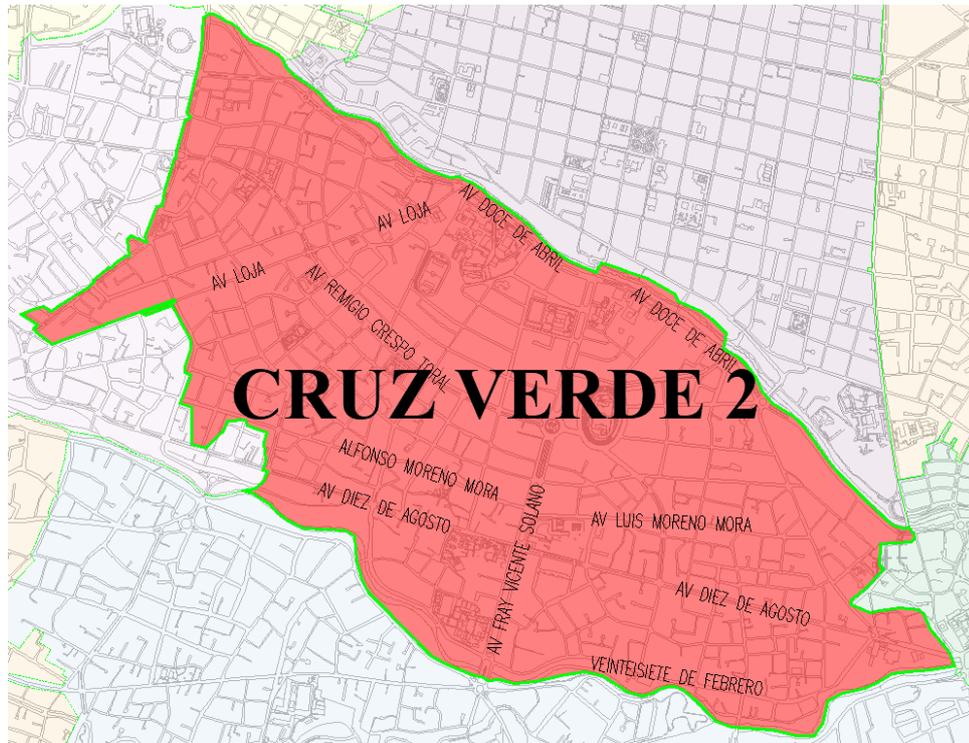


Figura 0.2 Sector 4B2 (Cruz Verde 2).

Fuente: ETAPA EP

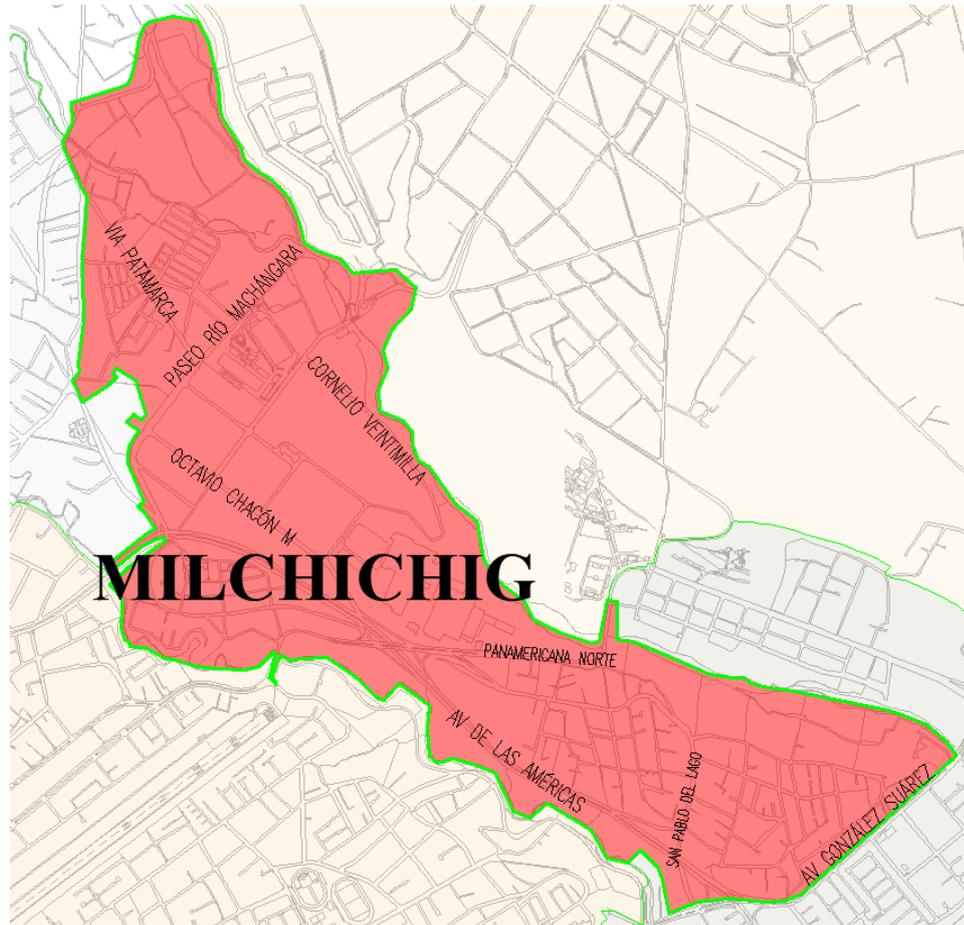


Figura 0.3 Sector 6A (Milchichig).

Fuente: ETAPA EP

En este proyecto se elabora los modelos de sectorización de los sistemas de distribución la red de agua potable de los sectores 4B2 (Cruz Verde 2) y 6A (Milchichig) de la ciudad de Cuenca. Para esto, en el primer capítulo se menciona los fundamentos teóricos que requiere un modelo de sectorización de la red de agua potable; además, se recopila toda la información necesaria para actualizar el modelo, y se procesan los datos de presiones tomadas en campo. En el segundo capítulo se realiza una calibración del modelo de la red abierta del sistema distribución de la red de agua potable; y, en el tercer capítulo se implementa la técnica de sectorización en el modelo y se lo calibra, con la intención de que evidencie el funcionamiento real de la red; luego, se realiza el análisis y comparación del modelo sectorizado con el modelo a red abierta. Finalmente, se proyecta el modelo de sectorización para los próximos 25 años en intervalos de 5 años, y se evalúan los cambios en cada uno de estos con respecto de la actualidad.

## **Antecedentes**

En el cantón Cuenca, ETAPA EP está enfocada en la ejecución de proyectos de agua potable, alcantarillado, saneamiento y telecomunicaciones, sus constantes cambios con el fin de evolucionar le han permitido a esta empresa convertirse en una de las pioneras a nivel local y nacional debido a su gran esfuerzo en cumplir objetivos usando tecnología de punta en sus proyectos de gran índole.

ETAPA EP se mantiene trabajando en mejora de la calidad de servicios brindados, junto con una autogestión económica que permita el mantenimiento de obras existentes y la ejecución de nuevas obras incrementando el nivel profesional de sus empleados, siempre pensando en el bienestar de la comunidad (Sanchez, 2000).

El sistema de abastecimiento de agua del cantón Cuenca se encuentra funcionando desde 1940. Debido al incremento poblacional y con el objetivo de ajustarse a las necesidades de los habitantes de Cuenca, este sistema se ha ido ampliando con el fin de garantizar un servicio óptimo, llegando a obtener una cobertura mayor al 98% cumpliendo con los parámetros que se encuentran en las normas nacionales (ETAPA EP, 2019).

En el año 1984, tomando en cuenta la Primera Fase de los Planes Maestros de la empresa ETAPA EP nace el Programa de Reducción y Control de Pérdidas (PRCP) con el fin de “reducir y mantener los niveles de pérdidas de agua potable en parámetros técnico-económicos aceptables, es decir hasta que la pérdida económica que ellos representen se igualen o sean inferiores a los gastos que significarían reducirlos más”, debido a varios motivos, uno de ellos, recursos económicos, el programa se realizó en forma discontinua lo que ocasionó que los volúmenes de Agua No Contabilizada se incrementen (ETAPA EP, 2019).

Es por esto que, en el año 2000, la gerencia de ETAPA EP debido a un incremento desmedido del índice de Agua No Contabilizada, llegando hasta un 54%, reactiva el Programa de Reducción y Control de Pérdidas (PRCP) con la creación de la Unidad de Control de Agua No Contabilizada (UCANC).

Actualmente el Departamento de Aseguramiento de Ingresos de Agua y Saneamiento (DAIAS) ha venido trabajando con el personal técnico necesario y los equipos actualizados, priorizando desde un inicio la disminución del índice de Agua No Contabilizada (ANC) beneficiando a la empresa, al cantón Cuenca y a todos sus habitantes.

La UCANC desde su creación, que luego se convirtió en el DAIAS ha cumplido varios objetivos como la Sectorización y Subsectorización de la totalidad de los sectores del área urbana de la Ciudad de Cuenca, además de la disminución del índice de Agua No Contabilizada a valores que bordean el 30% en el año 2010 como se lo tenía programado (ETAPA EP, 2019).

### **Justificación**

A partir de la revisión de la información documental de ETAPA EP, se difiere que las modelaciones de las redes de distribución de los sectores 4B2 y 6A no están actualizadas al año 2019, por lo que, al correr la simulación de estos, los resultados no se ajustan a la realidad de la red instalada en estos sectores, debido a que por el crecimiento de la población la red ha sufrido cambios, tratando de adecuarse a las necesidades de la actualidad.

En ese contexto es necesario realizar una actualización de los modelos y correr su simulación, a partir de esto determinar puntos específicos para la toma de presiones en campo que servirán para la calibración del modelo, de ese modo se obtendrán resultados que se ajusten más a la realidad del funcionamiento de la red instalada.

El modelo de sectorización complementa este trabajo, ya que la división en subsectores con el uso de válvulas de control y de operación permite un mayor control de la red, lo que generará beneficios como: optimización en mantenimiento, un mejor servicio, disminución de fugas, ahorro económico, etc.

### **Alcance**

- ✓ Obtener las modelaciones actualizadas de las redes de los sectores 4B2 y 6A, de esta manera se consiguen los modelos de red abierta para implementar la técnica de sectorización propuesta.
- ✓ Obtener todos los datos necesarios para conocer, modelar, calibrar y evaluar la situación actual en la que se encuentra el sistema de distribución de agua potable de los sectores 4B2 y 6A.
- ✓ Realizar todas las modelaciones necesarias con los diferentes escenarios de las proyecciones propuestas, para poder ser comparadas entre cada una ellas y con respecto a la situación actual del sistema de distribución.
- ✓ Obtener los modelos sectorizados y calibrados para los sectores 4B2 y 6A, que, cumpliendo con todos los parámetros establecidos, sea la más efectiva desde los puntos de operatividad, mantenimiento y durabilidad.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Crear un modelo de sectorización óptimo para el sistema de distribución de la red de agua potable que represente las mejores condiciones de trabajabilidad y operación de dicho sistema.

### **Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar las condiciones actuales en las que se encuentra el sistema de distribución de la red de agua potable.
- ✓ Simular el modelo de sectorización en donde se pueda optimizar y reducir las pérdidas en cada tramo, y aumentar las presiones en los puntos más desfavorables.
- ✓ Comparar las mejoras que se han obtenido con el modelo de sectorización, con respecto de la situación actual en la que se encuentra el sistema de distribución de la red agua potable.
- ✓ Realizar el modelo implementando la sectorización con una proyección a 25 años y compararlo con la modelación actual.

## **1. CAPÍTULO I: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.**

### **1.1 Conceptos preliminares.**

Según la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA) en sus “NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES” (NORMA CO 10.07-601, 1992) se presentan las siguientes definiciones:

#### **1.1.1 Agua potable**

“Es el agua apta para el consumo humano, agradable a los sentidos, libre de microorganismos patógenos y de elementos y sustancias toxicas en concentraciones que puedan ocasionar daños fisiológicos a los consumidores” (p.40).

#### **1.1.2 Agua cruda**

Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características físicas, químicas, radiológicas, biológicas o microbiológicas. Para efectos de estas normas el agua proveniente de sistemas de alcantarillado o cualquier otro sistema que altere sus propiedades físicas, químicas, radiológicas, biológicas y microbiológicas y que requiera tratamientos especiales para hacerla potable, no se considera como agua cruda. La contaminación encontrada en el agua cruda debe ser de origen natural, causada por fenómenos propios de la cuenca o acuífero. (p.40)

#### **1.1.3 Dotación**

“Caudal de agua potable consumido diariamente, en promedio, por cada habitante. Incluye los consumos doméstico, comercial, industrial y público” (p.40).

#### **1.1.4 Conducción**

“Conjunto de conductos, obras de arte y accesorios destinados a transportar el agua procedente de la fuente de abastecimiento, desde el lugar de la captación hasta los tanques de almacenamiento o la planta de tratamiento” (p.40).

#### **1.1.5 Caudal de diseño**

“Caudal necesario para atender la demanda al final del período de diseño” (p.59).

#### **1.1.6 Red de distribución**

“Conjunto de tuberías y accesorios que permitan entregar el agua potable a los usuarios del servicio” (p.259).

### **1.1.7 Sistema de distribución de una red de agua potable**

Una red de distribución es un conjunto de tuberías y accesorios el cual permite entregar principalmente agua potable a los usuarios del servicio como: viviendas, comercios y la pequeña industria; si el servicio posee buenas condiciones podría llegar a abastecer a las grandes industrias. Un propósito secundario es la distribución de agua en condiciones apropiadas para extinguir incendios (NORMA CO 10.07-601, 1992).

### **1.1.8 Planta potabilizadora de agua**

Son estructuras que efectúan procesos y operaciones unitarias mediante equipos y materiales necesarios para remover contaminantes microbiológicos, físicos y químicos, para de esta manera poder obtener agua potable a partir de agua cruda (NORMA CO 10.07-601, 1992).

### **1.1.9 Información catastral**

Es el registro de bienes, ya sean estos edificios, extensión geográfica o servicios básicos, que contiene documentos y datos referentes a infraestructura y ubicación. Para la modelación de las redes de distribución es necesario contar con el catastro que registre datos de las plantas de tratamiento, tanques de distribución, sectores y accesorios (Romero, 2015).

### **1.1.10 Pérdida de agua potable**

Se da una pérdida de agua potable cuando existe una diferencia de valores entre el agua que ingresa al sistema de distribución, y el consumo de las conexiones prediales. Se producen por pérdidas físicas como: reboses, roturas y errores de macromedición; y pérdidas comerciales como: sub-medición, usos especiales, usos clandestinos y errores de estimación (ETAPA EP, 2019).

### **1.1.11 Fuga**

Las fugas se dan generalmente en reboses de reservas, roturas de tuberías y acometidas domiciliarias, su principal causa se da por no tener un adecuado sellado en todos los puntos de un sistema de distribución (ETAPA EP, 2019).

“Una fuga es un escape físico de agua en cualquier punto del sistema de agua potable o alcantarillado; esta puede ocurrir en conducciones, tanques de almacenamiento, redes de distribución, conexiones domiciliarias y dentro de las casas de los usuarios” (Bourguett & Ochoa, 2001, p.11).

### 1.1.12 Micromedición

Es un método que se utiliza para poder conocer los datos del consumo de agua de la población, y éstos se pueden obtener por: sistema, sector o subsector; y también por categorías como: comercial, residencial, industrial, etc. (ETAPA EP, 2019).

### 1.1.13 Macromedición

Es un método que sirve para contabilizar el caudal que es entregado a cada sistema y sector de distribución. Este método trabaja conjuntamente con la micromedición para la obtener en cada zona los datos exactos del índice de agua no contabilizada (IANC%) (ETAPA EP, 2019).

### 1.1.14 Índice de agua no contabilizada (IANC)

Es el parámetro de control que da a conocer la relación entre volúmenes de agua producida y consumida. (ETAPA EP, 2019)

$$IANC\% = \frac{Vp - (Vm + Ve)}{Vp} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

IANC%: Índice de agua no contabilizada

Vp: Volumen producido o macro medido, distribuido desde plantas y/o reservas (m3).

Vm: Volumen micromedido (m3).

Ve: Volumen estimado. (Volumen utilizado por los usuarios, pero no medido por la institución) (m3).

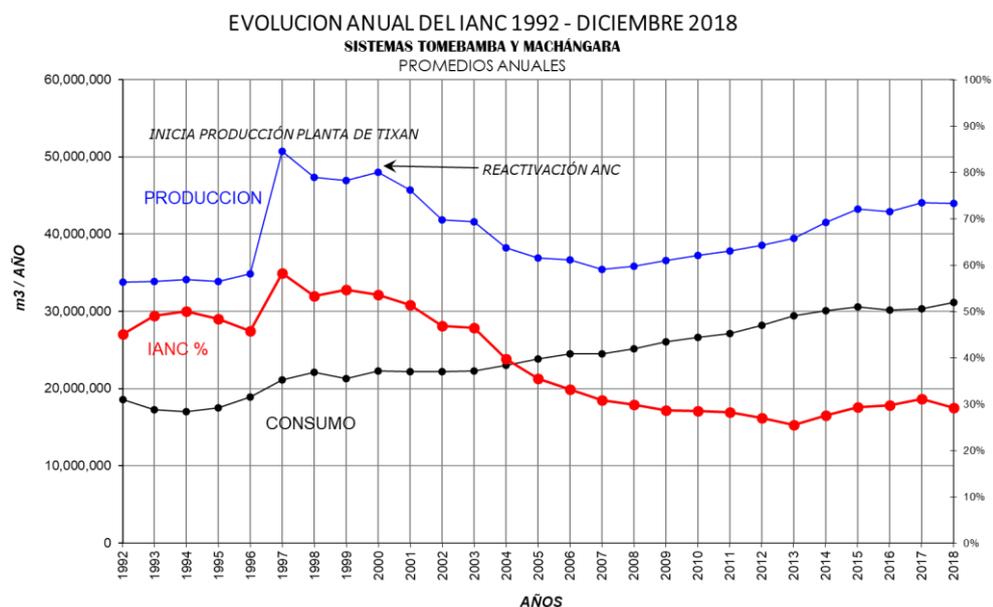


Figura 1.1 Evolución anual del IANC desde 1992 hasta diciembre del 2018 de los sistemas Tomebamba y Machángara

Fuente: ETAPA EP

### 1.1.15 Sectorización de una red de agua potable

El principal objetivo de implementar la sectorización en un sistema de distribución es incrementar su eficiencia en el funcionamiento, lo que permite obtener un mayor control de presiones, pérdidas y detección de fugas dentro del sistema. Esta técnica implica formar sub redes aisladas que a su vez están interconectadas hidráulicamente entre sí mediante líneas de conducción (Guzmán, 2012).

## 1.2 Descripción de los sectores

### 1.2.1 Sector 4B2

El sector 4B2 está delimitado de la siguiente manera (Figura 1.2):

Norte: Río Tomebamba.

Sur: Río Yanuncay.

Este: Sectores 4A (Av. 12 de Abril) y 6B (calle de los Tomillos y Retamas).

Oeste: Sector 3.2 (Av. Unidad Nacional).

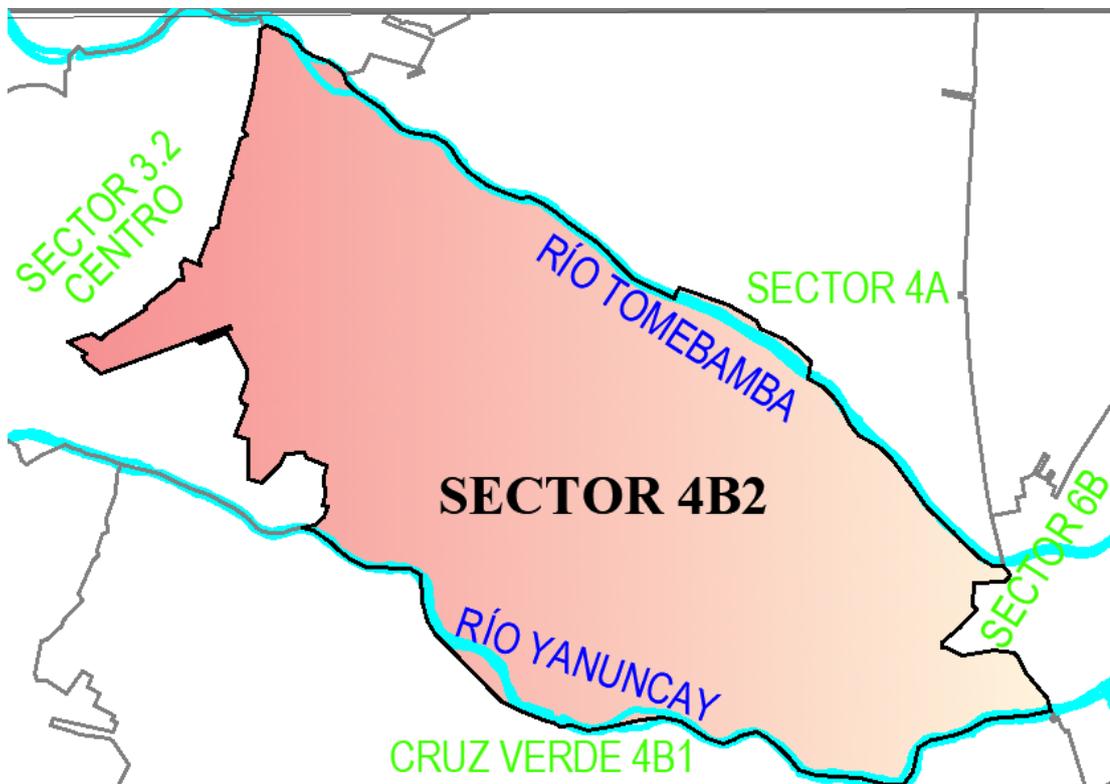


Figura 1.2 Delimitación del sector 4B2

Fuente: ETAPA EP

El sector 4B2 pertenece a Cruz Verde 2 que es parte de la zona 3 Tomebamba, está ubicada en la parte baja de la ciudad; la red de distribución de este sector es alimentada por el centro de reserva de Cruz Verde que posee una capacidad de almacenamiento

de 6,000 m<sup>3</sup>, además, es abastecida por la planta potabilizadora de El Cebollar, la cual tiene una capacidad instalada de 1,000 l/s que también abastece al sector 4B1 (Cruz Verde 1).

La red de distribución en este sector llega a tener una longitud de 85.6 km (Tabla 1.1), y para su operación ha sido dividido en 14 subsectores, cuya distribución se puede observar a continuación (Figura 1.3).

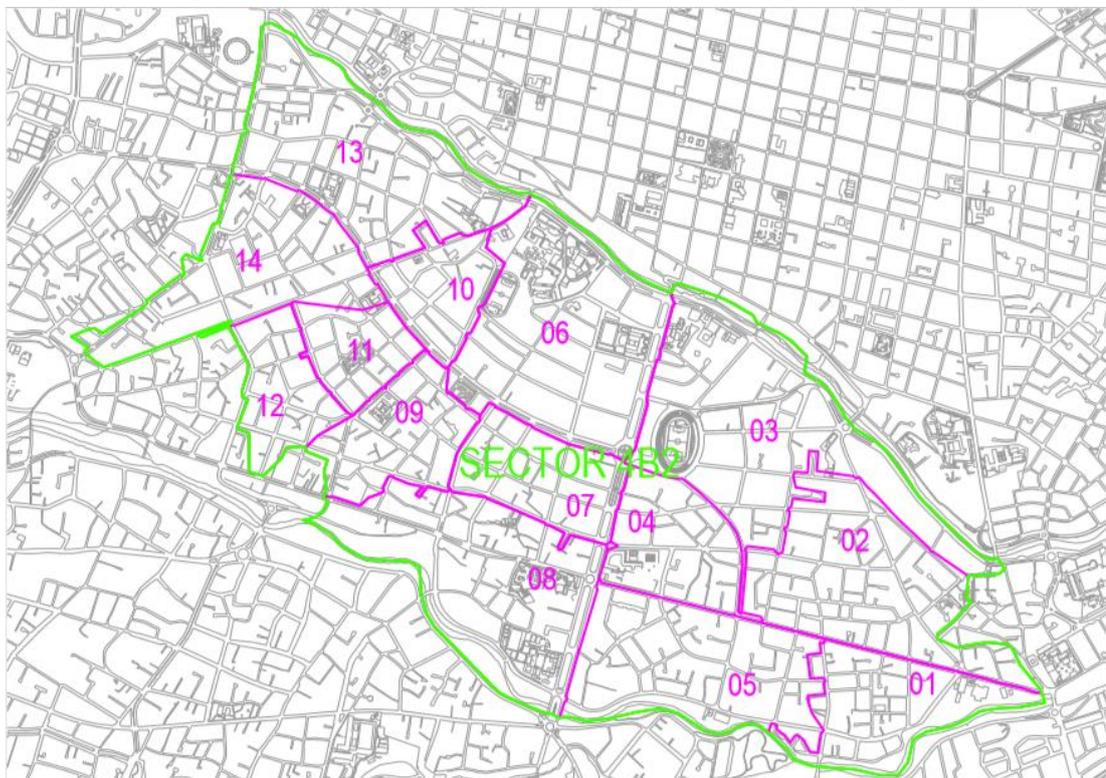


Figura 1.3 Sector 4B2, distribución de subsectores

Fuente: ETAPA EP

### 1.2.2 Sector 6A

El sector 6A está delimitado de la siguiente forma (Figura 1.4):

Norte: Río Machángara

Sur: Río Milchichig y sector 7 (Av. Gonzales Suarez).

Este: Sector 7 (Av. Gonzales Suarez).

Oeste: Río Milchichig y sector Ri3 (Av. Del Toril).

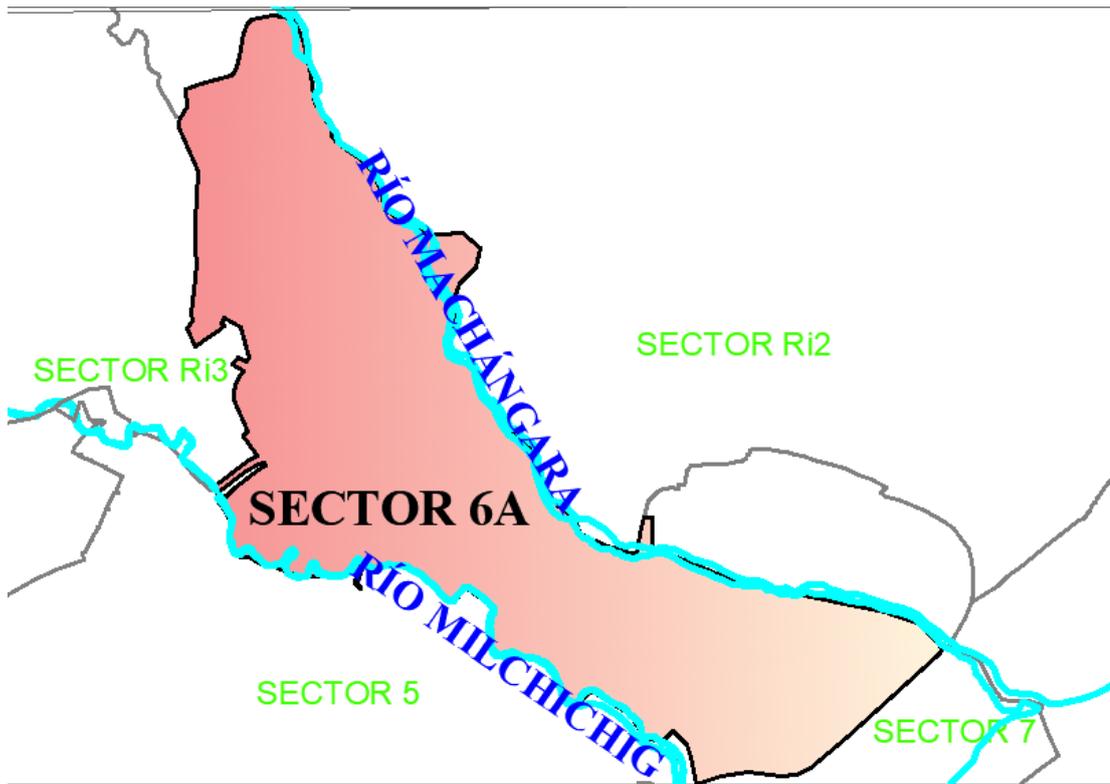


Figura 1.4 Delimitación del sector 4B2

Fuente: ETAPA EP

El sector 6A pertenece a Milchichig, es parte de la zona 5 Machángara y está ubicado al este de la ciudad. La red de distribución de este sector es alimentada por el centro de reserva de Milchichig que posee una capacidad de reserva de 6,000m<sup>3</sup>; además, es abastecida por la planta potabilizadora de Tixán, la cual tiene una capacidad instalada de 1800 l/s.

La red de distribución en este sector llega a tener una longitud de 37.22 km (Tabla 1.2), y para su operación ha sido dividido en 9 subsectores, cuya distribución se puede observar a continuación (Figura 1.5).

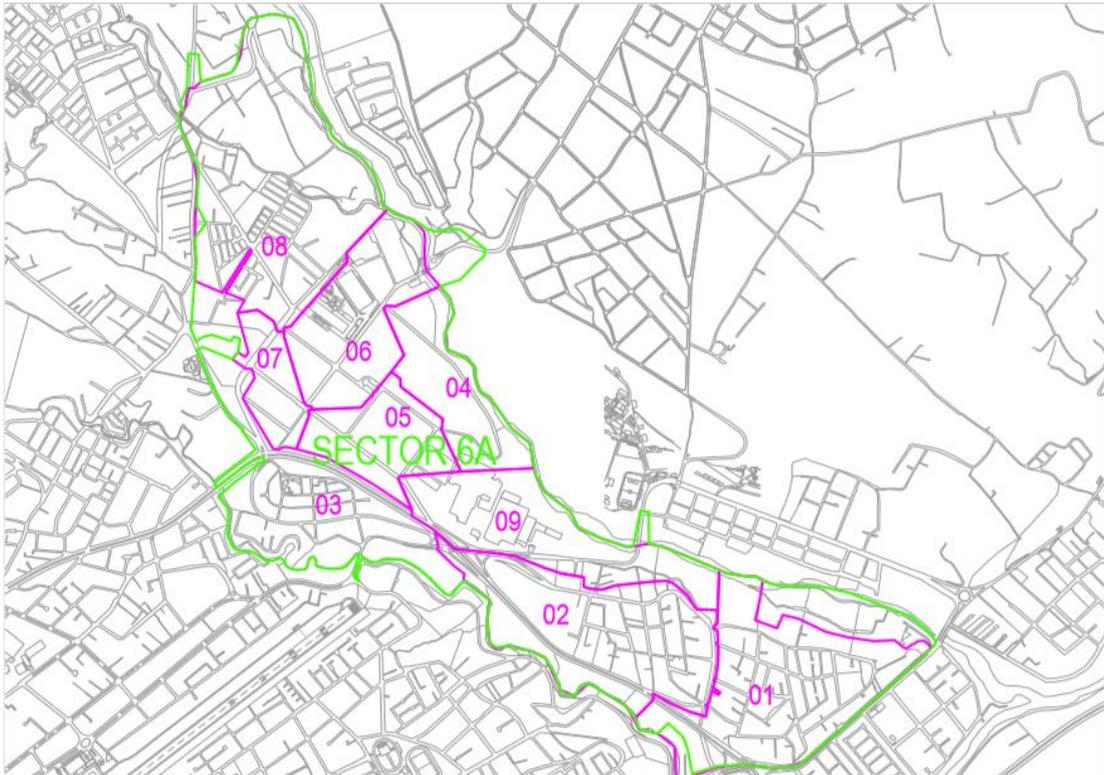


Figura 1.5 Sector 6A, distribución de subsectores

Fuente: ETAPA EP

### 1.3 Softwares utilizados

#### 1.3.1 AutoCAD Map 3D

AutoCAD Map 3D de la empresa Autodesk es la plataforma líder en la ingeniería para crear y administrar datos espaciales. Este software combina la potencia del diseño asistido por computadora (CAD) con las herramientas más poderosas del sistema de información geográfica (SIG). De esta forma cierra las brechas entre el CAD y el SIG, permitiendo integrar en un solo entorno las funciones del SIG con los procesos de diseño (Autodesk, 2019).

A través de las herramientas del software se permite editar y exportar información con un formato determinado como el SHP, el cual puede ser cargado en el software ArcMap para analizar y añadir más información, complementando de esta forma los trabajos de ingeniería.

#### 1.3.2 ArcMap

Es la aplicación central utilizada en ArcGIS, en la cual se permite visualizar y explorar los dataset SIG del área de estudio en donde se puede asignar símbolos y crear los diseños de mapa para imprimir.

Esta aplicación representa la información geográfica mediante una colección de capas y otros elementos importantes como es el marco de datos. También ayuda en la realización de tareas como: trabajar con capas, compilar y editar datasets SIG, utilizar geoprocésamiento para automatizar el trabajo y realizar análisis, organizar y administrar geodatabases y documentos de ArcGIS, documentar la información geográfica, etc. (esri, 2019).

### 1.3.3 WaterGEMS

El software WaterGEMS es una herramienta de mucha ayuda para los profesionales dedicados al diseño, planificación y operación de sistemas de distribución de agua, este software facilita la toma de decisiones, brinda una gran ayuda en la mejora del conocimiento acerca del comportamiento de la infraestructura de los sistemas diseñados. También proporciona herramientas de software para: planificación inteligente para la fiabilidad del sistema, operaciones optimizadas para la eficiencia del sistema y soporte fiable a las decisiones sobre renovaciones de activos para la sustentabilidad del sistema (Bentley Systems Incorporated, 2019).

### 1.4 Levantamiento de información de la red existente.

Las redes de los sectores 4B2 y 6A del cantón Cuenca en la actualidad están formadas por tuberías y varios accesorios de distintos diámetros, y materiales como: policloruro de vinilo (PVC), asbesto-cemento (AC) y hierro dúctil (HD).

Estas redes han ido sufriendo varios cambios con el pasar de los años de acuerdo al crecimiento poblacional del cantón. En la Unidad de Control de Agua No Contabilizada (UCANC) de ETAPA EP nos supieron facilitar el manual de operación de los sectores, en el cual encontramos la clasificación de la tubería de distribución de los sectores 4B2 (Tabla 1.1) y 6A (Tabla 1.2), aquí podemos apreciar las longitudes de las tuberías de los sectores, clasificadas por diámetro y material.

Tabla 1.1 Clasificación de la tubería de distribución del sector 4B2

MATERIAL		PVC	AC	HD	TOTAL
<b>DIÁMETRO TUBERÍA (mm)</b>	<b>50-63</b>	36483.8	14392.0	249.7	51125.5
	<b>100-110</b>	11132.3	2515.1	0.0	13647.4
	<b>150-160</b>	2633.8	1495.8	0.0	4129.6
	<b>200</b>	2748.1	7391.2	0.0	10139.3
	<b>250</b>	550.0	3251.4	0.0	3801.4

MATERIAL	PVC	AC	HD	TOTAL
<b>300/315</b>	1275.3	635.0	0.0	1910.3
<b>350/355</b>	267.1	0.0	0.0	267.1
<b>400</b>	565.3	0.0	0.0	565.3
<b>450</b>	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>LONGITUD TOTAL (m)</b>	<b>55655.7</b>	<b>29680.5</b>	<b>249.7</b>	<b>85585.9</b>

Fuente: ETAPA EP

Tabla 1.2 Clasificación de la tubería de distribución del sector 6A

MATERIAL	PVC	AC	HD	TOTAL
<b>DIÁMETRO TUBERÍA (mm)</b>				
<b>50-63</b>	14597.0	1877.4	0.0	16474.4
<b>100-110</b>	8854.0	360.0	0.0	9214.0
<b>150-160</b>	4510.9	1414.3	0.0	5925.2
<b>200</b>	1825.8	340.0	0.0	2165.8
<b>250</b>	0.0	1844.9	0.0	1844.9
<b>300/315</b>	0.0	995.0	0.0	995.0
<b>350/355</b>	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>450</b>	0.0	0.0	600.0	600.0
<b>LONGITUD TOTAL (m)</b>	<b>29787.7</b>	<b>6831.6</b>	<b>600.0</b>	<b>37219.3</b>

Fuente: ETAPA EP

En el departamento de catastros de ETAPA EP cuentan con la información de emplazamiento y características físicas de las redes del cantón Cuenca, actualizadas al año 2019. Para los sectores estudiados fueron proporcionados los modelos a red abierta con la última actualización realizada en el año 2015. Utilizando varios softwares como AutoCAD Map 3D y ArcMap se actualizaron las redes de los sectores basándose en la información proporcionada correspondiente al año 2019. Este paso es de suma importancia para cumplir el objetivo de crear el modelo de sectorización, ya que, a través de dicha información, con la aplicación de las herramientas respectivas se generan archivos shape que contengan toda la información necesaria para luego ser exportada al software WaterGEMS el cual permite modelar las redes de los sectores para posteriormente con la información recolectada en el campo proceder a la calibración de los modelos, siendo esta la base para aplicar la técnica de sectorización.

## **1.4.1 Componentes de un sistema de abastecimiento**

### **1.4.1.1 Válvula de control**

Este tipo de válvula se encarga del control de los sistemas de distribución al comportarse como un bucle de regulación que permite variar el caudal del flujo, y a su vez hace que este se movilice por una tubería o se detenga antes de llegar a ella, y su función primordial es actuar como un elemento controlador (Guerrero, 2006).

### **1.4.1.2 Válvula de operación**

En este caso dicha válvula actúa de manera similar que las válvulas de control, sin embargo, controla la salida e ingreso del caudal a través de las tuberías para abastecer a un sector o subsector específicamente.

### **1.4.1.3 Válvula de aire**

Las válvulas de aire son utilizadas si se requiere regular el aire durante el llenado dentro de una línea de conducción, ya sea para dejar pasar aire en grandes proporciones dentro de la línea, cuando esta se encuentra vacía; o evacuar el aire acumulado en el sistema cuando la línea de conducción se encuentra llena, para de esta manera proteger la instalación de posibles efectos nocivos en la tubería durante el vaciado de la misma y así evitar roturas o colapso por aplastamiento (González, 2015).

### **1.4.1.4 Válvula de purga**

Cumplen la función de expulsar las impurezas o agentes de contaminación que se desarrollan a través del tiempo dentro de las tuberías, en este estado de desinfección de la red de distribución se evacua el agua siempre y cuando sea necesario, por lo cual estas deben ser instaladas en los puntos más bajos de la red de distribución, puesto que permiten la limpieza periódica de los tramos de tuberías (Vásquez, 2018).

### **1.4.1.5 Estación reductora de presión**

Son empleadas para prevenir que la presiones en las redes de distribución excedan los límites de su funcionamiento, independientemente de las variaciones de la presión de aguas arriba esta válvula permite reducir la presión elevada de las mismas, ya que se mantiene constante aguas abajo puesto que dichas válvulas funcionan con un vástago que reduce la presión (Vásquez, 2018).

### **1.4.1.6 Tanque de almacenamiento**

Dentro de una red de abastecimiento de agua, existe un depósito cerrado el cual sirve para almacenar la cantidad suficiente de agua para satisfacer las variaciones horarias de consumo de una población, ya que es necesario tener agua de reserva en casos en

los que se pueda interrumpir la línea de conducción y dar un servicio eficiente en casos de emergencias (NORMA CO 10.07-601, 1992).

#### 1.4.1.7 Medidor

Es el dispositivo mediante el cual se puede tener un registro o contabilización del volumen del agua que transita a través de él.

#### 1.4.1.8 Hidrante

El hidrante se encuentra conectado a una red de abastecimiento, el cual posibilita que se suministre un caudal de agua suficiente en un tiempo reducido y de manera inmediata, ya sea para el vaciado al momento de realizar el mantenimiento de las redes o en casos de incendio.

#### 1.4.1.9 Nodos

Estos se entienden como el punto por el cual se interceptan los tramos de tubería o en su terminación, estos pueden ser tapones, uniones o cambios de sección.

#### 1.4.1.10 Simbología

En la siguiente imagen se aprecia la simbología de los accesorios que se utilizó en las redes de distribución.

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	Válvula de control
	Válvula de operación
	Válvula de aire
	Válvula de purga
	Estación reductora de presión
	Tapón
	Tanque de almacenamiento
	Medidor
	Hidrante
	Nodo

Figura 1.6 Simbología de los accesorios de la red de distribución

Fuente: Formato catastro de agua potable y alcantarillado ETAPA EP

### 1.4.2 Actualización de los catastros de los sectores

La información que a continuación se va a presentar fue proporcionada por el departamento de catastros de ETAPA EP.

En las siguientes imágenes se presenta la información catastral de las redes de distribución de agua potable de los sectores 4B2 (Figura 1.7) y 6A (Figura 1.8) en su última actualización realizada en el año 2015.



Figura 1.7 Catastro año 2015 de la red de distribución de agua potable sector 4B2

Fuente: ETAPA EP

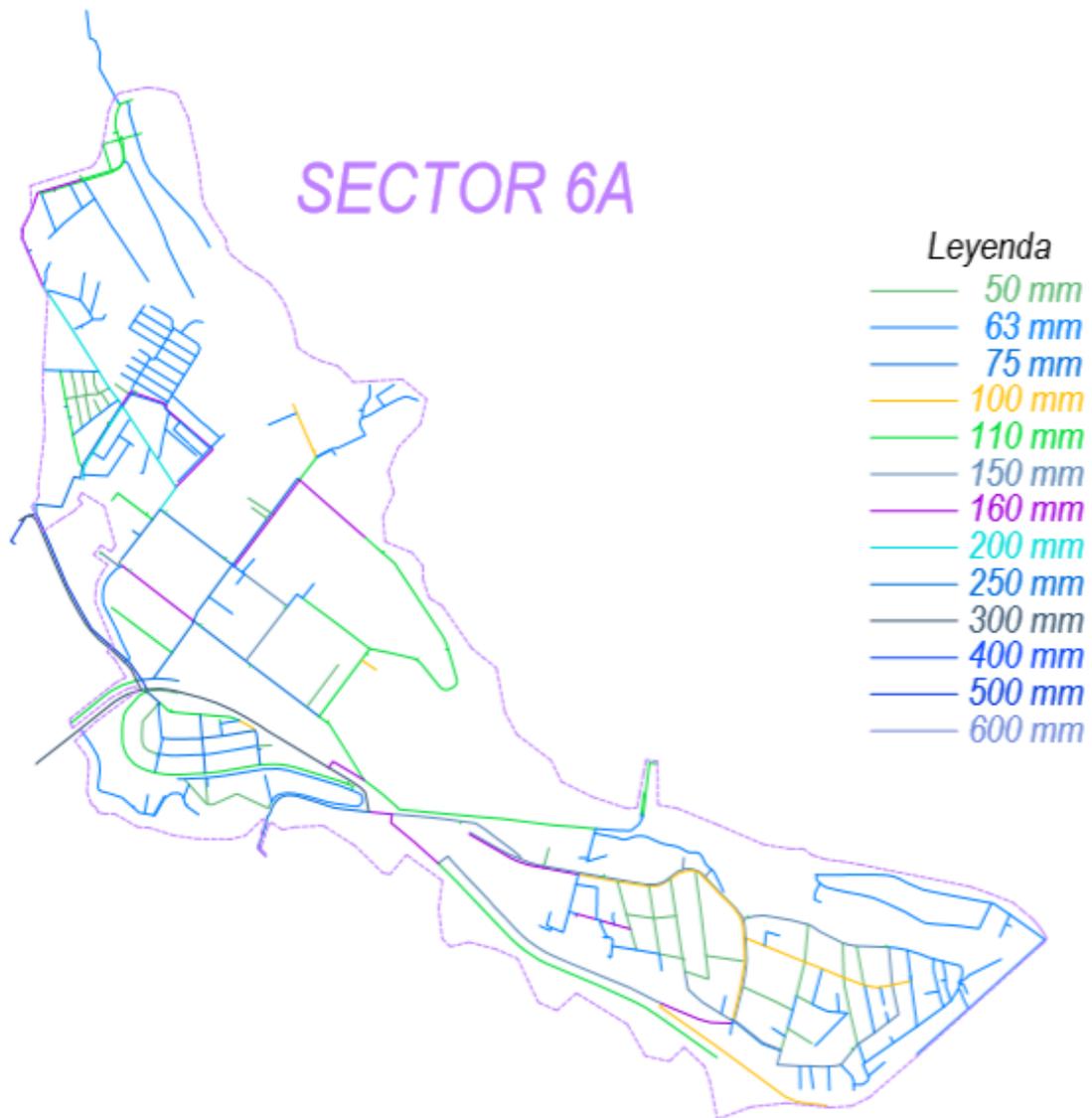


Figura 1.8 Catastro año 2015 de la red de distribución de agua potable sector 6A

Fuente: ETAPA EP

Una vez proporcionada la información de los catastros de las redes de distribución de agua potable del cantón Cuenca correspondientes al mes de octubre del año 2019 (Anexo 1), se pudo trabajar en la actualización de los catastros de las redes de cada sector, procurando traspasar toda la información de importancia como: layer (nombre de la capa que comparten los elementos con características similares), sistema, sector, diámetro, material, zona y coordenadas, en tuberías y accesorios usando el software AutoCAD Map 3D.

Una vez actualizadas las redes de los sectores 4B2 (Anexo 2) (Figura 1.9) y 6A (Anexo 3) (Figura 1.10), usando el comando MAPEXPORT se generaron archivos shape, los cuales contienen la información antes descrita, dichos archivos son exportados al

software ArcMap que permite generar más información necesaria que identifique cada elemento de las redes por separado.



Figura 1.9 Catastro actualizado año 2019 del sector 4B2

Fuente: ETAPA EP

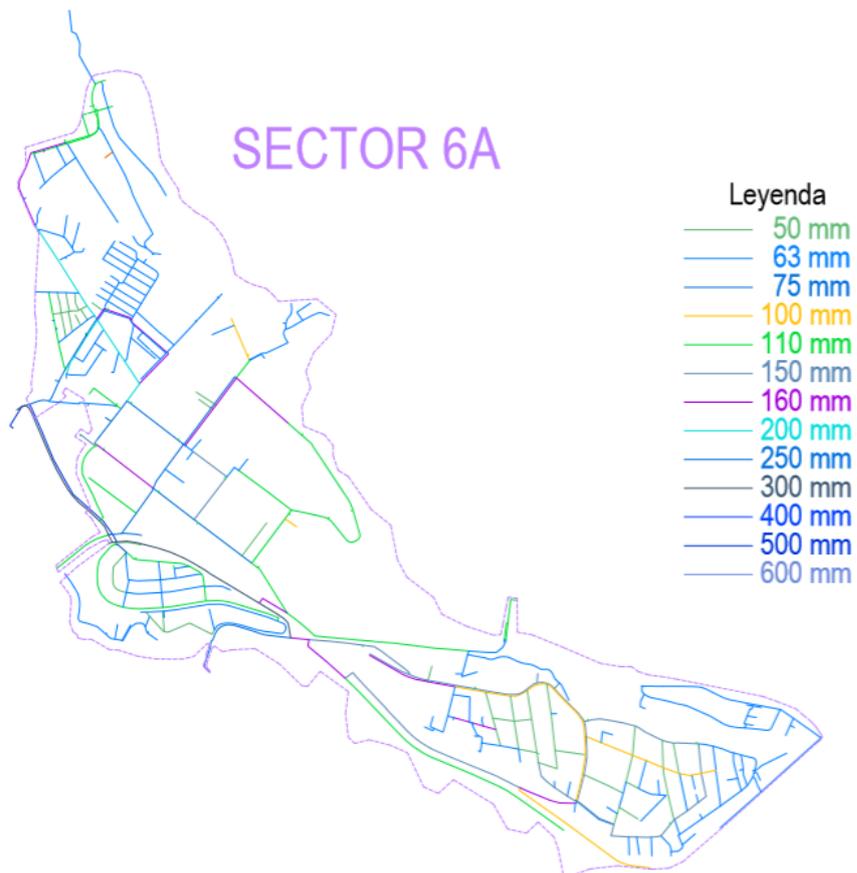


Figura 1.10 Catastro actualizado año 2019 del sector 6A

Fuente: ETAPA EP

### 1.4.3 Medición de campo

Para realizar la calibración de los modelos del sistema de cada sector a red abierta fueron tomadas varias presiones correspondientes al año 2019 del estudio de los autores Martínez y Peralta (2019), llamado “Análisis y Elaboración del mapa de presiones de la red de distribución de Agua Potable de la ciudad de Cuenca”, que se midieron en distintos puntos dispersos del sector 4B2 (Tabla 1.3) y 6A (Tabla 1.4).

Tabla 1.3 Presiones tomadas en el sector 4B2

PUNTO	HORA	UTM X	UTM Y	PRESION (PSI)	PRESION (mca)
1	9:55	720559.80	9679699.60	48	33.8
2	11:04	722625.10	9677727.30	54	38.0
3	11:30	721795.20	9677585.40	44	30.9
4	11:40	721966.30	9678139.70	40	28.1
5	10:15	721372.80	9678498.40	49	34.5
6	10:30	720440.40	9678386.80	39	27.4

Fuente: Análisis y Elaboración del mapa de presiones de la red de distribución de Agua Potable de la ciudad de Cuenca

Tabla 1.4 Presiones tomadas en el sector 6A

PUNTO	HORA	UTM X	UTM Y	PRESION (PSI)	PRESION (mca)
1	10:00	724404.20	9681961.20	50	35.2
2	10:15	724249.30	9682463.60	40	28.1
3	10:25	724468.90	9683119.00	53	37.3
4	10:30	724594.20	9682372.20	50	35.2
5	10:50	725699.60	9681046.10	35	24.6
6	10:55	726203.60	9680623.40	74	52.0
7	11:30	725690.20	9681186.00	95	66.8

Fuente: Análisis y Elaboración del mapa de presiones de la red de distribución de Agua Potable de la ciudad de Cuenca

Para realizar la calibración del modelo implementado la sectorización se consideró necesario realizar nuevas mediciones de presiones en campo que serán detalladas a continuación.

### 1.4.3.1 Sitios de medición

La obtención de las presiones medidas en campo, se realizaron con la ayuda de un manómetro. Los sitios en los que se tomaron las presiones fueron seleccionados estratégicamente, tomando en cuenta puntos críticos de las redes de los sectores y que a su vez estos se encuentren dispersos. De esta manera se escogieron 7 puntos para el sector 4B2 (Figura 1.11) y 7 puntos para el sector 6A (Figura 1.12), los cuales fueron medidos en campo con el respectivo permiso de los usuarios.

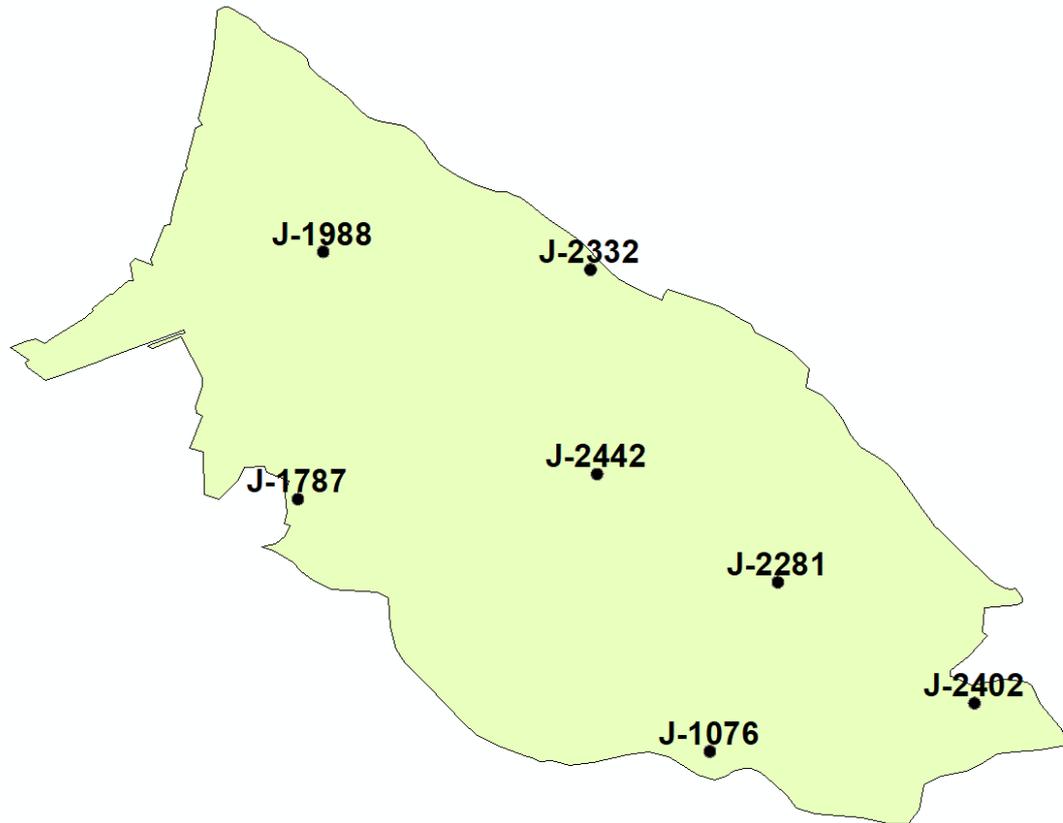


Figura 1.11 Ubicación de presiones medidas en campo. sector 4B2

Fuente: Autores

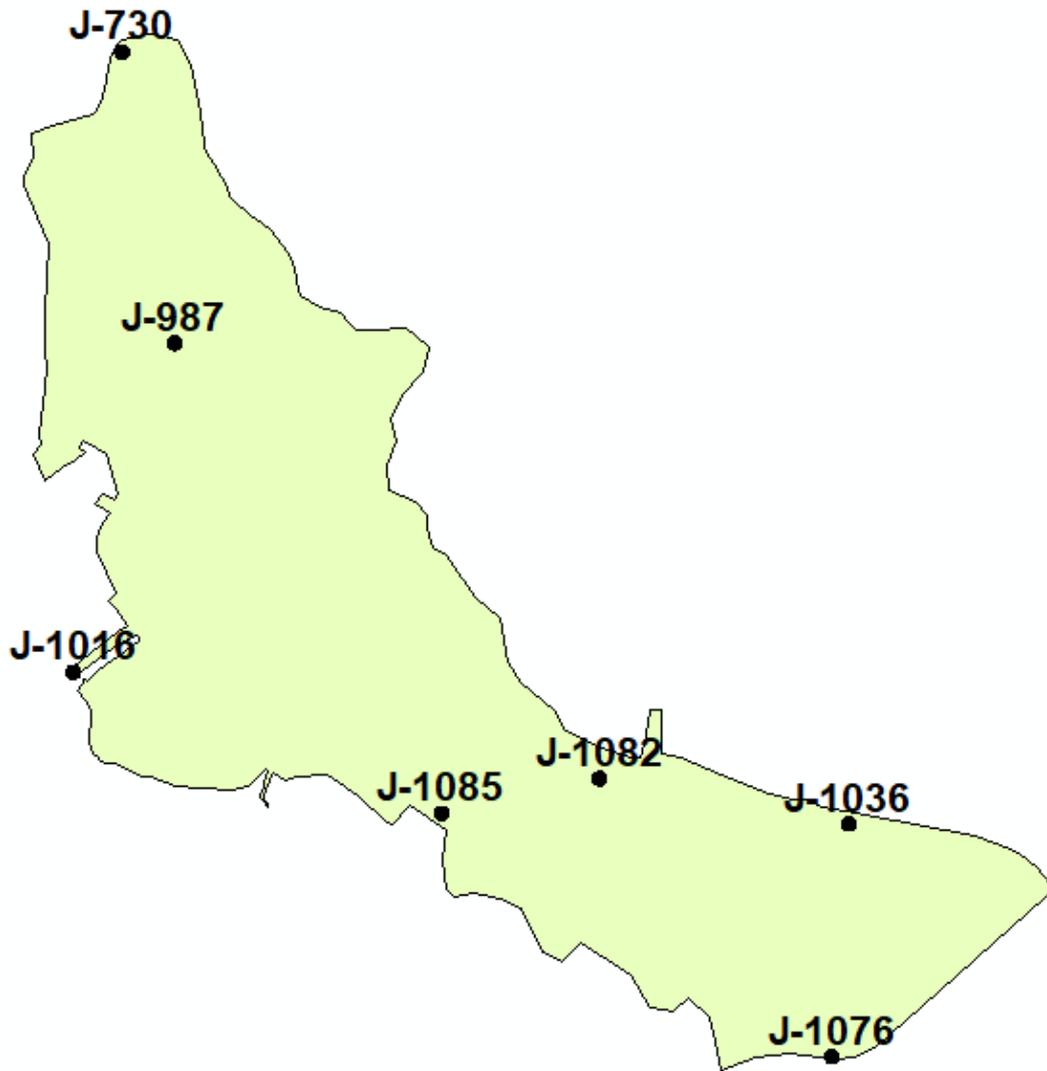


Figura 1.12 Ubicación de presiones medidas en campo, sector 6A

Fuente: Autores

### 1.4.3.2 Lecturas de campo

Las mediciones de presión en campo se las realizaron durante 3 días en el intervalo de 09H00 a 14H00, para posteriormente determinar un promedio de la presión de cada punto. A continuación, se detalla las presiones obtenidas con sus respectivas coordenadas para el sector 4B2 (Tabla 1.5) y para el sector 6A (Tabla 1.6).

Tabla 1.5 Presiones medidas en el sector 4B2

PRESIONES SECTOR 4B2							
NODO	J-2332	J-2442	J-2281	J-1076	J-2402	J-1787	J-1988
UTM X	721438.1	721396.8	721984.4	721788.3	722686.9	720460.9	720523.8
UTM Y	9679133	9678493	9678123	9677581	9677754	9678380	9679265.7
Hora	9:50	10:05	10:15	10:22	10:33	10:55	11:10

PRESIONES SECTOR 4B2								
NODO		J-2332	J-2442	J-2281	J-1076	J-2402	J-1787	J-1988
<b>DIA 1</b>	Presión (psi)	35	46	50	45	63	36	53
	Presión (mca)	24.6	32.3	35.2	31.6	44.3	25.3	37.3
<b>DIA 2</b>	Hora	9:23	9:35	9:42	9:50	9:55	10:05	10:16
	Presión (psi)	34	41	44	39	62	37	50
	Presión (mca)	23.9	28.8	30.9	27.4	43.6	26.0	35.2
<b>DIA 3</b>	Hora	9:08	9:17	9:25	9:42	9:50	10:00	10:08
	Presión (psi)	38	48	40	46	64	37	53
	Presión (mca)	26.7	33.8	28.1	32.3	45.0	26.0	37.3
<b>Prom</b>	Presión (psi)	35.7	45.0	44.7	43.3	63.0	36.7	52.0
	Presión (mca)	25.1	31.6	31.4	30.5	44.3	25.8	36.6

Fuente: Autores

Tabla 1.6 Presiones medidas en el sector 6A

PRESIONES SECTOR 6A								
NODO		J-730	J-987	J-1015	J-1082	J-1085	J-1036	J-1076
<b>UTM X</b>		724372.4	724594.2	724328	725778.4	725425.2	726445.6	726334
<b>UTM Y</b>		9683200	9682372	9681581	9681206	9680917	9680998	9680403
<b>DIA 1</b>	Hora	12:16	12:28	12:42	11:47	13:00	11:25	13:49
	Presión (psi)	41	48	19	94	83	56	118
	Presión (mca)	28.8	33.8	13.4	66.1	58.4	39.4	83.0
<b>DIA 2</b>	Hora	11:03	11:09	11:15	11:32	11:20	11:38	11:45
	Presión (psi)	43	50	35	96	83	55	120
	Presión (mca)	30.2	35.2	24.6	67.5	58.4	38.7	84.4
<b>DIA 3</b>	Hora	10:47	10:50	10:53	11:09	10:58	11:20	11:25
	Presión (psi)	42	46	28	96	82	53	119
	Presión (mca)	29.5	32.3	19.7	67.5	57.7	37.3	83.7

PRESIONES SECTOR 6A								
NODO		J-730	J-987	J-1015	J-1082	J-1085	J-1036	J-1076
<b>Prom</b>	Presión (psi)	42.0	48.0	27.3	95.3	82.7	54.7	119.0
	Presión (mca)	29.5	33.8	19.2	67.0	58.1	38.4	83.7

Fuente: Autores



## 2 CAPÍTULO II: MODELACION Y EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE DISTRIBUCION DE RED ABIERTA.

### 2.1 Determinación de población calculada y proyecciones poblacionales

Para determinar las poblaciones futuras necesarias para este estudio, la norma recomienda realizar por lo menos 3 métodos conocidos, permitiendo una comparación entre cada una de ellas, con el fin de orientar el criterio del proyectista. Al final, la población futura elegida será la que considere aspectos que influyan en los movimientos demográficos (NORMA CO 10.07-601, 1992).

La población que se va a proyectar para este estudio está basada en los datos del censo realizado en el año 2010 por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), datos que fueron proporcionados por ETAPA EP.

#### 2.1.1 Población calculada

El número de usuarios de la red de distribución puede ser determinado a través del servicio del sistema de medidores, esta información fue proporcionada por la empresa ETAPA EP en su departamento de catastros (Anexo 4). Estos datos contienen información detallada que más adelante servirá para el cálculo de caudales.

El dato de habitantes por medidor también fue proporcionado en el departamento de catastros, a través de un archivo de tipo xls (Anexo 5) en el cual se muestran como fueron calculados dichos valores siendo: 3.61 hab/medidor para el sector 4B2 y 3.84 hab/medidor para el sector 6A. A partir de esta información, y con el número exacto de medidores por sector se determinó la población calculada para el año 2019 (Tabla 2.1).

$$Poblacion\ calculada = Numero\ de\ medidores \times Hab.\ por\ medidor \quad (2)$$

Tabla 2.1 Población calculada para el sector 4B2 y 6A

SECTOR	# DE MEDIDORES	HABITANTES POR MEDIDOR	POBLACIÓN CALCULADA
4B2	9648	3.61	34830
6A	3713	3.84	14258

Fuente: Autores

### 2.1.2 Cálculo de proyecciones utilizando base poblacional

ETAPA EP también ha proporcionado el archivo shape denominado “Base poblacional” (Anexo 6), en el cual se encuentra información detallada sobre la ubicación, áreas y densidades poblacionales desde el año 2010 hasta el año 2040 para cada sector.

Aplicando la ecuación presentada a continuación, únicamente se ha podido proyectar las poblaciones hasta el año 2040 (Tabla 2.2), debido a que no contamos con información de densidad poblacional (Hab/Ha) más allá de dicho año.

$$Pf = A \times \text{Densidad poblacional} \quad (3)$$

Donde:

Pf: Población futura o proyectada

A: Área (Ha)

Nota: Para el cálculo de la población proyectada la densidad poblacional debe estar en (Hab/Ha).

Tabla 2.2 Poblaciones proyectadas de los sectores 4B2 y 6A, utilizando base poblacional

SECTOR	POBLACIÓN PROYECTADA					
	2019	2025	2030	2035	2040	2045
<b>4B2</b>	22460	22202	22191	22343	22641	-
<b>6A</b>	13433	14583	15472	16292	17031	-

Fuente: Autores

### 2.1.3 Método geométrico

Este método supone que la tasa de crecimiento es proporcional a la población. Dicha tasa de crecimiento poblacional para el cantón Cuenca es del 3% para el área rural, y del 2% para el área urbana (ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE CUENCA, 2015).

Ya que los sectores de estudio pertenecen al área urbana del cantón, se tomó como tasa de crecimiento poblacional el 2% para aplicarlo en la siguiente ecuación. Obteniendo las proyecciones poblacionales mostradas en la Tabla 2.3.

$$Pf = Pa \times (1 + r)^n \quad (4)$$

Donde:

Pf: Población futura o proyectada

Pa: Población actual

r: Tasa de crecimiento poblacional (2%)

n: Periodo de proyección (años)

Tabla 2.3 Poblaciones proyectadas de los sectores 4B2 y 6A, obtenidas con el método geométrico

SECTOR	POBLACIÓN PROYECTADA					
	2019	2025	2030	2035	2040	2045
<b>4B2</b>	22460	25294	27927	30833	34042	37585
<b>6A</b>	13433	14259	14987	15751	16555	17399

Fuente: Autores

#### 2.1.4 Método aritmético o lineal

En base a las poblaciones obtenidas con el uso del archivo shape denominado “Base poblacional”, se estimó la tasa de cambio poblacional (Tabla 2.4) de la siguiente manera.

$$Ka = \frac{\text{Pobalcion año 2040} - \text{Pobalcion año 2019}}{2040 - 2019} \quad (5)$$

Este método supone que el crecimiento poblacional es constante respecto al tiempo; es decir, las tasas de crecimiento poblacional son constantes año tras año. Mediante este método se obtuvieron las proyecciones poblacionales mostradas en la Tabla 2.5.

$$Pf = Po + Ka \times n \quad (6)$$

Donde:

Pf: Población futura o proyectada

Po: Población actual

Ka: Tasa de cambio poblacional, para este método es constante

n: Periodo de proyección (años)

Tabla 2.4 Tasa de crecimiento poblacional para el método aritmético

SECTOR	AÑO	POBLACION	Ka
<b>4B2</b>	2019	22460	9
	2040	22641	
<b>6A</b>	2019	13433	171
	2040	17031	

Fuente: Autores

Tabla 2.5 Poblaciones proyectadas de los sectores 4B2 y 6A, obtenidas con el método aritmético

SECTOR	POBLACIÓN PROYECTADA					
	2019	2025	2030	2035	2040	2045
<b>4B2</b>	22460	22514	22559	22604	22649	22694
<b>6A</b>	13433	14459	15314	16169	17024	17879

Fuente: Autores

Una vez determinadas las proyecciones poblacionales por cada uno de los métodos ya mencionados, a continuación, se presenta su incremento poblacional en la Figura 2.1 para el sector 4B2 y Figura 2.2 para el sector 6A; teniendo en cuenta que uno de los objetivos de este estudio es realizar una proyección hasta 25 años y al no poseer densidades poblacionales hasta dicho periodo, se decidió utilizar las proyecciones calculadas por el método aritmético para el cálculo de caudales con proyecciones cada 5 años. Si bien es cierto que dicho método es netamente teórico y rara vez se da el caso de este tipo de crecimiento, las poblaciones proyectadas por este método son las que más se asemejan al comportamiento de cada uno de los sectores, por tratarse de sectores ya consolidados poblacionalmente.

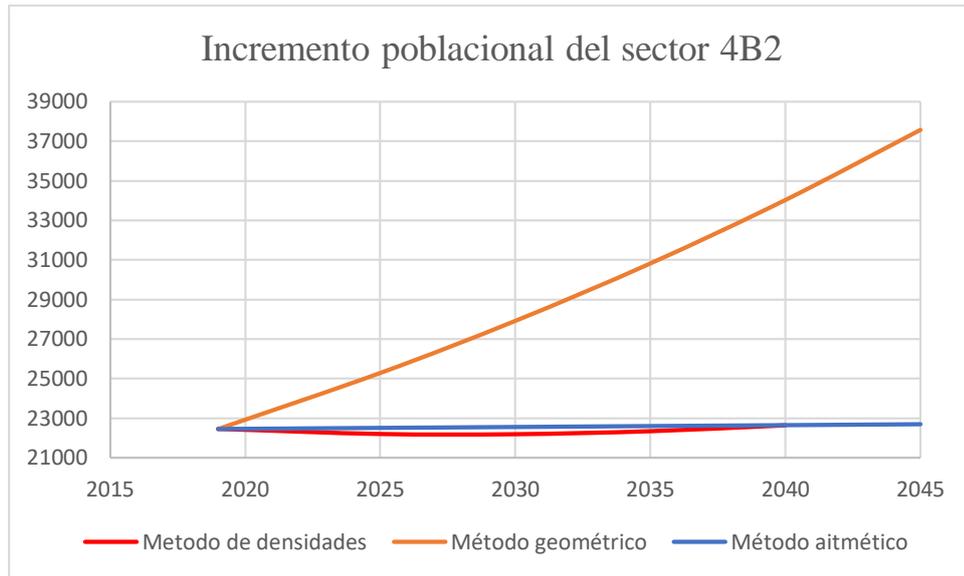


Figura 2.1 Incremento poblacional del sector 4B2

Fuente: Autores

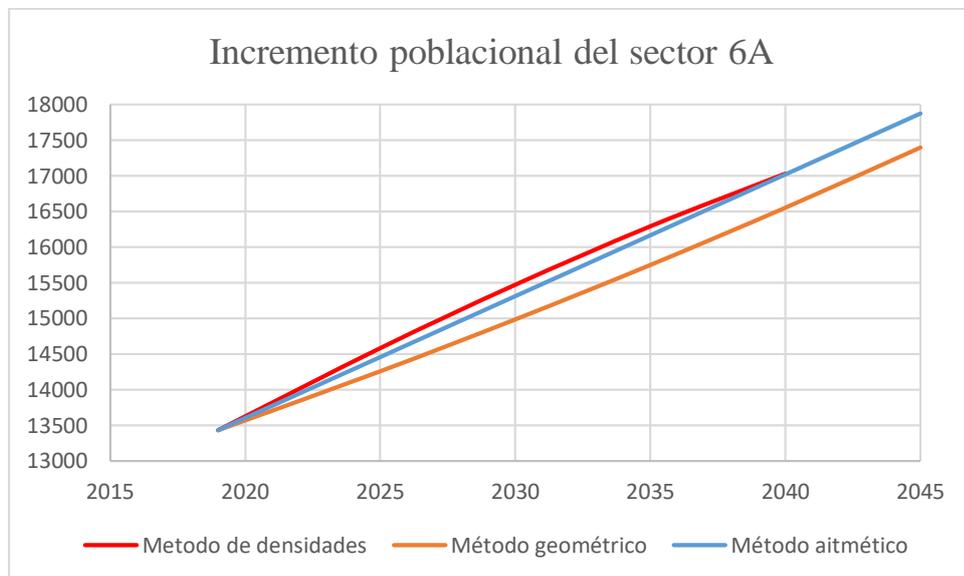


Figura 2.2 Incremento poblacional del sector 6A

Fuente: Autores

## 2.2 Cálculo de Caudales

A través del archivo shape de medidores mencionado anteriormente, tomando en cuenta el dato de instalaciones promedio que se encuentran en dicho archivo, se determinó el caudal de consumo calculado en l/s para cada uno de los sectores, con este dato se procedió a aplicar las fórmulas que a continuación se presentan para calcular el caudal medio ( $Q_m$ ), caudal máximo diario ( $Q_{MD}$ ) y caudal máximo horario ( $Q_{MH}$ ).

A continuación, en la Tabla 2.6 se presentan los valores utilizados por ETAPA EP para cada uno de los siguientes factores que intervienen en el cálculo de caudales.

El factor de fugas (f), el cual representa el porcentaje de fugas a considerarse en el diseño.

El factor KMD, que es la relación entre el caudal máximo diario al caudal medio.

El factor KMH, que es la relación entre el caudal máximo horario al caudal medio.

Tabla 2.6 Factores para el cálculo de caudales

FACTOR	VALOR
<b>f</b>	1.2
<b>KMD</b>	1.25
<b>KMH</b>	1.82

Fuente: ETAPA EP

$$Qd = \frac{(\sum \text{Instalaciones promedio}) \times \text{factor de incremento} \times 1000}{30 \times 86400} \quad (7)$$

Donde:

Qd: Caudal calculado de consumo (l/s)

Instalaciones promedio: Representa el valor del consumo promedio mensual por medidor

Nota: Se considera 30 como el número de días por mes

Con el resultado de poblaciones proyectadas obtenido a través del método aritmético, se realizó una relación entre las poblaciones de cada año con respecto a la población del año 2019 que se encontró en el archivo “Base poblacional”, esta relación se usó como un factor de incremento (Tabla 2.7) del número de instalaciones promedio que existirá en cada una de las diferentes proyecciones.

Cabe recalcar que para el sector 4B2 no se encuentran grandes variaciones en el factor de incremento, por considerarse un sector ya consolidado, lo que conlleva a que no se tengan grandes variaciones del caudal de consumo para los distintos escenarios.

Tabla 2.7 Cálculo del factor de incremento para número de instalaciones promedio

AÑO		2019	2025	2030	3035	2040	2045
<b>4B2</b>	Pob proyectada	22460	22514	22559	22604	22649	22694
	Factor de incremento	1	1.002	1.004	1.006	1.008	1.010
<b>6A</b>	Pob proyectada	13433	14459	15314	16169	17024	17879
	Factor de incremento	1	1.076	1.140	1.204	1.267	1.331

Fuente: Autores

$$Q_m = Q_d \times f \quad (8)$$

Donde:

Q<sub>m</sub>: Caudal medio (l/s)Q<sub>d</sub>: Caudal calculado de consumo (l/s)

f: Factor de fugas (Tabla 2.6)

$$Q_{MD} = K_{MD} * Q_m \quad (9)$$

Donde:

Q<sub>MD</sub>: Caudal máximo diario (l/s)K<sub>MD</sub>: Factor de mayoración máximo diarioQ<sub>m</sub>: Caudal medio (l/s)

$$Q_{MH} = K_{MH} * Q_m \quad (10)$$

Donde:

Q<sub>MH</sub>: Caudal máximo horario (l/s)K<sub>MH</sub>: Factor de mayoración máximo horarioQ<sub>m</sub>: Caudal medio (l/s)

Previo a establecer el caudal a ser asumido dentro del software WaterGEMS, se determinó un factor de mayoración o ajuste para cada uno de los sectores (Tabla 2.8), el cual indica el incremento poblacional que va a tener cada uno de los sectores en las diferentes proyecciones poblacionales.

$$FactorM = \frac{Poblacion\ proyectada}{Poblacion\ calculada} \quad (11)$$

Donde:

FactorM: Factor de mayoración o ajuste

Población proyectada: Población en base a las densidades poblacionales

Población calculada: 34830 habitantes para el sector 4B2 y 14258 habitantes para el sector 6A (Tabla 2.1)

Tabla 2.8 Determinación del factor de ajuste

AÑO		2019	2025	2030	3035	2040	2045
<b>4B2</b>	Población Proyectada	22460	22514	22559	22604	22649	22694
	Factor de ajuste	0.645	0.646	0.648	0.649	0.650	0.652
<b>6A</b>	Población Proyectada	13433	14459	15314	16169	17024	17879
	Factor de ajuste	0.942	1.014	1.074	1.134	1.194	1.254

Fuente: Autores

$$QM\text{Hmay} = FactorM \times QMH \quad (12)$$

Donde:

QM<sub>Hmay</sub>: Caudal máxima horario mayorado

FactorM: Factor de mayoración o ajuste

QM<sub>H</sub>: Caudal máxima horario

El factor de ajuste determina que caudal será asignado a cada uno de los nodos de las redes dependiendo del rango en el que se encuentre como se explica a continuación.

Si:

FactorM ≤ 1: Se debe asumir el QM<sub>H</sub>.

1 < FactorM > 2: Se debe asignar el QM<sub>Hmay</sub>.

FactorM ≥ 2: Se debe realizar una redistribución.

De acuerdo a las condiciones anteriores la cuales son sugeridas por ETAPA EP para el cálculo de caudales; para el sector 4B2, el factor de ajuste se encuentra en un rango menor a 0, por lo que, se utiliza el caudal máximo horario para los modelos de cada una de las proyecciones.

En el sector 6A, dicho factor, a partir del año 2025 se encuentra en un rango de entre 1 y 2, por lo que se procede a mayorar el caudal máximo horario como se aprecia en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9 Caudales asumidos en cada proyección poblacional asumida

SECTOR	AÑO	POBLACION ASUMIDA	CONSUMO (l/s)	QM (l/s)	QMD (l/s)	QMH (l/s)	FM	QMH may (l/s)	QMH ASUM (l/s)
4B2	2019	22460	81.135	97.36	121.70	177.199	0.645	114.266	177.199
	2025	22514	81.298	97.56	121.95	177.555	0.646	114.771	177.555
	2030	22559	81.460	97.75	122.19	177.909	0.648	115.229	177.909
	2035	22604	81.622	97.95	122.43	178.262	0.649	115.689	178.262
	2040	22649	81.785	98.14	122.68	178.618	0.650	116.151	178.618
	2045	22694	81.947	98.34	122.92	178.972	0.652	116.612	178.972
6A	2019	13433	48.131	57.76	72.20	105.118	0.942	99.036	105.118
	2025	14459	51.789	62.15	77.68	113.107	1.014	114.691	114.691
	2030	15314	54.870	65.84	82.31	119.836	1.074	128.703	128.703
	2035	16169	57.950	69.54	86.93	126.563	1.134	143.522	143.522
	2040	17024	60.982	73.18	91.47	133.185	1.194	159.023	159.023
	2045	17879	64.063	76.88	96.09	139.914	1.254	175.451	175.451

Fuente: Autores

### 2.3 Construcción y validación de los modelos actualizados en el software WaterGEMS

La información que se ha recopilado para este capítulo fue proporcionada por la empresa ETAPA EP, a través de varios archivos tipo CAD, tipo shape y hojas de cálculo de Excel.

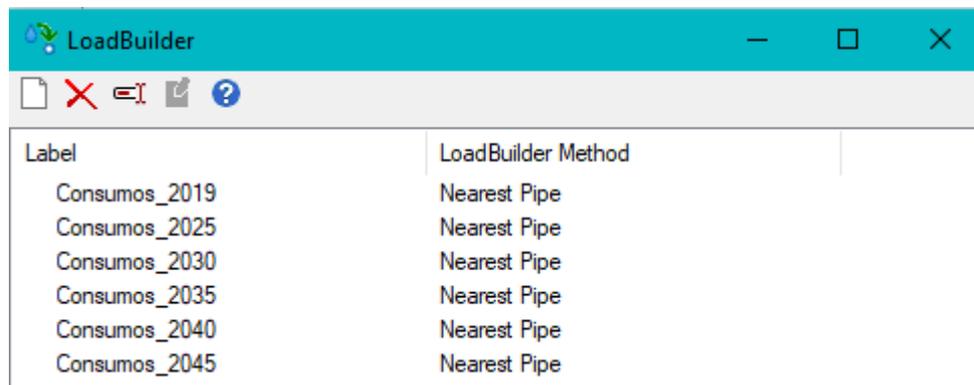
Una vez actualizados los catastros de las redes, la información antes mencionada fue de suma importancia para lograr construir los modelos de las redes actualizados al 2019, de cada uno de los sectores, con la ayuda de los softwares AutoCAD Map 3D, ArcMap, y WaterGEMS.

Una vez exportada la información necesaria al software WaterGEMS y construidos los modelos de las redes actualizados (Anexo 7 y Anexo 8), se procedió a validar la

información con el uso de las herramientas que posee el software mencionado, cerciorándose que todos los elementos estén conectados adecuadamente, hasta que las herramientas del software no arrojen ningún error.

Luego de tener la certeza de que se han validado los modelos, en el software ArcMap se generan los archivos shape, a partir del archivo de medidores proporcionado por ETAPA EP, el cual cuenta con la información de instalaciones promedio distribuidas en cada uno de los sectores, dicha información sirve para generar un consumo independiente para cada medidor y en sus diferentes proyecciones poblacionales; para luego ser cargadas en el software WaterGEMS a través la herramienta *LoadBuilder* eligiendo la opción *Nearest Pipe* (Figura 2.3).

Dicha opción se basa en calcular distancias entre los medidores y la tubería; una vez realizado este cálculo el software asigna automáticamente el consumo del medidor a la tubería más cercana, la suma de estos es asignada como demanda a su respectivo nodo (Bueno, 2016).



The screenshot shows a window titled 'LoadBuilder' with a standard Windows interface. Below the title bar is a toolbar with icons for file operations and help. The main area contains a table with two columns: 'Label' and 'LoadBuilder Method'. The table lists six rows of data, all with 'Nearest Pipe' as the method.

Label	LoadBuilder Method
Consumos_2019	Nearest Pipe
Consumos_2025	Nearest Pipe
Consumos_2030	Nearest Pipe
Consumos_2035	Nearest Pipe
Consumos_2040	Nearest Pipe
Consumos_2045	Nearest Pipe

Figura 2.3 Demandas cargadas en el software WaterGEMS

Fuente: Autores

A continuación, para realizar la carga de las elevaciones del terreno de cada uno de los sectores es necesario contar con un archivo tipo DXF que contenga las curvas de nivel con sus debidas propiedades, el cual fue proporcionado por ETAPA EP (Anexo 9), para poder ser cargado al software WaterGEMS a través de la herramienta *TRex*. Hay que tener en consideración que tanto el software WaterGEMS como el archivo tipo DXF se encuentren en un mismo sistema de unidades, que para este caso es el Sistema Internacional (SI).

## 2.4 Calibración de los modelos.

Este paso que es de suma importancia para la finalidad del proyecto, se lo realiza mediante la herramienta *Darwin Calibrator*, siguiendo los pasos que a continuación se describen:

1. Dando clic en el botón *Darwin Calibrator* que se encuentra en la pestaña de *Analysis*, se abre una ventana en la cual se escoge la opción de *New Calibración Study*, una vez creado este nuevo estudio, se procede a configurar en la pestaña *Field Data Snapshots* los datos de *Label*, *Date* (fecha de hoy) y *Demand Multiplier* como se aprecia en la Figura 2.4.

Label	Date	Time	Time From Start (hours)	Override Scenario Demand Alternative?	Demand Alternative	Demand Multiplier	Notes
1 Dia Promedio	25/11/2019	0:00:00	174,432,000	<input type="checkbox"/>	Base Demand	1,000	

Figura 2.4 Configuración en la pestaña *Field Data Snapshots*

Fuente: Autores

En la pestaña *Roughness Groups* haciendo uso del botón *New* se procedió a crear los materiales de las tuberías, luego se asignó a cada una su respectivo material, los valores del coeficiente de rugosidad sugeridos por ETAPA EP se presentan en la Tabla 2.10. La asignación de los materiales de las tuberías se presenta a continuación en la Figura 2.5 para el sector 4B2 y en la Figura 2.6 para el sector 6A.

Tabla 2.10 Coeficiente de rugosidad según el material de la tubería

MATERIAL	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD
<b>Policloruro de vinilo (PVC)</b>	150
<b>Asbesto-cemento (AC)</b>	140
<b>Hierro dúctil (HD)</b>	130
<b>Hierro fundido (HF).</b>	130

Fuente: Autores

Field Data Snapshots						Roughness Groups						Demand Groups						Status Elements						Calibration Criteria						Notes					
ID	Label	Element IDs				Notes																													
4268	PVC	<Collection: 1053 items>																																	
4269	HD	<Collection: 2 items>																																	
4270	AC	<Collection: 190 items>																																	
4271	HF	<Collection: 4 items>																																	

Figura 2.5 Materiales asignados a las tuberías del sector 4B2

Fuente: Autores

Field Data Snapshots						Roughness Groups						Demand Groups						Status Elements						Calibration Criteria						Notes					
ID	Label	Element IDs				Notes																													
1887	PVC	<Collection: 497 items>																																	
1888	AC	<Collection: 53 items>																																	
1889	HD	<Collection: 3 items>																																	

Figura 2.6 Materiales asignados a las tuberías del sector 6A

Fuente: Autores

Así mismo se debe considerar la configuración en la pestaña *Calibration Criteria* de la siguiente manera (Figura 2.7).

Field Data Snapshots						Roughness Groups						Demand Groups						Status Elements						Calibration Criteria						Notes																	
Fitness																																															
Fitness Type:																								Minimize Difference Squares																							
Head per Fitness Point:																								0.30												m											
Flow per Fitness Point:																								6.000												L/s											
Flow Weight Type:																								Linear																							

Figura 2.7 Configuración en la pestaña *Calibration Criteria*

Fuente: Autores

2. Luego de realizada la respectiva configuración, se ingresa a la pestaña *Observed Target*, en la cual haciendo uso repetido del botón *New* se ingresa los datos de presiones correspondientes al año 2019 del estudio de los autores

Martínez y Peralta (2019), llamado “Análisis y Elaboración del mapa de presiones de la red de distribución de Agua Potable de la ciudad de Cuenca”, identificando los nodos a los cuales se asigna el dato respectivamente, y considerando que el parámetro usado para dicha calibración en el software es *Hydraulic Grade Line (HGL)*, de esta manera se van ingresando los datos tomados para el sector 4B2 (Figura 2.8) y para el sector 6A (Figura 2.9).

	Field Data Set	Element	Attribute	Value
1	Dia Promedio	J-1787	Hydraulic Grade (m)	2.573,84
2	Dia Promedio	J-2442	Hydraulic Grade (m)	2.558,34
3	Dia Promedio	J-2281	Hydraulic Grade (m)	2.540,70
4	Dia Promedio	J-1076	Hydraulic Grade (m)	2.546,03
5	Dia Promedio	J-2402	Hydraulic Grade (m)	2.539,32
6	Dia Promedio	J-1988	Hydraulic Grade (m)	2.580,48

Figura 2.8 Presiones usadas para la calibración a red abierta del sector 4B2

Fuente Autores

	Field Data Set	Element	Attribute	Value
1	Dia Promedio	J-660	Hydraulic Grade (m)	2.544,09
2	Dia Promedio	J-719	Hydraulic Grade (m)	2.543,89
3	Dia Promedio	J-755	Hydraulic Grade (m)	2.542,67
4	Dia Promedio	J-987	Hydraulic Grade (m)	2.541,03
5	Dia Promedio	J-888	Hydraulic Grade (m)	2.536,70
6	Dia Promedio	J-963	Hydraulic Grade (m)	2.539,27
7	Dia Promedio	J-1082	Hydraulic Grade (m)	2.542,39

Figura 2.9 Presiones usadas para la calibración a red abierta del sector 6A

Fuente: Autores

- Escogiendo la opción *New Manual Run*, se creó una simulación denominada base, la cual representa la realidad del modelo sin modificar sus condiciones de rugosidad, por tal motivo en la pestaña de *Roughness* se mantiene el multiplicador con el valor de 1. Una vez realizado esto, se da clic en el botón *Compute* para simular los cálculos del proceso de calibración y poder observar los resultados.

Realizada la simulación observamos en los resultados un valor de *Fitness*<sup>1</sup> para el sector 4B2 de 3764.26 y para el sector 6A de 75.272, el cual indica el ajuste que tiene con la realidad, es decir, mientras más se acerca a 0 la simulación se encuentra más aproximado a la realidad del funcionamiento de la red.

En la simulación base es normal obtener valores altos de *Fitness*, debido a que las condiciones de rugosidad se mantienen intactas, algo que en la realidad no sucede.

A continuación, se presentan los gráficos de dispersión para la simulación base del sector 4B2 (Figura 2.10) y del sector 6A (Figura 2.11). En el cual se puede observar el comportamiento de la calibración con respecto a los puntos ingresados, cuanto más se aproximen dichos puntos se deduce que mejor se ha calibrado el modelo.

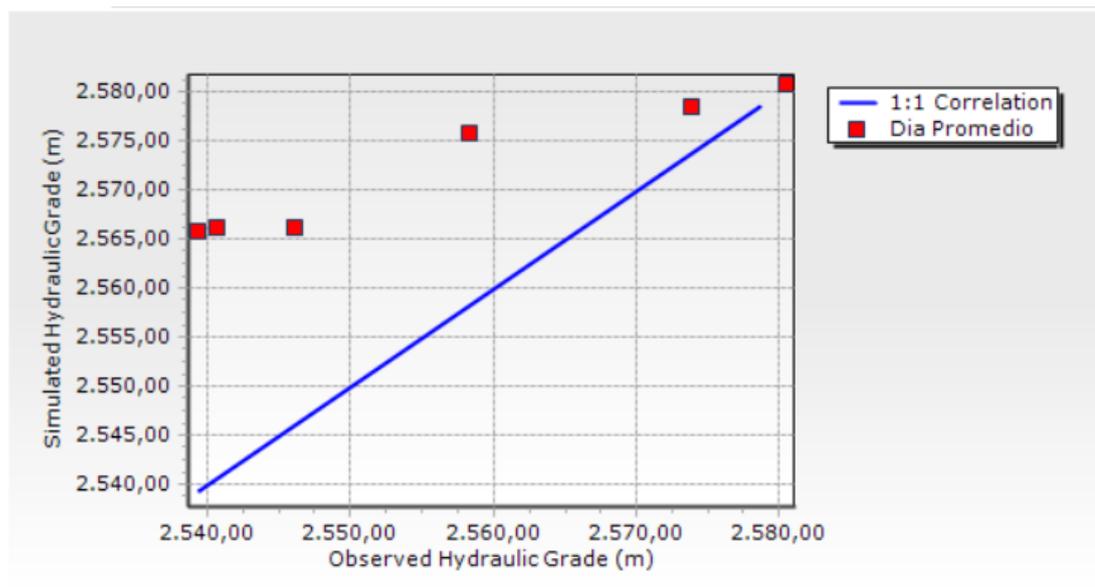


Figura 2.10 Gráfico de dispersión de la simulación base del sector 4B2

Fuente: Autores

<sup>1</sup> Grado de ajuste del sistema simulado con la realidad

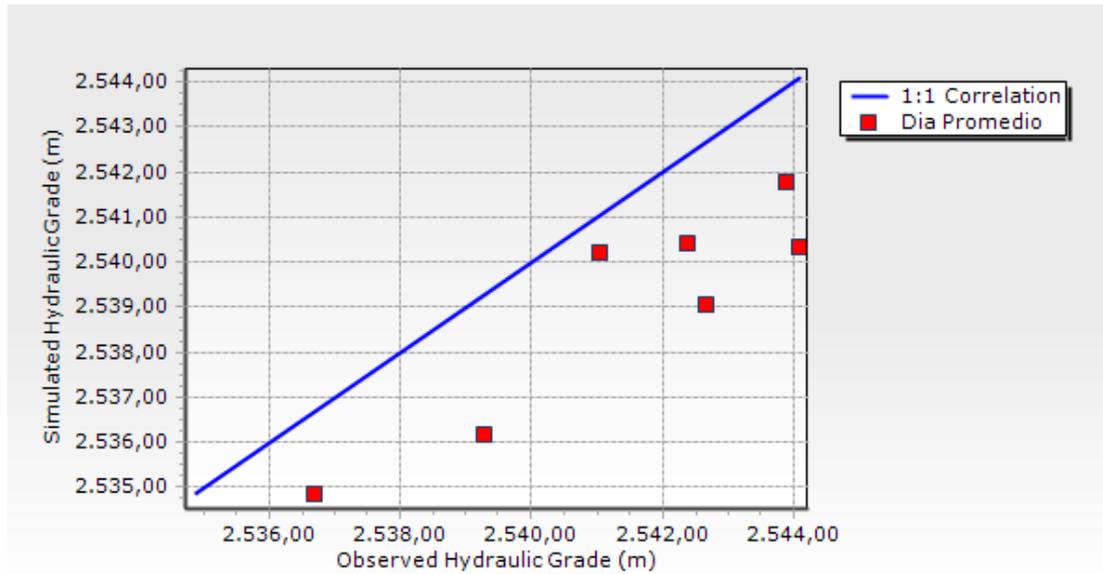


Figura 2.11 Gráfico de dispersión de la simulación base del sector 6A

Fuente: Autores

- Para obtener un resultado que se ajuste a la realidad del funcionamiento de la red, se realiza una simulación optimizada escogiendo la opción *New Optimized Run*; que con su capacidad de utilizar algoritmos genéticos realiza múltiples iteraciones haciendo variar el coeficiente de rugosidad de cada material por un factor hasta encontrar la más ajustada solución. Los límites de dicho factor y su incremento de variación se establecen en la pestaña *Roughness*, y para este análisis varía entre 0.5 y 1.5 con incrementos de 0.1.

Previo a computar la solución, se debe configurar en la pestaña *Options* como se detalla en la Figura 2.12.

Roughness	Demand	Status	Field Data	Options	Notes
<b>Options</b>					
Fitness Tolerance:				0,001	<input type="button" value="Reset"/>
Maximum Trials:				50000	
Non-Improvement Generations:				100	
Solutions to Keep:				1	
Leakage Detection Penalty Factor:				50,000	
<b>Advanced Options</b>					
Maximum Era Number:				6	<input type="button" value="Reset"/>
Era Generation Number:				150	
Population Size:				50	
Cut Probability:				1,7	%
Splice Probability:				90,0	%
Mutation Probability:				1,0	%
Random Seed:				0,500	

Figura 2.12 Configuración en la pestaña *Options*

Fuente: Autores

Realizada la simulación observamos en los resultados un valor de *Fitness* para el sector 4B2 de 176.046 y para el sector 6A de 11.720.

Se aprecia que dichos valores de *Fitness* se han reducido considerablemente con respecto a la solución base obteniendo así una diferencia de presión máxima de 6.99 mca para el sector 4B2 y de 1.64 para el sector 6A.

A continuación, se presentan los gráficos de dispersión para la simulación optimizada del sector 4B2 (Figura 2.13) y del sector 6A (Figura 2.14). En el cual se puede observar el comportamiento de la calibración con respecto a los puntos ingresados, cuanto más se aproximen dichos puntos se deduce que mejor se ha calibrado el modelo.

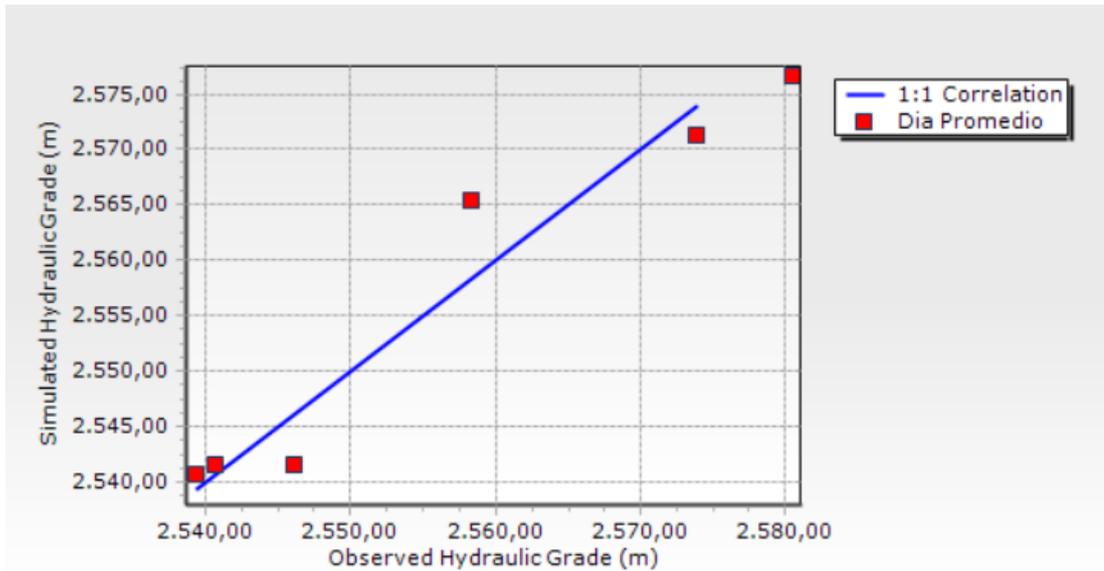


Figura 2.13 Gráfico de dispersión de la simulación optimizada del sector 4B2

Fuente: Autores

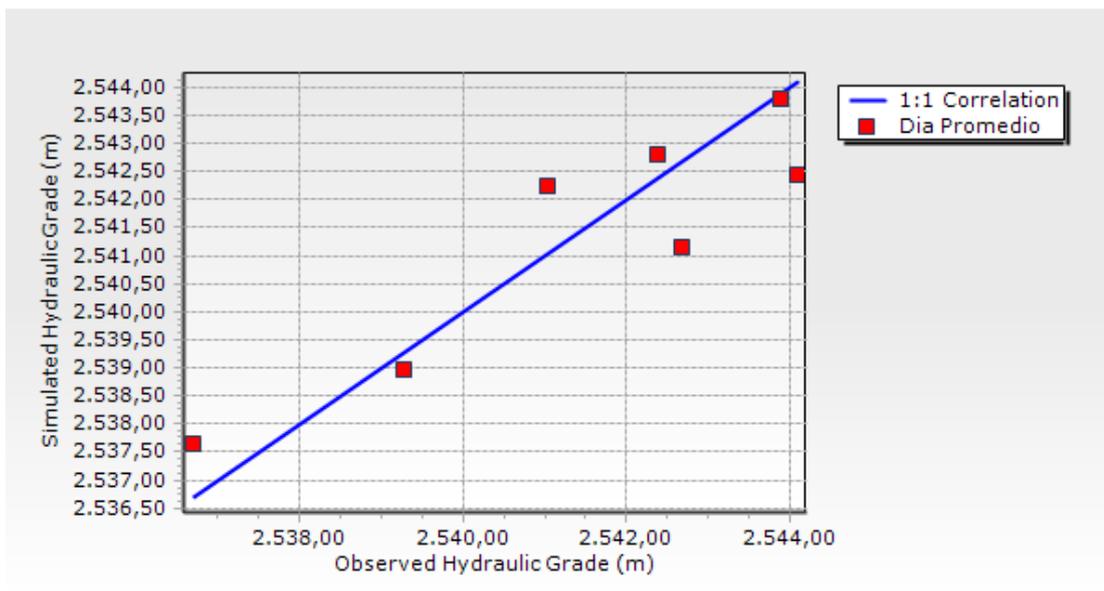


Figura 2.14 Gráfico de dispersión de la simulación optimizada del sector 6A

Fuente: Autores

## 2.5 Criterios para evaluar una red distribución.

### 2.5.1 Velocidad

Para que una red de distribución funcione de manera óptima sus velocidades deben estar entre 0.4 m/s y 3 m/s. La norma recomienda que la velocidad debe oscilar entre un valor cercano a 1.5 m/s (NORMA CO 10.07-601, 1992).

### 2.5.2 Pérdidas de carga

Este parámetro se refiere a la pérdida de energía que se produce por unidad de longitud dentro de una tubería, la norma recomienda que su valor no debe exceder los 12 m/km (NORMA CO 10.07-601, 1992).

### 2.5.3 Presión

La presión mínima establecida en la norma es de 10 metros de columna de agua (mca), sin embargo, es posible tener una presión mínima de 5 mca para diseños en el cual el abastecimiento se lo realice mediante grifos públicos, así también se establece como presión estática máxima un valor de 70 mca (NORMA CO 10.07-601, 1992).

## 2.6 Determinación de tramos que no cumplan con velocidades mínimas y pérdidas de carga.

### 2.6.1 Análisis de velocidades

Para identificar de una manera fácil las velocidades que se encuentran fuera del rango establecido en la norma, se procedió a clasificarlas por códigos de colores, de la forma que indica la siguiente leyenda (Figura 2.15); en la cual se especifica el rango de velocidades en las tuberías del modelo del sector 4B2 y 6A.

Color Coding Legend	
Pipe: Velocity (m/s)	
	<= 0,40
	<= 3,00
	<= 5,00
	Other

Figura 2.15 Leyenda de código de colores de velocidades

Fuente: Autores

Una vez establecido el código de colores para cada intervalo de velocidades se procedió a aplicarlo en cada uno de los modelos como se puede apreciar en la Figura 2.16 para el sector 4B2 y Figura 2.17 para el sector 6A. Se aprecia que en el sector 6A los tramos con mayor velocidad se encuentran a la salida de los tanques de almacenamiento. Esto sucede ya que en dichos tramos de tubería circula grandes cantidades de caudal, los mismos que sirven para alimentar a toda la red del sector.

Las velocidades demasiado altas provocan problemas de desgaste de las paredes de las tuberías, lo que ocasiona un menor tiempo de vida útil.

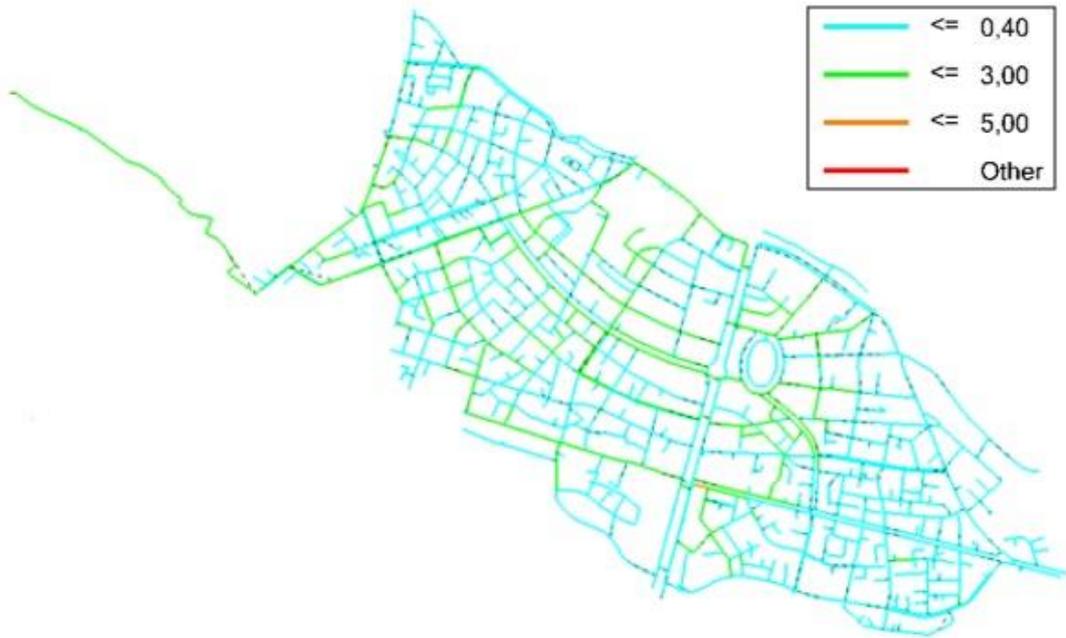


Figura 2.16 Velocidades clasificadas por color del sector 4B2

Fuente: Autores

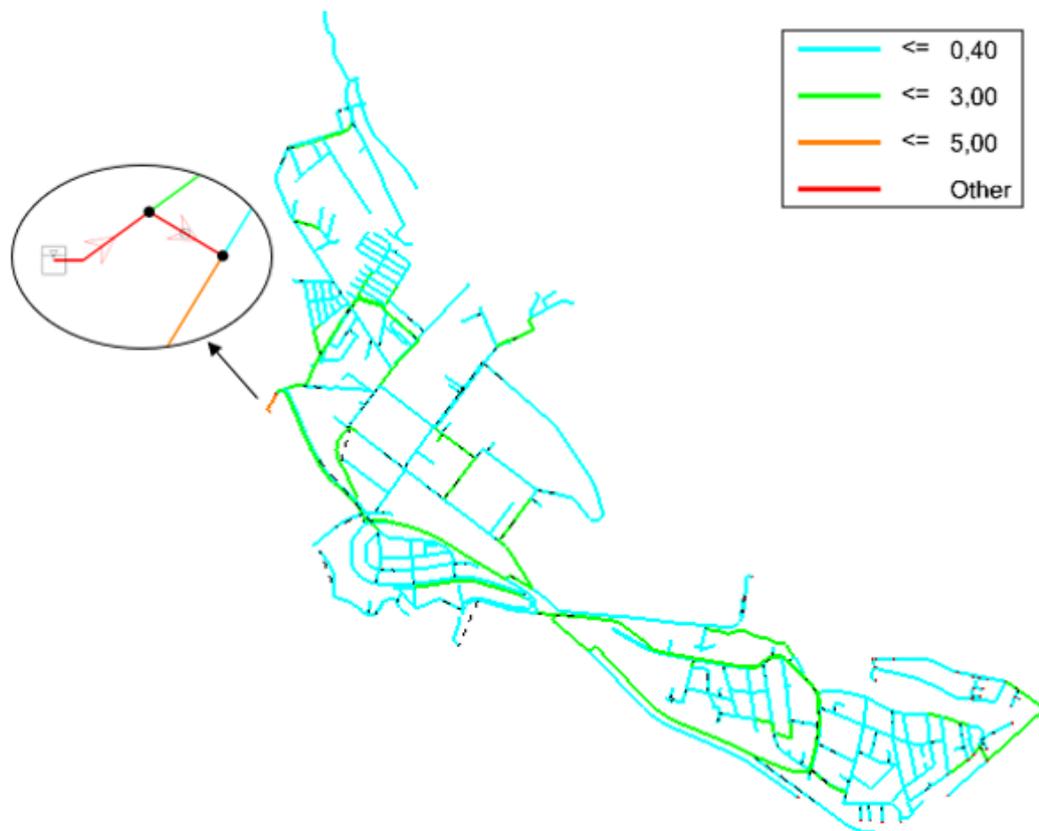


Figura 2.17 Velocidad clasificadas por colores del sector 6A

Fuente: Autores

### 2.6.2 Análisis de pérdidas de carga

Para que las pérdidas de carga en las tuberías de la red que se encuentran fuera del rango establecido en la norma sean identificadas fácilmente, se procedió a clasificarlas por códigos de colores, de la forma que indica la siguiente leyenda (Figura 2.18); en la cual se especifica el rango de las pérdidas de carga en las tuberías del modelo del sector 4B2 y 6A.

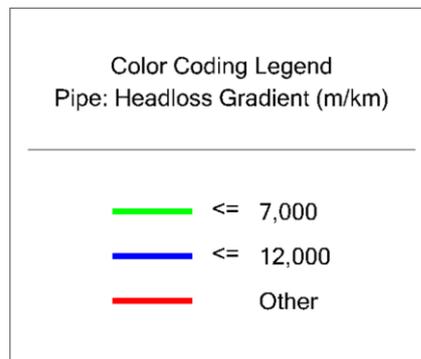


Figura 2.18 Leyenda de código de colores de pérdidas de cargas

Fuente: Autores

Luego de establecer el código de colores para cada rango de pérdidas de carga se procedió a aplicarlo en cada uno de los modelos como se puede apreciar en la Figura 2.19 para el sector 4B2 y Figura 2.20 para el sector 6A; en las cuales se puede observar un número considerable de tuberías en color rojo que quiere decir que tienen pérdidas que exceden el límite que es 12 m/km, debido a que en la mayoría de los casos son tuberías con diámetro pequeño por las cuales fluye grandes cantidades de caudal.

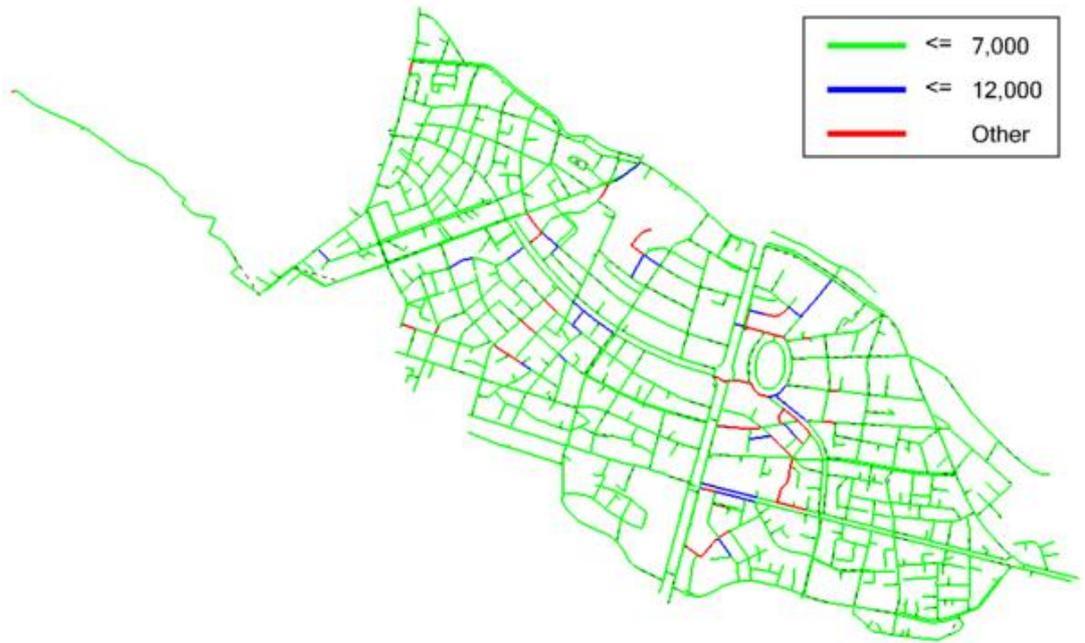


Figura 2.19 Pérdidas de carga clasificadas por colores del sector 4B2

Fuente: Autores

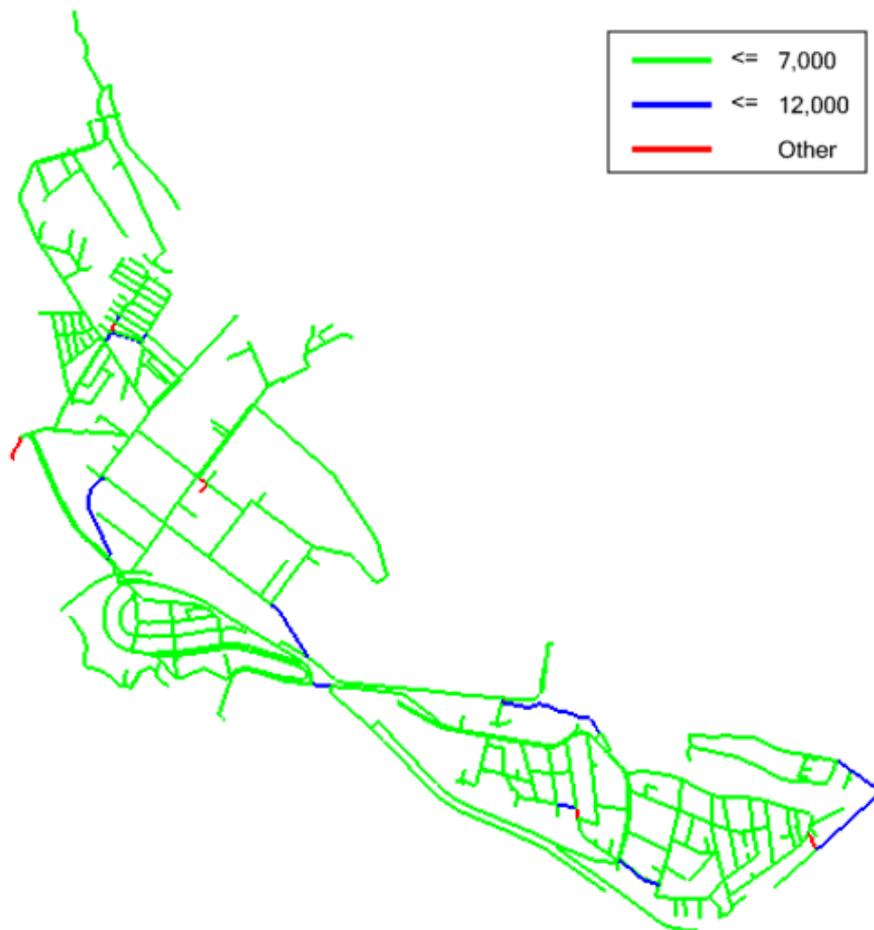


Figura 2.20 Pérdidas de carga clasificadas por colores del sector 6A

Fuente: Autores

## 2.7 Determinación de nodos que no cumplan con el rango de presiones establecidas en la norma.

Para identificar de una manera fácil las presiones en cada nodo que se encuentran fuera del rango establecido en la norma, se procedió a clasificar por códigos de colores, de la forma que indica la siguiente leyenda (Figura 2.21); en la cual se especifica el rango de presiones en los nodos del modelo del sector 4B2 y 6A.

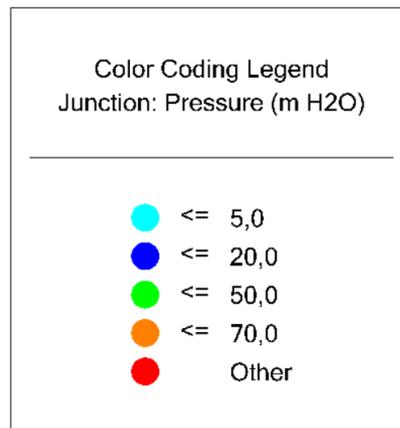


Figura 2.21 Leyenda de código de colores de presiones

Fuente: Autores

Como se puede apreciar en la Figura 2.22, al inicio del sector es el sitio donde se obtiene las presiones más bajas y mientras más avanza el recorrido del agua sus presiones van aumentando debido a que las elevaciones van disminuyendo; se observa también que posterior a la Av. Solano aparecen presiones sobre los 50 mca llegando a tener una presión máxima al final del sector de 70.5 mca, ya que es el punto con la elevación más baja del sector teniendo una diferencia de altura de 92.11 m con respecto a la cota mínima de funcionamiento del tanque de almacenamiento que alimenta a este sector.

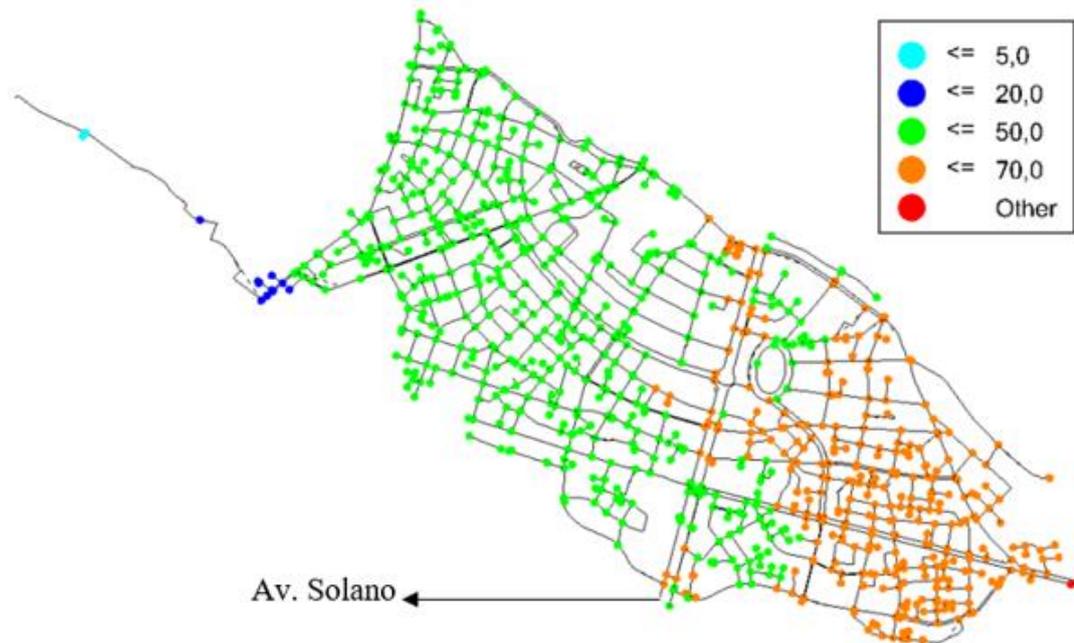


Figura 2.22 Presiones clasificadas por colores del sector 4B2

Fuente: Autores

En el sector 6A como se puede observar en la Figura 2.23, los nodos con las presiones más bajas son los que se encuentran cerca a los tanques de almacenamiento, en la zona cercana al camal municipal, zona alrededor a la bomba del sindicato de choferes, zona del parque industrial y en la zona de Quinta Chica alta. Se aprecian nodos con presiones intermedias que oscilan entre 20 mca y 50 mca debido a que las elevaciones del terreno disminuyen parcialmente; en la zona de Quinta Chica baja se encuentran nodos con presiones más altas, entre 50 mca y 70 mca; las presiones más altas del sector 6A se encuentran en la zona alrededor de la Unidad Educativa Kennedy llegando a una presión máxima de 93.5 mca siendo este el punto con la elevación más baja del sector con una diferencia de altura de 108.77 m con respecto a la cota mínima de funcionamiento del tanque de almacenamiento R9B - Milchichig.

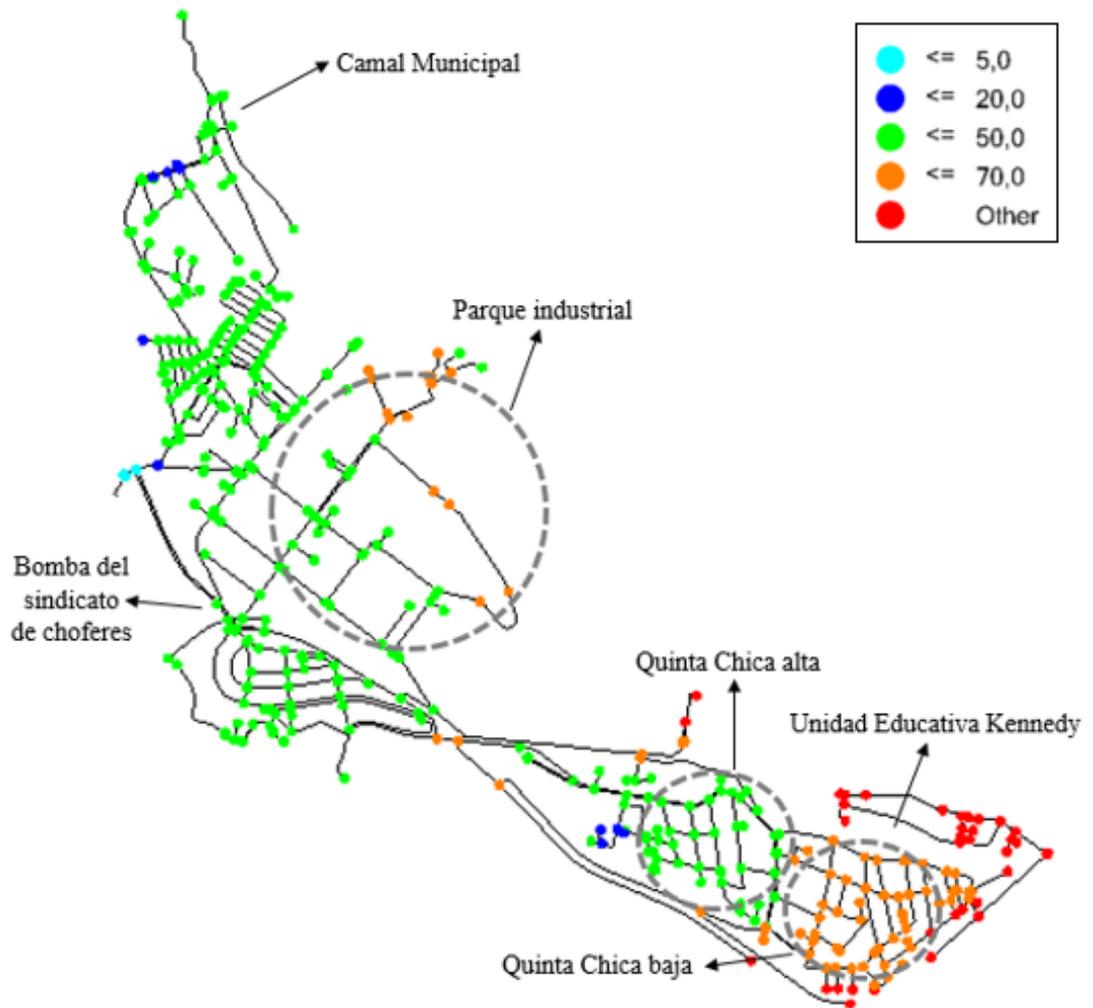


Figura 2.23 Presiones clasificadas por colores del sector 6A

Fuente: Autores

### **3 CAPÍTULO III: MODELACIONES HIDRÁULICAS IMPLEMENTANDO LA TÉCNICA DE SECTORIZACIÓN.**

A partir de los modelos simulados y calibrados a red abierta, que se presentaron en el capítulo anterior; se procedió aplicar la técnica de sectorización que consiste en dividir las redes de cada sector en subsectores mediante el uso de dispositivos denominadas válvulas de control, las cuales permanecen cerradas con el fin de aislar cada subsector para que estos operen de manera independiente. Cada subsector es alimentado por matrices que son controladas por las válvulas de operación.

#### **3.1 Construcción de los modelos hidráulicos del año 2019.**

Para identificar las válvulas de control, las cuales operaran cerradas en el modelo, lo primero que se hizo fue analizar los límites de cada subsector presentados en el primer capítulo para el sector 4B2 (Figura 1.3) y para el sector 6A (Figura 1.5).

Con el fin de mantener un registro de la forma en que se simula cada modelo de los sectores, en dos hojas de cálculo se ingresaron datos detallados de cada válvula de control y operación agregadas de acuerdo a los catastros de ETAPA EP, con su respectivo código y dirección. A estas hojas de cálculo se las denominaron: “Manual de operación del sector 4B2” (Anexo 10 y Anexo 11) y “Manual de operación del sector 6A” (Anexo 12 y Anexo 13). Su código sirve para localizar las válvulas en el software WaterGEMS; y su dirección nos ayuda a ubicarlas en campo.

Una vez creados dichos manuales, se ha determinado en los modelos del software WaterGEMS (Anexo 14 y Anexo 15) que los sectores 4B2 y 6A tienen 75 y 14 válvulas de control respectivamente que permanecerán cerradas; además se contabilizaron 19 válvulas de operación para el sector 4B2 y 11 válvulas de operación para el sector 6A, las cuales se encuentran instaladas en las matrices que permitirán el ingreso del flujo a cada uno de los subsectores.

Una vez construidos los modelos, previo a la calibración, se procedió a computar cada uno de ellos, detectando anomalías en el sector 6A, puesto que existía gran diferencia de presiones medidas en campo con respecto a las presiones simuladas en el modelo en la zona de alrededor de la Unidad Educativa Kennedy; por tal motivo se procedieron a medir presiones en campo (Tabla 3.1) cerca a la entrada de dicha zona, con el fin de verificar lo que sucedía en la red.

Tabla 3.1 Presiones medidas en campo en la entrada de la zona de alrededor de la Unidad Educativa Kennedy

NODO	ELEVACIÓN	PRESION MEDIDA EN CAMPO (mca)	PRESION OBTENIDA EN LA SIMULACION (mca)
<b>J-633</b>	2467.44	63.31	63.6
<b>J-1053</b>	2448.40	91.46	81.8
<b>J-1054</b>	2438.54	56.28	88.6

Fuente: Autores

Este proceso reflejó que en la tubería (6A\_T\_5452) de 63 mm de diámetro, comprendida entre los nodos J-1053 y J-1054 que conecta la zona de Quinta Chica baja con la zona de alrededor de la Unidad Educativa Kennedy, presenta una gran pérdida, que, aunque su causa no se pudo conocer a ciencia cierta, se estima que puede deberse a una fuga importante en el tramo de tubería. Por tal motivo en el software WaterGEMS se procedió a simular una pérdida en dicha tubería que genere una semejanza a su comportamiento real, se afectó en sus propiedades el factor *Minnor Loss Coefficient (Local)* con un valor de 1300, lo que incrementó la pérdida de carga de la mencionada tubería, de un valor 10.354 m/km a un valor de 150.794 m/km, de esta manera se pudo obtener un comportamiento similar al real; y alrededor de la zona ya mencionada se logró tener presiones en el modelo que se asemejan a las medidas en campo.

### 3.2 Ajuste de demandas.

Con la finalidad de tener una mejor modelación hidráulica, luego de aplicar la técnica de sectorización se procedió a crear nuevos nodos antes y después de cada una de las válvulas de control (Anexo 10 y Anexo 11) mencionadas anteriormente; luego, con el uso de la herramienta *LoadBuilder* del software WaterGEMS se procedió a cargar nuevamente los consumos correspondientes al año 2019 y también cada uno de los consumos de las diferentes proyecciones poblacionales, con el propósito de asignarle una demanda a los nuevos nodos que fueron creados y de esta manera circule caudal por las matrices en las que se encuentran instaladas las válvulas de control.

### 3.3 Calibración de los modelos con presiones medidas en campo.

Para tener una calibración más aproximada a la realidad se utilizó el promedio de varias presiones medidas en diferentes días en campo (Tabla 1.5 y Tabla 1.6).

El proceso de calibración del modelo sectorizado se lo realizó a partir de un nuevo archivo base, y de la misma manera que al modelo a red abierta del capítulo anterior. Una vez realizada la calibración con la herramienta *Darwin Calibrator*, para la simulación base se obtuvo un valor de *Fitness* de 182.249 para el sector 4B2 y un valor de 23.112 para el sector 6A; se puede observar que dichos valores se han reducido considerablemente con respecto a la calibración que se hizo al modelo de red abierta. Estos valores reflejan que incluso sin modificar sus propiedades de rugosidad, los modelos implementados la sectorización se ajustan mucho más a la realidad del funcionamiento de la red como se puede observar en el gráfico de dispersión (Figura 3.1) para el sector 4B2 y (Figura 3.2) para el sector 6A.

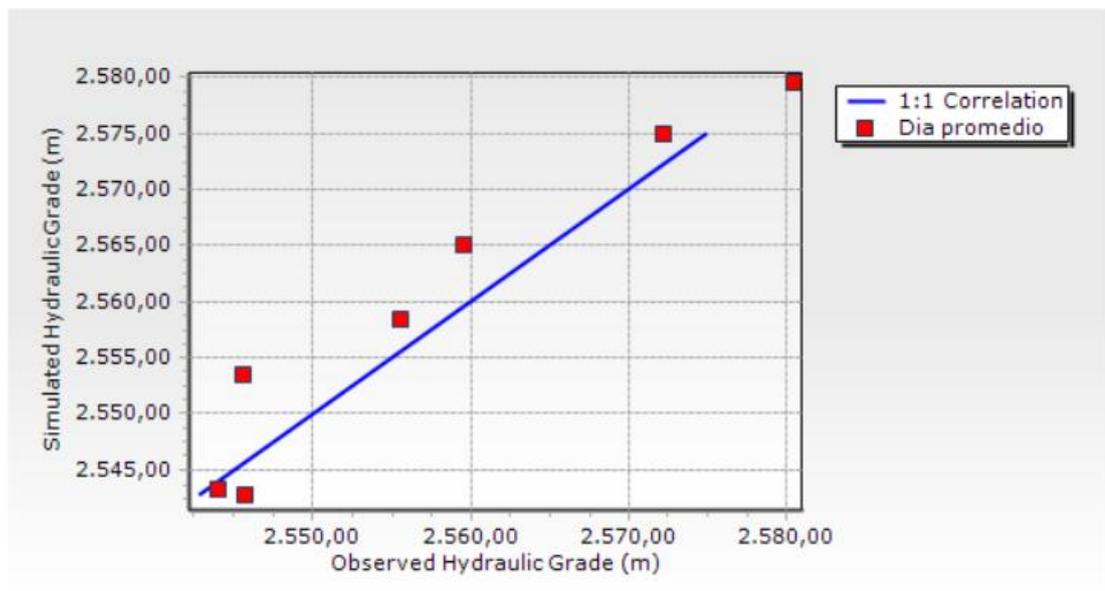


Figura 3.1 Gráfico de dispersión de la simulación base del modelo sectorizado del sector 4B2

Fuente: Autores

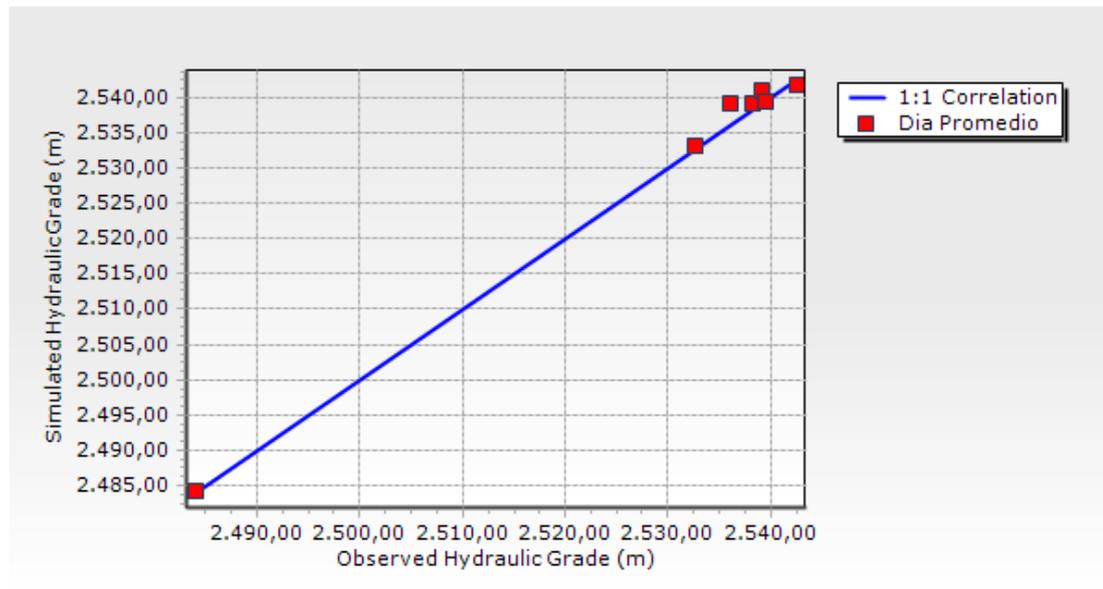


Figura 3.2 Gráfico de dispersión de la simulación base del modelo sectorizado del sector 6A

Fuente: Autores

Realizada la simulación optimizada observamos en los resultados un valor de *Fitness* para el sector 4B2 de 38.506 y para el sector 6A de 14.074. Podemos apreciar que dichos valores de *Fitness* son aún más cercanos a 0, lo que quiere decir que el modelo de sectorización se encuentra bastante acercado al funcionamiento real de las redes de distribución instaladas en cada uno de los sectores.

A continuación, se presentan los gráficos de dispersión para la simulación optimizada del modelo sectorizado del sector 4B2 (Figura 3.3) y del sector 6A (Figura 3.4); en los cuales se aprecia que el comportamiento de la calibración con respecto a los puntos ingresados no supera los 2.76 mca para el sector 4B2 y 1.79 mca para el sector 6A, dichos valores se consideran dentro de un rango aceptable para la calibración. Y de esta manera podemos dar por concluida la calibración del modelo implementando la técnica de sectorización para los sectores 4B2 y 6A.

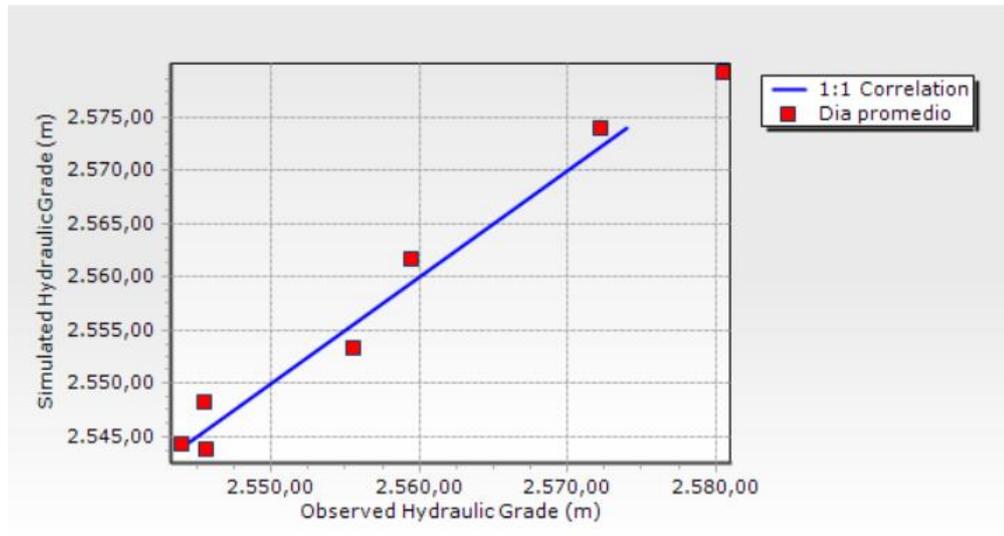


Figura 3.3 Gráfico de dispersión de la simulación optimizada del modelo sectorizado del sector 4B2

Fuente: Autores

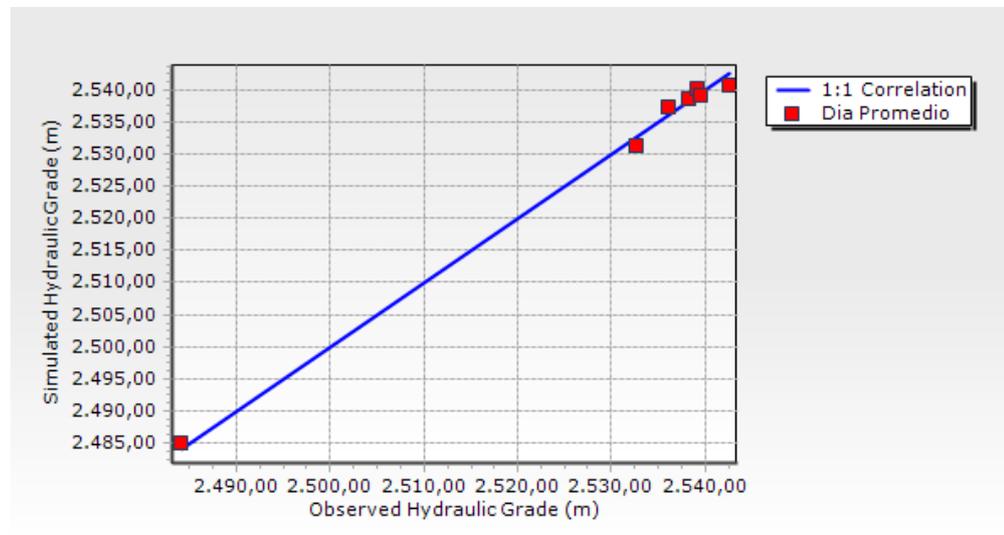


Figura 3.4 Gráfico de dispersión de la simulación optimizada del modelo sectorizado del sector 6A

Fuente: Autores

### 3.4 Resultados de las modelaciones hidráulicas del año 2019 implementada la sectorización.

Para el análisis de velocidades, pérdidas de carga y presiones se utilizarán los mismos códigos de colores que en el capítulo anterior (Figura 2.15, Figura 2.18 y Figura 2.21), con el fin de identificar dichos parámetros de una manera más fácil.

#### 3.4.1 Resultados de velocidades

Para ambos sectores estudiados se observó que las velocidades máximas se encuentran en los tramos continuos a los tanques de almacenamiento, es decir el comportamiento

de las velocidades se mantiene muy similar con respecto al modelo de red abierta. como se puede observar en la Figura 3.5 para el sector 4B2 y en la Figura 3.6 para el sector 6A.



Figura 3.5 Velocidades clasificadas por color del sector 4B2 implementada la sectorización  
Fuente: Autores

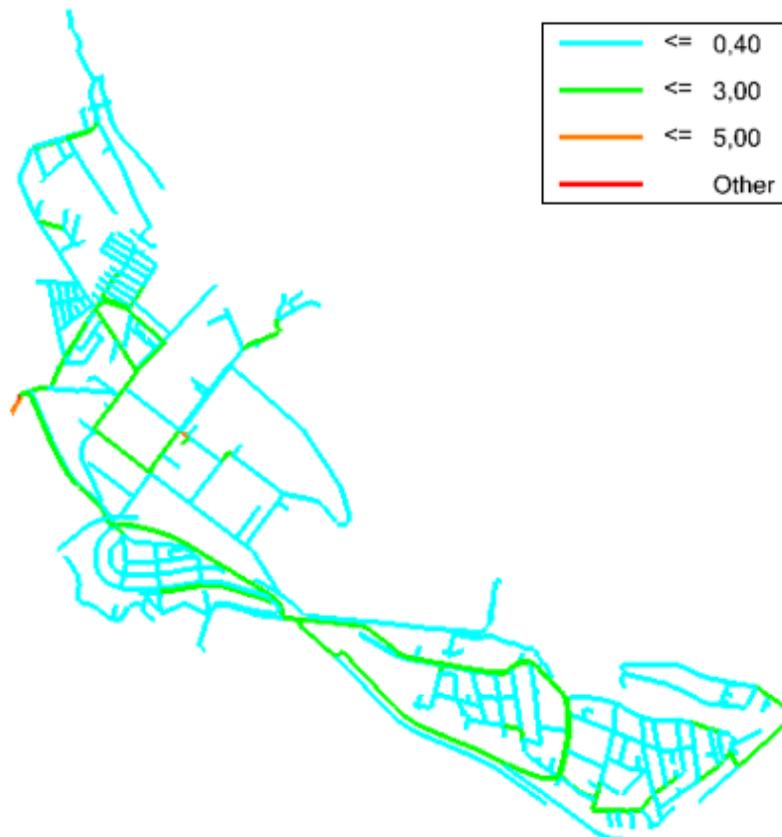


Figura 3.6 Velocidades clasificadas por color del sector 6A implementada la sectorización  
Fuente: Autores

### 3.4.2 Resultados de pérdidas de carga

En el caso de las pérdidas de carga implementada la técnica de sectorización se observa que tiene un comportamiento diferente al del modelo de red abierta, puesto que estas se incrementan debido a que con el cierre de válvulas se obliga a que el flujo circule por determinadas tuberías las cuales no fueron diseñadas para llevar esas cantidades de caudal, por tal motivo la velocidad aumenta al igual que las pérdidas.

Dichas pérdidas se pueden apreciar en la Figura 3.7 para el sector 4B2 y en la Figura 3.8 para el sector 6A.

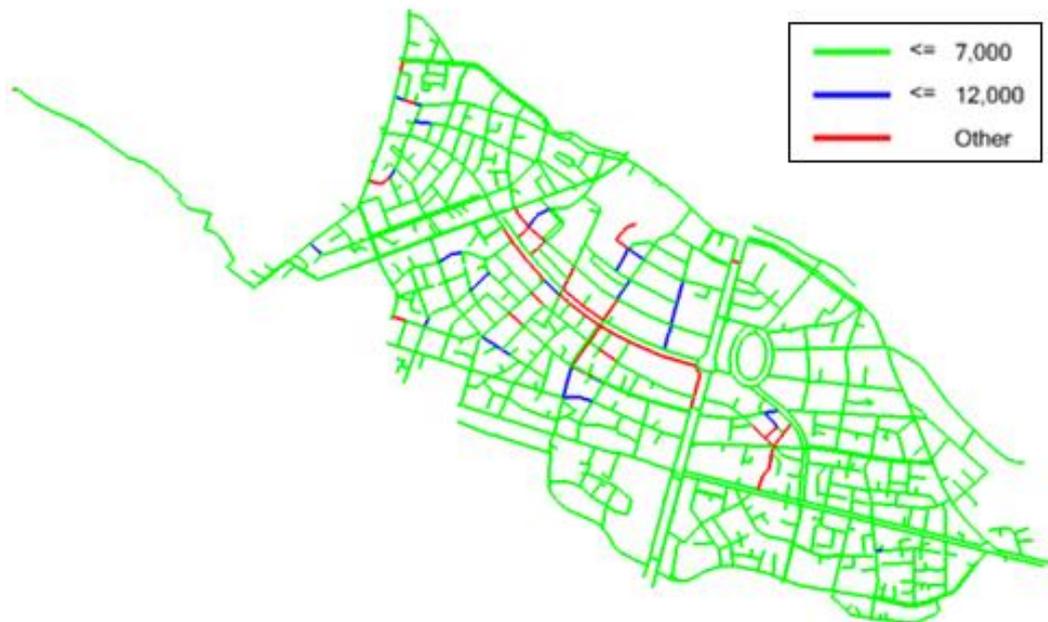


Figura 3.7 Pérdidas de carga clasificadas por color del sector 4B2 implementada la sectorización

Fuente: Autores

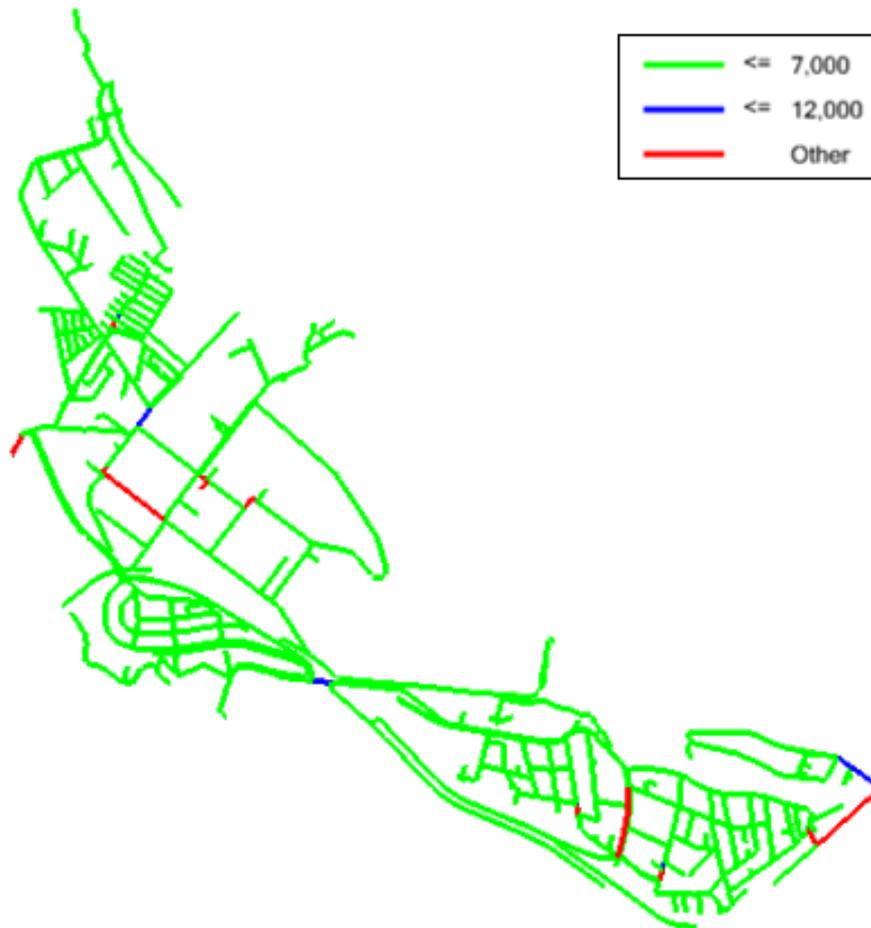


Figura 3.8 Pérdidas de carga clasificadas por color del sector 6A implementada la sectorización  
Fuente: Autores

### 3.4.3 Resultados de presiones

Para las presiones se puede apreciar un gran cambio en el modelo implementando la sectorización con respecto al modelo de red abierta.

En el modelo del sector 4B2 (Figura 3.9) ya no se tiene presiones fuera del límite máximo establecido por la norma, debido a que se obliga a que el flujo circule por cada una de las tuberías en donde se encuentran instaladas las 3 estaciones reductoras de presión; las cuales están ubicadas en la Av. 27 de Febrero y Av. Solano (4B2\_ERP\_1001), en la Av. Luis Moreno Mora y Av. Solano (4B2\_ERP\_1002) y en la Av. 12 de Abril y Av. Solano (4B2\_ERP\_1003). Dichas válvulas están calibradas para que tengan una presión de salida de 40psi, lo que equivale a 28.1 mca, y así de esta manera puedan controlar las presiones aguas abajo en los subsectores 01, 02, 03, 04 y 05 que en el modelo de red abierta tenían los puntos más desfavorables.



Figura 3.9 Presiones de carga clasificadas por color del sector 4B2 implementada la sectorización  
Fuente: Autores

Luego de haber sectorizado y calibrado el modelo del sector 6A, se puede apreciar que gracias a la afectación que se realizó en la pérdida de carga de la tubería (6A\_T\_5452), que conecta la zona de Quinta Chica baja con la zona de alrededor de la Unidad Educativa Kennedy, las presiones en esta zona se han reducido considerablemente (Figura 3.10), obteniendo una gran similitud a las presiones reales en los nodos de esta zona. Además, en este sector se encuentran presiones que sobrepasan el nivel máximo admitido en la norma, una de las razones puede ser que el caudal que ingresa al sector en realidad es superior al que fue considerado al momento de diseñar la red, de forma que, con el pasar de los años los nodos más desfavorables han superado el límite mencionado.

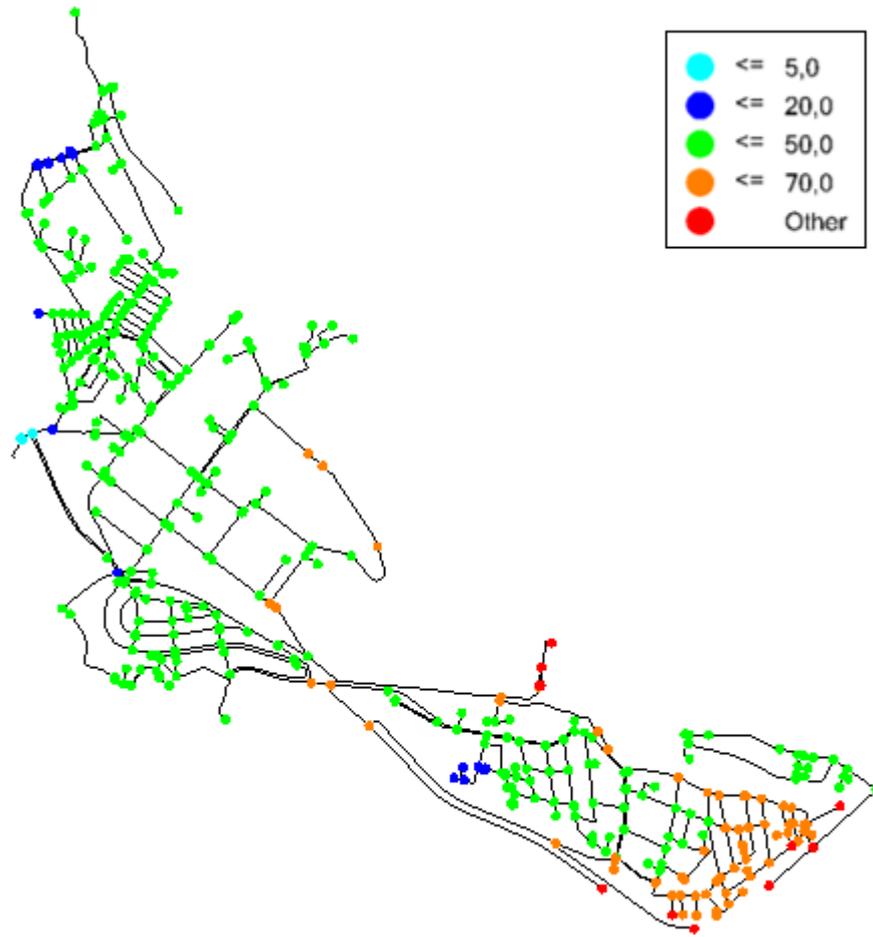


Figura 3.10 Presiones de carga clasificadas por color del sector 6A implementada la sectorización  
Fuente: Autores

A continuación, en la Tabla 3.2 se presenta la diferencia de velocidad y presión máxima existente entre el modelo de red abierta y sectorizado en cada sector.

Tabla 3.2 Velocidades y presiones máximas de la red abierta y sectorizada de los sectores 4B2 y 6A

SECTOR	TIPO DE RED	VELOCIDAD	PRESIÓN
		MÁXIMA (m/s)	MÁXIMA (mca)
4B2	ABIERTA	16.36	70.5
	SECTORIZADA	12.74	51.4
6A	ABIERTA	11.75	93.5
	SECTORIZADA	11.74	86.6

Fuente: Autores

### 3.5 Construcción de escenarios con proyecciones cada 5 años hasta el año 2045.

Una vez cargadas en el software WaterGEMS las demandas de sus respectivas proyecciones, con el uso de la herramienta *Scenarios*, haciendo uso repetitivo del botón *New* se procedió a crear los escenarios con proyecciones para el año 2019, 2025, 2030, 2035, 2040 y 2045 (Figura 3.11).

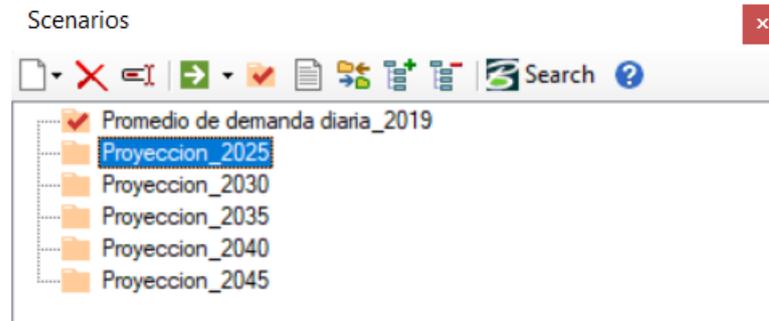


Figura 3.11 Escenarios creados para cada proyección poblacional

Fuente: Autores

Previamente creadas todas las alternativas de demandas y luego de haber creado los escenarios, haciendo doble clic en cada uno de ellos se ingresa a sus propiedades y en la opción *Demand* se asigna cada una de dichas alternativas a su respectivo escenario (Figura 3.12).

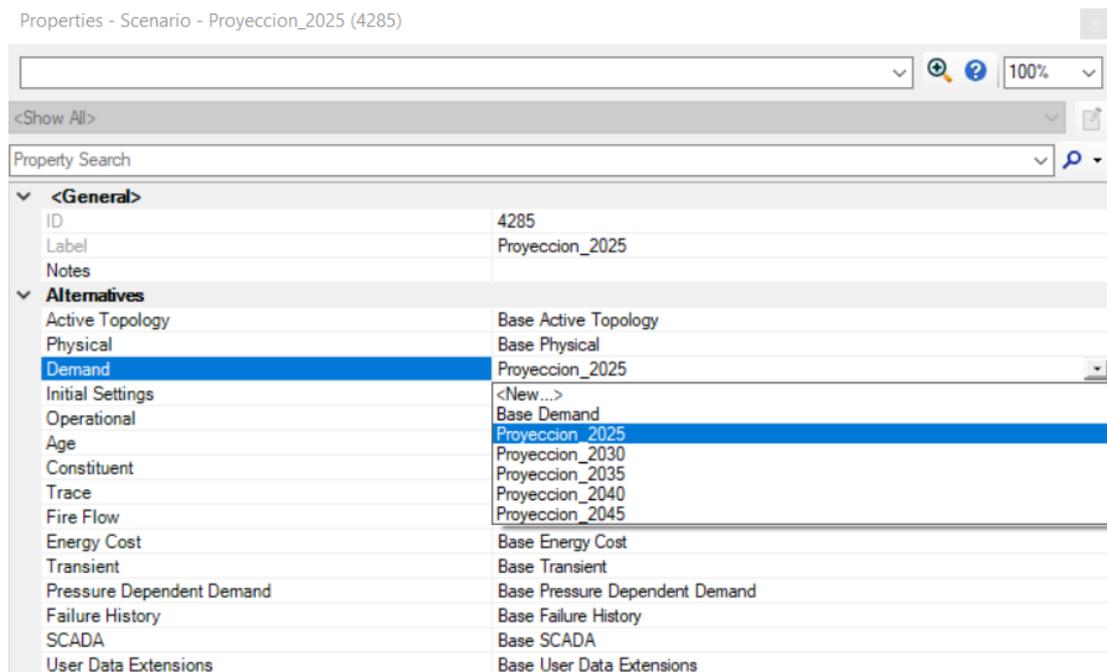


Figura 3.12 Ejemplo de asignación de demanda para cada escenario

Fuente: Autores

### 3.6 Análisis y comparación de los diferentes escenarios con respecto a la situación actual.

Una vez construidos los diferentes escenarios para cada una de las proyecciones poblacionales propuestas para este estudio, se procedió a comparar los resultados de cada uno de ellos, con el fin de conocer el comportamiento que tendrá las redes de los sectores estudiados al final de un periodo de 25 años.

Los resultados de velocidades, pérdida de carga y presiones clasificadas por colores serán presentados en la parte de ANEXOS.

#### 3.6.1 Análisis y comparación de velocidades

Luego de haber creado los escenarios se procedió a computar cada uno de ellos obteniendo los resultados de velocidades que se presentaran en un resumen a continuación en la Tabla 3.3 y Figura 3.13 para el sector 4B2; y en la Tabla 3.4 y Figura 3.14 para el sector 6A.

Tabla 3.3 Resumen de velocidades de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 4B2

m/s	2019		2025		2030		2035		2040		2045	
0-0.4	1131	81.84%	1131	81.84%	1130	81.77%	1130	81.77%	1127	81.55%	1126	81.48%
0.4-3	248	17.95%	248	17.95%	249	18.02%	249	18.02%	252	18.23%	253	18.31%
3-5	1	0.07%	1	0.07%	1	0.07%	1	0.07%	1	0.07%	1	0.07%
>5	2	0.14%	2	0.14%	2	0.14%	2	0.14%	2	0.14%	2	0.14%
<b>Total</b>	<b>1382</b>	<b>100%</b>										

Fuente: Autores

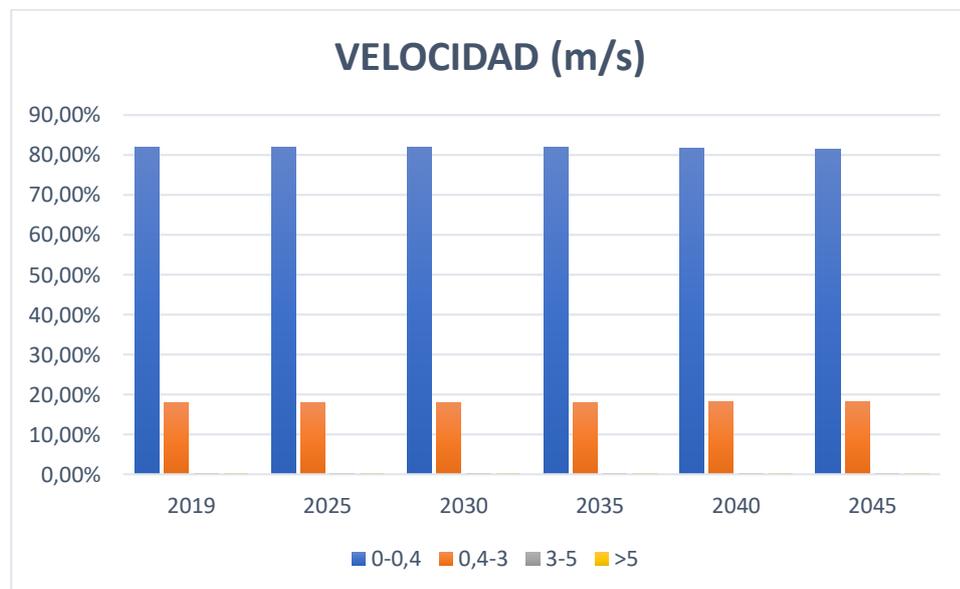


Figura 3.13 Gráfico de barras del resumen de velocidades de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 4B2

Fuente: Autores

En el gráfico presentado para el sector 4B2 se puede apreciar que no existen grandes cambios en los diferentes escenarios propuestos para este estudio, puesto que como ya se explicó anteriormente es un sector ya consolidado y no habría grandes incrementos poblacionales, lo que refleja variaciones de caudal muy pequeñas.

También se puede observar que el rango de velocidades predominantes en la red es de 0 a 0.4 m/s, con un porcentaje de alrededor del 81% en cada uno de los escenarios.

Tabla 3.4 Resumen de velocidades de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 6A

m/s	2019		2025		2030		2035		2040		2045	
<b>0-0.4</b>	469	81.00%	456	78.76%	435	75.13%	421	72.71%	413	71.33%	396	68.39%
<b>0.4-3</b>	104	17.96%	116	20.03%	137	23.66%	150	25.91%	156	26.94%	171	29.53%
<b>3-5</b>	3	0.52%	2	0.35%	2	0.35%	3	0.52%	5	0.86%	7	1.21%
<b>&gt; 5</b>	3	0.52%	5	0.86%	5	0.86%	5	0.86%	5	0.86%	5	0.86%
<b>Total</b>	579	100.00%	579	100.00%	579	100.00%	579	100.00%	579	100.00%	579	100.00%

Fuente: Autores

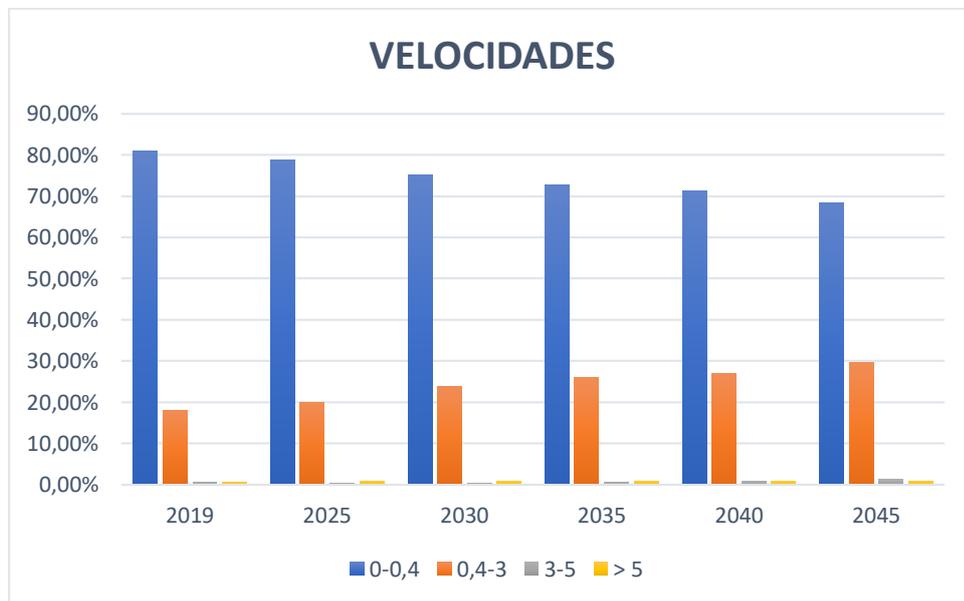


Figura 3.14 Gráfico de barras del resumen de velocidades de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 6A

Fuente: Autores

En el gráfico presentado para el sector 6A se puede apreciar que para los diferentes escenarios el porcentaje de velocidades que se encuentran en el rango de 0 a 0.4 m/s va disminuyendo, en cambio, el rango de velocidades que esta entre 0.4 m/s a 3 m/s se va incrementando. Debido a que existe un incremento de la población que genera un mayor caudal en la red, las velocidades en las tuberías van aumentando con el pasar

de los años, esto es algo positivo ya que este último es un rango de velocidades óptimo para su funcionamiento de acuerdo a la norma.

Dichos cambios de incremento de velocidad se dan en su mayoría alrededor de las zonas de Quinta Chica alta y Quinta Chica baja.

### 3.6.2 Análisis y comparación de pérdidas de carga

De la misma manera para las pérdidas de carga se procedió a computar cada uno de los escenarios obteniendo los resultados que se presentaran en el resumen a continuación en la Tabla 3.5 y Figura 3.15 para el sector 4B2; y en la Tabla 3.6 y Figura 3.16 para el sector 6A.

Tabla 3.5 Resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 4B2

m/km	2019		2025		2030		2035		2040		2045	
0-7	1292	93.49%	1294	93.63%	1293	93.56%	1293	93.56%	1293	93.56%	1293	93.56%
7-12	31	2.24%	30	2.17%	30	2.17%	30	2.17%	30	2.17%	31	2.24%
>12	59	4.27%	58	4.20%	59	4.27%	59	4.27%	59	4.27%	58	4.20%
<b>Total</b>	<b>1382</b>	<b>100%</b>										

Fuente: Autores

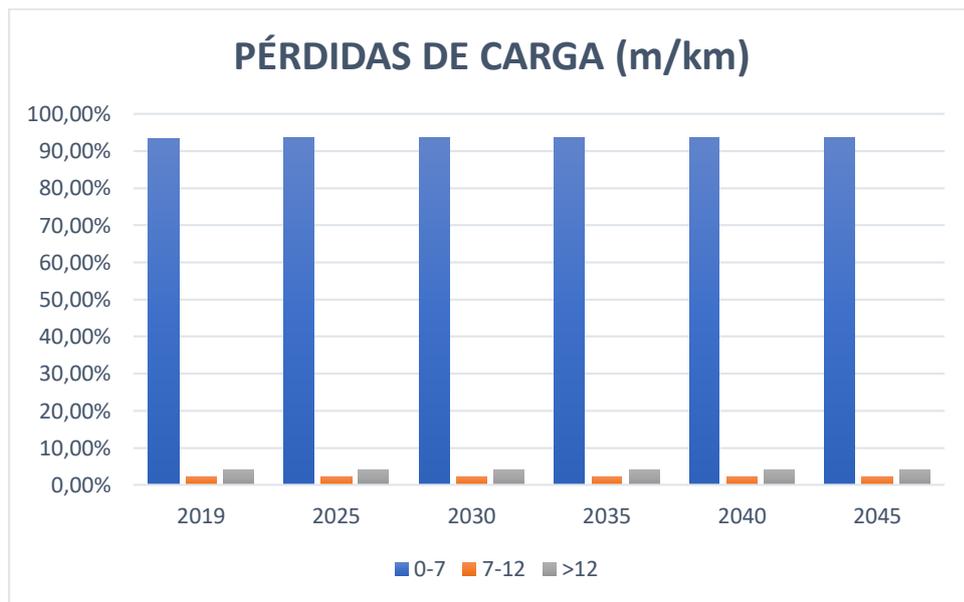


Figura 3.15 Gráfico de barras del resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 4B2

Fuente: Autores

Tabla 3.6 Resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 6A

m/km	2019		2025		2030		2035		2040		2045	
0-7	548	94.65%	542	93.61%	528	91.19%	509	87.91%	499	86.18%	484	83.59%
7-12	9	1.55%	13	2.25%	25	4.32%	38	6.56%	42	7.25%	38	6.56%
> 7	22	3.80%	24	4.15%	26	4.49%	32	5.53%	38	6.56%	57	9.84%
<b>Total</b>	579	100.00%	579	100.00%	579	100.00%	579	100.00%	579	100.00%	579	100.00%

Fuente: Autores

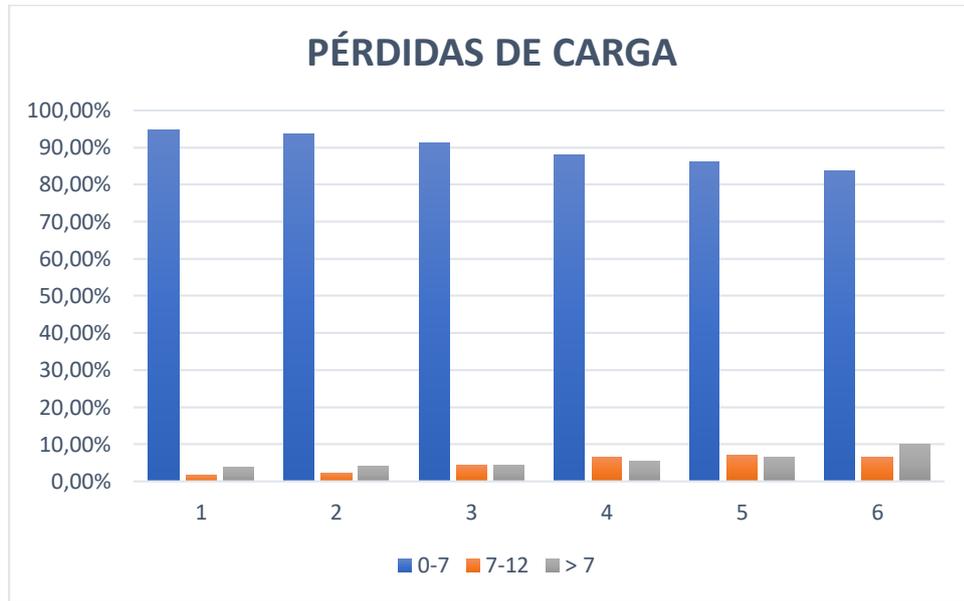


Figura 3.16 Gráfico de barras del resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 6A

Fuente: Autores

Para ambos sectores, se puede apreciar que el comportamiento de las pérdidas de carga en las distintas proyecciones poblacionales es similar al de las velocidades, ya que están directamente relacionadas entre sí.

### 3.6.3 Análisis y comparación de presiones

Para hacer una comparación entre las presiones obtenidas en los distintos escenarios se procedió a computar cada uno de los escenarios obteniendo los resultados que se presentaran en el resumen a continuación en la Tabla 3.7 y Figura 3.17 para el sector 4B2; y en la Tabla 3.8 y Figura 3.18 para el sector 6A.

Tabla 3.7 Resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 4B2

mca	2019		2025		2030		2035		2040		2045	
<b>0-5</b>	2	0.18%	2	0.18%	2	0.18%	2	0.18%	2	0.18%	2	0.18%
<b>5-20</b>	18	1.59%	18	1.59%	18	1.59%	18	1.59%	18	1.59%	18	1.59%
<b>20-50</b>	1110	98.06%	1110	98.06%	1110	98.06%	1110	98.06%	1110	98.06%	1110	98.06%
<b>50-70</b>	2	0.18%	2	0.18%	2	0.18%	2	0.18%	2	0.18%	2	0.18%
<b>Total</b>	1132	100%	1132	100%	1132	100%	1132	100%	1132	100%	1132	100%

Fuente: Autores

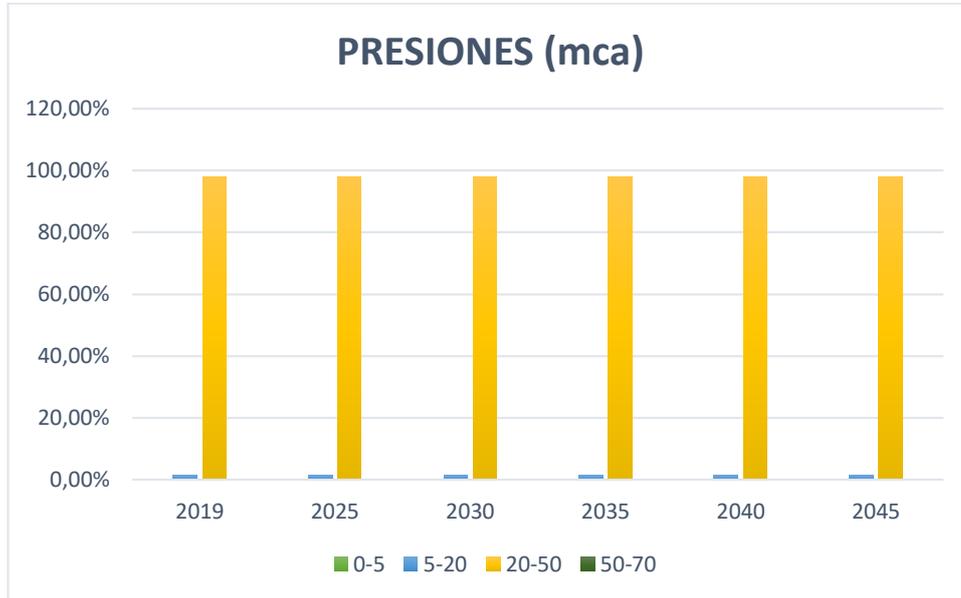


Figura 3.17 Gráfico de barras del resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 4B2

Fuente: Autores

Las presiones en este sector al igual que en el caso de velocidades y perdidas de carga se comporta de una manera muy similar en cada uno de los escenarios, debido a que no hay gran variación de caudal como ya se ha venido explicando anteriormente.

Tabla 3.8 Resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 6A

mca	2019		2025		2030		2035		2040		2045	
<b>&lt; 0</b>	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	22	4,57%	25	5,20%	28	5,82%
<b>0-5</b>	3	0,62%	3	0,62%	3	0,62%	4	0,83%	5	1,04%	10	2,08%
<b>5-20</b>	20	4,16%	33	6,86%	70	14,55%	60	12,47%	74	15,38%	91	18,92%
<b>20-50</b>	377	78,38%	382	79,42%	362	75,26%	355	73,80%	345	71,73%	325	67,57%
<b>50-70</b>	72	14,97%	54	11,23%	39	8,11%	35	7,28%	29	6,03%	24	4,99%
<b>&gt; 70</b>	9	1,87%	9	1,87%	7	1,46%	5	1,04%	3	0,62%	3	0,62%
<b>Total</b>	481	100,00%	481	100,00%	481	100,00%	481	100,00%	481	100,00%	481	100,00%

Fuente: Autores

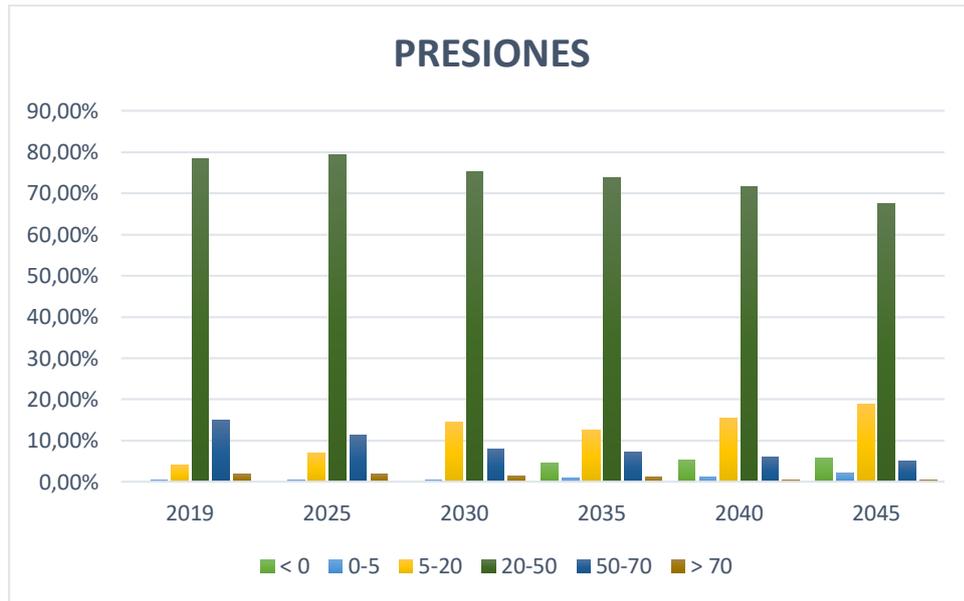


Figura 3.18 Gráfico de barras del resumen de pérdidas de carga de las diferentes proyecciones poblacionales para el sector 6A

Fuente: Autores

El gráfico anterior del sector 6A indica que hay una disminución de presiones con el pasar de los años, dichas disminuciones se dan en los sectores de Quinta Chica alta, Quinta chica baja y parque industrial; siendo el más crítico en la zona alrededor de la Unidad Educativa Kennedy puesto que a partir de la proyección del año 2035 se encuentran presiones negativas; las cuales son causadas por el aumento de pérdidas producidas en las diferentes tuberías de las zonas mencionadas de este sector.

## CONCLUSIONES

- ✓ Una vez realizada la actualización de los catastros y calibrados cada uno de los modelos de los sistemas, se apreció que las presiones simuladas en los modelos a red abierta y sectorizados, que se elaboraron en el software WaterGEMS se asemejan a las presiones medidas en campo; aunque en el modelo sectorizado es donde se obtiene el resultado más ajustado a la realidad, lo cual refleja que estos modelos se aproximan considerablemente al funcionamiento real de la red.
- ✓ En el sector 4B2 se encuentran instaladas 3 estaciones reductoras de presión calibradas para que tengan una presión de salida de 28.1 mca; al realizar las simulaciones del modelo sectorizado en sus distintos escenarios, en los cuales se trabajó con el caudal máximo horario (QMH) correspondiente a su respectiva proyección poblacional, y su calibración se hizo en un régimen permanente, se pudo apreciar que las presiones que entran y salen de dichos accesorios tienen una diferencia menor a 3.4 mca en el escenario del año 2019 y en el escenario realizado para el año 2045 se observó que el accesorio ubicado en la Av. 27 de Febrero y Av. Solano (4B2\_ERP\_1001) está fuera de uso, ya que la presión que llega a este accesorio es de 27.9 mca, la cual se encuentra por debajo de la presión para la que fue calibrada.
- ✓ Durante la ejecución de este proyecto se encontró un comportamiento extraño en uno de los tramos de tubería del sector 6A, el modelo de la red sectorizada en determinada zona simulaba presiones demasiado altas en comparación a las presiones medidas en campo; por lo que se tomaron presiones en puntos diferentes con el fin de identificar lo que sucedía, y se llegó a determinar que en la tubería (6A\_T\_5452), situada en la Av. Gonzales Suarez existía una pérdida excesiva, la cual puede ser provocada por una fuga importante en su tramo; por lo que en el modelo se afectó en las propiedades de dicha tubería el factor *Minor Loss Coefficient (Local)* con un valor de 1300, de esta manera se pudo obtener un comportamiento similar al real.
- ✓ Los resultados de velocidad obtenidos luego de simular los modelos para ambos sectores, indican que en las siguientes zonas, para el sector 4B2: alrededor del estadio, alrededor de la Av. 10 de Agosto y alrededor de la Av. 12 de Abril; y para el sector 6A las zonas de: Quinta Chica alta y baja, zona alrededor de la Unidad Educativa Kennedy, zona del parque industrial,

alrededor del camino a Patamarca y zona del camal, se encuentran flujos con velocidades menores a 0.4 m/s, incluso en las simulaciones de las proyecciones para el año 2045; lo que en algún momento de su vida útil podría causar sedimentaciones de partículas, y así provocar la obstrucción del flujo de agua; y, en el peor de los casos la rotura de tubería.

- ✓ En conclusión, para el sector 4B2 no se encontraron grandes diferencias en el comportamiento de las propiedades de velocidad, pérdidas de carga y presiones para las distintas proyecciones poblacionales puesto que su variación de caudal año tras año no tiene mayor incremento, ya que dicho sector se considera consolidado, lo que quiere decir que no tendrá incrementos poblacionales representativos que hagan variar sus consumos de demanda, lo que no ocurre con el sector 6A.
- ✓ Según los resultados obtenidos en las distintas simulaciones del modelo del sector 6A, se puede notar que las presiones año tras año (Tabla 3.8) van siendo afectadas considerablemente en los puntos más desfavorables que se encuentran en la zona alrededor de la Unidad Educativa Kennedy, obteniendo presiones negativas en distintos nodos a partir del escenario de la proyección para el año 2035.
- ✓ En el sector 6A a partir del año 2035 las pérdidas se incrementan demasiado en las tuberías de ciertas zonas lo que provoca que sus presiones disminuyan considerablemente hasta llegar a ser negativas.
- ✓ Como conclusión general se puede decir que la técnica de sectorización es muy importante para un sistema de distribución de agua potable, permitiendo tener un control exhaustivo de cada subsector; ya que el ingreso del flujo de agua está regulado por válvulas de operación, las cuales pueden ser cerradas para un determinado subsector sin afectar al resto del funcionamiento de la red, para poder realizar tareas de operación y mantenimiento en cada uno de los subsectores, y el tener el modelo de la red sectorizada ayuda a simular distintos comportamientos que puede llegar a tener la red en determinadas condiciones.
- ✓ Si bien es cierto que el modelo a red abierta entrega resultados semejantes a la realidad, este escenario no es significativo, debido a que las redes instaladas en los sectores 4B2 y 6A se encuentran sectorizadas; en cambio, la simulación del modelo sectorizado reflejó que este se comporta de una manera muy similar a la realidad, además de que con la sectorización se obtiene un funcionamiento

más eficiente comparado al de la red abierta; de esta manera se obtuvo el producto que sirvió para simular los escenarios deseados para un futuro que nos brinda la información necesaria para la toma de decisiones en campo, y para saber el comportamiento de la red en diferentes situaciones propuestas.

## **RECOMENDACIONES**

- ✓ Para tener una certeza de que los modelos se encuentren funcionando óptimamente se recomienda hacer una validación de los modelos, tomando presiones en campo en distintos puntos y comprobando que en los modelos se den estos mismos valores de presión.
- ✓ Con el fin de conocer de mejor manera el comportamiento de las estaciones reductoras de presión instaladas en el sector 4B2, sería importante realizar una calibración en periodo extendido para el modelo de dicho sector, debido a que en este estudio se trabajó únicamente con calibraciones en régimen permanente; lo propuesto ayudaría a conocer si dichos dispositivos pueden ser retirados sin afectar el funcionamiento de la red, generando presiones fuera del límite permitido en la norma. Esta recomendación no aplica para el sector 6A, ya que en dicho sector no se encuentran instaladas estaciones reductoras de presión.
- ✓ Realizar un seguimiento en la tubería (6A\_T\_5452) situada en la Av. Gonzales Suarez, con el fin de verificar el motivo por el cual existen aguas abajo presiones mucho más bajas de las que debería haber.
- ✓ Realizar un mantenimiento periódico en el sistema de las redes de distribuciones de agua potable, con el fin de evitar obstrucciones por sedimentos, ya que el flujo en gran parte de las tuberías circula con velocidades bajas.
- ✓ Actualizar los modelos de todos los sistemas del cantón Cuenca con su respectiva sectorización, con el fin de tener una guía del comportamiento real de las redes de distribución de agua potable para todo el cantón; lo que ayudaría a identificar con mayor precisión cualquier anomalía que se presente, y dar su pronta reparación.
- ✓ Lo importante de haber simulado los modelos con distintas proyecciones fue que se conoció que con el pasar de los años, en varias tuberías que sirven como matrices para alimentar a cada subsector, se incrementará su pérdida de carga;

por lo que es necesario colocar refuerzos en cada una de ellas, debido a que, al momento de diseñar la red, no fue considerada la sectorización con la que funciona actualmente cada una de ellas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

*Autodesk.* (2019). Obtenido de Autodesk: <https://www.autodesk.com/>

*Bentley Systems Incorporated.* (2019). Obtenido de Bentley Systems Incorporated:  
<https://www.bentley.com/es>

Bourguett, V. J., & Ochoa, L. (2001). REDUCCIÓN INTEGRAL DE PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE. En V. J. Bourguett, & L. Ochoa, *REDUCCIÓN INTEGRAL DE PÉRDIDAS DE AGUA POTABLE* (pág. 11). Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Bueno, C. R. (2016). *Estudio y análisis comparativo de métodos de cálculo para determinar caudales de demanda en redes de distribución de agua potable*. Loja: UTPL.

Campbell Gonzalez, E. (2013). *Propuesta Para una Metodología de Sectorización de Redes de Abastecimiento de Agua Potable (Tesis de Master)*. UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA, Valencia.

*esri.* (2019). Obtenido de esri: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/>

*ETAPA EP.* (2019). Obtenido de ETAPA EP:  
<https://www.etapa.net.ec/Principal/Agua-potable/Operación-y-Mantenimiento/Redes-de-distribución>

*ETAPA EP.* (2019). Obtenido de ETAPA EP:  
<https://www.etapa.net.ec/Principal/Agua-potable>

*ETAPA EP.* (2019). Obtenido de ETAPA EP:  
<https://www.etapa.net.ec/Portals/0/Agua%20Potable/OperacionMantenimiento/SISTEMAS%20DE%20AGUA%20POTABLE-%20PLANTAS%20-%20RESERVAS.jpg>

*ETAPA EP.* (2019). Obtenido de ETAPA EP:  
<https://www.etapa.net.ec/Principal/Agua-potable/Unidad-de-control-de-agua-no-contabilizada/Informaci%C3%B3n-general-de-la-unidad>

*ETAPA EP.* (2019). Obtenido de ETAPA EP:  
<https://www.etapa.net.ec/Principal/Agua-potable/Operaci%C3%B3n-y-Mantenimiento/Centro-de-monitoreo-y-control>

*ETAPA EP.* (2019). Obtenido de ETAPA EP:  
<https://www.etapa.net.ec/Principal/Agua-potable/Unidad-de-control-de-agua-no-contabilizada/-Detección-de-fugas>

ETAPA EP. (2019). Obtenido de ETAPA EP:

<https://www.etapa.net.ec/Principal/Agua-potable/Unidad-de-control-de-agua-no-contabilizada/Micromedición>

ETAPA EP. (2019). Obtenido de ETAPA EP:

<https://www.etapa.net.ec/Principal/Agua-potable/Unidad-de-control-de-agua-no-contabilizada/Macromedición>

González, C. (2015). *FLUJO AGUA-AIRE EN CONDUCTOS CERRADOS*. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México.

Guerrero, N. C. (2006). *INGENIERIA E IMPLEMENTACION DE UN PROTOTIPO PARCIAL DE UNA VALVULA DE CONTROL DE FLUJO*. Pamplona: UNIVERSIDAD DE PAMPLONA.

Guzmán, J. D. (20 de Abril de 2012). *DIAGNOSTICO Y SECTORIZACION DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE CIUDAD UNIVERSITARIA DE LA UNAM. PUMAGUA*. Ciudad de Mexico, Mexico.

ILUSTRE MUNICIPALIDAD DE CUENCA. (2015). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN CUENCA*. Cuenca.

NORMA CO 10.07-601. (1992). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICION DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*.

Romero, P. A. (2015). *Modelación hidráulica para la interconexión de los sistemas de distribución de agua potable Tomebamba y Yanuncay*. Cuenca, Azuay, Ecuador.

Sanchez, R. H. (2000). *INFORME NACIONAL SOBRE LA GESTION DEL AGUA EN EL ECUADOR*. Quito.

Vásquez, C. X. (2018). *DETERMINACIÓN DE NIVELES DE CONSUMO Y PROPUESTA DE SECTORIZACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCION DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE SUCÚA, CANTÓN SUCÚA, PROVINCIA DE MORONA SANTIAGO*. Quito: PUCE.

**ANEXOS**

Anexo 1 Catastros de las redes de distribución de agua potable del cantón Cuenca

Ver CD

Anexo 2 Catastros de la red de distribución de agua potable del sector 4B2

Ver CD

Anexo 3 Catastros de la red de distribución de agua potable del sector 6A

Ver CD

Anexo 4 Archivo shape de medidores

Ver CD

Anexo 5 Determinación de habitantes por medidor para los sectores 4B2 y 6A

Ver CD

Anexo 6 Archivo shape de base poblacional

Ver CD

Anexo 7 Modelo a red abierta de la red de distribución del sector 4B2

Ver CD

Anexo 8 Modelo a red abierta de la red de distribución del sector 6A

Ver CD

Anexo 9 Archivo CAD de curvas de nivel del cantón Cuenca

Ver CD

Anexo 10 Válvulas a mantener cerradas para el sector 4B2

SUBSECTOR	VÁLVULAS A MANTENER CERRADAS	Ø MATRIZ	
1	Av. 10 de Agosto y De los Geranios (Bypass)	4B2_VC_1226	110 PVC
	Av. 27 de Febrero y Francisco Moscoso	4B2_VC_1231	150 PVC
	Av. 10 de Agosto y Francisco Moscoso	4B2_VC_1045	63 PVC
2	Av. 10 de Agosto y de los Geranios / Bypass	4B2_VC_1226	110 PVC
	Av. 10 de Agosto y Cornelio Merchán	4B2_VC_1041	110 PVC
	Nicanor Aguilar y Av. Roberto Crespo	4B2_VC_1042	50 PVC
	Cornelio Merchán y Luis Moreno Mora	4B2_VC_1500	110 PVC
	Carlos R. Veintimilla y Cornelio Merchán	4B2_VC_1043	63 PVC
	Miguel Cordero Dávila y Cornelio Merchán	4B2_VC_1227	50 AC
	Manuel J. Calle y Cornelio Merchán	4B2_VC_1325	100 AC
	Arirumba y Los Fresnos	4B2_VC_1273	250 AC

SUBSECTOR	VÁLVULAS A MANTENER CERRADAS	Ø MATRIZ	
	Paucarbamba y Manuel J. Calle	4B2_VC_1188	110 PVC
3	Av. Fray Solano y Av. Remigio Crespo/ bypass	4B2_VC_1102	110 PVC
	Av. Fray Vicente Solano y Florencia Astudillo/Bypass	4B2_VC_1097	110 PVC
	Av. Florencia Astudillo y Av. Solano	4B2_VC_1270	110 PVC
	Roberto Crespo y Av. Del Estadio.	4B2_VC_1133	110 PVC
	Roberto Crespo y Av. 10 de Agosto	4B2_VC_1132	63 PVC
	Nicanor Aguilar y Av. Roberto Crespo	4B2_VC_1042	50 PVC
	Cornelio Merchán y Luis Moreno Mora	4B2_VC_1500	110 PVC
	Carlos R. Veintimilla y Cornelio Merchán	4B2_VC_1043	63 PVC
	Miguel Cordero Dávila y Cornelio Merchán	4B2_VC_1227	50 AC
	Manuel J. Calle y Cornelio Merchán	4B2_VC_1325	110 PVC
	Arirumba y Los Fresnos	4B2_VC_1273	250 AC
	Paucarbamba y Manuel J. Calle	4B2_VC_1188	110 PVC
	4	Av. 10 de Agosto y Av. Fray Vicente Solano	4B2_VC_1225
Miguel Cordero D y Av. Fray Vicente Solano		4B2_VC_1040	63 PVC
Roberto Crespo y Av. Del Estadio.		4B2_VC_1133	110 PVC
Roberto Crespo y Av. 10 de Agosto		4B2_VC_1132	63 PVC
Roberto Crespo y Av. 10 de Agosto		4B2_VC_1151	200 PVC
Av. 10 de Agosto y Cornelio Merchán		4B2_VC_1041	110 PVC
5	Av. 10 de Agosto y Francisco Moscoso	4B2_VC_1045	63 PVC
	Av. 27 de Febrero y Francisco Moscoso	4B2_VC_1231	150 PVC
	Belisario Andrade y Av. Fray V. Solano	4B2_VC_1039	63 PVC
	Av. Solano y Av. 10 de Agosto	4B2_VC_1225	110 PVC
	Roberto Crespo y Av. 10 de Agosto	4B2_VC_1151	200 PVC
	Av. Solano y Av. 10 de Agosto (junto al Hidrante)	4B2_VC_1501	110 PVC
6	Av. 12 de Abril y Av. Solano	4B2_VC_1094	160 PVC
	Daniel Córdova y Av. Solano	4B2_VC_1018	63 PVC
	Aurelio Aguilar y Av. Solano	4B2_VC_1268	200 HF
	Remigio Tamariz y Av. Solano	4B2_VC_1098	110 PVC
	Av. Remigio Crespo y Av. Solano	4B2_VC_1271	110 PVC

SUBSECTOR	VÁLVULAS A MANTENER CERRADAS	Ø MATRIZ	
	Av. Remigio Tamariz y Remigio Romero	4B2_VC_1238	110 PVC
	Honorato Loyola y Av. Remigio Romero	4B2_VC_1081	63 PVC
	Lorenzo Piedra y Av. Loja	4B2_VC_1234	50 AC
	Av. Loja y Lorenzo Piedra (vereda)	4B2_VC_1236	150 AC
	Av. Loja y Lorenzo Piedra (centro)	4B2_VC_1048	250 PVC
	Daniel Córdova y Av. Solano	4B2_VC_1502	63 PVC
	Manuel Ma. Palacios y Av. Remigio Crespo	4B2_VC_1257	63 PVC
	Juan Iñiguez y Remigio Crespo	4B2_VC_1075	63 PVC
	Padre Julio Matovelle y Agustín Cueva	4B2_VC_1063	50 PVC
	Gonzalo Cordero y Av. Solano	4B2_VC_1065	150 PVC
	Alfonso Moreno Mora y Av. Fray Solano	4B2_VC_1109	63 PVC
7	Juan Iñiguez y Alfonso Moreno Mora	4B2_VC_1370	63 PVC
	Alfonso Moreno Mora y Agustín Cueva	4B2_VC_1028	63 PVC
	Agustín Cueva y Alfonso Moreno Mora	4B2_VC_1243	63 PVC
	Gonzalo Cordero D. y Agustín Cueva	4B2_VC_1197	50 AC
	Padre Julio Matovelle y Av. Solano	4B2_VC_1288	50 AC
	Federico Proaño y Alfonso Moreno Mora	4B2_VC_1371	63 PVC
8	Alfonso Moreno Mora y Agustín Cueva	4B2_VC_1028	63 PVC
	Agustín Cueva y Alfonso Moreno Mora	4B2_VC_1243	63 PVC
	Juan Iñiguez y Alfonso Moreno Mora	4B2_VC_1370	63 PVC
	Federico Proaño y Alfonso Moreno	4B2_VC_1371	63 PVC
	Av. 10 de Agosto y Av. Fray Solano	4B2_VC_1287	200 AC
	Av. 27 de Febrero y Av. Fray Solano	4B2_VC_1280	100 AC
	Cesar Dávila y Alfonso Moreno	4B2_VC_1373	63 PVC
9	Padre Julio Matovelle y Agustín Cueva	4B2_VC_1063	50 PVC
	Luis Cordero Dávila y Agustín Cueva	4B2_VC_1197	50 AC
	Alfonso Moreno Mora y Agustín Cueva	4B2_VC_1243	63 PVC
	Cesar Dávila y Alfonso Moreno	4B2_VC_1373	63 PVC
	Alfonso Moreno Mora Y Miguel Díaz	4B2_VC_1406	63 PVC
	Juan Bautista Vázquez y Av. Ricardo Muñoz	4B2_VC_1220	200 AC
	Francisca Dávila y Av. Ricardo Muñoz	4B2_VC_1242	50 PVC
	Luis Cordero y Av. Ricardo Muñoz	4B2_VC_1060	50 PVC

SUBSECTOR	VÁLVULAS A MANTENER CERRADAS	Ø MATRIZ	
	José Burbano y Av. Ricardo Muñoz	4B2_VC_1377	50 PVC
	Padre Julio Matovelle y Av. Ricardo Muñoz	4B2_VC_1376	50 PVC
	José Lozano y Padre Julio Matovelle	4B2_VC_1375	63 PVC
10	Av. Remigio Tamariz y Remigio Romero	4B2_VC_1238	110 PVC
	Honorato Loyola y Av. Remigio Romero	4B2_VC_1081	63 PVC
	Lorenzo Piedra y Av. Loja	4B2_VC_1234	50 AC
11	Juan Bautista Vázquez y Av. Ricardo Muñoz	4B2_VC_1220	200 AC
	Francisca Dávila y Av. Ricardo Muñoz	4B2_VC_1242	50 PVC
	Luis Cordero y Av. Ricardo Muñoz	4B2_VC_1060	50 PVC
	José Burbano y Av. Ricardo Muñoz	4B2_VC_1377	50 PVC
	Padre Julio Matovelle y Av. Ricardo Muñoz	4B2_VC_1376	50 PVC
	Pedro Berrueta y Juan Bautista V.	4B2_VC_1409	50 PVC
	Miguel Díaz y Juan Bautista	4B2_VC_1408	63 PVC
	Luis Jaramillo y Juan Bautista Vázquez	4B2_VC_1059	63 PVC
	Lorenzo Piedra y Juan Bautista Vázquez	4B2_VC_1058	63 PVC
	Lorenzo Piedra y Remigio Crespo	4B2_VC_1073	110 PVC
12	Pedro Berrueta y Juan Bautista V.	4B2_VC_1409	50 PVC
	Miguel Díaz y Juan Bautista	4B2_VC_1408	63 PVC
	Luis Jaramillo y Juan Bautista Vázquez	4B2_VC_1059	63 PVC
	Lorenzo Piedra y Juan Bautista Vázquez	4B2_VC_1058	63 PVC
	Alfonso Moreno y Miguel Díaz	4B2_VC_1406	63 PVC
	Juan Bautista Vázquez y Av. Ricardo Muñoz	4B2_VC_1220	200 AC
13	Lorenzo Piedra y Av. Loja (Bypass)(centro)	4B2_VC_1048	250 PVC
	Esmeraldas y Av. Remigio Crespo	4B2_VC_1125	110 PVC
	Calle sin nombre y Av. Remigio Crespo	4B2_VC_1209	50 PVC
	Imbabura y Av. Remigio Crespo	4B2_VC_1503	150 PVC
	Cañar y Av. Remigio Crespo	4B2_VC_1085	50 AC
	El Oro y Av. Remigio Crespo	4B2_VC_1264	100 AC
	Guayas y Av. Remigio Crespo	4B2_VC_1084	50 PVC
	Av. Remigio Tamariz y Av. Loja	4B2_VC_1208	63 PVC
	Pastaza y Av. Loja	4B2_VC_1083	63 PVC

SUBSECTOR	VÁLVULAS A MANTENER CERRADAS	Ø MATRIZ	
	Galápagos y Av. Loja	4B2_VC_1082	63 PVC
14	Esmeraldas y Av. Remigio Crespo	4B2_VC_1036	50 PVC
	Imbabura y Av. Remigio Crespo	4B2_VC_1033	63 PVC
	Los Ríos y Av. Remigio Crespo	4B2_VC_1400	50 PVC
	Cañar y Av. Remigio Crespo	4B2_VC_1399	50 PVC
	Guayas y Av. Remigio Crespo	4B2_VC_1266	63 PVC
	Av. Loja y Remigio Crespo	4B2_VC_1221	63 PVC
	Unidad Nacional y Av. Remigio Crespo	4B2_VC_1161	200 AC
	Av. Loja y Padre Julio Matovelle	4B2_VC_1261	63 PVC

Anexo 11 Válvulas a mantener abiertas para el sector 4B2

SUBSECTOR	VÁLVULAS A MANTENER ABIERTAS	Ø MATRIZ	
1	Av. Francisco Moscoso y Av. 10 de Agosto	4B2_VO_1004	250 AC
2	Av. Luis Moreno Mora y Av. Roberto Crespo	4B2_VO_1001	250 PVC
3	Av. Fray Vicente Solano y Av. 12 de Abril	4B2_VO_1012	200 PVC
	Tadeo Torres y Av. Fray Solano	4B2_VC_1269	50 AC
	Av. 12 de Abril y De las Herrerías	4B2_VC_1274	160 PVC
4	Av. Luis Moreno Mora y Av. Fray V. Solano	4B2_VO_1003	250 AC
5	Av. 27 de Febrero y Av. Fray Vicente Solano	4B2_VO_1014	300 AC
6	Remigio Crespo y Agustín Cueva (Vereda)	4B2_VO_1008	160 PVC
	Av. Remigio Crespo y Remigio Romero.	4B2_VC_1272	110 PVC
7	Agustín Cueva y Av. Remigio Crespo (centro)	4B2_VO_1009	150 PVC
	Agustín Cueva y Av. Remigio Crespo (vereda)	4B2_VC_1022	63 PVC
8	Ricardo Muñoz D y Av. 10 de Agosto	4B2_VO_1007	200 AC
9	Av. Ricardo Muñoz y Av. Remigio Crespo	4B2_VO_1005	200 AC
10	Av. Remigio Tamariz y Av. Loja	4B2_VO_1013	110 PVC
	Av. Remigio Crespo y Remigio Romero.	4B2_VC_1272	110 PVC

SUBSECTOR	VÁLVULAS A MANTENER ABIERTAS		Ø MATRIZ
11	Juan Bautista Vázquez y Av. Loja	4B2_VO_1006	200 PVC
12	Av. Pichincha y Av. Loja	4B2_VO_1010	110 PVC
13	Av. Unidad Nacional y Remigio Crespo	4B2_VC_1162	200 AC
14	Unidad Nacional y Manabí	4B2_VC_1029	200 PVC
	Av. Loja y Av. Pichincha	4B2_VO_1011	200 PVC

## Anexo 12 Válvulas a mantener cerradas para el sector 6A

SUBSECTOR	VÁLVULAS A MANTENER CERRADAS		Ø MATRIZ
1	Toreadora y San Pablo del Lago	6A_VC_1095	63 PVC
	Busa y San Pablo del Lago	6A_VC_1028	50 PVC
	Patoquinoas y San Pablo del Lago	6A_VC_1094	100 PVC
	De Las Chorreras y San Pablo del Lago	6A_VC_1099	150 PVC
2	Toreadora y San Pablo del Lago	6A_VC_1095	63 PVC
	Busa y San Pablo del Lago	6A_VC_1028	63 PVC
	Patoquinoas y San Pablo del Lago	6A_VC_1094	100 PVC
	De Las Chorreras y San Pablo del Lago	6A_VC_1099	150 PVC
	San Pablo del Lago y Oso Huaico	6A_VC_1108	150 PVC
3	Av. De la Independencia y Av. de las Américas	6A_VC_1135	300 AC
	Av. Hurtado de Mendoza y Av. España	6A_VC_1007	250 PVC
4	Cornelio Vintimilla y Carlos Tossi	6A_VC_1111	110 PVC
5	Octavio Chacón y Calle Primera	6A_VC_1042	250 AC
	Calle Primera y Octavio Chacón	6A_VC_1110	110 PVC
	Cornelio Vintimilla y Carlos Tossi	6A_VC_1111	110 PVC
	Miguel Narváez y Carlos Tossi	6A_VC_1049	150 AC
6	Miguel Narváez y Carlos Tossi	6A_VC_1049	150 AC
	Carlos Tossi y Octavio Chacón	6A_VC_1025	250 AC
7	Octavio Chacón y Octavio Chacón	6A_VC_1002	110 PVC
8	Cajanuma y Cimarrones	6A_VC_1128	110 PVC
	Carlos Tossi y Octavio Chacón	6A_VC_1025	250 AC
9	Octavio Chacón y Calle Primera	6A_VC_1042	250 AC
	San Pablo del Lago y Oso Huaico	6A_VC_1108	150 PVC
	Calle Primera y Octavio Chacón	6A_VC_1110	110 PVC

## Anexo 13 Válvulas a mantener abiertas para el sector 6A

SUBSECTOR	VÁLVULAS A MANTENER ABIERTAS		Ø MATRIZ
1	Toreadora y San Pablo del Lago	6A_VC_1087	150 PVC
	De Las Américas y Subida a Quinta Chica (cierra matriz de 63 que va por la autopista)	6A_VC_1026	100 PVC
2	Américas y Panamericana Norte	6A_VC_1038	160 PVC
3	General Córdova y Américas	6A_VO_1001	110 PVC
	Av. de las Américas y Octavio Chacón	6A_VC_1097	160 PVC
4	Cornelio Vintimilla y Cornelio Vintimilla	6A_VC_1048	160 PVC
5	Octavio Chacón y Cornelio Vintimilla	6A_VC_1084	250 AC
6	Cornelio Vintimilla y Octavio Chacón	6A_VC_1109	250 AC
	Cornelio Vintimilla y Cornelio Vintimilla	6A_VC_1048	250 AC
	Cornelio Vintimilla y Av. de las Américas	6A_VC_1076	250 AC
7	Octavio Chacón y Carlos Tossi	6A_VC_1093	250 AC
	Cornelio Vintimilla y Octavio Chacón	6A_VC_1109	250 AC
	Octavio Chacón y Cornelio Vintimilla	6A_VC_1084	250 AC
8	Cimarrones y Vía a Patamarca	6A_VC_1063	250 PVC
	Octavio Chacón y Carlos Tossi	6A_VC_1093	250 AC
9	Av. de las Américas y Octavio Chacón	6A_VC_1097	160 PVC

Ver CD

Anexo 14 Modelo sectorizado de la red de distribución del sector 4B2

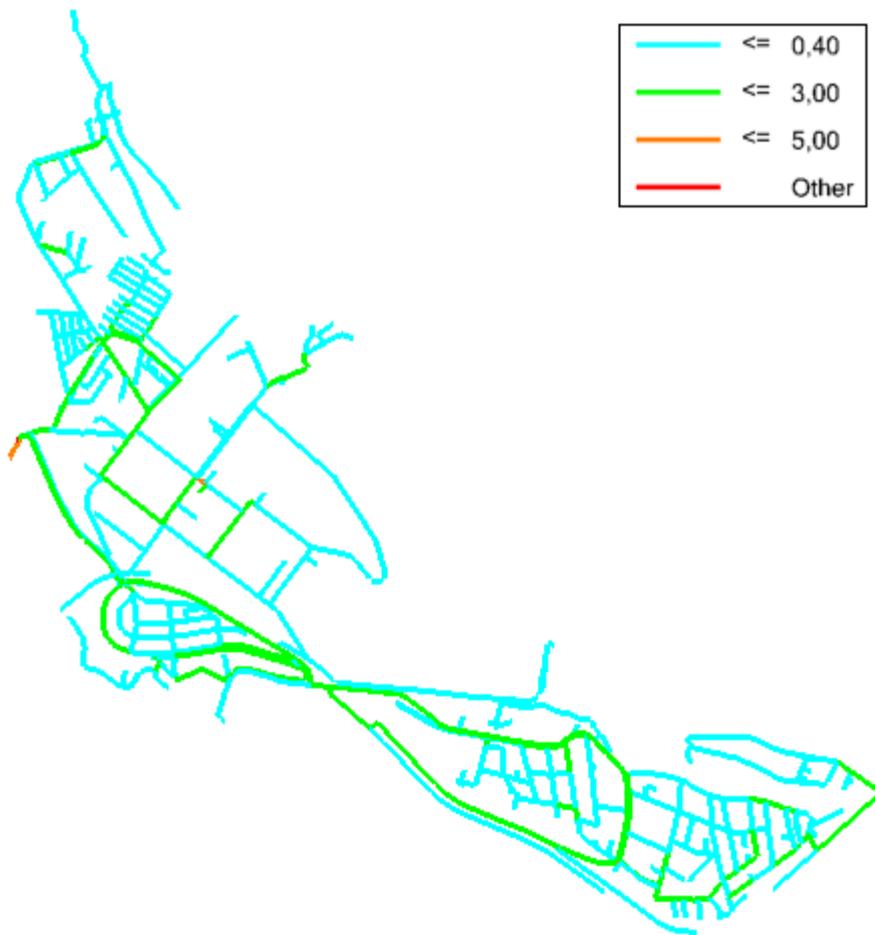
Ver CD

Anexo 15 Modelo sectorizado de la red de distribución del sector 6A

Anexo 16 Velocidad clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2025



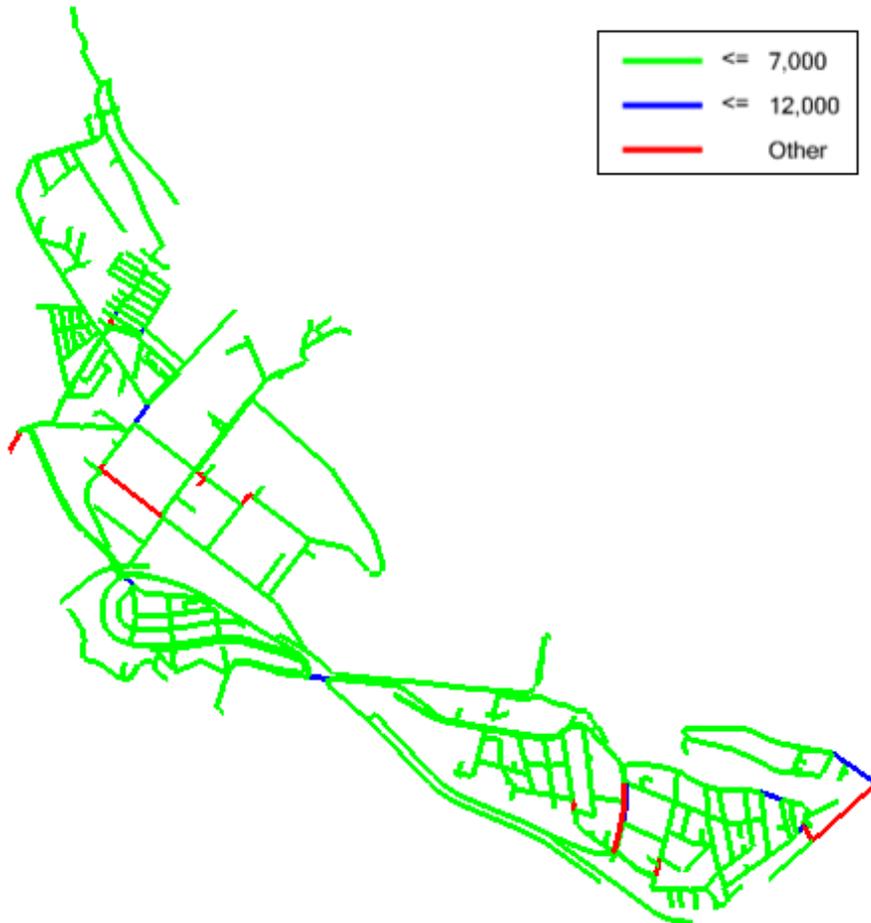
Anexo 17 Velocidad clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2025



Anexo 18 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2025



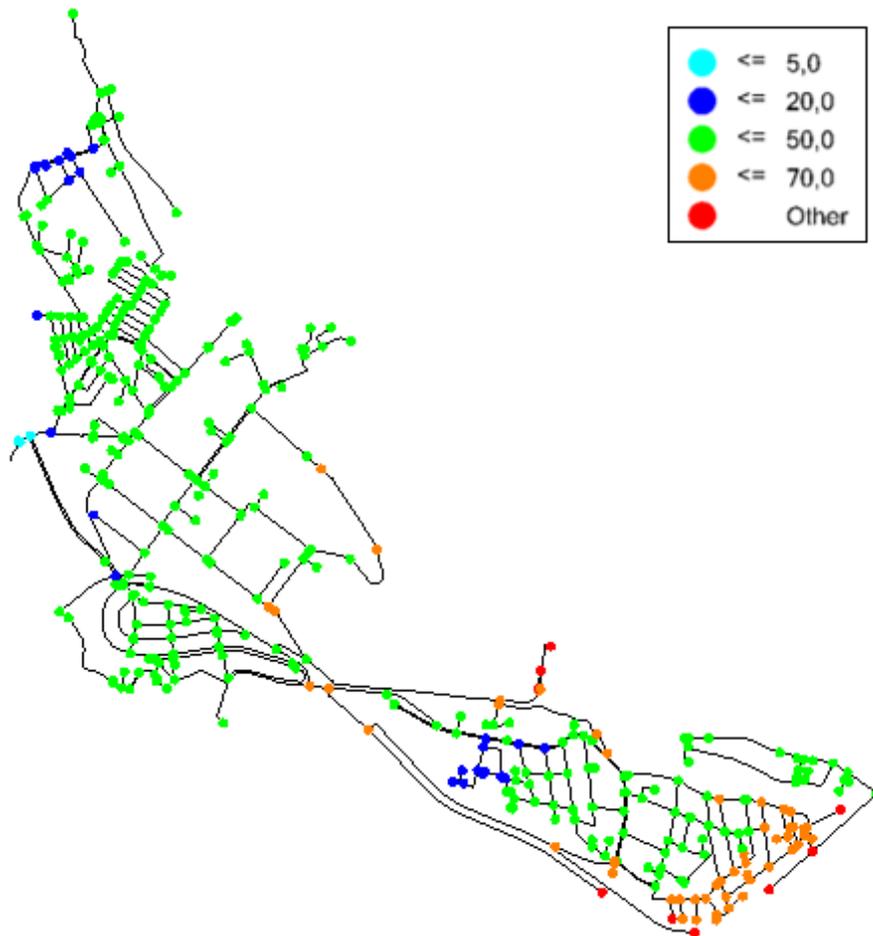
Anexo 19 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2025



Anexo 20 Presiones clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2025



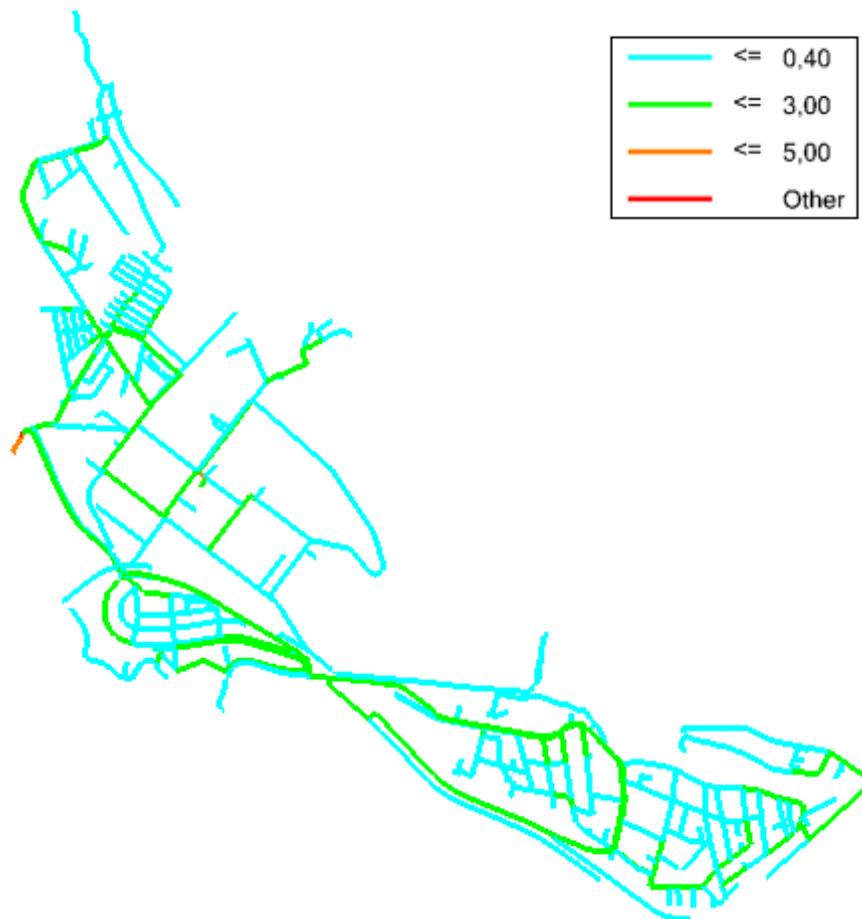
Anexo 21 Presiones clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2025



Anexo 22 Velocidad clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2030



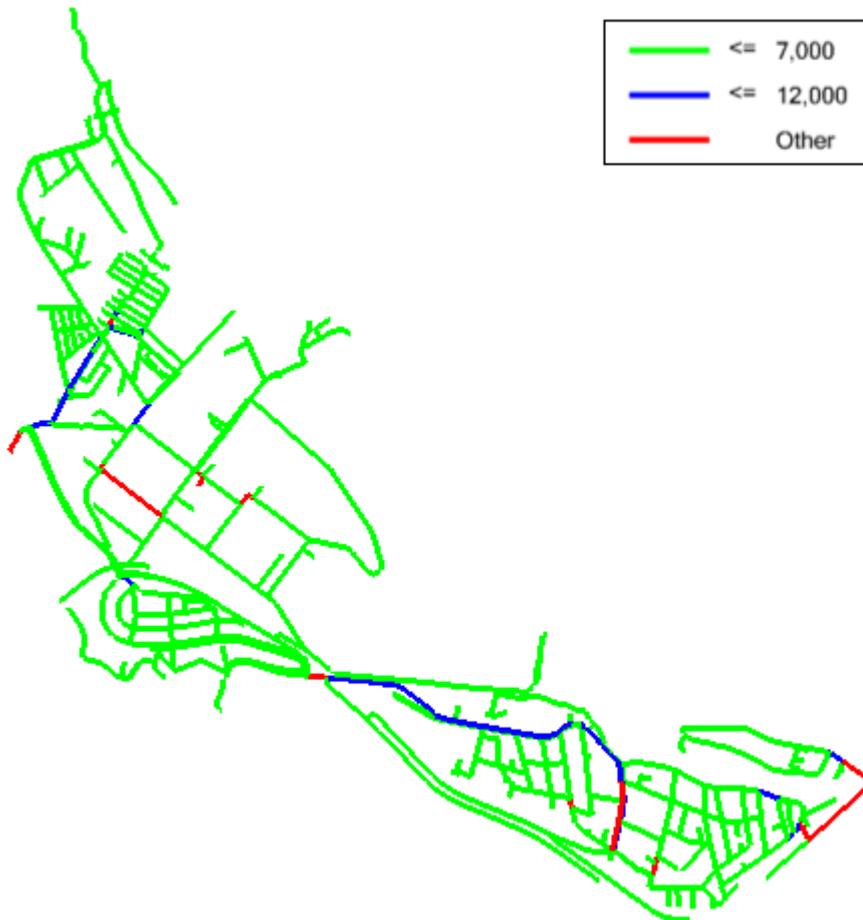
Anexo 23 Velocidad clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2030



Anexo 24 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2030



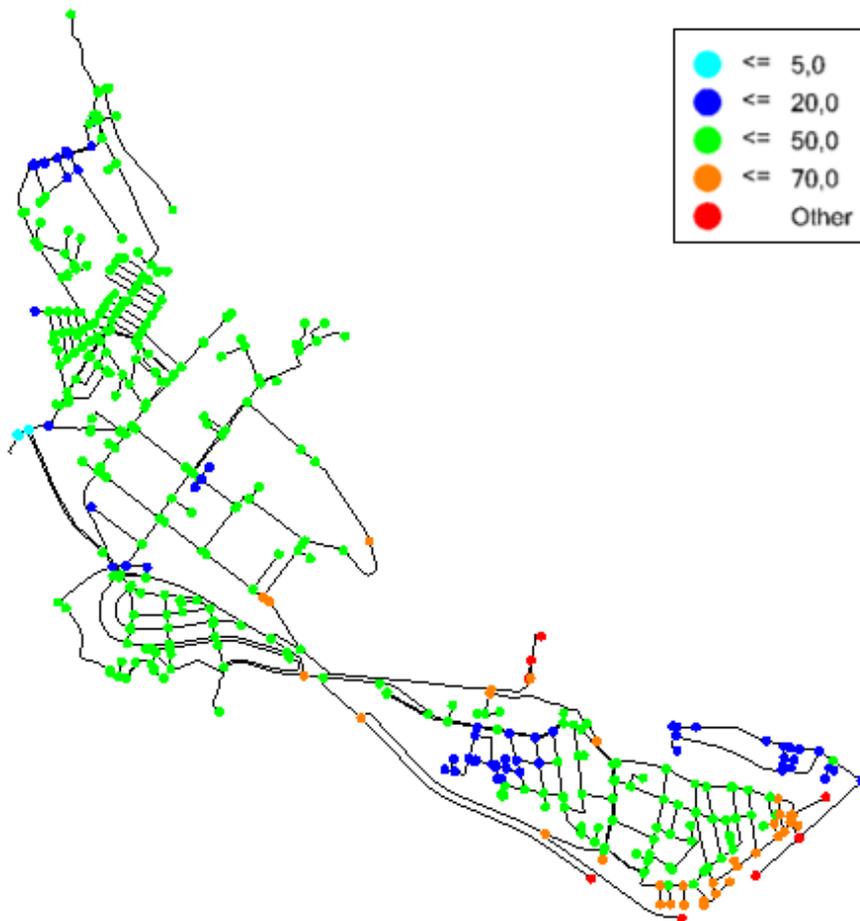
Anexo 25 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2030



Anexo 26 Presiones clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2030



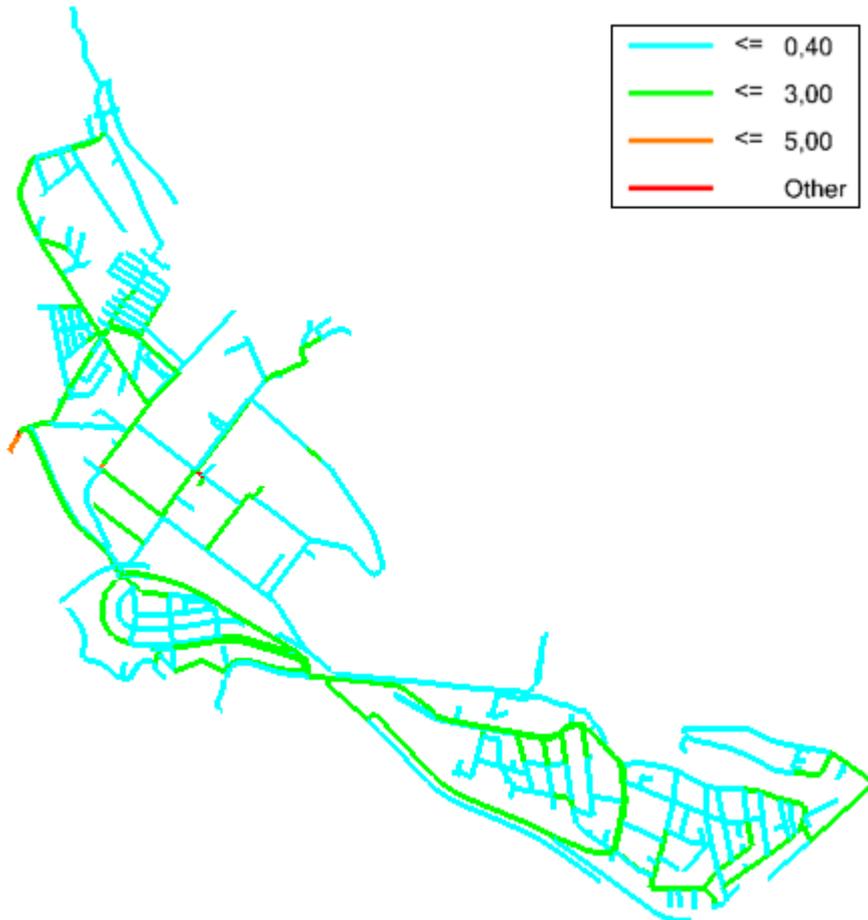
Anexo 27 Presiones clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2030



Anexo 28 Velocidad clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2035



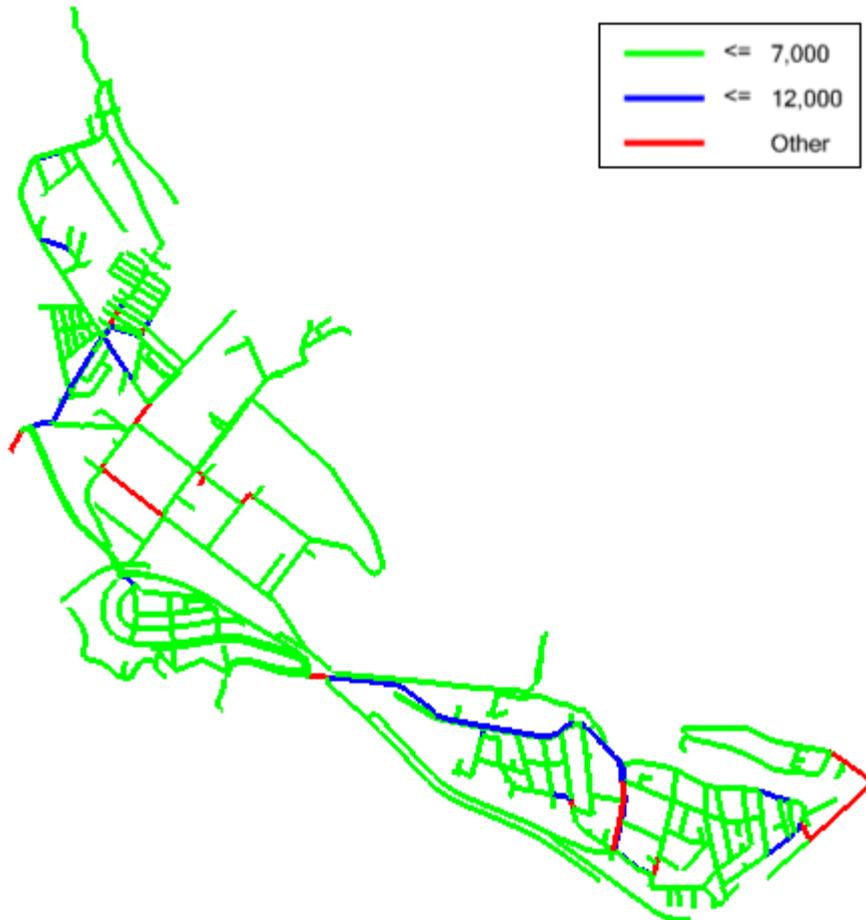
Anexo 29 Velocidad clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2035



Anexo 30 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2035



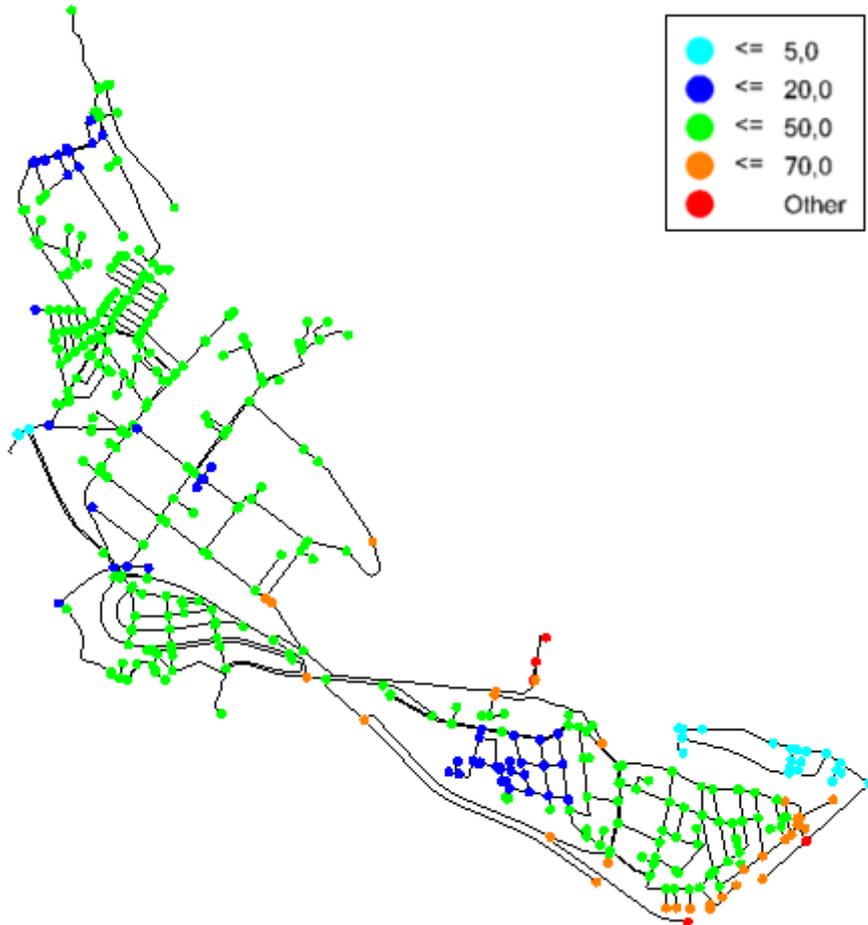
Anexo 31 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2035



Anexo 32 Presiones clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2035



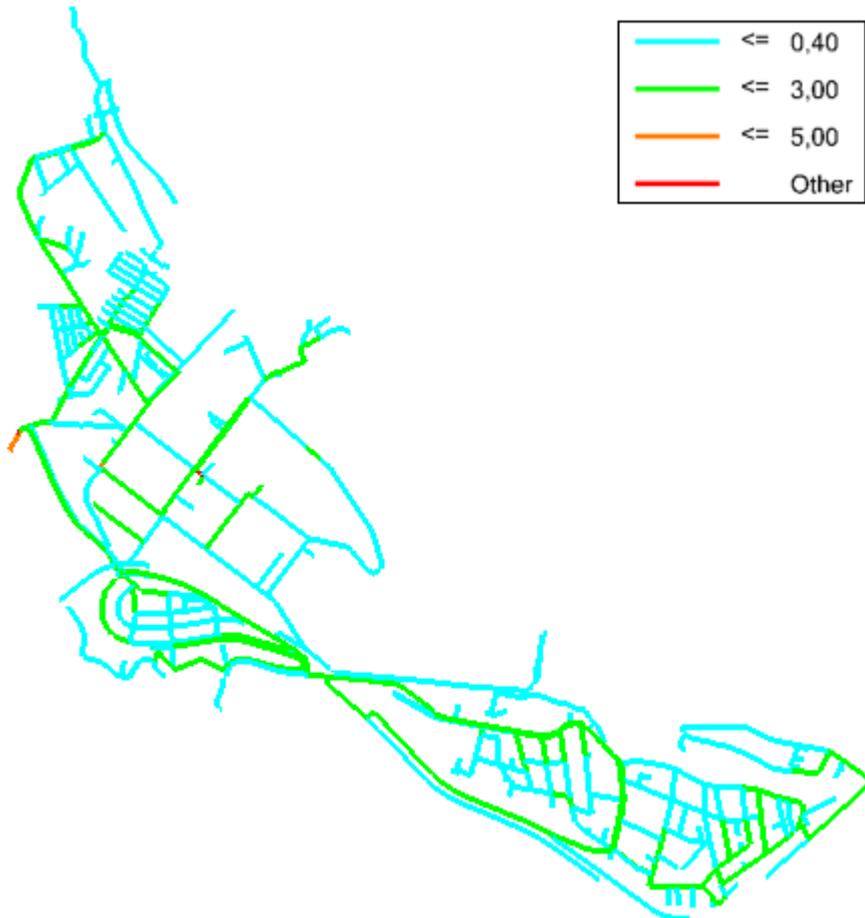
Anexo 33 Presiones clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2035



Anexo 34 Velocidad clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2040



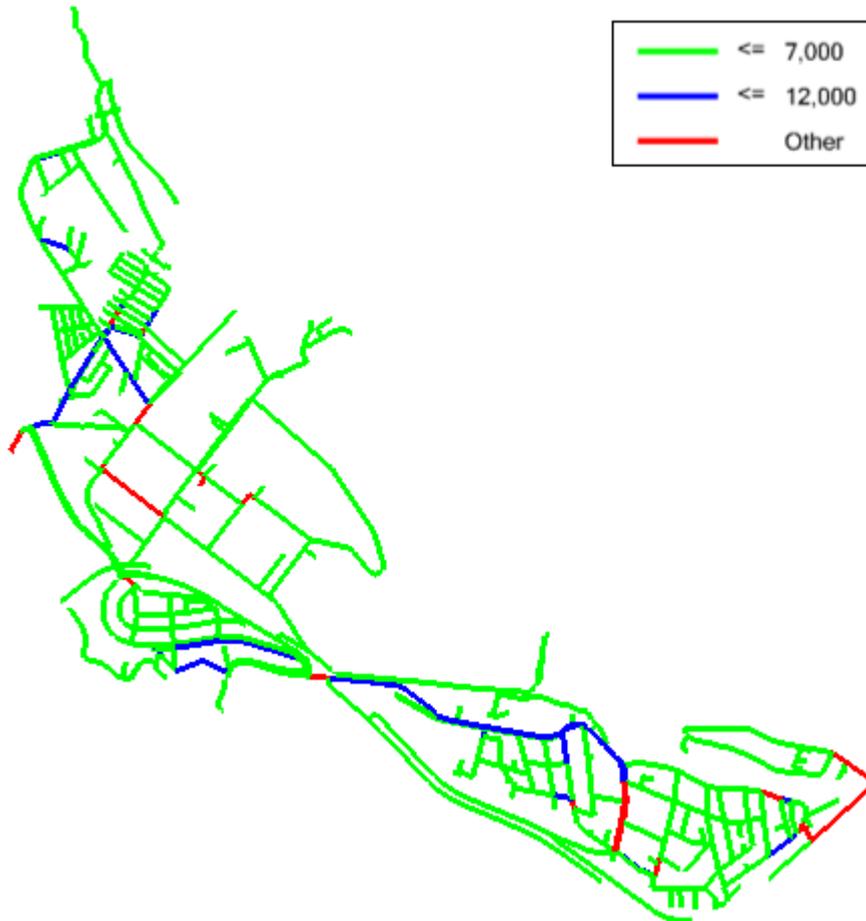
Anexo 35 Velocidad clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2040



Anexo 36 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2040



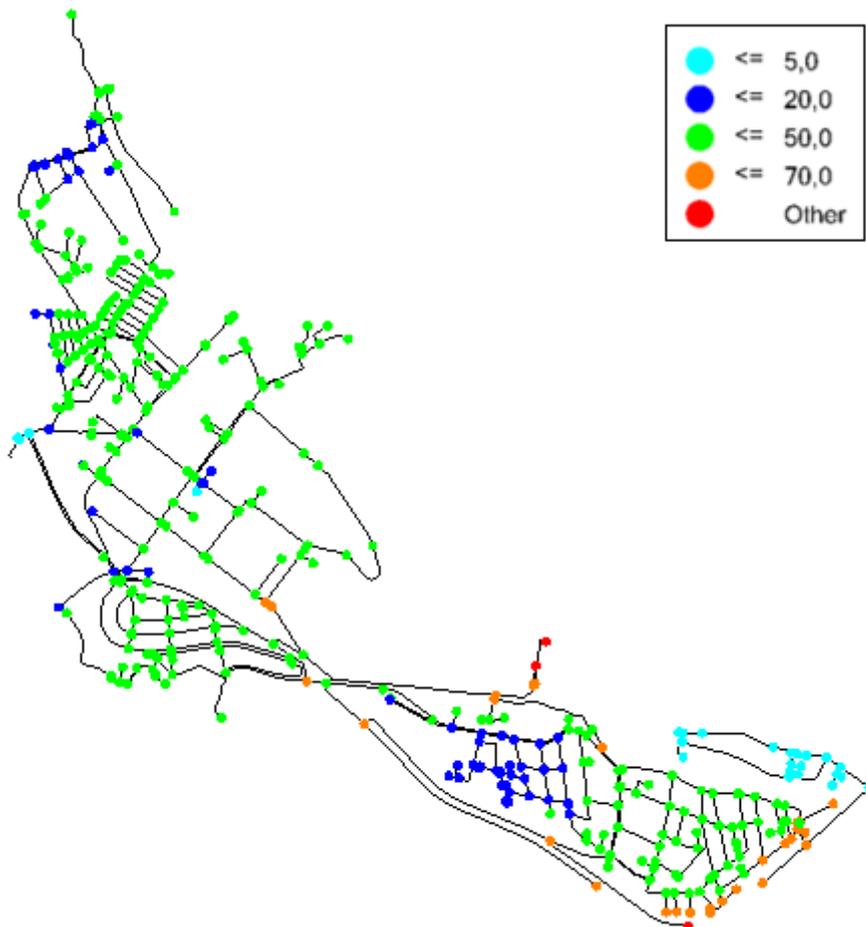
Anexo 37 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2040



Anexo 38 Presiones clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2040



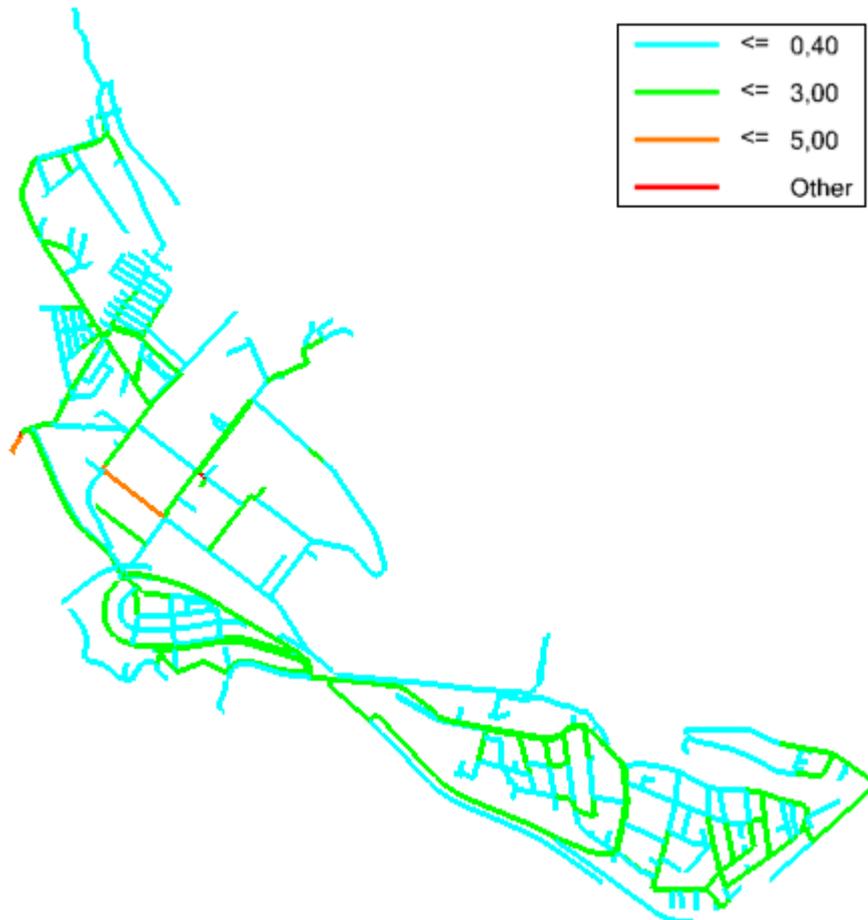
Anexo 39 Presiones clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2040



Anexo 40 Velocidad clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2045



Anexo 41 Velocidad clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2045



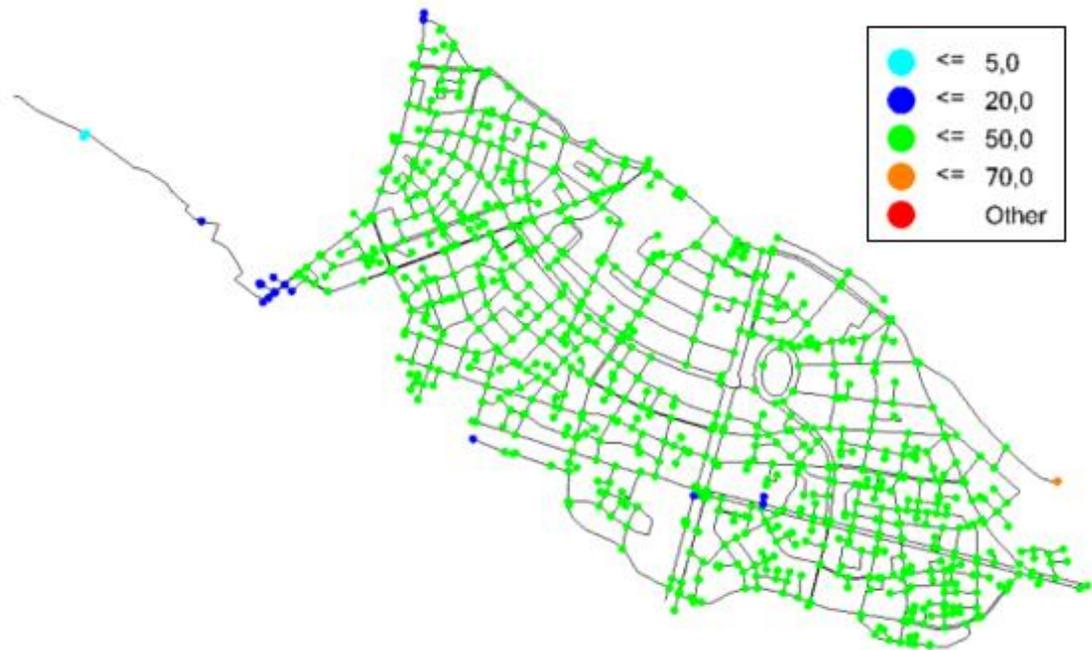
Anexo 42 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2045



Anexo 43 Pérdida de carga clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2045



Anexo 44 Presiones clasificadas por color del sector 4B2. escenario del año 2045



Anexo 45 Presiones clasificadas por color del sector 6A. escenario del año 2045

